XXIII.

Die Farbstoffe der Chromatophoren von Bangia fusco-purpurea Lyngb.

Von

F. Noll.

(Mit einem Holzschnitt.)

Die Ufer des Golfes von Neapel findet man während des Winters innerhalb einer Zone, die etwa einen Meter über das Meeresniveau hinanreicht, mit einem schmutzig rothbraunen Überzug bedeckt. Diese Zone, etwa so hoch, als gerade der Wellenschlag das Gestein für gewöhnlich naß und triefend erhält, verdankt ihr Aussehen vornehmlich der Bangia fusco-purpurea, einer kleinen braunrothen Fadenalge, deren gallertige Fäden, dicht zusammengedrängt, der Unterlage an einem Ende fest aufsitzen[1]).

Diese Bangia, obwohl eine echte Meeresalge, wird trotzdem fast nie im Meere selbst unter der Seeoberfläche angetroffen; sie zieht das amphibische Dasein auf der wasserbespülten Landzone vor. Recht wechselvoll und eigenartig sind jedoch die äußeren Lebensbedingungen, die sich der Pflanze hier darbieten: während bei herrschendem Scirocco mächtige Wogen mit enormer Gewalt gegen die Ufer anprallen und alles mit sich fortreißen, was sich ihnen entgegenstellt, liegt die Zone der Bangia einige Tage danach bei glatter See trocken, den Sonnenstrahlen ausgesetzt, da. Während bei mäßigem Seegang (wie er im Winter meist herrscht) die kleine Alge nach kurzen Zwischenpausen in schäumendem Seewasser flutet, benetzt sie vielleicht kurz darauf das Süßwasser eines tagelang anhaltenden Regens. Unter dergestalt wechselnden Extremen vollendet die Alge, falls ungünstige Bedingungen nicht zu lange andauern, ihre ganze Entwickelung von der Keimung bis zur Fruktifikation. Diese Lebenszähigkeit, welche gegenüber der außerordentlichen Empfindlichkeit vieler Meeresalgen sehr bemerkenswerth ist, wird mitbedingt durch die gallertige Beschaffenheit der äußeren Membranschichten, die ein gänzliches Austrocknen lange Zeit hinausschieben und sowohl das Austrocknen wie das Aufquellen der

[1]) Auch Porphyra leucosticta findet sich, jedoch seltener, in dieser Zone.

Protoplasten in Wasser sehr verlangsamen. Die Durchlässigkeit jener Gallertschicht gegen gewisse Flüssigkeiten scheint zudem eine recht geringe zu sein[1]. Diese Eigenschaft der Gallertumhüllung kann aber zweckmäßig bei Versuchen verwerthet werden, welche die Trennung der Farbstoffe in den Chromatophoren zum Ziele haben.

Es ist lange bekannt, daß viele rothe und blaugrüne Algen bei der Tödtung ihre normale Farbe verlieren, daß sie selbst blaß grün werden und einen intensiv rothen oder blauen Farbstoff an die Umgebung abgeben. Der Umstand, daß hier ein Farbstoff nach außen durch die Zellwand durchtritt, läßt nun einmal kein richtiges Urtheil über das Verhältniß der Farbstoffe in der Pflanze zu, und außerdem kann durch die große Verdünnung außerhalb der Zellen ein Farbstoff überhaupt leicht übersehen werden. Bei den Fäden der Bangia fusco-purpurea gelingt aber eine vollkommene Trennung der Farben innerhalb der einzelnen Zellen sehr leicht und es ist dadurch auch möglich, einen Einblick in die individuellen Abweichungen der einzelnen Zellen zu gewinnen, der sich gerade bei dieser Alge recht lehrreich gestaltet und Schlüsse auf die Zusammensetzung und physiologische Bedeutung der Chromatophorenfarbe zu ziehen gestattet.

Was zunächst das normale Aussehen der hier betrachteten Pflanze betrifft, so liegt, wie erwähnt, eine Fadenalge vor, deren bis zu 8 cm lange Fäden in der Jugend aus einer einfachen perlschnurartigen Zellreihe bestehen.

Die äußere Membran des Fadens ist in Gallerte umgewandelt, die Scheidewände zwischen den Einzelzellen sind dagegen dünn. In späteren Stadien theilen sich die einzelnen Zellen durch radiale Längswände in 2, 4, 8 und mehr, so daß der Faden schließlich einen cylindrischen Gewebekomplex darstellt, der dort, wo Theilung und Wachsthum der Zellen in der Radialrichtung etwas zurückgeblieben sind, streckenweise Einschnürungen aufweist.

Die einzelne Zelle der Bangia fusco-purpurea führt einen verhältnißmäßig sehr großen, eigenartig gestalteten und amöboid verzweigten Chromatophoren, der allein die Farbe der Pflanze bedingt; die andern Bestandtheile, zumal auch der Zellsaft, sind farblos. Von besonderem Interesse ist die Thatsache, daß die Färbung der Chromatophoren keine konstante ist, wie das doch für die meisten Pflanzenspezies zutrifft, sondern in verschie-

1) Berthold giebt in seiner Monographie der Bangiaceen des Golfes von Neapel, (Fauna und Flora des Golfes von Neapel, herausgegeben von der Zool. Station zu Neapel. VIII. Monographie, Leipzig 1882) neben Beobachtungen über die große Lebenszähigkeit der Bangia im Freien und die große Empfindlichkeit derselben in der Kultur auch einige Notizen über die Widerstandsfähigkeit der Bangia gegen Flüssigkeiten, speziell gegen Alkohol. Manche Fäden der Bangia (in anderen Fäden nur vereinzelte Zellen) halten sich längere Zeit in absolutem Alkohol unverändert, während verdünnter Alkohol die Pflanze rasch tödtet und entfärbt.

denen Fäden und sogar in Zellen eines und desselben Fadens wechselt. Manche Zellen enthalten intensiv rothbraune Chromatophoren, andere schön blaugrüne; in wieder anderen scheinen beide Nüancen sich zu einem schwarzgrünen Gemisch zusammenzufinden. Neben den hier hervorgehobenen Extremen finden sich dann noch die mannigfaltigsten Übergänge. Regellos neben einander findet man draußen am Meeresufer blaugrüne und intensiv rothe, braunrothe und schwarzgrüne Fäden derselben Art; ja, innerhalb eines einzelnen, aus einer einzigen Spore entstandenen Fadens trifft man zuweilen ganz verschiedenfarbige Chromatophoren an, für deren Verschiedenheit kein erkennbarer äußerer Grund vorhanden ist. Die Funktionen solch verschiedenfarbiger Zellen, ihre weitere Entwickelung, sind, so weit sich verfolgen ließ, ganz gleiche. Ganz röthliche oder ganz blaugrüne Fäden ernähren sich gleich gut, wachsen gleich schnell, theilen sich gleichmäßig rasch und vermögen gleichartig in Sporen zu zerfallen, und zwar alles unter gleichen äußeren Verhältnissen.

Der häufigste Farbenton der Chromatophoren, der schmutzigbraunrothe ist, wie im Folgenden nachgewiesen werden soll, durch das gleichzeitige Vorhandensein dreier verschiedener Farbstoffe bedingt, die, nicht immer in gleichem Verhältniß mit einander gemischt, die geschilderte Variabilität der Färbung zwischen ihren Extremen braunroth und blaugrün, bedingen.

Zur Trennung der Farbstoffe benutzte ich Wärme, die zwischen 50 und 70° tödtlich auf die Zellen wirkt und dabei die erwünschte Trennung bewirkt. Zur mikroskopischen Beobachtung während dieser Vorgänge wurden die Bangien in den Sachs'schen Wärmkasten fürs Mikroskop gebracht[1]) und darin langsam erhitzt. Bis zu etwa 50° (die Temperatur wechselt individuell um einige Grade) bleiben die Zellen ziemlich unverändert, nur die Konturen der Inhaltsbestandtheile erscheinen mit zunehmender Wärme verschwommener. Bei 50° und darüber fangen dann die Zellmembranen und die Chromatophoren, die sich bis dahin kaum verändert hatten, an, langsam aufzuquellen; auch das Protoplasma nimmt Wasser in sich auf, so daß nur mehr eine ziemlich kleine Vakuole übrig bleibt. Die Farbe der Chromatophoren, durch den Quellungsprozeß anfangs nur etwas verdünnt, beginnt dann diffus zu werden und in die Vakuole überzugehen. Diese, von kleinen lebhaft tanzenden Körnchen erfüllt, färbt sich dadurch röthlich, violett oder blau und kurze Zeit darauf erfolgt dann, bei langsam steigender Temperatur, fast momentan das Koaguliren der protoplasmatischen Massen, die zuletzt schon keine Differenzirung mehr erkennen ließen. Mit der Gerinnung erfolgt dann fast gleichzeitig die Trennung der Farbstoffe, die vorzüglich dadurch zu stande kommt, daß die Produkte der Gerinnung verschiedene Affinitäten zu den einzelnen Farben haben. Die Mitte des

1) Vergl. Sachs' Lehrbuch IV. Auflage, pag. 706 u. f.

Zellraumes findet man eingenommen von der geronnenen Plasmamasse, die aber nicht gleichmäßig beschaffen ist, sondern aus zwei scharf gegeneinander abgegrenzten Substanzen besteht. Die Grundmasse (in der Figur punktirt), ist rein chlorophyllgrün gefärbt; in verschiedener Abgrenzung und Größe liegt dieser Grundmasse eine intensiv karminrothe glänzende Masse an, die aber immer einen kleineren Raum einnimmt (die schwarz gehaltenen Theile der Figur). Prachtvoll blau zeigt sich der umgebende Zellsaft gefärbt (in der Figur schraffirt). Die Färbung des Zellsaftes ist nicht in allen Präparaten gleich schön, da manche Fäden den blauen Farbstoff wohl sofort diffundiren lassen. In Präparaten jedoch, wo er vollständig zurückgehalten wird, bietet sich ein prächtiges farbenreiches, buntes Bild dar, das in beistehender Figur schematisch wiedergegeben ist.

Stück eines Bangiafadens, der langsam bis 65° erhitzt wurde. In der Mitte der Zellen die geronnenen Plasmakörper *P*. Dieselben sind, soweit sie punktirt sind, grün, der schwarze Theil ist intensiv roth, der schraffirte Raum ringsum ist schön blau gefärbt. *m* Membran.

Das schmutzige Braun der lebenden Chromatophoren ist durch diese reinen Farben ersetzt, und es fragt sich nun, ob diese letzteren im Chromatophor als solche schon zusammen vorhanden waren, wie es der Entmischungsvorgang in hoher Temperatur vermuthen läßt.

Stellt man sich mit Hilfe guter Wasserfarben die entsprechenden Farbentöne, die nach der Trennung gesondert erscheinen, her, und mischt dieselben in dem entsprechenden Verhältniß, so erhält man genau die charakteristische schmutzig grünbraune Farbe, die der Chromatophor in lebendem Zustande besaß. Ursprünglich mehr röthliche Fäden enthalten wenig blau nach der Trennung der Farben und auch hier läßt sich die ursprüngliche Farbnüance durch Mischung von Wasserfarben im vorgefundenen Verhältniß wieder getreu nachahmen. Umgekehrt ist das Verhältniß bei den mehr blaugrünen Fäden, wo, weniger oder kein Roth vorhanden, ebenfalls eine künstliche Nachahmung der Nüance als Mischfarbe zu erzielen ist. Statt der mechanischen Mischung der Farben kann auch mit Vortheil eine optische angewandt werden, indem man die Farben auf eine Pappscheibe aufträgt, die beim Rotiren dann die Mischfarbe zeigt. Die zuverlässigste Methode ist jedoch die, daß man die Chromatophoren zunächst getreu nach der Natur malt und sich dann nach vollendeter Farbendifferenzirung die Mischfarbe in angegebener Weise herstellt, die dann immer der zuerst vorgefundenen natürlichen genau entspricht.

Daraus ist wohl ziemlich sicher zu schließen, daß in den lebenden Chromatophoren die genannten Farbstoffe als solche, nur in Mischung, vorhanden sind. Die Annahme nämlich, daß die drei Farbstoffe durch chemische Umwandlung eines einzigen ursprünglich vorhandenen entständen.

wird dadurch im höchsten Grade unwahrscheinlich. Denn es wäre höchst merkwürdig, wenn durch chemischen Zerfall aus einer farbigen Substanz immer gerade so gefärbte Stoffe entstehen sollten, die, mechanisch gemischt, dieselbe Mischfarbe hervorbringen. Wenn man diese Möglichkeit für einen Fall auch zugeben wollte, so wird sie durch die Thatsache, daß für alle Nüancen, die bei Bangia auftreten, ein gleicher höchst merkwürdiger Zufall im Spiele sein müßte, geradezu ein für allemal abgewiesen. Denn in den intensiv rothbraunen Fäden fand sich kein Blau, in den intensiv blaugrünen Fäden neben Grün und Blau kein rother Farbstoff bei der Differenzirung vor, wie sich überhaupt jeder Farbenton immer als Mischfarbe der einzelnen Bestandtheile zu erkennen gab.

In den Chromatophoren von Bangia fusco-purpurea sind also zwei oder drei Farbstoffe vergesellschaftet; entweder Grün mit Roth, oder Grün mit Blau, oder Grün mit Roth und Blau.

Der grüne Farbstoff ist in allen Zellen ohne Unterschied vorhanden und es war natürlich die nächstliegende Frage, ob derselbe echtes Chlorophyll sei. Die wichtigsten optischen und chemischen Erkennungszeichen dieses Farbstoffes zeigten bei ihrer Anwendung auf die geronnene grüngefärbte Masse, daß der grüne Bestandtheil in der That echter Chlorophyllfarbstoff ist[1]).

Mikrochemische Reaktionen, welche mit den beiden anderen Farbstoffen vorgenommen wurden, gaben kein besonders bemerkenswerthes Resultat; es mag hier nur erwähnt werden, daß das Roth, das sich nach der Gerinnung in ähnlicher Abgrenzung zeigt, wie die sogenannten Augenflecke bei Euglena u. a., kein Hämatochrom ist. Die mikrochemische Untersuchung der Grundsubstanzen, die sich durch rothe oder grüne Farbe auszeichnen, ergab gleichfalls keine besonderen Aufschlüsse. Es ergaben sich nur übereinstimmende Reaktionen, die alle darauf hindeuten, daß sowohl die grün, als die roth gewordene Substanz eiweißartiger Natur sind. Nach Extraktion der Farben bleiben dieselben in ursprünglichem Umfang zurück. Ob die grün gewordene Grundsubstanz dem Plasma der Chromatophoren, die rothe dem Zellplasma oder dem Kernplasma entstammt, dafür ergaben sich trotz langer, genauer Beobachtungen und Versuche keine bestimmten Hinweise. Es tritt nämlich vor der Gerinnung eine so innige Vermischung aller plasmatischen Theile auf und die Entmischung und Neudifferenzirung bei der Gerinnung ist so unkontrollirbar, daß absolut keine Anhaltspunkte in der angedeuteten Richtung zu gewinnen waren. Indessen kommt es auch auf die Beantwortung dieser hier nebensächlichen Frage zunächst gar nicht an, sondern lediglich auf die klar erkennbare Thatsache,

1) Über Chlorophyll in Fucaceen siehe Hansen, Arb. d. bot. Inst. Würzburg. Bd. III, Heft 2. pag. 289.

daß verschieden sich färbende Substanzen irgendwie auftreten, und dadurch die vorhandene Mischfarbe entmischen.

Den interessantesten Punkt bildet zunächst die Thatsache, daß in den assimilirenden Zellen der Bangia ausnahmslos echter Chlorophyllfarbstoff vorhanden ist, daß die beiden anderen, diesen beigemischten Farben sich in wechselnden Verhältnissen vorfinden, wobei der eine oder der andere dieser beiden überhaupt ganz fehlen kann. Dabei muß beachtet werden, daß die Begleitfarbstoffe, die durch ihr wechselseitiges Verhältniß drei Hauptmischfarben bestimmen, sich optisch keineswegs ähnlich sind, indem der eine die schwächer brechbaren Strahlen des Spektrums, der andere vornehmlich die stärker brechbaren absorbirt. Da trotzdem zwischen den Zellen, die neben dem Chlorophyll den rothen, und denen, die neben dem Chlorophyll den blauen Farbstoff enthalten, kein bemerkbarer Unterschied bezüglich der Entwickelung und der Funktionen sich geltend macht, so sind diese begleitenden Farbstoffe jedenfalls gegenüber dem Chlorophyll von mehr untergeordneter Bedeutung. Letzteres kommt ja, soviel man weiß, jeder assimilirenden Zelle zu; es ist eine durch ihre Farbe immer leicht erkennbare Substanz, die der Kohlensäure assimilirenden Zelle niemals fehlt, also wohl ein integrirender chemischer Bestandtheil derselben ist. Ob es aber gerade allein die Assimilation bewirkt, oder ob nicht andere nur durch ihre Farblosigkeit nicht so auffallende Stoffe eine wichtige Rolle mitspielen, darüber weiß man heute noch nichts Bestimmtes. Es ist ja nur eine zufällige Eigenschaft einer chemischen Substanz, wenn sie uns gefärbt erscheint und dadurch besonders auffällt. Ob die Farbe bei ihrer spezifischen Wirksamkeit im Organismus aber mit in Betracht kommt, oder ob sie nur eine accidentelle nicht weiter verwerthete oder nur theilweise verwerthete physikalische Eigenthümlichkeit der Substanz bildet, das ist eine weitere, schwer zu entscheidende Frage. Jedenfalls ist es aber für unsere Erkenntniß ein Vortheil, wenn eine Substanz, an deren Anwesenheit ein gewisser Prozeß immer geknüpft erscheint, auch durch ein bestimmtes Spektrum sich uns erkennbar macht, wie es beim Chlorophyll der Fall ist. — Die roth oder blau erscheinende chemische Substanz, die in Bangia noch auftritt, ist aber wenigstens mit dem Assimilationsprozeß keineswegs so eng verknüpft (wenigstens nicht in ihrer farbigen Modifikation) wie immer das Chlorophyll, und daher nicht von dieser Bedeutung.

Zur Kultur der Alge bediente ich mich im Laboratorium der Zoologischen Station zu Neapel selbstverfertigter kleiner Apparate, da sich, wie auch schon Bertnold l. c. angiebt, die Pflanze unter dem Wasserniveau nicht lange lebendig hielt. Die Apparate sollten nun die intermittirende Bespülung durch Seewasser am Ufersaum nachahmen und arbeiteten mit bestem Erfolg. Dieselben bestanden aus einem Glasrahmen, der durch

eine dreiwinklig zusammengebogene Glasröhre hergestellt war und mit starkem Stramin überzogen wurde. Ein solcher Rahmen wurde bifilar aufgehängt und so torquirt, daß er langsam in die Gleichgewichtslage zurückkehren mußte. In diese einschwenkend traf er seitlich auf einen Strahl Seewassers aus dem Pumpwerk, der die Bewegung nach der Gleichgewichtslage hin aufhielt und rückgängig machte, währenddessen die Fläche des Stramins mit schäumendem Seewasser überspült wurde. Schwenkte der Rahmen durch den Stoß des Wassers zurück, so kam er aus dem Bereich des kontinuirlichen Wasserstrahls, in den er nach einiger Zeit durch die bifilare Torsion wieder eingeführt wurde. Derartige intermittirende Flutapparate blieben ununterbrochen lange Zeit in Bewegung und die Bangia entwickelte sich darauf sehr gut weiter. Die Geschwindigkeit des Wechsels läßt sich leicht nach Wunsch reguliren durch Verkürzung oder Verlängerung der Aufhängung, durch den Grad der Torsion und durch die Stärke und Richtung des Wasserstrahls. — Mein Beobachtungsmaterial in Würzburg, das von Neapel bezogen worden war, kultivirte ich in dem mit natürlichem Seewasser gefüllten Seewasserbecken des hiesigen Botanischen Instituts, wo die Pflanzen merkwürdigerweise unter dem Wasserniveau vorzüglich gediehen und sich stark vermehrten. Die Sauerstoffausscheidung war hier, besonders in der Sonne, immer eine auffallend reiche, ein Zeichen der kräftigen Assimilation dieser Alge.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Arbeiten des Botanischen Instituts in Würzburg

Jahr/Year: 1888

Band/Volume: 3

Autor(en)/Author(s): Noll Fritz

Artikel/Article: Die Farbstoffe der Chromatophoren von Bangia fusco-purpurea 489-495