Über die Organisation und Entwicklung der irisierenden Körper der Florideen.

LIBR
NEW
BOTAN
GARD

Von

F. C. von Faber.

Mit Tafel IX.

Unter den Vertretern der großen Gruppe der Florideen fallen an den Meeresküsten gemäßigter, sowie tropischer Länder besonders diejenigen auf, die durch prachtvolles Irisieren einen eigentümlichen, stahlblauen Glanz besitzen.

In der Literatur wird diese Erscheinung bei verschiedenen Rotalgen geschildert. Da aber über die Organisation und Entwicklungsgeschichte der dieses Phänomen hervorrufenden Körper noch wenig bekannt geworden ist, habe ich versucht, die Ergebnisse meiner Untersuchungen hierüber im Nachfolgenden niederzulegen.

Das glänzende Farbenspiel solcher irisierenden Florideen erregte zuerst meine Aufmerksamkeit, als ich gelegentlich einer Exkursion in den Mangroven von Tjilatjap, nach Durchquerung des westlichen Teiles der Insel Noesa Kambangan, an die steile und felsige Südküste gelangte. Dort sind die bei Flut von den Brandungswellen in kurzen Zwischenpausen bespülten und bei Ebbe teilweise trocken liegenden Felsen streckenweise von Rotalgen überwuchert, die durch ihren schönen, stahlblauen Glanz sofort das Auge fesseln. Dieses Aufleuchten nimmt man auch dort wahr, wo die Algen stets vom Meerwasser bedeckt bleiben, doch ist deutlich zu verfolgen, daß, je mehr sie von Wasser überspült sind, auch die leuchtende, stahlblaue Farbe mehr und mehr in Dunkelrot übergeht. An von der Sonne beschienenen Stellen ist dieses Aufleuchten so intensiv, daß das Auge davon geblendet wird.

Die nähere Untersuchung ergab, daß an dieser eigenartigen Erscheinung zwei Rotalgen beteiligt sind, beide zu der Familie der Delesseriaceae gehörig, nämlich eine Nitophyllum- und eine Taenioma-Art. Diese beiden kommen hier stets miteinander vergesellschaftet vor und zwar ausschließlich an dieser steilen Küste der Insel[1]. Bemerkenswert ist weiter noch, daß die beiden Arten nur zu gewissen Zeiten im Jahre zu finden und zu anderen fast ganz verschwunden sind. Eine ähnliche Erscheinung wurde auch schon im gemäßigten Klima für verschiedene andere Algen wahrgenommen[2]. Wahrscheinlich hängt die Periodizität im vorliegenden Falle von Fortpflanzungs-, sowie klimatischen Verhältnissen ab.

Es sei hier noch kurz etwas über Aussehen und Systematik beider Algen mitgeteilt:

Nitophyllum sp.

Diese wächst in Form ziemlich großer, flacher Polster auf Korallenfelsen, ab und zu auch epiphytisch auf anderen Algen. Der breite, meist flach liegende, hie und da ein wenig in die Höhe wachsende Thallus ist etwa 8 cm lang und 0,5—1 cm breit. Der nicht angeheftete Teil endet in kleinen Auszackungen, so daß er ein geweihartiges Aussehen bekommt. Das Gewebe ist zart und besteht aus 4 Zellschichten; eine Mittelrippe existiert nicht und von einer bestimmten Anordnung der Zellen ist nichts wahrzunehmen. Auf dem Thallus sind die Tetrasporensori mit bloßem Auge als kleine Erhabenheiten zu erkennen, wo sie den oberen Teil der Sprosse wie bei N. punctatum bedecken.

Es war mir nicht möglich, diese Alge mit anderen in den Tropen gefundenen Nitophyllen zu vergleichen[3], da mir erstens kein Vergleichsmaterial zur Verfügung stand und andererseits die vorhandenen Diagnosen zu mangelhaft sind. Am meisten dürfte die von mir gefundene Art mit Nitophyllum tonga-

[1]) Das Farbenspiel habe ich auf den Koralleninseln in der Bucht von Batavia, wo Rotalgen vorkommen, nicht beobachtet; die beiden obengenannten Algen sind dort nicht vorhanden. Die Küste Javas ist überhaupt verhältnismäßig arm an Florideen.

[2]) Vgl. Berthold, G., Über die Verteilung der Algen im Golf von Neapel. — Sonderabdr. a. d. Mitteilg. a. d. zoolog. Stat. zu Neapel. 1882. 3.

[3]) Im Buitenzorger Herbarium existiert nur ein Exemplar von N. erosum; diese Alge stammt nicht aus Java und weicht von obenerwähnter Art erheblich ab.

tense Grun. übereinkommen, doch ist die von Grunow[1] gegebene Diagnose zu unvollständig, um einen genauen Vergleich zu ermöglichen. Svedelius[2] fand an der Küste Ceylons ebenfalls ein Nitophyllum, das er trotz der mangelhaften Diagnose Grunows mit N. tongatense identifizierte und bei dem er ein Irisieren der Thalli beobachtete; ob diese von ihm an dem Korallenriff bei Galle auf Ceylon gefundene Alge mit meinem Material identisch ist, vermag ich nach der Beschreibung von Svedelius nicht zu entscheiden.

Taenioma sp.

Diese Alge habe ich ebenfalls in Ermangelung von Vergleichsmaterial nicht identifizieren können. Sie hat einen abgeflachten, stark gabelig verzweigten Thallus, einen deutlichen Mittelnerv und regelmäßige Anordnung der Zellen. Die Sporangien sind gleichmäßig in zwei Reihen längs dem Mittelnerv ausgebildet. Vielleicht handelt es sich um T. perpusillum, eine von Warburg[3] in den Molukken gefundene Art.

Kultur und Untersuchungsmethode.

Die orientierenden Voruntersuchungen wurden in Tjilatjap ausgeführt und dort auch das Material fixiert. Da es mir darauf ankam, auch lebendes Material einige Zeit beobachten zu können, besonders die Algen aus Sporenmaterial künstlich zu züchten, versuchte ich das Material lebend nach Buitenzorg zu bringen. Dies gelang indessen nur von der ersten Art, während Taenioma sich unter den gegebenen Umständen nicht lange in Kultur halten läßt; ich war also bei dieser Art auf das an Ort und Stelle fixierte und auf ganz junges Material angewiesen.

Die Nitophyllen lassen sich nur gut züchten, wenn man von Sporen ausgeht. Auf diese Weise erhaltene Keimlinge bleiben längere Zeit am Leben und wachsen bis zu einem gewissen Stadium heran, während sich an Ort und Stelle auf-

[1]) Grunow, A., Algen der Fidschi-, Tonga- und Samoa-Inseln, gesammelt von Dr. E. Graeffe. Journal des Museum Godeffroy. Heft VI.

[2]) Svedelius, Nils, Über lichtreflektierende Inhaltskörper in den Zellen einer tropischen Nitophyllum-Art. Sonderabdr. aus Svensk bot. tidskr. 1909. 3. Heft II.

[3]) Vgl. Agardh, Species, Genera et ordines Algarum. II. S. 295.

gefischte Pflanzen nicht gut transportieren lassen und auch in der Kultur bald zugrunde gehen. Das Sporenmaterial stammte aus Thallusstücken, die mit Tetrasporensori besetzt waren. Die Keimung dieser Tetrasporen vollzieht sich leicht in mit Meerwasser gefüllten Glasschalen in etwa 24 bis 30 Stunden. Das Wachstum läßt aber bald zu wünschen übrig, wenn keine weiteren Vorsorgen für die Kultur getroffen werden, da die Ernährung ungenügend wird und das Wachstum aufhört. Dies ist durch ständigen Zusatz der erforderlichen Nährsalze zu vermeiden. Ich verfuhr hierbei nach der Methode der Algenzüchtung von Noll[1] und setzte ab und zu dem Wasser salpetersaures Kali, phosphorsauren Kalk und Jod als Jodkali zu und zwar den phosphorsauren Kalk in Wasser suspendiert und die beiden anderen Salze, denen eine Spur von Eisenvitriol zugefügt war, in Wasser gelöst. Stets wurden nur einige Tropfen davon dem Kulturwasser zugesetzt und das Ganze vorsichtig mit einem Glasstab umgerührt. Die Behälter kamen an einem kühlen, genügend belichteten Ort zur Aufstellung. Die Lichtseite des Gefäßes war mit weißem Papier beklebt, so daß das Hauptlicht von oben einfiel, eine Vorsichtsmaßregel, die besonders am Anfang der Kultur wohl berücksichtigt werden muß. Eine Durchlüftung des Wassers geschah nicht, da sich dies als unnötig erwies. Eine übermäßige Bewegung des Wassers ist überhaupt zu vermeiden, da die auf den Steinen festhaftenden Keimlinge leicht fortgeschwemmt werden, was die Beobachtung unnötig erschwert. Das Meerwasser wurde stets vor dem Gebrauch filtriert, ab und zu erneuert[2] und etwa abgestorbene Keimlinge gleich entfernt.

Auf diese Weise habe ich bis zu vier Wochen alte Pflänzchen erhalten, die eine ungefähre Länge von 2 cm besitzen, durchaus normal aussahen und ein gutes Material für die weiteren Untersuchungen boten. Für die normale Beschaffenheit der Pflanzen unter Kultur sprach der Umstand, daß sie dieselbe Erscheinung des Farbenwechsels bei intensiver Beleuchtung zeigten, als die an Ort und Stelle beobachteten.

[1]) Noll, F., Über die Kultur von Meeresalgen in Aquarien. Flora. 1892.

[2]) Die Erneuerung des Wassers ist meist mit Störungen für die Algen verknüpft und soll daher nur selten geschehen. Vergl. hierzu auch Oltmanns Arbeit in Pringsheims Jahrb. 1892. 23.

Die Untersuchung der Keimlinge wird bedeutend erleichtert, wenn man sie direkt auf den Objektträgern auskeimen läßt, eine Methode, die bereits Nienburg[1] bei der Kultur von Keimlingen von N. punctatum Grev. anwendete. Man bekleidet nämlich den Boden des Kulturgefäßes mit Objektträgern; die aus den Sporangien sich entleerenden Sporen sinken im Wasser auf diese Gläser, setzen sich, wenn sie keimen, auf diesen fest und können dann leicht mikroskopisch untersucht werden.

Die Fixierungs- und Färbungsmethoden bereiteten mir im Anfang einige Schwierigkeiten, da die Struktur der irisierenden Körper durch die Fixierungsmittel leicht verändert wird. Gute Erfolge erzielte ich bei Fixierung mit Jodmeerwasser, wie Berthold sie bereits empfahl. Die anderen Fixierungsmittel, wie Pikrinsäure, Osmiumsäure, Chromsäure usw. verursachen Schrumpfungen der irisierenden Körper. In Jodmeerwasser (Jodblättchen werden in Meerwasser so lange erwärmt, bis sich violette Dämpfe über dem Wasser bilden; das Wasser muß eine hellbraune Farbe besitzen) kommen die Objekte etwa 1 Minute und werden dann in 2% Formalinlösung (Formalin mit Meerwasser verdünnt) so lange ausgewaschen, bis alles Jod verschwunden ist. Auf diese Weise erlangt man Präparate, worin die Chromatophoren, der Zellkern und das Stroma der irisierenden Körper gut fixiert sind. Die Färbung gelingt mittels Hämatoxylinlösung, am besten aber durch die Hämatoxylin-Eosinlösung (Glyzerin und gesättigte, wässerige Eosinlösung werden zu gleichen Teilen gemischt und Hämatoxylinlösung so lange tropfenweise zugesetzt, bis die Fluoreszenz des Eosins verschwunden ist; vor Gebrauch wird die Lösung filtriert). Das Sichtbarmachen der Zellinhaltskörper im Scheitel und in den ganz jungen Keimlingen gelingt am besten mittels des Eisenhämatoxylinverfahrens nach Meves[2]. Die fixierten und gefärbten Präparate halten sich leider nicht lange, da die irisierenden Körper, ebenso wie die Chromatophoren, zerfallen. Dasselbe ist auch bei getrocknetem, Alkohol- und Formalinmaterial der Fall.

Geschichtliches, Lokalisation, Lageveränderungen und Struktur der irisierenden Körper.

Die Beschreibung der irisierenden Körper wird am zweckmäßigsten durch einen kurzen, geschichtlichen Überblick eingeleitet.

Zuerst machte Kny[3] auf eigentümliche, optische Erscheinungen in den Zellen von Chondriopsis coerulescens, die er in Palermo untersuchte, aufmerksam. Er schrieb das von den Zellen dieser Alge ausgesandte bläuliche Licht eigentümlichen

[1]) Nienburg, W., Zur Keimungs- und Wachstumsgeschichte der Delesseriaceen. Botanische Zeitung. 1908. **66**, 184.

[2]) Vgl. Arch. f. mikroskop. Anatomie und Entwicklungsgeschichte. 1907. **70**.

[3]) Kny, Über die Morphologie von Chondriopsis coerulescens Crouan usw. Monatsberichte der Akad. d. Wissensch. zu Berlin. Juni 1870.

Massen zu, die sich in den Zellen befinden und die er mit Tropfen verglich. Er glaubte es zuerst mit einer Fluorescenzerscheinung zu tun zu haben, hat aber anscheinend an dieser Ansicht später nicht mehr festgehalten. Wie interessant die Arbeit Knys auch war, so hat sie über die Natur der fraglichen Körper keinen endgültigen Aufschluß gegeben. Einen wichtigen Fortschritt in dieser Beziehung lieferten dann die schönen Untersuchungen Bertholds[1], der fand, daß das Irisieren einer Anzahl Algen von eigenartigen, in den Zellen befindlichen Körpern verursacht wird. Eingehend beschreibt er seine Beobachtungen besonders bei Chylocladia kaliformis Harv. und kommt zu der Überzeugung, daß diese Eiweißkörper, die er, obwohl von etwas anderer Struktur, auch bei einigen braunen Algen fand, das Licht reflektieren, so als Lichtschirme wirken und »dem von außen zutretenden Licht den Eintritt mit größerem oder geringerem Erfolg verwehren«. Die Arbeit Bertholds ist die einzige, die diese interessanten Erscheinungen eingehender behandelt, doch reichten seine Untersuchungen, wie er auch selbst betont, bei weitem nicht aus, über die Organisation und Entwicklungsgeschichte der lichtreflektierenden Körper Klarheit zu schaffen. Einer weiteren Behandlung der Frage hat sich seit Berthold keiner unterzogen, nur tauchen ab und zu in der Literatur Angaben über das Vorkommen solcher lichtreflektierenden Zellinhaltskörper bei Rot- und Braunalgen auf (Noll[2], Küster[3], Golenkin[4], Klemm[5], Hansen[6], Ernst[7], Bruns[8], Nils Svedelius[9], Wakker[10]). Aus ihren widersprechenden An-

[1]) Berthold, G., Beiträge zur Morphologie und Physiologie der Meeresalgen. Jahrb. f. wiss. Bot. 1882. **13**, 685. Vergl. auch: Über die Verteilung der Algen im Golf von Neapel. Sonderabdr. a. d. Mitteilg. a. d. zoolog. Station zu Neapel. 1882. **3**.

[2]) Ber. d. d. bot. Ges. 1899. **17**, 302—306 und Abh. a. d. Senck. Naturf. Ges. 1887. **15**, 101—159.

[3]) Ber. d. d. bot. Ges. 1899. **17**, 77—84.

[4]) Bull. d. l. Soc. Imp. d. Naturalistes de Moscou. 1894. **8**, 268—270.

[5]) Flora. 1894. **78**, 19—41.

[6]) Mitt. a. d. zoolog. Station z. Neapel. 1895. **11**, 255—305.

[7]) Flora. 1904. **93**, 514—532.

[8]) Ebenda. 1894. **79**, 159—178.

[9]) l. c. S. 138.

[10]) Pringsheims Jahrbücher. **19**, 489.

gaben geht deutlich hervor, wie groß die Unsicherheit auf diesem Gebiete ist.

Betrachtet man intensivem Lichte ausgesetzte Thallusstücke bei schwacher Vergrößerung, so sieht man alle vom Lichte getroffene Zellen stark bläulich aufleuchten, während solche, die durch die eine oder andere Ursache beschattet sind (Thallusunterseite), die gewöhnliche rote Farbe besitzen. Auffallend schön ist diese Erscheinung des Reflektierens, wenn man die Thallusstücke unter einem binokularen Mikroskop betrachtet und mittels eines Spiegels Sonnenstrahlen auf das Objekt fallen läßt. Wird nun durch schwarzes Papier das Licht eine Weile abgehalten, so verschwindet die stahlblaue Färbung verhältnismäßig schnell, um bei längerer Blendung der gewöhnlichen roten oder rotbraunen Färbung Platz zu machen.

Das auffallende Phänomen des Farbenwechsels tritt niemals an toten oder krankhaften Exemplaren auf; dagegen behalten Pflanzen, die während dieses Lichtreflektierens in Formalin konserviert worden sind, diesen Glanz noch teilweise bei. Hieraus geht deutlich hervor, daß die Fähigkeit des Farbwechsels nur der lebenden Pflanze eigen ist.

Wie die weitere Untersuchung zeigt, können nur Zellen der äußersten Schicht das Licht reflektieren, nicht aber die tiefer liegenden.

Schon mit schwacher Vergrößerung ist zu sehen, daß es ganz deutlich umschriebene, milchig trübe Körper in der Zelle sind, die das Licht zurückwerfen und für den eigenartigen, stahlblauen Glanz der Thallusoberfläche verantwortlich zu machen sind.

Diese Körper sind in den verschiedenen Zellen nicht immer gleich groß; neben solchen, die der ganzen Außenwand anliegen und alle weiteren Zellinhaltsstoffe verdecken, finden sich andere, die zwar den größten Teil verdecken, am Rande aber die an den Seitenwänden gelagerten Chromatophoren teilweise frei lassen.

Durch Ausdehnen und Einziehen besitzen die Körper die Fähigkeit, ihre Größe und Form zu wechseln; einmal kugelrund, im nächsten Augenblick gelappt, führen sie eben amöboide Bewegungen aus.

Genaue Betrachtung zeigt, daß die im Lichtschutzstadium

befindlichen Körper nicht homogen sind, sondern eine bestimmte Struktur besitzen (Taf. IX, Fig. 1). In der Masse sieht man deutlich Fäden und kleine und größere Kügelchen; erstere scheinen einmal anzuschwellen, dann wieder dünner zu werden, während die Kügelchen ihren Platz ständig ändern, einmal nach der Mitte, dann wieder nach dem Rande hin gleitend. Da die Kügelchen stärker lichtbrechend sind als die Fäden, sind sie leicht von ihnen zu unterscheiden. Ihre Größe ist verschieden, die kleinen sind nur unter stärkster Vergrößerung wahrzunehmen.

Je länger die Thalli dem intensiven Lichte ausgesetzt sind, um so mehr treten die Kügelchen hervor und scheinen sich zu vermehren, so daß nach einiger Zeit der ganze Körper aus Kügelchen zusammengesetzt erscheint und die Fäden immer mehr verschwinden. Mit diesen Veränderungen geht auch eine Änderung der Dichtigkeit Hand in Hand; je mehr Kügelchen sich bilden, um so undurchsichtiger wird die Masse der irisierenden Körper. Während man anfangs noch die roten Farbstoffkörper hindurchschimmern sieht, verschwinden sie langsam, die Farbe der Zelle wird blasser und bekommt zuletzt den charakteristischen, stahlblauen Glanz, dessen Stärke von der Anzahl und Größe der Kügelchen abhängig ist.

Auffallend sind die in den irisierenden Körpern auftretenden Veränderungen, wenn die Pflanzen aus dem intensiven Licht einer schwächeren Beleuchtung ausgesetzt werden. Schon bei makroskopischer Betrachtung sieht man, wie nach einigen Stunden der stahlblaue Glanz allmählich blasser und blasser wird und die Zellen sich immer mehr röten, bis zuletzt der Thallus die alte, rote Färbung wieder bekommen hat; dies geht mehr oder weniger schnell vor sich. Kräftige, gesunde Pflänzchen bekommen nach 8—10 Stunden wieder ihre alte normale Farbe[1].

Dieses Wiedererlangen der alten normalen Farbe geht mit bestimmten Umlagerungen innerhalb der Zellen Hand in Hand, die sich unter dem Mikroskop an Keimpflänzchen deutlich ver-

[1]) Ich hebe dies besonders hervor, da Berthold bei Chylocladia die Umlagerungen im Zellinnern erst nach viel längerer Zeit eintreten sah, »wohl nicht im Laufe eines Tages«.

folgen lassen. Bereits nach 2—3 Stunden sind in den beschatteten Zellen (das Mikroskop ist so aufzustellen, daß verhältnismäßig wenig, aber zur Beobachtung genügend Licht zu den Objekten hinzutreten kann) gewisse Veränderungen zu beobachten. Die amöboide Bewegung der ganzen Masse der irisierenden Körper beschleunigt sich; während die Kügelchen hin und her gleiten, werden sie größer und ihre Zahl geringer; ich nehme an, daß sie langsam aufgelöst werden. Je mehr sie verschwinden, um so deutlicher treten wieder die Fäden hervor. Die ganze amöboid sich bewegende Masse wird langsam durchsichtiger und hier und dort sieht man die roten Farbstoffkörper hindurchschimmern. Die Fäden werden dicker, scheinen zu quellen und miteinander zu verschmelzen ohne ganz zu verschwinden. Inzwischen ist die ganze Masse kleiner geworden, ein Beweis dafür, daß etwas gelöst oder zerstört worden ist. Der übrig gebliebene Teil wird unter ständiger Bewegung immer mehr gelappt und zerreißt zuletzt, es bilden sich kleine und größere unregelmäßig amöboid sich bewegende Teilchen, die an die Seitenwände der Zelle rücken. Nun sind die Farbstoffkörper an den Seitenwänden deutlich zu sehen (Taf. IX, Fig. 2). Die Zahl, in die die lichtreflektierenden Körper zerfallen, ist eine unbestimmte, kann aber manchmal sehr groß werden. Eine Struktur habe ich an ihnen nicht mehr erkennen können; sie behalten ihre eigenartige, amöboide Bewegung bei und kriechen gewissermaßen zwischen den Farbstoffkörpern, die mehr und mehr an die Außenwand der Zelle rücken, hindurch. Die Chromatophoren besitzen ebenfalls eine deutliche, amöboide Bewegung, senden dabei kleine Pseudopodien aus und ändern ständig ihre Form. An die Außenwand gerückt, bedecken sie diese, sowie die lichtreflektierenden Körperchen vollständig, doch bleiben letztere in der Zelle existieren. Das zeigen nämlich die fixierten und gefärbten Präparate, in denen sie deutlich unter den Farbstoffkörpern liegen (Taf. IX, Fig. 3). Werden die Pflanzen wieder in intensives Licht gebracht, so beschleunigen schon nach einigen Stunden die unterhalb der Farbstoffkörper liegenden, irisierenden Körper ihre amöboiden Bewegungen, verändern ihre Lage und kriechen an den Seitenwänden entlang nach der Außenwand der Zelle. Inzwischen fangen auch die

Chromatophoren an, ihre Lage zu verändern und sich allmählich nach den Seitenwänden zu verschieben, wobei sie lebhafte amöboide Bewegungen ausführen. Die lichtreflektierenden Körper gelangen auf diese Weise wieder an die Außenwand der Zelle, wo sie miteinander verschmelzen und die vorhin erwähnte, dem Lichtschutzstadium eigene Struktur, wiedererlangen. Die Zellen haben damit die Fähigkeit der Lichtreflektion wiedergewonnen.

Die hier oben beschriebenen Vorgänge ließen sich im großen und ganzen auch bei Taenioma sp. verfolgen, nur eignete sich dies Material im allgemeinen nicht so für die Beobachtung der Umlagerungen innerhalb der Zelle, einesteils, weil die Membranen derber und deshalb nicht so durchsichtig und andererseits die Zellen bedeutend kleiner sind. Immerhin habe ich auch hier das Auseinanderfallen der lichtreflektierenden Körper beobachten können, wenn die Pflanzen längere Zeit dem schwächeren Lichte ausgesetzt waren. Ein gänzliches Auflösen derselben findet hier auch nicht statt, da innerhalb des Plasmas immer eine Anzahl Körper von wechselnder Gestalt existieren bleiben, die sich im intensiven Licht miteinander vereinigen und an die Außenwand der Zelle rücken können, wo sie die in der Profilstellung befindlichen Chromatophoren bedecken.

Die beschriebenen Umlagerungen finden nicht in allen Zellen gleichzeitig statt, weshalb auch nicht alle dem Licht ausgesetzte Teile des Thallus gleichzeitig den eigenartigen, stahlblauen Glanz annehmen.

Chemische Natur der irisierenden Körper.

Im vorhinein sei mitgeteilt, daß die beschriebenen Körper der Hauptsache nach aus zwei Bestandteilen zusammengesetzt sind und zwar aus einem ständig in der Zelle anwesenden Körper und einem anderen, mehr oder weniger flüssigen Körper, der unter Einfluß des intensiven Lichtes darin gebildet wird, um bei schwachem Licht wieder zu verschwinden. Läßt man auf einen im Lichtschutzstadium befindlichen Körper Jodseewasser einwirken, so färben sich die Fäden hell-, die Kügelchen dagegen dunkelbraun bis schwarz; sind die Körper dagegen im schwachen Licht auseinander gefallen, so tingieren sich die

unterhalb der Chromatophoren befindlichen Teile derselben hellbraun.

Süßes Wasser löst die Kügelchen schnell, den übrigen Körper aber unter Quellung langsam auf.

Osmiumsäure färbt die ganze Masse der irisierenden Körper schwarz.

Salpetersäure löst zuerst die Kügelchen, dann allmählich auch die inzwischen sich gelb färbenden Teile.

Millons Reagens löst die tröpfchenartigen Einschlüsse schnell, den übrigen ziegelrot sich färbenden Körper allmählich auf.

Nach Behandlung mit Osmiumsäure, Jod, Sublimat und Alkohol werden die irisierenden Körper auch in süßem Wasser nicht mehr aufgelöst.

Der Hauptbestandteil der irisierenden Körper besteht aus eiweißartigen Substanzen, die das Stroma darstellen, worin unter Einfluß des intensiven Lichtes ein anderer Körper, dessen chemische Natur nicht bestimmt werden konnte, gebildet wird.

Entwicklungsgeschichte.

Über die Entwicklungsgeschichte der Lichtschutzorgane bei den Algen ist noch nichts bekannt. Berthold[1], dem es schon auffiel, daß sie frühzeitig gebildet werden, sagt darüber: »Bemerkenswert für alle diese Bildungen, deren Zahl bei näherer Berücksichtigung sich wohl noch vermehren dürfte, ist, daß sie auffallend konstant vorkommen und schon sehr frühzeitig in den noch jugendlichen Zellen in der Nähe der Scheitel angelegt werden, ein Umstand, der für eine wesentliche Funktion derselben im Leben der betreffenden Zellen spricht«.

Für das nähere Verständnis der hier folgenden Tatsachen seien einige Bemerkungen über die Entwicklung des Thallus mitgeteilt, wobei ich mich kurz fassen kann, da die Entwicklung des hier in Frage kommenden Nitophyllums im ganzen mit der von N. Sandrianum (Zanard.) Crouan., wovon Nienburg[2] eine ausführliche Beschreibung gegeben hat, übereinstimmt.

Nitophyllum sp. besitzt zeitlebens eine regelmäßige Scheitelzelle, welche durch eine horizontale Scheidewand in eine neue

[1]) l. c. S. 708.
[2]) l. c. S. 188.

Scheitel- und eine Segmentzelle geteilt wird. Letztere wird durch eine vertikale Wand in zwei Zellen geschieden, deren eine sich wieder durch eine vertikale Wand in zwei weitere Zellen teilt, so daß im ganzen drei Zellen entstanden sind. Hiermit hat der Thallus eine Zentral- und zwei Randzellen bekommen (Taf. IX, Fig. 4). Letztere bekommen nun in jedem Segment durch eine schräg verlaufende Scheidewand eine neue, sekundäre Scheitelzelle von dreieckiger Gestalt, die gelegentlich, wenn sie weiterwächst, zur Entstehung eines Seitenzweiges führen kann. Für weitere Einzelheiten verweise ich auf die Figuren und Erklärungen von N. Sandrianum bei Nienburg.

Untersucht man nun die von Anfang an dem Lichte ausgesetzten Scheitel von Nitophyllum sp., so sieht man folgendes: Der Zellkern, der der äußeren, konvexen Wand der Scheitelzelle dicht anliegt, ist scheibenförmig und verhältnismäßig klein. An der unteren, konvexen Wand liegen eine Anzahl kleiner, langgestreckter, spindelförmiger, häufig etwas gekrümmter und an den Enden etwas zugespitzter Körper von wechselnder Größe und Zahl, die anscheinend das Vermögen besitzen, sich durch Teilung zu vermehren. Ich schließe dies daraus, daß in manchen Präparaten eine deutliche Längsstreckung und Einschnürung der Körper in der Mitte wahrzunehmen ist und die Zahl dieser Gebilde in den unter der Scheitelzelle liegenden Zellen größer geworden ist. Kleine Lageveränderungen dieser Körper, die noch keine amöboide Bewegung besitzen, sind wahrscheinlich den Plasmaströmungen zuzuschreiben. Die meisten dieser Gebilde zeigen in lebendem Zustand auch mit der stärksten Vergrößerung keine Struktur und sind anscheinend homogen. Die wenigen Fälle, in denen ich eine feine Punktierung an fixierten und gefärbten Präparaten wahrzunehmen glaubte, genügen nicht, um das Vorhandensein einer Struktur mit Sicherheit anzunehmen.

Kurz unterhalb der Scheitelzelle sieht man, wie einige dieser Körper stark an Größe zunehmen und zu Farbstoffkörpern werden, indem sie sich allmählich blaßrot, später dunkler färben, wobei sie die chararakteristische, gelappte Form annehmen. Die anderen ungefärbten Körper bleiben an Größe zurück, behalten ihre spindelförmige Gestalt aber bei und lagern sich meist unterhalb der nun deutlich ausgebildeten Farbstoffkörper.

Die Randzellen enthalten die meisten Chromatophoren und spindelförmigen Körper, die Zentralzellen dagegen nur wenige.

Verfolgen wir die Entwicklung der spindelförmigen Körper in den Randzellen, so zeigt sich, daß sie sich allmählich abrunden und anschwellen (Taf. IX, Fig. 5). Die in der Scheitelzelle noch wie feste Körper aussehenden Gebilde werden in den Randzellen, nachdem sie stark gequollen sind, mehr durchsichtig, zähflüssig und bekommen die Fähigkeit, langsame amöboide Bewegungen auszuführen. Sie haben hiermit ihre volle Entwicklung erreicht und sind zu lichtreflektierenden Körpern geworden, die unter Einfluß des intensiven Lichtes an die Außenwand der Zelle rücken, hier miteinander verschmelzen können und die bekannte, dem Lichtschutzstadium eigene Struktur erlangen.

Die Scheitelzellen der Taenioma sp. habe ich nicht auf das Vorhandensein der spindelförmigen Körper untersuchen können, da es mir vorläufig nicht gelang, den hier im Gewebe eingebetteten Scheitel ohne Beschädigung heraus zu präparieren, doch nehme ich an, daß hier dieselben Verhältnisse vorliegen, als bei der vorhergehenden Art.

Wichtig für die Entwicklungsgeschichte der irisierenden Körper ist die Untersuchung der Tetrasporen und deren Keimung. Es gelingt unschwer, die auf einem Objektträger aufgefangenen Sporen bei starker Vergrößerung zu untersuchen, um die Keimung unter dem Mikroskop zu verfolgen.

Die Sporen von Nitophyllum sp. sind gelbliche, durchsichtige, runde Gebilde, die anscheinend nur Plasma und keine anderweitigen Inhaltskörper besitzen. Übt man dagegen einen gelinden Druck auf sie aus, so bewegen sich im Innern durchsichtige und daher schwer wahrnehmbare, kleine Körper, deren Form erst an fixiertem und gefärbtem Material deutlich wird. Es sind ähnliche, spindelförmige Gebilde, wie wir sie schon in den Scheitelzellen antrafen (Taf. IX, Fig. 6). Teilungsstadien sind an mit Jodseewasser fixierten und nach dem Mevesschen Eisenhämatoxylinverfahren gefärbten Präparaten deutlich zu erkennen.

Wenn die Tetraspore sich zur Keimung anschickt, streckt sie sich etwas in die Länge und bildet eine Zwischenwand,

wodurch zwei Zellen, eine größere obere und eine kleinere untere, entstehen. Aus der oberen geht der Scheitel hervor, während aus der unteren die Rhizoiden gebildet werden. Wenn die Spore anfängt sich zu strecken, wird das Plasma durchsichtiger, die spindelförmigen Gebilde sind deutlicher wahrnehmbar, sammeln sich in der Mitte der Zelle und lassen an der Wand den scheibenförmigen Kern frei. Nach der Teilung der Zelle findet man die inzwischen etwas vergrößerten und mehr in die Länge gestreckten Körperchen nur in der oberen Zelle, während die untere, deren Plasma bedeutend durchsichtiger geworden ist, sie nicht aufweist. Nach 2—3 Tagen hat die obere Zelle sich bereits in vier neue Zellen geteilt, die durch horizontal verlaufende Membranen voneinander getrennt sind, so daß die Zellen also übereinander zu liegen kommen. Die untere Zelle teilt sich inzwischen ebenfalls, doch hören hier die Teilungen bald auf. In den vier oberen Zellen sehen wir wieder die spindelförmigen Körper in verschiedener Anzahl vorhanden. Vier und fünf Tage alte Keimlinge zeigen bereits eine typische Scheitelzelle und durch Teilung in vertikaler Richtung den Beginn einer Differenzierung von Rand- und Zentralzellen, mit den charakteristischen spindelförmigen Körpern, deren Umwandlung in Lichtschutzkörper genau so vor sich geht, wie schon oben beschrieben.

Um den Einfluß des Lichtes auf die Entwicklung der Chromatophoren sowie irisierenden Körper zu illustrieren, sei folgendes mitgeteilt:

Läßt man Keimlinge an einem halbdunklen Ort stehen, so entwicklen sie sich ebenso rasch, wie die gut belichteten; allein die Chromatophoren behalten lange ihre spindelförmige Gestalt bei und färben sich nicht rot. Auch die anderen spindelförmigen Körper werden bei Mangel an Licht nicht weiter ausgebildet. Sie behalten im Dunklen ihre spindelförmige Gestalt, ändern sich aber, sobald Licht auf sie einwirken kann, indem sie anschwellen, rund werden und wie die Chromatophoren die charakteristische, amöboide Bewegung bekommen.

Die Tetrasporen von Taenioma sp., die ich an Ort und Stelle fixiert habe, zeigen in ihrem Plasma dicht um den Kern 4—8 langgestreckte, fadenartige Körper gelagert, deren viele

eine deutliche Einschnürung und somit wahrscheinlich Teilungsstadien zeigen. Diese Körper, die wir als die Anlagen der irisierenden Körper und Chromatophoren betrachten müssen, weichen also wesentlich von denen der vorigen Art ab.

Als wichtiges Ergebnis dieser Untersuchung betrachte ich die Tatsache, daß farbstoff- und lichtreflektierende Körper aus gemeinsamen Anlagen hervorgehen, also genetisch zusammengehören. Es tritt eine frühzeitige, für die Pflanze von großer Bedeutung gewordene Arbeitsteilung ein.

Die Anlagen der Lichtschutzkörper und Chromatophoren sind wahrscheinlich als Leukoplasten zu betrachten, die von der Mutterpflanze übernommen werden. Die Annahme, daß irisierende und Farbstoffkörper stets neu gebildet werden, die spindelförmigen Körper, woraus sie gemeinsam hervorgehen, also als Chondriosomen zu betrachten sind, muß vorläufig von der Hand gewiesen werden, da die Körper mit den bisher bekannt gewordenen Chondriosomen, trotz ihrer Färbbarkeit nach dem Mevesschen Verfahren, nichts Gemeinsames haben.

Vergleiche meiner Befunde mit denen anderer Beobachter.

Obwohl ich hier nur die Verhältnisse bei zwei verschiedenen Algen schildern konnte, glaube ich, von kleineren Abweichungen abgesehen, daß Struktur, Lageveränderungen und Entwicklung der lichtreflektierenden Körper, auch bei den anderen Algen mit irisierenden Körpern dieselben sein werden.

Alle früheren Beobachter haben übereinstimmend bemerkt, daß die Lichtschutzkörper aus kleineren Teilen zusammengesetzt sind. Kny spricht bei Chondriopsis coerulescens von eigentümlichen, gelblichen Massen, die in der Zelle suspendiert sind und Berthold, der sie näher untersuchte, vergleicht sie mit feinkörnigen Konglomeraten; die Zeichnung, die er von ihnen gibt (Taf. XXII, Fig. 7), läßt kaum einen Zweifel bestehen, daß er mit gleichartigen Körpern zu tun hatte wie ich. Bei Chylocladia kaliformis fand er in der Masse der im Lichtschutzstadium befindlichen Körper »dichtgedrängte, homogene, kreisförmige Körperchen« (vgl. Taf. XXII, Fig. 8). Er beobachtete gleich mir die sich im Lichtschutzstadium befindenden Körper aus Fädchen aufgebaut, bezeichnet sie als Lamellen und

bildet sie in Fig. 11 derselben Tafel ab. Zwischen diesen Lamellen sind die homogenen Körperchen gelagert. Ebenso aus feinkörnigen Massen zusammengesetzt fand Berthold die Lichtschutzkörper bei Chylocladia tenuissima, Scinaia furcellata, Polysiphonia platyspira, Wrangelia penicillata, sowie auch bei den Braun- und grünen Meeresalgen, besonders bei den Bryopsis-Formen. Von Arten dieser Gattung gibt Berthold eine Beschreibung der Lichtschutzorgane, die Ähnlichkeit mit den von mir beschriebenen deutlich aufweisen, indem er sagt: »Beobachtet man die lebende Pflanze bei starker Vergrößerung, so sieht man die Körnchen meist fortwährend, aber mit sehr ungleicher Geschwindigkeit, ihre Gestalt und ihren Ort wechseln; die Anastomosen unterbrechen sich, längere Fäden zerfallen in einzelne Stücke usw.«

Man vergleiche weiter, was Berthold über die Lageveränderungen der Lichtschutzkörper von Chylocladia, wenn diese Pflanze stärkerer Beleuchtung ausgesetzt wird, mitteilt.

In einem Punkt weichen meine Beobachtungen von denen Bertholds ab, wenn er sagt: »Die Platten sind, wenn die Lichtintensität hinreichend schwach war, schon am dritten bis vierten Tage vollständig verschwunden, sie sind an den Seitenwänden oder auch an ihrem ursprünglichen Platze allmählich aufgelöst worden. Ihre Substanz wird, wie ich vermute, zur Neubildung resp. zum Wachstum der Farbstoffkörper verwendet«. Ich habe bereits ausdrücklich darauf hingewiesen, daß nach meinen Beobachtungen ein gänzliches Auflösen der lichtreflektierenden Körper niemals stattfindet, sondern daß nur die stark lichtreflektierenden Kügelchen derselben verschwinden und aufgelöst werden, während die Träger nach den Seitenwänden der Zelle wandern.

Daß die Lichtschutzkörper der Algen alle hauptsächlich proteïnartiger Natur sind, geht schon aus den Beobachtungen von Kny, Svedelius und Berthold hervor.

In diesem proteïnartigen Körper, dem Stroma, fand ich stark lichtreflektierende Kügelchen von einer anderen chemischen Beschaffenheit. Dasselbe scheint bei Chylocladia auch der Fall zu sein, da Berthold die Reaktion der »Lamellen« und der »homogenen Körperchen« als verschieden bezeichnet.

Das Reflektionsphänomen und seine biologische Bedeutung.

Wie Berthold bewies, wirken die irisierenden Körper der Florideen als Lichtreflektoren, wodurch die Annahme von Kny, es handele sich um eine Fluorescenzerscheinung, hinfällig geworden ist. Meine Untersuchungen haben ebenfalls gezeigt, daß die irisierenden Körper nicht imstande sind, das auffallende Licht zu ändern und wir es mit einem Reflektionsphänomen zu tun haben. Im vorliegenden Fall sind es, wie auch bei den meisten anderen Florideen mit irisierenden Körpern, vorwiegend die stärker brechbaren Strahlen, die am meisten zurückgeworfen werden, was auch den bläulichen Glanz der Körper erklärt.

Berthold hebt diese Tendenz, den stärker brechbaren Strahlen den Eintritt in die Zelle zu verwehren, besonders hervor und glaubt diese Erscheinung mit der Pringsheimschen Lichtschirmtheorie[1] in Verbindung bringen und darin eine neue Stütze für diese unhaltbare Theorie erblicken zu müssen.

Meiner Ansicht nach verhält sich die Sache bedeutend einfacher und physikalisch leicht erklärlich. Daß vorwiegend die stärker brechbaren Strahlen zurückgeworfen werden, liegt in der ganzen Organisation der irisierenden Körper begründet. Das durch sie verursachte Phänomen beruht auf einer Schwächung des Lichtes durch sogenannte Zerstreuung oder diffuse Reflektion, wie sie durch trübe Medien hervorgerufen werden. Als solche bewirkt z. B. die Atmosphäre eine diffuse Reflektion und werden von den durchgehenden Strahlen am meisten die violetten und blauen geschwächt, am allerwenigsten die roten. Daß durch trübe Medien die Zerstreuung des Lichtes von den lang- nach den kurzwelligen wächst, hat Lord Rayleigh[2] physikalisch erklärt. Nach ihm werden in trüben Medien die Strahlen im umgekehrten Verhältnis zur vierten Potenz der Wellenlänge zerstreut, natürlich vorausgesetzt, daß die trübenden Teilchen durchsichtig und kleiner als die Wellenlänge der Strahlen sind. Fällt also in ein trübes Medium, z. B. eine Emulsion, weißes Licht

[1]) Jahrb. f. wiss. Bot. (Pringsh.). 1879—1881. **12.**

[2]) Lord Rayleigh, On the Light from the Sky, its polarisation and colour. Sonderabdr. aus Philos. Magaz. 1871. **41.** Vgl. ferner die Darstellung der Theorie von Rayleigh bei Stahl: Zur Biologie des Chlorophylls, Laubfarbe und Himmelslicht, Vergilbung und Etiolement. Jena. 1909.

ein, so wird es eine bläuliche Farbe haben, da im zerstreuten Licht die kürzeren Wellenlängen vorherrschen.

Tatsächlich sind die irisierenden Körper der Florideen nach dem Prinzip der trüben Medien aufgebaut, nämlich aus einem Stroma, worin sich sehr kleine Kügelchen befinden, was den bläulichen Glanz der Körper erklärt.

Das von den irisierenden Körpern reflektierte Licht ist nun aber nicht immer gleich, was auch Berthold bereits hervorgehoben hat, sondern einmal mehr, dann wieder weniger blau. Diese Erscheinung hängt von der Größe der Teilchen ab, die, wie wir gesehen haben, wechselt. Je größer die Teilchen sind, um so mehr werden alle Wellenlängen reflektiert und um so weißer erscheint das zerstreute Licht. Berthold glaubt die Rolle der irisierenden Körper nur in einem Reflektieren des intensiven Lichtes sehen zu müssen, wobei er wahrscheinlich nur die chemische Wirkung des Sonnenlichtes im Auge hatte. Wir wissen aber durch Untersuchungen von Stahl[1], Sirodot[2], Oltmanns[3] u. a., daß auch die thermische Wirkung des Lichtes einen schädlichen Einfluß auf den Thallus ausübt und hierdurch schon eine Verfärbung der Farbstoffkörper hervorgerufen werden kann. Die irisierenden Körper beugen, indem sie dem Licht zum Teil den Eintritt verwehren, außerdem einer übermäßigen Erwärmung der Zelle vor.

Aus den Ergebnissen meiner Untersuchungen geht hervor, daß die Annahme Hansens[4], es handele sich bei den irisierenden Körpern nur um einfache Reservesubstanzen, hinfällig geworden ist. Mit Recht wies Oltmanns[5] schon auf die geringe Wahrscheinlichkeit von Hansens Anschauung der Sache hin.

Das Ergebnis der vorliegenden Untersuchungen sei im Nachstehenden kurz zusammengefaßt:

Die an der Südküste der Insel Noesa Kambangan gefundenen Florideen (Nitophyllum sp. und Taenioma sp.) zeigen im

[1]) Ebendort. S. 108.

[2]) Les Batrachospermes. Paris. 1884.

[3]) Oltmanns, Fr., Morphologie und Biologie der Meeresalgen. Jena. 1905. 3.

[4]) l. c.

[5]) l. c. Allgemeiner Teil. S. 199.

intensiven Licht einen eigenartigen, stahlblauen Glanz, welcher wenn die Algen dem schwächeren Lichte ausgesetzt werden, allmählich verschwindet.

Dieser Glanz, der auch bei vielen anderen Florideen von verschiedenen Forschern beobachtet wurde, wird durch irisierende Körper in den Zellen hervorgerufen.

Sie haben das Vermögen, sich phototaktisch zu bewegen, sind positiv phototaktisch und gleiten bei intensivem Lichte nach der Außenwand der Zelle, wo sie wie eine Art Vorhang wirken.

Die Chromatophoren zeigen ebenso wie die irisierenden Körper amöboide Bewegungen und sind negativ phototaktisch; sie gehen bei intensivem Licht in die Profilstellung.

Die irisierenden Körper sind proteïnartiger Natur von einer bestimmten Struktur; in ihnen entstehen unter Einfluß starken Lichtes kleine, kugelartige Gebilde, die wahrscheinlich ein Assimilationsprodukt darstellen und die eigentliche Ursache des Irisierens sind.

Bei diffuser Beleuchtung verschwinden diese Kügelchen und die Träger derselben ziehen sich an die Seitenwände der Zelle zurück. Das Stroma der irisierenden Körper wird also nicht zerstört, sondern hat das Vermögen bei intensiver Beleuchtung wieder an die Außenwand zu wandern, wo unter Einfluß des Lichtes die Kügelchen wieder von neuem gebildet werden.

Die irisierenden Körper gehen mit den Chromatophoren aus gemeinsamen Anlagen hervor. Diese stellen kleine, spindelförmige Körperchen dar, die man in den Scheitelzellen und auch bereits in den Tetrasporen findet. Schon frühzeitig tritt eine Arbeitsteilung ein, indem einzelne sich zu Chromatophoren, andere zu irisierenden Körpern entwickeln.

Letztere wirken wie Lichtreflektoren, wahrscheinlich nicht allein um dessen chemische, aber auch um die thermische Wirkung abzuschwächen.

Dieses Reflektieren wird nach einem einfachen, physikalischen Prinzip bewirkt, nämlich nach dem der trüben Medien. Der Bau der im Lichtschutzstadium befindlichen Körper entspricht diesem Prinzip, wodurch vorwiegend die kurzwelligen Strahlen,

also die blauen, zerstreut werden und so das von den Körpern reflektierte Licht eine bläuliche Farbe besitzt.

Buitenzorg, Botanische Laboratoria s'Lands Plantentuin. Januar 1913.

Erklärung der Abbildungen.

Fig. 1. Randzelle von Nitophyllum sp. mit im Lichtschutzstadium befindlichen irisierenden Körpern. Vergr. 1600.

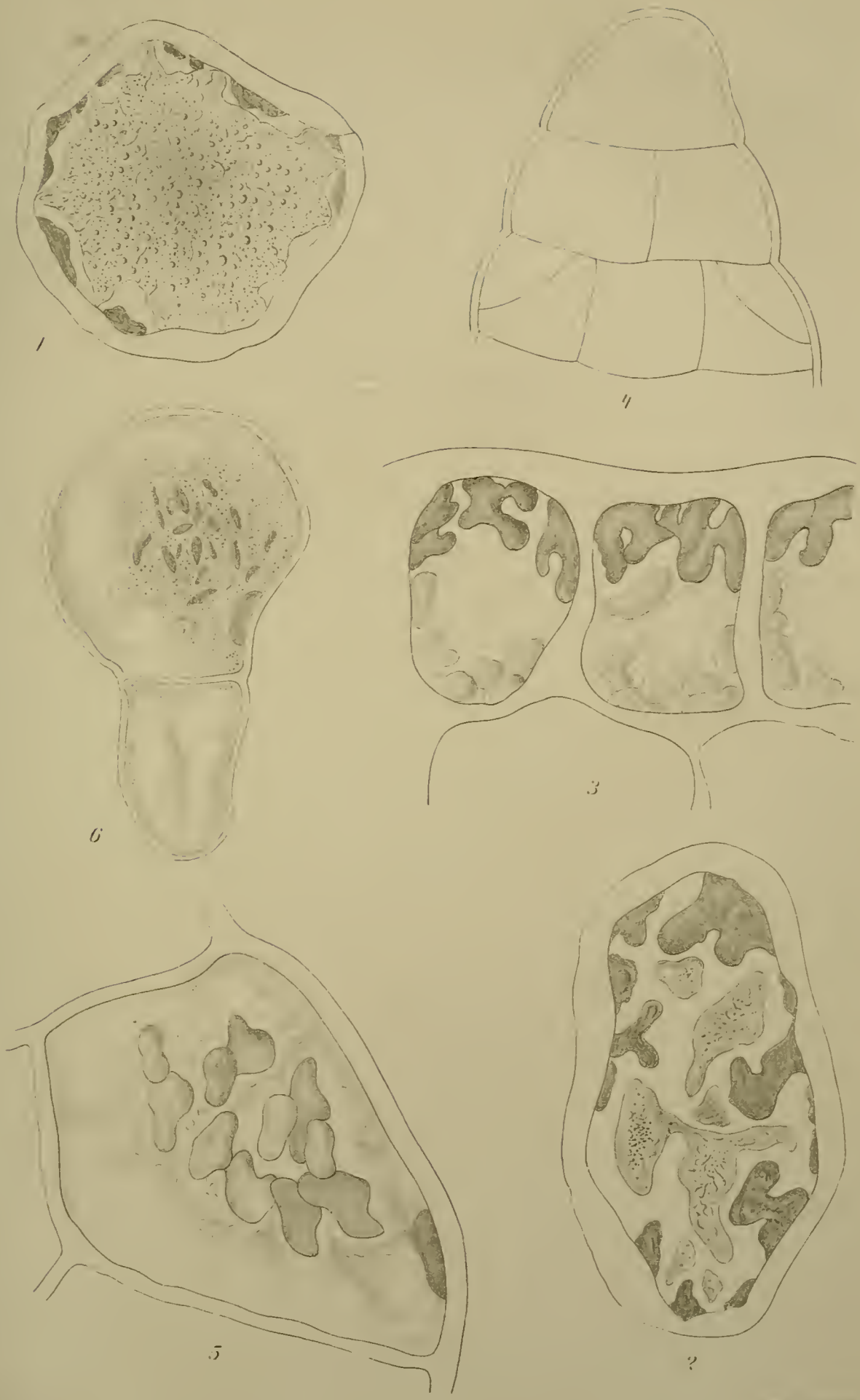
Fig. 2. Randzelle von Nitophyllum sp. Zerreißen der irisierenden Körper und Hervorkriechen der Chromatophoren. Vergr. 1600.

Fig. 3. Randzellen von Nitophyllum sp., im Querschnitt gesehen; Anordnung der Chromatophoren und irisierenden Körper bei einer beschatteten Pflanze. Vergr. 1600.

Fig. 4. Scheitel von Nitophyllum sp., Rand- und Zentralzellen. Vergr. 1200.

Fig. 5. Randzelle von Nitophyllum sp. mit Anlagen von Chromatophoren und irisierenden Körpern. Vergr. 1600.

Fig. 6. Junger Keimling von Nitophyllum sp. mit Anlagen der Chromatophoren und irisierenden Körper. Vergr. 1600.



Verlag von Gustav Fischer in Jena.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Zeitschrift für Botanik

Jahr/Year: 1913

Band/Volume: 5

Autor(en)/Author(s): Faber Friedrich Carl von

Artikel/Article: Über die Organisation und Entwicklung der irisierenden Körper der Florideen. 801-820