

Über die sogenannten Gasvakuolen und die differenten Spitzenzellen der Cyanophyceen, sowie über Schnellfärbung.

Von F. Brand.

1. Die sogenannten Gasvakuolen.

Nachdem seit dem Auftauchen der Gasvakuolen-Hypothese nunmehr ein Dezennium verflossen ist, möge es gestattet sein, einen kurzen Überblick über den gegenwärtigen Stand dieser Frage zu geben und daran einige eigene Bemerkungen zu knüpfen.

Die fragliche Hypothese wurde bekanntlich anfangs scheinbar mit überraschender Bereitwilligkeit von der botanischen Welt aufgenommen.

Cyanophyceen, welche mit einer gewissen Regelmäßigkeit kleine rote Inhaltsbestandteile aufweisen, sind schon seit einer Reihe von Jahren in hiesiger Gegend nicht mehr in der für eingehende Untersuchungen nötigen Menge aufgetreten. Ich vermute, daß ähnliche Verhältnisse auch diesen oder jenen anderen Algologen abgehalten haben, den Klebahnschen Publikationen eine kritische Betrachtung zu widmen und eine Kontroverse zu riskieren, zu welcher das nötige Untersuchungs- und Beweismaterial oft nur schwer oder gar nicht zu beschaffen ist. Ich glaubte deshalb lediglich der Anschauung einer größeren Anzahl von Botanikern Ausdruck zu geben, als ich mich im Jahre 1901 zu einer kurzen Kritik¹⁾ dieser Hypothese entschloß.

Diese Notiz fußte teils auf Klebahns Experimenten, teils auf einigen eigenen Beobachtungen und wies darauf hin, daß die rötlichen Gebilde in der Cyanophyceenzelle kein Gas enthalten können, weil sie im Vakuum persistieren, und daß sie auch das Schweben dieser Algen nicht zu bedingen scheinen.

Die erste größere Arbeit gegen die Gashypothese erschien erst nach zwei weiteren Jahren. Molisch²⁾ bestätigte darin Klebahns An-

¹⁾ Brand, F. Bemerkungen über Grenzzellen und über spontan rote Inhaltskörper der Cyanophyceen. Ber. d. Bot. Ges. 19. 1901, p. 155—158.

²⁾ Molisch, H. Die sogenannten Gasvakuolen und das Schweben gewisser Phycochromaceen. Botan. Zeit. 61. 1903. p. 47 u. ff.

gabe, daß die roten Körper der Wirkung der Luftpumpe widerstehen, äußert seine Verwunderung darüber, daß die Autoren der erwähnten Hypothese durch dieses Ergebnis in ihrer Ansicht von der Gasnatur der roten Körper nicht erschüttert worden seien, und bringt dann einen weiteren Beweis gegen den Gasgehalt der roten Körperchen, indem er zeigt, daß sie in 3%iger Sodalösung monatelang erhalten bleiben, obwohl man nach den Gesetzen der Gasdiffusion ein Verschwinden derselben erwarten sollte.

Als »das wesentlichste Resultat« dieser Abhandlung bezeichnet der Autor die Erkenntnis, daß »die bisher widerspruchslos angenommene Behauptung, die das Schweben der Plankton-Cyanophyceen bedingenden rötlichen Gebilde seien Gasvakuolen, unrichtig ist«. Die Arbeit kommt also, abgesehen von den hier in Sperrdruck wiedergegebenen Worten, welche weder wesentlich, noch richtig sind, bezüglich der Gashypothese zu demselben Resultate, wie meine frühere Notiz, hält dagegen die rötlichen Körper noch für »Schwebekörperchen«, d. i. Schwebearparate.

Neuerdings endlich behandelt Fischer¹⁾ das gleiche Thema, indem er ebenso wie Verfasser dieses und dann Molisch, »das Nichtverschwinden im Vakuum« an die Spitze stellt und sagt, daß diese Beobachtung unter den anderen Gründen, welche gegen die Gasnatur der fraglichen Gebilde sprächen, »besonders zu nennen« sei.

Über diesen Punkt ist also nunmehr eine erfreuliche Übereinstimmung unter drei Autoren erzielt. Dagegen läßt Fischer die roten Körper nicht mit Molisch als »Schwebekörperchen« gelten, sondern kommt — wenn auch auf anderem Wege, wie Verfasser dieses — zu dem Schlusse, »daß die Cyanophyceen mit anderen Mitteln schweben, weder mit Gasvakuolen, noch mit Schwebekörperchen« (l. c. p. 112).

Diese Publikation leitet demnach bezüglich der negativen Seiten unserer Frage genau auf denselben Standpunkt hin, welchen ich schon vor vier Jahren vertreten habe.

Nebstdem bringen die zwei zitierten Arbeiten noch mehrere sehr interessante mikrochemische und experimentelle Beobachtungen, aus welchen sich jedoch meines Erachtens eine bestimmte Überzeugung über die tatsächliche Ursache der Rotfärbung zur Zeit noch nicht gewinnen läßt. So meint z. B. Fischer (l. c. p. 111): »Die sogenannte Gasvakuole ist demnach nichts anderes und nicht mehr, als das Interferenzbild der aus anisotropem Anabänin bestehenden Pseudomitosen, deren knäuelig verschlungene Massen in komplizierter

¹⁾ Fischer, A. Die Zelle der Cyanophyceen. Botan. Zeit. 63. 1905. p. 108 u. ff.

Weise auf das durchgehende Licht einwirken. Neben völligen Auslöschungen erscheinen auch rote Interferenzfarben und alles das mischt sich zu den sonderbaren Bildern, die als Gasvakuolen gedeutet worden sind.«

Es ist in der Tat nicht zu leugnen, daß es viele Fälle gibt, in welchen die Konturen der rötlichen Körper kaum zu definieren sind und das ganze, tatsächlich oft recht sonderbare Bild dann die Annahme nahe legt, daß kein materieller Farbstoff, sondern nur eine Interferenzerscheinung zu Grunde liege. Ja, ich möchte sogar noch einen Schritt weiter gehen, als Fischer, und daran erinnern, daß im Mikroskop nicht nur Interferenzerscheinungen, sondern auch gewisse Bilder zu Tage treten können, welche nachweisbar nur auf subjektiver Kontrasttäuschung beruhen.

Setzt man zu Cyanophyceen, welche helle, farblose Membranen besitzen, eine orangegelbe Jodlösung zu, so erscheinen diese Membranen im optischen Querschnitte öfters deutlich hellblau. Diese Farbe, welche früher gelegentlich als Zellulosereaktion gedeutet wurde, verschwindet aber in dem Augenblicke, in welchem durchgesaugtes Wasser die Entfärbung des Mediums erzielt hat. Wo nun im Zellinhalte von Cyanophyceen grüne Töne vorherrschen, könnten nach einem auf vorerwähnte Erfahrung begründeten Analogieschlusse eingestreute farblose Körperchen in der Komplementärfarbe: Rot perzipiert werden.

Ein direkter experimenteller Beweis läßt sich hier zwar nicht liefern, weil man die grüne Grundfarbe solcher Zellen nicht auswaschen kann, wie die Jodlösung, aber man kann sich an anderen Objekten überzeugen, daß auch das Rot gelegentlich als subjektive Kontrastfarbe auftritt. Dünne Septa grünlicher Cyanophyceen erscheinen nämlich nicht allzu selten in rötlicher Farbe; am deutlichsten sah ich diese Erscheinung an den Teilungswänden eines aus dem Würmsee gefischten *Chroococcus helveticus*.

Trotzdem kann ich mich nicht entschließen, alle Fälle von partieller Inhalts-Rötung lediglich auf optische Effekte zurückzuführen, denn es ist sowohl der Charakter als die Intensität der Farbe in verschiedenen Fällen sehr verschieden und die Form der rötlichen Körperchen ist bald sehr unbestimmt, bald sicherer begrenzt, so daß ich mich der Vermutung nicht erwehren kann, es möchten den verschiedenen Erscheinungsweisen dieser Körper auch verschiedene Ursachen zu Grunde liegen, von welchen sich vielleicht auch unter Umständen zwei zu einer Gesamtwirkung kombinieren können. Unter solchen Voraussetzungen trete ich auch der Vermutung Fischers (l. c. p. 108) bei, »daß man in allen Cyanophyceen unter günstigen Umständen Gasvakuolen sehen kann«.

Hier ist daran zu erinnern, daß in dem Farbgemische des Cyanophyceen-Protoplasmas das rote Karotin¹⁾ enthalten ist und daß dieser Farbstoff auf chemischem Wege zur Ausscheidung gebracht werden kann, so z. B. durch verschiedene Säuren. Auch die rötlichen Körner, welche ich (l. c. p. 159) in den Zellen verschiedener Blaualgen, die in Formol aufbewahrt waren, konstatieren konnte, bestehen nach Kohl²⁾ aus demselben Farbstoffe.

Sollte sich nun das Karotin nicht auch unter bestimmten natürlichen Verhältnissen an gewissen Stellen — vielleicht in minimal dünn flächenförmiger Anordnung — anhäufen können? Das ist freilich bis jetzt nur ein noch nicht bewiesener Gedanke, für welchen jedoch einige Literaturangaben zu sprechen scheinen.

Klebahn (l. c. p. 257—258) hat seine vermeintlichen Gasvakuolen durch »längeres, kräftiges Verreiben der Zellen zwischen Deckglas und Objektträger«³⁾ befreit und sie dann als rötliche, dunkel umrandete »Bläschen von verschiedener Form« fortbestehen sehen, und Molisch (l. c. p. 53) isolierte durch 10%ige Kalisalpeter-Lösung in Verbindung mit Druck auf das Deckglas morgenrote »Schwebekörperchen«.

Da nun das Protoplasma der Zelle im Lichtbrechungsvermögen nicht mit reinem Wasser oder Salzlösung übereinstimmt, so mußte sich bei der durch die Isolierung der Körperchen betätigten Überführung in diese anders geartete Medien der Brechungsindex verändern und man hätte unter der Voraussetzung einer rein optischen Erscheinung nunmehr auch eine Veränderung der Farbe erwarten sollen. Nachdem die isolierten Körper aber ihre frühere Farbe beibehalten haben, scheint dieselbe — wenigstens bei den hier geprüften Wasserblüte-Cyanophyceen — doch eher auf Eigenfärbung, als auf Interferenz zu beruhen.

Bei dieser Gelegenheit möchte ich noch bemerken, daß die roten Körper sich auch gegen Reagentien nicht in allen Fällen gleichmäßig verhalten. Alkohol zerstörte bei allen von den bisherigen Beobachtern geprüften Arten diese Körper sofort. Bei einer dem Coelosphaerium Naegelianum zum mindesten sehr nahestehenden Form, welche ich von der Oberfläche eines kleinen Teiches abgefischt hatte, wurden diese gerade hier sehr schön entwickelten Gebilde durch Zusatz von absolutem Alkohol nicht sofort vernichtet, sondern

¹⁾ Vergl. u. a. Zopf, W. Über das Polycystin, ein kristallisierendes Karotin aus Polycystis flos aquae. Ber. D. Bot. Ges. 18, 1900, p. 461 u. f., sowie Kohl, F. Unters. über Karotin, Leipzig 1902.

²⁾ Kohl, F. Organisation u. s. w. der Cyanophyceenzelle. Jena 1903. p. 74.

³⁾ Die Annahme, daß gashaltige Vakuolen eine so gewaltsame Behandlung ertragen sollen, setzt eine schon ziemlich eingewurzelte Vorliebe für die Gashypothese voraus.

traten sogar anfangs noch schärfer hervor. Erst nach einigen Minuten verkleinerten sie sich langsam und ihre Konturen wurden allmählich unsicherer. Nachdem eine Probe derselben Alge mehrere Tage lang in 1%iger Chromsäure-Lösung gelegen hatte, waren die roten Körper zwar etwas schwächer gefärbt, aber noch deutlich zu erkennen. Eine solche Lösung bringt aber die roten Körner von *Gloiotrichia echinulata* nach Klebahn¹⁾ bei »etwas längerer Einwirkung« zum Verschwinden.

Früher herrschte die Ansicht vor, daß die roten Körper ein konstantes Attribut gewisser Arten seien und der gelegentlich beobachtete Umstand, daß dieselbe Spezies bald mit, bald ohne »Gasvakuolen« gefunden wurde, führte zu der Annahme, daß in solchen Fällen zwei »verschiedene Formen« dieser Art vorlägen.²⁾ Richter³⁾ hat aber gefunden, daß an den Kolonien von *Gloiotrichia echinulata* oft nur die Zellen der Peripherie rote Körner besaßen, während die im Innern der Kugeln gelagerten Zellen einen ganz homogenen Inhalt zeigten. Da eine solche Kolonie nicht aus zweierlei systematisch verschiedenen Formen zusammengesetzt sein kann, so sprach schon diese Beobachtung gegen die vorerwähnte Auffassung.

Ich hatte Gelegenheit, mich an einem Exsikkate des von Richter untersuchten Materiales von der Richtigkeit seiner Angabe zu überzeugen und konnte später (l. c. p. 157) feststellen, daß sich die Kolonien von *Polycystis ochracea* Nob. ähnlich verhielten, sowie daß diese Alge und auch *Anabaena flos aquae* zu gewissen Zeiten überhaupt keine deutlich roten Körner besaßen, daß sich letztere vielmehr erst zeigten, nachdem die Algen dauernd auf der Oberfläche des Wassers schwammen.

Wenn wir auch die Bedeutung der mikrochemischen Forschung nicht unterschätzen wollen, so ist doch nicht zu verkennen, daß dieselbe auch in Verbindung mit Färbung und andern cytologischen Experimenten für die Beurteilung unserer Frage bis jetzt noch keine solche Summe von unbestrittenen Resultaten geliefert hat, daß sie der Unterstützung und Kontrolle durch unmittelbare Naturbeobachtung entbehren könnte. Deshalb habe ich mich im Laufe der letzten Jahre vielfach um die Einsammlung von Plankton-Cyanophyceen bemüht und habe gehofft, die Entstehungsweise der rötlichen Gebilde und die Bedingungen dieses Vorganges an lebendem Materiale studieren zu können. Es ist mir aber immer nur die Erbeutung vereinzelter kleiner Kolonien von *Anabaena flos aquae* gelungen,

1) Klebahn, H. Gasvakuolen. Flora 80. 1895. p. 246.

2) Vergl. Lemmermann. Waterneverstorfer Binnensee. Forschungsber. Plön 2. 1894. p. 204.

3) Richter, P. *Gloiotrichia echinulata*. Forschungsber. Plön 2. 1894. p. 42.

welche dann im Laufe der Untersuchung bald wieder verloren gingen, so daß mein Zweck nicht vollständig erreicht wurde. Immerhin habe ich einiges zu berichten.

Im Anfange des Sommers enthielten die Kolonien dieser Alge weder Grenzzellen noch Sporen. Die Zellen erschienen im ganzen ziemlich stark lichtbrechend und zeigten häufig bei mittlerer Einstellung in einer wässrig bläulich-grünen Grundfarbe eine gewisse Anzahl ziemlich großer, ziemlich unregelmäßiger, bisweilen annäherungsweise wurstförmiger, gelber bis bräunlich-gelber Figuren, welche hauptsächlich parietal gelagert waren; bisweilen durchzog aber auch eine (selten mehrere) derselben in ziemlich gerader, bisweilen auch schräger Richtung oder in welliger Form die Zelle in ihrer ganzen Länge.

Durch Wechsel der Einstellung zeigte sich, daß diese Figuren die optischen Querschnitte großer, in der Flächenansicht unregelmäßig begrenzter, schalen- oder bisweilen flach plattenförmiger Körper darstellten, welche zumeist in der Rindenschicht lagen, bisweilen aber auch den Zentralteil der Zelle durchsetzten. Die gelbe Farbe trat nur in Profilstellung hervor, in Flächenstellung waren die Platten schwer sichtbar, weil sie da nur schwach grünlich erschienen. Nebstdem waren in solchen Zellen meist einige wenige große farblose glänzende Körner unregelmäßig eingestreut.

Sobald an der Zelle die erste Spur einer Teilungs-Einschnürung bemerklich wurde, teilten sich die beschriebenen Platten in der Äquatorialzone und zerfielen mit dem Fortschritte der Teilung in kleinere Stücke, welche dann oft das Bild der von Klebahn (l. c. Taf. IV Fig. 22) gezeichneten Gasvakuolen darboten, ohne jedoch deren Färbung zu besitzen.

Durch Erhitzen des Objektträgers bis zum Kochen der Einlegflüssigkeit verlor der Zellinhalt den blaugrünen Grundton, die Platten behielten aber ihre gelbe oder braun-gelbe Farbe bei und erschienen nur noch weniger deutlich begrenzt, als zuvor.

Die im Hochsommer eingesammelten Kolonien von *Anabaena flos aquae* enthielten vereinzelte Grenz- und Dauerzellen und dienten in der bekannten Weise zahlreichen Vorticellen als Vehikel. Im übrigen waren ihre Verhältnisse von jenen der früher eingesammelten Exemplare auch dadurch verschieden, daß größere Platten seltener vorkamen und statt deren vorwiegend kleinere Körper im Zellinhalte lagen, welche nunmehr häufig in gelb-rötlicher bis rötlicher Farbe erschienen. Die Beschaffenheit der Zellen wurde somit allmählich jener ähnlich, welche sie im Stadium der Wasserblüte besitzen.

Aus vorstehendem ergibt sich demnach eine Bestätigung meiner früheren Angabe, daß sogar die Wasserblüte-Cyanophyceen nicht zu allen Zeiten rote Körper enthalten, sowie des weiteren, daß bei

Anabaena flos aquae der Ausbildung dieser Körper — jedenfalls in vielen Fällen — eine außergewöhnliche Struktur des Zellinhaltes vorausgeht.

Bei keiner anderen Cyanophycee habe ich jemals derartig große plattenförmige Gebilde bemerkt, noch auch in der diesbezüglichen Literatur eine ähnliche Darstellung finden können. Deshalb möchte ich die Aufmerksamkeit der Cytologen, für den Fall, daß ihnen entsprechendes Material zugänglich ist, auf jene Stadien dieser Alge lenken, in welchen die roten Körper noch nicht ausgebildet sind.

2. Differente Spitzenzellen.

Thuret teilt seine Gruppe der Nostochineae (Hormogoneae) bekanntlich in zwei Untergruppen, von welchen die »Trichophoreae« ein haarartig zugespitztes Apikalende besitzen, während die Spitzen der »Pylonemeae« kein solches Haar tragen.

Daß die Haarspitzen der Trichophoreae, zu welcher Gruppe die Familien der Rivulariaceae und Camptotrichaceae, sowie die erst später entdeckte Stigonemataceen-Gattung *Mastigocoleus* Lagerh. gehören, gegliedert sind, ist bekannt. Ich möchte nur daran erinnern, daß die Zellen, aus welchen sie bestehen, nicht nur nach der Spitze zu immer schmaler, sondern auch zugleich inhaltsärmer werden und meist Vakuolen besitzen, welche gesunden Zellen des unteren Trichomabschnittes fehlen. Die hier in regelmäßiger Weise auftretende Veränderung besteht also nicht nur in einer allmählich zunehmenden Verdünnung der Spitzen, sondern ist auch mit Atrophie derselben verbunden.

Ferner ist bemerkenswert, daß diese Spitzen in gewissen Jugendzuständen noch nicht vorhanden sind und daß sie später bei der Hormogonienbildung abgeworfen werden, was unter Umständen die Erkennung solcher Algen erschweren kann.

Aus der Einteilung Thurets darf man jedoch nicht schließen, daß die Apikalzellen der Pylonemeae immer vollständig mit den anderen Fadenzellen übereinstimmen. Bei näherer Betrachtung finden wir vielmehr, daß auch bei dieser Gruppe vielfach eine gewisse Tendenz entweder zur Verdünnung oder zur Atrophierung und selbst Degeneration der apikalen Enden zu Tage tritt, wenn auch nicht immer als normale Erscheinung.

Andeutungen hiervon finden wir schon bei der Familie der Nostocaceae, indem an den Fadenenden mancher Arten der Querschnitt der Zellen allmählich etwas abnimmt. Ich erinnere z. B. an *Nostoc sphaeroides* Kütz., *Anabaena circinalis* (Kütz.) Hansg. und *Nodularia turicensis* (Cramer) Hansg.

Ausgeprägter finden wir die Verdünnung der Spitzen bei manchen Oscillariaceen, so daß von Gomont eine eigene Sektion »Attenuatae«

bei der Gattung *Oscillaria*¹⁾ aufgestellt wurde. Nebst der Verdünnung kommt hier auch Degeneration der Apikalzellen vor.

Bei der Scytonemataceae finden wir zwar keine Verdünnung, aber Atrophie des Inhaltes an den Spitzenzellen.

Eine ganz eigentümliche Stellung nimmt unter den Coccogoneae die Chamaesiphonaceen-Gattung *Clastidium* ein, welche eine aufgesetzte, ungegliederte Borste trägt.

Ocellariaceae. Bei dieser Familie haben wir zunächst der »Schnäbel« und »Bärte« älterer Autoren zu gedenken.

Die aus gebüschelten feinen Fäden bestehenden Bärte, welche bisweilen den Spitzen dieser Algen ansitzen, haben sich bekanntlich als Epiphyten (*Ophryothrix Thuretiana* Borzi) erwiesen und kommen hier nicht weiter in Betracht. Dagegen verdienen die als Schnäbel bezeichneten, mehr oder weniger ausgesprochenen, länger oder kürzer zugespitzten terminalen Verdünnungen unsere Beachtung. Da sie nur bei gewissen Arten vorkommen, sind sie in den systematischen Werken schon berücksichtigt und ich möchte nur mehr hervorheben, daß sie auch bei solchen Arten, an welchen ihre Existenz mit Recht angegeben ist, durchaus nicht an allen Fäden vorhanden sind. Insbesondere fehlen diese Verdünnungen an den Enden junger Hormogonien, man vermißt sie aber oft auch an alten Fäden und es scheint mir fraglich, ob sie sich da in allen Fällen noch nachträglich entwickeln.

Hansgirg²⁾ erklärt irrtümlich die Schnäbel für vorstehende Enden leerer Scheiden. Auf diese Weise habe ich allerdings in einigen wenigen Fällen schnabelähnliche Gebilde entstehen sehen; dagegen konnte ich mich in hundert anderen Fällen überzeugen, daß die von Gomont abgebildete Zusammensetzung der Schnäbel aus successive verschmälerten Zellen die Regel ist und daß die von Hansgirg beschriebenen Gebilde nicht als eigentliche Schnäbel aufzufassen sind.

Ferner kommen nicht selten kopfförmige Verdickungen der letzten Zelle vor, welche besonders dann auffallen, wenn die nächstfolgenden Zellen verdünnt sind. Gomont sagt in der Einleitung zu seiner Monographie³⁾ der *Oscillarieae*: »L'extrémité du trichome est toujours capitée, lorsque la membrane apicale est épaissie«, und bezeichnet eine solche Membranverdickung der Spitzenzelle als *Kalyptra*⁴⁾ (Coiffe). Dem habe ich beizufügen, daß Gomonts

¹⁾ Ich halte diese kürzere Schreibweise auf Grund von Verjährung für zulässig. Vertreter einer streng historischen Auffassung wollen mit Gomont: *Oscillatoria* lesen.

²⁾ Hansgirg. Ber. D. Bot. Ges. 1885. p. 21. Fig. 14. Taf. 3.

³⁾ Gomont, M. l. c. I. p. 278.

⁴⁾ Vergl. Gomont, M. l. c., ferner derselbe: Recherches sur les enveloppes cellulaires etc. Bull. Soc. bot. France 35. 1888. p. 215 u. f. sowie: Sur quelques *Oscillariées* nouvelles. Bull. Soc. bot. France 46. 1899. p. 31.

Kalyptra nicht unter allen Umständen eine kopfige Verdickung der Fadenspitze erzeugt, sondern daß ich in einzelnen Fällen Terminalzellen gefunden habe, welche so atrophisch waren, daß sie samt ihrer Kalyptra nicht dicker erschienen, als ihre Nachbarn. Ferner ist darauf hinzuweisen, daß nicht alle Verdickungen von Spitzenzellen der Membran angehören, wie auch aus dem zitierten Werke zu entnehmen ist. Über *Oscillatoria splendida* ist dort angegeben: ¹⁾ »cellula apicalis superne inflata; calyptra nulla«.

Bezüglich der Entstehungsweise und Bedeutung der Kalyptra bin ich zu Ergebnissen gekommen, welche mit Gomonts Anschauung nicht vollständig übereinstimmen. Dieser Autor (l. c. p. 278.) faßt die Kalyptra als eine für gewisse Arten typisches Schutzorgan der Fadenspitze auf, welches bei der Quertrennung der Trichome als mehr oder weniger flache terminale Membranverdickung entstehen und sich dann allmählich zu seiner definitiven kuppel- oder kegelförmigen Gestalt entwickeln soll. Dieser Annahme zufolge müßten an allen frisch abgespaltenen Trichomstücken der betreffenden Arten schon Kalyptren vorhanden sein. Dem ist aber nicht so, sondern dieses Gebilde, welches überhaupt niemals an allen Trichomenden vorhanden ist, fehlt gerade an frischen Bruchenden regelmäßig. An solchen findet man nur bisweilen einen Spaltkörper²⁾ oder Reste einer Nekride, welche die Trennung veranlaßt haben, und in letzterem Falle durch Schnellfärbung³⁾ mit Kongorot deutlich hervortreten. Beobachtung lebenden Materials hat ergeben, daß sich in allen übrigen Fällen die verschiedenen Modifikationen der Spitzenzelle, welche zur Kalyptrabildung führen, ähnlich wie bei Kohls Konkavzellen, auf mindestens zweierlei Vorgänge zurückführen lassen.

Erstens können solche Zellen, gleichwie interkalare Glieder, der Verschleimung verfallen; sie quellen dabei mehr oder weniger auf, zeigen einen körnigen Inhalt und röten sich durch Schnellfärbung mit Kongorot. Solche Zellen gehen bald zu Grunde und hinterlassen dann oft an der neuen Fadenspitze einen kalyptraartigen Rest, welcher sich gleichfalls mit Kongorot färbt.

Zweitens, und das ist weitaus der häufigere Fall, kann die Spitzenzelle eine Art von gallertiger Metamorphose eingehen und erscheint dann in ähnlicher Weise wie die entfärbten Spaltkörper, homogen und stark lichtbrechend, besitzt jedoch nicht deren große Empfänglichkeit für Anilinfarben. Gegen Kongorot ist sie ganz unempfindlich.

¹⁾ Gomont, M. Monographie II. p. 224.

²⁾ Vergl. Brand, F. Über Spaltkörper und Konkavzellen der Cyanophyceen. Ber. D. Bot. Ges. 23. 1905. p. 62 u. f.

³⁾ Vergl. das nächste Kapitel.

An derartigen Zellen läßt sich, wie schon aus Gomonts Angaben hervorgeht, durch Reagentien eine dicke Membran, oder wenigstens eine derbe membranähnliche Außenschicht nachweisen. In Glycerin fallen sie nicht so zusammen, wie die anderen Zellen, sondern behalten ihre gewölbte Form bei, hellen sich aber im Innern etwas auf.

Setzt man zu lebenden Fäden, welche solche Zellen besitzen, einen kleinen Tropfen Chlorzinkjod an den Rand des Deckglases und läßt es langsam eindringen, so sieht man im Innern einen vakuolenartigen Hohlraum entstehen, welcher sich allmählich vergrößert, bis schließlich das Bild einer mit dicker Membran versehenen leeren Zelle entsteht.

Ein ähnliches zentrifugales Schwinden des Zellinhaltes scheint nun bisweilen auch unter natürlichen Verhältnissen, jedenfalls aber bei der Eintrocknung der Fäden stattzufinden und die je nach dem größeren oder kleineren Querschnitt der nächstfolgenden Zelle wechselnde Form der Kalyptra zu erzeugen. Durch das nachträgliche Aufweichen sind in letzterem Falle die Spuren dieser Vorgänge nicht mehr vollständig zu beseitigen.

Daher kommt es, daß man die Kalyptra in der Regel nur an Exsikkaten mit jener Deutlichkeit zu sehen bekommt, mit welcher sie an Gomonts Figuren dargestellt ist. Diese sind in der Tat, nach Angabe der Figurenerklärung, ausnahmslos nach Herbarexemplaren gezeichnet.

Läßt man das Chlorzinkjod in dem oben beschriebenen Versuche noch länger einwirken, so löst sich an einem Teile der entarteten Spitzenzellen die eine oder andere Seitenwand von der Basis ab und rollt sich kreisförmig ein, bis schließlich das ganze Gebilde abfällt.

Auch an lebenden Fäden ist die Abstoßung der entarteten Endzelle, eventuell der Kalyptra, zu beobachten und scheint sogar regelmäßig einzutreten. Hier findet aber keine Einrollung statt, sondern es entstehen beiderseits Einkerbungen an der Basis der Zelle, welche dann zur Querspaltung führen. Bisweilen findet die Ablösung auch durch Vermittelung einer subterminalen Nekride oder eines Spaltkörpers statt.

Nicht gar selten wird schon während oder nach Ausbildung der Kalyptra auch die nächstfolgende Zelle von der gallertigen Entartung befallen. Deshalb und wegen der Inkonstanz seines Auftretens kann ich dieses Gebilde nicht als ein typisches Schutzorgan, sondern nur als das Produkt einer mehr accidentellen Degeneration auffassen, welche übrigens einer bei den fadenförmigen Cyanophyceen verbreiteten Tendenz entspricht.

Die Kalyptra findet sich, wie wir schon aus Gomonts Monographie ersehen, nicht bei allen Arten und ich habe nur hervor-

zuheben, daß sie auch bei jenen Arten, für welche sie als charakteristisch gilt, durchaus nicht an allen Fäden oder zu allen Zeiten zu finden ist. Ich mußte bisweilen lange suchen, bis ich auch an solchen Beständen, an welchen ich zu anderer Zeit viele derartige Gebilde konstatiert hatte, nur ein einziges Exemplar ins Gesichtsfeld bekam.

Trotz dieses Sachverhaltes wäre es verfehlt, die Kalyptra aus der Reihe der systematischen Merkmale streichen zu wollen. Entartung der Spitzenzellen und Kalyptrabildung, sowie gewisse Modifikationen dieser Vorgänge kommen nämlich bei den einen Arten durchschnittlich häufiger, bei anderen seltener, bei wieder anderen fast gar nicht vor, so daß sie in vielen Fällen als systematisches Hilfsmittel dienen können. Es sind das jene Fälle, in welchen sie entweder in größerer Anzahl und charakteristischer Form vorhanden sind oder jene, in welchen sie vollständig fehlen. Treten sie aber nur vereinzelt und in schwankender Form auf, so kann dieses Kennzeichen auch im Stiche lassen.

Scytonemataceae. Es ist eine bekannte Tatsache, daß die Spitzenzellen der meisten Angehörigen dieser Familie sich durch Form und Farbe von den übrigen Zellen unterscheiden können. Sie sind dann kuppelförmig bis über halbrund gewölbt, oft etwas breiter, als die Fadenzellen, besitzen eine hellere, rötliche oder gelbliche bis entschieden gelbe Farbe sowie einen weniger körnigen Inhalt als die anderen Zellen und enthalten öfters eine Vakuole. Kohl¹⁾ gibt an, daß sie meist frei von Zentralkörnern seien.

Über die Entstehungsweise und das weitere Schicksal solcher Zellen scheint mir aber nicht mehr bekannt zu sein, als was ich in bezug auf *Tolypothrix* an anderer Stelle²⁾ angegeben habe. Diese Stelle sagt, daß die oberhalb des Spaltkörpers liegende blasse Zelle sich zu einer Grenzelle ausbilde, während die unterhalb gelegene oft eine Vakuole enthalte und immer zur Spitzenzelle eines Scheinastes werde. Solche Spitzenzellen können eine gewisse Ähnlichkeit mit unentwickelten Grenzzellen haben, bilden sich aber niemals in diesem Sinne aus, sondern fallen, nachdem die schon durch die Vakuolenbildung angedeutete Reduzierung ihres Inhaltes noch etwas zugenommen hat — wahrscheinlich regelmäßig, jedenfalls aber sehr häufig — früher oder später vom Trichome ab. Von diesem Vorgange habe ich mich an lichtarmen Hauskulturen oft überzeugt, konnte seine Spuren aber auch an freilebenden Pflanzen nicht selten nachweisen.

In einzelnen Fällen degeneriert auch hier, wie bei den *Oscillariaceen*, die nächstfolgende Zelle, bevor sich die Spitzenzelle abgestoßen hat, so daß der Faden dann mit zwei abnormalen Zellen endet. Bei

1) Kohl. *Cyanophyceen-Zelle*. p. 29.

2) Brand. *Beihefte Bot. Cbl.* 1903. p. 39 u. Fig. 9 t. Taf. 2.

Scytonema bilden sich in der Regel die abnormalen Spitzenzellen nicht, wie bei Tolypothrix innerhalb der Scheide aus, sondern sie differenzieren sich erst nach dem Austritte der Äste. Nach der bisher gültigen Annahme entstehen alle Doppeläste in der Weise, daß eine geschlossene Fadenschlinge bruchartig aus der Scheide hervorbricht und sich erst nachträglich spaltet. Dagegen habe ich bei *Sc. myochrous* wiederholt gesehen, daß diese Äste sich auch schon innerhalb der Scheide durch Vermittelung eines Spaltkörpers trennen und gesondert hervortreten können. In den von mir beobachteten Fällen war die Scheide alt und fest, und die der Trennungsstelle zunächst liegenden Zellen erlitten vor dem Austritte eine erhebliche Deformierung. An freien Zweigspitzen fanden sich aber niemals derartige Zellen, so daß die deformierten Trichomenden offenbar bald abgestoßen werden und die erste unverletzte Zelle sich dann zu einer Spitzenzelle ausbildet.

Schließlich habe ich noch eine eigentümliche Erscheinung zu erwähnen, welche das apikale Scheidenende betrifft. Zu gewissen Zeiten, nämlich während des Winterfrostes und in sonnigen Sommermonaten, verdicken sich sämtliche Scheiden von *Tolypothrix penicillata* und ihre Trichome stellen die Vegetationstätigkeit ein. An frisch eingesammelten Exemplaren dieser Alge, welche bei Eintritt günstiger Witterung neu auflebten, habe ich nun mehrmals gefunden, daß einzelne Spitzenzellen von einer mächtigen abgerundeten Gallertmasse umgeben waren, welche eine deutlich radiäre Struktur erkennen ließ. Diese Erscheinung trat aber durchaus nicht an allen Spitzen, sondern nur an sehr wenigen auf, und erregte mein Interesse besonders deshalb, weil eine solche Struktur auch hier nur ausnahmsweise vorkommt, gleichwie bei der früher¹⁾ von mir beschriebenen Lösung der Gallerte von *Gloeocapsa alpina*. Auch bei dieser Alge sieht man radinäre Streifung nur in einzelnen Fällen, während das Gefüge der sich lösenden Gallerte in der Regel etwas körnig erscheint. Eine sehr gute Abbildung des Anfangsstadiums letzterer Modifikation stellt die Figur 7 Taf. 22 von Kolkwitz²⁾ dar, deren Zitierung in meiner Arbeit über *Gloescapsa* unlieberweise übersehen worden ist.

3. Schnellfärbung der Cyanophyceen.

Die Methode der Schnellfärbung, welche ich bereits früher³⁾ kurz charakterisiert habe, verwendet zwar nicht fixiertes lebendes Material,

¹⁾ Brand, F. Der Formenkreis von *Gloeocapsa alpina*. Bot. Centralbl. 1900. p. 283, 307 u. Fig. 9. p. 227.

²⁾ Kolkwitz, R. Über die Krümmungen und den Membranbau einiger Spaltalgen. Ber. D. Bot. Ges. 15. Jahrg. 1897. Fig. 7. Taf. 22.

³⁾ Morpholog.-physiol. Betrachtungen über Cyanophyceen. Beihefte z. Bot. Cbl. 15. 1903. p. 46—47. Anm.

zieht aber nicht, wie die bekannte Lebendfärbung nur das Verhalten lebender Zellen, sondern gleichzeitig auch jenes der gelegentlich bcigemischten kranken und abgestorbenen Glieder in den Kreis ihrer Betrachtung.

Während die typische Lebendfärbung durch länger dauernde Einwirkung sehr stark verdünnter Farblösungen eine allmähliche Speicherung des Farbstoffes in den Zellen beabsichtigt, um durch das verschiedene Verhalten der einzelnen Bestandteile des Zellinhaltes gewisse cytologische Verhältnisse hervortreten zu lassen, berücksichtigt die Schnellfärbung in erster Linie die sofortige Wirkung viel konzentrierterer Lösungen sowie die Reihenfolge, in welcher die einzelnen Bestandteile des Thallus afficiert werden, um daraus vorwiegend physiologische Schlüsse zu ziehen.¹⁾ Eine fundamentale Frage letzter Art ist die, ob ein vorliegender Thallus durchaus gesund und lebend sei, oder ob einzelne seiner Glieder erkrankt oder abgestorben seien.

Manche Farbstoffe werden, wie schon Pfeffer festgestellt hat, von der lebenden Zelle nicht aufgenommen. Ein Stoff dieser Art ist das Kongorot, welches zugleich den Vorzug hat, daß es gesunde Cyanophyceenzellen auch in starker Lösung und bei stundenlanger Einwirkung nicht schädigt.

Werden nun durch eine solche Lösung einzelne Zellen schon nach einigen Minuten gefärbt, so kann man sicher sein, daß sie schon vorher in abnormaler Verfassung waren und nicht etwa erst durch den Farbstoff gelitten haben.

Andererseits ist das Ausbleiben der Kongofärbung kein allgemein gültiger Beweis für den normalen Zustand der betreffenden Zelle, weil auch Spaltkörper, gallertartig entartete Spitzenzellen und gewisse (vorgeschriftene) Stadien der Nekriden sich nicht, oder nur sehr wenig färben. Diese Gebilde sind aber so auffällig verändert, daß ihr abnormaler Zustand ohnehin nicht zu verkennen ist.

Eine Nebenwirkung des Kongorot, welche für gewisse Zwecke nützlich sein kann, meistens aber als Störung empfunden wird, besteht darin, daß es nicht nur die Membranen, sondern auch Scheiden und Gallerte mancher Cyanophyceen kräftig rötet.²⁾

¹⁾ Ähnliche Zwecke scheint auch A. Meyer (Über Volutin. Bot. Zeit. 62. 1904) durch »Krankfärbung« zu verfolgen. Diese Bezeichnung ist dopselsinnig, weil man einerseits krankes Material färben, andererseits auch gesunde Algen durch Färbung schließlich krank machen kann. In der nächsten Zeile ist dann von »Intensivfärbung« die Rede.

²⁾ Bei gewissen Arten tritt diese Wirkung nur wenig hervor; bei *Glocothece decipiens* färben sich nur z. B. die äußersten Schichten. Bei einzelnen Spezies wird die Außenhülle gar nicht gefärbt, wie bei manchen *Oscillariaceen*, bei *Anabaena flos aquae*, *Gloiothrichia pisum*, *Glococapsa alpina* u. a., deren Gallerte sich gegen Kongorot so ablehnend verhält, wie (nach Klebs) die Gallertscheiden der *Zygnemaceen*.

Wo eine solche Wirkung sicher vermieden werden soll, empfiehlt sich das Eosin. Dieser Stoff färbt Scheiden und Gallerte frischer Cyanophyceen entweder gar nicht,¹⁾ oder nur schwach und transparent, während er toten oder stark erkrankten Zellinhalt ebenso tingiert, wie Kongorot.

Im Gegensatz zu letzterem kann Eosin jedoch auch lebende Gonidien und auch teilweise den Inhalt der Grenzzellen²⁾ etwas färben. Die polaren Protoplasmaknöpfe (Verschlußkörper nach Kohl) der Grenzzellen von lebendem *Nostoc commune* färbten sich nur dann, wenn ihre Verbindung mit der Nachbarzelle zerrissen war.

Eosin ist für die Zelle nicht so unschädlich, wie Kongorot und darf deshalb nicht länger als höchstens 10 Minuten einwirken, wenn das Verfahren nicht aus dem Rahmen der Schnellfärbung herausfallen soll. Ferner ist zu beachten, daß die Gallerte diesen Farbstoff, welchen sie selbst nicht annimmt, auch nicht passieren läßt. Es lassen sich also nur solche Zellen mit Eosin prüfen, welche entweder überhaupt keine Gallerthülle besitzen, oder zuvor aus ihr herausgepreßt worden sind.

Von jenen Zellen, welche befähigt sind, in die lebende Zelle einzudringen, sind offensive Präparate, wie z. B. das Karbol-Fuchsin, welches in einigermaßen konzentrierter Lösung sofort die ganze Pflanze tötet und alles färbt, für unseren Zweck natürlich nicht zu gebrauchen.

Mildere Stoffe, wie Methylenblau und Methylviolett färben gleichfalls in erster Linie die erkrankten Zellen und Nekriden. Die Resultate sind nach dieser Richtung aber weniger sicher, weil hier bisweilen auch gesunde Zellen außergewöhnlich schnell beeinflusst werden.

Dagegen können wir durch diese Farbstoffe Aufschlüsse anderer Art erhalten. Bei lebenden Oscillariaceen beginnt z. B. die Färbung an den Bruchenden sowohl als an den pathologisch veränderten Spitzenzellen und schreitet von da aus nach rückwärts fort. Wir ersehen daraus, daß die Querwände dieser Algen für Farbstoffe durchgängiger sind, als die Längswände, und die weitere Beobachtung, daß die Färbung nicht immer gleichmäßig fortschreitet, sondern einzelne interkalare Zellen oft weniger beeinflusst werden, bestätigt die auch bei anderen Gelegenheiten bemerkliche individuelle Verschiedenheit der einzelnen Glieder.

¹⁾ Gewisse Chemikalien können dies Verhalten stören und so färbten sich die Scheiden einer vorher mit Essigsäure behandelten *Rivularia minutula* ziemlich kräftig.

²⁾ Fritsch, F. E. *Studies on Cyanophyceae* (The New Phytologist 3. 1904. p. 1891) sah an ältern Grenzzellen selbst nach mehrtägiger Einwirkung des Eosin keine Färbung eintreten, aber in den jungen Exemplaren färbte sich »the terminal granule«, worunter wohl Kohls »Verschlußkörper« verstanden ist.

Schließlich ist die Schnellfärbung ein bequemes technisches Hilfsmittel zur ersten Orientierung in Algengemischen. Kleine und kleinste Formen, welche außerdem schwer aufzufinden sind, färben sich meistens zuerst und machen sich so schnell und sicher bemerklich; bei größeren Algen, bei welchen ja bisweilen eine gewisse Ähnlichkeit der äußeren Form schon zu Verwechslungen geführt hat, läßt das verschiedene Verhalten gegen Schnellfärbung oft die innere Verschiedenheit derselben sofort zu Tage treten.

Zur Technik der Schnellfärbung ist zu bemerken, daß das Festhalten an einer bestimmten Konzentration der Farblösung nicht nötig ist. Es genügt, eine kräftige Lösung solange einwirken zu lassen, bis sich die ersten Wirkungen zeigen, und dann den Prozeß zu unterbrechen.

Es empfiehlt sich, die Algen vor der Färbung mit destilliertem Wasser auszuwaschen, dann in die Farblösung zu übertragen und in derselben rasch hin und her zu bewegen, um eine möglichst gleichmäßige und gleichzeitige Berührung mit der Farbe zu erzielen. Ganz unzulässig ist es, die Farbe unter das Deckglas fließen zu lassen.

Meist ist eine nachträgliche Aufhellung des Objektes nötig. Hierzu und zur Unterbrechung der Tinktion verwendet man mit Vorteil verdünntes Glycerin. Durch reines Wasser werden die Farben, insbesondere das Kongorot, allzu leicht wieder aus dem Protoplasma ausgelaugt und der Erfolg der Färbung läßt sich dann nicht mehr sicher beurteilen.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Hedwigia](#)

Jahr/Year: 1906

Band/Volume: [45_1906](#)

Autor(en)/Author(s): Brand Friedrich

Artikel/Article: [Über die sogenannten Gasvakuolen und die
differenten Spitzenzellen der Cyanophyceen, sowie über
Schnellfärbung. 1-15](#)