© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Über Stoffbildung bei den Meeresalgen

von

Prof. Dr. A. Hansen
in Gießen.

Mit Tafel 12.

In den vorliegenden Blättern erlaube ich mir, einige Beobachtungen zu veröffentlichen, welche während eines Aufenthalts an der Zoologischen Station in Neapel im Frühling und Sommer 1891 angestellt wurden. Dieselben beschäftigen sich mit einigen Stoffbildungsvorgängen bei den Meeresalgen.

Es ist mir eine angenehme Pflicht, ehe ich auf den Gegenstand eingehe, meinen Dank dem Großherzoglich Hessischen Ministerium des Innern und der Justiz für die Überlassung des Arbeitsplatzes an der Station abzustatten. Besonders verpflichtet fühle ich mich Herrn Prof. Dohrn für die Unterstützung und Förderung, welche mir mit der allgemein bekannten Bereitwilligkeit in Neapel zu Theil wurde.

So ausführlich die Gestaltungsvorgänge bei den Meeresalgen seit den epochemachenden Arbeiten Nägeli's und Thuret's, namentlich so weit sie die Fortpflanzung betreffen, bei einer großen Anzahl von Arten untersucht worden sind, so wenig ist über Stoffaufnahme, Stoffbildung und Stoffumbildung bis jetzt zu Tage gefördert worden. Man steht auf diesem Gebiete noch ganz in den Anfängen. In den zahlreichen Arbeiten über die Morphologie der Vegetations- und Sexualorgane finden sich neben der Beschreibung der Zellformen nur Andeutungen über die Stoffe, welche den Inhalt der Zellen bilden.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Klein[1] hat eine Anzahl von Beobachtungen über Krystalloide bei Florideen veröffentlicht, welche von Interesse sind. Durch seine Untersuchungen wurden bei 5 Chlorophyceen und bei 15 Florideen Krystalloide nachgewiesen. Spricht auch die Verschiedenheit der untersuchten Gattungen dafür, dass man eine größere Verbreitung der Krystalloide auch bei anderen Arten annehmen darf, so ist andererseits bei dem Versuch, Klein's Beobachtungen für die Ernährungsphysiologie zu verwenden, in Rechnung zu ziehen, dass die thatsächlichen Beobachtungen doch immer noch gering an Zahl sind und dass nach Angaben des Autors auch die Krystalloide nicht bei allen Exemplaren derselben Art vorkommen. Klein hat übrigens selbst keine weiteren Schlüsse in Beziehung auf Ernährungsvorgänge aus den von ihm beobachteten Thatsachen gezogen. Ich glaube nach dem Studium derselben auch nicht, dass diese Beobachtungen, welche sonst bei dem spärlichen Material, welches vorliegt, bemerkenswerth sind, ein Licht auf die Ernährung der Florideen werfen, welches allgemeinere Betrachtungen ermöglichte.

Wie wenig sonst bisher auf die Stoffbildung der Meeresalgen Rücksicht genommen wurde, geht daraus hervor, dass zusammenfassende Darstellungen gar nicht darauf eingehen. In der bekannten Abhandlung Falkenberg's[2] findet sich gar nichts über Ernährungsvorgänge der Meeresalgen, und auch Hauck in seiner Flora geht in der allgemeinen Einleitung über diesen Punkt hinweg.

Das Wenige, was in unserer Zeit z. B. von Schmitz, Berthold u. A. mitgetheilt wurde, ist im Wesentlichen ein Erbtheil der älteren Litteratur. Die älteren Angaben sind aber trotz der hervorragenden Autoren, von denen sie stammen, heute nicht mehr als sichere zu betrachten, da sie meistens aus einer Zeit herrühren, wo über die Stoffbildung auch bei den anderen Pflanzen noch sehr wenig bekannt war, so dass es an Vergleichungspunkten fehlte. Um so mehr ist es angezeigt, die älteren Angaben einer Nachprüfung zu unterziehen, um von ihnen aus vielleicht einen Schritt weiter zu gelangen.

Kützing hat in seiner Phycologia generalis 1843 den Stoffen der Meeresalgen ein ausführliches Capitel gewidmet. Die thatsächlichen Angaben Kützing's lassen sich leicht von seinen nicht mehr

[1] J. Klein, Die Krystalloide der Meeresalgen. in: Pringsheim's Jahrb. 13. Bd. p. 23.

[2] P. Falkenberg, Die Algen im weitesten Sinne. in: Schenk's Handbuch der Botanik.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

gültigen Vorstellungen über die Zelle und seinen naturphilosophischen Bemerkungen trennen.

Als mineralische Bestandtheile der Tange führt Kützing auf: Chlornatrium, schwefelsaures Natron, Chlormagnesium, Jod- und Bromverbindungen, als Aschenbestandtheile schwefelsauren und phosphorsauren Kalk, Manganoxyd, Eisenoxyd, Thon- und Kieselerde und bei der Verbrennung entstehendes kohlensaures Natron. Ferner hebt er den kohlensauren Kalk als Incrustation hervor, welche die Organisation ganzer Gattungen so eigenthümlich charakterisirt. Diese Daten genügen einstweilen wenigstens, um eine Übereinstimmung der Mineralbestandtheile der Meeresalgen mit denen der höheren Pflanzen zu bestätigen. Man darf annehmen, da wir es bei allen Meeresalgen mit chlorophyllhaltigen Pflanzen zu thun haben, dass Kalium, Calcium, Magnesium, Eisen neben Schwefelsäure und Phosphorsäure zu den unentbehrlichen Mineralbestandtheilen gehören. Eine experimentelle Untersuchung dieser Frage steht noch aus. Es bietet sich aber hier eine dankbare Aufgabe, bei welcher Pflanzen von der Spore an in künstlichen Nährlösungen cultivirt werden müssten, welchen neben reinem Chlornatrium im Procentgehalt des Meerwassers die einzelnen Nährsalze der Chlorophyllpflanzen zugesetzt würden.

Bemerkenswerth erscheint in Beziehung auf diese Frage eine Mittheilung von A. Meyer (Ber. d. D. Bot. Ges. 9. Bd. 1891 pag. 79). Derselbe giebt als Resultat der Untersuchung des Zellsaftes von *Valonia utricularis* an: »Kalk ließ sich nicht einmal in Spuren nachweisen. Das sicher konstatirte Fehlen des Calciums bestätigt die Anschauung, dass dieses Element ohne Bedeutung für die fundamentalen Lebenserscheinungen der Zelle sei.« Da Meyer nur wenig Zellsaft zur Verfügung hatte und nur eine Analyse ausführen konnte, so schien es mir nicht überflüssig, seine Angabe zu bestätigen. Zwar habe ich in allen Fällen der Untersuchung geringe Spuren von Kalk qualitativ nachgewiesen, die Mengen waren aber so gering, dass eine quantitative Bestimmung unmöglich war, mithin kann dieser Kalkgehalt des Zellsaftes für die Ernährung nicht in Betracht kommen.

Ich kann jedoch die Ansicht Meyer's, »das sicher constatirte Fehlen des Calciums bestätigt die Anschauung, dass dieses Element ohne Bedeutung für die fundamentalen Lebenserscheinungen der Zelle sei«, nicht theilen. Diese Ansicht widerspricht den bisherigen Ergebnissen experimenteller Untersuchungen im ganzen Pflanzenreiche

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

von den chlorophyllhaltigen Phanerogamen bis zu den Pilzen, bei denen allen die unbedingte Nothwendigkeit des Calciums von Niemanden bezweifelt wird. Ich glaube vielmehr, die Armuth des Zellsaftes an Calcium deutet darauf hin, dass dessen ganze Menge vom Protoplasma der Zellen aufgenommen wird, woraus man gerade auf die Nothwendigkeit dieses Elementes für das Zellleben schließen muss.

Was die sonstige qualitative und quantitative Zusammensetzung des Zellsaftes anbetrifft, so habe ich einige Abweichungen von Meyer's Resultaten erhalten, was aus den folgenden Analysen hervorgeht.

I.

Qualitative Analyse: Kalk, Spuren
Magnesium, fehlt
Eisen, fehlt
Schwefelsäure, Spuren
Phosphorsäure, fehlt
Brom, fehlt.

Quantitative Analyse: Trockenrückstand 4,11 %
Anorg. Substanz 3,72 %
Chlor 48,60 } Procente der Asche
Chlorkalium 79,38 } Procente der Asche
Chlornatrium 20,31 } Procente der Asche

II.

Qualitative Analyse: Wie oben.

Quantitative Analyse: Trockenrückstand 4,14 %
Anorg. Substanz 3,90 %
Chlor 45,0 } Procente der Asche
Chlorkalium 76,65 } Procente der Asche
Chlornatrium 25,10 } Procente der Asche

III.

Qualitative Analyse: Wie I.

Quantitative Analyse: Trockenrückstand 4,45 %
Anorgan. Substanz 3,62 %
Chlor 45,61 } Procente der Asche
Chlorkalium 73,23 } Procente der Asche
Chlornatrium 26,59 } Procente der Asche

Bei frischem Zellsafte habe ich eine Reduction mit Fehling'scher Lösung nicht erhalten. Von drei Proben zeigten zwei nach mehrere

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Monate langem Aufbewahren eine ziemlich starke Reaktion mit FEHLING'scher Lösung.

Sehr unvollkommen noch sind unsere Kenntnisse über die Production der organischen Substanz bei den Meeresalgen. Ob bei ihnen eine ähnliche Übereinstimmung in der Stofferzeugung stattfindet, wie bei den übrigen mit Chromatophoren versehenen Pflanzen, ob die Assimilation in derselben Weise von statten geht, ob als Product Stärke oder andere Kohlehydrate entstehen, darüber lassen sich aus den spärlich vorhandenen Angaben keinerlei allgemeine Sätze aufstellen.

Auch bezüglich der organischen Substanzen, sowohl der Nährstoffe, als der Chromatophorenfarbstoffe, sind die KÜTZING'schen Angaben trotz ihrer Unvollkommenheit ziemlich unverändert geblieben. Indem KÜTZING von organischen Substanzen, die die Tange enthalten, Zucker, fette Öle, Schleime und Stärke in Betracht zieht, kann er doch, den damaligen physiologisch-chemischen Kenntnissen gemäß, wenig über die Substanzen aussagen. Er weist auf die essbaren Fucaceen wegen ihres Zuckergehaltes hin, Öltropfen erwähnt er nur für *Chara*, hält auch das Vorhandensein flüchtiger Öle für wahrscheinlich wegen des Geruches mancher Algen[1].

Die schleimartigen Substanzen, für welche verschiedene Namen eingeführt werden, unterscheidet K. nur nach der Consistenz, womit wenig gesagt ist. Es ist desshalb auch besonders nur eine weitere Angabe von Bedeutung, welche bis heute sich erhalten hat: der Stärkegehalt der Meeresalgen.

KÜTZING schreibt (l. c. pag. 40): »Im Allgemeinen nähert sich der Zellinhalt der Tange den gummi- und stärkemehlhaltigen Stoffen. Gummiartig ist er besonders da, wo man in ihm keine Organisation deutlich wahrnimmt, wo er als bloßer gefärbter Saft erscheint, wie z. B. bei *Griffithsia*, *Callithamnion*, *Bryopsis*. In den meisten Fällen ist indessen der Zellinhalt körnig und er stellt dann eine Anzahl solider Kügelchen dar, deren Größe sehr verschieden ist. Während sie hier so klein erscheinen, dass man sie kaum mit der stärksten Vergrößerung deutlich wahrnehmen kann, sind sie dort von einer solchen Größe, dass man sie schon mit schwachen Vergrößerungen bemerkt. Die größeren Zellkügelchen zeigen auch oft eine concentrische Structur. In solchen Fällen sind sie dem Amylum

[1] In dieser Beziehung fiel mir besonders die im Golf von Neapel verbreitete *Halyseris polypodioides* auf.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

der Phanerogamen entweder ganz gleich oder nähern sich ihm wenigstens sehr. Bei *Nostoc*, *Palmella*, *Iridaea*, *Grateloupia* u. a. füllt der Zellinhalt in der Gestalt eines einzigen homogenen Kernes die ganze Zellhöhle aus; in den Zellen der meisten übrigen Tange stellt er eine große Anzahl kleiner Körperchen dar.

Die Gestalt dieser Körperchen oder Kerne ist zwar meist kugelig, oft aber auch elliptisch, länglich, selbst fadenförmig (in der Markschicht bei *Grateloupia*); bei einer Art (*Rytiphlaea tinctoria*) fand ich sie linsen- oder scheibenförmig. Jodtinctur färbt den Zellinhalt entweder braun oder blau mit Übergängen ins Violette oder Purpurrothe. Danach unterscheide ich ihn als gummiartig, wenn er mit Jodtinctur braun gefärbt wird, als stärkeartig, wenn er mit Jodtinctur blau, violett oder purpurroth gefärbt wird.«

Aus diesen »stärkeartigen« Substanzen Kützing's wurde nun allmählich in der Litteratur »Stärke«, wie sich in den späteren Publicationen verfolgen lässt. Nägeli beschränkt sich auf wenige kurze Bemerkungen über den Stärkegehalt der Florideen. In der Abhandlung über *Polysiphonia* (Schleiden und Nägeli, Zeitschr. f. wiss. Bot. 3. Bd. 1846 pag. 220) findet sich nur der Satz darüber: »In vielen Arten sind die tertiären Stammzellen zuletzt von Amylumkügelchen gefüllt.« Auch in den »Neueren Algensystemen« ist dieser Punkt nicht ausführlicher behandelt. Auf pag. 186 des reichhaltigen Werkes wird in der Einleitung zu den Florideen bloß erwähnt: »Durch den Zellinhalt, welcher theilweise aus Stärke und aus Farbbläschen besteht, unterscheiden sich die Florideen wie die Algen und die übrigen Pflanzen von den Pilzen.«

In den »Stärkekörnern« dagegen wird pag. 382 der Stärkegehalt der Meeresalgen als durchaus problematisch hingestellt. Nägeli giebt dort an: »Ferner habe ich keine Stärke gefunden bei *Porphyridium*, *Bangia*, *Porphyra*, bei den *Batrachospermeen*, *Lemaneaceen*, *Corallineen*. Auch bei den Fucoideen und Florideen tritt die Stärkebildung sehr zurück und in den meisten Gattungen derselben ist es unmöglich Amylumkörner nachzuweisen.« Nägeli hält also offenbar den Stärkegehalt der Florideen und Fucoideen für unsicher.

Rosanoff und van Tieghem nahmen ziemlich gleichzeitig die Frage wieder auf.

Van Tieghem[1] untersuchte etwas ausführlicher, jedoch nur zwei

[1] van Tieghem, Note sur les globules amylacés des Floridées et des Corallinées. in: Ann. Sc. N. Bot. (5.) Tome 3. 1865 pag. 315.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Arten: *Halopitys pinastroides* Kütz. und *Polysiphonia nigrescens* Grev. Die Resultate der Untersuchung der ersteren Pflanze sind, dass das Gewebe durchsichtige farblose Kugeln oder eiförmige Körper enthält, die zuweilen auch Linsenform oder unregelmäßige Gestalt zeigen. Sie bestehen aus einer farblosen oder röthlichen Membran und einem festen grauen Inhalt, der zuweilen eine einfache oder getheilte Höhlung im Centrum der Körper übrig lässt. Eine Schichtung wie bei den Stärkekörnern und das Kreuz im polarisirten Licht wurde wahrgenommen.

Der Durchmesser betrug 0,013—0,015, im Maximum 0,025 mm.

Jod färbte die Körner rothgelb (jaune rougeâtre); doch änderte sich die Färbung bei Zusatz von weiterer Jodtinctur und Wasser in violett, unter gleichzeitiger Quellung und Lösung der Körner. In Wasser von 70° quellen sie, lösen sich zum Theil und färben sich schön violett (eine auffallende Angabe).

Schwefelsäure und Salzsäure färben die mit Jod gefärbten Körner violett und blau, lösen sie aber zum Theil auf.

»En résumé«, sagt van Tieghem, »ces globules présentent tous les caractères de l'amidon dans leur forme, leur structure, leurs propriétés optiques etc., mais ils diffèrent des grains amylacés, tels qu'on les définit, par leur coloration en rouge par l'iode. Toutefois ils se transforment facilement en amidon ordinaire sous les influences que je viens de signaler, à la condition pourtant d'être désorganisés et en partie dissous. Cette différence insuffisante pour légitimer l'emploi d'un nom nouveau porte à croire, que nous avons à faire à un principe hydrocarboné isomère de la cellulose et de l'amidon mais intermédiaire entre eux par sa cohésion.

La formation amylacée que les deux exemples précédents définissent nettement, se retrouve avec les mêmes caractères, dans l'immense majorité des Floridées et Corallinées, ainsi que l'établissent des observations que j'ai déjà étendues à plus de trente espèces appartenant à vingt-cinq genres.«

Van Tieghem war jedoch in dem Hauptpunkte über den Stärkegehalt der Florideen einer besonderen Ansicht. Er hielt dieselbe nicht für ein Assimilationsproduct, da er den Florideen trotz der schon vorliegenden Untersuchungen Kützing's das Chlorophyll abspricht.

»Les observations précédentes en acquièrent un nouvel intérêt en montrant chez un vaste groupe de plantes cellulaires privées de la chlorophylle et douées, par suite d'une respiration exclusivement

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

comburante, la formation d'un principe très voisin de l'amidon ordinaire, mais qui ne lui paraît pas être identique.«

Van Tieghem's Schlüsse können wegen seiner Ansicht über den Chlorophyllmangel bei den Florideen keine klaren sein, die ganze Frage wird nur noch räthselhafter.

Eine methodisch viel werthvollere Arbeit als seine Vorgänger lieferte Rosanoff, die um so höher anzuschlagen ist, als dieselbe vor dem Erscheinen der Experimentalphysiologie von Sachs entstand und eine volle Beherrschung der Materie und Methode zeigt, die damals selten war[1].

Rosanoff beobachtete die Sauerstoffausscheidung der Florideen und Phaeophyceen und fand darin eine wichtige Übereinstimmung dieser Pflanzen mit den übrigen, die man wegen der anderen Färbung damals nicht erwartete. Er untersuchte ferner die Chromatophoren der gesammten Meeresalgen und kam zu den von Kützing aus dessen einfachen Extractionsversuchen gezogenen Folgerungen, dass Phaeophyceen und Florideen gewöhnliches Chlorophyll neben ihren specifischen Algenfarbstoffen enthielten. Er wandte sich endlich der Frage zu, ob die Chromatophoren Stärkekörner enthielten, musste dieselbe aber verneinen. Pag. 184 zieht R. das Endresultat: »Je me suis efforcé de trouver dans la masse des grains rouges d'autres granules qui rappelleraient par leurs formes et leurs réactions l'amidon qu'on observe souvent d'une manière si nette dans les grains chlorophylliques des plantes évidemment chlorophyllifères. Mais toutes mes observations m'ont convaincu que les granules pigmentaires des Floridées ne renferment pas d'amidon organisé.«

Diese auffallende Thatsache des Fehlens von Stärkeeinschlüssen in den Chromatophoren veranlasste Rosanoff dazu, in den Geweben der Florideen nach Stärke zu suchen. Nach seinen Angaben fand er solche bei einer ganzen Anzahl von Florideen. Da die Abhandlung Rosanoff's vergriffen ist, scheint es mir zur Bequemlichkeit der Leser zu dienen, wenn ich die wichtigsten Punkte der Beobachtungen citire.

»*Rytiphlaea pinastroides* enthält eine Masse von Stärkekörnern, welche auf polarisirtes Licht wirken und ziemlich schwache concentrische Schichten zeigen. Wässrige und alkoholische Jodlösung färben

[1] S. Rosanoff, Observations sur les fonctions et les propriétés des pigments de diverses algues. Extrait des Mém. Soc. imp. Sc. N. Cherbourg. Tome 13.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

sie mahagonibraun. *Polysiphonia Brodiaei* enthält ähnliche Stärkekörner, aber sie sind viel kleiner und finden sich in geringerer Menge vor. Viele Zellen von *Delesseria sanguinea* enthalten in großer Menge Stärkekörner; ihre Menge ist besonders groß in dem basilaren Theil des Stengels und in den Geweben um die Fortpflanzungsorgane. — Die meisten dieser Körner sind sehr klein, aber man findet hier und da andere Körner, welche ungewöhnliche Größe und eine regelmäßige kugelige Gestalt besitzen. Letztere nehmen mit Jod sogleich eine blaue oder violette Farbe an, während bei den kleinen Körnern diese Färbung ziemlich selten eintritt. Wenn man auf die dickeren Körner einen Druck ausübt, so spaltet man sie in mehrere Stücke; wenn man Jodwasser zufügt, so bemerkt man, dass die Blaufärbung immer von der Seite der Bruchflächen beginnt. Die meisten der kleinen Körner färben sich mit Jod dunkelbraun mit einem leichten Stich ins Violette. Alle Körner zeigen ziemlich gut concentrische Schichten und wirken auf polarisirtes Licht wie gewöhnliche Stärkekörner. Kalilauge lässt sie sogleich aufquellen; später lösen sie sich in der umgebenden Flüssigkeit. Erhöhung der Temperatur bewirkt ebenfalls Quellung, aber schwerer als bei den Körnern anderer Florideen. — Alle gequollenen Körner färben sich mit Jod rein blau.«

Die ferneren Angaben Rosanoff's betreffen *Nitophyllum Hilliae*, *Dasya arbuscula*, *Rhodymenia palmata*, *Gigartina mamillosa*, *Ceramium rubrum*, *Iridaea edulis*, *Callithamnion floridulum*, *Griffithsia setacea*, *Bornetia secundiflora*. In den Geweben dieser Algen wurden theils reichlicher, theils nur auf kleine Gewebepartien beschränkt, Körner aufgefunden, welche nach Rosanoff Stärke sind, da sie sich mit Jod meistens bräunen und nach der Quellung durch Wärme oder Kalilauge blau färben.

Über Algen anderer Farbe äußert sich Rosanoff folgendermaßen: »Quant aux autres algues de couleur bleue ou brune, je n'ai pu me convaincre de la présence ou de l'absence de grains amyliques dans leurs tissus. M. Nägeli a vu dans un *Cystoseira* de petits grains enfermés dans la masse des nucléus. S'il était permis de se baser sur les analogies déjà démontrées que présentent les diverses algues entr'elles, on devrait, je crois, supposer l'existence de l'amidon dans tous les groupes des algues.«

Man könnte es nach diesen ausführlichen Angaben Rosanoff's für überflüssig halten, der Frage nach dem Stärkegehalt der Meeresalgen im Allgemeinen nochmals näher zu treten. Auffallen muss es

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

aber immerhin, dass Rosanoff auch eine Braunfärbung der von ihm beobachteten Körner als Reaction auf Stärke gelten lässt, eine Auffassung, gegen welche doch offenbar Einwendungen zu machen sind.

Auch sonst leuchtet die von Rosanoff auf Grundlage seiner Beobachtungen angenommene Übereinstimmung der Meeresalgen mit den übrigen Pflanzen nicht in allen Punkten ein. Bei den höheren Pflanzen werden die Stärkekörner in den Chromatophoren ausgeschieden und wandeln sich bei ihrer Auflösung in andere Kohlenhydrate um. Bei den Florideen und Phaeophyceen dagegen erscheint die Sache nach obiger Angabe offenbar umgekehrt, und die Stärkekörner Rosanoff's sind erst ein secundäres Product.

Vor Allem aber kommt für die Nothwendigkeit weiterer Untersuchung dieser Punkte in Betracht, dass spätere Beobachter durchaus nicht mit Rosanoff übereinstimmen. Schmitz[1] erklärt zwar wie Rosanoff (l. c. pag. 151): »Zunächst werden bei sämmtlichen Florideen stärkeartige Körner gebildet, welche im Protoplasma der Zelle selbst, nicht in den Chromatophoren entstehen«, aber er fügt hinzu: »Ihrer ganzen Gestalt und Beschaffenheit nach erinnern diese Körner sehr an echte Stärkekörner, allein sie unterscheiden sich doch von denselben durch einzelne Merkmale, namentlich durch die abweichende Färbung, welche sie bei Zusatz von Jod annehmen. Anstatt blau wie die Stärkekörner der Phanerogamen, werden nämlich diese Körner der Florideen in verschiedener Abstufung gelbbraun bis braunroth gefärbt. Man hat dieselben desshalb von den echten Stärkekörnern der Phanerogamen als Florideenstärke unterschieden« (l. c. pag. 153).

Nach den Untersuchungen von Schmitz blieben also nur die Formähnlichkeiten zwischen Phanerogamen- und Florideenstärke übrig.

Die bei den Phaeophyceen beobachteten Körner, welche sich der Florideenstärke analog verhalten, bezeichnet Schmitz als »Phaeophyceenstärke«; sie seien in Wasser und Alkohol unlöslich und werden durch Jodlösung nicht gefärbt.

Aber schon der nächste Autor, den wir aufschlagen, stellt diese Beobachtungen wieder in Frage. Berthold äußert sich in seinem Buche über Protoplasmamechanik pag. 57 folgendermaßen:

»Beiläufig möge an dieser Stelle auch hervorgehoben werden, dass Stärke bei den Melanophyceen nicht vorkommt. Das, was

[1] Schmitz, Die Chromatophoren der Algen. in: Verh. des naturhist. Ver. f. Rheinland u. W. Bonn 40. Jahrg. 1883.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Schmitz neuerdings wieder als solche gedeutet hat, ist kein Amylum. Diese von Schmitz beschriebenen tropfenartigen Massen, welche den Farbkörpern seitlich anliegen, waren mir nicht unbekannt. — Sie bestehen aus eiweißartiger Substanz, nicht aus Stärke, lösen sich beim Abtödten der Algen in destillirtem Wasser leicht und sofort auf, sind durch Jod, Alkohol, Osmiumsäure coagulirbar, lösen sich nachträglich aber noch leicht in schwacher Ammoniaklösung. Nach einhalbstündigem Kochen, durch welches sie innerlich nicht verändert worden waren, lösten sie sich dagegen in Ammoniak nicht mehr. Die vorstehenden Reactionen wurden hauptsächlich an den oberflächlichen Zellen des Thallus von Asperococcus bullosus angestellt. Bei keiner der vielen darauf hin untersuchten braunen Algen habe ich andere Producte im Zellinhalt gefunden, welche etwa der Stärke der höheren Pflanzen oder der der Florideen vergleichbar wären.«

Wenn man zunächst versucht, diese Widersprüche aus den Autoren selbst zu erklären, so glaube ich, dass dieselben sich daraus ergeben, dass von keinem der Beobachter eine größere Reihe von Objecten genauer untersucht wurde, sondern aus den Resultaten an einer Art Analogieschlüsse gezogen wurden. Es soll damit kein Vorwurf erhoben, sondern nur versucht werden, die merkwürdigen Widersprüche vorzüglicher Beobachter zu erklären. Berthold entgegnet übrigens selbst (l. c. pag. 57) einem Vorwurfe von Schmitz: »Ich beabsichtigte gar nicht den Bau des Protoplasmakörpers der braunen Algen näher zu beschreiben, sondern nur auf einige Inhaltsbestandtheile ihrer Zellen aufmerksam zu machen, welche mir ihrer Lage und ihres starken Lichtbrechungsvermögens halber eine biologische Bedeutung als Lichtschirme zu haben schienen.«

Ein neuer Autor, B. Hansteen[1], welcher Fucoideen untersuchte, nennt die körnigen Inhaltsstoffe Fucosan und erklärt diesen Stoff für ein Kohlehydrat. Wie durch die folgenden Untersuchungen gezeigt werden wird, ist es aber unrichtig, ohne Weiteres die Ver-

---

[1] B. Hansteen, Studien zur Anatomie und Physiologie der Fucoideen. in: Pringsheim's Jahrb. 24. Band 1892. In dieser Arbeit findet sich über die Gewebeformen dieselbe Auffassung, wie ich sie in der vorliegenden Arbeit ausgesprochen habe. Die Resultate meiner 1891 beendeten Untersuchungen habe ich in einem Vortrage in der oberhessischen Gesellschaft am 3. März 1892 mitgetheilt, der in deren Berichten dem Inhalte nach abgedruckt ist. Wie es scheint, hat Hansteen wohl um dieselbe Zeit seine Arbeit verfasst, so dass ein Prioritätsstreit, den ich meinerseits auch für unnöthig hielte, wohl nicht zu befürchten ist.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

hältnisse bei den Fucoideen auf alle anderen braunen Algen übertragen zu wollen. Hansteen tritt mit seinen Reactionen wieder Reinke und Berthold entgegen, indem er z. B. pag. 351 bemerkt: »Eine Braunfärbung (durch Osmiumsäure), wie von Reinke und Berthold angegeben, habe ich niemals beobachtet.«

Ich möchte speciell dieser Bemerkung gegenüber hervorheben, dass die vielfach angewendete Methode, die Einwirkung der Reagentien unter dem Deckglas vor sich gehen zu lassen, außerordentlich leicht zu fehlerhaften Resultaten führen kann. Unter dem Deckglas werden oft Strömungen völlig aufgehalten, so dass die Reagentien gar nicht in das Object eindringen. Man kann sich leicht davon überzeugen, wie lange zuweilen bekannte und leicht lösliche Substanzen unter dem Deckglase ihrem Lösungsmittel widerstehen.

Die Übersicht über die vorhandenen Arbeiten ergiebt mit voller Klarheit, dass die Vorstellungen, welche man sich heute über die Stoffbildung machen kann, ganz außerordentlich unvollkommen sind. Die Lösung der Frage ist nicht leicht, und es ist mir auch nicht gelungen, in der vorliegenden Arbeit den Gegenstand völlig klar zu legen. Ich hoffe jedoch, dass die wenigen Resultate als Beitrag zum Fortschritt auf diesem Gebiete gelten können.

1. *Dictyota dichotoma* Lamour.

Die äußere Gestalt der Pflanze oder der Sprosse zu beschreiben, dürfte überflüssig erscheinen gegenüber den Mittheilungen, welche man in den Schriften von Nägeli, Thuret, Cohn und Reinke über die Pflanze findet, ganz abgesehen davon, dass es sich um eine der gewöhnlichsten Meeresalgen handelt. Die Angaben über den anatomischen Bau von *Dictyota* sind dagegen dürftig. Reinke beschränkt sich auf den kurzen Satz: »Die anatomische Structur der Pflanze ist sehr einfach; ein Querschnitt lehrt, dass die Flachtriebe aus drei Zellschichten bestehen: einer kleinzelligen Oberhaut, deren Zellen dicht stehende braune Chlorophyllkörner enthalten, und einer großzelligen, farblosen Mittelschicht. Bei den Rundtrieben findet man dagegen drei bis sechs Lagen von Mittelzellen« (Monographie der Dictyoteen des Golfs von Neapel pag. 4). Die früheren Mittheilungen von Nägeli (Neuere Algensysteme pag. 189) sind zwar etwas ausführlicher, bestehen aber im Wesentlichen aus Angaben über Maße, wie aus dem folgenden Citat hervorgeht.

»Die nervenlose, papierdünne Frons ist linear und dichotomisch.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Sie besteht aus drei einfachen Zellschichten, einer Markschicht und zwei Rindenschichten. Auf Querschnitten liegen immer nur drei Zellen im Querdurchmesser neben einander. Die Rindenzellen sind in größerer Zahl vorhanden als die Markzellen. Doch giebt es dafür kein bestimmtes Verhältnis. Auf vertikalen Querschnitten gehen $1\frac{1}{2}$, 2, $2\frac{1}{2}$, 3 Rindenzellen auf eine Markzelle. Auf horizontalen Querschnitten dagegen gehen je 3, 4, 5, 6, 7, 8 Rindenzellen auf eine Markzelle. Diese ungleichen Verhältnisse treffen mit dem Umstande zusammen, dass sowohl die Rindenzellen unter einander als die Markzellen unter einander ungleich groß sind. Durchschnittlich zählt man der Länge nach je zwei Rindenzellen, der Breite nach 4—5 Rindenzellen auf eine Markzelle. Die letzteren sind daher auf jeder der beiden Flächen durchschnittlich von 8—10 Rindenzellen bedeckt. Die Markzellen sind gewöhnlich cubisch, mit wenig überwiegendem senkrechten Durchmesser. In den Rindenzellen sind die longitudinalen (nämlich Breiten- und Dicken-) Durchmesser ungefähr gleich, der vertikale Durchmesser aber ist 2—4mal länger.«

Diesen rein messenden Angaben kann man, wie es einem so genauen Beobachter wie Nägeli gegenüber auch kaum erwartet werden kann, Neues nicht hinzufügen. Aber das Mikroskop ergiebt eine Anzahl Thatsachen, auf welche die früheren Beobachter wegen ihrer anderen Ziele wenig Gewicht gelegt haben, die aber heute nicht unwichtig erscheinen.

Da die Figuren Nägeli's bloße Schemata für Maßverhältnisse sind, und Reinke die Anatomie der Vegetationsorgane in seinen Abbildungen nicht eingehend genug behandelt, ist hier auf Taf. 12 Fig. 1 ein Querschnitt durch einen Laubspross von *Dictyota* abgebildet.

Wenn auch ein Blick auf die Figur die Richtigkeit der Angaben Nägeli's vom Aufbau des Körpers der Alge aus zwei Rindenschichten und einer Markschicht bestätigt, so glaube ich, dürfen wir uns heute nicht mehr mit so einfachen topographischen Begriffen begnügen. So einfach die anatomischen Verhältnisse auch bei den Algen sind, so scheint es mir bei den höheren Meeresalgen doch berechtigt, verschiedene Gewebeformen zu unterscheiden mit verschiedenen physiologischen Functionen. Wenn auf den Nägeli'schen Abbildungen bei *Dictyota* eine großzellige Schicht von einer Epidermis oder »Rindenschicht« unterschieden wird, so ist dabei gänzlich der Inhalt der Gewebe unberücksichtigt geblieben. Die Ausrüstung der äußeren Zellschichten mit Chromatophoren veranlasst mich dazu, dieselben

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

wie bei den höheren Pflanzen als Assimilationsgewebe zu bezeichnen, welches durch seine besondere Aufgabe in einen scharfen functionellen Gegensatz zu der sogenannten Markschicht tritt. Auch bei anderen Meeresalgen, sowohl Phaeophyceen als Florideen, hat man die äußerste Zellschicht im Allgemeinen als Epidermis bezeichnet, dazu giebt jedoch nur die Ähnlichkeit, Gleichmäßigkeit und regelmäßige Anordnung dieser Zellschicht eine Berechtigung. Legt man auf die physiologische Function der Gewebe das Hauptgewicht, so kann man nur zu obiger Auffassung kommen. Dieselbe wird außerdem durch die vergleichende Untersuchung gestützt. Es kommt ja thatsächlich auch bei Meeresalgen eine Epidermis vor, z. B. bei *Scinaja furcellata*. Aber hier ist die Zellschicht thatsächlich farblos, und ihre Nothwendigkeit lässt sich außerdem auch verstehen. Bei *Scinaja* schließt eben das Assimilationsgewebe nicht so fest zusammen, um einen Abschluss gegen das umgebende Medium bilden zu können. Erst die Epidermis bildet die feste Umgrenzung der Sprosse (Fig. 17—20). Es würde aber gewiss unrichtig sein, nun die Epidermis von *Scinaja* mit der äußersten Zellschicht von *Dictyota* zu vergleichen, weil zufällig beide Zellformen mit den Epidermiszellen höherer Pflanzen einige Ähnlichkeit besitzen. Die äußere Zellschicht von *Dictyota* erscheint mir vielmehr der freilich ganz anders geformten subepidermalen Zellschicht von *Scinaja* homolog. Beides ist Assimilationsgewebe. Eine Epidermis fehlt bei *Dictyota* demnach vollständig. Im Übrigen ergiebt ein Querschnitt durch *Dictyota*-Sprosse nicht Alles, was von Wichtigkeit ist. Nur auf die Wandstructur und ihre Tüpfel kann noch hingewiesen werden. Durch einen Querschnitt, d. h. durch einen Schnitt quer zur Längsachse der Sprosse werden die Markzellen geöffnet, da sie in der Richtung der Längsachse der Sprosse gestreckt sind. Aller Inhalt tritt heraus, und die auffallenden Verhältnisse, welche diesen Inhalt betreffen, entgehen ganz der Beobachtung. Daher kann weder die Abbildung von Thuret, noch die von Reinke, welche beide nur Querschnitte liefern, über die Inhaltsbestandtheile eine richtige Vorstellung geben.

Ein richtiges Bild gewinnt man durch Längsschnitte, welche parallel der Längsachse der *Dictyota*-Sprosse geführt sind (Fig. 2). Man beobachtet dann, dass in der Mitte jeder Zelle des »Markgewebes« eine Gruppe von schwach weinroth gefärbten Kugeln liegt, die dem ganzen Gewebe ein höchst auffallendes Aussehen geben. Diese Kugeln sind Fetttropfen. Ihr Vorhandensein wird von Thuret und Reinke, wie auch später von Berthold wohl er-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

wähnt, aber ohne dass näher auf die anatomischen und mikrochemischen Verhältnisse eingegangen würde.

Es schien mir durchaus nahe zu liegen, diese auffallenden Tropfenansammlungen, was bisher noch nicht geschehen ist, mit der Ernährung der Dictyoteen in Zusammenhang zu bringen. Da sich den mikrochemischen Reactionen nach die Tropfen als Fett herausstellten und vorher weder mit der Jodprobe von Sachs noch mikrochemisch bei *Dictyota* ein Nachweis von Stärke gelungen war, so ergab sich von vorn herein die Wahrscheinlichkeit, dass die Ernährungsvorgänge bei den braunen und rothen Meeresalgen wesentlich anders verlaufen, als bei den Landpflanzen oder den übrigen Algen. Man hat bisher immer entweder stillschweigend oder auch thatsächlich das Gegentheil angenommen.

Die Ansammlung der Tropfen in der Markschicht setzt dieses Gewebe auch von vorn herein in einen auffallenden Gegensatz zu den äußeren Zellschichten, so dass sich als Folgerung, wenn man den oben angenommenen Standpunkt über die Definition der Gewebeformen annehmen will, von selbst ergiebt, das Markgewebe als Speichergewebe zu bezeichnen.

Wie bedeutend die Aufspeicherung der Fetttropfen ist, lässt sich besonders gut übersehen, wenn ein flach auf den Objectträger gelegter Spross ohne Weiteres unter dem Mikroskop beobachtet wird (Fig. 3). Stellt man auf die Zellen des Speichergewebes ein, so treten alle Tropfengruppen deutlich hervor und geben dem Spross ein sehr charakteristisches Aussehen.

Besonders auffallend erschien es mir, dass die Gruppe der Fetttropfen ausnahmslos eine mittlere Lage in den großen Zellen einnahm, wodurch eben das äußerst regelmäßige Bild der Stoffvertheilung im ganzen Spross hervortritt. Genaueren Aufschluss über diese Thatsache ergiebt die Beobachtung von Längsschnitten, welche parallel zur Achse der Sprosse angefertigt werden. Die Ursache ist eine mechanische, indem die Tropfengruppen sich central durch Protoplasmafäden, welche mit der Wand in Verbindung stehen, aufgehängt finden. Die Fetttropfen sind durch eine Protoplasmamasse verbunden, und die Anzahl der sehr feinen Fäden ist ziemlich groß, wenn auch in jeder Zelle wechselnd.

Die mikrochemischen Reactionen lassen nur den Schluss zu, dass die Tropfen aus Fett bestehen.

In Wasser unlöslich, fließen sie in Glycerin zusammen, ohne sich zu lösen, es entsteht nur eine Emulsion. In 90%igem Alkohol lösen

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

sie sich bei der geringen Masse, welche sie in einem mikroskopischen Schnitt darbieten, leicht, wozu ich bemerke, dass die in den meisten mikrochemischen Compilationen wiederholte Thatsache, dass Fette in Alkohol ganz unlöslich seien, falsch ist. In Äther lösen sich die Tropfen auf. Jodjodkalium färbt sie dunkelbraun. Kalilauge macht die Sprosse durchsichtig und lässt zunächst die Tropfen sehr deutlich hervortreten; sie werden dann aber bald, indem schon in der Kälte eine Verseifung eintritt, schaumig und erscheinen durch Lichtabsorption dunkel. Mit wässeriger oder alkoholischer Alkannalösung färben sich die Tropfen roth. Endlich färben sie sich mit 1%iger in Meerwasser gelöster Osmiumsäure tiefschwarz, wie die Fette es thun.

In geringer Menge lassen sich auch Kohlehydrate in denselben Pflanzen nachweisen. FEHLING'sche Lösung wird reducirt, aber nur in den Chlorophyllzellen. Die großen Zellen zeigen keine Reaction, so dass die Tropfen kein Zucker sein können. Letztere werden durch die alkalische Lösung verseift und werden schaumige Tropfen, welche mehr oder weniger lange erhalten bleiben.

Die Speicherzellen enthalten neben Protoplasma und den Fettmassen nur ganz vereinzelte Chromatophoren. Es ist also nicht anzunehmen, dass die wenigen Chromatophoren diese Menge Fett gebildet hätten. Die beträchtlichen Fettmassen müssen an den Ort ihrer Aufspeicherung gewandert sein, und die Orte der Bildung liegen anderswo. Es könnte dabei immer noch eine nachträgliche Umwandlung eines anderen Bildungsproducts in Fett eingetreten sein. Jedenfalls lag der Gedanke nahe, die Fettmassen aus Vorgängen im Assimilationsgewebe herzuleiten.

Die Untersuchung der Chromatophorenschicht ergab, dass die Chromatophoren, deren Freisein von Stärke schon oben erwähnt ist, überhaupt keine Einschlüsse enthalten. Wohl aber ergiebt sich sicher, wenn man die Chromatophorenschicht von oben mikroskopisch beobachtet, dass den Chromatophoren oberflächlich kleine Tropfen ansitzen, welche sich mit Osmiumsäure intensiv schwarz färben, also offenbar schon aus demselben Fette bestehen, wie die großen Tropfen des Speichergewebes.

Bessere Auskunft über die Verhältnisse in den assimilirenden Zellen geben Schnitte durch die Sprosse parallel zur Längsachse, wo man mit größter Deutlichkeit beobachtet, dass an der dem Zellraum zugewendeten Seite der meisten Chromatophoren kleinere oder größere Tropfen sitzen, welche mit Osmiumsäure schwarz werden (Fig. 2). Der Schluss, dass die Chromatophoren das Fett durch Assimilation

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

produciren, und dass es allmählich in das Speichergewebe einwandert, scheint mir schon aus diesen Beobachtungen nicht ohne Berechtigung zu folgen. Ich werde später aber die Ansicht noch durch einige andere Beobachtungen stützen.

In ihren Eigenschaften stimmen die Chromatophoren, wie aus meinen Untersuchungen der Phaeophyceen und Florideen hervorgeht, bei den Meeresalgen doch wohl nicht so sehr mit den Chromatophoren der übrigen Pflanzen überein, wie man im Allgemeinen anzunehmen pflegt. Man kann das auch eigentlich nicht erwarten, wenn man sich vergegenwärtigt, in welchem Medium die Meeresalgen leben. Das Protoplasma und alle protoplasmatischen Gebilde müssen unbedingt andere Eigenschaften besitzen bei Pflanzen, welche in einer 3—4 %igen Salzlösung leben. Landpflanzen oder Süßwasserpflanzen würden der Plasmolyse unterliegen, was die Meerespflanzen nicht thun. Sie müssen desshalb in ihren Protoplasmakörpern anders organisirt sein.

Die Chromatophoren von *Dictyota* zeigen auch schon bei einfachen Eingriffen ein eigenthümliches Verhalten. Bei Zutritt von Alkohol zerfließt die ganze Masse der Chromatophoren. Behandelt man Pflanzen längere Zeit mit Alkohol, so werden sie farblos, aber auffallend ist dabei, dass das Assimilationsgewebe so durchsichtig wird, dass das großzellige Gewebe sehr deutlich hervortritt. Das ist weder bei Behandlung mit Kali der Fall, noch tritt es durch Glycerin ein. Es hat den Anschein, als ob der ganze Inhalt des Assimilationsgewebes durch Alkohol aufgelöst sei. Jodfärbung ergiebt aber, dass nur ein Zerfall in einen kleinkörnigen Inhalt stattgefunden hat. Der Alkohol bewirkt also offenbar hier ganz andere Vorgänge als bei anderen Chromatophoren, was in der besonderen Organisation dieser begründet ist.

Kehren wir zu der Tropfengruppe des Speichergewebes zurück, so fällt es zunächst auf, dass die Tropfen in einem solchen Stadium, wie es in Fig. 2 abgebildet ist, nicht zusammenfließen, trotzdem sie sich berühren. Die Annahme, dass jeder Tropfen von einem Protoplasmahäutchen umgeben ist, drängte sich mir unmittelbar auf, wird aber auch durch die Entstehung der Tropfen bestätigt. Ich suchte, um einen Schritt weiter zu kommen, zunächst Veränderungen der Fetttropfengruppe zu veranlassen. Ausgehend von den Vorgängen in stärkehaltigen Pflanzen suchte ich zu erfahren, ob in verdunkelten Dictyoten die Tropfen aufgelöst würden. Sie blieben jedoch trotz tagelanger Verdunkelung der Pflanzen unverändert, und

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

ich musste mir auch sagen, dass eigentlich kein Grund zum Verbrauch der Fettmassen vorlag, da in der kurzen Zeit für Wachsthums- und Athmungsvorgänge der Stoffverbrauch relativ gering sein dürfte.

Ich nahm desshalb anderes Material zur Beobachtung, welches nicht in Ruhe, sondern in lebhafter Vegetation war. Reinke hat, wie bekannt, die Entstehung von Adventivsprossen bei *Dictyota* beobachtet, welche am Rande oder auf der Fläche des Laubes entstehen und ihren Anfang nehmen, indem eine Epidermiszelle sich mit dichterem Protoplasma füllt, sich über die Oberfläche des Laubes erhebt und durch eine Querwand ihrer Spitze die Scheitelzelle des neuen Sprosses bildet (l. c. pag. 6).

Derartiges Material mit reichlichen Adventivsprossen und Fortpflanzungsorganen ergab bei der mikroskopischen Untersuchung ein anderes Bild des Gewebes. Aus den Schnitten ging offenbar hervor, dass das Fett des Speichergewebes auf der Auswanderung zu den Orten der Organbildung begriffen sei (Fig. 4 *a*—*c*).

Anstatt der geordneten Gruppen der Fetttropfen, wie sie oben beschrieben wurden, welche den Eindruck von ruhenden Stoffen ohne Weiteres hervorrufen, zeigte sich an dem vegetirenden Material der Inhalt in allen Zellen in Auflösung begriffen. Die Tropfen waren in eine Emulsion aus zahllosen kleinen Tropfen umgewandelt, welche in einem mittleren Protoplasmaklumpen lag, der seinerseits durch das feine, zum Theil sehr complicirte Fadenseptum in centraler Lage hing. Nur einzelne Tropfen hatten noch ihre Form und Größe behalten. Das Auffallendste war jedoch, dass eine vom Centrum nach der Peripherie gerichtete Bewegung der kleinen Tröpfchen und Tropfen zu beobachten war. Die Tropfen glitten entweder in den Protoplasmafäden hin oder an ihnen entlang, so dass ein Phänomen entstand, wie die Körnerbewegung bei der Protoplasmaströmung.

Da diese Beobachtungen an Schnitten angestellt werden müssen, so ist es zwar nicht möglich, die Auswanderung des Fettes im Einzelnen noch weiter zu verfolgen; allein ich kann die Beobachtungen mit keinem andern Gedanken vereinigen, als dass die Wanderung dieser Reservestoffe beim Bedarf nach dem Orte der Organbildung erfolgt. Entsprechend diesem Befunde in den Speicherzellen zeigte auch das Assimilationsgewebe eine Veränderung. Während bei den Pflanzen, wo die Fetttropfen sich noch in Ruhe befinden, die Assimilationszellen nur kleine Tropfen enthielten, fanden sich nun in diesen Zellen ein großer Tropfen oder mehrere.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Ich wendete mich nun wieder zu Pflanzen, welche keine lebhafte Organbildung zeigten, und es gelang denn auch bald, den umgekehrten Vorgang der Einwanderung des Fettes von den Orten der Bildung in das Speichergewebe zu beobachten. Fig. 5 *a* und *b* zeigt zwei Zellen, wo die Ansammlung der Tropfen zu der charakteristischen Gruppe stattfindet. Die Tropfen haben noch den centralen Protoplasmaklumpen nicht bedeckt, sammeln sich aber in der Weise an, wie sie später liegen. Dass es sich hier um den umgekehrten Process, wie oben handelt, schließe ich daraus, dass bei Präparaten, wie die abgebildeten, immer eine thatsächliche Bewegung der kleinen Tropfen in den Protoplasmafäden zu sehen war, welche auf das Centrum zu gerichtet war, also umgekehrt wie bei den Präparaten der Fig. 4. Man sah hier die angelangten Tröpfchen zu größeren verschmelzen. Außerdem geht der Auswanderung, wie es mir nach meinen Beobachtungen erscheint, auch stets eine schnelle Emulgirung der großen Tropfen in zahlreiche kleine voraus, so dass Aus- und Einwanderung ganz verschiedene mikroskopische Bilder geben.

Ob bei der Auswanderung des Fettes ein emulgirendes Enzym mitwirkt, muss ich dahingestellt sein lassen. Eben so kann ich nicht angeben, ob die Fetttröpfchen bei ihrer Wanderung durch die feinen Öffnungen der Tüpfel hindurch gehen. Es scheint dies nicht gerade geboten, da auch Tröpfchen von der oberen Wand der Speicherzelle dem Centrum zuströmten, wo keine Tüpfel liegen. Die Tröpfchen gleiten langsam in den Fäden des Protoplasmas oder an ihnen entlang, vereinigen sich oft schon auf diesem Wege zu mehreren mit einander und wandern dem centralen Klumpen zu, wo sie sich langsam zu großen Tropfen vereinigen. Es scheint mir, dass die großen Tropfen gewissermaßen Vacuolen in der Protoplasmamasse sind und desshalb noch mit einer zarten Protoplasmahaut umgeben bleiben. Sehr oft sind die Protoplasmafäden so fein, dass es aussieht, als ob manche Tröpfchen ihren ganz geradlinigen Weg zum Centrum frei durch die Zelle zurücklegten, was aber eine Täuschung ist.

2. *Taonia atomaria* J. Ag.

Die flachen Sprosse von *Taonia*, welche sich von der Basis nach oben zu fächerförmig verbreitern, verzweigen sich gleichzeitig, so dass die Sprosse unregelmäßig di- bis polychotom in immer schmälere bandförmige Lappen getheilt sind.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Der anatomische Bau der Sprosse ist ähnlich wie bei *Dictyota*: es sind nur zwei Gewebeformen vorhanden, die Chromatophorenschicht und das farblose innere Gewebe. Letzteres besteht aber aus mehreren Zellschichten (Fig. 6). Ältere und jüngere Sprosse unterscheiden sich nur durch die verschiedene Dicke des inneren Gewebes, welches bei jüngeren Sprossen drei, bei älteren bis sechs Zelllagen dick ist.

In der Form ist die Schicht der Chromatophorenzellen der Oberhaut höherer Pflanzen nicht unähnlich, wenn man von Spaltöffnungen absieht. Seiner Function nach ist aber dieses Oberhautgewebe wie bei *Dictyota* ein Assimilationsgewebe, und ich stelle es unter dieser Bezeichnung dem inneren Speichergewebe gegenüber.

Die Chromatophoren sind klein, liegen der Wand an, wie gewöhnlich; schon die Ansicht der Assimilationsschicht von oben ergiebt auch bei *Taonia* das Vorhandensein größerer Tropfen in den Zellen (Fig. 7 u. 8). Da die Chromatophoren keine sonstigen Einschlüsse zeigen, so stehe ich nicht an, in diesen Tropfen wie bei *Dictyota* das Assimilationsproduct zu sehen. Es ist auch hier Fett, da alle bei *Dictyota* angegebenen Reactionen eintreten. Das Speichergewebe von *Taonia* enthält in ganz ähnlicher Weise, wie wir bei *Dictyota* beobachteten, eine centrale von Protoplasmafäden getragene Fettansammlung. Sie besteht jedoch nicht wie bei *Dictyota* aus der eigenthümlichen Gruppe großer Tropfen, sondern aus einer einzigen, bei schwacher Vergrößerung scharf begrenzten Kugel (Fig. 6), die sich jedoch bei stärkerer Vergrößerung als aus zahlreichen sehr kleinen Tröpfchen zusammengesetzt zeigt (Fig. 8). Das regelmäßige Bild dieser kugelförmigen Fettansammlung wird sofort gestört, wenn durch Bildung eines Sprosses oder von Fortpflanzungsorganen ein Stoffverbrauch an den Orten der Organbildung eintritt. Dann beginnt, in ähnlicher Weise, wie dies bei *Dictyota* geschildert wurde, das Fett aus den Speicherzellen auszuwandern. Die Kugel löst sich in ihre Theile auf, und die Tropfen fangen ihre centrifugale Wanderung an (Fig. 9 *a* und *b*).

Wir finden sowohl in den ganzen anatomischen Verhältnissen, wie in dem Verhalten der Assimilationsproducte eine auffallende Übereinstimmung mit *Dictyota*, und dieselbe Ähnlichkeit findet man bei *Padina pavonia* wieder. Es lassen sich die Verhältnisse auch bei dieser Alge so leicht auf *Dictyota* beziehen, dass es mir nicht nöthig erscheint, meine Beobachtungen ausführlich mitzutheilen. Form, Reactionen und Verhalten des Zellinhalts stimmen mit den beiden anderen Dictyoteen im Wesentlichen überein.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

3. *Halyseris polypodioides* Ag.

Bei *Halyseris* ist der anatomische Bau ein vollkommenerer, so dass man hier auch noch ein leitendes Gewebe unterscheiden kann.

Halyseris besitzt, wenn nicht Dorsiventralität, so doch offenbar einen bilateralen Bau. Eine Mittelrippe durchläuft die Sprosse.

Das Assimilationsgewebe bedeckt die Oberfläche. Es besteht aus prismatischen Zellen mit ungleichen Kantenwinkeln, wodurch das Gewebe etwas Unregelmäßiges im Aussehen erhält. Die Assimilationsschicht ist reich an scheibenförmigen Chromatophoren. Das unter der Assimilationsschicht liegende vielschichtige Speichergewebe ist farblos und enthält nur wenige Chromatophoren. Es wird von einem Leitstrang aus langgestreckten Zellen durchzogen. Wie bei den übrigen Dictyoteen, so beobachtet man an den Chromatophoren der Oberflächenschicht kleine Tropfen, die von den Chromatophoren ausgeschieden werden. Das Speichergewebe zeigt ein ganz ähnliches Bild, wie es oben bei den anderen Formen beschrieben wurde. In allen Zellen des farblosen Gewebes ist ein Protoplasmaklumpen central an Fäden aufgehängt, in welchen lichtbrechende Tropfen sich anhäufen. Dieselben sind leicht löslich in Äther, schwärzen sich intensiv mit 1%iger Osmiumsäure und können nur Fett sein.

Das leitende Gewebe enthält körnige Massen, welche unlöslich in Äther sind und sich mit Jod braun färben (Eiweißstoffe?). Mit Fehling'scher Lösung tritt nur in den Leitzellen eine Reduction ein. Es entsteht aber zugleich in den Zellen des Leitgewebes und in den großen Parenchymzellen ein sehr reichlicher Niederschlag farbloser Octaëder. Auch durch Alkohol werden in dem Leitgewebe und in den Parenchymzellen zahllose Nadeln ausgeschieden. Ich habe diese Substanzen noch nicht näher untersucht. *Halyseris* zeichnet sich offenbar vor den übrtgen Dictyoteen durch einen complicirteren Stoffwechsel aus, was schon daraus hervorgeht, dass diese Pflanze einen charakteristischen Geruch besitzt, also flüchtige aromatische Stoffe erzeugt.

Aus der Abtheilung der Phaeozoosporeen untersuchte ich *Asperococcus* und *Hydroclathrus*. Die Chromatophoren von *Asperococcus* sind groß, scheibenförmig, von unregelmäßigem Umriss; sie liegen bis zu sechs der Außenwand der Zellen an (Fig. 10*d*). An der Peripherie der Chromatophoren werden sehr kleine Tropfen ausgeschieden, die sich mit Osmiumsäure schwärzen und in Äther leicht löslich sind. Bei *Asperococcus* fällt besonders auf, dass die Paraphysen klumpige Massen

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

enthalten, welche sich mit Osmiumsäure sehr schnell schwarz färben, worauf schon Berthold aufmerksam gemacht hat (Fig. 10 *c*).

Die Paraphysen sind später mehrzellig; in der obersten Zelle steckt gewöhnlich in Form eines cylindrischen Pfropfens eine Inhaltsmasse, die allen ihren Reactionen nach nur als Fett angesehen werden kann (*a*). Man sieht schon bei stärkerer Vergrößerung, dass die Masse Chromatophoren einschließt, und nach Weglösen des farblosen Fettes mit Äther bleibt eine Gruppe von Chromatophoren übrig, die sich durch die Behandlung mit Äther kugelförmig abrunden (*b*). Die Anzahl der Chromatophoren, welche meist in der oberen Paraphysenzelle angesammelt sind, ist relativ groß, so dass offenbar die Fettmengen in den Paraphysen selbst erzeugt werden. Es ist dies ja auch nichts Auffallendes, da die Paraphysen doch nur anders gestaltete Zellen des Assimilationsgewebes sind.

Bei den großen Chromatophoren von *Hydroclathrus* sieht man ganz besonders gut die Tropfen an der Innenseite der Chromatophoren. Das Assimilationsgewebe, aus kleinen Zellen bestehend, bedeckt eine mehrfache Schicht großer chromatophorenfreier Zellen.

Von den Cystoseiren habe ich *C. discors* und *C. amentacea* nur nebenher untersucht. Es liegen auch hier Tropfen an und außerhalb der Chromatophoren in den Zellen. Mit Osmiumsäure tritt eine schnelle Schwärzung der Tropfen ein.

Die Befunde, welche bis jetzt mitgetheilt wurden, scheinen mir mit Sicherheit den Beweis zu liefern, dass die Phaeophyceen bei der Assimilation keine Stärke, sondern Fett produciren. Die mikrochemischen Reactionen lassen meiner Ansicht nach keinen Zweifel übrig, dass die Tropfen, welche von den Chromatophoren abgeschieden werden, aus Fett bestehen. Es liegt kein Grund vor anzunehmen, dass die Fetttropfen erst ein secundäres Product seien und durch Umwandlung eines ursprünglich entstehenden Kohlehydrates entstünden. Diese Annahme wäre wenigstens willkürlich: denn es kann ohne Weiteres nicht angenommen werden, dass im ganzen Pflanzenreich das Assimilationsproduct ein Kohlehydrat sein müsse. Zur Lösung dieser Frage würden vor Allem gasanalytische Untersuchungen beitragen, welche ich aber leider nicht ausführen konnte, da es mir damals noch in Neapel an den dazu nöthigen Hilfsmitteln fehlte. Aus den Volumenverhältnissen der durch die Phaeophyceen aufgenommenen Kohlensäure und des ausgeschiedenen Sauerstoffs müsste sich eine Bestätigung ergeben, dass Fette bei der Assimilation gebildet werden.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Von allgemein physiologischen Gesichtspunkten ist gegen den hier aus den Beobachtungen gezogenen Schluss, dass die Fettmassen durch Assimilation enstanden sind und Nährstoffe darstellen, nichts einzuwenden. Dagegen steht diese Annahme in einem lebhaften Widerspruch zu einer Theorie, welche vor längeren Jahren von Berthold aufgestellt wurde und den hier ausführlicher geschilderten Vorkommnissen eine ganz andere Deutung giebt.

Die meisten der hier behandelten Stoffansammlungen in den genannten Algen sind schon früher gelegentlich von anderen Forschern gesehen worden, und auch Berthold hat sie, wiewohl nicht sehr genau, untersucht. Er sieht aber diese Ausscheidungen von Tropfen und Körnern als »Dämpfungs- oder Zerstreuungsapparate« gegen zu starkes Licht an.

In seiner Arbeit »Beiträge zur Morphologie und Physiologie der Meeresalgen« (Pringsh. Jahrb. 13. Bd.) erörtert er seine Ansicht folgendermaßen (l. c. pag. 700): »So sind, wenn wir von den oben erwähnten Formen absehen, bei zahlreichen braunen Algen gewisse Inhaltsstoffe constant der freien Außenseite der Oberflächenzellen aufgelagert und bringen hier eine zwar wenig energische, aber immerhin recht bemerkbare Reflexion und Dispersion des Lichtes hervor. Als Beispiele mögen hier nur *Dictyota, Taonia, Halyseris, Asperococcus, Giraudia* erwähnt sein. An den natürlichen Standorten dieser Pflanzen findet man die freie Außenseite der Zellen selten mit Farbstoffplatten belegt, sie sind vielmehr von einer Gruppe von kugeligen hellen Körpern bedeckt, welche nach ihrem Verhalten ebenfalls zu den Proteinstoffen zu zählen und nicht Fetttropfen sind, wie man bisher gewöhnlich annahm.«

Wenn Berthold Proteinstoffe in den Tropfen erblickt, so konnte dies nur auf Grund ungenauer Untersuchung geschehen; denn die Löslichkeit der Tropfen in Äther, ihre Färbung mit Alkanna, ihre Schwärzung durch Osmiumsäure spricht gegen die Eiweiß- und für ihre Fettnatur. Meiner Ansicht nach muss das constante Auffinden derartiger auffallender Inhaltsstoffe in solcher Menge, bei der fast völligen Unkenntnis der Assimilationsproducte der Meeresalgen viel eher für einen Zusammenhang mit den Ernährungsvorgängen sprechen, als für die Bedeutung von Lichtzerstreuungsapparaten, wenn auch die Tropfen nebenher lichtbrechend sind. Berthold's Deutungen über die Schutzmaßregeln gegen Licht scheinen mir aus einer a priori angenommenen Meinung von der Schädlichkeit des Lichts für die Meeresalgen hervorzugehen. Man vermisst aber in seiner Arbeit

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

genügende experimentelle Belege für die Abneigung der Meeresalgen gegen Licht. Seine Ansicht steht im Widerspruch mit der Thatsache, dass das Wasser durch Reflexion und Absorption so viel Licht vom einfallenden Tageslicht fortnimmt, dass man kaum begreift, wie manche Arten mit einer solchen geringen Lichtmenge noch zur Erzeugung ihrer organischen Substanz auskommen. Dass unter solchen ungünstigen Beleuchtungsbedingungen lebende Pflanzen, wie viele Florideen, noch Schutzmaßregeln gegen das Licht nöthig haben sollten, erscheint a priori als unwahrscheinlich. Unwahrscheinlich ist es ferner, dass die Pflanzen, wenn sie eines solchen Schutzes bedürften, anstatt Schutzorgane zu bilden, etwa Haare oder dgl., chemische Verbindungen in ihren Zellen erzeugen, welche etwas Licht reflectiren. Die Theorie von Schutzstoffen scheint mir immer eine gewisse Gefahr des Irrthums in sich zu bergen.

Außerdem stimmen die Formationen auch gar nicht zu Berthold's Theorie. Zunächst liegen die Tropfen gar nicht direct an der Außenwand der Zellen, sondern sind entgegen Berthold's Angaben fast ausnahmslos von dichten Gruppen der Chromatophoren bedeckt, so dass ein Lichtschutz nur in einzelnen Fällen zu Stande kommen kann. Auch finde ich nicht, dass die von Berthold oben angeführten Algen außerhalb des Wassers eine größere Dispersion des auffallenden Tageslichtes hervorbringen, als das von ihrer nassen reflectirenden Oberfläche zu erwarten ist. Ich habe nur einmal eine kleine *Dictyota*-Form gefunden, welche schön grün irisirte. Der grüne Glanz wurde von den Fetttropfen hervorgerufen. Die Beobachtungen, auf welche Berthold seine Theorie aufbaut, scheinen mir im Allgemeinen zu summarisch zu sein, als dass man denselben dies Gewicht beilegen könnte. Indem er *Dictyota*, *Taonia* etc. als Beispiele für die lichtzerstreuenden Kugeln aufführt, sagt er: »bei *Asperococcus*, wo sie genauer studirt wurden« etc. Es ist aber ganz unmöglich, *Asperococcus* als Beispiel, als Typus anzuführen und anstatt einer genauen Untersuchung der übrigen zu substituiren. Bei *Asperococcus* sind die Tropfen so klein, dass sie gegen die großen Chromatophoren ganz verschwinden und gegen die relativ großen Tropfen bei *Dictyota* außerordentlich winzig sind, so dass, wer beide Fälle gesehen hat, kaum auf den Gedanken kommt, den kleinen Tröpfchen von *Asperococcus* eine gleiche Rolle für die Lichtdispersion zuzuschreiben, wie den Kugeln von *Dictyota*.

Ferner passt weder bei *Dictyota* noch bei *Taonia*, *Pavonia* u. a. die Lage der Tropfen zu Berthold's Theorie. Es erscheint doch

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

sonderbar, dass Schutzapparate nicht an der Oberfläche liegen, sondern dass das schädliche Licht erst bis in die innersten Gewebe eindringen muss, um von den Zerstreuungsapparaten zurückgeworfen zu werden.

Allerdings will BERTHOLD in manchen Fällen die kugelförmigen Inhaltskörper der Zellen in einem anderen Sinne gedeutet wissen, indem er der Ansicht ist, die Kugeln dienten dazu, die Lichtstrahlen im Pflanzengewebe zu verbreiten. Er sagt (pag. 707 l. c.): »In Bezug auf die Function der beschriebenen Bildungen bleibt jedoch immer noch zu berücksichtigen, dass es in vielen Fällen auch darauf abgesehen sein könnte, nicht allein die Intensität des Lichtes herabzusetzen, sondern auch die im Wesentlichen senkrecht zur Oberfläche eindringenden Strahlen innerhalb der Pflanze nach verschiedenen Richtungen abzulenken und so eine möglichst allseitige Durchleuchtung derselben hervorzubringen.«

Mit der Ansicht, dass einmal die Formationen in den Zellen als Reflectoren, ein anderes Mal die analogen Gebilde als Durchleuchtungsapparate dienen sollen, kann man sich doch nur zufrieden geben, wenn jede Ansicht zu dem Standorte der betreffenden Pflanze passt. Es passt nun aber durchaus nicht, dass gerade bei *Dictyota*, welche BERTHOLD anführt, die Kugeln nicht als Reflectoren, sondern zur Durchleuchtung dienen sollen, bei einer Pflanze, welche, da sie nicht tief wächst, eine solche Hilfe der Lichtzufuhr am wenigsten nöthig hätte.

BERTHOLD glaubt seine Ansicht besonders durch die Constanz der beschriebenen Gebilde stützen zu können, indem er bemerkt: »Bemerkenswerth für alle diese Bildungen, deren Zahl bei näherer Berücksichtigung sich wohl noch vermehren dürfte, ist, dass sie auffallend constant vorkommen und schon sehr frühzeitig in den noch jugendlichen Zellen in der Nähe des Scheitels angelegt werden, ein Umstand, der für eine wesentliche Function derselben im Leben der betreffenden Zelle spricht.«

Dem letzten Satze kann ich mich nur anschließen, aber wenn BERTHOLD die wesentliche Bedeutung in der Lichtzerstreuung erblickt, so rührt diese Ansicht daher, dass er nur die Morphologie der Sache berücksichtigt und in dieser einseitigen Betrachtung auf das Stoffliche der beobachteten Formbestandtheile kein Gewicht legt. Auch Stärkekörner, Fetttropfen, Krystalle in den Zellen der höheren Pflanzen reflectiren das Licht; man könnte dann diese Stoffe auch im BERTHOLD'schen Sinne deuten.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

4. Florideen.

Nach den in der Litteraturübersicht angegebenen früheren Beobachtrngen könnte man zu der Ansicht kommen, dass bei den Florideen Stärke oder eine stärkeähnliche Substanz als Assimilationsproduct aufträte, und dass überhaupt die Stoffbildung bei ihnen durchaus übereinstimmte. Vorprüfungen mit Jod, welche ich mit den verschiedensten Florideen zu verschiedenen Zeiten anstellte, ergaben in Bezug auf den Stärkenachweis ein negatives Resultat. Nur bei einer kleinen Anzahl der neapolitanischen Florideen wurden Anhäufungen von Körnern in den Zellen beobachtet, welche überhaupt eine äußere Ähnlichkeit mit Stärkekörnern hatten. Die Mehrzahl der untersuchten Arten zeigte dagegen ganz anders geformte Inhaltsstoffe, die aber auch unter einander wieder so mannigfache Unterschiede aufweisen, dass man den Eindruck erhält, bei den Florideen seien die Stoffbildungsvorgänge besonders complicirt und wechselvoll. So wie diese Pflanzen morphologisch so überaus merkwürdig sind, bieten offenbar auch die Lebensvorgänge, speciell die Ernährungsvorgänge hier viel Räthselhaftes.

Chondriopsis coerulescens Crouan.

Durch ihre prächtig schillernden Farben hat diese zierliche Alge schon lange die Aufmerksamkeit auf sich gezogen. Im durchfallenden Lichte besitzt *Chondriopsis* ein trübes Roth, wie viele andere Florideen, im auffallenden Lichte bietet sie ein bunt schillerndes Aussehen, welches an die Farbenwirkung der Perlmutter erinnert. Die Hauptsprosse erscheinen violett, blau und grün. Durch den Wechsel dieser Farben auf kurze Strecken sieht der Stengel gegliedert aus. Die jüngeren Sprosse schimmern mehr röthlich an ihren Enden mit dem für *Scinaja* charakteristischen grauröthlichen Schimmer.

Kny, welcher *Chondriopsis coerulescens* in Palermo untersuchte, hat die morphologischen und anatomischen Verhältnisse ausführlich behandelt[1].

Ich möchte nur hinzufügen, dass die sogenannte Rindenschicht, die äußerste Zelllage, vorwiegend mit Chromatophoren ausgerüstet ist und desshalb auch hier wohl passend als Chromatophoren- oder

---

[1] Über die Morphologie von *Chondriopsis coerulescens* und die dieser Alge eigenen optischen Erscheinungen. in: Monatsber. Akad. Berlin 1870.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Assimilationsgewebe zu bezeichnen wäre. Die großen Zellen der Innenschicht enthalten ebenfalls ziemlich reichlich Chromatophoren (Fig. 11 *e*), welche aber theilweise nur wenig Farbstoff haben und farblos oder nur blassroth aussehen. Die Zellen des Assimilationsgewebes enthalten dagegen rothe Chromatophoren. Kny giebt sie auf seiner Tafel in violetter Farbe wieder, was wohl nur durch einen Irrthum des Technikers zu erklären ist.

Außer den Chromatophoren enthalten die Zellen des Assimilationsgewebes Massen von gelblicher Farbe, die durch Bedeckung mit den Chromatophoren röthlich erscheinen (*a*, *b*, *c*). Kny hat diese Massen als die Ursache des Irisirens erkannt, und ich kann, wie Berthold, diese Angabe bestätigen. Sowohl auf Längs- als auf Flächenschnitten glänzen diese Substanzen mit blauem und grünem Licht. Man beobachtet dies am besten nach Verschluss der Objecttischöffnung mit einem Kork. Die Zellwände bleiben dann dunkel, und auch der Zellinhalt leuchtet nur, so weit er aus den erwähnten Massen besteht. Ich sah diese Inhaltsmassen meistens den Raum, den die Chromotophoren noch übrig lassen, ausfüllen, jedoch nicht zu so regelmäßigen Tropfen abgerundet, wie Kny dies abbildet. Die Tropfenbildung scheint mir einzutreten, wenn ein mechanischer Druck auf die Zellen ausgeübt wird. Dies ist natürlich nebensächlich. Von Interesse bleibt es vor Allem, dass, wie Kny entdeckte, diese eigenthümlichen Inhaltsmassen das Licht in der genannten Weise reflectiren.

Kny hat sich mit der Farbenerscheinung, so weit dieselbe rein optisch ist, beschäftigt; ich verweise auf seine Arbeit. Eine biologische Bedeutung wurde von Kny den Massen nicht beigelegt. Berthold hat sie zu Gunsten seiner Lichtschutztheorie benutzt. Ich kann auch für die Florideen derselben nicht beistimmen. Einerseits ist die durch die Inhaltsballen zerstreute Lichtmenge ganz minimal im Vergleich zu der Lichtmenge, welche die nicht tief wachsende Alge trifft. Andererseits ist es mir unwahrscheinlich, dass die Meeresalgen chemische Substanzen als Lichtschutz produciren und nicht morphologische Schutzmaßregeln ausbilden sollten, wie das bei den Pflanzen im Allgemeinen der Fall ist. Ich bin durchaus geneigt, die Substanzen wegen ihrer großen Menge und wegen des Ortes ihres Vorkommens für Nährstoffe zu halten, die in den Chromatophorenzellen producirt werden. Denn es gelang mir auch bei *Chondriopsis* nicht. Stärke oder die sogenannte Florideenstärke nachzuweisen. Bei dem gänzlichen Mangel anderer mikroskopisch nachweisbarer Assimilations-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

producte hat meine Annahme, wie mir scheint, große Wahrscheinlichkeit. Das Lichtbrechungsvermögen ist eine Eigenschaft der Substanz, der ich eine biologische Bedeutung, wie sie Berthold annimmt, eben so wenig zuschreiben möchte, wie lichtbrechenden Zellinhalten anderer Pflanzen, z. B. Krystallen etc.

Was die Massen selbst betrifft, so sind sie schwach gelb und fein punktirt. Zwei, drei größere oder mehrere kleinere der unregelmäßig geformten, im Ganzen aber der Kugelform sich nähernden Ballen liegen in jeder Zelle. Ist ein größerer Ballen vorhanden, so liegt er gewöhnlich an dem einen Ende der langgestreckten Zellen der Oberfläche, sonst findet eine gleichmäßigere Raumausfüllung statt. Bei schwacher Vergrößerung erscheinen die hellgelben Ballen durch die Bedeckung mit den Chromatophoren röthlich. Die größeren Ballen sind offenbar nur Ansammlungen von kleineren Tropfen, welche von den Chromatophoren ausgeschieden werden. Man sieht an diesen in verschiedener Größe an ihrer der Innenseite der Zellen zugewendeten Fläche kleine, wegen ihrer Kleinheit farblos erscheinende Ballen derselben Substanz haften (Fig. 11 *d*). In den großen Zellen des inneren Gewebes (Fig. 11 *e*) bildet das Protoplasma des Wandbelegs ein zierliches Netz, in welches die Chromatophoren in Perlschnüren eingelagert sind und in dieser zierlichen Weise die Zellwände bedecken. Auch an diesen Chromatophoren beobachtet man die Abscheidung der kleinen Kugeln.

Kny hat einige Reactionen auf die Substanz mit Ätzkali und Säuren angestellt, welche aber nicht viel lehren können, da die Substanz sich in beiden Reagentien löste.

Ich habe folgende Eigenschaften festgestellt. In destillirtem Wasser quellen die Massen auf und ändern dadurch ihre Form. Sie lösen sich in 90%igem Alkohol. Sie können also nicht, wie Berthold (pag. 694 l. c.) angiebt, aus Eiweißstoffen bestehen. Osmiumsäure färbt die Massen dunkel, aber nicht mit dem intensiven Schwarz, womit Fette sich färben. Mit Jod nehmen die Ballen eine tiefbraune Farbe an.

Chondria tenuissima Ag.

Die einer Epidermis höherer Pflanzen ganz ähnliche Assimilationsschicht besteht aus gleichartigen Zellen mit kleinen wandständigen Chromatophoren. In allen Zellen liegt ein formloser, aus feinen Körnern oder Tropfen bestehender Ballen, welcher durch Lichtabsorption fast schwarz aussieht. Die Substanz ist in 90%igem Alkohol löslich. Osmiumsäure schwärzt sie.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Laurencia obtusa Lamour.

Auffallende Inhaltskörper zeigen die Zellen von *Laurencia*. Die oberflächliche Zellschicht besteht aus kleineren Zellen mit dickeren Wänden. Kleine Chromatophoren liegen den Wänden an. Der Zellsaft ist zuweilen noch durch einen gelben Farbstoff gefärbt, der beim Absterben der Algen leicht in das Wasser diffundirt. In den Zellen der Oberfläche liegen Gruppen kleiner Tropfen (Fig. 14 *a*, *b*). Die übrigen Zellen enthalten einen relativ großen, stark lichtbrechenden Körper von merkwürdiger Gestalt. Am besten lässt er sich mit einer Kirsche vergleichen (Fig. 14 *c*, *d*), da sich bei kugeliger Gestalt an der einen Seite eine Vertiefung befindet. Sehr auffallend ist seine einseitige Lage in der Zelle. Immer liegen die Körperchen der einen Zellwand näher. Sie liegen etwas schief, so dass es nicht gelingt, an einer Art von Schnitten über ihre Form ins Klare zu kommen. Durch Vergleich von Quer- und Flächenschnitten aber lässt sich dieselbe feststellen. Der eigenthümliche Eindruck schien mir mit einem Stiel in Verbindung zu stehen, und mit Seibert Immers. 9 ließ sich auch feststellen, dass ein stielförmiger Protoplasmafaden die Kugel an den Wandbeleg anheftet. Zu gleicher Zeit beobachtet man aber dann, dass auch von der Oberfläche nach allen Richtungen zarte Protoplasmafäden ausstrahlen, welche nach anderen Wandstellen der Zelle verlaufen, so dass die Kugel in ihrer Lage verharrt (*e*). Das ganze Gebilde ist aufzufassen als ein Protoplasmasack, als eine an den zarten Fäden aufgehängte Vacuole, in welcher eine Substanz anderer Art aufgespeichert ist. Dieser Bau geht aus den Färbungsresultaten mit Methylviolett hervor. Es färben sich die Körper leicht mit diesem Farbstoff; beim Zerdrücken aber tritt immer ein farbloser Inhalt aus der allein gefärbten Haut hervor. Die Substanz in dem Sack ist in 50—90%igem Alkohol löslich. In Äther zerfließen die Tropfen nur, ohne sich völlig zu lösen, und nehmen dabei den vom Äther gelösten Chlorophyllfarbstoff auf, so dass sie dann schwach grün gefärbt erscheinen. Eine wirkliche Lösung in Äther findet nicht statt, auch nach tagelangem Liegen ganzer Sprosse in Äther waren die Tropfen nicht ganz gelöst, sondern nur zum kleinen Theil, vielleicht nur durch etwas Alkoholgehalt des Äthers. Man sah aber an solchen Präparaten die umhüllende Blase deutlich. Von den Befestigungsfäden war aber dann nichts mehr zu sehen, vielmehr das Netz zusammengefallen, so dass der Körper an der Wand anlag (Fig. 14*f*).

Man kann leicht durch Beobachtung der Haare von *Laurencia* darüber Rechenschaft geben, wie diese sonderbar in der Zelle befestigte

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Blase zu Stande kommen muss. Der Inhalt wird schon in jungen Haarzellen (*g*) in einer Vacuole im Protoplasma abgeschieden. Indem die Zellen wachsen und das Protoplasmanetz zu immer feineren Fäden ausgezogen wird, erscheint die Blase endlich in ihrer charakteristischen Aufhängung in den Zellen. Ich zweifle nicht daran, dass die Einwanderung der Substanz in die Vacuole durch die Protoplasmafäden vor sich geht. Die Kugeln, d. h. der Inhalt der Vacuole färben sich mit Osmiumsäure schwach braun, mit Jod braun.

Bei einer Anzahl anderer Florideen lassen sich ebenfalls lichtbrechende Kugeln beobachten, welche bei manchen morphologischen Unterschieden in den Reactionen doch auffallend übereinstimmen, z. B. bei *Sphaerococcus coronopifolius*, bei *Plocamium coccineum*, bei *Fauchea repens* u. A. Die leichte Löslichkeit in 90%igem Alkohol, die Unlöslichkeit oder Schwerlöslichkeit in Äther, Unveränderlichkeit durch FEHLING'sche Lösung, Bräunung mit Osmiumsäure, welche mit der intensiven Schwärzung der Fette nicht verglichen werden kann, und die dunkle Braunfärbung mit Jod haben sie gemein.

Aus den bisher mitgetheilten Resultaten ergiebt sich, dass bei den meisten Florideen geformte Substanzen vorkommen, welche man aber auch kaum der Form nach mit Stärkekörnern vergleichen kann. Die früheren Angaben von ROSANOFF lassen aber keinen Zweifel darüber, dass in manchen Fällen körnige Inhaltsstoffe bei Florideen beobachtet werden, die Stärkekörnern äußerlich gleichen. Nachdem ich Anfangs vergeblich nach solchen Fällen in dem mir zugänglichen Material gesucht hatte, gelang es mir doch noch, einige derartige Vorkommnisse zu beobachten.

Gracilaria dura J. Ag.

Die Sprosse dieser kleinen Species, welche sich durch ihre knorpelige Consistenz vor den übrigen Gracilarien des Golfs von Neapel äußerlich auszeichnet, zeigen den anatomischen Bau der anderen Gracilarien. Ein großzelliges Grundgewebe wird von einer Oberflächenschicht, die aus kleinen Zellen besteht, bedeckt. Das peripherische Gewebe ist mit Chromatophoren ausgerüstet, das innere farblos. Die Zellen nehmen von außen nach innen an Größe zu. Eine auffallende Reaction gegenüber anderen Florideen zeigen die Membranen der *Gracilaria*, und zwar in einer solchen Übereinstimmung, dass diese Reaction vielleicht als diagnostisches Merkmal dienen könnte. Ich fand sie außerdem bei *Gr. disticha*, *Wrightii*

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

und den unten genannten Arten. Mit Jod und Jodkalium färbt sich die Mittelschicht der Membran nämlich (Intercellularsubstanz) schön carminroth, mit Jod in Seewasser violett. Jod und Schwefelsäure färben dagegen die ganze Membran violett (Fig. 13).

Bei *Gracilaria confervoides*, *compressa* und *armata* ließ sich kein stärkeähnlicher Inhalt nachweisen. Der Inhalt der großen Zellen erschien farblos und durch zahllose Mikrosomen trübe. Die Reaction der letzteren auf Jod ist schwierig zu beobachten, wegen der gleichzeitigen Rothfärbung der Membranen: es ließ sich aber doch endlich erkennen, dass die Körnchen des Inhalts sich nicht blau, sondern nur schwach gelb färbten. Hier kann also von stärkeähnlichen Substanzen nicht die Rede sein.

Ganz andere Verhältnisse ergaben sich bei *Gracilaria dura*. Alle Zellen des cylindrischen Stengels sind dicht erfüllt von Körnern, die kleinen Stärkekörnern sehr ähnlich sehen (Fig. 12): bei schwachen und mittleren Vergrößerungen scheinen sie Kugelform zu besitzen. Immers. 9 von Seibert aber ergab, dass dies nicht der Fall ist, dass die Körner vielmehr abgerundet kegelförmig sind, bald mit kürzerer, bald mit längerer Längsachse. An der Basis besitzen sie eine flache Vertiefung. Mit Jod-Jodkalium färben sie sich dunkelbraun. Die dunkle Jodfärbung der dicht auf einander liegenden Körner macht sie so undurchsichtig, dass bei schwachen Vergrößerungen der Anschein entsteht, als wäre die ganze Masse schwarzblau gefärbt. Schon bei mittleren Vergrößerungen ergiebt sich aber die reine Braunfärbung. Nach Form und Reaction sind sie also bei genauerer Untersuchung doch von gewöhnlichen Stärkekörnern so verschieden, dass ich einstweilen es für unzweckmäßig halte, diese Substanz als Florideenstärke zu bezeichnen, wenn sie auch etwas mehr Ähnlichkeit mit echter Stärke hat, als die oben bei anderen Florideen beschriebenen Substanzen.

Mit verdünnter Kalilauge quellen nämlich die Körner von *Gracilaria dura* ähnlich wie Stärkekörner zum Vielfachen ihres Volumens auf. Nach der Quellung färben sie sich nicht mehr braun, sondern weinroth. Beim Erhitzen mit Wasser quellen sie ebenfalls auf und färben sich nachträglich mit Jod-Jodkalium schön rothviolett.

Bei *Phyllophora nervosa* fand ich ganz ähnliche Körner in eben so reichlicher Ansammlung in den Zellen. Auffallend war trotz der Verschiedenheit der Gattungen die Übereinstimmung der Form der Körner. Auch bei *Phyllophora* waren sie abgerundet conisch, mit dem eigenthümlichen Eindruck an der Basalfläche versehen. Die ganz

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

jungen Sprosse waren frei von Körnern, offenbar wurde die Substanz beim Wachsthum der jungen Sprosse verbraucht.

Es sind dies meine einzigen Funde von Inhaltsstoffen, die einen Vergleich mit Stärkekörnern zulassen würden.

Halymenia monardiana J. Ag.

In den jungen Sprossen zeigt sich beim Behandeln mit Jodlösung eine sehr auffallende Erscheinung. Die eigenthümlich geformten, kugeligen, mit fadenförmigen Verlängerungen versehenen Zellen des mittleren Gewebes erscheinen farblos. Behandelt man Schnitte mit Jod-Jodkalium oder Jod in Seewasser, so krystallisirt nach wenigen Secunden eine Substanz in Nadeln von dunkelbrauner Farbe aus, welche die Zellen fast erfüllt (Fig. 15*a* und *b*).

Wenn wir die an verschiedenen Gattungen gemachten Beobachtungen noch einmal überblicken, so zeigt sich, dass man bei den Florideen die Übereinstimmung in den Stoffbildungsvorgängen ganz vermisst, welche noch bei den Phaeophyceen nicht zu verkennen ist. Auch in dieser Hinsicht also nehmen die Florideen eine höchst auffallende Sonderstellung ein. Was die Deutung der Beobachtungen betrifft, so scheint mir nur darin eine Übereinstimmung zu herrschen, dass die Chromatophoren ihre Assimilationsproducte nicht in ihrem Inneren abscheiden, sondern an ihrer Peripherie (bei den flächenförmigen Chromatophoren gewöhnlich an der ganzen dem Zellinneren zugekehrten Fläche) gleichsam secerniren. Bei den Phaeophyceen ist es mir sehr wahrscheinlich, dass die im Speichergewebe abgelagerten Fette auch in den Chromatophoren gebildet werden. Ob bei den Florideen die in den Zellen abgelagerten Massen mit den Tropfen oder Körnern, welche ich bei den Chromatophoren beobachtete, chemisch übereinstimmen, wage ich noch nicht zu entscheiden. Es ist aber wahrscheinlich.

Auffallend ist, dass die in den Zellen abgelagerten Reservestoffe bei den Florideen nach zwei Richtungen verschieden erscheinen und sich kennzeichnen einmal als in Lösungsmitteln lösliche Stoffe, einmal als quellbare Substanzen. Nur die letzteren dürften wohl einige Beziehung zur Stärke erkennen lassen, während mir die mit Jod sich braun färbenden anderen Substanzen nach ihren Reactionen dem Glycogen noch am nächsten zu stehen scheinen, freilich in ihrer Löslichkeit in Alkohol von dem gewöhnlichen Glycogen abweichen.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Ich habe nur ganz vorläufig eine Darstellungsmethode zur Isolirung der Stoffe zu finden gesucht, und ohne sie selbst in größerem Maße anwenden zu können, will ich sie zur Erleichterung weiterer Untersuchungen angeben. In kleineren Mengen isolirte ich auf diese Weise die Substanz von *Chondriopsis coerulescens*.

Die Pflanzen werden mit 90%igem Alkohol extrahirt, der Alkohol wird verdampft und das Extract durch mehrfaches Wiederaufnehmen mit Alkohol vom Kochsalz befreit. (Pigment, Chlorophyllfarbstoff würde man mit einem geeigneten Lösungsmittel, alkoholfreiem Äther, Petroläther etc. entfernen können.) Man erhält schließlich eine gelbliche alkoholische Lösung, welche nach dem Verdampfen gelbliche Tropfen zurücklässt, die mit Jod-Jodkalium eine dunkelbraune Farbe annehmen. Mit Kalilauge wird die Substanz schaumig, ohne sich zu lösen, in Salzsäure ist sie unlöslich. Aus den Tropfen krystallisirt, wie sich unter dem Polarisationsmikroskop beobachten lässt, die Substanz in Nadeln aus. Die Krystalle färben sich mit Jod-Jodkalium braun.

Die genauere Feststellung der Natur der Substanzen kann nur nach exacten chemischen Methoden erfolgen, aber so viel scheint mir aus meinen Beobachtungen hervorzugehen, dass die Annahme eines allgemeinen Vorkommens von Stärke oder Florideenstärke bei dieser Pflanzenabtheilung nicht haltbar ist. Es entsprechen die Befunde der oben erörterten Voraussetzung, dass die Stoffwechselprocesse bei den Florideen doch wesentlich anders sein dürften, als bei den höheren Pflanzen.

Auch für die Florideen kann ich der eigenthümlichen teleologischen Auffassung Berthold's, welcher alle Inhaltsstoffe zur Begründung seiner Hypothese benutzt, nicht beitreten, sondern bin davon überzeugt, dass diese Substanzen Nährstoffe sind und nicht als Lichtzerstreuungsvorrichtungen anzusehen sind.

Aber auch da, wo Berthold durch andere Structuren seine Ansicht begründet, was mir von vorn herein viel berechtigter erscheinen würde, lassen sich manche Einwände gegen Berthold's Interpretation erheben.

Eine durch ihren Schiller auffallende Floridee ist *Scinaja furcellata*. Die optische Erscheinung, welche man bei der Alge beobachten kann, ist sehr schön, aber schwer zu beschreiben. Im auffallenden Licht haben die Sprosse eine Art Perlmutterglanz. Die rothen Sprosse erscheinen gelbgrau schimmernd, zuweilen blau. Es sind aber keine reinen Farben, sondern ein Opalglanz. Hält man die Alge gegen das Licht, so verschwindet der Schimmer so gut wie ganz, sie wird

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

gelbröthlich. Wenn auch in der Sonne die Erscheinung besonders intensiv ist, so ist sie doch auch in ganz diffusem Lichte an der Hinterwand eines Zimmers zu sehen.

Trägt man die Oberhaut mit der darunter liegenden Chromatophorenschicht ab und beobachtet den Schnitt mikroskopisch in hellem auffallendem Lichte, so glänzt die Oberfläche in silberweißem Lichte, ohne Farbenschiller.

Dass es sich dabei aber um einen Lichtschutz handelt, kann ich mich nicht entschließen anzunehmen, da die weitaus geringste Menge des Lichtes reflectirt wird. Die Intensität des Farbenschillers ist doch außerordentlich gering im Vergleich mit dem einfallenden Sonnenlicht. Außerdem ergiebt die mikroskopische Beobachtung, dass gar nicht die ganze Oberhaut reflectirt, sondern nur ein Theil ihrer Zellen.

Es ist nöthig, einen kurzen Blick auf die Anatomie von *Scinaja* zu werfen, welche 1844 von De Notaris und 1876 von Thuret in seinen Notes algologiques pag. 19 behandelt ist, aber noch einiger Ergänzungen bedarf. Der Bau der Alge ist recht interessant (Taf. 12 Fig. 16—22). Die Längsachse wird von mit einander verbundenen dickeren Fäden gebildet, so dass ein längsverlaufendes centrales Fadenbündel entsteht, von dem nach der Peripherie zahlreiche dünne Fäden ausstrahlen. Dies Fadensystem bildet ein Gerüst, welches die Chromatophorenschicht und die Epidermis trägt und sich im Zusammenhange aus den Algensprossen isoliren lässt (Fig. 22). An der Peripherie verzweigen sich die Fäden dichotom in keulenförmige Äste, welche endlich die kugeligen Chromatophorenzellen tragen. Diese Zellen sind jedoch so angeordnet, dass sie gar nicht überall eine zusammenhängende Schicht bilden. Das ganze Sprossgebilde würde gar keinen Halt haben, wenn es nicht von einer aus fest zusammenschließenden Zellen bestehenden Epidermis umgeben wäre.

Die Zwischenräume, welche die Fäden zwischen sich lassen, sind mit einer structurlosen Gallerte ausgefüllt. Wegen ihrer Farblosigkeit kann sie erst durch Färbung sichtbar werden. Methylviolett färbt die Gallerte intensiv violett, während die Fäden selbst nur schwach blau werden. Mit Jod und Schwefelsäure färben sich die Fäden blau, die Gallerte bleibt farblos. Mit Fehling'scher Lösung tritt keine Reaction ein. 90%iger Alkohol schlägt eine im Wasser lösliche farblose Substanz in Form rhombischer Tafeln nieder.

Wegen der Berthold'schen Ansicht interessirt uns hier namentlich die Epidermis. Ihre Zellen sind farblos, sie enthalten einen

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

trüben Schleim. Bemerkenswerth ist, dass die Epidermiszellen an Größe sehr verschieden sind. Auf dem Querschnitt sieht man weite Epidermiszellen mit schmalen langgestreckten abwechseln. Bei der Ansicht von oben zeigen sich die großen Epidermiszellen in der Regel von einem Kreise kleiner umgeben, wodurch trotz der Ungleichheit der Epidermiszellen eine charakteristische Anordnung zu Stande kommt (Fig. 19). Unter den kleinen Epidermiszellen liegen in der Regel Chromatophorenzellen, während die großen Epidermiszellen gewöhnlich die Zwischenräume zwischen den Farbzellen ausfüllen (Fig. 20). Diese Verschiedenheit fällt zusammen mit einer Verschiedenheit der Epidermiszellen im Irisiren. Nur die kleinen Epidermiszellen, welche eine Unterlage von Chromatophorenzellen besitzen, irisiren. Unter dem Mikroskop im auffallenden Licht sieht daher die Epidermis wie durchbrochene Silberarbeit aus, weil die großen Zellen dunkel bleiben. Es scheint so der Farbenschiller vorwiegend auf einer Spiegelung zu beruhen. Die farblose Epidermis bildet die durchsichtige Schicht, die Chromatophorenzellen bilden den Beleg. Wo dieser fehlt, spiegeln auch die Epidermiszellen nicht. Mit dieser Spiegelung combinirt sich dann die Farbenzerstreuung wie bei dünnen Blättchen.

Die Anschauung Berthold's, dass die Epidermis die Bedeutung einer lichtzerstreuenden Schicht habe, kann ich nicht theilen. Sie entspricht dieser Annahme nur zum Theil in ihrem Verhalten, da gar nicht alle Zellen das Licht zurückwerfen. Um so mehr ist die zurückgeworfene Lichtmenge so minimal, dass die Einrichtung gar keinen Nutzen im Berthold'schen Sinne haben kann. Die Epidermis hat meiner Ansicht nach, wie aus den anatomischen Befunden auch einleuchten dürfte, eine mechanische Bedeutung. Sie hält die übrigen Gewebe zusammen, was ja hier offenbar besonders nothwendig erscheint, da die Chromatophorenzellen bei *Scinaja* gar keine zusammenhängende Gewebeschicht bilden. Ohne Epidermis wäre der Aufbau der Sprosse aus Fäden und ihrer gallertigen Zwischenmasse gar nicht möglich. Dass durch die quellbare Gallerte auf die Epidermis eine Spannung ausgeübt wird, geht daraus hervor, dass sich Querschnitte sehr oft in Schleifen zusammenrollen. Die Epidermis ist zu kurz für den Stengelumfang, und durch den Druck auf die Epidermis erlangt der Stengel erst seine Steifheit. Diese erscheint nicht überflüssig, denn *Scinaja* wächst keineswegs in großen Tiefen und auch an Orten, wo heftige Brandung vorhanden ist (Castello dell' Uovo in Neapel). Der anatomische Aufbau aus dem zarten

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Fadengeflecht würde allein keine widerstandsfähigen Stengel erzeugen. Ich sehe keinen Grund ein, diese Deutungen zu Gunsten von BERTHOLD's Ansicht zu unterlassen. Man sollte auch annehmen, dass, wenn die Epidermis zu starkes Licht reflectiren sollte, sich bei der in schwachem Licht cultivirten Alge die Inhaltsstoffe der Epidermiszellen verändern würden und die Lichtreflexion schwächer werden würde. Weder bei *Scinaja* noch bei *Chondriopsis* konnte ich aber nach wochenlanger Cultur bei gedämpftem Licht eine Abnahme der Erscheinung beobachten. Und doch erhielten die aus dem Freien an die Hinterwand eines Zimmers versetzten Pflanzen vielleicht nur $^1/_{10}$ der Lichtmenge wie draußen. Wäre BERTHOLD's Ansicht richtig, so sollte man erwarten, dass bei dieser ganz unzureichenden Beleuchtung die lichtzerstreuenden Massen verschwinden würden. Man sollte ferner annehmen, dass die Florideen, wenn sie ganz besonders für Lichtreflexion organisirt wären, gegen völlige Verdunkelung weniger empfindlich wären. Ich verdunkelte mehrere Pflanzen von *Sphaerococcus coronopifolius*, welche mit ihrem Substrat gesammelt wurden, 24 Stunden lang. Die in normalem Zustande carminrothen Sprosse hatten eine gelbrothe Farbe angenommen, ein Zeichen des Absterbens. Nach 48stündiger Verdunkelung waren in vielen Zellen die Chromatophoren desorganisirt und der Zellinhalt grün gefärbt. Gleichzeitig geerntete und im Licht auf dem Arbeitstisch cultivirte Pflanzen blieben gesund. Man kann sich nach solchen Erfahrungen schwer zu der Annahme entschließen, dass bei den Meeresalgen Alles darauf hinauslaufen sollte, das Licht zu schwächen.

Auch die irisirende Membran von *Valonia* soll nach BERTHOLD denselben Zweck erfüllen. Das Irisiren scheint mir bei *Valonia* auf die Farben dünner Blättchen zurückzuführen zu sein. Schnitte durch die Membran lassen eine Zusammensetzung aus zahlreichen unregelmäßig verlaufenden Schichten erkennen, deren Grenzen als dunkle Linien hervortreten. Die Menge des reflectirten Lichtes scheint mir aber auch hier so gering zu sein, dass sie im BERTHOLD'schen Sinne nicht in Betracht kommen dürfte. Legt man in einen Copirrahmen Positivpapier und beklebt eine Stelle des Glases mit einem Stück mit Seewasser befeuchteter Haut von *Valonia*, so ist die Schwärzung des Silberpapiers auch unter der Haut nicht schwächer. Das Hautstück erscheint dabei dem Auge ziemlich stark blau irisirend, wirft aber trotzdem sehr wenig Strahlen zurück.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

5. Farbstoffe der Meeresalgen.

Eben so wie über die Assimilationsproducte noch wenig durch Untersuchungen festgestellt werden konnte, sind wir auch noch über die Natur und Bedeutung der Farbstoffe wenig unterrichtet. Das Vorkommen zahlreicherer Chromatophorenfarbstoffe, als bei den übrigen Pflanzen erhöht hier die Schwierigkeiten, welche sich überhaupt derartigen Untersuchungen entgegenstellen.

Durch Kützing's Versuche (l. c. pag. 22) wurde zuerst sehr wahrscheinlich gemacht, dass die Florideen denselben Chlorophyllfarbstoff enthalten, wie Landpflanzen, und dass die grüne Farbe nur durch einen rothen Florideenfarbstoff dem Auge verdeckt wird. Weiter ist man auch heute noch nicht gekommen, wie sich am besten aus dem Citat von Kützing's Angaben ergiebt. Dieser sagt: »Digerirt man die mit Ammoniakflüssigkeit behandelten Tange mit absolutem Alkohol oder Äther, so färben sich diese grün und hinterlassen nach dem Verdampfen eine Substanz, welche sich ganz wie Chlorophyll verhält. Dieser Umstand brachte mich Anfangs auf den Gedanken, dass die rothe Farbe dieser Tange durch das Ammoniak eine Veränderung in Chlorophyll erleiden möchte. Doch überzeugte ich mich bald, dass diese Annahme ein Irrthum war. Wenn man nämlich diese rothen Tange noch vor der Behandlung (mit Ammoniak) mit Weingeist oder Äther längere Zeit digerirt, so liefern sie ebenfalls eine grüne Tinctur, die nach dem Verdampfen Chlorophyll hinterlässt. Daraus ergiebt sich, dass die rothgefärbten Tange zwei verschiedene Farbstoffe enthalten, nämlich Chlorophyll und ein eigenthümliches Roth, welches ich Phycoerythrin nenne.«

Außer dieser Methode, eine chlorophyllgrüne Lösung aus rothen Florideen zu gewinnen, wird zum Beweise des Chlorophyllgehaltes derselben auch angeführt, dass lebende rothe Florideensprosse beim Eintauchen in siedendes Wasser momentan grün werden. Man deutete diese Erscheinung so, dass der rothe Florideenfarbstoff bei dieser Manipulation aus den Zellen aus- und dadurch die grüne Farbe hervorträte. Ich habe die Erscheinung etwas näher untersucht und gefunden, dass die Sache sich ganz anders verhält. Die mehr oder weniger unrein grüne Farbe, welche Florideen bei dem obigen Verfahren annehmen, beruht nicht auf dem bloßen Hervortreten der Chlorophyllfarbe, sondern auf einer gleichzeitigen Veränderung des rothen Farbstoffes durch die Salze des Wassers beim Tödten der Pflanzen. Der rothe Farbstoff wird in einen blauen umgewandelt, der in

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Verbindung mit dem Chlorophyll eine unrein grüne Färbung zu Tage treten lässt. Es ist offenbar die alkalische Reaction der Salze maßgebend, was aus folgendem Versuche hervorgeht. Erhitzt man beliebige Florideenprosse in Wasser, welches ganz schwach mit Essigsäure oder Salzsäure angesäuert wurde, so findet keine Farbenänderung statt, die Sprosse bleiben roth. Aus dem oben erwähnten Versuch kann man also nicht auf den Chlorophyllgehalt schließen, da der rothe Farbstoff selbst durch seine Veränderung mit an der Ursache des Grünwerdens betheiligt ist.

Es schien mir nach dieser Sachlage nöthig, die Frage nach dem Chlorophyllgehalt der Florideen etwas methodischer anzugreifen. Isolirt wurde der Chlorophyllfarbstoff aus den Florideen bis heute noch nicht. In der 1888 erschienenen Arbeit von Schütt[1] über das Phycoerythrin heißt es: »Wir wissen noch nicht sicher, ob das Florideengrün überhaupt ganz identisch ist mit dem Chlorophyllfarbstoff der Phanerogamen, ja es steht noch nicht einmal fest, ob es ein einfacher Farbstoff ist, oder ob er analog dem alkoholischen Extracte der phanerogamen Blätter aus einem Gemisch eines grünen und eines gelben Farbstoffes besteht.«

Die letzte Frage ist nur für *Batrachospermum* von Reinke negativ beantwortet, der durch Ausschütteln des Alkoholchlorophylls von *B.* keine gelbe alkoholische Lösung erhielt (Pringsheim's Jahrb. 10. Bd. pag. 405). Nebelung dagegen gelangte bei *B.* zu einem positiven Resultat (Bot. Zeit. 1878 pag. 397).

Ich habe nach der von mir früher angewendeten Methode aus allen Florideen, die ich untersuchte, eine grüne Farbstoffmasse gewinnen können, welche sich durch meine Trennungsmethode in einen grünen und einen gelben Farbstoff trennen ließ, wie dies beim Chlorophyllfarbstoff der Phanerogamen der Fall ist. Besonders interessant ist, dass auch bei den dem Auge ganz weiß erscheinenden *Liagora*-Arten beide Farbstoffe in derselben Menge vorhanden sind, wie bei rein grünen Meeresalgen. In ihren Eigenschaften stimmen der grüne und gelbe Chlorophyllfarbstoff der Florideen so sehr mit denen aus den Phanerogamen darstellbaren überein, dass meine früher anderswo[2] über diese Farbstoffe gemachten Angaben auch bei den Florideen Geltung haben. Die leichte Krystallisationsfähigkeit des gelben Farbstoffes, seine Blaufärbung durch Schwefelsäure, sein Ausbleichen am Licht kehren hier eben so

[1] Ber. d. D. Bot. Ges. 1888 pag. 38 und 305.

[2] Die Farbstoffe des Chlorophylls. Darmstadt 1889. Die Farbstoffe der Blüthen und Früchte. Würzburg 1884.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

wieder, wie die bekannten charakteristischen Eigenschaften des grünen Farbstoffes.

Der gelbe Farbstoff, welcher keine Cholesterinreaction zeigte, wandelt sich offenbar im Lichte in Cholesterin um, da das Bleichproduct bei der Behandlung mit Schwefelsäure und Chloroform sich als Cholesterin zu erkennen giebt.

Nach diesen Thatsachen müssen uns die braunen und rothen Nebenpigmente bei den Meeresalgen noch mehr interessiren als die Chlorophyllfarbstoffe, da über jene noch viel weniger bekannt ist. Über Kützing und Rosanoff ist man nicht hinausgekommen. Schütt hat zwar in neuerer Zeit den Versuch gemacht, unsere Kenntnisse über das sogenannte Phycoerythrin zu fördern, aber ohne bemerkenswerthen Erfolg. Dazu ist Schütt's Darstellungsmethode des rothen Farbstoffes doch auch gar zu primitiv.

Die Darstellung des sog. Phycoerythrins geschah von Schütt durch Ausziehen einer Quantität Florideensprosse, besonders von *Ceramium*, mit Wasser. Dabei wurde das Material in offenen Gefäßen wochenlang, z. B. vom 3. December bis 6. Januar (l. c. pag. 308) macerirt. Es leuchtet ohne Weiteres ein, dass außer dem Farbstoffe eine Menge Salze neben den organischen Substanzen bei einer so lang dauernden Behandlung mit Wasser in Lösung gehen. Aber es versteht sich auch fast von selbst, dass der Farbstoff sich in so langer Zeit verändern muss. Ich habe in früheren Mittheilungen (Farbstoffe der Blüthen und Früchte) nachgewiesen, dass die rothen Farbstoffe sich schon durch Einwirkung mancher Salze verändern. Wie mir scheint, haben die Farbstoffuntersuchungen neuerer Zeit, mögen sie nun vollkommener oder unvollkommener ausgefallen sein, das Resultat ergeben, dass es sich um sehr schwierige Untersuchungen handelt. Es fehlt desshalb noch an vollkommenen Trennungsmethoden, aber ich glaube, man sollte doch den Versuchen den Vorzug geben, die sich einigermaßen bewährt haben. Die von mir zur Trennung der Chlorophyllfarbstoffe angegebene Methode hat sich in so fern als gut erwiesen, als es Zopf gelang, durch ihre einfache Übertragung auf die Pilzfarbstoffe hier zuerst brauchbare Resultate zu erlangen. Es scheint mir geboten, auf ähnlichen Wegen weiter zu gehen und wirkliche Methoden zu suchen.

Wenn Schütt sagt (l. c. pag. 312), so lange man den Farbstoff der Florideen nicht chemisch rein darstellen könne, müsse man sich auf die optische Charakterisirung beschränken, so hat er damit die eigentliche Aufgabe umgangen, denn es sind bisher überhaupt gar

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

keine Versuche gemacht worden, das »Phycoerythrin« darzustellen, so dass man von einem Nichtkönnen bisher nicht sprechen darf. Es ist aber ein weiterer Irrthum zu glauben, für spectroskopische Untersuchungen könne man sich mit ganz unreinen Substanzen begnügen.

Man kann mit den langen Zahlentabellen über die Spectra verschiedener ganz unreiner Lösungen des sog. Phycoerythrins wissenschaftlich nichts anfangen. Wenigstens ist es mir nicht gelungen herauszufinden, dass unsere Kenntnisse der chemischen Zusammensetzung oder der Bedeutung des Florideenfarbstoffs durch die Zahlentabellen irgend etwas gewonnen haben. Diese Untersuchungen bestätigen nur im Allgemeinen die früheren spectroskopischen Angaben Rosanoff's und widerlegen die Ansicht Pringsheim's, dass das Spectrum des Florideenroths Chlorophyllstreifen enthalte, eine Ansicht, die durch Pringsheim's Beobachtung unreiner Lösungen entstand.

Schütt sagt (l. c. pag. 322): »Wir haben jetzt drei optisch gut charakterisirte Verbindungen studirt:

1) α-Phycoerythrin, ist blauroth, durch Wasser aus den Pflanzen direct extrahirbar,

2) β-Phycoerythrin, ist rosaroth, aus ersterem durch Einwirkung indifferenter Reagentien, wie Alkohol, Chlorbaryum entstehend,

3) γ-Phycoerythrin, violettblau, durch Säuren ausfällbar.«

Nach meinen Untersuchungen giebt es keine verschiedenen Modificationen des Florideenroths, welches denn auch nicht violett- oder blauroth ist. Die violetten Farben kommen nur durch Einwirkung von Salzen oder Alkalien auf den rein carminrothen Farbstoff zu Stande. Die α-, β-, γ-Phycoerythrine sind nur verschiedene Stadien der Umänderung des Farbstoffes, abgesehen von den zahlreichen unbekannten Verunreinigungen, welche den Lösungen von Schütt beigemengt waren.

Ich halte es daher auch für ganz unzulässig, diese Lösungen Phycoerythrin zu nennen, weil dadurch der Anschein entsteht, als ob man es mit einem chemisch gut charakterisirten Körper zu thun habe. Eine solche Bezeichnung ist eben so unrichtig, als wenn man einen Kaffeeabsud Coffeïn nennen wollte.

Da Schütt gar keine reine Farbstofflösung in Händen hatte, so müssen seine Beobachtungen auch meistens ganz anders gedeutet werden, als von ihm geschehen. Wenn er angiebt, der rothe Farbstoff werde durch Licht, Luft und Wärme entfärbt, so ist dabei die Beimengung von Verunreinigungen ganz bei Seite gelassen. Erhitzt man die unreine, salzhaltige Farbstofflösung schnell, so wird

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

der Farbstoff nicht durch die Wärme zerstört, wie SCHÜTT pag. 309 angiebt, sondern durch die Beimengungen in der Lösung. Eben so kann die Wirkung des Alkohols auf eine unreine Lösung nichts lehren, und am bedenklichsten erscheinen die chemischen Reactionen, welche mit den sog. Phycoerythrinen angestellt wurden. Wie SCHÜTT Chlorbaryum ein indifferentes Reagens nennen kann, muss jedem Chemiker unverständlich sein. Die auf die oben angegebene Weise gewonnenen Phycoerythrinlösungen werden von SCHÜTT mit Barythydrat und Kalkwasser versetzt (pag. 320):

»Barythydratlösung zur Phycoerythrinlösung gesetzt entfärbt dieselbe vollkommen. Es bildet sich ein farbloser Niederschlag, welcher, auf einem Filter gesammelt, mit Salzsäure blauroth wird, während die Lösung durch Säure nicht verändert wird.

Kalkwasser fällt in gleicher Weise einen sehr schwach gefärbten bräunlich-gelben Niederschlag aus, der durch Säure roth wird, während die Flüssigkeit durch Säure nicht verändert (?) wird.

Das Phycoerythrin wird hiernach von Alkalien und alkalischen Erden als mehr oder minder farblose Verbindung gefällt.«

SCHÜTT lässt bei seinen chemischen Untersuchungen vollständig außer Acht, dass die durch wochenlange Maceration von Florideen gewonnene Phycoerythrinlösung Phosphate und Carbonate in Menge enthält, und dass mit Baryt- und Kalkwasser Niederschläge entstehen, die keineswegs Phycoerythrinverbindungen, sondern gewöhnlicher phosphorsaurer und kohlensaurer Kalk oder Baryt sind. Die Rothfärbung dieser Niederschläge durch Säuren ist ganz erklärlich, da es bekannt ist, dass solche Niederschläge gleichzeitig in Lösung befindliche Farbstoffe mit sich reißen.

Um nun zu meinen eigenen vorläufigen Untersuchungen überzugehen, so habe ich mich davon überzeugt, dass die Darstellung des Florideenroths auf ganz besondere Schwierigkeiten stößt, und es ist mir nicht gelungen, den Farbstoff auch nur in etwas reinerer Form zu gewinnen. Um so mehr glaube ich, ist die Mittheilung dieser Resultate angezeigt, damit endlich die immer wieder auftauchenden Farbstoffuntersuchungen nach berühmten Mustern aufhören.

Wenn man weiß, dass in den Florideen drei Farbstoffe (grüner und gelber Chlorophyllfarbstoff und Florideenroth) vorkommen, von denen zwei in Alkohol löslich, der dritte in Alkohol unlöslich und in Wasser löslich ist, so scheint ihre Trennung leicht zu sein. Sie wird aber illusorisch, da noch andere bisher übersehene Verhältnisse vorhanden

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

sind: wenn man Florideen mit destillirtem Wasser extrahirt, so erhält man nicht, wie bisher geglaubt wurde, eine rothe reine Farbstofflösung, sondern der Farbstoff wird wahrscheinlich als eine Eiweißverbindung extrahirt.

Die Angabe, dass das Florideenroth leicht in Wasser übergehe, ist nicht allgemein richtig. *Phyllophora nervosa*, *Halymenia monardiana* und andere geben den rothen Farbstoff auch nach tagelangem Maceriren mit Wasser nicht ab. Leicht wird der Farbstoff aus *Dudresnaya purpurifera* von Wasser aufgenommen. Man erhält eine schön carminrothe Lösung, die prächtig ziegelroth fluorescirt. Der rothe Florideenfarbstoff stimmt mit dem Chlorophyllgrün darin überein, dass er nur in Lösung fluorescirt, nicht so lange er an die lebendigen Chromatophoren gebunden ist.

Aus der Lösung suchte ich den Farbstoff in fester Form zu gewinnen. Dass einfaches Eindampfen auf dem Wasserbade auf Schwierigkeiten stößt, konnte man sich sagen. Da Florideensprosse beim Eintauchen in heißes Wasser grün werden, so war auch eine Veränderung der Lösung bei Gegenwart von Salzen vorauszusehen, wenn sie erhitzt wurde. Ich suchte desshalb den Farbstoff durch Eindampfen der Lösung bei niederer Temperatur zu gewinnen, ein Verfahren, welches ich auch zur Gewinnung anderer veränderlicher Substanzen empfehlen möchte. Ich dampfte die Lösung auf flachen Tellern in dünner Schicht bei 35—40° ein. Dies ging ziemlich schnell vor sich, und was die Hauptsache war, der Farbstoff behielt seine Farbe. Er ließ sich in Form spröder Blättchen von den Tellern lösen. Allein beim Versuch, den festen Farbstoff wieder in Wasser aufzulösen, ergab sich, dass er vollständig unlöslich geworden war. Wie meine Vorgänger könnte ich hier wohl auch von einer »Modification« des Farbstoffes sprechen, was das Bequemste wäre. Ich erkläre mir das Unlöslichwerden des Farbstoffes bei 40° jedoch dadurch, dass wahrscheinlich die Annahme, man extrahire mit Wasser einen reinen Farbstoff, unrichtig ist. Mir scheint aus meinen Beobachtungen hervorzugehen, dass der Farbstoff in Form einer Eiweißverbindung in den Chromatophoren vorhanden ist und als solche ausgezogen wird. Für die Richtigkeit dieser Ansicht sprechen noch andere Ergebnisse. Bei den Löslichkeitsverhältnissen der Florideenfarbstoffe schien mir Anfangs der Weg für eine Trennungsmethode gegeben. Ich entfernte durch Extrahiren mit Alkohol die Chlorophyllfarbstoffe vollständig und glaubte aus dem so gereinigten Material nun den rothen Farbstoff mit Wasser aus-

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

ziehen zu können. Es ging aber keine Spur Farbstoff mehr in Lösung. Die Einwirkung des Alkohols musste also die noch normal roth erscheinenden Chromatophoren doch verändert und den Farbstoff in Wasser unlöslich gemacht haben. Ich kann mir dies nur so erklären, dass die in Wasser lösliche Eiweißverbindung des rothen Farbstoffs durch Alkohol gerinnt und unlöslich wird. Der Eiweißgehalt der rothen Lösung scheint mir auch daraus hervorzugehen, dass mit Ferrocyankalium und Essigsäure in der Kälte ein starker weißer Niederschlag entsteht.

Die bisherige Auffassung, als ob das Florideenroth als reiner Farbstoff, der in Wasser gelöst wäre, die Chromatophoren durchtränke, scheint mir irrig zu sein. Wie die Chlorophyllfarbstoffe mit fett- oder wachsartigen Substanzen verbunden sind, so ist wahrscheinlich das Florideenroth die Eiweißverbindung eines Farbstoffes, ähnlich dem Hämoglobin. Vielleicht sind die Verhältnisse beim braunen Phaeophyceenfarbstoff und beim Cyanophyceenfarbstoff analog.

Bryopsis disticha.

Der rothe Farbstoff, welchen die Florideen in so reichlicher Menge produciren, dass er ihnen einen so auffallenden Charakter verleiht, ist nicht auf diese Abtheilung der Meeresalgen allein beschränkt. Auch manche Chlorophyceen enthalten kleine Mengen rothen Farbstoffes. Lässt man *Bryopsis* auf Papier eintrocknen, so umgiebt sich jede Fieder mit einem schwach röthlichen oder violetten Hof. Ein in Wasser löslicher Farbstoff tritt aus den absterbenden Zellen aus und färbt die Faser des Papiers. Trotzdem unter dem Mikroskop die Chromatophoren der genannten Alge rein grün aussehen und der übrige Zellinhalt farblos ist, erscheinen die Rasen von *Bryopsis* dem bloßen Auge doch in einer Nüance von Grün, welche von der Farbe einer Chlorophylllösung erheblich abweicht. Die Menge des die Chlorophyllfarbe beeinflussenden rothen Farbstoffes ist aber zu gering, um den Unterschied sehr auffallend zu machen. Auffallend ist hingegen der Farbenwechsel, wenn man die Pflanzen in Alkohol legt. Sie nehmen schon nach einigen Minuten eine schön rein grüne Farbe an. Dies ist dadurch bedingt, dass der in Alkohol unlösliche rothe Farbstoff unlöslich gemacht und ausgefällt wird. Die mikroskopische Beobachtung ergiebt, dass Anfangs durch den Zutritt des Alkohols der rothe Farbstoff sich zu kleinen ungeformten und halbflüssigen Massen zusammenballt. Nachdem die Pflanzen beim längeren Verweilen in

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Alkohol völlig entfärbt sind, lässt sich beobachten, dass der Farbstoff in rothen kleinen Krystallaggregaten oder rhombischen Täfelchen ausgeschieden worden ist. Entfernt man die geringe Menge des rothen Farbstoffes durch Auskochen mit Wasser, so findet ebenfalls ein Übergang der unreinen grünen Farbe in reines Grün statt. So gering diese Menge des rothen Farbstoffes ist, so scheint ein Nachweis in so fern von Interesse, als daraus eine gewisse Übereinstimmung des Stoffwechsels der grünen Meeressiphoneen mit den Florideen erhellt. Für phylogenetische Untersuchungen ist ebenfalls das Vorkommen des rothen Farbstoffes bei den grünen Siphoneen von Interesse.

Taonia atomaria und *Dictyota dichotoma.*

Auch bei diesen beiden braunen Algen des Golfes von Neapel tritt beim Trocknen auf Papier ein rother Farbstoff auf, welcher das reine Carmoisin des Florideenroths besitzt. Übergießt man in einer weißen Porzellanschale Sprosse von *T.* mit destillirtem oder gewöhnlichem Wasser, so beginnt sehr bald die Extraction des rothen wasserlöslichen Farbstoffes; man erhält eine deutlich florideenrothe Lösung, und dies beweist, dass, wenn die Menge dieses Farbstoffes auch gegenüber den anderen Farbstoffen gering ist, doch relativ mehr rother Florideenfarbstoff neben dem Chlorophyll und dem Phaeophyceenbraun vorhanden ist, als bei den grünen Siphoneen. Bei den Dictyoteen dürfte ebenfalls das Auffinden von Florideenroth phylogenetisches Interesse besitzen.

Eine auffallende Erscheinung bleibt es immer, dass wenn man Phaeophyceensprosse in siedendes Wasser taucht, dieselben momentan grün erscheinen. Dass hier keine Zerlegung des braunen Farbstoffes eintritt, geht daraus hervor, dass derselbe nach einiger Zeit unverändert in das Wasser diffundirt, wobei eine Reactionsänderung (Säurebildung) nicht zu constatiren ist. Beim Eintauchen eines Sprosses in heißes Wasser verändert sich die Farbe so schnell, dass man ein Herausdiffundiren des Phaeophyceenbrauns nicht annehmen kann. Man darf die Erscheinung wohl nur so auffassen, dass die Trennung der Farbstoffe von einander in der Zelle schon genügt, um die reine grüne Farbe des Chlorophylls hervortreten zu lassen, wie dies ja auch bei *Bryopsis* durch Alkoholbehandlung eintritt.

Noll hat außer den hier behandelten Farbstoffen noch das Vorkommen eines intensiv blaurothen bei den Florideen angegeben[1], wodurch die Verhältnisse sich noch compliciren würden. Nach meinen

[1] Flora 1893 pag. 29.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Beobachtungen ist in den lebenden Chromatophoren der Florideen kein blauer oder blaurother Farbstoff vorhanden. Das von Noll beobachtete Auftreten eines solchen beruht auf Veränderung des Florideenrothes durch die Salze des Zellinhaltes und des Meerwassers beim Absterben der Zellen, tritt aber nicht einmal immer ein, wenn die Zellen getödtet werden. Die Anwendung einer Permanganatlösung zur Demonstration der Auslöschung des Chlorophyllgrüns, wie Noll vorschlägt, entspricht daher auch nicht ganz den natürlichen Verhältnissen, besonders da bei Noll's Demonstrationsversuch die Farbe der grünen Flasche die violette Lösung umgiebt, während, wie unten erörtert wird, in den Chromatophoren wohl umgekehrt das Florideenroth den Mantel bildet. Ich demonstrire die vollständige Auslöschung des Chlorophyllgrüns der Florideen durch das Florideenroth immer in folgender Weise. Zwei Bechergläser, welche so in einander passen, dass der Rand des kleineren dem des größeren Glases aufliegt und die Wände beider einen mantelförmigen Zwischenraum lassen, werden in einander gestellt. In das äußere Glas kommt eine dünne alkoholische Fuchsinlösung, die dem Roth der meisten Florideen entspricht. In das innere kann man entweder eine alkoholische Chlorophylllösung geben, oder noch besser füllt man es mit Wasser und bringt einige frische grüne Blätter hinein. Durch die verdünnte Fuchsinlösung hindurch erscheinen die grünen Blätter rein roth, das Chlorophyllgrün ist vollständig ausgelöscht. Nimmt man eine sehr dünne Fuchsinlösung, so erscheint die eigenthümliche durch das Grün beeinflusste Nüance des Roths, wie man sie zuweilen bei den Chromatophoren der Florideen beobachtet. Zur Demonstration der analogen Erscheinung bei den Phaeophyceen wird in das äußere Becherglas eine Jodlösung oder brauner Pezizenfarbstoff in alkoholischer Lösung eingefüllt.

Wie sind die Farbstoffe in den Chromatophoren vertheilt?

Durch die Untersuchungen von Pringsheim, Schimper, Schmidt und A. Meyer ist diese Frage im Allgemeinen bedeutend gefördert worden. Die Entdeckung, dass die Chlorophyllkörner keine soliden Körner sind, sondern Vacuolen enthalten, legt die Annahme nahe, dass der Farbstoff in diesen Vacuolen abgelagert ist, während das Gerüst der Chromatophoren farblos ist. Diese Ansicht wird durch Beobachtungen von Schimper und Meyer gestützt, welcher Letztere die Farbstoffeinlagerungen als Grana bezeichnete. Diese rein morphologische

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Bezeichnung erscheint, nachdem nachgewiesen worden ist, dass die Farbstoffe in Verbindung mit wachsähnlichen Substanzen als weiche, plastische Masse in den Chromatophoren vorhanden sind[1], nicht ganz zweckmäßig, da man unter einem Granum eher ein hartes Korn verstehen wird.

Auch bei den Phaeophyceen und Florideen ist meiner Ansicht nach die grüne Farbstoffmasse in den Vacuolen der Chromatophoren untergebracht. Es fragt sich aber um so mehr, wie man sich die gleichzeitige Einlagerung der braunen und rothen Nebenpigmente zu denken habe. Eine Vorstellung darüber ist um so weniger unmittelbar gegeben, als es sich um zwei Farbstoffgruppen von ganz verschiedenen Eigenschaften handelt. Die grüne Farbstoffmasse ist in Wasser unlöslich und löslich in Alkohol, die Nebenpigmente verhalten sich gerade umgekehrt. Die einen sind Verbindungen mit Fettsäureestern, die anderen Eiweißverbindungen. Daraus ergiebt sich die große Unwahrscheinlichkeit, dass die Chlorophyllfarbstoffe mit den Nebenpigmenten einfach vermischt seien.

Schon Kützing suchte sich über diesen Punkt klar zu werden, doch ist seine Ansicht irrthümlich. Kützing sagt l. c. pag. 23: »Das Chlorophyll ist bei den Heterocarpen, wie bei anderen Pflanzen an Zellenkügelchen gebunden; im Leben und wenn die Tange noch ihre rothe Farbe besitzen, erscheinen jedoch die Zellenkügelchen roth, nicht grün gefärbt. Sie erscheinen aber grün, wenn aus den Zellen der rothe Farbstoff ausgeflossen ist. Der letztere scheint daher als aufgelöste Flüssigkeit in den Zellen enthalten und eben so wenig an die Zellenkügelchen als an die Zellen selbst gebunden zu sein. Die grünen Chlorophyllkügelchen sind von ihr umgeben, weil aber das Roth überwiegt, so wird nicht nur die Farbe des Chlorophylls vollständig aufgehoben, sondern die Kügelchen selbst sind noch scheinbar roth gefärbt, weil sie in der rothen Flüssigkeit liegen. Fließt die rothe Flüssigkeit aus, so kommt auch die grüne Farbe der Kügelchen zum Vorschein.«

Diese Ansicht Kützing's ist, wie gesagt, nicht richtig. Der rothe Farbstoff der Florideen und der braune der Phaeophyceen sind immer an Chromatophoren gebunden. Der Anschein, als ob die Zelle eine rothe Lösung enthält, kann dadurch entstehen, dass die Chromatophoren vielfach flächenförmig sind und nur sehr zarte Contouren zeigen.

---

[1] Hansen, Die Farbstoffe des Chlorophylls. Darmstadt 1889.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Alle Farbstoffe sind in das Chromatophor eingelagert und vertheilen sich offenbar in ganz eigenthümlicher Weise darin. Die grüne Farbstoffmasse erfüllt die Vacuolen, die Nebenpigmente nehmen als Eiweißverbindungen an der Bildung des Gerüstes der Chromatophoren Theil. Mit anderen Worten, wir haben ein roth- oder braun gefärbtes Gerüst, dessen Hohlräume die grüne Farbstoffmasse erfüllt, wie bei den übrigen Chlorophyllpflanzen.

Schon aus den chemischen Verhältnissen der Farbstoffe der nicht grünen Meeresalgen scheint mir hervorzugehen, dass die Annahme, als ob sämmtliche Farbstoffe mit einander gemengt seien und dies Gemenge in die Chromatophoren eingelagert sei, unwahrscheinlich ist. Es ist unwahrscheinlich, dass in Alkohol lösliche, in Wasser unlösliche Fettfarbstoffe sich so innig mit den Eiweißverbindungen der Nebenpigmente mischen sollten, dass die Chromatophoren so rein roth oder braun erscheinen, wie dies der Fall ist. Wären die Farbstoffe nicht in den Chromatophoren getrennt, sondern vermischt, so würden die Florideen eine ganz andere Farbe haben.

Auch die von manchen Autoren geäußerte Ansicht, dass die Chromatophorenfarbstoffe erst bei den Darstellungsversuchen entständen und dass dabei einheitliche Chromophylle in zahlreiche Farbstoffe aus einander fielen, kann ich nicht theilen. Hiergegen sprechen ebenfalls die chemischen Eigenschaften der Farbstoffe. Namentlich spricht gegen die Ansicht, dass die aus Meeresalgen darstellbaren Farbstoffe Spaltungsproducte seien, die Thatsache, dass in einigen Fällen eine Trennung auch ohne die Anwendung von Reagentien gelingt. Zellen mancher Florideen, z. B. von *Liagora* (Fig. 23), kann man durch mechanischen Druck zum Absterben bringen. Das zeigt sich an einer Deformation des Zelliuhaltes. Dabei treten auch die Farbstoffe der Chromatophoren aus einander, indem der rothe Farbstoff sich immer in Form von rein carmoisinrothen Krystallen (oder vielleicht, wegen ihrer Eiweißnatur besser gesagt, Krystalloiden) ausscheidet, während die eigentlichen Chlorophyllfarbstoffe den Zellinhalt diffus grün färben (Fig. 24). Es ist nicht anzunehmen, dass durch bloßen Druck ein einheitlicher Farbstoff sich in dieser Weise in Componenten spalten sollte. Die schon vorher getrennt im Chromatophor vorhandenen Farbstoffe treten einfach ganz aus einander.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Bedeutung der Algenfarbstoffe.

Eine der auffallendsten Thatsachen, welche wir bei den meerbewohnenden Algen antreffen, ist offenbar die größere Anzahl von Farbstoffen im Vergleich zu den übrigen Pflanzen. Wir finden nicht andere, sondern mehr Farbstoffe. ENGELMANN, welcher nach der Bedeutung dieser Verschiedenheit zwischen Meeresalgen und anderen Pflanzen fragte, fasst die verschiedenen Farbstoffe als etwas Zusammengehöriges auf, nennt sie Chromophylle und bezeichnet sie insgesammt als Bedingung der Ernährung, als einen Ersatz des Chlorophylls der übrigen Pflanzen.

Nach den oben erörterten Resultaten der Farbstofftrennung bei den Meeresalgen kann kein Zweifel mehr darüber obwalten, dass sie dieselben Chlorophyllfarbstoffe enthalten, wie andere grüne Pflanzen. Es ist also auch bei ihnen die Vorbedingung der Ernährung gewöhnliches Chlorophyll, und von einem Ersatz dieses durch Chromophyll kann nicht die Rede sein.

Um so mehr ist es angezeigt, die Frage nach der physiologischen Bedeutung der Nebenpigmente von Neuem aufzuwerfen. Denn die von anderen Botanikern angenommene Beziehung der Nebenpigmente zum Lichte, welche auf Grund der Absorptionsspectren angenommen wurde, läuft ja auch nur auf eine Verbindung mit dem Assimilationsprocesse hinaus. Das einseitige Hervorheben der Beziehung der Nebenpigmente zum Lichte ist allein durch die bequemen aber unfruchtbaren spectroskopischen Untersuchungen hervorgerufen worden.

Ich möchte hier einen ganz anderen Gedanken aussprechen, nämlich, dass die Farbstoffe zwar zum Gaswechsel der Meeresalgen, aber zur Athmung in Beziehung stehen, dass sie die Bedeutung besitzen, den Sauerstoff anzuziehen, also als Athmungspigmente zu bezeichnen wären. Wenn damit die Meeresalgen allen anderen Pflanzen gegenüber eine andere Organisation, eine größere Vollkommenheit, wenn man will, aufzuweisen scheinen, so steht damit in Einklang, dass auch ihre Lebensbedingungen ganz einzig in ihrer Art sind. Was die Möglichkeit der Aufnahme des Sauerstoffs betrifft, so wächst nur eine kleine Anzahl der Meeresalgen so, dass sie mit der Atmosphäre in genügender Berührung sind. Diese Formen sind aber auch meist Chlorophyceen, sie entbehren wegen ihres günstigen Standortes besonderer Athmungspigmente. Die untergetauchten Formen haben nur gelösten Sauerstoff zur Verfügung, und da man annehmen muss, dass in der Lösung die Sauerstoffmolecüle weniger beweglich

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

sind, als in dem Gasgemenge der atmosphärischen Luft, so muss man schließen, dass auch bei den Meeresalgen besondere Eigenschaften vorhanden sind, um diese gegebenen Verhältnisse auszugleichen und sie in den Stand zu setzen, den Athmungssauerstoff an sich zu reißen. Bei der Ausrüstung der Land- und Süßwasserpflanzen mit Spaltöffnungen und einem ausgebildeten Intercellularsystem oder besonderem Aërenchym ist von vorn herein die Möglichkeit einer geeigneten Sauerstoffzufuhr gegeben, und sie bereitet der Vorstellung keine größere Schwierigkeit. Bei den Meeresalgen ist das Alles anders. Ihre vielfach ohne Intercellularräume verbundenen Gewebezellen schließen eine Luftcirculation aus. Sind Zwischenzellräume vorhanden, so sind dieselben meist mit Schleim erfüllt. Spaltöffnungen oder andere Öffnungen sind an der Oberfläche nicht vorhanden. Vielmehr bildet diese durch die Form der Gewebe einen festen Abschluss nach außen. Dass aber der Sauerstoff ohne Weiteres durch Diffusion in die Gewebe eintreten sollte, ist wegen der gallertartigen, quellbaren Beschaffenheit derselben sehr unwahrscheinlich. Daher ist die Ansicht, dass zur Aufnahme des Sauerstoffs besondere Einrichtungen (Anziehungsstoffe) bei den Meeresalgen vorhanden seien, eigentlich eine Forderung. Besonders auch desshalb, weil die Bedingungen der Umgebung vielfach so sind, dass sie wegen der Concurrenz im Sauerstoffbedarf den Meeresalgen die Athmung erschweren müssen. Wer Meeresalgen an ihren Standorten beobachtet hat, weiß, dass diese Orte Stätten ganz besonders ausgiebiger Fäulnisprocesse sind. Bacterienmassen treiben an den Standorten der Meeresalgen ihr Wesen und absorbiren den Sauerstoff, so dass diese ohne besondere Athmungspigmente wohl unter Umständen an Sauerstoffmangel leiden können. Dass der Florideenfarbstoff mit der Assimilation nichts zu thun hat, scheint mir daraus hervorzugehen, dass die Menge dieses Farbstoffes mit dem Standort sehr wechselt. Manche Florideen z. B. *Gigartina Tedei* ist fast ganz grün und hat nur einige rothe Spitzen. Trotzdem wächst sie und assimilirt. Dazu ist also der rothe Farbstoff keineswegs nöthig. Solche grün werdenden Florideen wachsen aber immer nahe der Oberfläche, wo sie also den nöthigen Sauerstoff leichter gewinnen können, und erst mit der größeren Tiefe sehen wir immer mehr das Auftreten des rothen Athmungsfarbstoffes Hand in Hand gehen. Es scheinen mir also alle Verhältnisse mit der Ansicht, dass die Nebenpigmente bei den Florideen, Phaeophyceen und auch bei den Cyanophyceen, welche meist wegen ihrer Schleimhüllen auch der Luftdiffusion Schwierigkeiten entgegensetzen, Athmungspigmente seien,

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

welche den Sauerstoff an sich reißen, um ihn an die Gewebe abzugeben, sich besser zu vertragen als mit der durch nichts gestützten Annahme, dass die Farbstoffe mit der Assimilation zusammenhängen.

Erklärung der Abbildungen
auf Tafel 12.

Dictyota dichotoma.

Fig. 1. Querschnitt durch einen Spross.
Fig. 2. Durchschnitt durch einen Spross parallel zur Längsachse.
Fig. 3. Ansicht eines Sprosses von oben. Die Einstellung ist so gewählt, dass die großen Zellen des Speichergewebes mit ihren Fetttropfengruppen durch das Assimilationsgewebe durchscheinen.
Fig. 4. Emulgirung und Auswanderung der Fettmassen.
Fig. 5. Einwanderung des Fettes und Bildung der Tropfen.

Taonia atomaria.

Fig. 6. Durchschnitt durch einen Spross parallel der Längsachse.
Fig. 7. Ansicht eines Sprosses von oben. Assimilationsgewebe mit Fetttropfen.
Fig. 8. Eine Zelle des Speichergewebes mit ihrer centralen aus Tropfen zusammengesetzten Fettkugel. Unten mehrere mit ihr verbundene Assimilationszellen mit Chromatophoren und Fetttropfen.
Fig. 9. *a* und *b* Emulgirung und Auswanderung des Fettes.

Asperococcus compressus.

Fig. 10. *a* Paraphysen mit Fetttropfen, *b* Paraphysen nach Behandlung mit Äther, wobei die in der Fettmasse verborgenen Chromatophoren zum Vorschein kommen, *c* Osmiumsäurereaction in den Paraphysen, *d* Chromatophoren mit kleinen Fetttröpfchen.

Chondriopsis coerulescens.

Fig. 11. *a*, *b*, *c* Zellen mit lichtbrechenden Massen, *d* Chromatophoren mit peripherischen Ausscheidungen, *e* Zelle des inneren Gewebes mit dem netzförmigen Protoplasmabeleg eingelagerter Chromatophoren.

Gracilaria dura.

Fig. 12. *a* Zelle des Speichergewebes mit zahllosen Körnern, *b* einzelne Körner bei starker Vergrößerung.
Fig. 13. Reaction der Zwischenzellmasse mit Jod-Jodkalium.

Laurencia obtusa.

Fig. 14. *a* Oberflächenzellen mit Tropfengruppen, *b* eine Gruppe dieser Tropfen, *c* Zelle des inneren Gewebes mit Inhaltskörper, *d* Inhaltskörper in verschiedenen Lagen, *e* Zellen mit dem an seinem Protoplasmanetz aufgehängten Inhaltskörper. Die Chromatophoren sind weggelassen. *f* Inhaltskörper mit Äther behandelt, *g* Beginn der Ausscheidung des Körpers in jungen Haaren.

© Biodiversity Heritage Library, http://www.biodiversitylibrary.org/; www.zobodat.at

Halymenia monardiana.

Fig. 15. Zellen mit Jod-Jodkalium behandelt. Krystalle der braunen Substanz.

Scinaja furcellata.

Fig. 16. Querschnitt durch einen Spross.
Fig. 17 und 18. Querschnitte durch die Epidermis und das Assimilationsgewebe.
Fig. 19. Epidermis von oben.
Fig. 20. Epidermis und Chromatophorenzellen.
Fig. 21. Chromatophorenzellen mit flächenförmigen Chromatophoren, an deren Unterseite Tropfen ausgeschieden werden.
Fig. 22. Der isolirte centrale Fadenstrang mit seinen nach der Peripherie ausstrahlenden Verzweigungen.

Liagora distenta.

Fig. 23. Zellen mit Chromatophoren.
Fig. 24. Zellen durch Druck getödtet, wobei die Farbstoffe getrennt werden.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Mittheilungen aus der Zoologischen Station zu Neapel

Jahr/Year: 1895

Band/Volume: 11

Autor(en)/Author(s): Hansen A.

Artikel/Article: Über Stoffbildung bei den Meeresalgen 255-305