

Dem Einwande, dass das zur Kulturflüssigkeit zugesetzte Serum oder Blut kapillar von Aussen an den Hypokotylen der Versuchspflanzen aufsteigen konnte und nicht durch die Wurzeln aufgenommen wurde, begegneten wir in der Weise, dass bei einer Kultur in Rinderblut die Hypokotyle der Keimlinge von *Phaseolus vulgaris* am Wurzelhals in einer Höhe von $1-1\frac{1}{2}$ cm mit Vaseline bestrichen wurden. Die Hypokotyle wurden behufs Verarbeitung oberhalb des Vaseline ringes abgeschnitten. Auch in diesem Falle konnte in dem Extrakte der oberirdischen Organe der Bohnenkeimlinge präcipitable Substanz nachgewiesen werden.

Die mitgetheilten Resultate sprechen dafür, dass Pflanzen imstande sein dürften, tierische präcipitierbare Substanz aufzunehmen.

Ob höheren Pflanzen diese Fähigkeit im Allgemeinen zukommt, ob grössere Mengen dieser Substanz aufgenommen werden können, und über deren Schicksal in der Pflanze sollen weitere Versuche Aufschluss geben.

Aus dem staatlichen serotherapeutischen Institute und der Biologischen Versuchsanstalt in Wien.

58. M. Tswett: Über die Spektrophotometrie der Chlorophylline und die Energetik des Chlorophylls.

Eingegangen am 22. Juli 1907.

In meiner letzten in diesen Berichten erschienenen Abhandlung wurden die spektroskopischen Eigenschaften der Chlorophylline festgestellt.¹⁾ Die spektroskopische Untersuchung, welche für die Charakterisierung der Farbstoffe vollständig zureicht, kann aber über das relative Absorptionsvermögen in verschiedenen Spektralbezirken nur ungefähre, zuweilen falsche Daten liefern. Quantitative Daten

1) Auf den im vorletzten Heft dieser Berichte erschienenen polemischen Aufsatz MARCHLEWSKI's, wo u. a. der Versuch gemacht wird, meine spektroskopischen Ergebnisse in Zweifel zu ziehen, werde ich nicht erwidern. Antwort geben die in meinen früheren und in vorliegender Mitteilung angeführten Tatsachen, sowie meine in der Biochemischen Zeitschrift erschienene Abhandlung über die Chlorophyllinderivate.

sind aber für das Verständnis der Chlorophyllenergetik von grossem Wert, und ich entschloss mich daher, meine spektrographische Untersuchung der Chlorophylline durch eine spektrophotometrische zu vervollständigen. Ich beabsichtigte zuerst Absorptionskoeffizienten für das ganze sichtbare Spektrum zu bestimmen, nach tieferer unten mitgeteilten —, Überlegung erschien es mir aber zwecklos, effektvolle aber nutzlose Zahlentabellen zu entwerfen, und ich begnügte mich, die relative Energie der Absorption in den zwei Hauptabsorptionsbändern der Chlorophylline zu ermitteln. Die Grenzlage dieser Hauptbänder ist (zehnfache Angströmeinheiten):

	Ätherische Lösung		Alkoholische Lösung	
	I	VI	I	VI
Chlorophyllin α	(655 - 667 ¹⁾	426—438	660—670	431—442
Chlorophyllin β	636—646	448—462	640—650	460—475

Schon die spektroskopische Untersuchung schien zu zeigen, dass bei den beiden Chlorophyllinen die Hauptabsorption im Blau (VI) stärker ist als im Rot (I). Eine Täuschung war jedoch möglich. Die verwendete Lichtquelle (WELSBACH'scher Brenner) ist relativ arm an kurzwelligen Strahlen (RUBENS). Es konnte daher (wie auch infolge der grösseren Dispersion im prismatischen Spektrum) eine schwächere Absorption der blauen Strahlen für das Auge stärker erscheinen als eine ansehnlichere Absorption im Rot. Definitive Erledigung konnte nur die photometrische Untersuchung ermöglichen.

Dieselbe wurde im Physiologischen Institut der Universität Berlin mit Hilfe eines ENGELMANN'schen Mikrospektralphotometers mit Gitterspektrum angestellt. Es ist mir hier eine angenehme Pflicht, Herrn Prof. TH. ENGELMANN für die liebenswürdige Überlassung seines Apparates und entsprechende Anweisung, sowie Herrn Prof. L. KNY, in dessen Institut ich meine Präparate herstellte, meinen verbindlichsten Dank auszusprechen.

Über die Bedeutung der spektrophotometrischen Bestimmungen.

Es scheint eine verbreitete Ansicht zu sein, dass in der spektralanalytischen Erforschung eines Farbstoffes die spektrophotometrische

1) In meiner letzten Schrift steht irrtümlich 662. Infolge des Verlustes des Korrekturabzuges sind in dem Aufsätze zahlreiche, übrigens wenig bedeutende Druckfehler geblieben. S. 141 ist in der Intensitätsskala der Chlorophyllin- β -Bänder Band V abwesend, welches zwischen III und II zu stehen hat.

Untersuchung exaktere Resultate liefert als die spektroskopische. Diese in der Theorie wohl plausible Annahme ist aber in der Wirklichkeit nicht unbedingt zutreffend, und es ist vielleicht nicht überflüssig hier anzudeuten, welches Gewicht auf die spektrophotometrischen Daten zu legen ist und inwieweit dieselben zu weiterer Verwendung — der alleinige Berechtigungsgrund aller wissenschaftlichen Ermittlungen — tauglich sind. Es ist gewiss, dass die spektroskopische Untersuchung uns nur über die Lage von Absorptionsbändern in exakter Weise unterrichten kann. Die relative Intensität derselben kann nur dann richtig beurteilt werden, wenn naheliegende Spektralbezirke verglichen werden, zwischen welchen keine grossen Lichtintensitätsdifferenzen (im einfallenden Lichte) herrschen und für welche der Schwellenwert der Lichtempfindung (EBERT) nahezu ein gleicher ist. Sonst kann eine schwächere Absorption in einem schwachleuchtenden Spektralbezirk einer stärkeren Lichtauslöschung im helleren Bezirke überlegen erscheinen. Es ist nie zu vergessen, dass „bei allen Beobachtungen mit dem Auge die Retina des Beobachters als integrierender Bestandteil in den analysierenden Apparat eingeht“ (EBERT 140).

Die spektrophotometrische Untersuchung ihrerseits hat den schweren Nachteil, dass sie für gewöhnlich in weit unreineren Spektren geschieht als die spektroskopische. Die Absorptionen müssen deswegen mehr oder weniger verschwommen und herabgesetzt erscheinen. Es kann dies dazu führen, dass enge und schwache Absorptionsbänder, welche im scharfen (mit engerem Spalte hergestellten) Spektrum wohl auftreten, bei der spektrophotometrischen Bestimmung — wenn nicht mit homogenem Licht ausgeführt — vermisst werden. In diesem Falle ist also die spektroskopische Untersuchung die exaktere. — Was die Absorptionskoeffizienten betrifft, so sind sie — wenn nicht im homogenen Lichte bestimmt — ausser dem von dem Auge des Beobachters abhängigen Fehler, noch mit dem konstanten folgenden behaftet, über dessen mögliche Grösse folgende Betrachtung belehren mag.

Es sei für die spektrophotometrische Untersuchung eine Lichtquelle benutzt, welche Strahlen von den Wellenlängen n , $n + 1$, $n + 2$, mit gleicher Intensität aussendet. Die Kollimatorspalte des Apparates (mit Normalspektrum) besitze eine solche Weite, dass das Licht einer bestimmten Wellenlänge sich auf das Intervall von sechs Teilstrichen der Wellenlängeskala ausbreitet (es ist das normale Verhältnis bei dem von mir in folgendem benutzten Apparate). Die Strahlen von der Gattung $n + 6$ werden sich dann auf das Intervall $n + 3$ bis $n + 9$ der Skala, die Strahlen $n + 7$ auf das Intervall $n + 4$ bis $n + 10$ usw. verteilen. Man kann sich für jeden Spektralbezirk des Apparates die Zusammensetzung der dahin

leuchtenden Strahlung bestimmen. Man stelle nun vor den Spalt einen absorbierenden Körper. Derselbe besitzt bei gegebener Dicke für die Strahlen $n + 11$ bis $n + 15$ den Schwächungskoeffizienten 0,5, für die Strahlen beiderseits aber den Koeffizienten 0,9. In folgender Tabelle sind die wirklichen sowie die zu beobachtenden Schwächungskoeffizienten bei einfacher wie bei doppelter Dicke des absorbierenden Körpers zusammengestellt.

	J/J_0	n + 6 bis n + 10	n + 11 bis n + 15	n + 16 bis n + 20
	einfache Schicht			
I	gegeben	0,900	0,500	0,900
II	beobachtet	0,831	0,637	0,831
	doppelte Schicht			
III	gegeben	0,810	0,250	0,810
IV	beobachtet	0,711	0,442	0,711
V	aus II berechnet	0,691	0,406	0,691

Man sieht, dass die mangelnde Reinheit des Spektrums unter Umständen recht bedeutende Fehler in der Bestimmung der Schwächungskoeffizienten verursachen kann, und dass die aus diesen letzten zu berechnenden VIERORDT'schen Absorptionsverhältnisse, den Gesetzen LAMBERT's und BEER's widersprechend, von der Dicke bzw. der Konzentration der absorbierenden Schicht abhängen würden. Zu dieser, beim Studium aller Farbstoffe sich geltend machenden Fehlerquelle gesellt sich im Falle der Chlorophylline noch eine andere, die, soweit mir bekannt, bisher nicht berücksichtigt worden ist. Was wir nämlich als Absorptionsspektrum eines Chlorophyllins (oder eines anderen Fluoreszenten) bezeichnen, ist ein kombiniertes Absorptions- und Emissionsspektrum, indem die durch alle vom Chlorophyllin absorbierten Strahlen hervorgerufene rote Fluoreszenz teilweise in den Spektralapparat hineinstrahlt und die Absorption der entsprechenden roten Strahlen geringer erscheinen lässt, als sie in Wirklichkeit ist. Um exakte Werte für die Absorptionskoeffizienten der roten Strahlen zu erhalten, wäre es nötig, in reinem roten Licht zu arbeiten, und noch dann würde die durch rotes Licht herangerufene Fluoreszenz die Genauigkeit der Resultate beeinträchtigen. Selbstverständlich würden auch die exaktesten Absorptionskoeffizienten uns nicht ohne weiteres über die vom Farbstoffe zurückgehaltene, in Wärme oder chemische Arbeit um-

gewandelte Energie belehren, da ein vielleicht ansehnlicher Teil der absorbierten Lichtenergie sofort als Fluoreszenzlicht allseitig abgestrahlt wird. Betrachtet man in meinem Luminoskop (TSWETT I) eine verdünnte ätherische Chlorophylllösung, so überzeugt man sich, dass die Fluoreszenz ein bei energetischen Betrachtungen nicht zu vernachlässigender Faktor ist.¹⁾

Photometrische Bestimmungen in Chlorophyllinenspektren.

Als Lichtquelle diente eine NERNST'sche Lampe. Die Lösungen wurden in den von ZEISS gefertigten Glaszellen in Höhen von 5 oder 10 mm untersucht. Die Weite der unverändert bleibenden Kollimatorspaltheilfte betrug den für die Messung geeigneten Wert von 0,2 mm, wobei die Na-Linie sich auf das Intervall von ungefähr 7 μ ausbreitete. Die Farbstoffe wurden in alkoholischer Lösung untersucht, in welcher die Lage der Absorptionsbänder sich mehr derjenigen nähert, welche dieselben im lebenden Blatte aufweisen. Die Lösungen wurden so weit verdünnt, dass nur die beiden Hauptabsorptionsbänder bei spektroskopischer Betrachtung erschienen. Die für jedes Chlorophyllin gemachten sechs Serien von Bestimmungen stimmen in dem Resultate überein, dass die Absorption im Blau grösser als die im Rot ist. Dasselbe fand auch Herr Prof. IWANOWSKI in Warschau, welcher die Güte hatte, meine Chlorophylline (in petrolätherischer Lösung) mit Hilfe des von MARTENS und GRÜNBAUM umgestalteten KÖNIG'schen Spektrophotometers zu untersuchen. Als Belege seien aus meinen Bestimmungen drei Serien mitgeteilt (die Zahlen sind Mittelwerte aus je fünf Messungen und bedeuten pCt.):

(Siehe die Tabelle auf S. 393.)

Das Überwiegen der Absorption in Blau ist besonders bei dem Chlorophyllin β stark ausgeprägt, dessen Schwerpunkt der Absorption unbestritten in der rechten Spektrumlälfte liegt. Das Band 460—475 ist noch bei solchen Verdünnungen zu unterscheiden, in welchen das „charakteristische“ Band im Rot vollständig verschwunden ist.

Über die Energetik des Chlorophylls.

Die an der Hand des Photometers vervollständigten Daten über die Spektren der Chlorophylline erlauben eine tiefere Einsicht in den energetischen Betrieb des Chlorophylls bezw. der Photosynthese zu gewinnen. Zuerst ist wohl zu betonen, dass das durch schon

1) Nach WALTER's Untersuchungen (Eosin, Magdalarot) ist das Fluoreszenzvermögen von der Konzentration abhängig. NICHOLS und MERRIT haben zu zeigen versucht, dass die Absorption von der Fluoreszenz abhängt, nach CAMICHEL's Untersuchungen ist aber dieses Resultat zweifelhaft geworden.

Chlorophyllin α		Chlorophyllin β			
		I		II	
λ	J/J ₀	λ	J/J ₀	λ	J/J ₀
680–690	53,5	—	—	—	—
675–680	15,0	—	—	—	—
670–675	4,8	—	—	—	—
660–670	1,9	660–670	71,5	665–675	74,5
657–660	7,9	650–660	54,2	655–665	61,0
650–655	18,0	640–650	45,8	645–655	48,0
640–650	32,1	630–640	65,5	635–645	53,0
620–640	51,2	—	—	—	—
500–510	74,2	—	—	—	—
490–500	72,4	—	—	490–500	71,8
480–490	66,5	—	—	485–490	54,0
470–480	63,0	—	—	480–485	41,7
460–470	53,8	475–480	34,5	475–480	40,2
455–460	42,2	470–475	27,3	470–475	26,3
450–455	33,3	460–470	15,7	460–470	18,1
445–450	20,0	450–460	20,1	450–460	21,7
440–445	10,6	440–450	} 33,0	440–450	40,2
430–440	0,9	430–440		430–440	40,3
420–430	2,4	—	—	420–430	62,0

langbekannte Tatsachen festgestellte Vorhandensein von Absorptionsbändern der Chlorophylline in der blauviolettten Hälfte des Spektrums vollständig zum Begreifen der Tatsache ausreicht, dass blauviolette Strahlen assimilatorische Wirkung besitzen. Das nachgewiesene Absorptionshauptmaximum des Chlorophyllins β hinter F macht uns verständlich, dass assimilatorische Tätigkeit auch in gelben Chromoplasten auftreten kann und ein Maximum auf der Linie F, nicht aber im Rot aufweisen. Es liegt somit nicht der mindeste Grund vor, den gelben Farbstoffen, dem Karotin und den Xanthophyllen eine unmittelbare assimilatorische Funktion zu vindizieren, und es bleibt eine heuristisch vielleicht wichtige Tatsache, dass die Farbstoffe der höheren Pflanzen oder der Algen, für welche photosynthetische Wirkung festgestellt oder nur wahrscheinlich gemacht worden ist, alle Fluorescenten sind.¹⁾

1) Dies Thema gedenke ich in einer grösseren Abhandlung zu entwickeln.

Optische Arbeitsteilung im Chlorophyll.

Die Chlorophylllösung besitzt bekanntlich im sehbaren Spektrum sieben Absorptionsbänder (einschliesslich der sog. Endabsorption). Die vier linken Bänder rühren ausschliesslich von den Chlorophyllinen her. In verdünnten Lösungen zeigt sich das I. Band des Chlorophyllins β als schattiger Anhang des I. Bandes des Chlorophyllins α . In konzentrierteren Lösungen treten die Bänder des Chlorophyllins β zwischen diejenigen des Chlorophyllins α und tragen dazu bei, dieselben zum frühzeitigen Verschmelzen zu bringen.¹⁾ Zugleich entsteht durch teilweise Überdeckung des IV. Chlorophyllin- α -Bandes und des V. Chlorophyllin- β -Bandes das schwache Band auf 535 $\mu\mu$, wozu das V. Band des in Chlorophylllösungen wohl nie absolut abwesenden Chlorophyllans α beiträgt. Ob dies Chlorophyllan auch im lebenden Blatte spurweise vorhanden ist, kann mit voller Bestimmtheit weder behauptet noch verneint werden. Das bekanntlich im unversehrten Blatte vorhandene Band im Grün kann jedenfalls ausreichend durch das Übereinandergreifen der entsprechenden Chlorophyllinbänder erklärt werden.

Was die drei Absorptionsbänder des Chlorophylls hinter F betrifft, welche auch ohne photographische Platte vorzüglich zu konstatieren sind, so rühren sie, wenn nicht ausschliesslich, so doch hauptsächlich auch von den Chlorophyllinen her, wobei das erstere, kurz nach F gelegene durch die Hauptabsorption des Chlorophyllins β bedingt ist und mittels Auswaschungen nach SORBY's oder KRAUS' Verfahren leicht zu entfernen ist, wie dies schon SORBY und MONTEVERDE konstatiert hatten. Es ist hier interessant, die Beobachtungen HAGENBACH's über die Fluoreszenz des Chlorophylls heranzuziehen. Als dieser Forscher auf eine ätherische Chlorophylllösung im dunkeln Raum ein Sonnenspektrum projizierte, sah er den sieben Absorptionsbändern — der Lage nach — entsprechend, ebensoviele leuchtende rote Bänder auftreten, deren letztes sich in das Ultraviolette erstreckte. Die relative Intensität dieser Fluoreszenzbänder war

$$I > VI > V > II > III > IV^2)$$

1) Ich erlaube mir daran zu erinnern, dass die in meiner letzten Abhandlung mitgeteilten Chlorophyllspektren durch mehrere Kontrollmethoden erhärtet wurden, u. a. durch die an der Hand einer naturentsprechenden Vermischung der Teilfarbstoffe erreichte Synthese des Chlorophyllspektrums *in vitro* (II. 141). Will man die Synthese auf dem Papier vollziehen, so darf man natürlich nicht die gleichen Konzentrationen entsprechender Spektrogramme 4 und 8 der Tafel III kombinieren, sondern etwa die Spektrogramme 3 und 6 oder 4 und 7. Dies entspricht dem natürlichen Verhalten, wie es sich in verdünnter Chlorophylllösung manifestiert, wo Band I des Chlorophyllins β als schattiger Anhang des I. Chlorophyllin- α -Bandes auftritt.

2) Die Numerierung der Bänder ist bei HAGENBACH eine andere, da er als

Das VII. vom Chlorophyllin α herrührende, nach meinen Feststellungen dem I. überlegene Band leuchtete jedoch schwächer als dieses. Dieser scheinbare Widerspruch erklärt sich aber durch den geringeren Energiegehalt der verwendeten blauen Strahlen den roten gegenüber (LANGLEY), sowie durch ihre grössere Dispersion im prismatischen Spektrum. Während nämlich die Strahlen von $\lambda = 660$ bis 670 sich auf etwa zwölf Teilstriche der HAGENBACH'schen Skala erstreckten, behaupteten die $\lambda = 430$ bis 440 ein Intervall von 44 Teilstrichen.

Gleich nach dem VI. Band kam, der leuchtenden Kraft nach, das Band V, welches dem Chlorophyllin β angehört. Die Absorption des Chlorophyllins α war also in der untersuchten Lösung für die brechbareren Strahlen eine ansehnlichere als die Absorption des Chlorophyllins β . Es ist natürlich vorausgesetzt, dass die Intensität der Fluoreszenz in allen Teilen des Spektrums der absorbierten Energie proportional ist (STARK).

Alle diese Betrachtungen lassen sich mit einiger Vorsicht auf das in Chloroplasten eingebettete Chlorophyll übertragen. Zwar sind daselbst die Bänder stark nach dem Ultrarot verschoben, ihre Zahl und Intensitätsreihe bleiben aber dieselben wie in Chlorophylllösung. Übereinstimmend mit GERLAND und den neueren Forschern (WEGSCHEIDER, MONTEVERDE) sah ich (*Elodea*) das I. Band ausgesprochen doppelt auftreten, wobei das schwächere zweite (zweifelloos dem Chlorophyllin β angehörende) Absorptionsmaximum sich von ersterem scharf abhebt. Die relative Intensität der Chlorophyllbänder in *Aspidistra*-Blättern fand MONTEVERDE als

$$Ia > V > Ib > II > III > IV.$$

Also erscheint auch im lebenden Blatte die Absorption der blauen Strahlen durch das Chlorophyllin β intensiver als die der roten.

Über das quantitative Verhältnis der Chlorophylline im Chlorophyll.

Es ist eine nächstliegende Aufgabe der physiologischen Chlorophyllforschung, die qualitative Analyse des Chlorophyllkomplexes durch eine quantitative zu vertiefen. Sowohl vom Standpunkte des Studiums des Adaptationsvermögens der Lebewesen (ENGELMANN'sche komplementäre chromatische Adaptation), wie in Hinsicht auf die Frage nach dem chemischen Mechanismus der Photosynthese ist es

V. Band das in frischen Chlorophylllösungen vollständig abwesende Band IVb der späteren Autoren (Chlorophyllan- α -Band) bezeichnet. Band VI (VII. HAGENBACH's) war von dem schwächeren VII. schlecht abgegrenzt. HAGENBACH sagt, dass seine Intensität gerade vor G die grösste war.

erforderlich, die Abhängigkeit der Chlorophyllzusammensetzung von den äusseren Faktoren zu erforschen. U. a. ist die Frage nach dem quantitativen Verhältnis der beiden Chlorophylline in höheren Pflanzen aufzuwerfen.

Es kann vorläufig nicht die Rede sein von der direkten Feststellung des molaren oder des Gewichtsverhältnisses, welches auch für die Physiologie von untergeordnetem Interesse ist.

Wir können aber versuchen, die relative Konzentration der beiden Farbstoffe zu eruieren, indem wir deren optischen Effekt untersuchen und voraussetzen, dass gleiche Mole gleiche Absorptionsenergie, z. B. für die roten Strahlen besitzen. Es handelt sich also sozusagen um Bestimmung der Farbstoffe in optischen Äquivalenten.

Schon SORBY (S. 480) hatte versucht, die Frage auf diesem Wege zu lösen. Zu dem Zweck überführte er das zu untersuchende Chlorophyll in Benzol, in welcher Lösung die Absorptionen der Chlorophylline im Rot viel weniger übereinandergreifen als in alkoholischer. Die Lösung wurde dann in gleichweite Glasröhren verteilt. Ihre Verdünnung war derart, dass beim Einstellen des Proberohres von dem Spalte des Spektroskopes, das I. Band seine zwei ungleich starken Hälften in bester Ausprägung aufwies. Es wurde dann die Lösung in einem Rohre solange mit Benzol verdünnt bis das I. Band des Chlorophyllins α in gleicher Intensität erschien wie das I. Band des Chlorophyllins β im anderen Rohre. Aus dem Grade der nötigen Verdünnung ergab sich die relative Konzentration der beiden Pigmente. Nach dieser Methode fand SORBY für das quantitative Verhältnis der Chlorophylline

	Chlorophyllin α („blue Chlorophyll“)	Chlorophyllin β („yellow Chlorophyll“)
Gesunde grüne Blätter	100	13—17
In stark verdunkeltem Raum ge- wachsene Blätter	100	5—6

Um genauere Zahlen zu erhalten wäre selbstverständlich ein Spektrophotometer nötig, und wären auch Lösungen der isolierten Farbstoffe, nicht aber des Gemisches zu vergleichen, wo die Absorptionen der knapp aneinandergrenzenden ersten Bänder der Chlorophylline notgedrungen etwas übereinander greifen.

Die angeführten SORBY'schen Zahlen finden sich in befriedigender Übereinstimmung mit den Resultaten folgender Schätzung. Stellt man sich Chromatogramme des Chlorophylls (am leichtesten aus Benzollösung) her und vergleicht man die Höhen der in ihrer Farbe etwa gleich gesättigt erscheinenden Chlorophyllzonen, so erhält man für das Verhältnis:

$$\frac{\text{Chlorophyllin } \beta}{\text{Chlorophyllin } \alpha} = \frac{1}{4} - \frac{1}{6}$$

Dies Verhältnis kann man endlich mit Hilfe meiner in voriger Abhandlung mitgeteilten spektroskopischen Tabellen und Spektrogramme annähernd zu schätzen versuchen. Um das Aussehen des ersten Chlorophyllbandes in verdünnter Lösung zu bekommen, muss man nämlich etwa die Spektrogramme 3 und 6 der Tafel III kombinieren. Vorausgesetzt dass die Spektrogramme 2 und 6 derselben Konzentration der Pigmente entsprechen, würde man für das gesuchte Verhältnis den Wert $\frac{1}{4}$ erhalten. Aus den obigen verschiedenen Informationsquellen folgt also, dass, wenn wir für die Chlorophylline gleiches molekulares Absorptionsvermögen für die spezifisch roten Strahlen beanspruchen, auf jedes Molekel des Chlorophyllins β sich im Chlorophyllgemische etwa fünf Molekel des Chlorophyllins α vorfinden.

Um exakte, voraussichtlich mit den Spezies und den Wachstumsbedingungen variable Werte zu erhalten, würde sich vielleicht die Titration der Chlorophylline als Säurederivate, nämlich als Chlorophyllane bewähren. Die petrolätherische Lösung des durch eine organische Säure zersetzten Chlorophylls liefert ein Chromatogramm, wo die Chlorophyllanzonen, durch einen Xanthophyllring getrennt, scharf voneinander gesondert auftreten. Die Chlorophyllane würden sich daher leicht quantitativ abtrennen und ohne vorherige Entfernung der Xanthophylle spektrophotometrisch titrieren lassen.

Literatur.

- CAMICHEL, C., Journal de Physique [4] **4** (1905) 873.
 EBERT, H., Wiedem. Ann. **33** (1888) 136.
 GERLAND, E., Poggend. Ann. **148** (1873) 99.
 HAGENBACH, E., Pogg. Ann. **141** (1870) 245.
 LANGLEY, S., Researches on solar heat. Washington 1884.
 MÓNTEVERDE, N., Acta Horti Petropol. **13** (1893) 123.
 NICHOLS and MERRIT, Physical Review **18** (1904) 447.
 RUBENS, H., Drudes Ann. **18** (1905) 856.
 SORBY, H., Proceed Roy. Soc. **21** (1873) 442.
 STARK, J., Physik. Zeitschr. 1907, S. 81.
 TSWETT, M., I. Diese Berichte **24** (1906). II. ebd. **25** (1907) 137. III. Über Phylloxanthin, Phyllocyanin und die Chlorophyllane (Biochem. Zeitschr. **5** (1907) 6).
 WALTER, B., Wiedem. Ann. **34** (1888) 316.
 WEGSCHEIDER, R., Diese Berichte, **2** (1884) 494.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1907

Band/Volume: [25](#)

Autor(en)/Author(s): Tswett (Zwet) Michail Semjonowitsch

Artikel/Article: [Über die Spektrophotometrie der Chlorophylline und die Energetik des Chlorophylls. 388-397](#)