

minimal sein kann. Wie Plateau constatirt hat, besitzen die Flüssigkeiten der ersten eine grössere Viscosität an der Oberfläche wie im Innern, während bei denen der zweiten Klasse umgekehrt die Viscosität der Oberfläche eine kleinere ist als die des Innern. Die von Nägeli aufgestellte Theorie, dass die Unbeweglichkeit der Jamin'schen Kette bei Wasser in einer grösseren Viscosität der Oberfläche ihren Grund hat, findet also durch die von mir angestellten Versuche ihre volle Bestätigung.

Bot. Institut der königl. landwirthschaftl.
Hochschule in Berlin.

54. J. Reinke: Die optischen Eigenschaften der grünen Gewebe und ihre Beziehungen zur Assimilation des Kohlenstoffs.

Eingegangen am 19. October 1883.

Die Reduction der Kohlensäure, das Fundament aller Lebensvorgänge, ist eine Function des Lichts und des Chlorophylls lebender Zellen; eine wirkliche Einsicht in diesen Process hat deshalb zur Voraussetzung die Kenntniss der Beziehungen zwischen Licht und Chlorophyll, unter denen die optischen Eigenschaften des Chlorophylls lebender Zellen voranstehen.

Wenn wir daran gehen, das optische Verhalten des Chlorophylls in lebenden Geweben festzustellen, müssen wir die optische Wirkung der übrigen Bestandtheile der Gewebe mit in den Kauf nehmen, weil sich das Chlorophyll von diesen nicht trennen lässt. Allein da z. B. in einem rein grünen Blatte die übrigen Theile aus farblos-durchsichtigen Substanzen bestehen, können wir dieselben der optischen Wirkung des Chlorophylls gegenüber vernachlässigen. Zudem wissen wir aus vorhandenen Untersuchungen über die Transparenz farbloser Gewebe,¹⁾ dass ihre Lichtabsorption im Allgemeinen derjenigen des Chlorophylls ähnlich, aber weit schwächer ist, während scharf begrenzte Absorptionsmaxima fehlen, so dass sie neben der Absorption des Chlorophylls

1) Vgl. Sachs, Ueber die Durchleuchtung der Pflanzentheile. Sitzber. d. W. Acad. Bd. 43, S. 265 ff, 1861.

relativ nur zu geringer Geltung gelangt. Die Zellwände, das Protoplasma, der Zellsaft und besonders die Luft der Interzellulargänge kommen daher nur wegen ihrer Reflexion und Brechung des Lichts als Trübungen des Mediums in Betracht.

Unter diesen trübenden Factoren lässt sich gerade der wegen seines geringen Brechungsvermögens am meisten störende, nämlich die Luft, ungemein leicht durch Wasser verdrängen und man erzielt dadurch erhebliche Vortheile. Ich bringe zu dem Ende die in Wasser untergetauchten Blätter unter den Recipienten einer in Thätigkeit gesetzten Wasserstrahlluftpumpe und lasse sie daselbst 1 bis 2 Stunden stehen; ihre Interzellularräume sind dann vollständig mit Wasser injicirt, die Blätter erhalten die Transparenz dünner grüner Glasplatten, so dass man durch ein injicirtes Blatt z. B. von *Impatiens parviflora* die feinste Druckschrift bequem zu lesen vermag, und im Spectroscop durch eine ganze Anzahl von Blättern hindurch die Fraunhofer'schen Linien noch erkennbar sind. So zubereitete Blätter haben mir als Untersuchungsmaterial gedient für eine qualitative Bestimmung ihrer Absorptionscurve.¹⁾

I. Das Absorptionsspectrum grüner Blätter.

In der Literatur sind eine Reihe von Angaben über das Absorptionsspectrum lebender Blätter vorhanden. Als erster, welcher dasselbe untersuchte, ist Stokes²⁾ zu nennen. Derselbe hebt hervor, dass das Spectrum eines grünen Blattes im Wesentlichen mit demjenigen einer Lösung von Chlorophyll übereinstimme. Zu dem gleichen Ergebniss gelangte Sachs (l. c.), welcher ausser dem intensiven Absorptionsbande im Roth und der Schwächung beziehungsweise Auslöschung des Blau und Violett auch eine Verdunkelung im Gelb bemerkte.

Ferner hat Simmler³⁾ lebende Blätter vor den Spalt des Spectroscops gehalten und gefunden, dass das äusserste Roth sichtbar war bis B, ein Absorptionsstreif den Raum zwischen B und C einnahm, Gelb und alle Töne in Grün und Blau durchgelassen, das Violett aber von G ab verschwunden war.

Askenasy⁴⁾ bemerkt, das Chlorophyll in den grünen Blättern zeige dieselben Absorptionsstreifen, wie eine Lösung, und erklärt dies für einen Beweis, dass das Auflösen in Alkohol oder Aether den Farbstoff in keiner wesentlichen Beziehung verändere.

1) Die quantitativen Messungen der Absorption in den Blättern durch Vierordt werden im vierten Abschnitte Berücksichtigung finden.

2) In seiner Abhandlung: Ueber die Veränderung der Brechbarkeit des Lichts, Poggendorf's Annalen, Ergänzungsband IV, S. 177 ff. (1854). Die diesbezügliche Notiz findet sich S. 220.

3) Vermischte Mittheilungen. Poggendorf's Annalen, Band 115, S. 593 ff. 1862. S. 605.

4) Beiträge zur Kenntniss des Chlorophylls und einiger dasselbe begleitender Farbstoffe. Bot. Zeit. 1867, S. 225 ff.

Schönn¹⁾ erklärt sich ebenfalls dafür, dass das Chlorophyll bei seiner Lösung in Alkohol keine Veränderung erleide. Derselbe sah wenn ein bis zwei Blätter zwischen Glasplatten vor den Spectralapparat gebracht wurden, den Streifen im Roth genau an der entsprechenden Stelle wie in der Alkohollösung, und fügt dann hinzu: „Die anderen (Streifen) treten erst dann deutlich hervor, wenn die Blätter in Folge der Hitze der beleuchtenden Flamme gelbgrün geworden waren.“ Diese letztere Bemerkung von Schönn ist mir nicht unwichtig, und werde ich später auf sie zurückkommen.

Hagenbach²⁾ hat ebenfalls das Spectrum lebender Blätter mit demjenigen von Chlorophylllösungen verglichen und glaubt hierbei einen wesentlichen Unterschied zwischen beiden erkannt zu haben. Im Spectrum der Blätter konnte er keine anderen Absorptionen finden, als Band I. im Roth und eine auf der Grenze von Grün und Blau beginnende Endabsorption. Hagenbach gebührt das Verdienst, erkannt zu haben, dass Band I. im Blatte um eine sehr merkliche Grösse nach der weniger brechbaren Seite des Spectrums gerückt erscheint im Vergleich zu seiner Lage in den Lösungen; ein gleiches Verhalten zeigte die Endabsorption der stärker brechbaren Strahlen.

Weiter haben Gerland und Rauwenhoff³⁾ das Spectrum lebender Blätter untersucht und ihrerseits wiederum alle Absorptionsstreifen der Chlorophylllösung darin aufgefunden.

Gerland⁴⁾ hebt noch ausdrücklich hervor, dass auch Band II, III und IV der Lösungen in den lebenden Blättern erkennbar, alle aber ein wenig gegen das rothe Ende des Spectrums verschoben sind; auch das äusserste rothe Licht erscheint nach ihm in den Blättern geschwächt.

Lommel⁵⁾ hingegen erklärt die Absorptionsbänder II, III und IV für nicht vorhanden im Spectrum der Blätter.

Am ausführlichsten hat G. Kraus⁶⁾ seine diesbezüglichen Beobachtungen mitgetheilt. Er anerkennt nicht nur, im Gegensatz zu Hagenbach und Lommel, das Vorhandensein der Bänder II, III und IV im lebenden Blatte, sondern er constatirt auch in Uebereinstimmung mit Hagenbach und Gerland die Verschiebung der Absorptionsbänder nach der weniger brechbaren Seite des Spectrums. Weiter kommt

1) Ueber Blattgrün und Blumenblau. Zeitschrift für analytische Chemie. 1870. S. 327.

2) Untersuchung über die optischen Eigenschaften des Blattgrüns. Pogg. Ann. Bd. 141. S. 245 ff. 1870.

3) Beiträge zur Kenntniss des Chlorophylls und einiger seiner Derivate. Pogg. Ann. Bd. 143, S. 231 ff.

4) Ueber die Einwirkung des Lichts auf Chlorophyll. Ebenda S. 585 ff.

5) Ueber das Verhalten des Chlorophylls zum Licht. Pogg. Ann. Bd. 143. 1871. S. 658 ff.

6) Zur Kenntniss d. Chlorophyllfarbstoffe u. ihrer Verwandten. Stuttgart 1872. S. 46 ff.

aber Kraus nicht über die Anschauungen seiner Vorgänger hinaus, als dass er die Abhängigkeit einer solchen Verschiebung vom lösenden Medium nachweist, wenn auch freilich seine Meinung, dass die Dichtigkeit des Mediums hierbei massgebend sei, nicht stichhaltig ist¹⁾; auch Kraus betrachtet als Hauptergebniss seiner Untersuchung den Nachweis, dass das Spectrum des lebenden Blattes im Wesentlichen mit dem der Lösungen übereinstimmt.

Einzelnes aus den Mittheilungen von Kraus bedarf noch der Erörterung. Zunächst verdient rücksichtlich der angewandten Methode bemerkt zu werden, dass Kraus nur Blätter mit luftgefüllten Interzellularen zur Beobachtung verwendete. Obwohl schon Valentin die Injection mit Wasser empfohlen hatte, und obwohl Kraus selbst bemerkt, dass die durch Injection mit Wasser durchscheinenden gewordenen Blätter „vor dem Spectroscop brauchbarer werden und ein deutlicheres Spectrum geben“, verwendet er solche Blätter doch nicht, weil „keine Garantien mehr vorhanden, dass die Zellen wirklich noch lebendig und das Chlorophyll intact sei“. Dieser Einwand erscheint mir völlig unbegründet, da durchaus nicht erfindlich ist, was für einen nachtheiligen Einfluss Wasser auf das in lebende Zellen eingeschlossene Chlorophyll ausüben soll; leidet denn das Chlorophyll von *Spirogyren* und *Cladophoren* durch das umspülende Wasser? Die Methode, mit Wasser zu injiciren, bietet sehr grosse Vortheile; Kraus konnte, wie es scheint, in seinem Spectralapparat nicht mehr als 4 Blätter über einander schichten, während ich eine Säule von 18 über einander liegenden, injicirten Blättern anwenden konnte, und noch Durchleuchtung wahrnahm. Zum Ueberfluss habe ich das Absorptionsspectrum injicirter und nicht injicirter Blätter genau verglichen und — abgesehen von der Helligkeit — nicht den geringsten Unterschied wahrgenommen. Auch sind injicirte Blätter im Stande, Kohlensäure zu zersetzen.

Kraus hat die Lage der einzelnen Absorptionsbänder mit einer Millimeterscala bestimmt, eine Reduction auf Wellenlängen ist nicht versucht; über das Unzulängliche dieses Verfahrens, dessen wir seit Einführung der Angström'schen Scala überhoben sind, habe ich mich bereits an anderer Stelle geäußert.²⁾

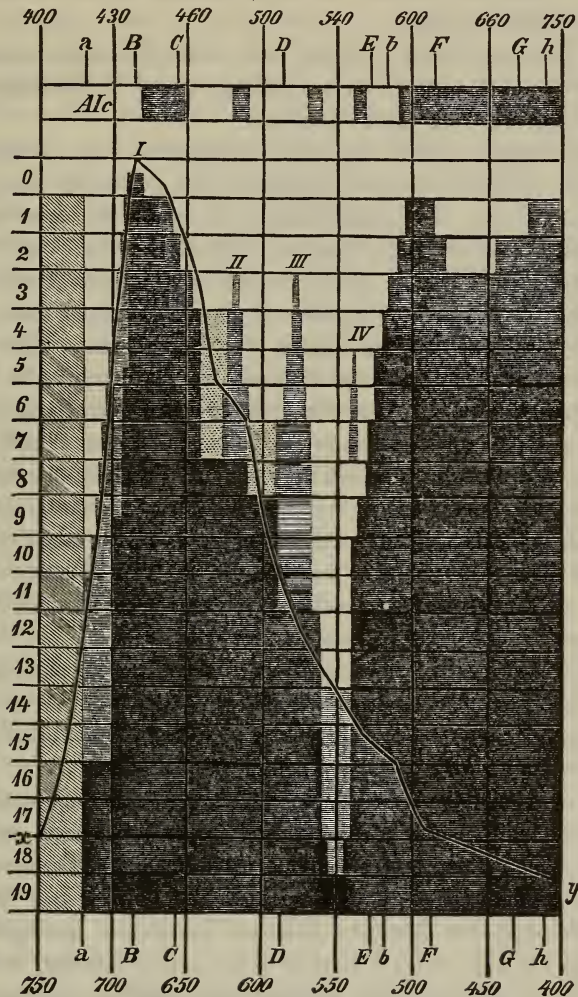
Während seit der Schrift von Kraus zahlreiche Untersuchungen des Spectrums von Chlorophylllösungen veröffentlicht worden sind — die uns hier nicht direct angehen — ist meines Wissens noch kein Versuch gemacht worden, die ganze Absorptionscurve des Spectrums leben-

1) Bekanntlich hat Kundt inzwischen nachgewiesen, dass die wechselnde Lage der Absorptionsbänder vom Dispersionsvermögen d. Lösungsmittels abhängt. (Pogg. Ann. Jubelband 1874. S. 615).

2) Beitrag zur Kenntniss des Phycoxanthins. Jahrb. f. wiss. Bot. X. S. 399 ff. In dieser Arbeit ist zum ersten Male die Dispersionsscala nach Wellenlängen für Bestimmung der Absorptionen im prismatischen Spectrum benutzt worden.

der Blätter in ähnlicher Weise darzustellen, wie dies in den Arbeiten Pringsheims¹⁾ für Chlorophylllösungen geschehen ist.

Durch meine eigenen Untersuchungen bin ich zu einem, der Ansicht von Kraus gerade entgegengesetzten Resultat geführt worden, dass nämlich das Absorptionsspectrum des in lebenden Blättern enthal-



Absorption lebender Blätter auf das Normalspectrum bezogen. Darüber die Absorptionsbänder einer alkoholischen Chlorophylllösung und die Assimilationscurve xy. tenen Chlorophylls von demjenigen einer Chlorophylllösung stets verschieden ist, wobei das Lösungsmittel selbst keinen anderen Einfluss

1) Ueber die Absorptionsspectra der Chlorophyllfarbstoffe. Monatsber. d. Berl. Acad. vom October 1874.

als den seines specifischen Dispersionsvermögens auf die Lage der Absorptionsmaxima auszuüben braucht.

Vorausschicken möchte ich, dass die von mir verglichenen Blätter zahlreicher Phanerogamen keine bemerkenswerthen Verschiedenheiten im Absorptionsspectrum erkennen liessen — wenn wir von denjenigen Arten oder Varietäten absehen, in deren Blättern noch besondere bunte Farbstoffe gebildet werden.

Meine Untersuchungen wurden mit dem Mikrospectralocular von Zeiss angestellt und sind die Absorptionen direct in Wellenlängen nach der Dispersionsscala abgelesen worden.

In umstehender Figur ist die Absorption des Chlorophylls in lebenden, mit Wasser injicirten Blättern von *Impatiens parviflora* zur Darstellung gebracht. Die Abscissenaxe bedeutet die Ausdehnung des sichtbaren Theils des normalen Sonnenspectrums. Unterhalb der eigentlichen Zeichnung sind die Wellenlängen in Milliontel-Millimetern angegeben, oberhalb die entsprechenden Schwingungszahlen; auch die wichtigsten Fraunhofer'schen Linien sind angedeutet. Die durch bezifferte Horizontallinien gegebene Eintheilung der Ordinaten bezeichnet die Schichtendicke, die Einheit der Schichten ist ein Blatt. Die Verschmälerung des Absorptionsmaximums I oberhalb Blatt 1, mit 0 bezeichnet, ist nach einem sehr dünnen Farrnkraut-Prothallium eingetragen, zum Vergleich ist darüber das Absorptionsspectrum einer mässig concentrirten alkoholischen Chlorophylllösung gezeichnet (Alc.), deren Band I die gleiche Breite besitzt wie in einem einzelnen Blatte; wir wollen diese Breite als die Breite δ bezeichnen, und möge sie uns als Vergleichspunkt der beiden Spectren dienen.

Ein Blick auf diese Zeichnung lehrt, dass zwei Hauptabsorptionen im Chlorophyllspectrum der Blätter existiren, eine in der stärker brechbaren, eine in der weniger brechbaren Hälfte, beide durch ein auf die Wellenlänge 550 fallendes Minimum getrennt.

Wenn wir von den Absorptionen in der stärker brechbaren Seite des Spectrums einstweilen absehen, so glaube ich, dass sich für die weniger brechbare Seite sofort nicht unwesentliche Unterschiede ergeben zwischen dem gelösten Chlorophyll und demjenigen der Blätter.

Wenn Band I die Breite δ besitzt, so treten im Spectrum der Lösung Band II, III und IV bereits sehr scharf hervor, während im Spectrum eines Blattes noch keine Spur derselben zu erkennen ist; bei 3 Blättern (Breite $1\frac{1}{2} \delta$) treten Band II und III als schwache Andeutungen hervor, während Band IV auch jetzt noch fehlt. Erst bei 5 Blättern, wo Band I die Breite von fast 2δ zeigt, haben II und III ungefähr die gleiche Breite wie in dem Vergleichsspectrum der Lösung, und jetzt nimmt man auch bei sehr sorgfältiger Betrachtung und engem Spalt Band IV nur als einen ganz schwachen Schatten wahr. Dieser als Band IV gedeutete Schatten war auch bei einer Säule von 6 und

7 Blättern noch erkennbar, aber nicht, oder doch kaum merklich verstärkt, im Spectrum von 8 und 9 Blättern fehlte er wieder! Dieser Umstand bewog mich anfangs zu der Meinung, dass der als Band IV angesprochene Schatten gar kein Absorptionsstreif sei, sondern nur hervorgerufen durch eine Gruppe mit einander verschwimmender Fraunhofer'scher Linien, die in der That einen ähnlichen Eindruck zu erzeugen vermag; auch finde ich in der schönen Abbildung des Sonnenspectrums von Angström¹⁾ ungefähr an der Stelle, wo man den fraglichen Schatten erblickt, eine Gruppe sehr dicht liegender und ziemlich scharf hervortretender Eisenlinien gezeichnet. Allein da es mir gelang, den Schatten bei den Blättern der verschiedensten Pflanzen wiederzufinden, und da ich glaube, wenigstens eine ganz matte Andeutung davon auch bei Lampenlicht gesehen zu haben, so entschied ich mich doch dafür, denselben für eine schwache Andeutung von Band IV des Chlorophyllspectrum zu halten, welches dann zweifellos als Annex zur Hauptabsorption in der brechbareren Spectralhälfte gehört. Handelte es sich um morphologische Dinge, so würde man sagen können, Band IV existire im Blatterspectrum nur rudimentär.

Für diese Auffassung — und warum soll man im vorliegenden Falle das Wort rudimentär nicht gebrauchen, da es für den Botaniker wenigstens leicht verständlich ist — spricht insbesondere auch der Umstand, dass bei zunehmender Zahl der Blattschichten dieser Streif sich nicht verbreitert, sondern sogar wieder verschwindet. Die Thatsache ist zweifellos und auch unschwer zu erklären. Denn die Absorptionsbänder werden ja im Spectroscop überhaupt nur sichtbar durch eine Contrastwirkung gegen die benachbarten, mehr Licht durchlassenden Spectralregionen. Weil aber dieser Contrast mit Zunahme der absoluten Absorption sich mehr und mehr ausgleicht, so kann ein an und für sich schwaches Absorptionsband dadurch bei steigender Schichtendicke für das Auge zum Verschwinden gebracht werden.

Mit diesen Beobachtungen stimmen die Zeichnungen überein, welche Kraus vom Blatterspectrum der *Deutzia scabra* geliefert hat²⁾. Im Spectrum eines Blattes treten Band II, III und IV im Vergleich zu I weit schwächer hervor, als in einer Lösung; im Spectrum einer zweifachen Blätterlage sind Band II und III ein wenig verbreitert, Band IV fehlt aber vollständig!

Die geringere Stärke von Band II und III sowie der gänzlich rudimentäre Character von Band IV veranlassen mich, das Spectrum lebender Blätter von demjenigen jeder Lösung, in welcher namentlich Band IV stets scharf hervortritt, für verschieden zu halten, und einer solchen Abweichung im Spectrum muss eine Verschiedenheit des che-

1) Recherches sur le spectre solaire. Atlas. — Upsala 1868.

2) l. c. Taf. I. Fig. 5, 6.

mischen Zustandes entsprechen. Ich folgere daraus, dass das sogenannte Chlorophyll der Lösungen chemisch nicht identisch ist mit dem Chlorophyll lebender Blätter, mit anderen Worten, dass letzteres beim Uebergang in irgend ein Lösungsmittel stets eine chemische Veränderung, eine Zersetzung erfährt. Diese Ansicht ist übrigens auch schon von Anderen, z. B. von Pringsheim, von Hoppe-Seyler, als Annahme geäußert worden.

Ueber die Art der Zersetzung, welche das Chlorophyll erfährt, wenn es mit irgend einem Lösungsmittel ausgezogen wird, habe ich mir eine bestimmte Vorstellung gebildet. Alles Chlorophyll der Lösungen entspricht chemisch in höherem oder geringerem Grade dem durch Säuren veränderten Chlorophyll.

Die erste Wirkung des Zusatzes einer schwachen Säure zu einer Chlorophylllösung ist die, dass Band IV des Absorptionsspectrums schärfer hervortritt; man vergleiche nur die Abbildungen, welche Kraus auf Taf. III Fig. 5, 6 und 7 von der Säurewirkung giebt. Nun hat schon Kraus gefunden (l. c. S. 71), dass die Blätter einiger Pflanzen — er macht nur *Ampelopsis* und *Vitis* namhaft, man kann die gleiche Erscheinung aber auch an *Rheum*, *Rumex* und *Oxalis*¹⁾ wahrnehmen — nicht, „wie die übrigen“, beim Kochen mit Wasser schön grün bleiben, sondern eine bräunliche Farbe annehmen, ähnlich der Farbe zersetzten Chlorophylls. „Die Extraction mit Weingeist zeigte auf den ersten Blick eine der Farbe und der spectralanalytischen Reaction nach zersetzte Lösung.“ Kraus schreibt das abweichende Verhalten der Blätter von *Ampelopsis* einer Einwirkung des stark sauren Zellsafts dieser Pflanze zu, welchen das lebende Protoplasma nicht eindringen lässt, der aber in das durch höhere Temperatur getödtete Chlorophyllkorn hineinzudiffundiren vermag und daselbst Zersetzung hervorruft.

Diese Erklärung von Kraus ist ganz zweifellos richtig; derselbe hat nur übersehen, dass genau der gleiche Process, das Eindringen von sauer reagirendem Zellsaft in die Chlorophyllkörner, in jedem Falle stattfinden muss, wo chlorophyllhaltige Zellen, sei es durch höhere Temperatur, sei es durch Einwirkung des Lösungsmittels getödtet werden — weil der Zellsaft aller grünen Zellen sauer reagirt. Es wird daher bei jeder Extraction des Chlorophylls mit irgend einem Lösungsmittel oder bei den dazu vorbereitenden Manipulationen, z. B. dem Trocknen der zerkleinerten Gewebe, eine sauer reagirende Substanz mit dem Chlorophyll in Berührung gebracht, welche dasselbe in der Richtung des sogenannten Säure-Chlorophylls verändert, also theilweise in Chlorophyllan verwandelt²⁾. Nur der Grad dieser Veränderung ist

1) In Bezug auf letztere vgl. Wiesner, Die Entstehung des Chlorophylls in der Pflanze. Wien 1877. S. 11 Anm.

2) Vgl. Tschirch, Untersuchungen über das Chlorophyll (Ber. d. d. bot. Ges. I. Heft 3 u. 4, S. 9 des Separatabdrucks).

ein verschiedener, er ist bei der grossen Mehrzahl der Pflanzen ein viel geringerer, als z. B. bei *Ampelopsis* oder *Rheum*. Stets aber giebt sich vornehmlich darin ein scharfer Unterschied zwischen unverändertem und durch Säure zersetztem Chlorophyll zu erkennen, dass, während im Absorptionsspectrum des ersteren Band IV (im Grün, der Wellenlänge $\lambda = 540$ entsprechend) nur ganz rudimentär angedeutet ist, dasselbe im letzteren mit aller Schärfe hervortritt. Aber auch die Bänder II und III erfahren durch die Einwirkung der Säure eine deutliche Verstärkung. Hierzu stimmt die oben citirte Angabe Schön'n's, wonach in seinen Blättern die übrigen Bänder zum Band I erst hinzutraten, nachdem die Blätter der Hitze ausgesetzt worden waren. Ferner ist wohl nach den bezüglichen Angaben von Hoppe-Seyler¹⁾ nicht zu bezweifeln, dass Band IV, sofern es deutlich hervortritt, als ein specifischer Chlorophyllanstreifen angesehen werden kann.

Ein einfacher Versuch mag als Bestätigung dieser Vorstellung angeführt sein. Wenn man Blätter von *Impatiens*, *Sambucus*, *Deutzia* und andere, welche das Absorptionsband IV nur in äusserst schwacher Andeutung zeigen, vorübergehend in siedendes Wasser taucht, so tritt Band IV alsbald breit und scharf hervor, auch Band II zeigt sofort eine erhebliche Zunahme des Dunkels, kurz, das Absorptionsspectrum gleicht jetzt, wenn wir von der Dispersionsverschiebung absehen, durchaus demjenigen einer alkoholischen Lösung. Auch wenn man Blätter mit sehr verdünnter Essigsäure injicirt und eine Zeit lang in der Flüssigkeit liegen lässt, tritt die gleiche Modification des Absorptionsspectrums ein, wie beim Eintauchen in siedendes Wasser. In beiden Fällen ändert sich die relative Lage der Absorptionsbänder aber nicht.

Abgesehen von den soeben namhaft gemachten Differenzen in Bezug auf die Absorptionsmaxima in dem weniger brechbaren Spectralabschnitte zeigen sich analoge Unterschiede in Bezug auf die Minima der Absorption. Diese Absorptionsminima entfallen auf das äusserste Roth von den Wellenlängen 720—700 und auf das Grün zwischen 560 und 540. Das letztere wird nun von concentrirten Chlorophylllösungen stärker absorbirt, als von lebenden Blättern; denn bei einer Schichtendicke der Lösung, wo man von dem positiven Streifen im Grün nichts mehr wahrnimmt, wo dasselbe bereits völlig verdunkelt erscheint, erblickt man das äusserste Roth zwischen 720 und 700 noch relativ deutlich. Anders im Blatte. Bei *Impatiens parviflora* verschwand das Roth mit einer Schicht von 16 Blättern, bei 15 war es noch eben erkennbar; das Grün zwischen 560 und 540 schien dagegen noch durch eine Schicht von 18 Blättern hindurch. Ebenso verhielten sich Blätter von *Deutzia* und *Sambucus*.

1) Zeitschr. f. physiol. Chemie III, S. 348.

Aus der beifolgenden Zeichnung lassen sich die Wellenlängen direct ablesen, welche im Absorptionsspectrum einer gewissen Anzahl von Blättern mehr oder weniger verdunkelt erscheinen. Aus diesem Grunde habe ich von einer tabellarischen Angabe der Absorptionen in Zahlen Abstand genommen¹⁾.

Es scheint mir nicht überflüssig, die Vorgänge bei der soeben beschriebenen Veränderung des Chlorophyllspectrum durch Säuren aus den Gesichtspunkten der Undulationstheorie noch etwas näher ins Auge zu fassen. Durch Euler, Kirchhof, Angström, Lommel u. A. ist die Vorstellung zu einem fest begründeten Satze der theoretischen Optik gestaltet worden, dass ein Körper Lichtstrahlen derjenigen Schwingungszahlen absorbirt, in denen seine eigenen kleinsten Theilchen vibriren, während er andere Strahlen hindurchlässt, mit deren Schwingungszahl die Partikel seiner eigenen Substanz nicht zu schwingen vermögen. Wenn wir nun sehen, dass ein Körper gewisse Strahlen sehr lebhaft absorbirt, schon in dünner Schicht fast vollständig auslöscht (a), während andere nur wenig geschwächt werden (b), so können wir daraus schliessen, dass die Theilchen des Körpers leicht mit den Schwingungszahlen von a erregbar sind, während sie viel schwieriger in den Schwingungszahlen von b sich zu bewegen im Stande sind. So vermögen die Chlorophylltheilchen leicht mit der Geschwindigkeit der zwischen B und C gelegenen Strahlen des Sonnenspectrums zu oscilliren, während dies schwieriger von Stattem geht mit den den Bändern II und III entsprechenden Strahlen, und nur eben eine Tendenz sich zu erkennen giebt, auch mit den der dem Bande IV entsprechenden Strahlen zu schwingen. Beschränken wir uns vornehmlich auf die Betrachtung dieses letztgenannten Streifens, so muss der Neigung der Atome, in den Schwingungszahlen desselben sich zu bewegen, im intacten Chlorophyllmolekül ein erheblicher, schwer überwindlicher Widerstand begegnen. Dieser Widerstand wird augenblicklich beseitigt bei der Einwirkung von Säure, jetzt vermögen die Atome mit Lebhaftigkeit die angestrebte Bewegung auszuführen.

Vielleicht wirft diese Betrachtung einiges Licht auf die Art der Veränderung des Chlorophylls durch Säuren. Man könnte die Hypothese wagen, dass, wenn die Säuren erhebliche Umlagerungen in dem an sich gewiss äusserst labilen Moleküle des Chlorophylls hervorzubringen vermöchten, die spectroscopischen Eigenschaften des Säureproductes erheblicher, qualitativ, von denen des ursprünglichen Chlorophylls abweichen würden. Da aber die Veränderungen nur quantitativer Natur sind, die Absorptionsbänder ihren Ort behalten,

1) Für einen Vorlesungsversuch empfiehlt es sich, auf ein Blatt von einiger Ausdehnung im verdunkelten Hörsaal ein Spectrum direct zu projiciren; im durchfallenden Lichte treten dann die Absorptionsmaxima sehr deutlich hervor.

nur theilweise ihre Tiefe sich steigert, so scheint es am nächsten zu liegen, eine Spaltung der die Streifen II bis IV enthaltenden Atom-complexe anzunehmen, durch welche die Atome in den Stand gesetzt werden, mit gewissen Geschwindigkeiten zu schwingen, woran sie im intakten Chlorophyllmolekül durch den Zusammenhang mit anderen Atomgruppen mehr oder weniger gehindert waren.

2. Der Aggregatzustand des Chlorophylls in der Pflanze.

Die Mehrzahl der Beobachter spricht sich dafür aus, dass das Chlorophyll in der lebenden Pflanze nicht fluorescirt. Simmler (l. c. S. 619) meint zwar, dass den grünen Blättern eine schwache Fluorescenz zukomme; Hagenbach (l. c. S. 225) und Lommel (l. c. S. 519) bestreiten dieselbe gänzlich. Dagegen glaubt N. I. C. Müller¹⁾ bei Anwendung der Methode des derivirten Spectrums in Blättern Fluorescenz beobachtet zu haben.

Die Unbestimmtheit, namentlich dieser letzteren Angabe, veranlasste mich, einige Versuche in der bezeichneten Richtung anzustellen.

Lässt man weisses Licht auf ein frisches Blatt fallen, so bemerkt man bekanntlich nichts von einem rothen Schimmer, welchen jede Chlorophylllösung im auffallenden Lichte zeigt. Ich benutzte nun die sehr fleischigen Blätter einiger *Mesembryanthemum*-Arten, welche um das centrale farblose Parenchym einen relativ mächtigen Mantel chlorophyllführender Zellschichten besitzen, um aus einer achromatischen Sammellinse einen Lichtkegel darauf fallen zu lassen, und diesen auf einem Durchschnitt des Blattes im Profil zu betrachten; es war keine Spur von rothem Fluorescenzlicht zu sehen.

Ich liess dann eine Portion Blätter von *Sambucus nigra* fein zerkleinern und den Saft unter starkem Druck abpressen; Proben der erhaltenen Flüssigkeit wurden in verschiedenem Verhältniss mit Wasser gemischt. In diese grün gefärbten Emulsionen verschiedener Concentration, in denen zahlreiche verletzte und unverletzte Chlorophyllkörner herumschwammen, wurde ebenfalls mit der Sammellinse ein Lichtkegel geworfen und auch hier zeigte sich keine Fluorescenz.

Ich schritt dann zur Anwendung der empfindlichsten Methode, die es giebt, um auf Fluorescenz zu prüfen. Es ward ein Spectrum mittelst einer Cylinderlinse zu einem schmalen Streifen von grosser Lichtstärke zusammengezogen und auf die Fläche eines Blattes projicirt; dies Linearspectrum ward durch ein horizontal stehendes Prisma, dessen brechende Kante mit der Längsrichtung des Spectrums parallel lag, betrachtet und auch hierbei liess sich kein rothes Fluorescenzlicht entdecken. Es war bei diesem Versuche völlig gleich, ob die angewandten Blätter mit Wasser injicirt waren oder nicht, ob lebend oder durch Eintauchen in heisses Wasser getödtet.

1) Bot. Unters. I. S. 11.

Aus diesen Versuchen folgt, dass das Chlorophyll grüner Blätter nicht oder doch nicht in wahrnehmbarem Grade fluorescirt.

Die intensive rothe Fluorescenz der Lösungen kann aber auch nicht von dem Uebergang in Chlorophyllan herrühren. Denn durch Eintauchen der Blätter in heisses Wasser, welches bestimmt schon partielle Chlorophyllanbildung hervorruft, wie sich aus dem Absorptionsspectrum so behandelter Blätter ergibt, lässt sich keine Fluorescenz erzeugen. Ziehen wir nun in Betracht, dass, wie Hagenbach gezeigt hat, auch das aus Lösungen in fester Form niedergeschlagene Chlorophyll, das jedenfalls zum grossen Theil aus Chlorophyllan besteht, nicht fluorescirt, so kommen wir zu dem Ergebniss, dass auf jeden Fall in der Mitwirkung der Lösungsmittel eine der Bedingungen der Fluorescenz gesucht werden muss. Soviel bis jetzt bekannt, fluorescirt das Chlorophyll aber in allen seinen Lösungsmitteln, nur in verschiedenem Grade, in Aether z. B. lebhafter als in Alkohol. Wenn wir also das Chlorophyll in den Blättern nicht fluoresciren sehen, so scheint daraus zu folgen, dass dasselbe darin nicht im Zustande einer Lösung vorhanden ist. Damit die im Chlorophyll und auch in seinen nächsten Derivaten, wie dem Chlorophyllan, enthaltenen Atomgruppen Fluorescenzlicht ausstrahlen können, ist offenbar eine gewisse Leichtbeweglichkeit der Moleküle, wie sie der Zustand der Lösung mit sich bringt, erforderlich¹⁾.

Die völlige Sicherstellung der Thatsache, dass die Fähigkeit zu fluoresciren lediglich vom Aggregatzustande des Chlorophylls abhängt, ist aber von grosser Wichtigkeit, weil wir daraus einen Rückschluss ziehen können auf den Aggregatzustand des Chlorophylls in den Blättern.

Der folgende Versuch scheint mir für die Beantwortung dieser Frage entscheidend.

Ich löste Chlorophyll, dass aus einer frischen alkoholischen Lösung durch Verjagen des Alkohols gewonnen war, in geschmolzenem Paraffin. Die Lösung fluorescirte auf das schönste, nicht weniger intensiv als die alkoholische. Ich liess jetzt das Paraffin erkalten, wobei es zu einem durchscheinenden, gleichförmig grün gefärbten Cylinder erstarrte, in welchem die Chlorophyllmoleküle offenbar ebenso fein und regelmässig vertheilt waren, wie im flüssigen Paraffin; dies feste, chlorophyllhaltige Paraffin zeigte nicht die geringste Fluorescenz. Ich konnte dann durch erneutes Schmelzen und Erkaltenlassen die Fluorescenz nach Belieben von Neuem hervorrufen und verschwinden machen.

Diese Beobachtung führt zu dem Schlusse, dass das Chlorophyll in den Pflanzen im festen Aggregatzustande enthalten ist, weil die

1) In diesem Sinne äussert sich auch Lommel l. c.

optischen Eigenschaften durchaus nur mit denen des festen, nicht aber mit denen des gelösten Chlorophylls übereinstimmen.

Dem entspricht auch die Lage der Absorptionsmaxima in festem, aus Lösungen niedergeschlagenem Chlorophyll; schon Hagenbach hat beobachtet, dass Band I darin an derselben Stelle liegt, wie in den Blättern, und Lommel hat das Gleiche für Gelatineplättchen constatirt, welche mit Chlorophylllösung getränkt und dann getrocknet waren. Auch das feste chlorophyllhaltige Paraffin zeigt das Band in der gleichen Lage.

Pringsheim¹⁾ hat die Vorstellung entwickelt und vertheidigt, dass das Chlorophyll in einem ölartigen Menstruum gelöst in den Chlorophyllkörnern enthalten sei. Nach unserer obigen Wahrnehmungen müsste man aber annehmen, dass dieses ölartige Lösungsmittel ein fester, fett- oder wachsartiger Körper sei, der bei etwas höherer Temperatur schmilzt und dann jene tiefgrünen ölartigen Tropfen darstellt, welche Pringsheim bei Behandlung mit heissen Wasserdämpfen aus dem schwammigen Stroma der Chlorophyllkörner austreten sah.

Arthur Meyer²⁾ findet auch bei Untersuchung des intacten Chlorophyllkorns einer farblosen oder doch hellen Grundmasse grüne Kugeln eingebettet, welche er „grana“ nennt, und welche das Chlorophyll enthalten. Weil diese Grana mit Wasser quellbar sind, ohne dass der grüne Farbstoff sich löst, so folgt, dass sie nicht aus Chlorophyll allein bestehen können, sondern entweder ein Gemenge eines in Wasser quellbaren Körpers mit Chlorophyll sein müssen, oder dass innerhalb des Granums ein in Wasser quellbarer oder löslicher Kern liegt, während die chlorophyllführende Substanz diesen Kern als Kugelschale umgiebt.

Wie dem auch sein mag, so müssen wir daran festhalten, dass die Chlorophyllmoleküle auf keinen Fall in dem leichtbeweglichen Zustande einer Lösung oder einer Flüssigkeit in der Pflanze enthalten sind. Da man nun in den Chlorophyllkörpern unter normalen Verhältnissen den Farbstoff auch nicht krystallisirt findet, so ist das wahrscheinlichste, dass die Chlorophylltheilchen entweder in analoger Weise zwischen der Substanz eines festen Körpers eingelagert sind wie im festen Paraffin, oder dass sie in ebenso feiner Vertheilung zwischen den Theilen einer — festen und quellbaren oder flüssigen — Materie sich finden, in welcher das Chlorophyll nicht löslich ist.

Bevorzugt man die erstere Alternative, so würde man als Träger des Chlorophylls sich einen festen wachsartigen Körper vorstellen können, und durch diese Annahme wäre die Erscheinung der von Prings-

1) Z. B. Chlorophyllfunction und Lichtwirkung. S. 92 ff. des Separatabdrucks. 1882.

2) Das Chlorophyllkorn. S. 24 ff. 1883.

heim beobachteten grünen Tropfen, welche derselbe nach Erwärmung aus den Chlorophyllkörnern austreten sah, leicht zu erklären.

Die zweite Möglichkeit, dass die Chlorophyllmoleküle eine protoplasmatische Grundsubstanz in feinsten Vertheilung durchdringen, würde sich besser mit den physiologischen Thatsachen vereinbaren lassen, wenigstens dann, wenn wir annehmen, dass das Chlorophyll chemisch an der Reduction der Kohlensäure betheiligt sei. Denn die Kohlensäure muss in wässriger Lösung ihren Weg zu den Chlorophyllmolekülen finden, und da wäre eine feinere Vertheilung der letzteren in einem für Wasser durchdringbaren Medium jedenfalls verständlicher, als wenn das Chlorophyll an ein Medium gebunden und von diesem umhüllt wäre, welches durch Wasser überhaupt nicht berührt wird. Dann würden die Pringsheim'schen Versuche in der That die Deutung erfahren können, dass durch Erwärmung die bis dahin durch ein protoplasmatisches Medium getrennten Chlorophyllmoleküle zu Chlorophylltropfen vereinigt werden und als solche an der Oberfläche der Chlorophyllkörner austreten.

3. Die natürliche Farbe grüner Blätter.

Obwohl die Blätter der Bäume und Kräuter unserem Auge undurchsichtig und über dunklem Grunde sogar nicht einmal transparent erscheinen, ist ihre von unserer Gesichtswahrnehmung als grün classifizierte Farbe doch keineswegs eine Oberflächenfarbe im engeren Sinne zu nennen, wie sie so viele opake Körper aussenden. Obwohl in der Literatur verschiedene Angaben über das von den Blättern ausgesandte Reflexlicht existiren, scheinen mir die bisherigen Untersuchungen über das Zustandekommen desselben doch noch nicht vollständig befriedigend zu sein.

Zuerst hat sich wohl Simmler¹⁾ eingehender mit Untersuchung der grünen Farbe der Vegetation beschäftigt. Er fand, dass grüne Blätter im intensiven durchfallenden Lichte das äusserste Roth, ferner Orange Gelb und Grün hindurchlassen, während bei Anwendung schwächeren Lichts das Roth verschwindet. Er meint aber, dass das rothe Licht zwischen A und B sowohl die Blätter durchsetzen als auch von „ihrer Oberfläche“ reflectirt werden könne. „Das weisse Licht dringt bis in eine gewisse Tiefe der Chlorophyllschicht ein, kehrt in Folge einer Reflexion um und tritt, an gewissen Strahlen ärmer, als grünes Mischlicht heraus.“ Diesem Reflexlicht soll dann noch etwas rothes Fluorescenzlicht, also Eigenlicht des Chlorophylls, beigemischt sein.

Präciser wurde die Ursache der grünen Farbe der Vegetation durch Askenasy²⁾ definirt: „Indem weisses Licht auf die Blätter fällt, wird

1) Vermischte Mittheilungen. 2. Ein Erythrophytoskop. 4. Einiges über Fluorescenz und Absorptions-Erscheinungen beim Blattgrün. Pogg. Ann. 115. S. 593 ff. 1862.

2) Beiträge zur Kenntniss des Chlorophyllfarbstoffes und einiger dasselbe begleitender Farbstoffe. Bot. Zeit. 1867. S. 226.

ein Theil in der Oberfläche reflectirt, ein anderer Theil dringt in das Innere ein. Da das Blattgewebe aus das Licht verschieden brechenden Elementen besteht, und in den meisten Fällen auch sehr zahlreiche mit Luft erfüllte intercellulare Räume enthält, so wird ein grosser Theil des Lichtes in grösserer oder geringerer Tiefe reflectirt. Diesem unregelmässig reflectirten Licht verdanken die Blätter ihre Farbe.“ Es sei ferner anzunehmen, dass diesem Licht diejenigen Bestandtheile des weissen Lichts fehlen, die vom Chlorophyll am stärksten absorbirt werden. „Das Grün der Blätter entspricht deshalb nahezu dem von einer Chlorophylllösung durchgelassenen, man kann es im Allgemeinen als ein stark mit Roth gemischtes Grün bezeichnen.“

Weiter hat sich auch Lommel¹⁾ mit diesem Thema beschäftigt und ist ebenfalls zu dem Resultat gekommen, dass die grüne Farbe, in welcher uns die Pflanzen erscheinen, dieselbe Zusammensetzung habe, wie das durch ein einzelnes Blatt gegangene Licht. Es sind darin enthalten: Das äusserste Roth bis nahe vor B vollkommen ungeschwächt, die Strahlen zwischen C und E mit ziemlich grosser Lichtstärke, dunkelgrün und blau nur schwach bis zur Mitte von F und G, gar nicht oder äusserst schwach das Roth zwischen B und C, sowie das Blau und Violett von der Mitte zwischen F und G an. Man erkennt diese Zusammensetzung des von grünen Pflanzentheilen reflectirten Lichts auf das Beste, wenn man ein Spectroskop direct auf eine gut beleuchtete Baum- oder Strauchgruppe richtet. Dagegen bestreitet Lommel, dass der Pflanzenfarbe auch nur eine Spur von Fluorescenzlicht beigemischt sei.

Ich vermag diesen Angaben von Lommel nur zuzustimmen und kann insbesondere auch bestätigen, dass die spectroscopische Analyse des von beleuchteten Blättern zurückgeworfenen Sonnenlichts uns das Absorptionsspectrum des Chlorophylls erkennen lässt; auch die Verdunkelung im Orange und Gelb sah ich hierbei meistens sehr deutlich hervortreten.

Mit dem Spectrum des von grünen Blättern reflectirten Lichtes hat sich auch Vierordt²⁾ beschäftigt und die Lichtstärke desselben gemessen. Ein Ahornblatt reflectirte hierbei etwa $\frac{1}{3}$ mehr von dem unter 45° auffallenden Sonnenlicht, als es senkrecht auffallendes Sonnenlicht durchgehen liess. Es zeigte sich ferner, dass im Reflectionsspectrum die Strahlen von E bis F, im Absorptionsspectrum die von A bis D mehr vorwalteten, während der Antheil der Region D bis E nahezu derselbe war.

Ich möchte nur noch mit wenigen Worten die Frage erörtern, woher es kommt, dass bei dieser Beschaffenheit des von den Pflanzen reflectirten Lichts die Vegetation uns Grün erscheint und nicht etwa

1) Erythroskop und Melanoskop. Pogg. Ann. Bd. 143. S. 483. 1871.

2) Die Anwendung des Spectralapparates etc. Tübingen 1873. S. 77 ff.

rothgelb; wir sind berechtigt so zu fragen, weil ein beträchtlicher Theil von rothen, orangen und gelben Farben-Strahlen im Pflanzengrün enthalten ist.

Die so gestellte Frage fällt ziemlich zusammen mit der anderen, warum ein Blatt im durchfallenden Lichte grün aussieht.

Die Antwort auf diese Frage ist, wie ich glaube, eine sehr einfache. Relativ wenig geschwächt sind im Pflanzengrün nur die beiden Strahlengattungen: Roth von λ 720 bis 700 und Grün von λ 540 bis 520 enthalten. Von diesen beiden Farben afficirt das Roth unsere Netzhaut relativ viel weniger als das Grün, es kommt im Auge eine optische Contrastwirkung zu Stande, bei welcher die Helligkeitserregung im Sinne des Grün so sehr über diejenige des Roth überwiegt, dass letztere sich geradezu wie Dunkelheit verhält. Daher sehen wir nur Grün, nicht Roth; das Roth wird aber sogleich sichtbar, wenn wir mit Anwendung einer Gläsercombination wie im Erythroskop die grünen Strahlen absorbiren, so dass die rothen allein in unser Auge gelangen. Die vielen verschiedenen Töne des Grün bei den verschiedenen Pflanzen dürften vornehmlich durch den Wechsel in der Beimengung von orangen, gelben und blauen Strahlen hervorgerufen sein, die in der Pflanzenfarbe bald mehr bald weniger geschwächt neben dem Roth und Grün unser Auge treffen.

Etwas anders lautet die Antwort, welche Vierordt auf diese Frage ertheilt (l. c. S. 82); ich lasse die bezügliche Aeusserung dieses Beobachters ihrem Wortlaut nach folgen: „Die grüne Farbe des vom Blatt reflectirten und durchgelassenen Lichtes wird zunächst dadurch bedingt, dass die verhältnissmässige Gesammtelligkeit in den Regionen D bis G des Absorptions- und Reflexionsspectrums etwas grösser ist als im Sonnenspectrum. Indem auf diese Regionen $\frac{1}{10}$ der ganzen Lichtmenge des Sonnenspectrums fallen, so muss eine auch nur mässige relative Steigerung ihrer Lichtstärke den Eindruck des Grün hervorrufen. Dazu kommt noch, dass die verhältnissmässige Helligkeit des vom Pflanzenblatt reflectirten und absorbirten Lichtes von C bis D geringer ist, als im Sonnenspectrum.“

„Die verhältnissmässige Gesammtmenge des reflectirten und absorbirten rothen Lichtes ist — trotz der stärkeren Absorption im Bereich des Absorptionsbandes des festen Chlorophylls — gleichwohl grösser, als die relative Helligkeit von A bis C im Sonnenspectrum. Die stärkere Wirkung des Roth wird aber durch die gesteigerte Helligkeit des complementären Grün und Blaugrün mehr als compensirt.“

Endlich sei es mir vergönnt, auch der Reflectoren etwas eingehender zu gedenken, welche das grüne Pflanzenlicht zurückstrahlen. Ein Theil des weissen Sonnenlichts wird unverändert an den Cuticularwänden der Blattoberseite und, wo diese vorhanden sind, insbesondere auch an den Wachsausscheidungen reflectirt, ohne überhaupt in das Gewebe des Blattes einzudringen; in dem Masse als Papillen und Haare

die den einfallenden Strahlen zugekehrte Seite der Blätter bedecken, wächst die Grösse der reflectirenden Fläche im Verhältniss zur Grösse der das Blatt treffenden Lichtmenge, die wir uns bei Sonnenschein als eine für das Quadratmillimeter Blattfläche constante vorstellen können. Veranschlagen wir die von einer ebenen Zellwand reflectirte Lichtmenge auf etwa 8 bis 10 pCt. des einfallenden Lichts, so wird dieser Procentsatz sich steigern proportional der durch Unebenheiten verursachten Flächenvergrösserung, wobei auch noch Lichtverminderung durch Absorption dieser Unebenheiten (Wachsüberzüge, Haare) hinzutritt. Weitere Reflexe von jedenfalls geringerem Belange finden an jeder Schicht der Cuticularwände statt, ferner an den Grenzflächen von Protoplasma und Zellsaft sowie den inneren Wänden der Epidermiszellen; auch absorbiren diese letzteren einen Theil der Strahlen. Ist ferner die Blattfläche zur Richtung der einfallenden Sonnenstrahlen geneigt, so mindert sich hierdurch nach einem bekannten optischen Gesetze die Beleuchtungsintensität der Flächeneinheit proportional dem Sinus des Neigungswinkels.

So gelangt nur ein Bruchtheil des den Blättern zustrahlenden Lichts zu den Chlorophyllkörnern des Assimilationsparenchyms, wo die stärksten Absorptionen stattfinden. Hat aber ein Strahlenbündel ein Chlorophyllkorn passirt, so stösst es unter häufiger Zerstreuung auf die mannigfachsten und sehr verschieden gerichteten Reflectoren, die es wieder zurück und anderen Chlorophyllkörnern wieder zuwerfen; es sind dies die Grenzflächen der Zellwände, Protoplasmaschläuche und des Zellsafts, vor allen Dingen aber die luftgefüllten feinen Gänge zwischen den Palisadenzellen. Diejenigen Strahlen aber, welche das Blatt mehr in gerader Richtung bis zur Tiefe durchdringen, treffen bei sehr vielen Blättern an der Unterseite geradezu auf einen Spiegel, der die Mehrzahl derselben nochmals durch das Blatt von unten her hindurchwirft, so dass sie das Blatt von der Oberseite wieder verlassen.

Als einen solchen Spiegel haben wir alle diejenigen Vorrichtungen anzusehen, welche dahin wirken, dass die Unterseite eines Blattes uns heller, glaucescirend, ja weisslich erscheint. Häufig wird der hellbläuliche Schimmer der Blattunterseite durch Wachsüberzüge gebildet (*Magnolia glauca*, *Abies pectinata* u. a.) in zahlreichen Fällen durch feine, der Blattfläche anliegende Seidenhaare oder durch die stark entwickelte Luftschicht des Schwammparenchyms.

Alle diese Reflectoren, insbesondere aber der Hauptreflector auf der Unterseite der Blätter, werfen das Licht so zurück, dass es nach nochmaliger Absorption durch die Chlorophyllkörper die Oberseite der Blätter zuletzt wieder verlässt und unserem Auge in der grünen Mischfarbe des Chlorophylls, im Spectroscop mit den Absorptionsstreifen dieses Farbstoffs erscheint.

Diese Eigenschaft der Blätter kann zweifellos für die Pflanze in ökonomischer Hinsicht von hoher Bedeutung sein; es wird dadurch

eine Ausnutzung des der Pflanze zustrahlenden Lichtes erzielt, wie sie zweckmässiger nicht gedacht werden kann: Im vollen Sonnenschein werden selbst dickere Blätter sich auf diese Weise meistens im Zustande des Lichtmaximums der Assimilation befinden, d. h. sie würden nicht mehr Licht ausnutzen können, als sie erhalten, vielfach wird auch Licht die Blätter wieder verlassen, welches überflüssig gewesen war. Von der grössten Bedeutung wird aber das Princip der inneren Reflexion für die Pflanzen in Gegenden, wo an der grossen Mehrzahl der Sommertage die Sonne hinter Wolkenschleiern sich verhüllt und ihre Strahlen durch die Absorption der letzteren eine bedeutende Schwächung erfahren; in diesen Fällen bildet die durch die innere Reflexion bedingte Lichtersparniss der Pflanzen einen wesentlichen Factor für ihre Ernährung; von den Pflanzen im Waldesschatten gilt Aehnliches.

Es giebt sogar Pflanzen, die so gut wie nichts von dem Licht wieder frei geben, welches sie einmal eingefangen haben. Dahin gehören die mit dichtem anliegenden Filz bekleideten Blätter, z. B. diejenigen von *Stachys germanica*. Sind einmal Lichtstrahlen durch die obere Filzdecke hindurchgedrungen, so werden sie von der Unterseite reflectirt, sie treffen dann wieder von Innen heraus gegen den Haarfilz der Oberseite und dieser wirft sie zum grössten Theil wieder zurück in das Innere des Blattes, wo das gleiche Spiel sich wiederholt. Hiermit hängt es zusammen, dass derartige Pflanzen so wenig grünes Licht zurückstrahlen, dass sie weiss erscheinen. Sie reflectiren sicher weitaus den grössten Theil des auffallenden Lichts, und diese Eigenschaft kann für manche Pflanze ihres Standorts wegen Lebensbedingung sein; für den Bruchtheil des Lichtes aber, welches durch den Haarfilz der Oberseite wirklich hindurchdringt, versieht eben diese reflectirende Oberseite eine conservirende Function und sorgt für dessen ergiebigste Ausnutzung durch das Blatt.

4. Farbe und Assimilation.

Wenn wir als Farbe den Eindruck des durch die Absorption eines Pflanzenblattes in seiner Zusammensetzung veränderten Sonnenlichts auf unser Sehorgan definiren, so kann natürlich von einer Beziehung zwischen Farbe und Assimilation nicht die Rede sein; die Farbe ist dann nichts als eine subjektive auf einem specifischen Empfindungsvermögen beruhende Anschauungsform.

Wir können aber der Farbe auch eine objektive Geltung unterlegen, wenn wir darunter die Summe der von einem Pflanzenblatte durchgelassenen oder reflectirten Lichtwellen verstehen; in diesem Falle besteht eine unzweifelhafte Beziehung zwischen Farbe und Assimilation des Kohlenstoffs darin, dass diejenigen Lichtwellen, welche die Farbe eines Blattes ausmachen, in diesem Blatte keine Arbeit geleistet haben können, weil nur absorbiertes Licht sich innerhalb eines Körpers in eine andere Energieform umzuwandeln vermag.

Weil aber zweifellos alle Wellenlängen des Sonnenlichts im Blatt eine Absorption erfahren, so lässt sich a priori nichts darüber aussagen, ob nicht doch gerade Lichtwellen derjenigen Gattungen, welche, relativ durch das Blatt am wenigsten geschwächt, sich an der Erzeugung der Empfindung des Grün in unserem Auge theilnehmen, die wirksamsten im Assimilationsprocess sind; die Entscheidung dieser Frage gehört der Beobachtung.

Anderentheils soll aber nicht verkannt werden, dass nach dem allgemein in der Welt der Organismen herrschenden Princip der Nützlichkeit es schwer zu begreifen wäre, wenn zwischen den so sehr auffallenden Absorptionsverhältnissen des Chlorophylls¹⁾ und der Lichtwirkung im Assimilationsprocess kein engerer Zusammenhang bestehen sollte.

Bekanntlich hat Lommel²⁾ in einer geistvollen Abhandlung von anderem Gesichtspunkte aus gefolgert, dass das Maximum der Kohlenstoffreduction mit dem Absorptionsmaximum I des Chlorophyllspectrum zusammenfallen müsse. Es sei mir gestattet, auf einige Hauptgedanken dieser für den Pflanzenphysiologen wichtigen Abhandlung Lommels etwas näher einzugehen.

„Wir stellen uns vor“, sagt Lommel — und diese Vorstellung ist nach dem jetzigen Stande der Undulationstheorie gewiss unanfechtbar — „dass jedes Körpermolekül vermöge der Art und Weise seines Aufbaues aus Atomen und vermöge der besonderen durch die chemischen Molekularkräfte zwischen diesen bestehenden Verkettung auf eine gewisse Anzahl einfacher pendelartiger Schwingungen gleichsam abgestimmt ist. Wird nun das Molekül von einer Welle getroffen, deren Periode mit einer jener dem Molekül eigenthümlichen Schwingungen übereinstimmt, so setzt sie durch ihre in gleichem Tact wiederholten Stösse das Molekül in Bewegung oder verstärkt seine etwa schon vorhandene Bewegung. Die Welle giebt dabei entweder theilweise oder gänzlich ihre lebendige Kraft an die Moleküle des Körpers ab, sie geht deshalb nur geschwächt oder gar nicht durch den Körper hindurch, d. h. sie wird absorbirt. Andere Schwingungen, welche mit den in den Körpermolekülen gleichsam präformirten nicht stimmen, werden ungehindert oder wenig geschwächt durchgelassen. In der Regel wird ein Körpermolekül nicht nur einer, sondern vieler unter sich unharmonischer Schwingungen fähig sein, von denen die einen leichter, die anderen schwieriger ansprechen; auf welche Weise das Molekül auch in schwingende Bewegung versetzt werden mag, stets

1) Ein Vergleich der Assimilationscurve mit der Absorption einer alkoholischen Chlorophylllösung ist allerdings völlig bedeutungslos; nur die Absorption des lebenden Blattes darf zum Vergleiche herangezogen werden.

2) Ueber das Verhalten des Chlorophylls zum Licht. Pogg. Ann. 143. S. 568 ff. 1871. Vgl. auch N. I. C. Müller, Bot. Unters. I. S. 3 ff. 1872.

werden alle jene Vibrationen zusammen erklingen, welche dem Molekül vermöge der Art der Verkettung seiner Atome eigen sind. Die Absorption irgend eines Strahles ist um so energischer, je leichter das Molekül auf dessen Schwingungsperiode anspricht. An denjenigen Stellen des Spectrums, für deren Schwingungszahlen das Chlorophyllmolekül besonders leicht anklingt, werden demnach im durchgehenden Licht dunkle Absorptionsstreifen auftreten. ... Jeder absorbirte Strahl steigert nach Massgabe seiner Absorptionsfähigkeit die lebendige Kraft des gesammten dem Molekül eigenthümlichen Schwingungscomplexes. Die chemische Arbeit in der Pflanzenzelle wird verrichtet durch die lebendige Kraft, welche der Strahl bei der Absorption an die Zelle abgiebt.“

Diese Sätze, die nicht besser wiederzugeben sind als in der klaren Ausdrucksweise Lommels, werden eine der Grundlagen bilden müssen für jede Theorie der chemischen Lichtwirkung in der Pflanze.

Dagegen ist der weiteren Ansicht Lommel's nicht zuzustimmen, dass man auf deductivem Wege folgern könne, die wirksamsten Strahlen seien diejenigen, welche am leichtesten absorbirt werden und zugleich hohe mechanische Intensität besitzen, die rothen Strahlen zwischen *B* und *C*; — wenngleich diese Annahme zweifellos die nächstliegende ist. Aber die allgemein Gültigkeit des folgenden Ausspruches Lommels: „Ein Strahl, der vollständig absorbirt wird, bringt nur eine schwache Wirkung hervor, wenn seine mechanische Intensität gering ist“, — lässt sich bestreiten. Denn es besteht zweifellos neben der Absorption und der mechanischen Intensität des Lichtstrahls, die wir in seiner Wärmewirkung messen, sicher noch ein drittes Moment, von dem die chemische Wirkung abhängt, in der Schwingungszahl eines Lichtstrahls selbst. Denn wenn die violetten und ultravioletten Strahlen im Stande sind, Chlorsilber zu zersetzen und Chlorwasserstoff zu bilden, — was abgesehen davon, dass sie durch diese Substanzen absorbirt werden, trotz ihrer geringen mechanischen Intensität eine Function ihrer Schwingungszahl ist — warum sollte es daher a priori ausgeschlossen sein, dass sie nicht in der Pflanze auch die Hauptarbeit der Assimilation verrichten?

Als Muthmassung liess sich aus dem Gedankengange Lommels voraussagen, dass das Maximum der Wirksamkeit auf die rothen Strahlen zwischen *B* und *C* entfallen müsse, eine nothwendige Folgerung aus den gegebenen Prämissen ist es nicht.

Wichtig sind auch einige Bemerkungen Hoppe-Seyler's¹⁾ über Beziehungen zwischen den spektroskopischen Eigenschaften des Chlorophylls und der Assimilation. Derselbe hebt insbesondere hervor, dass Licht-

1) Ueber das Chlorophyll der Pflanzen. I. Zeitschrift für physiol. Chemie III. S. 339 ff.

emissionen und Absorptionen nicht vom ganzen Moleküle, sondern von den Atomen oder Atomgruppen bewirkt werden, und dass die Bewegung derselben unter gleichen Verhältnissen dieselbe bleiben kann, wenn an andere Atome oder Atomgruppen Anfügung oder Abspaltung von Atomgruppen geschieht. Da nun der grösste Theil der auf Chlorophylllösungen fallenden Sonnenlichts sich in rothes Fluorescenzlicht von der Wellenlänge der Spectralregion zwischen *B* und *C* verwandle, so müsse die Atomgruppe, welche das fluorescirende Licht aussende, eine sehr grosse und freie Beweglichkeit besitzen, da ihre Schwingungen so regelmässig sind und die verschiedensten Stösse, welche sie durch Lichtbewegung erhält, sie zu ihren regelmässigen Pendelschwingungen veranlassen. „In diesen Schwingungen sammeln sich die Lichtwirkungen und der Gedanke lässt sich nicht abweisen, dass diese Atomgruppe es ist, welche in der lebenden Pflanze die Arbeit der Abspaltung des indifferenten Sauerstoffs ausführt.“ Da nun das Chlorophyll in der lebenden Pflanze nicht fluoresciren, so müssten in der Pflanze durch das absorbirte Licht andere Effecte als Lichtschwingungen durch die bewegliche Atomgruppe ausgeführt werden.

An dieser Stelle möchte ich auch der Untersuchungen Vierordt's¹⁾ über die Absorption grüner Pflanzenblätter gedenken, welche derselbe photometrisch bestimmt hat. Die Untersuchungen beziehen sich auf Blätter von *Amorpha*, *Ampelopsis* und *Acer*. Die gewonnenen Werthe weichen unter sich bedeutend ab, was nicht zu verwundern ist, da Dicke, anatomischer Bau u. s. w. der Blätter dieser 3 Arten erheblich differiren; Vierordt macht selbst darauf aufmerksam, dass hier nicht blos die durch das Chlorophyll bedingte Absorption gemessen wurde, sondern dass auch der Lichtverlust durch das übrige farblose Pflanzengewebe mit hinzutritt. Bemerkenswerth ist unter den Resultaten Vierordt's, dass die Extreme in Helligkeit und Dunkel der einzelnen Regionen des Absorptionsspectrums geringere Differenzen zeigen, als es nach der blos qualitativen Spectralanalyse den Anschein hat; so zeichnet sich die Region *B* bis *C* nur durch eine mässig stärkere Absorption vor ihren Nachbarbezirken aus.

Den Vierordt'schen Zahlen geht leider die Uebersichtlichkeit ab, weil sie nicht auf Wellenlängen bezogen sind; doch hat der Verfasser in einer späteren Schrift²⁾ eine Tabelle gegeben, welche die Reduction seiner Spectralregionen auf Wellenlängen gestattet. Hiernach würden sich die Absorptionswerthe für das Ahornblatt³⁾ folgendermassen gestalten:

1) l. c. S. 71 ff.

2) Die quantitative Spectralanalyse. Tübingen 1876.

3) Spectralapparat S. 78. Tab. 31.

Spectralbezirk in Wellenlängen λ = Milliontel-Milli- meter	Extinctions- coefficient	Gesammtlichtstärke des Spectralbezirks in Tausenden von Licht- einheiten	Mittlere Lichtstärke des Spectralbezirks pro Scaleneinheit (Wellenlänge) be- rechnet
764 bis 722	0,0024	0,98	0,023
722 „ 690	0,0015	11,36	0,355
690 „ 663	0,00062	10,80	0,400
663 „ 630	0,0008	173,0	5,242
630 „ 610	0,00139	439,54	21,977
610 „ 581	0,00044	710,1	24,486
581 „ 555	0,00062	659,1	25,350
555 „ 534	0,00054	509,1	24,243
534 „ 515	0,00049	323,2	11,747
515 „ 500	0,00050	184,0	12,266
500 „ 486	0,00058	121,0	8,643
486 „ 472	0,00038	46,2	3,300
472 „ 458	0,00051	19,9	1,421
458 „ 447	0,00049	14,2	1,290
447 „ 427	0,00035	7,0	0,650
427 „ 417	0,00016	1,6	0,160
417 „ 409	0,00019	1,3	0,162
409 „ 402	0,000085	0,1	0,014

In vorstehender Tabelle enthalten Col. 2 und 3 die unveränderten Zahlen Vierordt's, Col. 1 die Vierordt'schen Spectralbezirke umgerechnet auf die Scala der Wellenlängen. Zieht man nun in Betracht, dass die Zahlen der Col. 1 in fast jeder Querreihe verschieden grosse Differenzen zeigen — die Differenz (= dem Spectralbezirk in Einheiten der Wellenlängenscala) in der ersten Reihe beträgt beispielsweise 42, die in der letzten nur 7 Scalatheile! — so kommt man zu dem Ergebniss, dass die Vierordt's Spectralbezirken entsprechenden Lichtmengen auch bei einer Reduction auf Wellenlängen nicht direct vergleichbar sind. Ich musste, um diese Vergleichbarkeit zu erreichen, eine weitere Reduction vornehmen. Das Ergebniss dieser Rechnung ist in Col. 4 der Tabelle enthalten, deren Werthe die mittlere Lichtstärke innerhalb der Vierordt'schen Spectralbezirke bezeichnen. Die Zahlen wurden erhalten mittelst Division der absoluten Lichtstärken durch die auf den Spectralbezirk entfallende Anzahl von Einheiten der Wellenlängen-Scala.

Um diese Werthe graphisch in einer unserer Absorptionscurven (S. 399) entsprechenden Weise darzustellen, kann man die Zahlen der

Col. 4 auf eine Decimale abrunden und von 100 subtrahiren, die so erhaltenen Differenzen aber als Ordinaten auf der Wellenlängenscala als Abscissenaxe auftragen; die Maxima der Curve sind dann Maxima der Absorption. In Bezug auf die so erhaltene Curve ist zu bemerken, dass sie ein Maximum zwischen B und C zeigt, aber kaum eine erhebliche Abnahme zwischen a und B erkennen lässt; die Curve fällt dann von C äusserst steil ab nach D und erreicht ihr absolutes Minimum (= Maximum der Lichtstärke) im Grün zwischen D und E, aber näher an D als die von mir bestimmte Absorptionscurve; Andeutungen der Absorptionsbänder II und III treten nicht hervor. Die Curve steigt jetzt rapide bis zwischen E und b, fällt dann wieder ein klein wenig gegen F, steigt nochmals rapide bis hinter F und dann langsamer gegen G und h; das zwischen diesen beiden Linien liegende Maximum ist etwas bedeutender als das zwischen B und C.

Diese Curve stimmt, da sie das Roth zwischen a und B nahezu ebenso stark verdunkelt zeigt als zwischen B und C, viel weniger mit der durch Vergleichung verschiedener Blätterlagen erhaltenen und Seite 399 abgebildeten Curven überein, als die Curve, welche Wolkoff¹⁾ durch Messung der Lichtstärke des Absorptionsspectrums einer alkoholischen Chlorophylllösung erhielt. Ob übrigens die von Wolkoff beobachteten Lichtstärken wirklich genaue Werthe für Chlorophyll oder mit Chlorophyll gemengtes Chlorophyllan und andere nicht trennbare Farbstoffe liefert, ist darum noch nicht zu entscheiden, weil die Absorption des Flintglases nicht berücksichtigt ist, was wünschenswerth erscheint, da nach Vierordt²⁾ durch Flintglas die Strahlen im violetten Ende des Spectrums recht bedeutend absorbirt werden; es ist deshalb nicht undenkbar, dass die von Wolkoff gefundene stärkere Absorption im Violett, gegenüber derjenigen zwischen B und C, wenigstens theilweise mit durch diesen Umstand herbeigeführt wurde.

Ich vermag zunächst noch nicht zu glauben, dass gerade die quantitative Curve der Absorption, wie sie das Spectrum der Blätter giebt, besonders geeignet wäre, um mit der Curve der Assimilationsintensität verglichen zu werden, ich denke, dass hierzu die qualitative, aus Vergleich verschieden dicker Schichten nach unmittelbarer Gesichtswahrnehmung gezeichnete Curve ausreicht, ja, dass sie die geeignetere ist. Ich bin der Meinung, dass vor der Hand nichts darauf ankommt, zu wissen, ob die Absorption des Chlorophylls zwischen B und C schwächer oder stärker ist, als diejenige bei G; denn das erstere vorausgesetzt, so giebt sich zwischen dem absoluten Absorptionsmaximum bei G und der Assimilationscurve gewiss keine Beziehung zu erkennen, weil sicher feststeht, dass die Assimilation bei G eine sehr geringe ist.

1) Die Lichtabsorption in den Chlorophylllösungen. Heidelberg 1876.

2) Spectralanalyse, S. 113 ff.

Unter der Voraussetzung, dass wir die Gasausscheidung von *Elodea canadensis* als Ausdruck der Assimilations-Intensität ansehen dürfen, liegt, wie ich gezeigt habe¹⁾, das Maximum der Assimilation zwischen B und C, um von dort gegen die weniger brechbare Spectralhälfte hinabzufallen. Zu unserem Holzschnitt S. 399 ist unter xy die Curve der relativen Assimilations-Intensität eingetragen; als Ordinaten dienten mir die procentischen Assimilationswerthe für die einzelnen Spectralregionen, der Maximalwerth = 100 gesetzt. Diese Curve zeigt deutliche Beziehungen zum Verlauf der Absorptionscurve in der weniger brechbaren Spectralhälfte. Die Assimilationscurve läuft sogar fast vollständig diesem Theile der Absorptionscurve parallel, wenn wir die beiden kleineren Absorptionsmaxima der Bänder II und III nur als accessorische Anhängsel der letzteren Curve gelten lassen. Meine Untersuchungen haben keine Beziehung der Assimilation zu diesen Bändern erkennen lassen, dieselben scheinen demnach für die Zersetzung der Kohlensäure so wenig in Betracht zu kommen, wie die Absorption im Violett. Sieht man daher von diesen beiden unwesentlichen Bändern ab, so erscheint die ganze Absorption in der weniger brechbaren Spectralhälfte als eine mit zunehmender Schichtendicke wachsende Verbreiterung von Band I, das in dünnerer Schicht nur den Raum zwischen B und C einnimmt; diese Auffassung befindet sich auch in vollem Einklange mit den Zahlen Vierordt's.

Wir gelangen nunmehr zu dem folgenden Ergebnisse:

Die Assimilation stellt sich durch den übereinstimmenden Verlauf der Curven dar als eine Function der Absorption in derjenigen Atomgruppe, welche im Chlorophyll wie auch in allen näheren Zersetzungsproducten desselben die Strahlen zwischen B und C lebhaft absorbiert, und im gelösten Zustande Strahlen der gleichen Wellenlänge als Fluorescenzlicht emittirt.

Dieser Zusammenhang kann unmöglich für einen zufälligen erklärt werden; es erscheint mir daher nicht unersprießlich, den Versuch zu machen, unter Zuhilfenahme der oben ausführlich citirten Sätze aus der theoretischen Optik in den Zusammenhang dieser Erscheinungen tiefer einzudringen; denselben aufzuklären wird einer vielleicht noch fernen Zukunft vorbehalten sein.

Die betreffende Atomgruppe des Chlorophylls, von deren Thätigkeit offenbar die Zersetzung der Kohlensäure abhängt, möge im Folgenden der Kürze halber als Gruppe γ bezeichnet werden. Ihre Atome besitzen die grösste Neigung, mit der Geschwindigkeit von 440 bis 450 Billionen Schwingungen pro Secunde zu oscilliren, d. h. mit den

1) Vgl. diese Berichte S. XV. Eine eingehende Begründung wird demnächst an anderer Stelle erscheinen.

Schwingungszahlen der rothen Strahlen zwischen B und C¹); von Strahlen dieser Wellenlänge und Brechbarkeit werden sie daher am leichtesten in Bewegung gesetzt. Weniger leicht schwingen die Atome von γ mit den nächst höheren Schwingungszahlen, wobei dahingestellt bleiben mag, ob die secundären, den Streifen II und III entsprechenden Schwingungsmaxima ebenderselben oder einer anderen Atomgruppe des Chlorophyllmoleküls angehören. Die Fähigkeit, mit noch höheren Geschwindigkeiten zu schwingen, sinkt dann rasch, um mit der Schwingungszahl 540 bereits sehr gering zu werden; ebenso nimmt die Fähigkeit, mit geringerer Geschwindigkeit als 440 zu oscilliren rasch ab, bei 410 ist sie bereits minimal.

Dieses eigenthümliche Schwingungsvermögen der Atome in der Gruppe γ können wir mit Sicherheit aus der Absorption des Lichtes in dieser Gruppe erschliessen; wir können daher auch sagen, die Assimilation ist eine Function des Schwingungsvermögens der Atome in der Atomgruppe γ des Chlorophyllmoleküls.

Wenn aber die Zersetzung der Kohlensäure direct abhängt von der specifischen Bewegungsart einer bestimmten Atomgruppe im Chlorophyllmolekül, so folgt für mich daraus, dass dieser Reductionsprocess durch die chemische Thätigkeit jener Atomgruppe bedingt sein muss.

Die Assimilation stellt sich dadurch als eine directe Function der Molecularstruktur des Chlorophylls, beziehungsweise der intramolecularen Bewegung der Atomgruppe γ dar, dass sie nachweislich eine Function ist der Lichtstrahlen von derjenigen Schwingungszahl, welche jene Atomgruppe mehr oder weniger leicht in Bewegung zu setzen vermögen; die Umsetzung der Energie der Wellenbewegung des Lichts in die Energie der Atomschwingungen der Gruppe γ dokumentirt sich für unser Auge durch das Verschwinden, d. h. die Absorption der betreffenden Strahlen. Das Chlorophyll assimilirt die lebendige Kraft des Lichtes, indem es dieselbe umwandelt in Atomschwingungen, von deren Energie die Zerspaltung der Kohlensäure abhängt; die mechanische Arbeit des Reductionsprocesses wird nur mittelbar durch das Licht geleistet.

Man braucht nun keineswegs anzunehmen, dass die pendelartigen Schwingungen der Atome innerhalb der Gruppe γ , welche die Kohlen-

1) In dem Holzschnitte S. 399 sind am oberen Rande die Schwingungszahlen eingetragen. — Es ist zu wünschen, dass man in der Pflanzenphysiologie sich über eine conforme Definition und Bezeichnung der Strahlengattungen einige, als deren Function die verschiedenartigsten physiologischen Processe uns erscheinen. Hierfür empfehlen sich am meisten die Schwingungszahlen, weil sie das einzige constante Kriterium der Strahlen sind. Denn die Farbe ist eine rein subjective Empfindung und lässt sich in Zahlen schwer ausdrücken; die Brechbarkeit ist abhängig vom Medium und wechselt mit diesem; die Wellenlänge ändert sich ebenfalls mit dem Medium, sie ist eine andere im Wasser als in der Luft. Nur die Schwingungsdauer ist vollkommen unabhängig von allen äusseren Einflüssen.

säurezersetzung hervorrufen, erst durch das Licht erzeugt werden, im Gegentheil, es ist wahrscheinlicher, dass sie auch im Dunkeln existiren, dass aber ihre Schwingungsamplitude, mithin ihre lebendige Kraft nicht gross genug ist, um die Assimilationsarbeit zu leisten. Die Wirkung des Lichtes besteht in einer Vergrösserung der Amplitude dieser Atomschwingungen, indem eine gewisse Weite derselben Bedingung selbst minimaler Kohlensäurezersetzung ist. Die Ausgiebigkeit des chemischen Processes wächst dann proportional der Steigerung der Lichtintensität bis zu einem Maximalwerthe der Schwingungsamplitude, welcher durch noch stärkere Beleuchtung nicht weiter erhöht werden kann. Dies würde die einfachste und ungezwungenste Erklärung sein für die von mir nachgewiesene eigenthümliche Abhängigkeit der Sauerstoffausscheidung von der Concentration des Lichtes¹⁾.

Durch die hier entwickelte Vorstellung wird der Frage nicht präjudicirt, ob die chemische Wirkung der Gruppe γ im Assimilationsprocess eine unmittelbare ist oder nicht²⁾; es ist dies aber eine Frage, die wir bei einer theoretischen Untersuchung um so weniger ausser Acht lassen dürfen, als wir durch die Untersuchungen von Becquerel³⁾ mit einer höchst interessanten mittelbaren Wirkung des Chlorophylls bekannt gemacht worden sind. Bekanntlich wird Chlorsilber für sich allein nur durch die sogenannten photographischen Strahlen des Sonnenlichts zersetzt, weil es nur Strahlen dieser hohen Schwingungszahlen genügend absorbirt. Als nun Becquerel Chlorsilber mit Chlorophyll gemischt auf einem Schirm dem Sonnenspectrum aussetzte, zeigte sich eine Metallabscheidung auch an den Stellen des Spectrums, welche den Absorptionsbändern des Chlorophylls entsprechen. Das Absorptionsvermögen des Chlorophylls hatte also das mangelhafte Absorptionsvermögen des Silbersalzes ergänzt und Strahlen der weniger brechbaren Spectralhälfte für den Zersetzungsprocess nutzbar gemacht. Wir können uns den Vorgang so vorstellen, dass die Chlorophyllmoleküle unter dem Einfluss der von ihnen absorbirten Lichtstrahlen zu erzittern begannen und ihre Vibrationen auf die Moleküle des Chlorsilbers übertrugen, wie eine angeschlagene Saite ihre Schwingungen an den Resonanzboden abzugeben vermag.

Die Berührung dieser Frage veranlasst mich auch der einzigen erheblichen Differenz zu gedenken, welche sich zwischen den Ergebnissen meiner Untersuchungen und derjenigen Engelmann's über den Verlauf der Assimilationscurve im Spectrum findet. Der Letztere hat

1) Vgl. diese Berichte S. XV und Bot. Zeit. 1883, Nr. 42 bis 44.

2) Als unmittelbare chemische Wirkungen würden Affinitäts- und katalytische Wirkungen zusammenzufassen sein; als mittelbar wäre sensibilatorische Erregung zu bezeichnen.

3) Comptes rendus. 79. S. 185.

nämlich ein zweites Maximum der Curve bei F angegeben¹⁾, von dem ich nichts wahrgenommen habe.

Es ist wahrscheinlich, dass nur einer von uns, Engelmann oder ich, Recht hat. Nehmen wir zuerst an, die von mir gewonnene Curve sei die richtige, so würde ich mir danach vorstellen, die Absorption der Gruppe γ des Chlorophyllmoleküls sinke von dem bei der Wellenlänge 550 auftretenden Minimum im Blattspectrum langsam bis zur Linie H, wo sie ungefähr den Nullpunkt erreicht; die starke Absorption im Blau und Violett gehöre dagegen einer anderen Atomgruppe an, die mit der Wirkung von γ direct nichts zu thun habe. Dass sie nicht sensibilatorisch wirkt, wie Chlorophyll auf Chlorsilber, folgt aus meiner Beobachtung; sie könnte aber auch die assimilirende Wirkung des Lichtes schwächen, indem sie Strahlen absorbirt, die, wenn auch in geringerem Grade, immerhin noch zur Erregung der Gruppe γ zu dienen vermöchten.

Hat dagegen Engelmann Recht, so könnte entweder die Absorption bei F noch eine Eigenschaft von γ sein, oder sie ist Eigenschaft einer anderen Gruppe, die sensibilatorisch auf γ wirkt, oder, falls die Wirkung von γ ebenfalls nur eine sensibilatorische ist, die Wirkung von γ verstärkt. Dann bleibt jedoch immer noch die Absorption im Violett, welche keinenfalls sensibilatorische Effecte hervorzubringen scheint.

Uebrigens lässt sich gegen die von Engelmann aus seinen Beobachtungen gezogenen Schlüsse noch der Einwand erheben, dass Engelmann es unterlassen hat, festzustellen, ob und wieweit gewisse Strahlen an sich bewegungserregend auf Bakterien wirken, analog ihrer Wirkung auf Schwärmsporen.

Dass sensibilatorische Wirkungen der Pflanzenpigmente vorkommen, dürfte nach den Beobachtungen Engelmann's über die Variationen der Assimilationscurve bei blaugrünen, braunen und rothen Algen wohl ziemlich zweifellos sein.

Wir haben in dem bisherigen Gange unserer theoretischen Untersuchung ausschliesslich die eine Seite der optischen Eigenschaften des Chlorophylls berücksichtigt, nämlich seine Absorption; es erübrigt daher noch die Frage zu erörtern, ob auch Beziehungen existiren zwischen der Funktion, d. h. der Assimilation, und der anderen optischen Haupteigenschaft des Chlorophylls, seiner Fluorescenz.

Man könnte versucht sein, diese Frage durch den Nachweis für erledigt zu halten, dass das Chlorophyll in dem Zustande, in welchem es in den Blättern enthalten ist, überhaupt nicht fluorescirt; allein eine genauere Ueberlegung zeigt, dass darum doch nicht jede Beziehung zwischen Assimilation und Fluorescenz zu fehlen braucht.

1) Ueber Sauerstoffausscheidung von Pflanzenzellen im Mikrospectrum. Botan. Zeit. 1882. S. 426.

Die Fluorescenz ist ein Vorgang des Selbstleuchtens; wie ein Stück Eisen durch Zufuhr von Wärme veranlasst werden kann, rothes Licht auszusenden, indem seine Theilchen durch ihre gesteigerten Vibrationen Aetherwellen von immer zunehmender Schwingungszahl erregen, so wird eine Chlorophylllösung durch Lichtstrahlen, welche sie absorbiert, veranlasst, eigenes rothes Licht zu emittiren, welches im Wesentlichen nur Strahlen von der Schwingungsdauer des Roth zwischen *B* und *C* enthält. Dabei wirken alle sichtbaren Strahlen als Erreger dieses Fluorescenzlichtes; allein das Maximum der Wirkung kommt demjenigen Spectralbezirke des einfallenden Lichtes zu, dessen Strahlen die gleichen Schwingungszahlen besitzen, wie das emittirte Licht.

Da die Atomgruppe γ nach unserer Vorstellung auch noch im Chlorophyllan und anderen Zersetzungsproducten des Chlorophylls enthalten ist, so liefert auch die Fluorescenz den Beweis, dass die Atome von γ vermöge ihrer eigenthümlichen Verkettung am leichtesten mit den Schwingungszahlen der Wellenlängen zwischen *B* und *C* vibriren; sie erregen sogar ausschliesslich Lichtwellen von dieser Schwingungsdauer.

Dass eine solche merkwürdige Eigenschaft der Gruppe γ ohne Beziehung zu der nicht minder merkwürdigen Function derselben sein sollte, erscheint wenig wahrscheinlich; ich glaube auch, dass sich der Versuch wagen lässt, eine solche Beziehung aufzudecken, wie dies bereits andeutungsweise in der oben citirten Aeusserung Hoppe-Seylers geschehen ist.

Indem das Chlorophyllmolekül Lichtstrahlen verschluckt, wird ein grosser Theil der absorbirten Energie unzweifelhaft in Wärme verwandelt; allein dem Chlorophyll eignet die bemerkenswerthe Fähigkeit, nicht unter allen Umständen alle zugestrahlte Energie in Wärme zu verwandeln sondern einen Theil derselben schon bei niedriger Temperatur in eine andere Energieform umsetzen zu können; so erzeugt im gelösten Chlorophyll der nicht in Wärme verwandelte Theil der zugestrahlten Energie das rothe Fluorescenzlicht, welches doch auch nur eine besondere Energieform darstellt, in welche die Energieform des zugestrahlten Lichtes umgesetzt worden ist. Die Fluorescenz kommt aber nur zu Stande bei einem besonders beweglichen Zustande der Chlorophyllmoleküle, wie er in einer Lösung gegeben ist. Hört diese Beweglichkeit auf, wie in dem durch Verdampfen einer Chlorophylllösung gewonnenen festen Rückstande, oder im Chlorophyll der Pflanzenzelle, so kann das Molekül den Energierest, mit dessen Hülfe es gelöst fluorescirte, jetzt zur Leistung von Arbeit verwerthen, und diese Arbeit besteht in den lebenden Zellen in der Reduction von Kohlensäure. Steht der Zelle keine reducibare Kohlensäure zur Verfügung oder ist sie abgestorben, so wird natürlich der sonst für die gedachte Arbeitsleistung verwendbare, aus dem zugestrahlten Licht stammende Energierest sich ebenfalls in Wärmeschwingungen verwandeln.

Somit sind Assimilation und Fluorescenz reciproce, oder, wenn man will, vicarirende Phänomene; es ist leicht möglich, dass beide einander ausschliessen, dass die grüne Zelle nicht assimiliren würde, wenn ihr Chlorophyll fluorescirte. Es kommt darauf an, in welcher Richtung die zugestrahlte Energie sich mit grösserer Leichtigkeit umsetzt.

Der Umstand, dass das Fluorescenzlicht ausschliesslich aus Roth der Spectralregion *B* bis *C* besteht, ist vielleicht auch ein Fingerzeig dafür, dass den mit der Geschwindigkeit von 440 bis 450 Billionen pro Secunde stattfindenden Vibrationen der Atomgruppe γ eine ganz specielle Bedeutung für die Zersetzung der Kohlensäure zukommt; denn es ist leicht vorstellbar, dass, wie im gelösten Chlorophyll alles Licht diese Schwingungen hervorruft, im festen Chlorophyll das Gleiche geschieht, dass hier nur ein Hinderniss besteht, um diese Atomschwingungen in der Weise auf den Aether zu übertragen, dass sie durch denselben als Fluorescenzlicht fortgeleitet werden.

Beziehungen der Assimilationscurve zur Vertheilung der Wärmewirkung und Helligkeitserregung im Sonnenspectrum existiren nicht; auf das einwirkende Licht bezogen, ist die Assimilation, wenn wir gleiche Dichtigkeit der Bestrahlung voraussetzen, ausschliesslich eine Function der Amplitude und gewisser Schwingungszahlen der Lichtwellen. Die lebendige Kraft dieser Lichtwellen überträgt sich durch Absorption auf die Atomschwingungen der Gruppe γ und durch diese weiter auf die zu zerlegende Kohlensäure. Es kommt dabei nicht auf die Vertheilung der lebendigen Kraft im Sonnenspectrum an, sondern auf die lebendige Kraft derjenigen Strahlen, die durch die wirksame Atomgruppe absorhirt werden.

Auf einen Umstand muss ich zum Schlusse noch hinweisen, der mir beachtenswerth und bisher nicht genügend berücksichtigt zu sein scheint: es ist das die fast genaue Coincidenz derjenigen Strahlen, welche unsere Gesichtsempfindung erregen und welche in der Pflanze die Kohlensäure zersetzen. Um dieses merkwürdige Verhältniss richtig zu würdigen, sei es mir gestattet, ein bereits oben herangezogenes Beispiel noch etwas weiter auszuführen.

Wenn ich ein Stück Metall erwärme, so gerathen seine Atome in Schwingungen, die sich den umgebenden Aethertheilchen mittheilen. Diese Schwingungen erfolgen anfänglich mit einer wenn auch steigenden, doch immer noch relativ langsamen Geschwindigkeit, so dass wir ihre Fortpflanzung auf den Aether wohl thermometrisch erkennen, nicht aber durch die percipirenden Elemente unserer Netzhaut wahrnehmen können; ebensowenig wirken diese ultrarothern Strahlen auf die assimilirende Thätigkeit der Pflanzenzelle. Bei weiterer Zufuhr von Wärme wächst die Geschwindigkeit der Vibrationen, bis sie, nach Erreichung einer gewissen Schwingungszahl pro Secunde gleichzeitig in unserem Auge die Empfindung des dunklen Roth zwischen den Fraunhofer'schen Linien

A und *a* hervorrufen und Kohlensäure in der Pflanze zerlegen. Mit weiterer Zunahme der Schwingungszahl steigern sich beide Wirkungen; die Wirkung auf das Auge nimmt zu mit Entstehung des Roth zwischen *B* und *C*, die Wirkung auf die Pflanze erreicht hier sogar ihr Maximum. Erwärme ich noch mehr, so gesellen sich dem Roth die Lichttöne des Orange, Gelb und Grün¹⁾, die in immer steigender Helligkeit das Auge afficiren, während die Wirkung dieser rascheren Schwingungen des Aethers auf die Pflanze wieder eine geringere wird; mit dem Auftreten der dunkleres Grün erregenden Vibrationen hat die Wirkung auf das Auge aber auch ihr Maximum überschritten und beide Wirkungen nehmen ab gegenüber den durch gesteigerte Erwärmung des Metalls immer rascher werdenden Schwingungen, deren Eindruck unser Auge als Blau und Violett definirt. Jetzt wächst die Vibrationsgeschwindigkeit der Metallatome noch weiter, aber sie vermag weder in unserem Auge deutliche Helligkeitsempfindung wach zu rufen, noch Kohlensäure zu zersetzen, beide Wirkungen erlöschen zugleich bei einer Tonhöhe der Strahlung, die ein gewisses Maximum überschreitet; und doch macht das Ultraviolett einen grossen Theil²⁾ im Spectrum des weissglühenden Metallstückes aus und äussert verschiedene mechanische Wirkungen, es erregt Fluorescenz, es zersetzt Chlorsilber u. s. w.

Diese Coincidenz in der Wirkung gewisser Schwingungstöne der Aetherstrahlung auf unser Auge und auf die Pflanze kann doch gewiss keine bloss zufällige sein, dafür geht die Uebereinstimmung zu weit, wobei der Umstand wenig in Betracht kommt, dass das Maximum der Assimilationswirkung im Roth, das Maximum der Helligkeitserregung im Gelbgrün liegt; denn die Lage dieser Maxima ist offenbar abhängig von den specifischen Eigenschaften des absorbirenden Pigmentes.

Und doch scheinen die beiden soeben verglichenen Lichtwirkungen so heterogen, so unvergleichbar wie möglich! Dort fungiren als percipirendes Organ die Chlorophyllkörner, hier gewisse Elemente der Netzhaut, und Beziehungen zwischen den Endwirkungen des Processes existiren gewiss nicht.

Trotz alledem müssen wir uns daran erinnern, dass die durch das Chlorophyll vermittelte Kohlenstoffassimilation geknüpft ist an die protoplasmatische Grundlage der Chlorophyllkörner und dass die lichtempfindlichen Elemente der Retina ebenfalls aus Protoplasma gebildet worden sind. Wenn überhaupt dieser übereinstimmenden Function des Lichtes eine physiologische Analogie entspricht, so kann dieselbe nur in dem Umstande gesucht werden, dass in beiden Fällen das Licht auf Protoplasma einwirkt.

1) Im Normalspectrum dürfte wohl das Maximum der Helligkeit im Gelbgrün gelegen sein.

2) Die leuchtenden bilden kaum den vierten Theil der Strahlen, welche die Sonne aussendet.

Wir gehen wohl nicht zu weit, wenn wir generalisirend den Satz formuliren: Lebendige Materie (Protoplasma) ist unter gewissen Umständen befähigt, auf Aetherwellen von der Schwingungsdauer 400 bis zur Schwingungsdauer 800 in besonderer Weise zu reagiren und dieselben in specifische Energieformen umzusetzen¹⁾.

Ich bin weit entfernt, in der durch diesen Satz ausgedrückten Beziehung eine Art von Naturgesetz erblicken zu wollen — derselbe ist nichts weiter als der Ausdruck eines Räthsels, auf welches unsere Betrachtung uns geführt hat. Auch soll dieser Satz keineswegs behaupten, dass Strahlen geringerer oder höherer Schwingungsdauer das Protoplasma überhaupt nicht zu afficiren vermögen; dass dies in verschiedener Weise geschieht, ist ja bekannt genug!

55. T. F. Hanausek: Ueber Blüthendurchwachsungen an *Picris hieracioides* L.

Eingegangen am 25. October 1883.

Im Vorjahre²⁾ beschrieb ich eine proliferirende Inflorescenz eines Exemplares von *Crepis virens* L., ohne weitere Bemerkungen daran zu knüpfen. Heuer ist es mir gelungen eine Blüthendurchwachsung an *Picris hieracioides* aufzufinden, deren Ausbildung schon insofern Interesse erregen dürfte, als sich an derselben einige entwicklungsgeschichtliche Fragen erörtern lassen — Beide Durchwachsungsfälle zeigen viel Aehnlichkeit miteinander, wie das ja begreiflich erscheinen muss, wenn es sich um so nahe verwandte Pflanzen handelt. Doch ist die Durchwachsung an dem *Picris*-Individuum viel energischer, durchgreifender, ich möchte sagen methodischer vor sich gegangen, während die teratologischen Veränderungen an dem *Crepis*-Individuum mehr den Charakter einer Missbildung als den der Antholysis zeigten. An der genannten *Crepis* war jede einzelne Blüthe so sehr verlängert, dass sie wie auf einem langen Stiele zu sitzen schien. Thatsächlich ist die Kronröhre bis zu der Stelle, wo die verkümmerte, unscheinbare und nur schwach gelbliche Zunge beginnt, oft bis 3 cm lang, einzelne

1) Eine genaue Bestimmung der Grenzen für die Assimilation existirt noch nicht und habe ich mir die Ermittlung derselben vorbehalten.

2) Oesterr. bot. Zeitschr. 1883, p. 283—284.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1883

Band/Volume: [1](#)

Autor(en)/Author(s): Reinke (Reincke) Johannes

Artikel/Article: [Die optischen Eigenschaften der grünen Gewebe und ihre Beziehungen zur Assimilation des Kohlenstoffs. 395-425](#)