

Beiträge zur Physiologie der Phycchromaceen und Florideen.

Von

Dr. Ferdinand Cohn in Breslau.

Hierzu Taf. I u. II.

Ganz im Gegensatz zu der fast unerschöpflichen Mannigfaltigkeit morphologischer und entwicklungsgeschichtlicher Verhältnisse, welche die meisten Gattungen der Algen zeigen, sind die Phycchromaceen Rabenhorst Kryptogamenflora (Phycchromophyceae Rab. Alg. europ., Myxophyceae Stitzenberger in Rabenhorst's Algendecaden Dresden 1860), unter welcher Bezeichnung die Chroococcaceen Naegeli und die Oscillarineen Ktzig. (Nostochaceae L. Fischer, Naegeli) zusammengefasst werden, fast nur durch den gänzlichen Mangel an dergleichen Eigenthümlichkeiten ausgezeichnet. Denn die Zellen derselben erscheinen in allen Gattungen dieser Familie so absolut einförmig und gleichwerthig in ihrer flachcylindrischen oder kugligen Gestalt, und in ihrem homogenen oder gekörnten Inhalt, dass fast nur die relativen Dimensionen einen Anhalt zur Unterscheidung der einzelnen Arten darbieten; ebenso beschränkt sich ihr Wachsthum auf eine einfache Quertheilung der einzelnen Zellen, die auch bei den fädigen Formen meist gleichzeitig in allen Theilen des Fadens sich wiederholt, so dass eine Unterscheidung von Gipfel und Wurzel unmöglich ist, und bei den allermeisten auch keine wahre Astbildung stattfindet. Noch auffallender ist es, dass den Phycchromaceen, wenigstens nach unserer bisherigen Kenntniss, jede wahre Fort-

pflanzung abgeht; sie sind daher die einzigen bisher bekannten Organismen, denen nicht blos sexuelle Eizellen fehlen, sondern die es nicht einmal zur Erzeugung echter geschlechtloser Sporen gebracht haben, und die sich dadurch als die untersten aller Organismen erweisen. Die gewöhnliche vegetative Zelltheilung ist eben der einzige entwicklungsgeschichtliche Vorgang, dessen die Zellen der Phycchromaceae fähig scheinen, und nur die höheren Formen der Oscillarineen (Nostocaeae, Scytonemeae, Rivulariaeae) haben es in ihren Zellen zu einer Unterscheidung von Uebergangs- und Dauergenerationen gebracht, von denen die letzteren zu einer gewissen Zeit ihre Theilungsfähigkeit verlieren, und sich dadurch gewissermassen als Knoten oder Grenzpunkte darstellen, an denen der Zellfaden leicht in kürzere Stücke zerbricht. Bei den Rivularieen und einem Theile der Nostocaeen finden wir allerdings noch besondere Zellen, deren Function den Hypnosporen der Chlorosporeen analog ist, ohne doch in morphologischer und entwicklungsgeschichtlicher Beziehung denselben wirklich zu entsprechen. Denn ganz abgesehen von der Befruchtung, welche die Bildung der Hypnosporen in der Regel bedingt, sind auch alle wahren Sporen durch freie Zellbildung, einzeln oder zu mehreren in einer Mutterzelle entstanden, während die Sporen (Manubria) der Rivularien und Anabaenen gewöhnliche Vegetationszellen, wenn auch von eigenthümlicher Ausbildung und Grösse sind, aus deren Inhalt durch Theilung direct ein neuer Faden hervorgeht. (Vergleiche Thuret observations sur la reproduction des Nostochinées. Mém. de la société d. scienc. nat. Cherbourg tom. V; De Bary Beitrag zur Kenntniss der Nostocaceen Flora 1863.)

Je geringer demnach die morphologische und entwicklungsgeschichtliche Ausbeute, welche das Studium der Phycchromaceen darbietet, desto grösser ist das physiologische Interesse, welches sich an diese Organismen knüpft. Schon ihr Vorkommen bietet das Ungewöhnliche, dass diese Algen Localitäten bewohnen können und mit besonderer Vorliebe bewohnen, welche für alle anderen Pflanzen und Thiere unzugänglich sind. Es sind die starken und selbst gesättigten Lösungen der verschiedensten Säuren und Salze, welche noch *Hygrocrocis*-, *Beggiatoa*-, *Leptothrix*- und *Oscillaria*arten zu ernähren vermögen, selbst, wenn die Lösungen einem hohen Temperaturgrade ausgesetzt sind, der für alle andere Pflanzen tödtlich erscheint. Daher sind jene Gattungen die einzigen Repräsen-

stanten des Lebens in den heissesten Mineralquellen; ich habe in meiner Abhandlung »Ueber die Algen des Karlsbader Sprudels, mit Rücksicht auf die Bildung des Sprudelsinters« (Verhandlungen der Schlesischen Gesellschaft für vaterländ. Cultur. 1862, Heft II) nachgewiesen, dass der Karlsbader Sprudel zwar in seiner ursprünglichen Temperatur von 74° C. (59° R.) keine Thiere und Pflanzen duldet, dass derselbe aber, sobald seine Temperatur auf 54° C. (43° R.) abgekühlt ist, eine reiche Vegetation von *Leptothrix*, *Oscillaria* und *Mastigocladus* ernährt. Ueberall, wo heisse salz- oder schwefelwasserstoffreiche Quellen der Erde entströmen, sind *Oscillarineen* die ersten und meist die einzigen Ansiedler; ich selbst habe dies in Gastein, Karlsbad, Landeck, Baden bei Zürich, im heissen Schwefelcanal der Aqua Albula bei Tivoli, wie in dem warmen Abflusswasser der Fabriken bei Breslau bestätigt gefunden; nach andern Mittheilungen sind bei Nauheim und Aachen, auf Island und auf Ischia, in Albano und Warmbrunn *Oscillarineen* und *Chroococcaceen* (*Chroococcus thermalis* etc.) die einzigen Bewohner der heissesten Thermen. Diese Thatsache rechtfertigt eine allgemeine Betrachtung. Gar oft ist der Wissenschaft die Frage gestellt worden, welches wohl die ersten Organismen gewesen sein mögen, welche die Erde, nachdem sie überhaupt für lebende Wesen bewohnbar geworden, hervorgebracht habe. Gehen wir aber von der Voraussetzung aus, welche der ganzen heutigen Geologie zu Grunde liegt, dass nämlich der glühende Urzustand unseres Planeten durch allmähliche Abkühlung sich mit einer festen Rinde, und noch später mit einer Wasserhülle bedeckt habe, deren hohe Temperatur eine grosse Menge von Erden in Lösung gehalten, welche seitdem als Sedimentgesteine ausgefällt worden sind, so kennt die Wissenschaft keine anderen Organismen, welche unter solchen Bedingungen in dem heissen Urmeer existirt haben können als die *Oscillarineen*. So wie diese Algen sich noch heutzutage in jeder aus dem Erdinnern durch plutonische oder vulkanische Kräfte hervorbrechenden heissen Quelle ausschliesslich einfinden, so kann man mit hoher Wahrscheinlichkeit vermuthen, dass auch das Urmeer, nachdem es sich unter 60° C. abgekühlt, sich zu allererst mit *Chroococcaceen*, und *Oscillarineen* belebt habe ¹⁾. Wer, wie Nägeli, die Gesammtheit der

1) In seinem Werke „über die fossile Flora der silurischen, devonischen und unteren Kohlenformation“ (Nova Acta Ac. Nat. Car. vol. XXVII) be-

Thiere und Pflanzen durch allmähliche Vervollkommnung, Spaltung und natürliche Züchtung von einer einzigen Urform abzuleiten sucht,

richtet Goeppert als Ergebniss seiner Forschungen, dass „Landpflanzen bis jetzt in den ältesten silurischen Schichten fehlen; Seepflanzen, Confervaceen, Caulerpeen, Fuci und Florideae aus der Klasse der Algen beginnen die Vegetation, und treten wohl sogar noch vor den Thieren auf“ (l. c. p. 147). Wenn es nun auch nicht möglich ist, nach den erhaltenen Resten mit voller Sicherheit die Gattungen jener fossilen Algen mit den lebenden zu vergleichen, so stehen doch jedenfalls die bis jetzt bekannten Thatfachen der Annahme nicht entgegen, dass die Vegetation mit Oscillarineen begonnen habe; wenigstens lassen sich die von Goeppert abgebildeten urältesten Pflanzen *Oldhamia radiata* A. Forbes und *Forchhammera silurica* Goepp. (l. c. Tab. XXXIV Fig. 1, 2 und 5) aus der untern silurischen Formation sehr wohl als Oscillarineen auffassen, wie dies auch für die erstere bereits Kützing und mit ihm in Uebereinstimmung Goeppert nach Untersuchung von Original Exemplaren gethan haben (l. c. p. 13). Zu dem Vorkommen von Oscillarineen in marinen Mutterlaugen geben vielleicht einen neuen Beitrag die merkwürdigen organischen Einschlüsse im Carnallit, insbesondere dem von Stassfurt. Im Mai 1866 theilte Ad. Göbel der petersburger Akademie mit, dass der zu Maman im südlichen Aderbeitjan (Persien) mitten im Steinsalz in Form karneolfarbener amorpher Klumpen vorkommende Carnallit beim Auflösen in Wasser ein gleiches Volumen einer rothen schleimigen Masse zurücklasse, in der das Mikroskop zahllose spiessige, äusserst feine Nadeln, sowie dunkle, runde, mitunter auch sechseckige Körperchen, ausserdem auch Pilzzellen und Diatomeenpanzer erkennen lasse. Er schloss aus dieser Structur auf einen organischen Ursprung der Carnallitklumpen und erklärte dieselben wegen der Schwammnadel-ähnlichen Einschlüsse für Schwämme (Spongien). Das nämliche Schwammnadelgewebe, aber erfüllt von schönen sechseckigen rothen Krystalltafeln und einzelnen Kieselpanzern (besonders *Coscinodiscus*), beschrieb Göbel im Juni 1865 als Rückstand beim Zerfliessen und Auflösen des Carnallit von Stassfurt, welcher (eine Verbindung von Chlorkalium und Chlormagnesium) den vorwiegenden Bestandtheil in der obersten 135 Fuss mächtigen Abtheilung der Abraumsalze bildet, die auf jenem, für die Wissenschaft wie für die Industrie gleich wichtigem, unerschöpflichem Steinsalzlager aufliegen.

Dagegen bestätigte J. Fritzsche im August 1865, im Einvernehmen mit Weisse in Petersburg, zwar das Vorkommen der Nadeln im Carnallit von Stassfurt, stellte aber ihren organischen Ursprung in Abrede. Inzwischen hatte Gustav Rose in einer Sitzung der berliner geologischen Gesellschaft im Mai 1865 als Rückstand des aufgelösten Carnallit vegetabilische Substanz in Zellen und flockiger Anhäufung anerkannt; diese vegetabilische Substanz hat Kindt in Bremen für Zellen des Torfmooses (*Sphagnum*), Karsten in Berlin

würde in den Phycochromalgen den gemeinschaftlichen Ausgangspunkt für die aufsteigenden und divergirenden Reihen des Thier- und Pflanzenreichs zu suchen haben.

für Zellen einer holzartigen Pflanze, vielleicht einer Cycadee, Schimper in Strassburg für eine Oscillarie erklärt. Der Director und Monograph des Steinsalzwerkes in Stassfurt, Herr Bergrath Bischof, hatte die Güte, mich unter Mittheilung einer reichlichen Sendung von Carnallit zur Untersuchung der hier vorliegenden Controverse anzuregen.

Die Untersuchung bestätigte, dass beim Zerfliessen der Carnallitstücke in feuchter Luft oder in Wasser flockig schleimige Klümpchen zurückbleiben, welche durch zahllose beigemengte sechsseitige, schön zinnoberrothe Tafeln ($\frac{1}{400}$, $\frac{1}{20}$ bis zu $\frac{1}{17}$ — $\frac{1}{12}$ ''' breit) oder gleichfarbige rhombische Säulen ($\frac{1}{650}$ — $\frac{1}{130}$ ''' dick, bis zu $\frac{1}{4}$ ''' lang) roth gefärbt sind. Diese rothen Krystalle hat Bischof als Eisenglimmer bestimmt (Taf. II 7. c. d.). Dieselbe rothe Substanz kommt gleichzeitig in amorphen Körnchen und Klümpchen in grosser Quantität vor. Die Hauptmasse der Carnallitrückstände aber wird durch überaus zarte, nur mit vollkommenen Mikroskopen deutlich erkennbare, grade oder vielfach gekrümmte, parallel neben einander liegende, oder durch einander verfilzte Fäden gebildet, welche zum Theil zu häutigen Bildungen, Hohlräume umschliessend, sich aneinander lagern. Sehr regelmässige Quarzkrystalle, (Taf. II 7 6) sowie rhombische oder sechsseitige Krystalle von gelber Farbe und schöne farblose Octaeder unbekannten Ursprungs (7. a) kommen in den Carnallitrückständen seltener vor; dagegen habe ich nichts beobachtet, was als Sphagnum-, Cycas- oder Diatomeenzelle sich deuten liesse.

Die Fäden sind sehr lang, aber von verschiedener Dicke, jedoch auch die stärksten feiner, als dass sich ihr Durchmesser mit unseren Mikrometern genau bestimmen liesse; die stärksten Fäden sind gerade, oft kurz und scharf abgebrochen, röthlich; die feineren sehr biegsam, gelockt, ganz farblos; doch ist leicht zu erweisen, dass beide Formen zusammen gehören, indem die Fäden in der Mitte stärker, nach den Enden hin in die zarten Spitzen sich verjüngen (Taf. II 7). Die Zusammensetzung der Fäden lässt sich wegen der untrennbaren Beimischungen von Eisenglimmer etc. nur durch mikrochemische Reactionen ermitteln, scheint jedoch, nach ihrem Verhalten beim Glühen und ihrer Löslichkeit in Salzsäure zu schliessen, unorganischer Natur zu sein, oder doch reichliche Aschenbestandtheile (Eisen?) zu enthalten. Dies, sowie die ausserordentliche, nahe an die Grenzen unserer optischen Hilfsmittel streifende Feinheit der Fäden machen es schwierig, mit Bestimmtheit über ihren organischen Ursprung abzuurtheilen. Sollten die Fäden jedoch in der That sich als organische Bildungen ausweisen, so steht ihnen unter den bis jetzt bekannten Organismen keiner im äusseren Verhalten so nahe, als die Algen-Gattung *Hygrocrocis*, deren mit den Oscillarien nächst verwandte Arten in Form unendlich feiner, farbloser Fäden die salzreichen Mineralquellen, sowie die verschiedensten chemischen Lösungen, darunter sehr concentrirte

1. Ueber den Farbstoff der Phycochromaceen.

Ein Interesse anderer Art knüpft sich an den Farbstoff der Phycochromaceen. Bekanntlich ist das Chlorophyll derjenige Stoff, welcher allen Pflanzen (mit Ausnahme der nach Art der Thiere sich von organischen Verbindungen ernährenden Pilze und parasitischen Phanerogamen) zukommt; dass das Chlorophyll der Träger jener Thätigkeiten ist, welche den eigentlichen Lebenszweck der Pflanzen darstellen, dass nur mittelst des Chlorophylls die lebendigen Kräfte des Sonnenlichtes in chemische Anziehungskraft umgesetzt und zur Zerlegung der Kohlensäure, des Ammoniaks und des Wassers, resp. zur Erzeugung organischer Verbindungen, der Kohlenhydrate und der Proteïnsubstanzen verwerthet werden, ist durch ältere wie neuere Forschungen im höchsten Grade wahrscheinlich geworden. Die Aushauchung von Sauerstoff im Sonnenlichte ist die am meisten in die Augen tretende Aeusserung dieser chemischen Processe, die einzig und allein an das Chlorophyll gebunden sind, während die Production der Baumaterialien für die Zelle, der Zellmembran wie des Protoplasma, die inneren Endresultate dieser Thätigkeiten sind. Es musste daher der Wissenschaft die Frage sich entgegendrängen, wie es sich mit den Algen verhalte, welche kein Chlorophyll besitzen. Nun sind aber die Phycochromaceen gerade durch ihren Farbstoff von den chlorophyllhaltigen Algen, den Chlorosporeen, scharf und sicher unterschieden. Ueber den Farbstoff der Phycochromaceen sind mir nur zwei Untersuchungen bekannt, die eine von Kützing (*Physiologia generalis* 1843 p. 20, *Physiologia germanica* 1845 p. 19), die andere von Nägeli (*Einzellige Algen* 1849 p. 5—8). Kützing führt unter den Farbstoffen der Algen das *Phykokyan* oder *Tangblau* auf, »welches fast bei

und allem anderen organischen Leben tödtliche, z. B. Schwefelsäure, Chromsäure, arsenige Säure, Chlorcalcium, bewohnen. Nur eine *Hygrocrocis* könnte in der concentrirten Mutterlauge des Urmeeres, aus welcher der Carnallit herauskrystallisirt ist, lebend gedacht werden. Sehr ähnlich ist den Fäden des Carnallit unter anderen die farblose oder kreideweisse Schleim-Alge, welche den Bodenschlamm des landecker Georgsbrunnens, sowie der badener Thermen darstellt, und als *Hygrocrocis* (*Beggiatoa*) *leptomitiformis* bestimmt wurde. Die Fäden des Carnallit von Stassfurt würden, ihren organischen Ursprung vorausgesetzt, eine neue, durch ihre nach den Enden sich verzweigenden, unmessbar dünnen Fäden charakterisirte Art der Gattung *Hygrocrocis* darstellen, die wir als *H. (?) Bischofi* bezeichnen können.

allen Oscillarieen, einigen Vaucherien, Lemania, Thorea, und Batrachospermum vorkomme, durch eine gelinde Gährung aus den Pflanzen austrete und sich am Boden des Gefäßes als blaue Flüssigkeit absetze, die zu einer blauen Masse eintrockne.« Nägeli wirft den Kützingschen Untersuchungen mit Recht vor, dass jener Farbstoff durch Maceration gewonnen sei, wodurch nicht ein reiner Stoff, sondern möglicherweise ein Gemenge erhalten werde; höchst unwahrscheinlich (und auch factisch unrichtig) sei es, dass die Oscillarien und Vaucherien bei der Maceration denselben Farbstoff liefern sollen. Kützing gebe als Eigenschaften des durch Maceration gewonnenen Phykokyans an, dass dasselbe durch verdünnte Säuren nicht, oder nur insofern verändert werde, als ein reineres Blau entstehe und die geringe Beimengung von Roth verschwinde, während es durch Säuren augenblicklich entfärbt werde; dagegen fand Nägeli an dem unveränderten Farbstoff der Oscillarien, dass derselbe unter dem Mikroskop durch Säuren orange, schmutziggelb, bräunlich ziegelroth oder röthlich, durch Alcalien grünlichgelb, gelb, goldgelb oder bräunlichgelb werde. Der Pflanzenphysiolog habe sich zunächst an die Erscheinungen an der lebenden Pflanze zu halten; demzufolge bezeichnet Nägeli den Farbstoff der Oscillarieae und Verwandten (Nostochaceen Näg.) als Phycochrom. Das Phycochrom sei nicht rein gelbgrün wie das Chlorophyll, sondern blau oder spangrün, oder auch orange, ziegelroth, violett, kupferroth, am seltensten blau, gelb und weinroth, bei einzelnen Zellen verändert sich die Farbe während ihrer Lebensdauer. Das Phycochrom sei in den Zellen ungelöst; wo Vacuolen im Zellinhalt vorhanden sind, sei bloss der Schleim gefärbt, die wässrige Flüssigkeit farblos; durch Kochen werde das Phycochrom nicht ausgezogen, noch das Wasser in den Vacuolen gefärbt, eben so wenig durch verdünnte Alcalien und Säuren, welche aber die Farbe verändern. Naegeli unterscheidet als Hauptnuancen des Phycochrom das orangefarbene (Phycoxanthin) und das blaugrüne Phycocyan, welches letztere demnach von dem gleichnamigen Kützingschen Farbstoff (der nur ein Macerationsproduct sei), verschieden ist.

In L. Fischers Dissertation, Beiträge zur Kenntniss der Nostochaceen, Bern 1853, wird die röthlich-gelbe Nuance des Phycochrom als Phycocerythrin Naeg. bezeichnet (vergleiche hierüber später).

Die Nägeli'schen Ansichten sind von allen späteren Phycologen angenommen worden und die Oscillarineen in Gemeinschaft mit

den Chroococaceen daher als Phycochromalgen, nach Rabenhorst geradezu als Phycochromaceae bezeichnet worden. Ausser diesen und den schon von Kützing erwähnten Gattungen *Lemania*, *Batrachospermum*, *Thorea*, *Campsopogen* und einigen andern Algen kommt das Phycochrom nur noch in den Gonidien einer grossen Anzahl von Flechten und zwar bei allen Gallertflechten, aber auch bei vielen strauch- und laubartigen Lichenen vor (Collemaceen, Ephebaceen, Pannariaceen, *Lichina*, Arten von *Sticta*, *Endocarpon* etc., vergleiche Schwendener: Untersuchungen über den Flechtenthallus der Laub- und Gallertflechten in Naegelis Beiträge zur wissenschaftlichen Botanik Heft III p. 134, 147 u. a. a. O.)

Die Unterscheidung des Phycochroms als eines durch seine Farbe ohne Weiteres charakterisirten Pigments, dessen Gegenwart das Chlorophyll ausschliesst, rechtfertigt sich vollkommen, um so mehr, als dieser Farbstoff nicht bloss durch seine Nuance selbst mit blossem Auge sofort vom Chlorophyll unterschieden werden kann, sondern auch einen hohen systematischen Werth besitzt, da er eine höchst natürliche Algenklasse am leichtesten charakterisirt.

Um so wichtiger ist es festzustellen, wie sich die Phycochromalgen in Bezug auf die Respiration und die Production organischer Substanz verhalten, resp. ob und inwieweit das Phycochrom die physiologische Bedeutung des Chlorophylls besitzt.

Ich habe zu meinen Untersuchungen vorzugsweise eine Anzahl von Phycochromalgen benutzt, welche sich in meinem Seeaquarium entwickelt und ausserordentlich vermehrt hatten. (Siehe darüber meinen Aufsatz über Cultivirung der Seealgen; Jahresbericht der botan. Section der Schlesischen Gesellschaft 1865; sur la culture des algues marines im Bulletin de Congres de Botanique et d'Horticulture, Amsterdam, Avr. 1865.) Es war insbesondere eine *Spirulina*, die zuerst Anfang März 1865 als ein prächtig purpurrother Anflug auf den Schalen lebender *Serpula* erschien, allmählich aber um sich griff und alle Steine und Felsstücke auf dem Grunde des Seewassers überzog. Dabei veränderte sich die purpurrothe Farbe bald ins Schwärzlich-Spangrüne, doch so, dass spangrüne Fäden in immer grösserer Zahl sich zwischen den purpurrothen einmengten; jedoch fehlten auch die rothen Fäden niemals gänzlich, und namentlich die dem Lichte unmittelbar zugekehrten Flächen der Glaswand waren von rothen Häuten bekleidet. Die *Spirulina* vermehrte sich von Tag zu Tag ins Masslose, überzog schliesslich alle Gegen-

stände im Aquarium, so dass der ursprüngliche Kiesgrund völlig unter ihrer Decke verschwand; selbst die lebenden Algen und Thiere, namentlich die Madreporen, Serpulen und Sabellen wurden von der *Spirulina* eingehüllt, verunstaltet und schliesslich sogar getödtet. Dabei entwickelten sich an allen Stellen ihrer Oberfläche zahllose Gasblasen, so dass das Wasser im Sonnenlicht schäumte, als ob es siedete; noch grössere Blasen wurden von den dichten schleimigen Filzmassen zurückgehalten, und von Zeit zu Zeit stiegen diese Gasblasen in die Höhe, indem sie grosse schwarze Gallertklumpen der *Spirulina* mit sich an die Oberfläche rissen; diese schwammen nun oben, breiteten sich aber strahlig weiter aus, so dass sie die Wasseroberfläche in dünnen Häutchen überspannten. Diese masslose Entwicklung der *Spirulina* dauerte den ganzen Sommer und Herbst 1865 hindurch, und verminderte sich erst im Winter wieder etwas; im Sommer 1866 verschwand sie allmählich. In dem grossen Seeaquarium in Hamburg ist diese *Spirulina* ebenfalls reichlich entwickelt; da aber ihre Vermehrung daselbst mehr in Schranken gehalten ist, so dient sie, als ein sammtartiger, leuchtend spangrüner oder prachtvoll purpurrother Ueberzug der Felsen denselben zu einer ganz besonderen Zierde. Ich habe dieselbe Art, welche durch den Wechsel der rothen und spangrünen Farbe leicht charakterisirt ist, im Herbst 1865 auch in Helgoland auf Serpularöhren, die aus tiefer See mit dem Schleppnetz heraufgeholt wurden, angetroffen und als *Spirulina versicolor* bezeichnet; ich halte dieselbe für eine neue Art, deren Diagnose ich unten anschliesse ¹⁾.

1) *Spirulina versicolor* nov. spec. S. vivide mobilis filamentis prae-longis tenerrimis aerugineis vel purpureo violaceis in stratum gelatinosum vel mucilaginosum atropurpureum vel nigro chalybeum intricatis anfractibus densissime approximatis 11—12 in 0,01^{'''}, 5—6 in 0,01 mm.; diameter spirae 0,0045 mm. = $\frac{1}{600}$ ''' ; filamentorum 0,002 mm. = $\frac{1}{1000}$ ''' ;

Conchas calcareas nec non lapides in Aquario marino induit ibique immense multiplicatur. Hamburgae et Vratislaviae; etiam sponte crescens in lapidibus submarinis prope Helgoland; color inter purpureum et aerugineum vagatur.

Sp. *versicolor* Cohn in litt. Rabenhorst flora europaea Algarum aquae dulcis et submarinae II 1865 p. 292 character emendatus! (Taf. I fig. 2).

In den verschiedenen phycologischen Werken werden mehrere sehr eng gewundene Spirulinen aus dem Meere aufgeführt, die zum Theil sehr schwer zu unterscheiden, oder auch in Wirklichkeit gar nicht unterschieden sind. Rabenhorst führt als solche auf: *Spirulina subsalsa* Ktz., tenuissima Kg., Hut-

In Gesellschaft der *Spirulina* gedeiht im Aquarium in ähnlicher Ueppigkeit nur *Derbesia marina*; spärlicher findet sich, purpurne Häutchen bildend, eine rothe *Oscillaria*, deren Fäden kurz, steif, an den Gelenken der fast quadratischen Zellen etwas eingeschnürt, an der Spitze sehr verdünnt und gewöhnlich gekrümmt erscheinen. Auch von dieser Species, die ich für neu halte, und als *Oscillaria rubiginosa* nov. spec. bezeichne, lasse ich die Diagnose unten folgen ¹⁾; sie scheint der *O. terebriformis* Ag. von Carlsbad am nächsten verwandt zu sein.

Spirulina versicolor ist nicht blos dadurch interessant, weil sie den auch sonst schon bekannten Farbenwechsel aus der grünen in die purpurne Modification des Phycochroms repräsentirt, sondern insbesondere darum, weil diese oft auf der Oberfläche des Seewassers schwimmende Art eine eigenthümliche Form der von verschiedenen Schriftstellern erwähnten rothen Meeresfärbungen veranschaulicht, über welche Ehrenberg jüngst in der Sitzung der berliner naturforschenden Gesellschaft (vom 20. Februar 1866) Vortrag gehalten hat. Derselbe führte alle von den verschiedenen Seefahrern

chinsiae Kg., *Thuretii* Coruan. Letztere stimmt in den Dimensionen, sowie in der äusseren Form sehr nahe mit unserer *versicolor* überein (vergleiche die Abbildung in Le Jolis Liste des algues marines de Cherbourg Paris 1863. Pl. I. fig. 1). Ich finde den Unterschied nur in dem so charakteristischen Farbenwechsel, in Folge dessen ein Präparat der *Spirulina versicolor* mit dem Farbencontrast ihrer unter einander geworrenenen purpurnen und spangrünen überaus dicht gewundenen Schraubenfäden eins der zierlichsten mikroskopischen Bilder gewährt (vergl. die Figur auf Tab. I).

1) *Oscillaria rubiginosa* nov. spec. filamentis rigidis vel crispe implexis non vaginatis pulcherrime purpureis tenuibus ad genicula leviter constrictis apicē valde attenuatis curvatis Diameter filamentorum 0,003 mm. — $\frac{1}{700}$ ''' , cellulis aequilongis vel duplo longioribus vix granulosus. Longitudo filamenti $\frac{1}{2}$ ''' = 1 mm.

Hieme 1866 inter *Spirulinam versicolorem* ad parietes aquarii marini interspersa maculas purpureas constituit; mobilem non vidi! (Taf I fig. 3).

Eine dieser interessanten durch ihre Farbenpracht ausgezeichneten *Oscillaria* entsprechende Species aus dem Meere finde ich noch nicht angezeigt; doch sind mehrere *Oscillarien* von rother oder violetter Farbe aus den süssen Wassern bekannt, wie die aus der Rabenhorst'schen Flora europaea entnommenen Bezeichnungen der Species: *Oscillaria cruenta* Grun., *purpureascens* Brügg., Kütz., *purpureo coerulea* Mart., *purpurea* Hook., *violacea* Johnst., *violascens* (Froelichii) Rab., *rufescens* (nigra) Kg., *rubescens* Del. andeuten.

gemachten Angaben rother Seestreifung (Fischroggen-, Sägespänsee) vom Cap, der chinesischen, brasilischen See und anderwärts auf die von ihm selbst im rothen Meere entdeckte, in Bündeln vereinigt lebende rothe Oscillarie, *Trichodesmium erythraeum* Ehr. zurück; die gleichzeitig vorkommenden, gelblichen oder grünlichen Färbungen betrachtet er als Jugendzustände der rothen. Die rothe Wasserblüthe des See von Murten durch *Oscillaria rubescens* hat schon de Candolle erwähnt; dieselbe Art ist seitdem auch im See von Varese aufgefunden worden. Auch die ebenfalls durch Phycochrom gefärbte *Polycystis* (*Palmella*) *Ichthyoblabe*, welche gewöhnlich eine spangrüne Wasserblüthe in Teichen und Tümpeln verursacht, kommt mitunter rothviolett vor (var. *purpurascens* A. Braun in Rabenhorst Krypt.-Flor. v. Sachsen p. 74; Flora europaea p. 58, wo sie Ehrenberg mit Unrecht als fehlend aufführt).

Die üppige Entwicklung der *Spirulina versicolor* in meinem Seeaquarium gab mir Gelegenheit, die von ihr massenhaft aufsteigenden Gasbläschen in einem Reagenzgläschen aufzusammeln, und durch Aufflammen einer hineingehaltenen glühenden Kohle den Reichtum dieser Luft an Sauerstoff nachzuweisen, wenn auch zu einer genaueren endiometrischen Probe die mir zu Gebote stehende Gasmenge nicht ausreichte. Dass die von Oscillarien entwickelte Luft hauptsächlich Sauerstoff sei, hat nach Kützing Phyc. gen. p. 90 schon Priestley gefunden. Wenn hiernach, wie nach der ganzen Lebensweise der Oscillarien zu schliessen, in physiologischer Beziehung das Phycochrom dem Chlorophyll offenbar sich gleichwerthig verhält, so war eine Untersuchung jenes Farbstoffs um so dringender geboten. Ich habe in Folgendem ausschliesslich die blaugrüne Modification des Phycochrom, von der allein mir reichlicheres Material zu Gebote stand, genauer betrachtet; über die purpurrothe, die in anderer Beziehung ein eigenthümliches Interesse bietet, kann ich nur vereinzelte Beobachtungen einschieben.

Die mikrochemischen Reactionen der lebenden *Spirulina versicolor* gaben im Allgemeinen die schon von Nägeli erwähnten Eigenthümlichkeiten des Phycochrom: Zusatz von Amoniak färbt die spangrünen Fäden gelblichgrün; Salzsäure, nachträglich zugefügt, färbt gelbbraun; eine ähnliche gelbbraune Färbung veranlasst auch Salzsäure direct zugesetzt; Schwefelsäure dagegen greift die Fäden heftiger an und lässt eine blaugrüne Flüssigkeit austreten, ähnlich, wie dies beim Chlorophyll geschieht. Auch Salzsäure färbt

bei längerer Einwirkung die Fäden blaugrün, ohne sie jedoch aufzulösen, wie dies auch bei Chlorophyllhaltigen Algen der Fall ist.

Dass die Phycochromalgen beim Auftrocknen auf Papier sich mit einem blauen Rande umziehen, ist schon längst bekannt, und hat eben Kützing zur Aufstellung seines Phykokyan veranlasst. Dieser Forscher fand auch, dass zur Bildung des blauen Farbstoffs eine »geringe Gährung« erforderlich ist; in der That bildet sich der blaue Rand nicht, wenn frische Oscillarien schnell auf Papier auftrocknen, sondern nur, wenn das Wasser lange genug auf dem Präparat stehen bleibt, um eine Extraction zu bewirken.

Meine Untersuchungen haben ergeben, dass das Phycochrom ein zusammengesetzter Körper ist, der wahrscheinlich an das Protoplasma innig gebunden, im Leben der Algen in Wasser unlöslich ist. Daher lassen die lebendigen Algen keinen Farbstoff durch Exosmose in das umgebende Wasser diffundiren; auch die in grösseren Zellen oft zahlreich sichtbaren Vacuolen enthalten nur ungefärbtes Wasser. Durch das Absterben der Zellen werden deren endosmotische Eigenschaften verändert, und das umgebende Wasser tritt von Aussen in die Zellhöhle ein und mit dem Zellinhalt in Wechselwirkung. Alsdann spaltet sich das Phycochrom in zwei Körper in einen blauen, der sich in Wasser löst, in Alcohol aber unlöslich ist, und in einen grünen, der sich in Wasser nicht, wohl aber in Alcohol und Aether löst.

Zur Erläuterung des hier Gesagten mache ich darauf aufmerksam, dass das Protoplasma der lebenden Zelle ganz allgemein die Farbstoffe zurückhält und ihre Exosmose verhindert, selbst solcher, die in Wasser leicht und in allen Verhältnissen löslich sind. Nägeli in seinem wichtigen Aufsätze über den Primordialschlauch hat vom Erythrophyll und dem Anthocyan nachgewiesen, dass dieser rothe oder blaue Farbstoff der Blätter und Blüthen, obwohl stets im Wasser gelöst, niemals durch den Primordialschlauch einer lebenden Zelle diosmirt, selbst dann nicht, wenn der Zelle durch stärker concentrirte Flüssigkeiten das Lösungsmittel des Farbstoffs, das Wasser, zum grössten Theil entzogen wird; in solchem Fall kann die Farbstofflösung innerhalb der Zelle so übersättigt werden, dass sich ein grosser Theil des Farbstoffs im Innern des Zelllumens in Tropfen

ausscheidet, während gleichwohl das Wasser ausserhalb der Zelle farblos bleibt. Sobald aber die Zelle abstirbt, diffundirt sofort das Anthocyan durch die Zellwand nach aussen, so dass nun auch die umgebende Flüssigkeit gefärbt wird.

Ich werde im Verlauf dieses Aufsatzes zeigen, dass eine ähnliche Verschiedenheit im Verhalten des Farbstoffs bei lebenden und todtten Zellen, wie ich sie für die Oscillarien nachgewiesen, auch bei den Florideen stattfindet. Dass auch das gewöhnliche Chlorophyll durch das Absterben der Zellen augenblicklich eine Veränderung erleidet, welche sich in verändertem optischen Verhalten documentirt, wurde von Göppert und mir schon im Jahre 1849 (Bot. Zeit. von Mohl und Schlechtendal 1849) für die Chlorophyllkugeln von *Nitella* nachgewiesen, welche nach dem Tode der Zelle sofort undurchsichtig werden, und die beim Leben nur undeutlichen Stärkekörnchen alsdann deutlich markirt zeigen.

Uebergiesst man in einem Glascylinder eine Quantität reiner *Spirulina versicolor* mit süßem Wasser, so senkt dieselbe sich als schwarzer Schleimklumpen zu Boden, wenn anders die adhären- den Luftbläschen entfernt sind. Nach einem oder mehreren Tagen (auf das Früher oder Später hat die Temperatur Einfluss) tritt aus der Spirulinenmasse eine klare prachtvoll indigoblaue Flüssigkeit, welche alle Zwischenräume zwischen der Algenmasse ausfüllt, und sich zuerst unterhalb der letzteren anhäuft, bald aber auch an der Oberfläche des Algenklumpen sich ansammelt, und eine allmählich an Höhe zunehmende, mehrere Linien hohe blaue Schicht bildet. Diese wird von Stunde zu Stunde intensiver gefärbt; lässt man jedoch die Flüssigkeit unberührt, so mischt sich dieselbe nicht mit dem Wasser; vielmehr blieb bei einem Experiment am 18. April das Wasser oberhalb der blauen Schicht 8 Tage lang ungefärbt, was auf ein hohes specifisches Gewicht der blauen Flüssigkeit hindeutet. Wird dagegen der Glascylinder geschüttelt, so mischt sich die blaue Schicht vollständig und in beliebigem Verhältnisse mit dem Wasser. Ein Spirulinenklumpen von 5 Gramm Gewicht kann eine Wassermenge von 50—60 Gramm intensiv indigoblau färben.

Filtrirt man die nach einigen Tagen fast vollständig extrahirte Algenmasse durch Fliesspapier, so erhält man eine vollkommen klare, prachtvoll blaue Flüssigkeit, während auf dem Filter der Spirulinenklumpen zurückbleibt; die Fäden sind bei längerer Mace-

ration zum Theil in ihre einzelnen Zellen zerbröckelt, daher pulverig, und jetzt von rein grüner (nicht mehr spangrüner) Farbe. Wird der extrahirte Spirulinenklumpen, der nun etwa gekochtem Spinat ähnlich sieht, nach Ausziehen des blauen Farbstoffs mit Alcohol, oder noch besser mit einem Gemisch von Alcohol und Aether übergossen, so färbt sich die Flüssigkeit prachtvoll rein grün, und zeigt mit dem Spectroscop die bekannten Absorptionsstreifen des Chlorophyll im Roth: den einen von A—B, mit einem prächtig rothen Anfangsstreifen nach dem Wärmespectrum hin, ein zweites Band im Orange bei C, ein drittes an der Gränze zwischen Gelb und Grün, endlich eine Absorption der blauen Strahlen von F an (Fig. 1 B. Taf. I). Ebenso erzeugt Sonnenlicht durch eine Sammellinse concentrirt, den bekannten rothen Fluorescenzzegel in der grünen Lösung.

Nach der Extraction des Chlorophylls durch Alcohol bleiben die Spirulinenfäden fast entfärbt zurück; dass sie aber noch einen Rückstand von Chlorophyll enthalten, lässt sich leicht daraus nachweisen, dass dieselben, mit Schwefelsäure übergossen, sich mit grünlichblauer Farbe auflösen: bekanntlich das einfachste mikrochemische Reagens auf Chlorophyll.

Man kann das Chlorophyll auch direct, ohne vorherige Maceration mit Wasser, durch Uebergiessen einer lebendigen Spirulinenmasse mit Alcohol oder Alcohol-Aether in derselben Reinheit extrahiren. Es stellt sich dabei heraus, dass der in Wasser lösliche blaue Farbstoff, in Alcohol unlöslich ist. Die Extraction des Chlorophylls aus lebenden Algen mit Hülfe von reinem Aether hat dagegen grössere Schwierigkeiten, weil das den Spirulinen adhärirende Seewasser sich ausserordentlich schwer mit dem Aether mischt; immer setzt sich, selbst nach wiederholtem Schütteln, der Algenklumpen scharf abgeschnitten zu Boden des farblos bleibenden Aether; erst nach wiederholtem Durchschütteln bilden sich grüne Tropfen, die jedoch beim Stehen sich sofort wieder zu Boden senken, und den darüber stehenden Aether farblos lassen; erst wenn das Schütteln sehr lange Zeit fortgesetzt ist, bilden sich drei verschiedene Schichten, indem sich der Aether grün färbt, während am Grunde sich zuerst die Algenmasse, und darunter das farblose Seewasser absetzen.

Aus allen diesen Versuchen ergiebt sich zunächst, dass die Phycochromalgen ebenfalls Chlorophyll enthalten, so

gut wie alle übrigen Pflanzen, und es müssen unzweifelhaft die sämtlichen Lebensthätigkeiten dieser Algen, insbesondere die Ausscheidung des Sauerstoffs im Sonnenschein, ihrem Chlorophyllgehalt zugeschrieben werden.

Bei den meisten Pflanzen bildet das Chlorophyll sich nur im Lichte; bei Abwesenheit von Licht entsteht nicht nur kein Chlorophyll, sondern das schon vorhandene verschwindet allmählich, die Pflanzen werden etiolirt, wachsen nicht weiter und sterben ab. Ich suchte zu ermitteln, wie sich die Spirulinen im Dunklen verhalten. Zu diesem Zwecke brachte ich einen Spirulinaklumpen in ein durch einen Deckel verschliessbares Gefäss mit Seewasser. Aber selbst nach mehr als 4 Wochen Aufenthalt im Dunklen schienen die Spirulinen nicht zu leiden; sie waren lebendig, und nicht bemerklich blasser. Hieraus folgt, dass diese Pflanzen auch bei Abwesenheit von Licht fortvegetiren; ob sie sich dabei auch vermehren und wachsen, ist eine andere Frage. Ich muss hierbei darauf aufmerksam machen, dass nach den Versuchen von Sachs, Mohl, Böhm sich auch bei den keimenden Pinien etc. Chlorophyll im Dunklen erzeugt, und dass A. v. Humboldt chlorophyllgrüne Algen (*Fucus vitifolius* = *Codium*) in einer Tiefe von 32 Faden, und Harvey eine *Anadyomene* in einer Tiefe von 20 Faden, also in fast völliger Dunkelheit durch das Schleppnetz heraufgeholt hat.

In dem Phycochrom der Spirulinen ist nun das Chlorophyll mit einem zweiten blauen Farbstoff verbunden, der, wie wir oben gesehen, in Alcohol unlöslich, aber in Wasser löslich ist; ich bezeichne diesen blauen Farbstoff als Phycocyan, da er im Allgemeinen mit dem von Kützing unter diesem Namen bezeichneten Körper übereinstimmt, obwohl dieser Forscher allerdings darunter den gesamten Farbstoff der Oscillarien (Nägeli's Phycochrom) zu verstehen scheint, auch die Reactionen desselben in Folge ungenauer Untersuchung zum grössten Theil unrichtig angiebt.

Wenn das Phycocyan durch Fliesspapier filtrirt wird, zeigt es eine eigenthümliche Erscheinung. Durch Capillarität steigt die blaue Flüssigkeit im Filtrirpapier in die Höhe, wobei sie immer blasser und mehr röthlich erscheint; ist das Filter klein, so erreicht die Flüssigkeit bald den Rand des Papiers und es stellt sich beim Eintrocknen des Papiers heraus, dass nur dieser Rand intensiv indigoblau gefärbt ist, während die übrige Fläche ganz blass röth-

lich erscheint. Mit der Zeit wird die Papierfläche sogar wieder farblos, während der blaue Rand unverändert bleibt.

Noch genauer lässt sich diese Erscheinung verfolgen, wenn man einen grossen Tropfen Phycocyanlösung auf Fliesspapier bringt. Man sieht dann, wie die Flüssigkeit, indem sie in den Capillarräumen des Papiers fortschreitet und sich demgemäss in immer grösserem Kreise ausbreitet, gleichzeitig auch zerlegt wird. So bilden sich auf dem Papier concentrische Ringe verschiedener Färbung; am schnellsten und weitesten schreitet das farblose Wasser vor, dann folgt der blaue Farbstoff, der schliesslich einen breiteren oder schmäleren Ring bildet, aber an seiner Peripherie noch von einem farblosen Wassersaume umgeben ist. Der Mittelraum des Tropfens erscheint blassröthlich, und wird mit der Zeit farblos. Ich lasse dahingestellt, ob diese röthliche Farbe von einer weiteren Zerlegung des Phycocyans in einen blauen und rothen Farbstoff, oder nur von einer röthlichen Färbung des Phycocyans in sehr dünnen Schichten herrührt. Dieses Zerlegen der Phycocyanlösung durch Capillarität lässt sich auch an jeder auf Papier aufgeklebten Phycochromalge erkennen, indem auf dem Papier der blaue Saum stets durch einen farblosen Zwischenraum von der aufgetrockneten Alge getrennt ist.

Um zu ermitteln ob die blaue Farbe der durch Exosmose aus den Spirulinazellen austretenden Flüssigkeit eigenthümlich, oder ob sie erst durch Oxydation entstehe, wie dies bei vielen andern Farbstoffen vegetabilischen Ursprungs angenommen wird, brachte ich ein Spirulinenpolster in ein Reagenzglaschen voll Wasser, das ich längere Zeit ausgekocht, dann verkorkt zum Abkühlen hingestellt hatte. Da solches Wasser erst allmählich Sauerstoff aus der Atmosphäre aufnimmt, so hätte die Blaufärbung zuerst an der Oberfläche der Flüssigkeit eintreten müssen, wenn dieselbe eine Folge der Oxydation gewesen wäre. Dies war aber nicht der Fall, vielmehr bildete sich der intensiv blaue Farbstoff, wie gewöhnlich, am Boden des Reagenzglaschens. Auch in mikroskopischen Präparaten, wo die Spirulinafäden in concentrirtes Glycerin eingelegt, und mit Asphaltlack hermetisch nach Aussen abgeschlossen sind, tritt das Phycocyan durch Diffusion aus den Zellen, sobald dieselben absterben, und färbt das umgebende Glycerin klar blau. Die Fäden bleiben dann mit chlorophyllgrüner Farbe zurück und werden allmählich, wie alle grünen Zellen, mehr oder minder im Licht entfärbt. Oscillarien,

welche von einem Infusorium gefressen sind, füllen die Magenblase, in der sie stecken, mit blauem Saft. Werden Oscillarien unter dem Mikroskop durch Erhitzen auf ca. 50° C. schnell getödtet, so tritt augenblicklich das blaue Phycocyan aus den zerfallenden Fäden. Ich schliesse daraus, dass das Phycocyan der Oxydation durch Berührung mit atmosphärischer Luft zur Erzeugung der blauen Farbe nicht bedarf.

Zum Ausziehen des Phycocyan habe ich mich gewöhnlich des süssen Wassers bedient; indess löst sich dasselbe auch in dem gewöhnlichen Seewasser unverändert auf, sobald die Fäden abzusterben beginnen. Der ganze Vorgang der Zerlegung des Phycochrom durch Exosmose ist ein lehrreiches Beispiel aus der Klasse der von Graham als Dialyse bezeichneten Erscheinungen.

Die Phycocyanlösung hat sehr interessante optische Eigenschaften. Mit dem Spectroskop analysirt, zeigt sie ein höchst charakteristisches Spectrum. Es werden in dickerer Schicht oder stärkerer Concentration alle Strahlen vom Roth bis nahe zur Linie E an der Grenze zwischen Grün und Blau absorbirt, während Blau und Violett nebst einem schmalen Streifen des Grün unverändert durchgehen (Fig. 1 A. Tab. I). Der breite Absorptionsstreifen, welcher den schwächer brechbaren Theil des Spectrum auslöscht, ist von einer hellen gelben und einer minder hellen orange Linie durchsetzt, welche zu beiden Seiten der Linie D dicht neben einander verlaufen. Endlich ist jenseits des Absorptionsstreifen ein sehr intensives schmales rothes Band sichtbar, welches etwa bis zur Linie a reicht. Es fehlt daher im Spectrum des Phycocyan der grösste Theil des Roth (mit Ausnahme der am schwächsten brechbaren Strahlen) sowie das ganze Gelb (bis auf die orange-gelbe Linie bei D) und das Grün bis an die Linie E; nur die stärker brechbaren Strahlen gehen unverändert durch. In dünnerer Schicht, etwa in einem Troge von 2 Linien im Lichten, bleibt in dem dunklen Absorptionsstreifen zwischen a und D noch ein röthlicher Schimmer und noch weniger wird das Grün jenseits der gelben Linie ausgelöscht, sondern es wird nur verdunkelt, und zwar in einem von D nach E hin immer schwächer werdenden Grade.

Eine zweite höchst auffallende optische Eigenthümlichkeit des Phycocyan ist die Fluorescenz. Denn nur bei durchgehendem Lichte und auf hellem Grunde erscheint das Phycocyan indigoblau; bei reflectirtem Lichte und auf dunklem Grunde dagegen erscheint

es intensiv karminroth. Diese Fluorescenz ist natürlich am prächtigsten, wenn man mit Hülfe einer Sammellinse einen brennend-rothen Lichtkegel in die blaue Flüssigkeit hineinwirft; sie ist aber auch schon in sehr verdünnten Lösungen deutlich, und zwar ist sie lebhafter als das Blau bei durchgehendem Lichte; daher man zum Beispiel die ersten Spuren des exosmirenden Farbstoffs bereits leicht an dem rothen Schimmer auf dunklem Grunde wahrnimmt, wenn man die blaue Färbung noch nicht zu unterscheiden vermag. Ich kenne keine Substanz, deren Fluorescenz an Stärke der des Phycocyans gleich käme. Selbst der kleinste Tropfen auf dem Objectglas reflectirt intensiv rothes Licht. Ebenso ist auch bei schwächstem Tages- und nicht minder bei Lampen- oder Gaslicht die rothe Fluorescenz vollkommen deutlich. Als ich zuerst die Entwicklung des Phycocyans an der Oberfläche eines schwarzen Spirulinenklumpens in einem Uhrgläschen beobachtete, glaubte ich, dass die Fäden aus dem Spangrünen sich in Roth umgefärbt hätten, und bedurfte erst des Mikroskops, um mich zu vergewissern, dass ihre Farbe bei durchgehendem Licht unverändert geblieben, und dass nur die überaus lebhafte Fluorescenz einzelner ausgetretener Phycocyanotropfen auf dem dunklen Grunde mich getäuscht hatte.

Ich habe mich übrigens überzeugt, dass ein rother Fluorescenzschimmer auch von den lebendigen, gewöhnlich schwarzgrün erscheinenden Spirulinenpolstern ausgeht, wenn dieselben von der Sonne direct beleuchtet sind; das rothbraune Licht, welches die grünen Polster in der Sonne ausstrahlen, ist ganz verschieden von dem violett rothen, welches die Oberfläche der purpurfarbenen Modification der *Spirulina versicolor* reflectirt.

Ich komme nun zu den chemischen Verhältnissen des Phycocyans, in Bezug auf welche ich zwar wegen Mangel an ausreichendem Material noch manche später auszufüllende Lücken lassen muss, die jedoch auch jetzt schon eine Anzahl überraschender Eigenthümlichkeiten darbieten.

1) Durch Schwefelsäure bildet sich aus der Lösung des Phycocyan in Wasser ein reinblauer flockiger Niederschlag, welcher sich am Boden absetzt, während die Flüssigkeit selbst farblos wird.

2) Ebenso wird das Phycocyan durch Salzsäure in Form einer Gallert ausgefällt, die sich allmählich mit blauer Farbe abscheidet, in überschüssiger Salzsäure sich nicht auflöst.

3) Durch Salpetersäure wird das Phycocyan mit prachtvoll violetter oder rosa Farbe ausgefällt.

4) Durch Schweflige Säure wird das Phycocyan entfärbt.

5) Durch Kali oder Ammoniak wird das Phycocyan als eine blassgelbliche oder farblose Gallerte ausgefällt, die sich im Ueberschuss nicht löst. Der farblose Niederschlag durch Ammoniak wird durch nachträglich zugesetzte Salzsäure blau. Durch Salpetersäure dagegen wird der farblose Niederschlag von Ammoniak schön rosa gefärbt.

6) Durch Alcohol geschieht eine reichliche gallertartige violettblaue Ausfällung, die sich allmählich am Boden absetzt; dasselbe geschieht 7) durch Zinnchlorür, 8) durch Alaun; letzterer bildet zuerst nur eine violette Trübung, die sich erst allmählich am Boden anhäuft, während das Zinnsalz schnell einen blauen Niederschlag hervorruft.

Unmittelbar nach Zusatz eines dieser Reagentien verliert die Phycocyanlösung ihre schöne Fluorescenz, auch wenn sich noch kein Niederschlag gebildet hat. Die blauen Niederschläge sind nicht farbenbeständig, sondern entfärben sich allmählich von oben nach unten, so dass zuerst sich weisse Flocken über den blauen anhäufen; namentlich die Niederschläge in Alcohol und Salpetersäure werden schnell farblos; dauerhafter sind die durch Alaun, Schwefelsäure und Zinnsalz, obwohl auch diese mit der Zeit ablassen.

Merkwürdig ist das Verhalten des Phycocyan beim Erwärmen. Sobald die blaue Flüssigkeit über 44° C. erhitzt ist, verliert sie die Fluorescenz und wird rein blau. Zwischen 56° und 60° C. wird die Phycocyanlösung trübe, opalisirend, wie dies auch nach Zusatz von Alcohol etc. bei beginnender Ausfällung stattfindet; dabei wird sie allmählich immer blasser. Sobald die Flüssigkeit zu sieden anfängt, wird sie ganz klar und farblos, dagegen bildet sich ein blauer Schaum, wie beim Kochen eiweisshaltiger Flüssigkeit, der sich beim Erkalten absetzt und später auch völlig entfärbt.

Erwärmt man dagegen frische Spirulinamassen im Wasser bis zum Kochen, so setzen dieselben sich als schwärzliche Klumpen zu

Boden; das Wasser selbst bleibt klar und farblos, und nimmt auch bei längerem Digeriren keinen blauen Farbstoff weiter auf.

Dagegen werden die auf Papier eingetrockneten blauen Farbränder getrockneter Oscillarinen selbst nach jahrelanger Aufbewahrung in ihrer Farbenintensität nicht verändert. Ein solcher blauer Rand auf Papier wird aber durch Ammoniak entfärbt.

Wird die Phycocyanlösung sich selbst überlassen, so tritt eine Art Gährung ein, die Flüssigkeit fängt an zu schäumen, und riecht nach gekochtem Kohl; sie wird allmählich trübe; an ihrer Oberfläche bildet sich ein farbloses oder graues Häutchen, welches beim Bewegen an den Wänden des Glases haftet, wie ein Fetthäutchen. Mit der Zeit wird die trübe Flüssigkeit violett, und bleicht allmählich völlig aus. Stellt man die Lösung ins Dunkle, so bleibt sie längere Zeit klar und blau, doch bildet das Häutchen sich auch dann an der Oberfläche der Flüssigkeit.

Die hier aufgeführten, von den früheren Angaben, namentlich denen von Kützing wesentlich abweichenden Reactionen genügen, um das Phycocyan als eine von allen andern Farbstoffen, insbesondere vom Indigo und den Flechtenfarbstoffen verschiedene Substanz nachzuweisen; dagegen reichte das mir im Aquarium zu Gebot stehende Quantum nicht aus, um seine wahre Natur (ob eiweissartig, oder ein eigenthümlicher Farbstoff, ob ein einfacher Körper oder zusammengesetzt) mit Sicherheit zu constatiren. Die Fällung des Phycocyan durch Basen als farbloser Niederschlag macht es nicht unwahrscheinlich, dass wir es hier mit einer Säure zu thun haben. Ich hoffe später an Süßwasseroscillarien reichlicheres Material zu finden.

Die purpurne Modification des Phycocyan habe ich noch nicht in hinlänglichen Quantitäten rein darstellen können; ich fand nur, dass sich aus den violetten Spirulinen eine purpurne, klare Flüssigkeit im Wasser beim Absterben ausscheidet, die mit der Zeit am Licht sich entfärbt, daher die Farbe sich in feuchten mikroskopischen Präparaten nicht erhält; dass ferner die purpurnen Spirulinen sich von selbst im Laufe der Zeit, oft schon in wenig Stunden in spanngrüne umwandeln, so dass eben nur eine geringe Umänderung den Farbenwechsel zur Folge zu haben scheint. Beiläufige Beobachtungen beim Auftrocknen gewisser Süßwasseroscillarien und Nostocéen sprechen dafür, dass auch viele Mittelnuancen zwischen dem indigo-blauen und dem rothen Phycocyan existiren.

II. Ueber den Farbstoff der Florideen.

Nachdem unsere Untersuchungen in den Phycochromalgen das gewöhnliche Chlorophyll, wenn auch verbunden mit einem zweiten Farbstoff, erwiesen haben, war es von Interesse, die Florideen zu untersuchen, welche bekanntlich ebenfalls nicht grün, sondern roth sind. Gleichwohl leben die Florideen nicht nur untermischt mit Chlorosporeen, unter denselben Licht- und Nahrungsbedingungen, sondern sie produciren auch organische Substanz gleich diesen, insbesondere Kohlenhydrate, Gallert und Stärke, erstere reichlich in den chinesischen und japanischen, als Nahrungsmittel (Agar-Agar) auf den Märkten Ostasiens verkauften Arten; Stärkekörner, deren Vorkommen bei den Florideen häufig bezweifelt wurde, fand ich in grosser Menge im Herbst 1865 in den Zellen des Markparenchyms von *Polyides rotundus*, bei Helgoland, so dass dieselben gänzlich von den Körnern vollgestopft waren; letztere sind kuglich, klein, 0,004—0,006 mm. ($\frac{1}{560}$ — $\frac{1}{370}$ “) im Durchmesser, zeigen keine Schichtung, werden aber durch Jod gebläut. Wegen ihres Stärkegehalts könnten *Polyides* und ähnliche Florideen wohl ebenfalls als Nahrungsmittel dienen. Rosanoff hat ächte, durch Jod gebläute Stärkekörner auch bei andern Florideen: (*Melobesia pustulata*, *Delesseria sanguinea* u. a.) nachgewiesen.

Der Farbstoff der Florideen wird von Kützing als *Phykoerythrin* (*Phycol. gener.* 21) bezeichnet; dasselbe soll nach diesem Forscher als aufgelöste Flüssigkeit in den Zellen enthalten sein, und grüne Chlorophyllkugeln umgeben; doch überwiege das Roth so, dass die grüne Farbe des Chlorophylls vollständig aufgehoben ist und die Kugeln selbst noch scheinbar roth gefärbt sind; fliesst aber die rothe Flüssigkeit aus, so kommt auch die grüne Farbe der Kugeln zum Vorschein. Hiernach wäre der rothe Farbstoff in den Florideen in ähnlicher Weise vertheilt, wie das *Erythrophyll* in den *Phanerogamenblättern*, wo die rothe Lösung bekanntlich auch die gleichzeitig in den Zellen enthaltenen Chlorophyllkugeln verdeckt (*l. c.* p. 23).

Nägeli schreibt den Florideen einen rothen Farbstoff zu, welcher mit dem Chlorophyll verwandt, und häufig schon in der lebenden Pflanze, und gewöhnlich beim Absterben in letzteres übergeht (*Neuere Algensysteme* p. 187).

Meine eigenen Untersuchungen, welche diese Ansichten wesent-

lich modificiren, sind an zahlreichen Florideen, insbesondere grosszelligen Ceramieen angestellt worden; sie ergeben die Unrichtigkeit der Annahme, wonach die Florideen grüne Chlorophyllkugeln, die von rothem gelösten Farbstoff verdeckt sind, enthalten.

Bei *Callithamnion Rothii* (von Helgoland) erfüllt ein rothes Protoplasma das Lumen der lebenden Zellen gleichmässig (etwa wie das grüne bei *Microspora*) in welchem nur drei bis vier wasserhelle und ungefärbte Vacuolen in einfacher Reihe neben einander sichtbar sind. Bei *Chantransia Daviesii* findet sich ein rother Wandbelag, der in jeder Zelle um ein centrales grosses rothes Kugeln sich bindenartig herüberzieht, etwa wie das Chlorophyll bei *Ulothrix*.

Die grossen Zellen von *Phlebothamnium corymbosum* aus Genua besitzen einen farblosen Zellsaft; am innern Rande der Zelloberhaut in der Aussenschicht des Primordialschlauchs sind zahlreiche braunröthliche Kugeln eingestreut, welche in den jüngeren Zellen dicht und spiralig geordnet sind, etwa wie die Chlorophyllkugeln bei *Nitella*.

Wird eine solche Zelle plötzlich getödtet, etwa durch Zerquetschen mit dem Deckglas, so dass Wasser in die Zellohle eindringt, so werden die rothen Kugeln augenblicklich zersetzt; sie erscheinen nunmehr grün gefärbt, während sich im Zellsaft ein prachtvoll karminrother Stoff mit einem Stich ins Violette auflöst.

Ähnlich verhalten sich die Zellen von *Anthithamnion Plumula*, welches auf den Felsen im Nordhafen bei Helgoland in 6—8 Faden Tiefe in Gesellschaft von *Halymenia ligulata*, *Ginnania furcellata*, *Sporochinus pedunculatus*, *Chaetopteris plumosa* u. a. vorkommt; auch hier ist der Zellsaft in den lebenden Algen eben so farblos, wie in gewöhnlichen grünen Pflanzenzellen; der rothbraune Farbstoff ist hier jedoch in dünnen fadenartigen, dicht neben einander gelagerten Bändern oder Streifen entwickelt, die auf der innern Zellwand aufliegen und sich zum Theil gabelig verzweigen; beim Absterben tritt auch hier aus diesen Bändern eine purpurrothe Flüssigkeit aus, die sich im Zellsaft auflöst; jene Bänder aber werden nun grün, gleich den Chlorophyllbändern einer *Spirogyra*.

Ähnliche unregelmässige, zum Theil wellenförmig gebogene, dünne blassrothe Streifen bildet der Farbstoff in den sonst ganz farblosen Centralzellen eines *Hormoceras*, welches auf Steinen im Hafen von Genua wächst. So wie die Zelle stirbt, zieht sich der

Primordialschlauch zusammen, und aus ihm tritt durch Exosmose in den von der Zellmembran begrenzten Hohlraum die schön purpurrothe Flüssigkeit und färbt den ganzen bis dahin farblosen Zellsaft; der contrahierte Primordialschlauch, dessen einzelne Streifen nun verschmelzen, erscheint rehfarben und zuletzt grün.

Günstig für diese Untersuchungen sind auch die grossen Zellen von *Bornetia secundiflora*, welche von der Südküste Englands stammt, und von mir seit Jahren in meinem Seeaquarium cultivirt wird. Diese Floridee hat die Structur einer sehr grosszelligen *Cladophora*; ihre Zellmembran ist sehr dick; in Glycerin schwillt dieselbe auf, und wird deutlich geschichtet, sie erreicht dann eine Dicke von 0,016—0,02 mm.; durch Jod und Schwefelsäure färben sich die innern Schichten der Membran blau und lösen sich allmählich, während die äussern ungelöst und gelb gefärbt bleiben; an einzelnen Stellen reissen diese Cuticularschichten; aus den Rissen tritt eine violette Flüssigkeit, vielleicht die gelöste Membran. Auch die Querscheidewände sind deutlich geschichtet und zeigen genau in der Mitte einen sehr scharf umgrenzten, anscheinend ovalen Tüpfel, der ganz wie ein Loch aussieht, das die aneinanderstehenden Zellen des Fadens verbindet, so dass ich anfänglich eine Communication derselben nach Art der Gefässe anzunehmen geneigt war. In Wirklichkeit sind die Tüpfel jedoch durch eine dünne, aber feste Membran verschlossen, wie man sich leicht an isolirten Zellen überzeugt, deren Nachbarzellen durchschnitten wurden, und wo man gleichwohl den Zellsaft der isolirten Zelle, selbst durch stärkeren Druck nicht zum Austreten bringen kann. Solche Tüpfel in der Mitte der Querscheidewände finden sich übrigens bei sehr vielen Florideen, zum Beispiel bei *Callithamnion corymbosum* (Breite der Tüpfel 0,006 mm. bei 0,06 mm. Zellenbreite), so wie in den Centralzellen vieler *Polysiphonien*; bekanntlich sind dergleichen Tüpfel, und zwar immer nur je einer auf einer Zellfläche, von Nägeli und Thuret in den flächenförmig verbundenen Zellen des Laubes von *Dictyota*, von Wartmann in den Querscheidewänden der reihenförmig übereinander geordneten Centralzellen im Markcylinder von *Lemania*, von Rosanoff sogar in den vertikalen Zellwänden der *Melobesien* (*Memoire sur les Melobésiées* p. 35) nachgewiesen worden.

Der Zellinhalt von *Bornetia* besteht aus einem farblosen Zellsaft, der die ganze Zellhöhle erfüllt, und einem Wandbelag, der aus rothen, in farbloses Protoplasma eingebetteten Körpchen

besteht, welche in Form und Anordnung etwa den Chlorophyllkugeln von Hydrodictyon entsprechen, noch häufiger aber verlängerten, oft eckigen Stäbchen gleichen. Zwischen diesen rothen Körperchen sind zahlreiche farblose Krystalle eingestreut, sehr vollkommen ausgebildete Octaeder, in polarisirtem Lichte doppelt lichtbrechend, deren längere Achse 0,01—0,04 mm. beträgt. Dass diese Krystalle frisch farblos sind, erkennt man noch besser, als in den unverletzten Zellen, beim Durchschneiden derselben, wo die Krystalle mit dem einhüllenden Protoplasma ins Wasser herausgepresst werden. Diese Krystalle werden durch Jod gebräunt; ebenso werden dieselben durch die gleich zu erwähnende, aus den Pigmentkugeln austretende rothe Flüssigkeit gefärbt, so dass sie bei längerem Verweilen eine prachtvoll rothe Farbe annehmen. Es lässt sich schon hieraus mit grosser Wahrscheinlichkeit vermuthen, dass diese Krystalle organischer Natur seien, und in die Klasse jener Proteinkrystalle gehören, welche in neuerer Zeit in so vielen Pflanzen- und Thiergeweben entdeckt worden sind. Cramer hat in der That bereits 1861 diese Octaeder von *Bornetia* beschrieben und denselben den Namen des *Rhodospermin* gegeben (Das *Rhodospermin* ein krystalloidischer quellbarer Körper, Vierteljahrschrift der naturforschenden Gesellschaft in Zürich Band VII). Cramer fand die octaedrischen *Rhodosperminkrystalle*, die er für klinorhombisch erklärt, bei *Bornetia*exemplaren von Nizza, die seit 3 Jahren in concentrirter Kochsalzlösung gelegen hatten, zeigte ihre Fähigkeit, durch Alkalien bedeutend zu quellen, und durch Säuren sich zu contrahiren, — hält dieselben mit Recht nicht für Farbstoff- sondern für eiweissartige Krystalle, lässt es aber dahin gestellt, ob diese Krystalle nicht blosse Kunstproducte (in Folge der Einwirkung der Kochsalzlösung auf den Zellinhalt) seien. Dieser Zweifel ist durch meine Beobachtung der Octaeder in frischen Zellen gelöst; ebenso fand ich die frischen Krystalle im polarisirten Lichte doppelt lichtbrechend, während Cramer die in Kochsalz coagulirten für einfach brechend erklärte — eine Veränderung, die auch sonst in Proteinkrystallen beobachtet worden ist. Cramer entdeckte in seinen Kochsalzexemplaren noch eine zweite Modification des *Rhodospermin*, die noch lebhafter roth gefärbt und in hexagonalen Tafeln oder Prismen, auch bündelförmig, und in Zwillingen vorkömmt; diese Form ist mir in den lebenden *Bornetiazellen* nicht begegnet.

Ausser Proteinkrystallen enthalten die Zellen von *Bornetia*

secundiflora noch in gewissem Alter, aber nicht immer zahllose, das Licht stark brechende, oft eigenthümlich geformte Körnchen, welche kleinen Stärkekörnern ähneln, aber durch Jod nicht blau werden¹⁾; sie entwickeln sich in den rothen Kügelchen, in und zwischen denen sie sich finden, und gehören offenbar zu jenen stärkeähnlichen Körnern, deren weite Verbreitung bei den Florideen neuerdings van Tieghem in einem Bericht an die Pariser Akademie (6. Nov. 1865 Comptes rendus p. 804) nachgewiesen hat. Vielleicht sind dieselben nicht weiter als Paramylon, wie es Gottlieb in den grünen Euglenen zuerst constatirte.

Tödtet man eine Zelle von Bornetia durch Anstechen, Zerschneiden, Zerquetschen, durch chemische Reagentien, oder durch welche andere Weise immer, so beginnt in den rothen Farbstoffkügelchen augenblicklich eine Zersetzung; aus ihnen tritt sofort eine carminrothe Flüssigkeit aus, welche sich in dem farblosen Zellsaft auflöst, und diesen selbst färbt; die Pigmentkügelchen dagegen behalten ihre Form im wesentlichen bei, nehmen aber eine grüne Farbe an. Man kann diese Zerlegung der rothen Farbkügelchen unmittelbar verfolgen, wenn man beim Durchschneiden einer Zelle deren Inhalt ins Wasser auspresst, wobei die in den Zellen meist ovalen oder langgestreckten Kügelchen, sobald sie mit dem Wasser in Berührung treten, sofort bedeutend und zwar kuglich aufschwellen, und dabei blässer erscheinen, bis sich endlich das Wasser in ihrer Umgebung röthet, und die Kügelchen selbst grün werden. In abgestorbenen Zellen bilden die grün gewordenen Kügelchen zusammenklebend oft formlose Chlorophyllklumpen mitten in dem rothen Zellsaft.

Aus allen diesen Beobachtungen ergiebt sich, dass das rothe Pigment der Florideen, welches ich, da es bisher noch nicht benannt ist, als Rhodophyll bezeichnen will, ganz in derselben Weise geformt auftritt, wie das Chlorophyll der Algen, bald gleichmässig in Protoplasma vertheilt, bald zu Streifen, Bändern oder Kügelchen geformt; dass aber das Rhodophyll zusammengesetzt ist aus gewöhnlichem, in Alcohol und Aether löslichem, in Wasser unlöslichem

1) Rosanoff findet, dass diese Körnchen durch Jod etwas violett gefärbt werden, dass sie in Zwischenräumen zwischen den regelmässig geordneten Pigmentkörperchen, niemals aber innerhalb des gefärbten Protoplasma vorkommen (Comptes rendus 9. April 1866).

Chlorophyll und aus einem eigenthümlichen rothen Farbstoff, welcher umgekehrt in Wasser löslich, in Alcohol dagegen unlöslich, von mir mit dem Kützingschen Namen des *Phycoerythrin* belegt werden soll; Chlorophyll und Phycoerythrin sind in den lebenden Florideenzellen so innig mit einander verbunden, dass sie in der Regel eine gleichmässige rothbraune Färbung des Thallus veranlassen. Durch endosmotische Einflüsse beim Absterben der Zellen aber wird das Rhodophyll der Florideen in seine Bestandtheile zerlegt, wobei das Phycoerythrin sich im Wasser auflöst. Aus diesen Thatsachen erklärt sich die schon oft gemachte Beobachtung, dass getrocknete oder im Wasser faulende Florideen grün werden, wie dass umgekehrt viele Arten (namentlich grosszellige, *Bornetia*, *Griffithsia*, *Callithamnion*) das Papier in ihrer Umgebung roth färben ¹⁾.

Die chemischen Eigenthümlichkeiten des Phycoerythrin, welche ich selbst wegen Mangel an Material nur auf mikrochemischem Wege ermitteln konnte, sind durch die Untersuchungen bestätigt und vervollständigt worden, welche S. Rosanoff in Cherbourg an einer grossen Zahl von Florideen angestellt und inzwischen in den *Comptes rendus* der Pariser Academie vom 9. April 1866 veröffentlicht hat. Rosanoff weist zunächst nach, dass die Florideen im Sonnenlicht Sauerstoff aushauchen, und zwar dass die stärker brechbaren Strahlen des Spectrums, sowie niedere Temperaturen der Zersetzung der Kohlensäure minder günstig sind; dass dagegen in der Dunkelheit Sauerstoff aufgenommen und Kohlensäure ausgeschieden wird, dass sich also die Florideen in ihrer Respiration und Assimilation ganz gleich den Chlorophyllalgen verhalten. Der rothe Farbstoff, der in Kügelchen oder Stäbchen concentrirt ist, zersetzt sich und werde dann grün, was auch durch Erwärmen bis zu 60—70° C. geschieht. Dagegen vertheilt sich der Farbstoff im Zellsaft durch längeres Digeriren in süssem oder Seewasser bei gewöhnlicher Temperatur und

1) Am auffallendsten und reichlichsten ist das Austreten einer purpurnen, Papier und Hände beim Auflegen röthenden Flüssigkeit bei *Rytiphloea tinctoria*, deren abfärbende Eigenschaften (*Fucus a fucando*) der ganzen Klasse der Algen ihren Namen gegeben hat. Kützing hält diesen rothen Farbstoff für eigenthümlicher Art (*Phycohaematin*). Ich fand diese Alge häufig in Genua, versäumte jedoch die Untersuchung, ob ihr Farbstoff wirklich von dem gewöhnlichen Phycoerythrin verschieden sei. Cramer hat bei dem Farbstoff von *Rytiphloea* eine sehr lebhafte grüne Fluorescenz beobachtet.

gebe einen schön carmoisinrothen Extract von der lebhaftesten Fluorescenz, indem derselbe bei reflectirtem Licht mehr oder minder röthlich gelb erscheint. Das Spectrum zeigt ein Auslöschen des ganzen Grün und oft eines kleinen Theils des Violett. Der wässrige Extract entfärbt sich durch Erwärmung bis zu 50—60° C., durch Kali sowie am Licht; durch Säuren und Alcohol wird bloß die Fluorescenz zerstört.

Die Untersuchung von Rosanoff ist nur insofern von der richtigen Erkenntniss entfernt geblieben, als derselbe die Zerlegung des rothen Pigments (Rhodophyll) in Chlorophyll und Phycoerythrin nicht berücksichtigte, die unter Umständen eintretenden grünen Färbungen als eine Veränderung (alteration) jenes Pigments auffasst, und sich die durch Behandlung der Florideen mit Alcohol oder Aether gewonnene smaragdgrüne Lösung, welche nach seiner eigenen Angabe alle physikalischen und chemischen Eigenthümlichkeiten des Chlorophylls besitzt, daher nicht zu erklären vermag.

III. Systematische Bemerkungen über Phycòchromaceen und Florideen.

Die hier geschilderten Reactionen des Phycoerythrin und des Phycocyan lassen allerdings gewisse Verschiedenheiten zwischen diesen beiden Körpern erkennen; aber sie zeigen auch in der Art ihrer Verbindungen mit dem Chlorophyll zu Phycochrom resp. Rhodophyll, wie in ihrem Verhalten gegen Erwärmung, Alcohol, Aether, Basen und Säuren offenbar eine grosse Analogie. Bereits Naegeli scheint eine solche Verwandtschaft angenommen zu haben, da er (in L. Fischers Dissertation über die Nostochaceen) das Phycoerythrin direct als eine röthlich gelbe Nuance des Phycochrom aufführt. In der That ist dessen purpurne Modification oft so schwer von dem Rhodophyll der Florideen zu unterscheiden, dass es für gewisse Arten, deren Verwandtschaft nicht ganz klar ist, oft unmöglich scheint auszumitteln, ob sie durch Phycoerythrin oder durch rothes Phycocyan gefärbt sind. So wird für *Palmella cruenta* unser Urtheil über die Natur des rothen Farbstoffs verschieden ausfallen, je nachdem wir dieselbe näher mit den Chroococcaceen oder mit *Porphyra* verwandt halten. Dasselbe gilt auch für die meinem Dafürhalten nach verwandte Art, welche das berühmte Blutprodigium veranlasst und

von Ehrenberg bekanntlich ohne genügenden Grund als *Monas prodigiosa* bezeichnet wurde. Die unmessbar kleinen, ovalen, häufig in Quertheilung begriffenen Zellchen dieses Gebildes, welches ich auch in diesem Sommer (1866) wieder aus der feuchten, fensterlosen Speisekammer im Keller eines Hauses in Breslau, wo es sich auf gekochten und geschälten Kartoffeln, sowie aus dem Keller des Pfarrhauses zu Bennstädt bei Halle a. S. erhielt, wo es sich auf Kartoffelklößen sehr reichlich entwickelt hatte, sind ursprünglich durch eine sehr dünne, schleimige Intercellularsubstanz vereinigt; da diese sich aber in Wasser leicht löst, so werden die Zellen frei und zeigen dann nur Molecular-, aber keine eigene Bewegung, wodurch sie sich von den sonst nahe verwandten Bakterien unterscheiden; dagegen scheinen sie mir in dieser Beziehung mit den unbeweglichen Bacteridien (Milchsäurehefe) von Pasteur und Davaine übereinzustimmen. Wegen der die einzelnen Zellen verbindenden schleimigen Intercellularsubstanz gehört dieses Gebilde offenbar in die Verwandtschaft der Palmellaceen, weshalb der von Montagne und Kayser gewählte Name: *Palmella prodigiosa* wohl gerechtfertigt ist; indess scheint die in Wasser leicht lösliche Beschaffenheit der Intercellularsubstanz die Aufstellung einer Untergattung zu begründen, wofür ich früher den Namen *Zoogloea prodigiosa* vorgeschlagen hatte. Die rothen Zellchen scheinen beim Absterben ihren Farbstoff an das Wasser abzugeben und sich selbst zu entfärben; so erklärt es sich, dass auf gekochten Kartoffeln, auf denen sich die rothe Palmelle entwickelt, das Protoplasma, so wie die Proteïnwürfel in den peripherischen Kartoffelzellen sich prachtvoll karminroth färben, eben so auch der Zellinhalt der *Penicillium*- und *Rhizopus*hyphen, welche zwischen der rothen Gallert umherwuchern. Bekanntlich nehmen Pilzfäden flüssige Farbstoffe, in deren Nähe sie sich entwickeln, unverändert auf; vergleiche De Bary Pilze p. 12. Zu dem rothen Phycchrom scheint auch der Farbstoff der *Monas Okeni* zu gehören.

Die nahe Verwandtschaft des Phycchrom der *Oscillarieen* und des Phycerythrin der *Florideen* ist um so interessanter, als auch morphologische und entwicklungsgeschichtliche Betrachtungen nach meiner Ueberzeugung die gewöhnlich im System weit getrennten Phycchromaceen und *Florideen* zu nähern scheinen. Es ist wenigstens nicht aus dem Auge zu lassen, dass die Süßwasser-Gattung *Batrachospermum* in ihrer ganzen Organisation zu den *Florideen*, und zwar zu den *Gymnophloeaceen* in die un-

mittelbare Nähe von *Nemalion* gehören. Ich hatte im vorigen Herbst Gelegenheit, *Nemalion multifidum* in Helgoland, und bald darauf *Batrachospermum moniliforme* und *B. vagum* in Schlesien zu untersuchen; ich vermag in Folge dessen weder in der Entwicklungsgeschichte des *Batrachospermumthallus* mit seinen rosenkranzförmig gegliederten Astwirteln und der von den Knoten ausgehenden Berindung einen wesentlichen Unterschied von den Entwicklungsgesetzen bei *Ptilota* oder einer anderen *Callithamnium* oder *Ceramium* (vergl. A. Braun Verjüngung p. 162), noch in der Organisation der Haufenfrüchte und der Antheridien von *Batrachospermum* eine wesentliche Verschiedenheit von den Favellidien und Antheridien von *Nemalion* aufzufinden.

Obwohl nach allen diesen Erwägungen eine unzweifelhafte Floridee, so ist doch der Farbstoff von *Batrachospermum* ebenso zweifellos Phycochrom: wie nicht nur die violetten und spangrünen Farbentöne, sondern auch die Extraction des Phycocyan beim Auftrocknen auf Papier erweist. Die Zellen von *Batrachospermum* enthalten zahllose Körnchen, welche ich gleich den in vielen grösseren *Oscillarineen* vorkommenden, nach der Analogie der Florideen, für *Paramylon* halten möchte.

Eine andere Florideengattung, *Chantransia*, ist insofern noch interessanter, als ihre im süßen Wasser lebenden Arten Phycochrom, die sonst völlig übereinstimmenden Arten des Meeres aber Rhodophyll enthalten: *Chantransia chalybea* aus einem Graben bei Domatschine in der Nähe von Breslau hat schmale cylindrische Zellen, ähnlich denen von *Oedogonium Rothii*, oder *Microspora*, deren Inhalt, ein spangrünes Protoplasma, von mehreren reihenweise geordneten wasserhellen Vacuolen durchbrochen ist. Die Fructification beruht auf kurzen, am obern Ende der Zellen dicht unter der Scheidewand sich abgliedernden, einfachen oder gegabelten Aestchen, welche auf einzelligem Stiele ein grösseres eirundes Sporangium mit einer einzigen eingeschlossenen Spore tragen. Bei *Chantransia violacea* stehen die Sporangien traubig. Die auch von mir bei Helgoland untersuchte, rothe *Chantransia Daviesii* Thur., welche Pringsheim zu einer besonderen Gattung *Trentepohlia* erhob (zur Morphologie der Meeresalgen p. 28 sq.) stimmt im Bau ihrer Zellen und der Sporenbildung mit *Ch. chalybea* ganz und gar überein: (vergleiche auch Pringsheims Bemerkung über *Chantransia chalybea* β . *pulchella* l. c. p. 28 Anmerkung, und die Note von Thuret über *Chantransia*

in Le Jolis Liste des Algues marines de Cherbourg p. 104); sie ist eben nur durch den Farbstoff unterschieden.

Die Gattung *Lemania* steht zwar keiner mir bekannten Florideengattung so nahe, dass sie damit in eine Familie sich vereinen liesse. Gleichwohl erleidet es für mich nicht den geringsten Zweifel, dass auch *Lemania* zu den Florideen gehöre. Ihre anatomische Structur, wie sie am genauesten von Wartmann in dessen Beiträgen zur Anatomie und Entwicklungsgeschichte der Gattung *Lemania* (St. Gallen 1854) geschildert wurde, wiederholt sich bei zahlreichen Florideen: insbesondere der centrale Strang schlauchartiger Zellen, die an den Knoten theils berindende, abwärts steigende, theils Wirtel kürzerer radienartig ausstrahlender Querzellen entwickeln, welche letztere sich wieder mit der merenchymatischen Rindenschicht, und einer diese überziehenden kleinzelligen Oberhaut in Contact setzen; unter den mir genauer bekannten Florideen stimmt dieser Bau am besten mit dem von *Halymenia ligulata* (Tab. II 6) überein, deren breiteres Laub allerdings in seiner mittleren Höhlung ein lockeres Geflecht zahlreicher paralleler Zellenstränge enthält; dagegen wiederholen sich bei dieser Gattung auch die an unbestimmten Stellen aus der merenchymatischen Rindenschicht hervorsprossenden, in die Centralhöhle frei hineinragenden Haufenfrüchte oder Favellidien, deren Sporen freilich bei den reifen *Halymenien*früchten scheinbar terminal auf der Placenta aufsitzen, während die Sporen bei *Lemania*, ähnlich wie bei der im Uebrigen auch verwandten Gattung *Batrachospermum* rosenkranzförmig an einander gereiht sind; doch sind auch bei *Halymenia* die jungen Favellidien rosenkranzförmig gegliedert (vergl. Kützing Phycol. gen. Tab. 74 I 2) und bei andern Florideen sind die rosenkranzförmigen Sporenketten noch in den reifen Kapseln deutlich (z. B. bei *Delesseria sinuosa* Harvey Phycol. britt. Plate CCLIX 4. 5; bei *Plocamium coccineum* Naegeli Neuere Algensysteme tab. X fig. 23). Dass bei *Lemania* noch keine Tetrasporen gefunden sind, kann nicht auffallen, wenn man daran erinnert, dass diese Art der Sporen auch bei vielen Florideen, so z. B. gerade bei *Halymenia* nicht bekannt sind. Dagegen lässt sich vielleicht das Vorkommen von Antheridien in den Knoten von *Lemania* vermuthen. Die Entwicklungsgeschichte von zahlreichen Florideen, so insbesondere von *Halymenia*, stimmt auch in soweit mit der von *Lemania*, als aus den Sporen nicht direct der Thallus, sondern erst ein einfacher und abweichend gebauter Prothallus hervorgeht, welcher bei

Lemania bekanntlich confervenartig, bei *Halymenia* dagegen ein einschichtiges, *Phyllactidium* ähnliches Häutchen darstellt, auf dem der hohle Laubkörper durch Sprossung aufsitzt (die sogenannte Wurzel oder Haftscheibe.)

Wenn nun gleich *Lemania* nach Anatomie und Entwicklungsgeschichte zu den Florideen gehört, so ist doch gerade bei dieser Gattung das Phycochrom überaus reichlich entwickelt, so dass die Fäden dieser Alge, welche sich meines Wissens in der Cultur kaum ein paar Stunden lebend erhält¹⁾, das Wasser alsbald durch Extraction des Phycocyan prächtig blaufärben: während die im Leben schwarzblauen Zellen nach der Extraction als Rückstand ein so reingrünes Chlorophyll zeigen, dass jüngere *Lemania*-Fäden alsdann von feiner *Enteromorpha* sich kaum unterscheiden lassen. Dass *Lemania* in vielen Algensystemen unter die *Melanosporeen* gesetzt wird, ist unzweifelhaft eine ganz unnatürliche Stellung, und nur durch eine annähernde Aehnlichkeit der Farbe getrockneter, fast schwarzer Exemplare mit der ebenfalls schwarzen von *Fucaceen* und *Phaeosporeen* zu erklären.

Aus der That Sache, dass mehrere Florideen nicht Rhodophyll, sondern Phycochrom enthalten, lässt sich zwar zunächst nur schliessen, dass in jener Algenklasse der Farbstoffe eben kein so constantes Criterium ist, wie man anzunehmen geneigt ist. Dieselbe ist also nur eine weitere Ausführung zu dem schon in meiner Abhandlung »Ueber einige Algen von Helgoland, Rabenhorsts Beiträge zur Kenntniss der Algen Heft II« gegebenen Nachweise, dass auch *Dictyota dichotoma* eine ächte Floridee sei, obwohl sie statt Rhodophyll nur den braunen Farbstoff der *Fucaceae*, *Phaeosporeae* und *Diatomeae*, den ich als *Phaeophyll* bezeichnet habe, enthält. Ich habe im vorigen Herbst noch eine zweite Meeresalge kennen gelernt, welche in dieser Beziehung mit *Dictyota* übereinstimmt. An den in doppelter Reihe

1) Dagegen habe ich *Batrachospermum vagum* von den Seefeldern bei der Heuscheuer in einem kleinen Fläschchen viele Monate lang in bestem Gedeihen erhalten, wodurch sich eine von mir früher gemachte Bemerkung (sur la culture des Algues marines in dem Bulletin du Congrès international de Botanique et d'Horticulture à Amsterdam Avril 1865 p. 117) berichtigt. Ich mache hierbei die Bemerkung, dass alle oben genannten Süßwasserflorideen, gleich der *Hildenbrandtia rivularis*, sich nur in montanen, nicht in Gewässern der Ebene vorfinden.

stehenden Pfählen des Bollwerks, welches den bei Stürmen besonders exponirten Ostrand des Unterlandes von Helgoland beschützt, bei der Fluth unter Wasser, zur Ebbe dagegen entblösst, zu allen Zeiten aber der Brandung ausgesetzt ist, entwickelt sich eine sehr eigenthümliche Vegetation, die zum Theil schon durch Alexander Braun in seiner Abhandlung »*Algarum unicellularium genera nova Lipsiae 1855*« bekannt gemacht worden ist. Hier allein wachsen die schwärzlichen Räschen des *Codiolum gregarium* A. Br., welche mein eifriger Begleiter in Helgoland, Stud. Paul Magnus im Sept. 1865 wieder aufzufinden das Glück hatte, nachdem sie Jahrelang gänzlich verloren gegangen waren. In ihrer Gesellschaft wuchern die seidenartigen Fadenmassen zahlreicher Zoosporeae, welche A. Braun sämmtlich als *Ulothrix penicilliformis* zusammenfasst, obwohl es mir schien, als seien darunter mehrere verschiedene Arten verborgen; nicht minder häufig der schwarzgrüne *Schizosiphon scopulorum*; *Rhizoclonium salinum*; *Cladophora repens*?; die zierliche *Enteromorpha Ralfsii* (*Tetranema percursum* Agardh) *Ectocarpus*-arten u. a. Zwischen ihnen fand ich die neue vielkrallige *Tardigrade*, welche von Max Schultze gleichzeitig in Ostende beobachtet und von ihm unter dem Namen *Echiniscus Sigismundi* im ersten Bande des »Archiv für mikroskopische Anatomie« beschrieben worden ist. Zwischen den grünen finden sich auch schwarzbraune Räschen von zolllangen parallel neben einander liegenden, an den Pfählen wurzelnden seidenartigen Fäden, deren freie Enden etwas kraus gelockt erscheinen, und die getrocknet schwarzbraune, stark glänzende Häute auf dem Papier bilden. Unter dem Mikroskop zeigen die Fäden einen Querdurchmesser von 0,016 mm. ($\frac{1}{140}''''$) bis 0,02 mm. ($\frac{1}{110}''''$), und sind aus gleich, bis halb so hohen einreihig geordneten, von einer gemeinschaftlichen, ziemlich dicken (0,01 mm. $\frac{1}{1600}''''$) Hüllhaut eingeschlossenen, kurz cylindrischen Zellen gebildet. Sie erscheinen sehr gleichförmig rectangulär, von dichtem farblosen körnigen Zellinhalt erfüllt, der einen grossen centralen blassen, kreisrunden Kern zeigt, umgeben von einem braunen Plasma, das sich strahlenartig (etwa wie das Chlorophyll von *Zygnema*) durch das ungefärbte Plasma verzweigt (Tab. II Fig. 5). Neben der gewöhnlichen Querteilung der Zellen, welche die Verlängerung des Fadens bewirkt, kommt an einzelnen Stellen des Fadens auch Längsteilung vor, in Folge deren die Zellen paarweise neben einander zu liegen kommen, und der einreihige Faden eine membranartige Verbreiterung (bis zu 0,4 mm.

mm. $\frac{1}{56}$ '''') erleidet. Es wechseln im selben Faden ein- und mehrreihige Stücke mit einander ab. Dieses Verhältniss erinnert so sehr an die Gattung Schizogonium, dass ich unsere Form um so mehr in der Nähe dieser Chlorophoree vermuthete, als Kützing eine olivenbraune Varietät des Schizogonium laetevirens crispum von Helgoland (Species Algorum p. 351) aufführt. Mit dieser Annahme stand jedoch die Fortpflanzung im Widerspruch. Schizogonium ist, nach der Farbe, wie nach seiner Verwandtschaft mit Ulothrix zu schliessen, eine Zoosporee. Bei den braunen Fäden der Helgolander Pfähle geschieht die Fortpflanzung hauptsächlich an den mehrreihigen, verbreiteten Stücken in der Mitte und insbesondere an der Spitze der Fäden, indem deren Hüllmembran blasenartig aufschwillt, und ein mehr oder weniger keulenförmiges Sporangium darstellt (Tab. II. 5 e. f. g.). Die Scheidewände zwischen den einzelnen Zellen werden gallertartig, aufgebläht, dadurch theilweise gelöst; die Zellen selbst verdichten ihren Inhalt; die wässrigen Vacuolen, welche in den vegetativen Zellen dem braunen Plasma ein sternförmiges Aussehen verliehen, verschwinden; letzteres bildet eine dunkelbraune, ringförmige Masse um den centralen Zellkern, und ist selbst von ganz farblosem dichtem Plasma umgeben; die Gestalt der Zellen selbst rundet sich ab, wird kuglig, elliptisch, citronenförmig, oder unregelmässig eckig; so stellen dieselben, als freigewordene, membranlose Primordialzellen, die Sporen dar. Die Zahl der Sporen in einem Sporangium beträgt 3, 5, 7 und mehr; ihren längeren Durchmesser bestimmte ich zu 0,016—0,024 mm. ($\frac{1}{140}$ — $\frac{1}{95}$ '''). Ihr Austritt geschieht, indem eine Spore an irgend einer Stelle die Sporangiummembran durchreisst (Fig. 5. h.); die übrigen Sporen folgen dann langsam durch dieselbe Oeffnung, vor der sie ruhig liegen bleiben; das reihenweise Austreten erinnert, gleich dem Ansehen der Sporen, ganz an die Polysporen der Florideen. Nach einiger Zeit ist das Sporangium leer bis auf einzelne Sporen, die in den Fächern zurückbleiben und dort keimen (Fig. 5. A. f). Auch aus einreihigen Fadenstücken brechen oft die Primordialzellen als Sporen aus, indem jede einzeln die Hüllhaut durch eine seitliche Oeffnung durchreisst; die Querscheidewände bleiben alsdann meist erhalten (Fig. 5. A. e). Einmal sah ich, dass eine Spore bei ihrem Austritt durch den seitlichen Riss in der Hüllhaut hindurchgezwängt, sich biscuitförmig einschnürte und die ausgetretene Hälfte, wie es auch bei der Geburt der Zoosporen von Vaucheria nicht selten vorkommt,

von der innerhalb der Membran enthaltenen abriß, und so gewissermassen zwei Sporen bildete (Tab. II. Fig. 5 i).

Trotz meiner sorgsamsten Nachforschungen wegen etwaiger Bewegungen dieser Sporen gelang es mir niemals, auch nur die geringste Spur einer solchen wahrzunehmen, so dass dieselben offenbar ebenso bewegungslos sind, wie die Sporen von *Dictyota*, *Lemania* oder die der rothen Florideen. Sie keimen sofort, indem sie sich an irgend einem festen Körper, oft an ihren eigenen Fäden, anhängen oder vielmehr durch eine Art Gallert ankleben, bald darauf eine deutliche, wenn auch zarte Zellmembran zeigen, und sich spindelförmig verlängern, wobei das berührende Ende sich wurzelartig verschmälert, während das andere sich quertheilt, und durch successiv wiederholte Theilungen in einen einreihigen Faden auswächst (Fig. 5 l—o).

Die braune Farbe der Zellen wie der Sporen dieser Alge, die keine Spur von Roth zeigt, liess mich längere Zeit ihre wahre Stellung im System verkennen; erst sorgfältigere Vergleichen überzeugten mich, dass ich es mit einer Art der Gattung *Bangia* zu thun habe, die zwar von Kützing fälschlich unter die *Ulotricheae* eingeordnet ist, die aber, wie Thuret in »Le Jolis Liste des Algues marines de Cherbourg« hervorhebt, zu den Florideen, in die Nähe von *Porphyra* gehört¹⁾. In der That ist die Entwicklungsgeschichte der Sporen bei *Bangia*, wie ich sie im Obigen gegeben, im Wesentlichen bereits von Solier und Derbès (*Mémoire sur la physiologie des Algues* p. 64, Pl. XVI u. XXIII) für *Bangia lutea* J. Ag., *B. fusco-purpurea* J. Ag. und *B. atro-purpurea* Ag. dargestellt worden. Schwieriger, ja ohne Vergleichung von Original Exemplaren gradezu unmöglich ist die Ermittlung der Art, zu der die Helgolander *Bangia* zu ziehen ist. Kützing (spec. Algarum) kennt aus Helgoland nur *Bangia investiens* β *aurantia*; aus der Nordsee *B. subaequalis* *crispa* und *fusco-purpurea*; letztere scheint jedoch nach Exemplaren in Rabenhorsts Sammlung durch dichter gedrängte Zellen und grössere Dicke der Fäden verschieden; ohne mir über den Werth der Kützing'schen Arten ein Urtheil zu erlauben, will ich die unsrige als *Bangia*

1) Wenn A. Kerner die von ihm in Innsbruck an dem Ausfluss der Haller Soole beobachtete *Bangia fusco-purpurea* aus benachbarter *Ulothrix* durch natürliche Züchtung hervorgehen lässt, so werden ihm wohl wenig Phycologen darin ihre Zustimmung schenken (*Oesterr. bot. Zeitung*. 1865. No. 5).

subaequalis Kg. bestimmen, da mit ihr Kützings Abbildung (Tab. 25, Fig. III der Tabulae phycologicae) am besten übereinstimmt.

Dass *Bangia* nicht, wie Kützing wollte, in die Nähe von *Ulothrix* gehöre, sondern eine Floridee sei, kann nach dem übereinstimmenden Urtheile aller neueren Phycologen um so weniger bezweifelt werden, als Solier und Derbes, sowie Thuret auch die Antheridien dieser Gattung, die im wesentlichen mit *Porphyra* übereinstimmen, beobachtet haben. Unsere *Bangia subaequalis* zeigt uns demnach eine Floridee, gleich *Dictyota*, mit braunem Zellinhalt, der jeden Beobachter, ohne Kenntniss der Sporenbildung, verleiten müsste, sie für eine *Phaeosporee* zu halten; dabei gehört dieselbe zu einer Gattung, die nicht blos rothe Arten, sondern auch solche mit spangrünem Zellinhalt umfasst; wenigstens kennt Kützing eine Varietät *chalybea* von *Bangia fusco-purpurea*, eine *Bangia atropurpurea*, basi *chalybea*; eine andere wird als *purpureo-chalybea* oder als *nigro-violacea*, eine *B. versicolor* wird als *fusca*, *violacea*, vel *purpureo-viridi-variegata* charakterisirt. Hiernach scheint *Bangia* Arten mit *Rhodophyll*, *Phaeophyll* und *Phycochrom* zu vereinigen.

Die grosse Zahl von Florideen, welche statt *Rhodophyll* *Phycochrom* enthalten, weist nicht nur auf die nahe Verwandtschaft dieser beiden Farbstoffe, sondern leitet auch zu Betrachtungen über die systematische Stellung derjenigen Algenklasse, in welcher das *Phycochrom* ausschliesslich herrscht, der *Oscillarinen*. Diese werden gewöhnlich an den Anfang der *Chlorosporeen* gestellt, von denen sie jedoch durch eine schroffe, von keiner vermittelnden Form überbrückte Kluft getrennt bleiben. Der diagnostische Charakter der *Chlorosporeen* scheint mir in ihren geschlechtslosen Sporen zu liegen, die durch flexile Bewegungsorgane (Geisseln, Cilien) in selbstthätige Bewegung gesetzt werden; gleichartige Bewegungsorgane sind auch unter den sexuellen Fortpflanzungszellen für die männlichen Samenzellen charakteristisch; auf der andern Seite finden sich bei einzelnen Gattungen (*Volvocineae*) Flimmercilien selbst in den eigentlichen vegetativen Zuständen der sterilen Zellen. Es scheint mir daher der Name der *Zoosporeen* für diese Abtheilung der Algen durchaus bezeichnend. Bei keiner *Phycochromalge* sind bis jetzt Zellen mit Flimmercilien, weder in den sterilen, noch in den Fortpflanzungszellen aufgefunden worden. In dieser Beziehung entsprechen die *Oscillarinen* unter allen Algen allein den *Flori-*

deen, deren sämtliche Fortpflanzungsorgane als membranlose Primordialzellen auftreten, die nie mit Flimmercilien und daher auch nicht mit selbstthätiger Bewegung begabt sind. Die Oscillarinen und Florideen nehmen in Bezug auf den Mangel der Flimmercilien im Reiche der Algen eine ähnliche scharf abgegränzte Stellung ein, wie etwa die Arthropoden unter den niederen Thieren. Täusche ich mich nicht, so tritt selbst die Entwicklungsgeschichte, welche ich oben von *Bangia subaequalis* gegeben, zu der durch Thuret und de Bary bei verschiedenen Nostocaceen erforschten in eine gewisse verwandtschaftliche Beziehung. Ich möchte aus alledem den Schluss ziehn, dass die Oscillarineen in einem natürlichen System von den Chlorosporeen, neben denen sie gewöhnlich eingereiht werden, getrennt, und vielmehr als niederste Stufe einer besonderen Organisationsreihe unmittelbar vor die Florideen gestellt werden müssen. Manche Gattungen der Chroococcaceen, namentlich *Palmella* (*cruenta*) in Vergleich mit *Porphyra*, sowie *L yngbya*, *Bangia* und *Chantransia* möchten die Verbindung zwischen diesen beiden Klassen in natürlicher Weise herstellen. Insbesondere kommen sich *Bangia* und *L yngbya* in mehreren ihren Arten so nahe, dass es schwer scheint, die beiden Gattungen stets aus einander zu halten, und Hassal sogar — obwohl mit Unrecht — ihre Vereinigung vorschlug. Von der Gattung *Goniotrichum* bemerkt Thuret, obwohl er selbst sie neben *Bangia* zu den Florideen stellt: »Genus ad *Palmelleas* aut *Nostochineas* forsan referendum.«

Da meiner Ueberzeugung nach auch die Bacterien und Vibrionen in die Verwandtschaft der Chroococcaceen und Oscillarien gehören, wenn sie auch — in Folge ihrer parasitischen Lebensweise — gleich *Beggiatoa* und *Hydrocrocis*, alles Farbstoffs entbehren, so würden in dieser Abtheilung die niedersten aller Organismen überhaupt anzutreffen sein.

Als höchste Entwicklungsstufe dieser Reihe möchte ich die Lichenen betrachten. Dass dieselben, und zwar die Gruppe der Collemaceen auffallende, freilich noch nicht genügend aufgeklärte Beziehungen zu den Nostocaceen und Scytoneemeen zeigen¹⁾, ist bekannt; ebenso erwähnte ich bereits, dass auch

1) Dass die Gonidienschnüre der Collemaceen den Fäden gewisser Nostocaceen in Form, Färbung und Entwicklungsgeschichte zum Verwechseln

die heteromerischen Flechten die einzigen höheren Pflanzen sind, deren Zellen zum Theil Phycochrom enthalten; von den merkwürdigen Farbstoffen anderer Arten ist zwar der anatomische Sitz noch nicht genügend erforscht; indessen ist es mir nach den neueren Untersuchungen von Nylander wahrscheinlich, dass diese Pigmente in den Gonidienzellen ihren Sitz haben, vielleicht auch im Leben mit Chlorophyll verbunden, und erst nach dem Tode durch Wasser ausgezogen werden. Ich lege geringeren Werth darauf, dass die Anatomie der Lichenen (das fasrige Geflecht der Markschrift, das nach aussen in das Merenchym der gonimischen und in das engzellige Parenchym der Rindenschicht ausstrahlt) sich im wesentlichen bei den meisten Florideen (*Halymenia*, *Ginnania*, *Polyides*, *Laurencia* etc.) wiederholt, oder dass die Haftscheibe von *Polyides*, *Halymenia* etc. der Entwicklung nach offenbar dem Hypothallus der Cladonien entspricht; auffallender ist die Analogie der krustigen Florideen (*Peyssonellia*, *Hildenbrandtia*, *Melobesia*) mit den angiocarpischen Krustenflechten, nicht blos im Habitus, sondern auch in den Früchten (Pyrenien mit einem dichten, durch einen Porus geöffneten Perithecium, dessen Kern aus 2 bis 4 sporigen Zellschläuchen (resp. Tetrasporen), untermischt mit Paraphysen, besteht). Am wichtigsten scheint mir die Analogie im Bau und der Entwicklungsweise

gleichem, auch, wie diese, durch farblose Grenz- oder Dauerzellen abgetheilt sind, ist schon lange bekannt (vergleiche Schwendener Untersuchungen über den Flechtenthallus in Nägelis Beiträgen III, p. 135). De Bary in seinem ausgezeichneten Pilzwerk hält einen directen genetischen Zusammenhang zwischen *Nostoc* und *Collema* für höchst wahrscheinlich, da zwischen den Gonidienketten des letzteren und den *Nostoc* schnüren, wenn man von den Hyphen des *Collementhallus* absieht, nicht der geringste Strukturunterschied bestehe. Ebenso bestehe ganz unzweifelhaft ein genetischer Zusammenhang zwischen der Flechtengattung *Ephebe* und ihren Verwandten mit gewissen *Scytonemaceen* (*Sirosiphon*), von denen sie sich eben nur durch die Hyphen und die Frucht unterscheiden. Bei den Gallertflechten mit nicht gereihten Gonidien (*Synalissa*, *Omphalaria*) sind die freien Gonidiengruppen gewissen *Chroococcaceen* (*Gloeocapsa*) in auffallender Weise ähnlich (l. c. p. 290. 291).

Zu bemerken ist, dass farb- und körnerlose Grenzzellen (*Heterocysten*), wie sie die Fäden der *Oscillarien* und Gallertflechten charakterisiren, von Rosanoff auch im laubartigen Gewebe gewisser Florideen (*Melobesia farinosa*) entdeckt worden sind (*Recherches anatomiques sur les Melobesiées* p. 38. Pl. II. fig. 11. 12).

der männlichen Organe bei beiden Klassen. Die Spermogonien der Lichenen (und der mit ihnen zu vereinigenden Ascomyceten) bestehen bekanntlich im wesentlichen aus dicht verästelten Zellbüscheln, deren einzelne kleinzellige Glieder (Spermastien) sich bei der Reife von einander trennen, aber keine Bewegung zeigen. Ganz ebenso ist aber auch der allgemeine Bau der Antheridien bei den Florideen trotz der grossen Verschiedenheit bei einzelnen Gattungen; die Florideenantheridien weichen so ganz und gar von denen der übrigen Algen und der höheren Cryptogamen (mit durch freie Zellbildung in grossen Mutterzellen erzeugten, durch Cilien bewegten Samenkörperchen) ab, dass ich nicht anstehen möchte, die betreffenden Organe der Florideen gradezu als Spermogonien, und ihre Samenzellen als Spermastien zu bezeichnen ¹⁾. Wie immer auch die befruchtende Function der unbeweglichen Spermastien bei Florideen und Lichenen stattfinden mag, so ist sie doch zweifellos von den bei allen übrigen Kryptogamen stattfindenden Vorgängen grundverschieden. Ob und in wie weit die sogenannten Vierlingsfrüchte der Florideen den Sporenschläuchen der Lichenen sich vergleichen lassen, und in wiefern die Kapsel Früchte mit ihren Cystosporen den Pycniden und Stylosporen entsprechen, will ich hier nicht erörtern; der gänzliche Mangel an eigener Bewegung aber in sämtlichen Fortpflanzungszellen der beiden Klassen ²⁾ ist jedenfalls ein

1) Allerdings sind die Samenkörperchen der Florideen nackte Primordialzellen, die aus ihrer Mutterzellhaut ausschlüpfen; doch wiederholt sich der Charakter der Membranlosigkeit auch bei den Sporen der Florideen im Gegensatz zu denen der Flechten, und möchte mit der bei den Algen überhaupt sich so häufig wiederholenden Verflüssigung der Zellmembranen in Zusammenhang stehen. Auch scheinen jene Fortpflanzungszellen der Florideen nicht sowohl membranlos, als mit einer dünnen Gallertschicht bekleidet zu sein.

2) Ich habe in Hedwigia I, p. 3. 1852 darauf aufmerksam gemacht, dass die als *Protococcus crustaceus*, oder als *Chroolepus umbrinus* bezeichnete Alge nach der Meinung der bedeutendsten Lichenologen als Entwicklungszustand (*Erythrogonidien*) gewisser Flechten aufgefasst werde. Da sich nun *Protococcus crustaceus* durch Zoosporen fortpflanzt, so würde dadurch auch für gewisse Lichenen Schwärmzellenbildung nachgewiesen sein. Caspary hat allerdings den hypothetischen Zusammenhang zwischen *Chroolepus* und jenen Flechten für eine phantastische, keiner ernsten Widerlegung würdige Annahme erklärt (*Flora* 1858, No. 36). De Bary dagegen kann keinen Unter-

überaus wichtiges Moment, das sie von den übrigen Kryptogamen ausscheidet und ihre Zusammengehörigkeit evident macht.

Wenn wir im Obigen den Samenkörpern der Florideen Cilien und eigene Bewegung absprechen, so finden wir uns in Uebereinstimmung mit allen neueren Phycologen, insbesondere Thuret, A. Braun und Pringsheim (vergleiche die Bemerkungen in meinem Aufsätze über Dictyota in Rabenhorsts Beiträgen Heft II, p. 25). Allerdings haben bekanntlich Solier und Derbès in ihrem »Mémoire sur la physiologie des Algues« die entgegengesetzte Behauptung ausgesprochen und lebhaft Bewegungen der Antherozoiden in positivster Weise bei mehreren Florideen, insbesondere bei Bangia, Polysiphonia, Nitophyllum, Laurencia, Callithamnion und Ceramium beschrieben und in ihren Abbildungen dargestellt. Hier vermuthete bereits Thuret eine Verwechslung mit Monaden. Vielleicht erklärt die nachstehende Beobachtung das den Angaben von Solier und Derbès zu Grunde liegende Missverständniss. Als ich von *Polysiphonia violacea*, welche auf *Chorda Filum* bei Helgoland häufig wächst, Antheridien-exemplare unter dem Mikroskop untersuchte, fand ich zwischen den abgelösten, stets unbeweglichen Samenzellen oder Spermatien zahlreiche farblose Körperchen, jenen ganz ähnlich, aber in zickzackartiger Bewegung umherschnellend, so dass ich sofort an die Beschreibungen von Solier und Derbès über das »mouvement saccadé et tremblotant« der angeblichen Florideenantherozoiden erinnert wurde. Eine genauere Untersuchung zeigte aber einen andern Ursprung dieser Körperchen. An den Rindenzellen der *Polysiphonia*, und zwar namentlich an den jüngern, in Haare auslaufenden Aestchen sassen nämlich parasitische Organismen fest, in Form kuglicher Zellen, mit verdünnter oder abgeplatteter Basis der Cuticula der *Polysiphonia* dicht anliegend, ohne in das Innere ihrer Rinde einzudringen (Tab. II. Fig. 2).

schied zwischen jener Alge und den im Thallus der Graphideen befindlichen Gonidien finden, und neigt sich durchaus zu der Annahme eines genetischen Zusammenhangs zwischen beiden Gebilden. Indessen ist der entscheidende Nachweis jener Abstammung des rothen *Protococcus* oder *Chroolepus*, der freilich den oben aufgestellten Satz der Abwesenheit von Zoosporen bei den Flechten erschüttern würde, noch nicht geführt.

Einige Schwierigkeit machen auch die Conjugaten (*Zygnemeen*, *Desmidiaceen*, *Diatomeen*), insofern diese ihrer Verwandtschaft nach offenbar zu den chlorophyllgrünen Zoosporeen gehören, gleichwohl aber an ihren Fortpflanzungszellen noch keine Cilien haben erkennen lassen.

Es sind dies einzellige Schmarotzer, der Gattung *Chytridium* angehörig, deren Vorkommen im Meere bisher noch nicht bekannt gewesen ist; ich habe daher die neue Art als *Chytridium Polysiphoniae* m. bezeichnet. Die jungen Chytridien, die oft gruppenförmig traubig zusammensitzen, sind wurzellos, mit farblosem hellerem Protoplasma gefüllt; anfänglich kuglich, nehmen sie, indem sie sich rasch vergrössern, durch gegenseitiges Abplatten oft eckige Formen an; ihr Plasma wird dunkler und feinkörnig, von grossen Vacuolen durchsetzt, die später wieder verschwinden. Wenn ausgewachsen, besitzen sie einen Durchmesser von 0,033 mm. und ein sehr dunkles, dicht gekörntes Protoplasma, welches durch freie Zellbildung in zahllose Zoosporen zerfällt. Bei der Reife löst sich der obere Theil der Mutterzelle durch einen kreisrunden Deckel ab, und aus der Oeffnung von 0,0013 mm. Durchmesser schwärmen die Zoosporen aus, kleine farblose Kügelchen mit dunklerem Kern, durch eine hinten nachschleppende Geissel zu springenden Bewegungen befähigt. Ist der grösste Theil der Zoosporen ausgeschwärmt, so sieht man die wenigen zurückbleibenden in ihrer Mutterzelle umherhüpfen und sich wohl an die Innwand derselben anheften; die entleerte Membran der Mutterzelle zeigt eine schwärzliche Farbe und ist dicht punktirt; die Zoosporen haben etwa 0,0025 mm. im Durchmesser und lassen sich daher leicht mit den fast gleichgrossen Samenzellen (Spermatien) der *Polysiphonia* verwechseln. Bei der Keimung setzen die Zoosporen sich an die Rinde eine *Polysiphonia*-ästchens an, und wachsen allmählich zu einer grösseren Kugel aus; die Grösse, welche sie erreichen, scheint von der Nahrung abzuhängen; denn ich fand auch kleinere Exemplare von höchstens 0,025 mm. Durchmesser, welche gleichwohl schon reife Sporen enthielten. Hiernach habe ich die Diagnose des *Chytridium Polysiphoniae* in »Hedwigia 1865. No. 12, p. 169« folgendermaassen bestimmt:

Ch. Polysiphoniae n. s. cellulis solitariis vel saepius socialibus subglobosis vel subangulatis basi plana ad cuticulam *Polysiphoniae* appressis utriculos *Polysiphoniae* vix iniuriantibus radícula carentibus, zoosporiferis membrana nigrescente circumdatis operculo orbiculari circumscisso apertis; zoosporis numerosissimis hyalinis nucleolo et cilia flexili instructis saltantibus.

Diameter cellularum usque ad 0,033 mm. ($\frac{1}{65}''$) operculi ad 0,013 mm. ($\frac{1}{160}''$) zoosporarum 0,0025 mm. ($\frac{1}{870}''$).

Nidulat ad *Polysiphoniae* violaceae Chordam Filum habitantis

ramos superiores in mari prope rupes occidentales Insulae Helgoland. Sept. 1865.

Dass Solier und Derbés die Zoosporen von Chytridien mit den Samenkörperchen von Florideen verwechselt haben, geht mir unzweifelhaft aus ihrer Beschreibung und Abbildung bei *Aglaophyllum ocellatum* (l. c. p. 67. Pl. XXI. fig. 10—12) hervor. Hier wird offenbar ein auf dem Thallus des *Aglaophyllum* aufsitzendes Chytridium dargestellt, von kuglicher Form mit grauem feinkörnigem Inhalt (fig. 10 a), der sich in »granules animés d'un mouvement très manifeste« umgestaltet. Es wird nun geschildert, wie diese Körperchen einzeln oder in Masse austreten, und sich allmählich mit Hülfe einer nachschleppenden Geissel gewaltsam (brusquement), nach Art von Monaden, nach allen Richtungen zerstreuen. Nach den Figuren Pl. XXI. 10 a und 11 b zu schliessen, scheint das auf den männlichen Exemplaren von *Aglaophyllum* beobachtete Chytridium mit meinem *Ch. Polysiphoniae* identisch. Von den Arten des süßen Wassers scheint diese Art am nächsten mit dem Chytridium *Olla* Al. Braun verwandt wegen des scharf abgegrenzten Deckels, unterscheidet sich aber durch den Mangel der Wurzel und die schwärzliche Farbe der entleerten Zellen.

Auch bei andern Florideen habe ich in Helgoland Chytridien beobachtet, die zu der Verwechslung mit Samenkörpern Anlass geben könnten. Das zierliche *Antithamnion Plumula* Thur. wächst daselbst im Nordhafen nicht selten auf Steinen, in Exemplaren mit Spermogonien wie mit Di- und Tetrasporen. Die einreihigen Hauptstämmchen entsenden an jeder Scheidewand, dicht unterhalb derselben je zwei gegenüberstehende, fast rechtwinklich abgehende Aeste, welche selbst wieder unter der Scheidewand jeder ihrer Zellen je einen aufwärts gerichteten Zweig ausschicken. Letztere verzweigen sich an einzelnen Scheidewänden nochmals einseitig; an den meisten der übrigen Zellen dieser Zweige, und zwar oft ganz regelmässig dicht unter jeder Scheidewand, bilden sich seitliche Anschwellungen, die allmählich sich zu eiförmigen Auswüchsen entwickeln, und wie junge Astansätze aussehen, die reihenweis neben einander den Zweigzellen aufsitzen (Tab. II. Fig. 3). Die Entwicklungsgeschichte zeigt, dass wir es hier ebenfalls mit parasitischen Chytridien zu thun haben, die jedoch — abweichend von *Ch. Polysiphoniae* — als *Entophyten*, nicht als *Epiphyten* auftreten, indem sie im Innern der *Antithamnion*-zellen sich entwickeln, ohne jedoch deren Inhalt in sichtbarer Weise zu

beschädigen. An der Aussenseite dieser Zellen sieht man zuerst je ein farbloses Kügelchen anhaften, das wir als in Keimung begriffene Zoospore des Chytridium zu betrachten haben. Bald darauf finden wir dieses Körperchen im Innern der Zelle, zwischen der Zellmembran und dem Primordialschlauch, der durch den fremden Eindringling etwas zurückgedrängt, aber nicht durchbohrt wird (Fig. 4 a. b). Den Moment des Einschlüpfens zu belauschen, ist mir leider nicht geglückt. Sobald die Zoospore sich auf der Innenseite der Antithamnionzelle befindet, so wächst sie und nimmt die Gestalt eines linsenförmigen Körpers an, der auf dem eingedrückten rothen Primordialschlauch platt aufsitzt. Die Zellmembran wird oberhalb der Zoospore aufgebläht, und indem diese, keimend und sich mehr und mehr vergrößernd, Eiform annimmt, bleibt sie von der ausgestülpten Antithamnionmembran umschlossen (Fig. 4 c. d). Auch das rothe Protoplasma bildet oft noch einen sehr dünnen Ueberzug des Parasiten. In diesem selbst nimmt der Zellinhalt allmählich eine dunkel-feinkörnige Structur an (Fig. 4 e), und wandelt sich schliesslich in zahllose Zoosporen um, die die Höhle ihrer Mutterzelle dicht erfüllen und später durch eine unregelmässige seitliche Oeffnung derselben entleert werden (Fig. 4 f.). Die mit Zoosporen erfüllten Chytridien nehmen zuletzt eine sehr charakteristische röthliche oder bräunliche Färbung an, die auch an den entleerten Zellen erkennbar bleibt. Es glückte mir nicht, den Moment des Ausschlüpfens selbst zu beobachten; dagegen fand ich, dass ganz unreife Chytridien mit homogenem Protoplasma in einem mikroskopischen Präparat mit Seewasser nach zwei bis drei Tagen feingekörnt und theilweise entleert waren. Bei längerer Aufbewahrung im Präparat wird der Zellinhalt der Chytridien stark lichtbrechend, ölartig.

Ich habe diesen merkwürdigen Entophyten, der namentlich dadurch interessant ist, dass er die einfachste Form einer Gallenbildung darstellt, als eine neue Art: *Chytridium Plumulae* bezeichnet, und folgendermaassen charakterisirt:

Chytridium Plumulae n. s. cellulis subglobosis vel saepius ovalibus eradicatis entophytis, zoosporiferis rubescentibus vel fusciscentibus; zoosporis numerosissimis demum apertura irregulari erumpentibus, singulis singulae Antithamnii cellulae membranam perforantibus infra eiusdem membranam et protoplasma germinantibus processum utriculiformem cellulae hospitalis ramuli instar producentibus et mox explantibus reliquam cellulam vix afficientibus.

Magnitudo Chytridii usque ad $\frac{1}{170}$ ''' (0,013 mm.).

Nidulat in processibus ovalibus cellularum fere omnium saepissime sursum seriatis Antithamnii Plumulae Thur. lapides in imo mari ad portum insulae Helgoland septentrionalem habitantis. Sept. 1865 ¹⁾).

Ausser den spangrünen und den rothen umfasst die Klasse der Algen bekanntlich noch eine grosse Zahl von Familien, denen ebenfalls das reingrüne Chlorophyll fehlt. In Bezug auf die braunen Algen habe ich in meinem Aufsatze über Dictyota hervorgehoben, dass der Farbstoff derselben, das Phaeophyll, mit dem Chlorophyll mehrere Reactionen gemein hat und sich leicht in dasselbe über-

1) Höchst wahrscheinlich gehört ein anderer Entophyt, den ich im Innern der Zellen von Bangia, so wie von Hormidium penicilliforme häufig beobachtete, ebenfalls zur Gattung Chytridium. Es sind dies kugliche Körperchen, von klarem farblosem oder feinkörnigem Protoplasma gefüllt, von verschiedenem Durchmesser, welche sich von dem Chytridium Plumulae hauptsächlich dadurch unterscheiden, dass sie ungefärbt sind, keine Auswüchse ihrer Nährzelle veranlassen, sondern dieselbe vielmehr vollständig tödten. Bei Bangia nehmen diese Schmarotzer oft theilweise bräunliche Färbung durch Aufnahme des Plasma der Nährzelle an, die inhaltsleer geworden, durch ihre Nachbarzellen oft zusammengedrückt wird (Tab. II. Fig 5.5A): Entwicklung von Zoosporen habe ich nicht zu beobachten Gelegenheit gehabt; dagegen fand ich zwischen der dicken Zellmembran von Hormidium penicilliforme und dem grünen Protoplasma eingeschoben mehremal ein linsenförmiges farbloses Körperchen, welches ich für eine frisch eingedrungene Zoospore hielt. Bleibt demnach ohne vollständige Kenntniss der Entwicklungsgeschichte die Bestimmung dieses Schmarotzers unsicher, so glaube ich doch nach der äusseren Aehnlichkeit mit Chytridium entophytum A. Br. und analogen Arten hier eine neue Art von Chytridium zu erkennen, die ich Ch. entosphaericum genannt, und wie folgt characterisirt habe:

Chytridium? entosphaericum n. s. cellulis globosis vel angulatis albis singulis in singula algae cuiusdam marinae cellula evolutis, zoosporis (?) membranam cellulae hospitalis perforantibus infra lumen eius germinantibus enecatamque partem vel totam explentibus.

Diameter Chytridii fere 0,016 mm. ($\frac{1}{130}$ ''').

Observavi in intimis cellulis Bangiae subaequalis nec non Hormidii penicilliformis Kütz. ad palos plagam (Unterland) insulae Helgoland protegentes crescentium alto fluctu tantum humectatorum. Sept. 1865.

führen lässt. Nach den Ergebnissen meiner Untersuchungen über Phycochrom und Rhodophyll, lag die Vermuthung nahe, dass auch bei den braunen Algen das Pigment aus Chlorophyll und einem zweiten Körper zusammengesetzt ist, welcher die grüne Färbung des ersteren verdeckt. Ich muss jedoch bemerken, dass es mir nie gelungen ist, eine solche Spaltung des Phaeophylls (beim Maceriren oder Trocknen dieser Algen) herbeizuführen. Wir müssen daher noch die Annahme für wahrscheinlicher halten, dass das Phaeophyll ein dem Chlorophyll nahe verwandter Körper, vielleicht nur eine Modification desselben sei. In systematischer Beziehung scheint dem Phaeophyll eine geringere Bedeutung zuzukommen, als den drei anderen, hier erwähnten Farbstoffen, da dasselbe ausser bei Diatomeen, Phaeosporeen und Melanosporeen vereinzelt auch bei Chlorosporeen und bei Rhodosporeen angetroffen wird. Die eigentlichen Phaeosporeen Thur. scheinen mir nur eine höhere Entwicklungsstufe der Chlorosporeen, an die sie sich in Anatomie, Entwicklung und Fortpflanzung innigst anschliessen; auch die Fucaceen, obwohl in eigenthümlicher Stellung, dürften dieser Abtheilung anzureihen sein, welche sich durch Vermittelung der Characeen aufsteigend nach der Klasse der Moose fortsetzt.

Von den nichtgrünen Farbstoffen der Algen ist noch der rothe, bei gewissen Volvocinen, Protococcaceen, Palmelleen und Chroolepus, sowie in den Sporen mancher Chlorosporeae (*Sphaeroplea*, *Bulbochaete*, *Volvox*) ferner bei *Euglena sanguinea* auftretende, den ich in meinen Nachträgen zur Naturgeschichte des *Protococcus pluvialis* zuerst genauer unterschieden zu haben glaube, indem ich ihn als ein scharlachrothes in Alcohol und Aether lösliches, durch Jod blau werdendes Oel charakterisirte. Caspary hat diese Reactionen für *Chroolepus umbrinum* bestätigt (die Zoosporen von *Chroolepus* Flora No. 36, 1858). Jedenfalls ist dieser Farbstoff, den ich *Haematochrom* nennen will, vom Rhodophyll der Florideen, wie von dem purpurnen Phycochrom vieler *Oscillarineae* durchaus verschieden. Gleichwohl steht fest, dass derselbe zu dem Chlorophyll in nächster Beziehung steht; denn die Beobachtung zeigt nicht nur, dass in gewissen Entwicklungsstadien jener Algen das rothe *Haematochrom* sich auf Kosten, und vermuthlich auch direct aus dem grünen Chlorophyll umbildet, und umgekehrt, sondern auch, dass bei ganz leichten Modificationen der äussern Verhältnisse die früher rothen Zellen grün erscheinen, und umgekehrt, oder auch

beide Farben in beliebigem Gemisch vereint sind, ohne dass die wesentlichen Lebensthätigkeiten derselben dadurch alterirt scheinen. Dass insbesondere die rothen *Chroolepus*-*Chlamydococcus*-*Euglena*-zellen ebenso reichlich Sauerstoff im Sonnenlichte abscheiden als die grünen, lehrt der Augenschein. Ich möchte daher auch in dem *Haematochrom* nur eine Modification des Chlorophylls vermuthen.

Fassen wir alle diese Thatsachen zusammen, so können wir als Endresultat unserer Untersuchungen den Satz theils als erwiesen, theils für höchst wahrscheinlich gemacht ansehen, dass alle, auch die nicht grünen Pflanzen, welche assimiliren, Chlorophyll, entweder rein oder in Verbindung mit anderen Farbstoffen, oder in gewissen Modificationen enthalten; dass in allen, auch in den nicht grünen Pflanzen Chlorophyll der Träger der Assimilationsprocesse ist.

Die neueren Untersuchungen von Frémy weisen darauf hin, dass das Chlorophyll selbst kein einfacher, sondern ein zusammengesetzter Körper sei, dessen Bestandtheile durch ihr verschiedenes Verhalten gegen Reagentien gespalten, und in Folge dessen isolirt werden, dass namentlich das grüne Chlorophyll in eine gelbe und eine blaue Substanz zerlegt werden könne. Da Stokes aus optischen, andere Forscher auch aus chemischen Gründen die Richtigkeit der Frémy'schen Anschauungen in Zweifel gezogen haben, so begnüge ich mich an dieser Stelle darauf hingewiesen zu haben.

Aeltere Untersuchungen haben angenommen, dass der rothe und blaue Farbstoff der Blüthen (Anthocyan) und der rothe Farbstoff der Blätter (Erythrophyll) aus dem Chlorophyll hervorgehe, während Mohl die völlige Unabhängigkeit beider Farbstoffe aus anatomischen Gründen gerechtfertigt hat, und Wigand das Erythrophyll aus dem Gerbstoff ableitet. Das letztere bildet sich auch in den Blättchen des im Dunkeln gekeimten Roggens, während das Chlorophyll sich bekanntlich nur im Lichte erzeugt. Die von uns über die Spaltbarkeit des Phycchrom und Rhodophyll in Chlorophyll und einen in Wasser löslichen Körper gegebenen Beobachtungen scheinen daher in dem Verhältniss der rothen Farben in Blättern und Blüthen zum Chlorophyll keine Analogie zu finden, um so weniger, als ja überhaupt Phycocyan und Anthocyan, Rhodophyll und Erythrophyll ganz verschiedene Stoffe sind; denn obwohl sämmtlich in Wasser löslich, werden doch die Farbstoffe der Algen durch Alco

hol, Säuren und Salze mit ihrer natürlichen Farbe niedergeschlagen, durch Basen und durch Kochen ebenfalls gefällt aber entfärbt, während die betreffenden Farbstoffe der Phanerogamen bekanntlich durch Säuren roth, durch Basen blau oder grün, aber niemals ausgefällt und auch durch Kochen nicht zerstört werden.

IV. Bemerkungen über die Bewegung der Oscillarineen.

Die Abwesenheit von Flimmercilien bei den Phycochromaceen, welche wir oben als Charakter derselben hervorgehoben haben, bedingt bekanntlich keineswegs den Mangel an Bewegung bei diesen Algen. Vielmehr sind dieselben gerade durch ihre eigenthümlichen Bewegungen berühmt geworden, welche der Gattung *Oscillaria* ihren Namen gegeben, aber auch bei Nostocaceen und Rivularien beobachtet worden sind.

In Bezug auf diese Bewegung ist zunächst zu bemerken, dass sie kein absolut constantes Merkmal abgibt, da sie bei Nostocaceen und Rivularien eben nur in gewissen Jugendzuständen, später aber nicht weiter stattfindet. Bei den eigentlichen Oscillarieen: *Oscillaria*, *Spirulina*, *Beggiatoa*, *Spirochaete*, *Vibrio*, *Spirillum*) ist die Bewegung in der Regel zwar zu allen Zeiten, wenn auch nicht immer mit gleicher Energie zu finden; aber die Uebereinstimmung mit nächstverwandten Gattungen (*Hygrocrocis*, *Leptothrix*, *Phormidium* etc.), wo Bewegung gar nicht oder nur ausnahmsweise beobachtet wird, verbietet uns, auf diesen sonst so auffallenden Charakter einen allzugrossen Werth zu legen. Inwieweit hier äussere Verhältnisse (Jahreszeit, Temperatur des Wassers) oder innere (Alter der Fäden) von Einfluss sind, ist noch nicht ermittelt.

Die Bewegungsgesetze der Oscillarien habe ich in meinen »Untersuchungen über die Entwicklungsgeschichte mikroskopischer Algen und Pilze« für *Spirulina* und die verwandten Formen auf die Combination dreier gleichzeitig stattfindender Momente zurückzuführen gesucht. Der Faden dreht sich 1) stetig um seine Längsachse. Diese Rotation würde jedoch an sich ebensowenig eine Ortsveränderung zu Stande bringen, als etwa die Erde durch ihre Drehung um die Polachse allein von der Stelle käme. Aber mit dieser Rotation ist

stets verbunden 2) ein langsames Fortschieben des Fadens, und zwar in häufig wechselnder Richtung, wodurch derselbe sich, ähnlich wie eine Schraube in ihrer Mutter fortschraubt, indem abwechselnd das eine und das andere Ende vorausgeht. Da die Fäden kein Oben und Unten haben, so lässt sich die Richtung der Drehung nicht nach Rechts und Links bestimmen. Die Rotation um die Längsachse und die aus ihr resultirenden Schraubenbewegungen haben die Oscillarien mit allen Zoosporen und den meisten Infusorien gemein (vergleiche das Referat meines Vortrages über die Gesetze der Bewegung bei mikroskopischen Pflanzen und Thieren unter Einfluss des Lichtes in dem Amtlichen Bericht der Deutschen Naturforscher-Versammlung in Hannover p. 219, Sitzung der Section für Zoologie und vergleichende Anatomie, 21. September 1865).

Eigenthümlich ist den Oscillarien aber 3) die von mir als *Flexilität* bezeichnete Eigenschaft, welche darin besteht, dass der Faden sich selbstthätig beugen und wieder gerade strecken, oder in eine Beugung nach der entgegengesetzten Seite übergehen kann. Auch vermag sich der Faden an verschiedenen Strecken seiner Länge nach verschiedenen Richtungen zu beugen, wodurch er eine Wellenform annimmt, was bei grösserer Geschwindigkeit als Schlingelbewegung erscheint. Aus der Combination der Beugung und der Rotation entstehen die bekannten scheinbaren Pendelbewegungen, indem das gekrümmte Ende des Fadens bei der Drehung desselben um die Längsachse einen Kegelmantel, die Spitze einen Kreis beschreibt, der unter dem Mikroskop gewöhnlich als Oscilliren in einer Ebene aufgefasst wird. Die Beugungen geschehen meist gewaltsam und plötzlich, so dass das Fadenende sich heftig nach einer Seite herüberschlägt und wieder zurückfährt, und erinnert oft an die Bewegungen der Würmer namentlich der Nematoden (*Trichina*, *Anguillula*). Die *Flexilität* fehlt den meisten Zoosporen der Algen, kommt jedoch den Samenfäden zu.

Der Mangel aller sichtbaren Bewegungsorgane bei den Oscillarien hat schon früh die Analogie mit den einzigen sich in dieser Beziehung gleich verhaltenden Organismen, den Diatomeen in Erinnerung gebracht, bei denen allerdings weder *Flexilität*, noch der Regel nach Rotation stattfindet, wohl aber das dritte Moment, nämlich das Vor- und Rückwärtsgleiten in der Richtung der Längsachse hervortritt, das freilich, ähnlich wie bei den Oscillarien, nicht nur

beständig in der Richtung wechselt, sondern auch in gewissen Lebenszuständen, oder auch bei nächstverwandten Arten gänzlich ausbleibt. Für die Bewegung der Diatomeen hat Max Schultze in seiner jüngst erschienenen Abhandlung im ersten Bande dieses Archivs ein neues wichtiges Moment entdeckt, welches er an die schon früher bekannte Thatsache anknüpft, dass die Diatomeen die Fähigkeit haben, längs ihrer Schale, aber nur in der Richtung bestimmter Seitenlinien, fremde, oft verhältnissmässig sehr schwere Körper aufwärts und abwärts fortzuwälzen. Max Schultze machte nun die scharfsinnige Beobachtung, dass die Ortsbewegung der Diatomeen nur dann zu Stande kömmt, wenn dieselben mit einer jener Seiten eine Stützfläche berühren, auf der sie sich fortzuschieben vermögen.

Meine eigenen Beobachtungen haben das Schultze'sche Gesetz nicht nur für die Diatomeen bestätigt, sondern dasselbe auch für die Oscillarien nachgewiesen.

Bringt man ein Stückchen von einem Oscillarienfilz in eine Schale mit Wasser, so sieht man bekanntlich die einzelnen Fäden strahlenartig nach allen Richtungen sich ausbreiten. Aber niemals verlassen dieselben den Filz vollständig, sondern schrauben sich, nachdem sie ein Stück vorwärts gekrochen, wieder in den Filz zurück, und so abwechselnd.

Vertheilt man die Fäden eines Oscillarienfilzes durch Schütteln in einem Glase mit Wasser, so setzen sie sich sämmtlich am Grunde ab und verflechten sich in kurzer Zeit zu einem hautähnlichen Filz, der den Boden bedeckt. Dieser Filz breitet sich um so weiter aus, je mehr sich die Zahl und Länge der Fäden durch Theilung ihrer Zellen vermehrt. Hat der Oscillarienfilz den ganzen Boden überdeckt, so spinnt er sich aufsteigend auch längs der Seitenwände des Glases, diesen dicht anliegend, in Form eines cylindrischen Sackes weiter, bis er die Oberfläche des Wassers erreicht. Befinden sich im Wasser feste Körper, Steine, Wasserpflanzen etc., so steigt der Oscillarienfilz auch an diesen empor, sie mehr oder weniger dicht einhüllend, oft die feinsten Zwischenräume mit seinen Fäden ausfüllend. Dasselbe findet Statt, wenn durch Gasblasen kleine Stückchen des Oscillarienfilzes an die Oberfläche des Wassers gehoben werden, auf der sie schwimmen; man sieht bald von der Masse aus die Fäden sich nach allen Richtungen zu einem dünnen Häutchen fortspinnen, wobei sie die Fläche des Wassers als Stützfläche

benutzen. Aber niemals findet man Oscillarien frei im Wasser schwimmend, wie dies alle Zoosporen thun, noch begeben sie sich jemals von einem Punkte nach einem anderen, wohin sie nicht durch Contact mit dazwischenliegenden festen Körpern gelangen können. Nie erreicht der Oscillarienfilz einen im Wasser befindlichen Gegenstand, bevor er nicht alle dazwischenliegenden Punkte berührt hat. In der Regel benutzen die Oscillarien ihre eigenen Fäden als Stütze, so dass die eine sich an der andern vorüberschiebt, oder, wie bei den Spirulinen, zwei Spiralen sich an einander fortschrauben, oder auch wohl das eine Ende des Fadens sich um das andere schlingt und an diesem auf und abwindet (vergleiche meine Untersuchungen mikroskopischer Algen und Pilze Taf. XV, fig. 13, 14 und Taf. I, fig. 2 und 6 dieser Abhandlung). Sehr instructiv sind in dieser Beziehung die Beobachtungen, welche ich in meinem Zimmeraquarium, sowie in einem grösseren, in diesem Jahre von mir im hiesigen zoologischen Garten eingerichteten Seeaquarium gemacht habe. Wenn das Gefäss mit Seewasser gefüllt ist, so erscheint früher oder später, in wenig Tagen oder Wochen, je nach der Beleuchtung und Temperatur, auf den eingesetzten Felsstücken, und den Wänden des Gefässes ein grüner, rother oder brauner Anflug. Der letztere besteht aus Diatomeen, die ersteren aus Oscillarineen, deren Keime offenbar in allem Seewasser enthalten sind, und die, je nach der mehr oder minder reichlichen Vermehrung, auch dem blossen Auge früher oder später bemerklich werden. Es stellt sich hierbei heraus, dass sowohl Diatomeen als auch Oscillarineen durch das Licht in ihrer Vermehrung gefördert werden; denn es sind nur die dem Lichte zugewendeten Seiten der Felsen, welche die Färbung durch jene Organismen zeigen, während die beschatteten Flächen davon frei bleiben. Dennoch zeigt sich hier ein wesentlicher Unterschied gegen die oft gleichzeitig sich entwickelnden Zoosporeen und Phaeosporeen. Die Schwärmsporen dieser Algen begeben sich nämlich am liebsten nach dem am hellsten beleuchteten Punkte des ganzen Raumes, so dass sie quer durch das Wasser schwimmend sich vorzugsweise an der dem Fenster zugewendeten Seite des Gefässes anhäufen. Ist daher das Aquarium nicht zu gross, als dass die mit einer absolut immerhin nur unbedeutenden Bewegungsfähigkeit begabten Zoosporen während ihrer Schwärmzeit den Raum desselben völlig durchmessen können, so findet man in den vom Fenster abgekehrten Theilen, ebenso wie am Boden nicht eine einzige kei-

mende Zoosporee, während von Diatomeen und Oscillarien auch die hintersten Felsstücke, freilich nur auf ihrer Lichtseite, sowie der der ganze Boden überzogen wird. Diese Erscheinung erklärt sich nicht aus einem geringeren Einfluss des Lichtes auf die Bewegungen der letzteren Organismen, aus einem geringeren Lichthunger derselben, sondern daraus, dass dieselben da liegen bleiben, wo ihre Keime aus dem Seewasser sich absetzten, und dass sie von diesen Ausgangspunkten aus sich nur schrittweise auf ihren Unterlagen weiter zu schieben vermögen, wobei allerdings ihre Ernährung und Vermehrung wie bei allen Pflanzen durch den Einfluss des Lichtes auf das lebhafteste gefördert wird, im Schatten dagegen nur wenig oder gar nicht vorgeht, während die Zoosporen selbstthätig die ihnen zusagenden Räume aufsuchen.

Max Schultze hat zur Erklärung der Diatomeen-Bewegungen die geistvolle Hypothese aufgestellt, dass durch Spalten in ihrer Kieselshale das contractile Protoplasma des Zellinhalts in einer unmessbar dünnen Schicht nach aussen trete, und dass die Bewegungen dieses Protoplasmastreifens es seien, welche einerseits das Fortschieben adhärirender fremder Körper, andererseits das Fortgleiten der Zelle selbst über ihre Unterlage veranlassen. Der directe optische Nachweis eines auswendigen Protoplasmastreifens längs der Panzer-näthe, der an den contractilen Fuss der gepanzerten Rhizopoden, namentlich von Arcella erinnern würde, ist zwar auch bei den Diatomeen durch M. Schultze nicht gegeben worden, und auch mir nicht gelungen. Aber wenn bei den Diatomeen diese Annahme in der Structur der Schale eine wesentliche Stütze findet, so macht bei den Oscillarineen die Beschaffenheit der anscheinend völlig geschlossenen und gleichförmigen Zellmembranen, die ja ausserdem oft noch von einer derberen Scheide umhüllt sind, eine solche Hypothese keineswegs wahrscheinlich. Allerdings adhäriren fremde Körnchen mit einer gewissen Stärke an den Oscillarienfäden, und lassen dieselben an sich vorübergleiten; noch häufiger sieht man ein Oscillarienbruchstück an einem rotirenden Faden mit einem beliebigen Punkte sich der Quere nach anlegen, und von diesem nun, gleich einem doppelarmigen Hebel im Kreise herumgedreht, ohne abgeworfen zu werden. Dennoch gelang es mir selbst mit einer Hartnackschen Immersionslinse nie, eine besondere Plasma-Schicht ausserhalb der Zellhaut zu unterscheiden. Steht es demnach auch wohl fest, dass ein Oscillarienfaden gleich einer Diatomee sich der Regel nach nicht

frei im Wasser von der Stelle bewegen kann, es sei denn, dass er einen andern Faden, oder einen fremden Körper als Stützpunkt benutzen kann, so vermag ich doch vorläufig die Ursache davon nur darin zu finden, dass ein solcher Stützpunkt erforderlich ist, um durch Reibung die den Fäden ursprünglich eigene einfach rotirende Bewegung in eine vorwärts schraubende überzuführen, etwa wie bei einem Wagen die Reibung am Boden allein die um ihre Achse sich drehenden Räder von der Stelle bringt. Eine Ursache für die Rotation der Fäden selbst vermag ich nicht anzugeben.

Was dagegen die Flexilität des Fadens betrifft, die sich mit den Schraubendrehungen combinirt, so beruht diese unzweifelhaft, wie in allen ähnlichen Fällen, auf einer sehr geringen, spontanen Verkürzung der concav werdenden, und auf einer entsprechenden Streckung auf der convexen Seite der Bewegungsstelle. Die verkürzten Partien strecken sich nach einiger Zeit, während benachbarte, bis dahin verlängerte Stücke sich gleichzeitig verkürzen; daher schreiten die Beugungen wellenförmig über die Länge des Fadens fort. Dies beweist eine gewisse Contractilität des Fadens, für die schon früher De Bary Beweise in den Keimungszuständen von *Rivularia* und *Cylindrospermum* gefunden hat (l. c. Flora 1863 p. 12). Allerdings setzt die meist langsame und intermittirende Bewegungsfähigkeit der meisten Oscillarien nur einen sehr mässigen Spielraum für die Verkürzungs- resp. Streckungsfähigkeit ihrer Zellen voraus. Nur einzelne Arten von *Spirulina* zeigen sehr lebhaftes Schlängelung, die eine energischere Contractilität beweist.

Wie im allgemeinen die farblosen Oscillarien (*Beggiatoen*) sich durch sehr lebhaftes Bewegungen auszeichnen, so gilt dies insbesondere von einer neuen und sehr interessanten Art, die ich in meinem Seeaquarium entdeckt und als *Beggiatoa mirabilis* bezeichnet habe (vergleiche Hedwigia 1865 No. 6, p. 81: Zwei neue *Beggiatoen* c. tab. I). Auf dem mit Kies belegten Grunde des Aquariums, und insbesondere an den dunkleren Theilen desselben, wo sich im Laufe der Zeit zersetzte Thier- und Pflanzenreste angehäuften, überzog im Winter 1865 und Frühling 1866 ein schneeweisser, schleimig fädiger Ueberzug die Steine mit einem zarten Gespinnste, dessen einzelne Fäden gleich Spinnfäden bei günstiger Beleuchtung deutlich erkennbar waren, und kroch empor an den Stengeln und Aesten der grösseren Algen, ohne sich jedoch weit vom Grunde zu entfernen.

Mit der Pipette herauf geholt, zerfiel das Gespinnst in die ein-

zernen, ziemlich langen gekräuselten Fäden, die sich in einem Uhrgläschen sofort wieder zu einem weissen Filz sammelten: auf das Objectglas gebracht, glich dieser einem kreideweissen Schleim, der sich aber im Wassertropfen bald wieder fädig entwirrte. Diese ganze Masse war zumeist von einer weissen *Oscillaria* (*Beggiatoa*) gebildet, von ungewöhnlicher Stärke der Fäden, die durch die Länge und Breite ihrer Zellen an *Ulothrix* oder *Bangia* erinnerte. Die Fäden sind steif, aber auf das wunderbarste gekrümmt, gelockt, in Schlingen und Zöpfe zusammengewirrt; die Membran ihrer fast quadratisch erscheinenden Zellen ist zart, der Inhalt ein farbloses, wasserhelles, von Vacuolen durchzogenes Protoplasma, in welchem kugliche, das Licht stark brechende Körnchen (vielleicht *Paramylon*) in sehr grosser Anzahl eingebettet, insbesondere den Wänden angelagert liegen (Taf. I. 5) ¹⁾.

Beggiatoa mirabilis zeigte die schon oben geschilderten Eigenthümlichkeiten der Oscillarienbewegung in ausgezeichnetem Maasse. Mit einer gewissen gravitatischen Energie schrauben sich die Fäden aus dem Gewirr vorwärts und rückwärts; ich bestimmte an einem sehr stetig fortkriechenden Faden, dass derselbe in 22—28 Sekunden einen Weg von 0,03 mm. ($\frac{1}{65}'''$), also in der Minute $\frac{1}{20}$ — $\frac{1}{30}'''$, in

1) *Beggiatoa mirabilis* Cohn Hedwigia 1865 n. s. filamentis intricatis mobilibus flexillimis evaginatibus apice rotundatis ecoloribus 0,016 m. ($\frac{1}{130}'''$) crassis lineas plures longis; cellulae singulae diametro fere dimidio breviores, membrana tenerrima, granulis hyalinis nigricantibus 0,001 mm. ($\frac{1}{2000}'''$) crassis confertae.

Alges et lapides strato mucoso arachnoideo niveo induit, acidum hydrothionicum exhalat. In Aquario marino Vratislaviensi hieme 1865. Eine zweite noch lebhafter bewegliche, aber weit schmalere *Beggiatoa* findet sich mehr vereinzelt zwischen *B. mirabilis* und ist von mir als „*B. pellucida* l. c. filamentis flexilibus mobilibus evaginatibus apice rotundatis hyalinis 0,005 mm. ($\frac{1}{450}'''$) crassis, cellulis singulis diametro fere aequilongis saepe pellucidis et ad genicula tantum granula pauca continentibus. In aquario marino una cum *B. mirabili* vere 1865“ beschrieben worden.

In demselben Aquarium überzog an solchen Stellen, wo ein todes Thier verweste, den Sand oder die Thierreste selbst eine dritte *Beggiatoa* mit dünnen kreideweissen Häutchen, die ich von der *Beggiatoa alba* Ag. nicht zu unterscheiden vermag und deshalb als *Begg. alba* var. *marina* (*B. filamentis mobilibus flexilibus spisse nigre punctatis inconspicue articulatis*, 0,002 mm. $\frac{1}{900}'''$ crassis) charakterisirt habe.

der Stunde $1\frac{1}{2}$ —2'', im Tage 3—4'' zurücklegen würde, wenn er sich immer und in gleicher Richtung fortbewegte. Diese Zahlen veranschaulichen, wie schwer trotz der anscheinend so energischen Ortsveränderung es einer *Oscillaria* wird, einen neuen Standort aufzusuchen.

Ganz besonders kräftig äusserten bei *Beggiatoa mirabilis* sich die Beugungserscheinungen; die Fäden krümmten sich gewaltsam im Bogen, so dass sich die entgegengesetzten Seiten zu einer Schlinge berührten, worauf das eine Ende sich um das andere in Folge der Rotation des Fadens wie eine Peitschenschnur herumwand, und auf- und abschraubte, bis die Schlinge sich wieder auflöste und der Faden sich gerade streckte. Nicht minder lebhaft zeigte sich die Flexibilität an isolirten Fäden, wie der Vergleich der Figuren ergab, wenn man einen und denselben Faden in regelmässigen Zeitintervallen zeichnete (Taf. I, fig. 4). Wenn ein zur Schlinge zusammengekrümmter Faden gleichzeitig vorwärts kriecht, so bleibt der Bogen oft scheinbar unverändert, während die einzelnen Zellen sich vorüberschieben, woraus hervorgeht, dass alle Theile des Fadens sich nacheinander im Beugungsmaximum befanden.

Noch wunderbarer waren die Bewegungen einzelner Fäden, deren Zellmembran, sei es durch äussere Beschädigung, sei es durch innere Entwicklung, etwas erweicht schien. Es waren nämlich ganz kurze Contractionswellen, die über den Faden hinliefen, und denselben in eine Art peristaltischer Bewegung versetzten. An solchen contrahirten Fäden war die Membran auf der concaven Seite der Krümmung eng geringelt, so dass die sonst cylindrischen Zellen eine Keilform zeigten; bald darauf waren diese Stellen wieder glatt gestreckt, und andere Stücke in der Contraction begriffen und geringelt. Namentlich die abgerundete Spitze der Fäden machte durch ihre kurzen ruckweisen Contraktionen und Streckungen einen solchen Eindruck des Umhertastens, des Aus- und Einziehens, wie ein Wurm Kopf, dass mir der erste Anblick dieses überraschenden Phaenomens wahrhaft unheimlich war (Taf. II, 1). Aehnliche Ringelungen, Zuckungen und Krümmungen zeigten sich aber auch an anderen, namentlich den stärker gebeugten Stellen des Fadens, bis sie mit dem Absterben desselben aufhörten; solche Stellen schwellen nach dem Tode oft blasenförmig auf, indem das endosmotisch aufgenommene Wasser die erweichte Zellmembran anspannte. Es kann nach diesen Beobachtungen wohl nicht bezweifelt werden,

dass den Beggiatoen, und auch wohl allen Oscillarineen eine gewisse Contractilität inne wohnt, die sich durch abwechselnde, partielle, wenn auch nur geringe Verkürzungen und Streckungen der entgegengesetzten Zellhälften äussert, und deren grössere oder geringere Lebhaftigkeit theils von der Lebensenergie der Zellen, theils von der Dehnbarkeit und Elasticität ihrer Membranen abhängt.

Zwischen den Beggiatoafäden beobachtete ich überaus zahlreiche farblose Zellen (Taf. I, fig. 6) von kuglicher oder eirunder Form und wasserhellem Inhalt, der eine grosse Menge das Licht stark brechende Kügelchen in ganz ähnlicher Weise eingestreut enthielt, wie die Zellen der Beggiatoafäden selbst. Manche dieser Kugeln waren auf der einen Seite paukenförmig eingedrückt (Fig. 6 a), oder concav convex, wie eine Niere, auch kurz cylindrisch mit beiderseits abgeflachten Enden (Fig. 6 a), andere in der Mitte eingeschnürt (Fig. 6 d), noch andere durch eine Scheidewand halbirt (Fig. 6 e); ein Mal fand ich ein kurzes Röhrchen mit zwei kugelartigen Erweiterungen an beiden Enden (Fig. 6 g). Ihre Grösse war verschieden; ich mass Körperchen von 0,08—0,02—0,03 mm. ($\frac{1}{93}$ — $\frac{1}{80}$ — $\frac{1}{60}$ '''') im Durchmesser. Wenn diese Gebilde schon durch die Organisation ihres Zellinhalts sichtlich an die Beggiatoen erinnerten, so war dies in noch höherem Grade durch ihre Bewegung der Fall; dieselben rollten sich nämlich zwar langsam, aber kräftig längs den Beggiatoafäden hin und her, zwischen denen sie zu tausenden verstreut waren, oder wälzten sich schwerfällig und wie taumelnd auf dem Objectglase von einem Punkte zum andern in unbestimmter Bahn. Nach alledem halte ich es für wahrscheinlich, dass diese räthselhaften Gebilde in den Entwicklungskreis von Beggiatoa gehören. Leider vermag ich aber weder anzugeben, wie sie aus jenen Fäden hervorgegangen, noch ob sie sich zu solchen weiter zu entwickeln vermögen.

Die Beggiatoen des Seeaquariums verbreiteten, wenn sie frisch aus dem Seewasser mit der Pipette heraufgeholt wurden, einen überaus penetranten Geruch nach Schwefelwasserstoff. Die Oberfläche des Seewassers selbst, auf dessen Grunde diese Algen vegetirten, liess keinen Schwefelwasserstoffgeruch wahrnehmen. Ich habe in Hedwigia 1863 p. 80 (vergleiche auch meinen Aufsatz über die Entstehung des Travertin in den Wasserfällen von Tivoli, Leonhards Jahrbücher für Mineralogie 1864 p. 580) darauf aufmerksam gemacht, dass viele Beggiatoen und Hygrocrocisarten die Fähigkeit

besitzen, im Wasser gelöste Schwefelverbindungen, und höchst wahrscheinlich sogar die schwefelsauren Salze (Gips, schwefelsaures Natron) durch ihren Vegetationsprocess zu zersetzen und Schwefelwasserstoff frei zu machen; ich habe es für nicht unwahrscheinlich erklärt, dass aller freier Schwefelwasserstoff in Mineral-, namentlich Thermalquellen, von der Zersetzung der im Wasser ursprünglich vorhandenen Sulphate oder Sulphide durch lebende Oscillarineen herrühre. Die Beggiatoen des Meerwassers besitzen die Fähigkeit, Schwefelwasserstoff zu entbinden im höchsten Maasse; wenn dieses Gas nur an dem Wasser in der unmittelbaren Umgebung jener Algen und nicht auch an der Oberfläche durch den Geruch wahrzunehmen ist, so liegt die Ursache davon offenbar nur darin, dass das am Boden frei werdende Gas in den obern sauerstoffreicheren Schichten des Seewassers wieder zerlegt wird. In der Nähe der Beggiatoen dagegen wird der eisenschüssige Meersand überall geschwärzt, und auch Thiere oder grössere Algen, die von den Beggiatoafäden übersponnen sind, werden von ihnen getödtet. Es ist daher die Entwicklung der Beggiatoen, die bei reichlicherer Gegenwart organischer Reste sehr rasch vor sich geht, dem übrigen Leben im Aquarium höchst verderblich ¹⁾.

Die Beggiatoen sind meiner Ueberzeugung nach den Vibrionen, die Spirillen den Spirulinen nächst verwandt, während die Bacterien zu den Chroococcaceen als farblose parasitische Nebengruppe gehören. In Bezug auf die oben berührten Bewegungsgesetze scheinen diese Gebilde insofern eine Ausnahme zu machen, als sie auch im freien Wasser, ohne feste Stützfläche Ortsveränderungen zeigen. Ich behalte mir vor, auf diese dunkle Klasse der Organismen anderwärts ausführlicher zurückzukommen.

Die Resultate dieser Untersuchung stelle ich in folgenden Sätzen zusammen:

1) Die abgestorbenen Beggiatoen und Oscillarien überhaupt entwickeln bekanntlich ebenfalls sehr reichlich Schwefelwasserstoff. Lothar Meyer in seiner Analyse der Landecker Quellen fand, dass das Wasser dieser Therme 5mal mehr Schwefelwasserstoff liefert, wenn es Oscillarineen (Beggiatoa leptomitiformis) enthält, als ohne diese. Es würde sich hiernach für die sogenannten Schwefelquellen, deren Wirksamkeit ihrem Reichthum an Schwefelwasserstoff zugeschrieben wird, empfehlen, die in ihnen vegetirenden Oscillarien (den sogenannten Badeschleim) nicht zu entfernen, sondern im Gegentheile möglichst zu conserviren.

1) Der spangrüne Farbstoff der Phycchromaceen, das Phycchrom Näg., ist ein zusammengesetzter Körper, bestehend aus einem grünen, in Wasser unlöslichen, in Alcohol und Aether löslichen Stoff, dem Chlorophyll, und aus einem blauen in Wasser löslichen, in Alcohol und Aether unlöslichen Stoff, dem Phycocyan Cohn (nicht identisch mit dem Phykokyan Kützing, welches synonym mit Phycchrom Nägeli, noch mit dem Phycocyan Nägeli, welches der blaugrünen Modification des Phycchrom entspricht).

2) In den lebendigen Zellen sind beide Farbstoffe zu einer Mischfarbe, dem Phycchrom, innig verbunden; durch das in Folge des Absterbens veränderte diosmotische Verhalten des Zellinhalts wird das Phycocyan in dem durch Endosmose von aussen eindringenden Wasser gelöst, und tritt später durch Dialyse als blaue Flüssigkeit aus, während das Chlorophyll in den Zellen zurückbleibt.

3) Die charakteristischsten Eigenschaften der wässrigen Phycocyanlösung sind: Spectrum, ihre lebhafte Fluorescenz in Carminroth, welche durch Erwärmen, wie durch die verschiedensten Reagentien zerstört wird; ihre Zerlegung in Wasser und Farbstoff in den Capillarräumen des Filtrirpapiers; ihre Trübung und Entfärbung durch Kochen; ferner wird das Phycocyan durch Alcohol, Säuren und Metallsalze als blaue, durch Kali und Ammoniak als farblose Gallerte aus seiner Lösung ausgefällt.

4) Die purpurrothen oder violetten Phycchromaceen enthalten Phycchrom, welches aus Chlorophyll und einer purpurnen, sonst aber von der blauen anscheinend nicht wesentlich verschiedenen Modification des Phycocyan zusammengesetzt ist, auch leicht sich in die spangrüne Nuance umwandelt.

5) Der rothbraune Farbstoff der Florideen, das Rhodophyll Cohn, ist ebenfalls ein zusammengesetzter Körper, bestehend aus Chlorophyll und Phycoerythrin Cohn, welches weder dem Phykoerythrin Kützing = Rhodophyll, noch dem Phycoerythrin Nägeli = der purpurnen Modification des Phycchrom, synonym ist.

6) Auch das in den lebenden Florideenzellen unzersetzte Rhodophyll wird nach dem Tode derselben durch endosmotische Wasseraufnahme sofort in seine beiden Bestandtheile gespalten, wovon das grüne Chlorophyll in den Zellen zurückbleibt, während das rothe Phycoerythrin in wässriger Lösung durch Dialyse austritt. Diese zeigt eine lebhafte Fluorescenz in Gelb (Rosanoff) oder Grün (Rytiphloea Cramer), und verhält sich gegen Kochen, Alcohol, Säuren

und Basen dem Phycocyan analog. Wie sich insbesondere die purpurne Modification des Phycocyan von Phycoerythrin unterscheidet, ist noch nicht festgestellt.

7) Die nahe Verwandtschaft des Phycocyan und Phycoerythrin auf der einen, und des aus diesen Körpern und Chlorophyll zusammengesetzten Phycochrom und Rhodophyll auf der andern Seite, findet eine Stütze in dem Vorkommen des Phycochrom in mehreren Florideengattungen, deren nächste Verwandte Rhodophyll enthalten: namentlich bei *Bangia*, *Chantransia*, *Batrachospermum*, *Lemania*, welche sämmtlich, obwohl zu den Florideen gehörig, spangrüne Arten, meist neben rothen enthalten, und weist auf eine auch durch entwicklungsgeschichtliche Momente, namentlich durch den Mangel der Flimmergeisselu, und der darauf beruhenden eigenen Bewegung ihrer Fortpflanzungszellen angezeigte, nähere Verwandtschaft zwischen Phycochromaceen und Florideen hin.

8) Die älteren Angaben über schwärmzellenähnliche Bewegungen der Spermatien (Antherozoiden) bei den Florideen sind nachweislich aus der Verwechslung mit den Zoosporen epiphytischer Chytridien hervorgegangen.

9) In der Klasse der Algen sind zwei verschiedene Haupttypen vereinigt, die von homologen niedersten Formen beginnend in ihren höhern Entwicklungsstufen weiter auseinander treten, und sich am leichtesten durch das Vorhandensein, resp. das Fehlen von Schwärmzellen, die durch Geisseln oder Flimmercilien bewegt werden, charakterisiren lassen.

Die erste Reihe beginnt mit Chroococcaceen, wozu die Bacterien; Oscillarien, wozu auch die Vibrionen gehören; Nostocaceen, Rivularieen, Scytonemeen schliesst sich durch *Lyngbya*, *Sirosiophon*, *Bangia* an die Florideen, und durch Vermittlung der Collemaceen zu den Lichenen (incl. der Ascomyceten) hinleitet. Ihre Fortpflanzungszellen entbehren sämmtlich der Bewegungsorgane; der Farbstoff derselben ist in der Regel nicht rein grün, sondern meist aus Chlorophyll, gepaart mit einem andern spaltbaren Körper, zusammengesetzt.

Die zweite Reihe beginnt mit den Protococcaceen, umfasst die Chlorosporeen, Phaeosporeen, Fucaceen und schliesst sich durch die Characeen an die Moose an. In dieser Abtheilung, in der entweder sämmtliche, oder nur die geschlechtslosen oder nur die männlichen Fortpflanzungszellen als Zoosporen mit Geisseln (Flagellatae)

oder Cilien (Ciliatae) auftreten, ist der Farbstoff entweder reines Chlorophyll oder eine rothe oder braune Modification desselben.

10) Da unter den Farbstoffen der nichtgrünen Algen Phycochrom und Rhodophyll als integrierenden Bestandtheil ihres Pigments Chlorophyll enthalten, und auch der braune Farbstoff der Diatomeen, Phaeosporeen und Fucaceen, sowie das scharlachrothe Oel (Haematochrom) gewisser Chlorosporeen nur Modificationen des Chlorophylls zu sein scheinen, so kann man nunmehr den Satz aussprechen, dass alle assimilirenden Pflanzen Chlorophyll (oder doch einen nächst verwandten Körper) als Träger des Assimilationsprocesses enthalten.

11) Die Bewegung der Oscillarineen beruht auf drei Momenten, 1) einer stetigen aber in der Richtung abwechselnden Rotation um die Längsachse, 2) der Fähigkeit sich abwechselnd vorwärts und rückwärts fortzuschieben, 3) der Fähigkeit sich zu beugen, zu strecken und zu schlängeln, oder der Flexilität.

12) Die Ursache der Rotation ist noch nicht erforscht. Das Vorwärtsschieben scheint aus der rotirenden Bewegung durch Reibung auf der Unterlage hervorzugehen, ähnlich wie bei den Rädern eines Wagens, da die Oscillarien in der Regel nur dann vorwärts zu kriechen vermögen, wenn sie an fremden Körpern, an ihren eigenen Fäden oder an der Oberfläche des Wassers eine Stützfläche finden, dagegen im Allgemeinen nicht im Stande sind, frei durch das Wasser zu schwimmen.

13) Die Fähigkeit, sich zu krümmen und zu schlängeln, welche, combinirt mit der Rotation, die anscheinenden Pendelbewegungen veranlasst, beruht auf Contractilität der Zellen, welche sich auf der concaven Seite der Krümmung ein wenig verkürzen, auf der entgegengesetzten ein wenig strecken. Bei *Beggiatoa mirabilis* n. s. ist die Contractilität so kräftig, dass sie kurze peristaltische Wellenbewegungen und wurmähnliche Krümmungen des Fadens zur Folge hat.

14) Gewisse Oscillarinen, namentlich *Beggiatoen* entwickeln, vielleicht durch Zersetzung von schwefelsauren Salzen, im Wasser freien Schwefelwasserstoff. Das ausschliessliche Gedeihen dieser Algenklasse in heissen, mit Salzen stark gesättigten Lösungen (Thermalquellen) macht es wahrscheinlich, dass die ersten auf der Erde, in dem dieselbe einst bedeckenden Urmeer von hoher Temperatur entstandenen Organismen Oscillarineen resp. Chroococcaceen gewesen seien.

Erklärung der Abbildungen.

Taf. I.

Fig. 1. Spectrum des Phycocyan (A) und des Chlorophyll (B.) in welche das Phycocyan von *Spirulina versicolor* sich spalten lässt, mit den wichtigsten Fraunhoferschen Linien.

Fig. 2. *Spirulina versicolor* Cohn, rothe und blaugüne Fäden untermischt, Vergrößerung 700.

Fig. 3. *Oscillaria rubiginosa* Cohn, beide aus dem See-Aquarium. Vergrößerung 400.

Fig. 4 a—g. *Beggiatoa mirabilis* Cohn, aus dem Seeaquarium; ein und derselbe Faden in seinen flexilen Krümmungen von 5 zu 5 Minuten gezeichnet, Vergrößerung 200.

Fig. 5. Drei Fäden von *Beggiatoa mirabilis* Cohn, um einander geschlungen. Vergrößerung 400.

Fig. 6. Kuglige farblose Zellen, deren Inhalt mit *Beggiatoa* übereinstimmt, zahllos zwischen den Fäden derselben sich umherwälzend, zum Theil eingeschnürt (d) oder zweitheilig (e f), auch fadenförmig verlängert (g), vielleicht in den Entwicklungskreis dieser *Oscillarie* gehörend. Vergrößerung 400.

Taf. II.

Fig. 1. *Beggiatoa mirabilis*, ein Faden in wurmförmigen peristaltischen Contractionen.

Fig. 2. *Chytridium Polysiphoniae* Cohn, auf *Polyphonia violacea* mit Antheridien (b); aa junge, aus frisch gekeimten Zoosporen hervorgegangene Chytridien; c älteres Stadium mit feinkörnigem Protoplasma; d eine Gruppe dichtgedrängter Chytridien in verschiedener Entwicklung; e ein solches, mit grosser centraler Vacuole; f, g Bildung der Zoosporen aus dem Protoplasma; h Ausschwärmen der Zoosporen, von denen einzelne ausgetreten, andere noch in der Mutterzelle stecken; i entleerte Chytridien.

Fig. 3. *Chytridium Antithamnii* Cohn, auf *Antithamnion Plumula*; a, b Zoosporen, eingeschlüpft in die Zellen der Aeste, zwischen Zellwand und Protoplasma; c, d ausgewachsene Chytridien in ästchenartigen Ausbuchtungen der Zellen; e e der Inhalt der Chytridien wird bräunlich, feingekörnt und bildet sich in Zoosporen um (f); gg entleerte Chytridien; h Verlängerung der *Antithamnion*-zelle in die leere Chytridiummembran; i streifenförmiges Rhodophyll in den Stammzellen von *Antithamnion*.

Fig. 4. Entwicklung von *Chytridium Antithamnii* in den Zellen eines Astes von *Antithamnion Plumula*, stärker vergrössert; a, b, c Zoosporen, eingedrungen und gekeimt zwischen Protoplasma und Zellwand der *Antithamnion*-zelle, in verschiedenen Alterstufen; d ausgewachsenes Chytridium; e ein solches mit Zoosporen erfüllt; f ein entleertes Chytridium, in dessen Höhle die Nährzelle des *Antithamnion* hineinwächst.

Fig 5. *Chytridium entosphaericum* Cohn, in den Zellen von *Bangia subaequalis*; a, b, c Chytridien, welche den Zellinhalt der *Bangia* verdrängt haben; d eine durch ein Chytridium getödtete Zelle, zusammengedrückt durch die Ausdehnung ihrer Nachbarzelle; e, f, g Umbildung einzelner Fadestücke der *Bangia* in Sporangien durch blasenförmige Ausdehnung ihrer Cuticula, Auflösung der Querscheidewände, Abrundung der Primordialschläuche zu unbeweglichen, mit eigenthümlich vertheiltem Inhalt begabten Primordialzellen oder Sporen; letztere treten durch Risse in der Cuticula (h) aus, so dass sie beim Durchdrängen sich oft biscuitförmig einschnüren, und selbst zerreißen (i); i Beginn der Keimung einer ausgetretenen Bangiaspore auf dem Mutterfaden, an dem sie sich durch eine klebrige Masse anheftet; m, n spätere Zustände der Keimung, o junger Bangiafaden, durch Klebmasse am Mutterfaden befestigt.

Fig. 5 a. Ein zweiter Faden von *Bangia subaequalis*, mit zahlreichen Chytridien, welche den Inhalt der Bangiazellen ganz (b b) oder nur theilweis (c c) verdrängt haben; am obern Ende des Fadens haben sich die Zellen zu Sporen umgebildet, die zum Theil noch in den Mutterzellen eingeschlossen (e) und selbst darin gekeimt (f), zum Theil aus seitlichen Rissen (d d) ausgetreten sind; die obere Spitze des Fadens wird zu einem mehrreihigen Sporangium.

Fig. 6. Querschnitt durch den laubartigen Thallus von *Halymenia ligulata* zur Erläuterung der Analogie ihres anatomischen Baus mit *Lemania*.

Fig. 7. Aufgelöster Carnallit von Stassfurt; der Rückstand besteht aus sechseitigen Tafeln (d) und Säulen (c) von rothem Eisenglimmer, amorphen rothen Eisenpartikeln, vereinzelt Krystallen von Bergkrystall (b) und andern unbestimmten Mineralien, darunter auch regulären Octaedern (a), sowie aus einem Gewirr feiner langer, farbloser, durch einander verfilzter Fäden von verschiedener, meist unmessbar feiner Dicke (*Hygrocrocis* (?) *Bischofi*).

Sämmtliche Figuren, mit Ausnahme von 4, 400mal vergrößert.