

der Zellhaut auf eine Reihe von Erscheinungen aufmerksam mache, welche nur unter der Annahme, dass die Zellhaut belebt sei, verständlich werden. So sagte ich, um nur ein Beispiel anzuführen p. 61: „Nach LEITGEB's Untersuchungen entsteht bei *Sphaeocarpus* . . . u. a. Lebermoosen des Perinium nicht aus einem Periplasma; es geht dasselbe vielmehr aus der innersten Lamelle der Specialmutterzelle hervor, welche überall dicht der äussern „sporeneigenen“ Haut, der wahren Exine, anliegt. Diese innerste Lamelle erfährt nun gleich den übrigen Sporenhäuten im Laufe ihrer Entwicklung vielfache z. Th. sehr tief eingreifende morphologische und chemische Veränderungen, welche wohl erst verständlich werden, wenn man die Membran als belebt, d. i. als protoplasmführend, annimmt.“ U. v. a.

Trotz alledem sagt Herr Dr. KRABBE mit Bezug auf meine Arbeit¹⁾: „Wie das Protoplasma, so soll auch die Zellmembran nach WIESNER als lebend bezeichnet werden müssen, weil sich in ihr Protoplasmasubstanzen nachweisen lassen. Diese Behauptung stützt sich indess nicht auf directe Beobachtungen, ist vielmehr erst indirect aus den Thatsachen gefolgert, dass sich in den Membranen wachsender Gewebe Eiweissverbindungen vorfinden. Ich habe aber in der Arbeit WIESNER's ganz vergeblich nach Gründen gesucht, aus denen man etwa die Berechtigung herleiten könnte, diese fraglichen Eiweisssubstanzen mit dem Protoplasma zu identificiren, worauf schon von KLEBS mit Recht hingewiesen ist.“

5. Franz Schütt: Ueber das Phycoerythrin.

(Mit Tafel III.)

Eingegangen am 20. Januar 1888.

Das Chromophyll der Florideen ist schon mehrfach Gegenstand der Untersuchung gewesen. Die ersten Notizen verdanken wir KÜTZING,²⁾ welcher zuerst einen rothen in Wasser löslichen Farbstoff, den er Phycoerythrin nannte, von dem grünen Chlorophyllfarbstoffe unterschied. Später haben dann NÄGELI und SCHWENDENER³⁾ weitere Angaben

1) PRINGSHEIM's Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. 18 pag. 352 und 353.

2) FRIEDR. TRAUOGOTT KÜTZING, Phycologia generalis. Leipzig 1843. pag. 21.

3) NÄGELI und SCHWENDENER, Das Mikroskop. Leipzig 1867. pag. 498.

über die Florideenfarbstoffe gemacht. Sie nehmen den Namen Phycoerythrin von KÜTZING auf, legen ihm aber eine andere Bedeutung bei, indem sie darunter den gesammten Farbstoff der Florideenchromatophoren verstehen, also die Summe des wasserlöslichen rothen und des alkohollöslichen grünen Farbstoffes. COHN¹⁾ hat dann später den Namen für den Gesammtfarbstoff streng unterschieden von dem der einzelnen Bestandtheile. Den ersteren nannte er Rhodophyll, für die Bestandtheile gebrauchte er die KÜTZING'sche Bezeichnungsweise: Phycoerythrin für den wasserlöslichen rothen, und Chlorophyll für den alkohollöslichen grünen Stoff. Auch ASKENASY²⁾ folgt der KÜTZING'schen Nomenklatur, ebenso ROSANOFF³⁾, der auch den Beweis liefert für die Identität des in Wasser unlöslichen grünen Farbstoffes der Florideen mit dem Chlorophyllfarbstoff. PRINGSHEIM⁴⁾ gebraucht nebeneinander die Namen Florideen-Roth und Phycoerythrin. Sein Florideenchlorophyll oder Florideen-Grün soll jedoch nicht identisch sein mit dem gewöhnlichen Chlorophyllgrün der phanerogamen Gewächse. Eine gewisse Abweichung in der Nomenklatur wurde durch die Untersuchung von REINKE⁵⁾ bedingt. Derselbe nimmt den COHN'schen Namen Rhodophyll für den Gesammtfarbstoff wieder auf. Da nach seiner Untersuchung aber der Farbstoff der lebenden und todten Chromatophoren nicht identisch ist, so reservirt er den Namen Rhodophyll für „die Gesammtheit farbiger Moleküle in lebenden Chromatophoren von Florideen“.

Ich schliesse mich dieser Nomenklatur an, und werde demgemäss in der nachfolgenden Arbeit den Namen Rhodophyll für den Gesammtfarbstoff nach der REINKE'schen Definition gebrauchen. Phycoerythrin nenne ich dann damit analog die Gesammtheit der durch Wasser aus den Florideenchromatophoren extrahirbaren Farbstoffmoleküle. Die Gesammtheit der durch Alkohol aus den Florideen extrahirbaren Farbstoffmoleküle nenne ich, wie PRINGSHEIM, „Florideen-Grün“. Ich vermeide dabei den Namen Chlorophyll, der von altersher für den grünen Farbstoff der lebenden Chromatophoren gebraucht worden ist, da er nach der REINKE'schen Deduktion nicht mehr gleichzeitig für den Farbstoff der Chlorophylllösung gebraucht werden darf. Den von TIMIRJAZEFF eingeführten und von TSCHIRCH schon angenommenen sehr brauchbaren

1) COHN, Bot. Zeitg. 1867 pag. 38.

2) ASKENASY, Beiträge zur Kenntniss des Chlorophylls und einiger dasselbe begleitender Farbstoffe. Bot. Zeitg. 1867 pag. 233.

3) ROSANOFF, Observations sur les fonctions et les propriétés des pigments de diverses Algues. (Mémoires de la Soc. impér. des Scienc. natur. de Cherbourg. T. XIII. Paris 1867. pag. 202 u. ff.

4) PRINGSHEIM, Untersuchungen über das Chlorophyll. II. Abth. (Monatsberichte der K. Akademie der Wissenschaften zu Berlin. Dezember 1875.

5) REINKE, Photometrische Untersuchungen über die Absorption des Lichtes in den Assimilationsorganen. Sep.-Abdr. aus Bot. Zeitg. pag 19.

Namen Chlorophyllin vermeide ich hier ebenfalls, weil derselbe den „reinen“ grünen Farbstoff bezeichnen soll, vom Florideen-Grün aber wissen wir noch nicht sicher, ob es überhaupt ganz identisch ist mit dem Chlorophyllfarbstoff der Phanerogamen; ja es steht noch nicht einmal fest, ob es ein einfacher Farbstoff ist, oder ob es analog dem alkoholischen Extrakte der phanerogamen Blätter aus einem Gemisch eines grünen und eines gelben Farbstoffes besteht.¹⁾

Aus dem oben Gesagten geht zur Genüge hervor, dass die alten Namen für die Farbstoffe sich mit den neueren Begriffen über dieselben keineswegs mehr ganz decken. Die neueren Untersuchungen verlangen eine weitergehende Unterscheidung und eine präcisere Definirung.

Bei solchen Verschiebungen ist die Gefahr, dass eine Verwirrung in der Nomenklatur entsteht, stets sehr naheliegend. Es liegt mir darum ob, auch für die später zu erwähnenden Farbstoffe genau zu definiren, welche Begriffe ich bei meinen Mittheilungen mit dem gebrauchten Namen verbinde. Um Wiederholungen zu vermeiden, werde ich hier gleich am Anfange eine kurze Zusammenstellung derjenigen Namen geben, welche ich genöthigt bin im Folgenden zu gebrauchen. Als Ziel einer solchen Nomenklatur steht mir dabei vor Augen eine möglichst weit durchgeführte Consequenz in der Namengebung, weil nur durch eine grosse Einheitlichkeit die Durchsichtigkeit derselben gewahrt bleibt. Wo also die Wahl vorhanden ist zwischen mehreren Namen, schliesse ich mich derjenigen Bezeichnungsweise an, welche eine möglichst einheitliche Nomenklatur gestattet. Ich werde verstehen unter:

Chromophyll²⁾ ³⁾ den Farbstoff der lebenden assimilirenden Chromatophoren unabhängig von der Frage, ob derselbe aus einer oder mehreren Farbstoffgruppen gebildet ist und unabhängig davon, von welcher Farbe die Chromatophoren sind, ob roth, braun, gelb oder grün.

Nach den Pflanzengruppen gliedert sich das Chromophyll dann weiter in:

Chlorophyll³⁾ = Chromophyll der grünen Pflanzen von den Phanerogamen abwärts bis zu den grünen Algen.

Rhodophyll⁴⁾ = das Chromophyll der Florideen.

Phaeophyll³⁾ = das Chromophyll der Phaeophyceen.

1) REINKE (in PRINGSHEIM's Jahrbücher X pag. 405) hat durch Ausschütteln des Alkoholchlorophylls von *Batrachospermum* keine gelbe dem Phycoxanthin resp. dem Xanthophyll entsprechende alkoholische Lösung erhalten. NEBELUNG. (Spektroskopische Untersuchung der Farbstoffe einiger Süßwasseralgen in Bot. Zeitg. 1878 pag. 397) giebt an, dass ihm eine Entmischung der grünen Alkohollösung mittelst Benzin gelungen sei.

2) cf. ENGELMANN, Bot. Zeit. 1884. pag. 81.

3) REINKE l. c. pag. 6.

4) REINKE l. c. pag. 9.

Cyanophyll = das Chromophyll der Cyanophyceen.

Melinophyll¹⁾ = das Chromophyll der Diatomeen.

Pyrrophyll²⁾ = das rothbraune Chromophyll der Peridineen.³⁾

Die Endung —phyll bei dem Farbstoffnamen bleibt also überall reservirt für die Farbstoffe der „lebenden“ Chromatophoren und mag nicht vermischt werden mit den Namen für die Zersetzungsprodukte derselben.

Diese letzteren trennen sich in zwei grosse Gruppen, eine in Wasser lösliche und eine in Alkohol lösliche. Die letzte Gruppe, das Alkoholchlorophyll, scheidet sich wiederum in 2 Hauptgruppen, eine mehr minder „grüne“, die Chlorophyllgruppe, und eine gelb-rothe, die Xanthophyllgruppe.

Die Chlorophyllgruppe: das Chlorophyllin = der reine, grüne, unveränderte, xanthophyllfreie Farbstoff des Alkoholchlorophylls. Die Xanthophyllgruppe: Xanthophyllin = der mit dem Chlorophyllin im Alkoholchlorophyll vergesellschaftete gelbe Farbstoff der Phanerogamen,

Phycoxanthin = do. bei Phaeophyceen,

Diatomin = do. bei Diatomeen,

Peridinin = do. bei den rothgelben Peridineen.

Der wasserlösliche Farbstoff der Chromatophoren:

Phycoerythrin bei Florideen,

Phycophaein bei Phaeophyceen,

Phycopyrrin bei braunen Peridineen.

Unreine oder in ihren Eigenschaften noch unbekannte Lösungen werden durch charakterisirende Zusätze und Anhänge an den Namen von den bekannten und reinen Körpern unterschieden, z. B. Alkoholchlorophyll, Aetherchlorophyll, Chlorophylllösung, Florideen-Grün u. s. w.

Phycoerythrin.

Das Phycoerythrin ist von allen bisherigen Beobachtern durch direktes Extrahiren der zerriebenen Florideen mit destillirtem Wasser als eine im durchfallenden Lichte rothe, im auffallenden Lichte mehr minder gelb erscheinende Flüssigkeit erhalten worden.

„Das Absorptionsspektrum der Phycoerythrinlösung, so fasst SACHSSE⁴⁾ die Resultate der älteren Beobachter zusammen, ist von ASKENASY, ROSANOFF, und in neuerer Zeit von PRINGSHEIM untersucht

1) *μήλιος* hochgelb.

2) *πυρρός* braunroth.

3) Eine ausführliche Begründung der von mir gewählten Benennung der Diatomeen- und Peridineenfarbstoffe werde ich an anderem Orte geben. Hier führe ich lediglich den Namen der Uebersichtlichkeit und Vollständigkeit der Zusammenstellung wegen an.

4) SACHSSE, Die Chemie und Physiologie der Farbstoffe, Kohlenhydrate und Proteinsubstanzen. Leipzig 1877. pag. 83.

worden. Nach dem Erstgenannten zeigt dieses Spektrum drei Maxima. Es beginnt ziemlich plötzlich mit einem dunklen Streifen an der Grenze von gelb und grün, hinter *D*, und setzt sich von dort über den ganzen brechbaren Theil fort. Innerhalb dieser allgemeinen Verdunkelung liegt ein zweites schwächeres Maximum im Grün, vor der Linie *E*, und ein drittes stärkeres zwischen *b* und *F*. Bei grösserer Dicke lässt die Phycoerythrinlösung nur rothes Licht hindurch. Sie besitzt eine kräftige Fluorescenz. Das Fluorescenzlicht besteht nach STOCKES aus wenig Roth, Orange und Gelb und erscheint dem blossen Auge etwa als Orange mit etwas Gelb vermischt.“

Schon ROSANOFF¹⁾ hatte gefunden, dass die beiden Bänder im Grün beim Chlorophyll und beim Phycoerythrinpektrum sich decken. PRINGSHEIM²⁾ dehnte diese Beobachtung weiter aus und fand, dass auch das Band im blauen Theile des Phycoerythrinpektrums mit einem Chlorophyllbande in der Lage zusammenfällt, nämlich mit dem Bande IVb³⁾. Da dieses Band IVb, wie spätere Untersuchungen gezeigt haben⁴⁾, dem Chlorophyllan eigenthümlich ist, so dürfte jetzt die in der erwähnten Abhandlung entwickelte Ansicht PRINGSHEIM's dahin gehen, dass das Phycoerythrin als eine Modification des Chlorophyllans aufzufassen sei.

Die Angaben von PRINGSHEIM stehen im Gegensatz zu denjenigen der früheren Beobachter, ROSANOFF und ASKENASY, welche nur drei Bänder, diejenigen im Grün und Blau, angaben.

Die Arbeiten von ASKENASY, ROSANOFF und PRINGSHEIM waren nach qualitativer Methode gemacht. REINKE der neuerdings das Phycoerythrin wieder untersuchte, giebt nun eine quantitative optische Analyse des Phycoerythrins von *Delesseria*, welche, ebenso wie die Arbeiten von ASKENASY und ROSANOFF, nur die drei Absorptionsbänder im Grün und Blau ergiebt, während die Bänder im Roth fehlen und ebenso im Blau nicht totale Endabsorption, sondern nur eine unbedeutendere Lichtschwächung stattfindet.

Zur Erklärung dieser Widersprüche nimmt REINKE an, dass PRINGSHEIM's Lösung noch fein zertheilte Chromatophorenfragmente enthalten habe, die beim Filtriren der Lösung durch die Poren des Filters hindurch gegangen, durch ihre Absorption das Band im Roth und die Endabsorption im Blau erzeugen mussten.

1) ROSANOFF l. c. pag. 205.

2) PRINGSHEIM l. c. pag. 8.

3) PRINGSHEIM bezeichnet das Band bei λ -540 cr. als IV und bei λ -500 cr. als IV a. Da ich noch mehrfach auf diese Bänder zurückkommen muss, so habe ich um Verwechslungen in meiner Arbeit zu vermeiden, der jetzt allgemein gebräuchlichen Bezeichnungsweise folgend (cf. TSCHIRCH Untersuchungen über das Chlorophyll) ersteres Band überall, also auch dort, wo ich PRINGSHEIM citire, als Band IV a, letzteres als IV b bezeichnet.

4) cf. TSCHIRCH, l. c.

PRINGSHEIM könnte dagegen einwenden, dass die von REINKE angewandte Concentration resp. Schichtendecke zu gering gewesen, als dass die schwache Absorption des Bandes I und II hätte zum Vorschein kommen können und weiter, dass „feste Chromatophorenstückchen“ das „stabile“ Band im Roth nicht an der Stelle erzeugen konnten, wo PRINGSHEIM dasselbe gezeichnet, sondern dass es dann weiter nach dem rothen Ende des Spektrums hin verschoben sein müsste, an die Stelle, wo das stabile Band der lebenden Chromatophoren erscheint.

Es befinden sich hiernach die Ansichten über das Phycoerythrin selbst hinsichtlich des charakteristischsten aller seiner Merkmale, des Absorptionsspektrums, noch in ungelösten Widersprüchen. Es dürfte demnach nicht unnötig erscheinen, diesen wichtigen Begleiter des Chorophyllfarbstoffes einer erweiterten Prüfung zu unterziehen. Ich theile nun im Folgenden die Resultate meiner Untersuchungen, die sich auf den rothen Farbstoff von *Ceramium rubrum* und von *Dumontia filiformis* beziehen, mit. Beim Studium dieses Körpers habe ich in erster Linie die optischen Eigenschaften des unveränderten, direkt aus den Thallomen durch Extrahiren gewonnenen Farbstoffes in den Vordergrund gestellt, und erst wenn hierdurch eine feste Basis für die weitere Vergleichung gewonnen worden ist, werde ich mich zum Studium der übrigen Eigenschaften des Farbstoffes wenden.

Ceramium rubrum.

Um den Fehler, der durch etwaige dem Phycoerythrin beigemischte Chromatophorenfragmente in das Spektrum kommen muss, sicher zu vermeiden, habe ich die Algen nicht zerrieben, sondern den Farbstoff freiwillig austreten lassen. Derselbe diffundirt durch die unverletzte Zellenmembran und den durch destillirtes Wasser getödteten Plasmanschlauch mit Leichtigkeit hindurch. Das Austreten des Farbstoffes lässt sich dadurch beträchtlich beschleunigen, dass man die Zellen durch Zerreiben oder durch Verweilen in Aetherdampf tödtet, doch wurden für die spektroskopische Prüfung lediglich Lösungen verwandt, die nur durch Einwirkung destillirten Wassers ohne jene Tödtungsmittel gewonnen waren.

Diese Lösungen des Phycoerythrins in destillirtem Wasser wurden mit dem ZEISS'schen Spektralapparat geprüft. Als Lichtquelle diente dabei eine Petroleumflamme. Ich gebe in Fig. 1 die scheinbaren Lichtstärken des Phycoerythrins bei verschiedener Dicke der vom Licht durchstrahlten Flüssigkeitsschicht.

Da meine Darstellung der Spektre etwas abweicht von den früher angewandten Methoden, so muss ich mit ein paar Worten eine Erklärung der Spektralzeichnung geben.

Die Vertikallinien geben die Wellenlängen in hunderttausendstel

Millimeter. Jede Horizontalkolumne umfasst je eine Kurve der scheinbaren Lichtstärken aus einer bestimmten Dicke der durchstrahlten Schicht. Die Dicke derselben in Millimetern ist am Kopf der Kolumne angegeben. Der obere Rand entspricht der scheinbaren Lichtstärke 0, der untere Rand jeder Kolumne der scheinbaren Lichtstärke 1.

Dadurch, dass ich die Kurven der Lösung bei constant abnehmender Schichtdicke gebe, erhalte ich den Vortheil der von PRINGSHEIM ¹⁾ modificirten MÜLLER'schen ²⁾ Methode der Spektralkurvenzeichnung, welche das successive Auftreten und Verschwinden der einzelnen Bänder bei verschiedener Schichtdicke resp. Concentration darstellt, aber ich habe die Nachtheile dieser MÜLLER-PRINGSHEIM'schen Methode vermieden, welche wesentlich darin bestehen, dass die Kurve kein getreues Bild der Absorption bei einer bestimmten Concentration giebt, indem erstens in derselben alle Bänder gleich stark, d. h. gleich dunkel und scharf begrenzt erscheinen; beides Bedingungen, die bekanntlich in der Wirklichkeit durchaus nicht erfüllt sind.

Beides vermeidet zwar auch TSCHIRCH ³⁾ in seinen vorzüglichen Spektralzeichnungen, indem er die Bänder als mehr minder dunkle Schatten zeichnet, ich glaube aber dennoch auf die Methode der Kurvenzeichnung zurückgreifen zu müssen, weil ich der Meinung bin, dass erstens der Beobachter das subjektive Bild, welches er von einem Spektrum erhält, leichter und sicherer in Form einer Kurve ausdrücken kann, als durch ungleich starke Schattirung und dass in Folge dessen die Kurvenzeichnung ein zuverlässigeres Bild giebt als die Schattenzeichnung, und weil ferner jeder Leser, der mit der Ablesung von Kurven vertraut ist, ein viel klareres und übersichtlicheres, in seinen einzelnen Punkten leichter vergleichbares Bild von dem, was der Beobachter ausdrücken wollte, erhalten wird, wenn er die Intensitäts-Differenzen des Lichtes in Form einer einfachen Kurve vor sich hat, die er mit einem Blick überschauen kann und eventuell mit dem Massstab vergleichen kann, als wenn er dieselben erst durch Vergleichung verschiedener starker Schatten, für die ihm jeder objektive Massstab fehlt, entziffern muss.

Die Concentration der Lösung wurde so gewählt, dass bei einer Schichtdicke von 120 *mm* nur ein schwacher Lichtstreif sichtbar war. Die Schichtdicke wurde nun in regelmässigen Abständen verringert, und von den einzelnen Stufen die Kurven gezeichnet.

Bei 120 *mm* erschien von dem ganzen Spektrum nur ein Lichtstreif im Roth zwischen λ 680—630. Achten wir hier gleich darauf,

1) PRINGSHEIM, Ueber die Absorptionsspektren der Chlorophyllfarbstoffe. Berlin 1874.

2) cf. MÜLLER, Lehrbuch der Physik VIII. Aufl. bearb. von PFAUNDLER 1879 pag. 232 u. VOGEL, Praktische Spektralanalyse. Nördlingen 1877. pag. 214.

3) TSCHIRCH, Untersuchungen über das Chlorophyll. Taf. III.

dass dies gerade diejenige Region des Spektrums ist, in der das Chlorophyllband I liegt und wo auch PRINGSHEIM sein Absorptionsband I zeichnet. Bei abnehmender Schichtdicke erscheint dann ein zweiter heller Streif im Gelb zwischen λ 570—590. Hierdurch wird das erste dunkle Band abgegrenzt. Aus später zu erörternden Gründen nenne ich es Band II. Bei weiter sich verringernder Schichtdicke wird ein dritter heller Streif im Grün zwischen λ 505—525 sichtbar. Zugleich erscheint das Blau nicht mehr total absorbirt. Wenn dann noch bei weiterer Verdünnung der helle Streif zwischen λ 550—540 dazu kommt, so zeigt das Spektrum 4 isolirte dunkle Bänder:

- I. —
- II. λ 590—620
- III. λ 550—570
- IVa. λ 520—540
- IVb. λ 485—505

Bei fortschreitender Verdünnung verschwindet zuerst Band II, dann Band IVa, Band III und IVb sind noch als verwaschene Streifen sichtbar, wenn das ganze übrige Spektrum schon normal erscheint.

Bemerkenswerth ist an dieser Kurve das vollständige Fehlen eines Bandes *A* und *B* an der Stelle des sogenannten „stabilen“ Chlorophyllbandes. Im Gegentheil ist hier, wo die Chlorophylllösung das einzige für „alle“ Chlorophylllösungen charakterische Band I besitzt, das zugleich das einzige wirklich bedeutende Absorptionsmaximum des Chlorophyllspektrums ist¹⁾, beim Phycoerythrin der Ort geringster Lichtabsorption.

Diese Beobachtung bestätigt also die Angaben von ROSANOFF, ASKENASY und REINKE. Der Einwand PRINGSHEIM's, dass ein Uebersehen des Bandes I stattgefunden habe, wegen zu geringer Concentration, ist hier natürlich hinfällig, weil das Band I, wenn es überhaupt vorhanden wäre, bei der Schichtdicke von 120 *mm* hätte erscheinen müssen, und weil auf keinen Fall gerade diese Stelle, wo man ein Absorptionsmaximum erwarten sollte, als die einzig durchscheinende, am wenigsten absorbirte Stelle des Spektrums erscheinen könnte.

Auch in Bezug auf die totale Endabsorption des Blau muss ich die Angaben von ROSANOFF, ASKENASY und REINKE bestätigen. Dass PRINGSHEIM gerade im Blau die stärkste Absorption zeichnet, spricht sehr für die Vermuthung von REINKE, dass PRINGSHEIM Chlorophyllkornfragmente in seiner Lösung hatte, denn diese müssen neben einem Bande im Roth, gerade eine starke Absorption im Blau hervorrufen. Dagegen kann ich die Beobachtung PRINGSHEIM's bezüglich des Bandes II vollkommen bestätigen, dasselbe tritt sehr deutlich in der Fig. I. zu Tage.

Da, wie schon mehrfach hervorgehoben, das qualitative Spektrum

1) REINKE, Photom. Unters. Bot. Zeit. Jahrg. XLIV Taf. I u. II.

nicht ausreicht zur vollkommenen Bestimmung der optischen Eigenschaften eines Farbstoffes, so gebe ich in Tabelle 1 die mit dem GLAN'schen Spektrophotometer ausgeführte quantitative spektralanalytische Bestimmung des Farbstoffes.

Tabelle I.

Sc. ¹⁾ (Scalenteile)	λ (Wellenlängen)	E. (Extinctionscoefficienten)	C. (constante Extinctionscoefficienten)
69—72	707—693	0,203	0,036
72—74	693—684	0,245	0,043
74—76	684—676	0,268	0,048
76—78	676—667	0,284	0,050
78—80	667—658	0,316	0,056
80—82	658—650	0,383	0,068
82—85	650—638	0,417	0,073
85—90	638—620	0,531	0,094
90—95	620—603	0,557	0,099
95—98	603—594	0,554	0,098
98—102	594—583	0,564	0,100
102—105	583—574	0,742	0,131
105—110	574—562	1,256	0,222
110—115	562—551	1,288	0,228
115—120	551—540	1,301	0,230
120—125	540—530	1,248	0,221
125—130	530—521	1,150	0,204
130—135	521—512	1,041	0,185
135—140	512—503	1,036	0,184
140—147	503—492	1,162	0,206
147—155	492—480	0,981	0,174
155—165	480—467	0,810	0,144
165—175	467—456	0,765	0,136
175—185	456—445	0,744	0,132

„Constante Kurve siehe Fig. 3, Taf. III, dieselbe in vierfachem Massstab der Ordinaten cf. Fig. 6.“

1) Es stehen in der Tabelle unter dem Zeichen Sc. die Scalenteile des Apparates für den untersuchten Spektralabschnitt, unter λ die entsprechenden Wellenlängen, unter E die den Winkelablesungen entsprechenden Extinctionscoefficienten. Fig. 3 Taf. giebt die „constante Kurve“. Unter der constanten Kurve einer Flüssigkeit verstehe ich die Kurve der constanten Extinctionscoefficienten d. h. der Extinctionscoefficienten für diejenige Schichtendicke oder Concentration der Flüssigkeit, für welche der Extinctionscoefficient der FRAUNHOFER'schen Linie D = 0,1 ist. Ueber Berechnung und Eigenschaften der constanten Kurve cf. FRANZ SCHÜTT: Ueber das Phycophaein. Ber. d. D. botan. Gesellschaft 1887. Bd. V. pag. 270 u. ff.

Die constante Kurve zeigt eine sehr geringe Absorption des Roth an. Im Orange steigt die Absorption langsam an bis zum Gelb, sinkt dann wieder, aber nur sehr wenig, um an der Grenze von Gelb und Grün sehr stark anzusteigen. Zwischen *D* und *E* liegt ein zweites Maximum. Kurz vor *E* beginnt die Absorption wieder abzunehmen, etwa bei λ 510 hat sie ihr Minimum erreicht, und steigt dann zu einem zweiten bedeutenden Maximum (bis λ 500 etwa) an und fällt darauf beim Fortschreiten nach dem blauen Ende ziemlich schroff ab, so dass das äussere Blau nur wenig stärker absorbiert wird als das Orange.

Ein Vergleich mit der qualitativen Kurve (Fig. 1) ergibt einige bemerkenswerthe Unterschiede. Statt der 4 Maxima der qualitativen Kurve finden wir hier nur drei. Das Band II ist nach dem Ausweis der constanten Kurve ein Maximum erster Ordnung. Dasselbe ist jedoch so wenig hervortretend, dass wir die relative Dunkelheit des subjektiven Bandes zum grössten Theil auf Contrastwirkung zurückführen müssen. Auch die Trennung von Band III und IVa gehört ins Gebiet der subjektiven Erscheinungen¹⁾ da ihr kein wirkliches Absorptionsminimum zwischen λ 570 und λ 530 entspricht.

Bei λ 650 zeigt die Absorptionskurve in ihrem allmählichen Abfall eine Knickung (in der Kurve der relativen Extinctionscoefficienten ist dieselbe, wegen der geringen Concentration, welcher die Kurve entspricht, nur wenig deutlich, sie tritt jedoch scharf hervor in der Kurve der Extinctionscoefficienten *E*.) Ich halte es demgemäss nicht für unmöglich, dass man unter günstigen Umständen hier an dieser Stelle des Spektrums einen schwachen schmalen Schatten wird erblicken können. Bei Besprechung des Phycoerythrins von *Dumontia* werde ich hierauf zurückkommen.

Dumontia filiformis.

Dumontia filiformis gehört zu denjenigen Florideen, die nach dem Absterben ihren Farbstoff besonders leicht aus den unverletzten Zellen in das umgebende Wasser hinaus diffundiren lassen. Es ist deshalb nicht schwer, aus ihnen eine genügende Menge Farbstoff für die optische Untersuchung zu erlangen.

Die mit destillirtem Wasser gewaschenen Thallome gaben beim Stehen mit wenig destillirtem Wasser, ohne zerrieben zu sein, eine intensiv rothe Lösung, die im durchfallenden Licht blauröth aussah, und im auffallenden Lichte prachtvoll orangegelbe Fluorescenz zeigte.

Diese Lösung wurde für die spektralanalytische Untersuchung so weit verdünnt, dass bei 120 mm Schichtdicke nur ein schwacher Lichtstreifen im Roth zwischen λ 650—700 hindurchdrang. Fig. 2 giebt die scheinbaren Lichtstärken des mit dem ZEISS'schen Spektral-

1) cf. REINKE, l. c. pag. 1.

apparate beobachteten Spectrums bei abnehmender Schichtendicke. Die Kurven ergeben, dass das Phycoerythrin von *Dumontia* im Allgemeinen ganz ähnliche Eigenschaften besitzt, wie dasjenige von *Ceramium*. Der Ort geringster Absorption liegt auch hier zwischen *B* und *C*, also an der Stelle, wo das stabile Band des Chlorophyllspektrums liegt.

Eine Differenz gegen das Spektrum der aus *Ceramium* erhaltenen Lösung bildet jedoch ein lichtschwaches schmales, nach rechts (orange) schlecht begrenztes Band bei λ 650. Ich will dies Band als Ia bezeichnen. Dasselbe erscheint an derselben Stelle, wo die Extinctionscoefficientenkurve von *Ceramium* die oben erwähnte Knickung aufweist. Band Ia fällt nicht zusammen mit Band I des Chlorophyllspektrums, welches zwischen *B* und *C* liegt, doch grenzt es sehr nahe daran.

Ein weiterer Unterschied des *Dumontiaspektrums* gegenüber dem Spektrum der *Ceramiumlösung* besteht in dem Fehlen des Bandes IVa oder richtiger in dem Verschmelzen von Band III und IV.

Das successive Erscheinen der hellen Streifen im Spektrum bei abnehmender Schichtendicke erfolgt in folgender Reihenfolge;

1. λ 650—700
2. λ 580—595
3. λ 490—Ende
4. λ 510—520

Das Verschwinden der dunklen Streifen (Bänder) in der Reihenfolge: Band I, II, IVb, III und IVa, die beiden letzten Bänder erscheinen in den schwächsten Concentrationen fast gleich stark.

Als wichtigster Unterschied ist also anzusehen: Auftreten von Band Ia (nicht mit Band I des Chlorophyllspektrums zusammenfallend), und Verschwinden der Trennung von Band III und IVa. Die quantitative Analyse derselben Lösungen gab folgende Werthe:

Tabelle II.

Sc. (Scalenteile)	λ (Wellenlängen)	E. (Extinctionscoefficienten)	C. (constante Extinctionscoefficienten)
69—72	707—693	0,037	0,010
72—74	693—684	0,049	0,013
74—76	684—676	0,076	0,020
76—78	676—667	0,109	0,029
78—80	667—658	0,191	0,050
79—81	663—654	0,230	0,061
80—82	658—650	0,268	0,071
82—85	650—638	0,293	0,077
85—90	638—620	0,408	0,108

Sc. (Scalentheile)	λ (Wellen- längen)	E. (Extinctions- coefficienten)	C. (constante Extinctions- coefficienten)
90—95	620—603	0,399	0,105
95—98	603—594	0,367	0,097
98—102	594—588	0,379	0,100
102—105	588—574	0,585	0,154
105—110	574—562	1,348	0,356
110—115	562—551	1,509	0,398
115—120	551—540	1,420	0,375
120—125	540—530	1,276	0,337
125—130	530—521	1,086	0,287
130—135	521—512	0,865	0,228
135—140	512—503	0,842	0,222
140—147	503—492	0,951	0,251
147—155	492—480	0,693	0,183
155—165	480—467	0,392	0,103
165—175	467—456	0,260	0,069
175—185	456—445	0,227	0,060

Die constante Kurve C cf. unter Fig. 4 Taf. III.

Die constante Kurve (Tab. C und Fig. 4) stimmt mit derjenigen des *Ceramium*phycoerythrins (Fig. 3) überein in der Lage der Maxima und Minima, zeichnet sich aber aus durch eine grössere Differenz der Extinctionscoefficienten der verschiedenen Spektralbezirke, so dass der ganze Verlauf der Kurve dadurch ein steilerer wird.

Dem Bande Ia des qualitativen Spektrums entspricht nur ein Absatz in der Extinctionscoefficientenkurve (bei λ 645—655). Auch bei *Ceramium* zeigte sich ein ähnlicher Absatz an derselben Stelle, doch etwas weniger scharf ausgesprochen. In Folge dessen ist derselbe auch im subjektiven Spektrum nicht als Band hervorgetreten, wie dies in der *Dumontia*kurve geschah.

Das Band II ist auch bei *Dumontia* ein Band erster Ordnung d. h. ein wirkliches Absorptionsmaximum. Der stark absorbirte Abschnitt im Grün hat sein Maximum an derselben Stelle wie bei *Ceramium*, doch ist der Verlauf auf der Höhe der Kurve ein anderer als bei jenem Farbstoffe. Bei *Dumontia* erscheint die Kurve als ein fast gleichmässig gerundeter Buckel, der nach links (rothe Seite) steil, nach rechts (blaue Seite) allmählich abfällt. Dem entspricht auch das subjektive Bild, welches ein einziges breites nach links scharf nach rechts schlecht begrenztes Band darbietet, während derselbe Abschnitt des

*Ceramium*spektrums, gemäss dem unregelmässigen Verlauf der Kurve auf der Höhe des breiten Bandes, dem Auge als ein doppeltes Band erscheint.

Nachdem wir die optischen Eigenschaften der Phycoerythrinlösung studirt haben, können wir uns zu allgemeineren Fragen wenden, von denen die nächstliegende die ist, ob das Phycoerythrin bei allen Florideen ein und dasselbe chemische Individuum ist oder nicht.

Die Phycoerythrinlösungen derjenigen Florideen, für welche bisher genaue, messende Beobachtungen vorliegen, (*Delesseria* von REINKE und *Ceramium* und *Dumontia* von mir) differiren bezüglich ihres Absorptionsvermögens etwas von einander. Es fragt sich nun, wodurch diese Unterschiede bedingt sind. Lagen etwa der Untersuchung Lösungen desselben Farbstoffes vor, der nur durch Einwirkung fremder Agentien in seinem chemischen Charakter und damit auch in seinem optischen Verhalten etwas verändert wurde, oder haben wir es hier mit natürlichen Modificationen desselben Farbstoffes im Sinne PRINGSHEIM's zu thun, oder endlich, sind die Verschiedenheiten dadurch bedingt, dass in der Lösung zwei verschiedene färbende Agentien, die bei verschiedenen Pflanzen in verschiedenem Verhältniss gemischt, durch Summirung ihrer Eigenschaften bei sämtlichen Lösungen verschiedene Spektra geben mussten, obwohl ihre Componenten bei allen gleich sind?

Das bisher vorliegende Material reicht nicht aus, um auf diese Fragen schon eine entscheidende Antwort geben zu können. Die Fragestellung selbst giebt uns aber die Direktive für das weitere Studium der Farbstoffe.

Wir werden zu diesem Zweck das Phycoerythrin noch von einer grösseren Anzahl anderer Florideen auf sein optisches Verhalten prüfen müssen, um zu erfahren, ob sich nicht eine Gleichförmigkeit oder Gesetzmässigkeit in grösseren Gruppen findet, andererseits sind durch das Studium der chemischen Eigenschaften des Phycoerythrins wenigstens einer Pflanze die Veränderungen festzustellen, die dasselbe durch chemische Einflüsse erleidet, um auf diese Weise zu finden, ob die bis jetzt gefundenen und vielleicht noch weiter auftretenden Verschiedenheiten der aus verschiedenen Algen genommenen Phycoerythrinlösungen sich nicht zurückführen lassen auf chemische Einflüsse, die auf den Farbstoff in der Zeit zwischen dem Absterben der Chromatophoren und der Untersuchung eingewirkt haben. Eine Vereinigung dieser beiden Methoden, der chemischen und der erweiterten optischen, wird die Eigenschaften des zuverlässigen reinen und unveränderten Farbstoffes ergeben müssen.

Eine zweite Hauptfrage ist die nach den Beziehungen dieses Farbstoffes zu seinem steten Begleiter, dem Chlorophyllfarbstoff.

PRINGSHEIM glaubt diese Frage dadurch zu lösen, dass er annimmt,

das Phycoerythrin sei eine „natürliche Chlorophyllmodification“ d. h. ein „einfacher dem Chlorophyll jedoch genetisch verwandter Farbstoff“. Er gründet diese Annahme auf die allerdings frappirende Uebereinstimmung in der Lage der Bänder seines Phycoerythrinspektrums mit seinem Spektrum des normalen Florideen-Grüns oder des „modificirten Chlorophylls“ der Phanerogamen (Chlorophyllan).

Da jedoch die zur Beweisführung herangezogenen „Bänder“ des Absorptionsspektrums nur ihren Grund haben in dem mehr minder gleichmässigen Verlauf der Absorption der verschiedenfarbigen Strahlen, so wird es gut sein, um möglichst exakt zu sein, bei der Prüfung gleich auf diejenige Kurve, welche den wirklich vorhandenen Absorptionsverhältnissen entspricht, das ist die Lichtstärken, oder die Extinctionscoefficientenkurve zurückzugehen. Die PRINGSHEIM'sche Kurve, die zwar über das allmähliche Erscheinen und Verschwinden der Absorptionsbänder, (subjektiver sowohl wie objektiver) bei Veränderung der Concentration ein sehr schönes Bild giebt, ist, da sie nicht ein Bild der wirklichen Absorptionsverhältnisse sein kann, zur Entscheidung der vorliegenden Frage nicht anwendbar.

Zum Vergleich der Absorptionsverhältnisse des Phycoerythrins mit dem Florideen-Grün gebe ich in Fig. 5 die constante Kurve einer alkoholischen Chlorophylllösung, welche durch Uebergiessen der für die Gewinnung des Phycoerythrins mit Wasser erschöpften *Dumontia*-thallome erhalten wurde.

Ein Blick auf die Kurven Fig. 3 und 4 einerseits und Fig. 5 andererseits lässt uns den total verschiedenen Verlauf der Absorption der beiden Lösungen sofort klar vor Augen treten.

Das einzige grosse Absorptionsmaximum, welches das in Chlorophylllösungen nie fehlende, und darum als charakteristisches Merkmal aller Chlorophylllösungen geltende „stabile Band“ I fehlt der Phycoerythrinlösung vollständig. Statt dessen tritt bei *Dumontia* ein schwaches, schmales Band „II. Ordnung“ auf. Dieses Band [Ia] kann allenfalls zu Täuschungen Veranlassung geben, wenn es durch ein schwach dispergirendes Prisma erzeugt wird, weil es dann sehr nahe an den Ort des Bandes I des Chlorophyllspektrums rückt. Bei Anwendung der quantitativen Analyse wird jedoch diese Verwechslung ganz unmöglich, da Band I einem sehr starken Absorptionsmaximum seinen Ursprung verdankt, Band Ia dagegen nur eine subjektive Erscheinung, ein Band II. Ordnung ist.

Im Uebrigen haben die Spektren der Chlorophylllösung und des Phycoerythrins nur das miteinander gemeinsam, dass dort, wo das erstere eine geringe Unregelmässigkeit der Absorption, eine Knickung der Kurve zeigt, das letztere bedeutende Absorptionsmaxima besitzt. Das Band III des Chlorophyllspektrums, welches nur eine subjektive Erscheinung ist, ist im Phycoerythrinspektrum das stärkste Maximum.

Ueberhaupt ist überall dort, wo das Florideen-Roth sehr starke Absorption zeigt, beim Florideen-Grün nur sehr schwache vorhanden, und dort wo das Phycoerythrin die schwächste Absorption zeigt, hat das Florideen-Grün die stärkste Verdunkelung.

Soll man nun aus der einzigen Uebereinstimmung der beiden Körper, dass beide an den gleichen Stellen der Absorptionskurven mehr minder grosse Unregelmässigkeiten des glatten Verlaufes zeigen, auf einen „genetischen“ Zusammenhang beider schliessen? Ich glaube wir würden selbst dann, wenn die Florideengrünkurve an den Stellen der Bänder II—IVa kleine Erhebungen zeigte, zu einer solchen Annahme noch nicht berechtigt sein. Noch mehr, selbst dann, wenn statt des subjektiven Bandes Ia des Phycoerythrinspektrums ein schwaches Band an der Stelle des Bandes I im Chlorophyllspektrum läge, so würde uns dieses allein noch keinen sicheren Anhalt für eine chemische Verwandtschaft beider Farbstoffe geben. Man erwäge nur die tiefgreifenden Veränderungen der optischen Eigenschaften der Farbstoffe bei geringen chemischen Eingriffen; man bedenke nur, dass schon beim Lösen ein und desselben Farbstoffes in verschiedenen Lösungsmitteln Körper erhalten werden, welche nicht nur in der Intensität, sondern auch in der Lage, ja selbst in der Anzahl der vorhandenen „Bänder“ total verschieden sind (cf. die verschiedenen Spektren der Lösungen des Purpurins in Wasser, Alkohol, Alaunlösung, Ammoniak und Natronhaltigem Wasser¹⁾) und man wird mir zugeben müssen, dass man aus der alleinigen Uebereinstimmung in der Lage einiger Absorptionsbänder noch keinen sicheren Schluss auf die chemische Natur des gelösten Körpers machen kann. Auf eine Gleichheit zweier Farbstoffe können wir noch nicht aus der Lagengleichheit etlicher Absorptionsbänder schliessen, sondern darauf deutet nur die vollkommene Gleichheit des Absorptionsspektrums (ausgedrückt durch eine Kurve der wirklichen Lichtstärken oder der Absorptionscoefficienten) und auf eine Aehnlichkeit oder genetischen Zusammenhang derselben erlaubt uns die Aehnlichkeit der Absorptionsspektren nur dann zu schliessen, wenn ausser dem optischen Verhalten noch andere Gründe physikalisch-chemischer Natur dafür sprechen.

Eine Berechtigung dazu würde z. B. gegeben sein, wenn die Farbstoffe ausser einem ähnlichen Absorptionsspektrum auch analoges chemisches Verhalten zeigten: wenn sie bei Einwirkung gleicher Körper ähnliche Reaktionen zeigten, wenn sie in einander überführbar wären oder durch analoge Prozesse aus ähnlichen Körpern entstünden oder in ähnliche Körper umwandelbar wären.

So lange hierüber noch nichts bekannt, können die Deutungen über den genetischen Zusammenhang der Körper nur sehr unsichere sein.

1) VOGEL, l. c. p. 262.

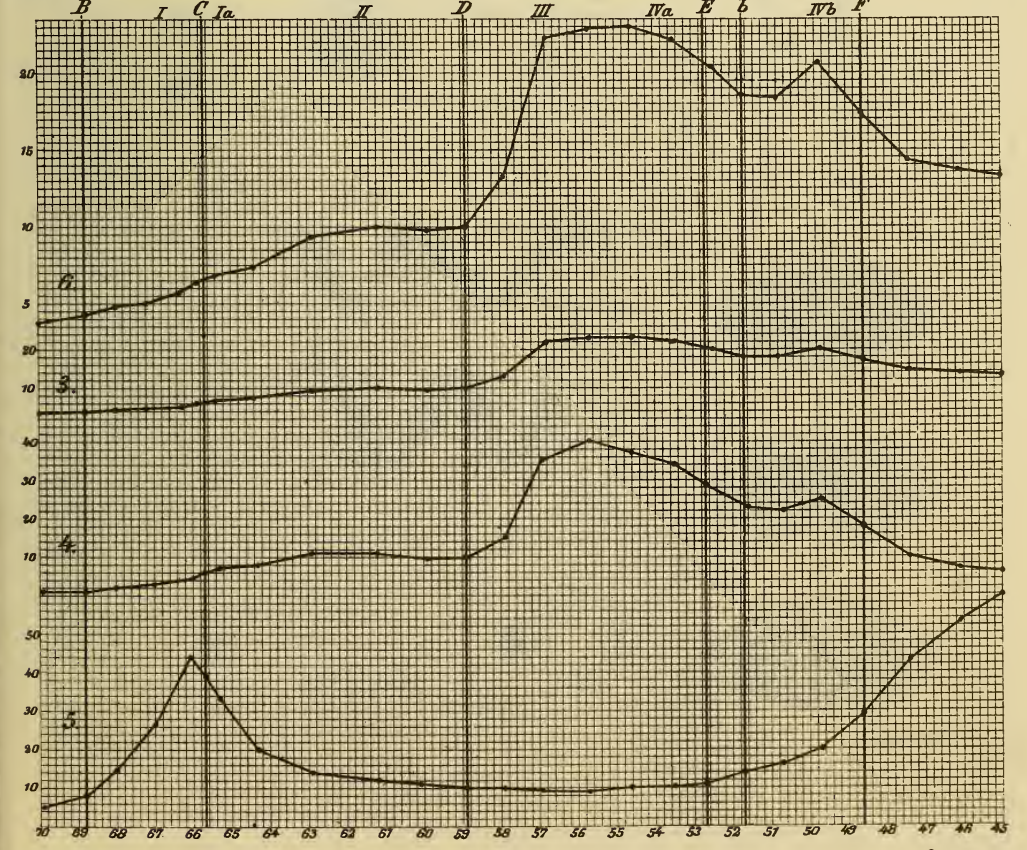
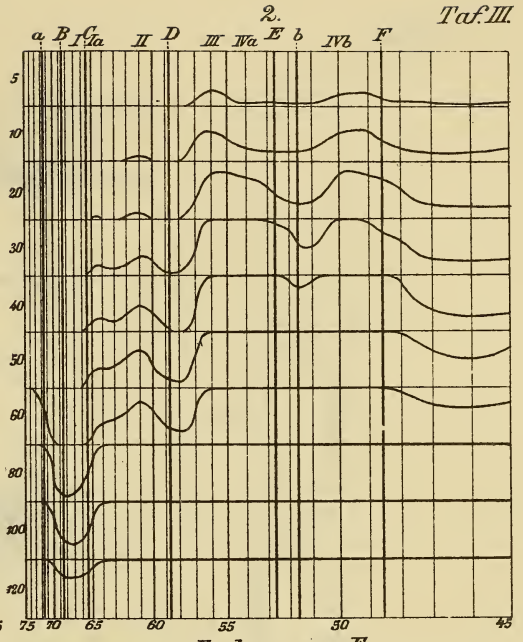
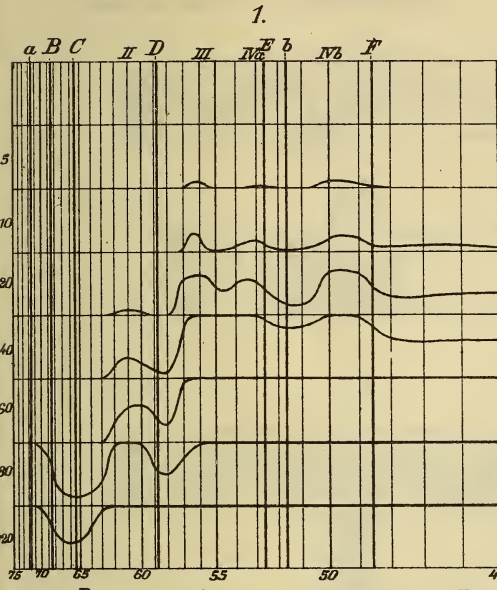
Als einziges Argument für einen genetischen Zusammenhang des Phycoerythrins und des Chlorophyllfarbstoffes lässt sich bis jetzt nur das Zusammenfallen der Lage einiger Bänder des subjektiven Spektrums anführen, wovon das wichtigste und charakteristischste (Band I) auch noch fehlt. Da im übrigen die Absorptionsverhältnisse beider Stoffe total verschieden sind, so muss man abwarten, ob die einzige Uebereinstimmung von fragwürdigem Werth durch andere Eigenschaften unterstützt wird oder nicht.

Eine dritte Hauptfrage, die nach der physiologischen Bedeutung des Phycoerythrins, hängt voraussichtlich eng zusammen mit der zweiten, der Beziehung desselben zum Chlorophyllin.

Also auch diese Frage weist uns auf ein weiteres, eingehenderes Studium der Eigenschaften des Farbstoffes hin, um hierdurch die etwaigen Beziehungen oder auch den Mangel dieser Beziehungen zum Chlorophyllfarbstoff festzustellen. Diese Frage hat aber noch eine zweite der experimentellen Prüfung zugängliche Seite, die experimentelle Feststellung nämlich, welche Rolle die vom Phycoerythrin besonders absorbirten Lichtstrahlen beim Assimilationsprocess spielen. Da jedoch die viel näher liegende Frage nach der Abhängigkeit der Assimilation vom Chlorophyll noch nicht definitiv gelöst ist, so wird man mit der Entscheidung der Frage nach der Bedeutung des Florideen-Roth's, die ja nur eine Complication der ersteren Frage ist, warten müssen, bis jene einfachere ihre endgültige Lösung gefunden hat.

Erklärung der Abbildungen.

- Fig. 1—2. geben die scheinbaren Lichtstärken des Phycoerythrinspektrums von 1 von *Ceramium rubrum*, 2 von *Dumontia filiformis*. Beide Figuren sind bezogen auf das prismatische Spectrum.
- Fig. 3—6. beziehen sich auf das Normalspektrum. Die Zahlen der Horizontal-kolumne geben die Wellenlängen, die Buchstaben die Fraunhoferschen Linien. Die Zahlen der Vertikalkolumne geben das Hundertfache der Extinctionscoefficientenwerthe.
- Fig. 3. Constante Kurve des Phycoerythrins von *Ceramium rubrum*.
- Fig. 4. Constante Kurve des Phycoerythrins von *Dumontia filiformis*.
- Fig. 5. Constante Kurve des Alkoholchlorophylls von *Dumontia*.
- Fig. 6. Constante Kurve des Phycoerythrins von *Ceramium* in vierfachem Massstab der Ordinaten.
-



ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1888

Band/Volume: [6](#)

Autor(en)/Author(s): Schütt Franz

Artikel/Article: [Ueber das Phycoerythrin 36-51](#)