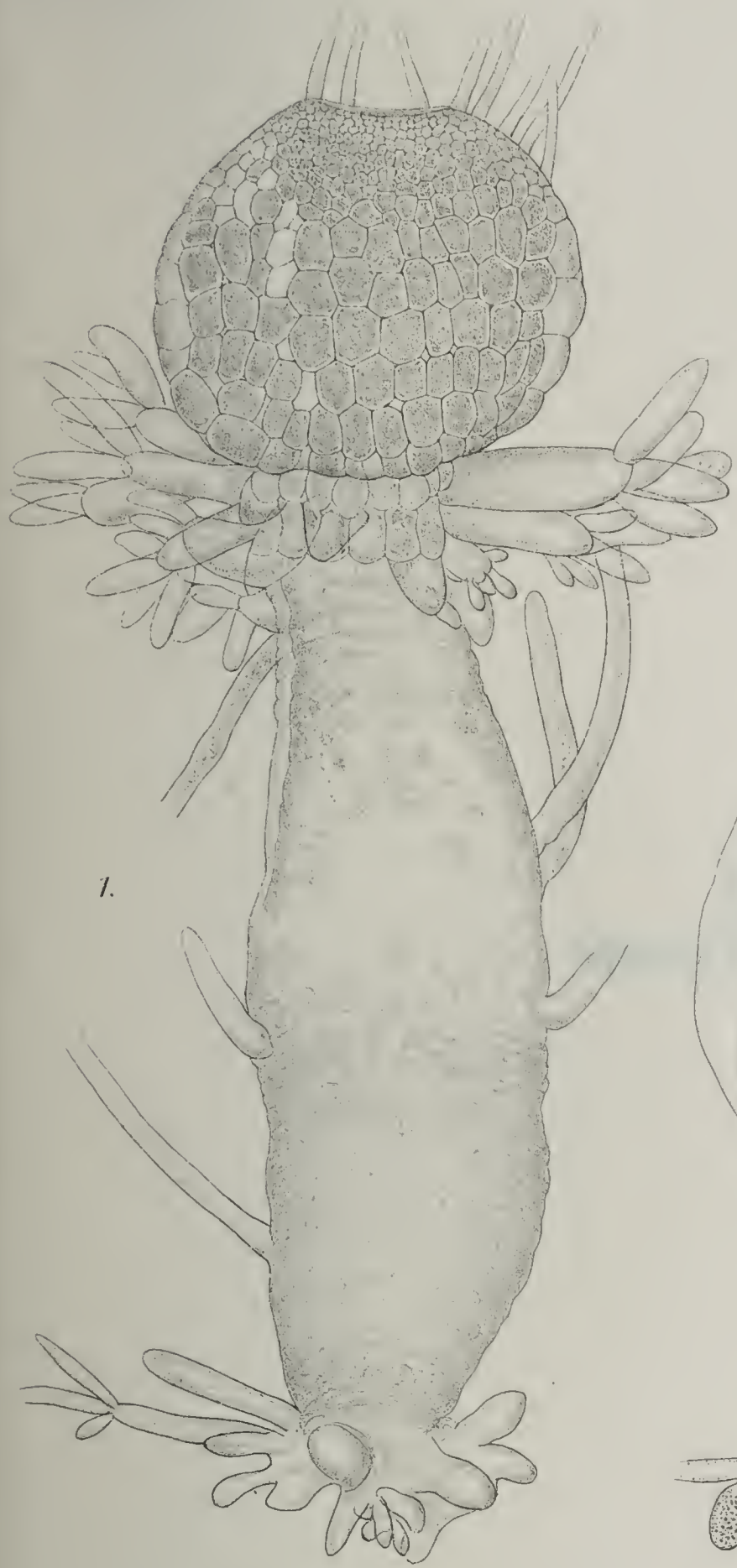
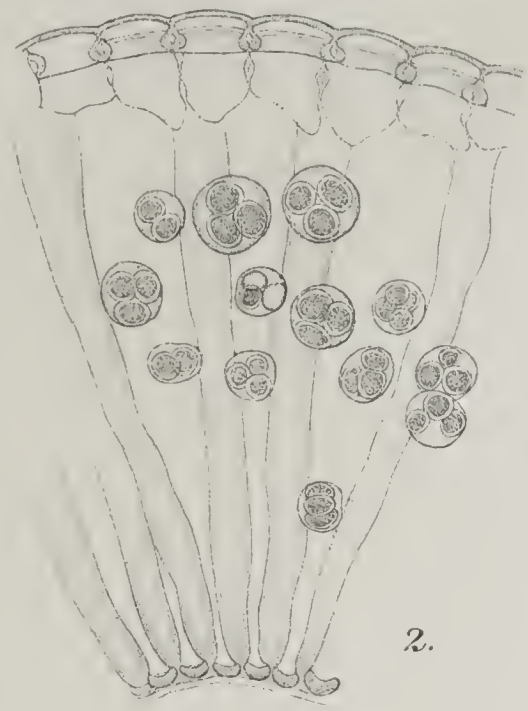


1.

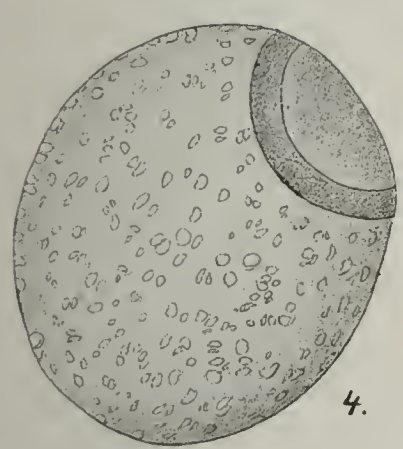


2.

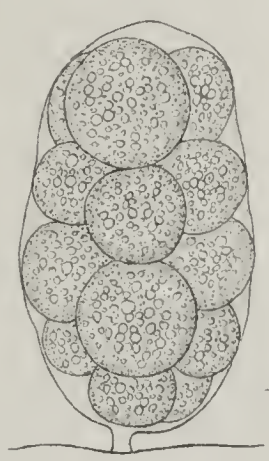
3.

A

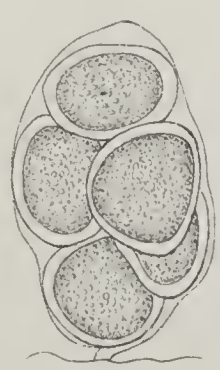
5.



4.



B



C

Arnoldi gez.

E. Laue Lith. Inst. Berlin.

Verlag von Gustav Fischer in Jena.

Algologische Studien. Zur Morphologie einiger Dasycladaceen (Bornetella, Acetabularia).

Von **W. Arnoldi.**

(Mit Tafel V und 16 Abbildungen im Text.)

Auf den Korallriffen, welche die zahllosen Inseln des Malayischen Archipels umgürten, wachsen zahlreiche Vertreter der grünen Algen aus der Gruppe der Siphoneen und Siphonocladiaceen. Alle diese Gattungen bilden eine für die Tropenmeere höchst charakteristische Vegetation, welche namentlich der Ebbe- und Flutregion zuteil kommt. Im seichten Wasser, das während der Ebbe am Ufer zurückbleibt und von den glühenden Sonnenstrahlen durchwärmt wird, findet man Caulerpa-Arten; sie kommen auf sandigem Boden vor, überall, wo derselbe sich zwischen den Korallmassen ansammelt; die winzigen Arten dieser Gattung besiedeln auch Korallgestein. Auf schlammigem Boden gedeiht die massive Art Aurainvillea durch dicke Stämmchen ausgezeichnet, an denen die fächerartig verzweigten oberen Thalluszweige sich verbreiten. Die Halimeda-Arten wachsen sowohl auf Sand als im Schlamm, ganze Formationen bildend. Ihnen auf Sandboden beigesellt findet man das Meeresnetz — Microdictyon. Auf Gestein findet man verschiedene Dascycladaceae: Acetabularia und Polyphysa (besonders üppige Formationen längs dem Ufer gewisser Inseln der Insulinde). Mit ihnen zusammen trifft man Boodlea, Struvea aus den Siphonocladiaceen, Valonia, Halicystis und Dictyosphaeria aus den Valoniaceen; letztere siedeln sich auf Sandboden an. Bornetella und Neomeris steigen gewöhnlich tiefer als ihre Verwandten längs den Riffen herunter.

Alle diese Arten sind mehrfach von Systematikern und Morphologen untersucht worden. Die morphologische Forschung läßt aber noch viel zu wünschen, da zum Studium ausschließlich trockene Algen aus Herbarien und Alkoholmaterial benutzt wurde. Diese Lücke zu füllen versuchte ich während meiner vorjährigen Reise nach dem Malayischen Archipel, indem ich verschiedene Vertreter der Siphonales und Siphonocladiales mit Hilfe der jetzigen Fixierungsmittel u. a. untersuchte.

Ich fange mit den Dasycladaceaen an: Bornetella und Acetabularia. Während Neomeris und Bornetella nah verwandt sind, nimmt Aceta-

bularia, die etwas anders gebaut ist, eine gesonderte Stellung ein Über die Verbreitung genannter Arten treffen wir folgende Angaben an. Aus der Gattung Acetabularia kommt nur die Art A. mediterranea in der gemäßigten Zone vor, alle übrigen sind Bewohner der Tropenmeere. Das selbe gilt für sämtliche Neomeris- und Bornetella-Arten. Neomeris annulata (Dickie) stammt aus Westindien, den Bermuda-Inseln, Madagaskar, dem Malayischen Archipel (überall), den Freundschaftsinseln, Bolivien (Howe I); andere haben einen begrenzten Verbreitungskreis. Z. B. ist Bornetella oligospora Solms nur an wenigen Stellen des Malayischen Archipels gefunden worden (durch Frau Weber van Bosse und mich), Bornetella capitata ist eine ausgesprochen östliche Form aus den Freundschaftsinseln, dem östlichen Teile des Malayischen Archipels (Arnoldi, Beccari), Riu Kiu (Okamura). Acetabularia caraibica ist in der neuen und der alten Welt heimisch (Solms II, meine Funde), einige andere Acetabulariaarten, z. B. Acetabularia calyculus Quoy et Gaimard sind rein australische Einwohner (Solms II).

Bornetella oligospora Solms fand ich auf den Korallriffen der 1000 Inseln (zwischen der SO.-Küste Sumatras und NW.-Küste Javas). Solms, der die Alge zuerst beschrieb, erhielt sie von Frau Weber van Bosse aus der Insel Flores (östlich von Java), aus Makassar (J. Celebes) und Neu-Guinea (Beccari). Nach Solms ist sie B. nitida Mun. Chalm nahe verwandt und unterscheidet sich von ihr durch die Zahl der Sporangien. Cramer (I, II, III) beschrieb ausführlich die verticillierten Siphoneen: Neomeris, Cymopolia, Bornetella und Halicoryne und jede weitere Untersuchung muß von der klassischen Beschreibung des Züricher Botanikers ausgehen. Die Arbeit Cramer's setzte Solms fort. Ich erlaube mir die Angaben Cramer's und Solms' nicht ausführlich zu wiederholen. Wenn aber in meiner Beschreibung Stellen vorkommen, die bei obengenannten Botanikern schon vorhanden sind, so entschuldigt mich einigermaßen das hohe Interesse, das betreffende Siphoneen erwecken, und der daraus entspringende Wunsch, überall ein möglichst vollständiges Bild zu geben.

Die von mir gesammelten Exemplare von Bornetella oligospora Solms stellten etwas gebogene walzenförmige Pflänzchen dar, bis 30 mm hoch und ungefähr 5 mm dick — im dicksten Teile des Thallus. Die Basis bildet ein kleiner Fuß (siehe Solms I, Pl. X, f. 1) — die Spitze der Alge ist abgerundet (Textfig. 1). Die jungen Exemplare gaben mir ein Bild der Entstehungsweise des Thallus. Cramer (II) hat zwar die Spitze von Bornetella nitida abgebildet, doch ist seine Schilderung wegen Mangel

an Material lückenhaft. Die Spitze einer wachsenden Bornetella ist etwas ausgehöhlt und von haarartigen Auswüchsen der nächsten Rindezellen bedeckt. Solche Haare bestehen aus einer dicken Basalzelle und aus dichotomisch verzweigten Fäden; die Endzellen der Fäden sind sehr zart, dünn bewandet und mit grobem, körnigem Protoplasma versehen. Das obere Ende der großen Zentralzelle ist flach oder etwas gewölbt und in der nächsten Nähe entspringt der erste Zweigwirtel. Jeder Zweig bildet nach 3—4maliger Teilung obengenannte Härchen. Wie aus beiliegender Zeichnung zu ersehen ist (Textfig. 2) stehen diese Zweige auf gewissem Abstande und berühren sich auf den jüngeren Stadien keineswegs. Die jüngsten Wirtel stehen senkrecht, die späteren krümmen sich dermaßen, daß ihre gebogenen Spitzen eine Art Gewölbe über der ausgehöhlten Stammspitze bilden. Da diese Spitzen noch üppig verzweigt sind, ist der Ver-

Fig. 1.

Fig. 1. Bornetella oligospora. Photographische Aufnahme. Nat. Größe.

Fig. 2. Bornetella oligospora. *A* Junge Äste auf dem Scheitel der Zentralzelle. *B* Junge Seitenäste die erste Rindenanlage bildend; sie tragen noch mehrzellige verzweigte Haare. *C* Haarnarben auf den Rindenzellen.

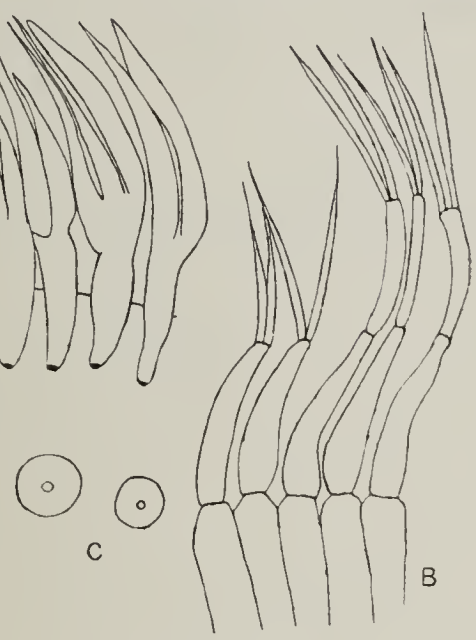


Fig. 2.

schluß der Stammspitze ein vollkommener und wird also etwaiger Schädigung des Vegetationspunktes vorgebeugt. Später wächst der Basalteil des Zweiges in die Länge, während das Wachstum der Verzweigungen nach allen Richtungen gleichmäßig erfolgt. Da die Nachbarzellen dabei einen gewissen Druck aufeinander ausüben, so nehmen sie eine polyedrische Form an, während die Basalzelle konisch wird. — Die Fäden, die sich an den jungen Wirtelzweigen entwickelten, fallen bald ab, eine Narbe hinterlassend, die als ringförmiger Wulst an den leeren Basalzellen ins Auge fällt (Textfig. 2 *C*). Diese polyedrisch zusammengedrückten Zellen der Auszweigungen bilden die Rinde. Die Verbindung der Rindzellen erweckten schon lange Aufmerksamkeit, dank der merkwürdigen Verdickung der Porenmembranen.

Es ist eine zylindrische Verdickung, die in der Nähe der Zellwand anfängt und die ganze Zelle umkreist.

In dieser Verdickung werden Kalksalze abgelagert. Wie oben gesagt, besteht die Spitze des wachsenden Thallus aus dem Ende der axilen Zentralzelle und aus freien Seitenzweigen. An den älteren Teilen und bei den vollkommen erwachsenen Algen zeigen die Rindenzellen solche Verbindungen, wie es Solms abbildet (I, Taf. IX, Fig. 1). An solchen Pflanzen ist es schon zu spät, die Entstehung der Verdickungen zu studieren. Etwas entfernt von der Spitze berühren sich die Zweigzellen, eine Rinde bildend, doch die Berührungsstellen bleiben ebenso dünn, wie bei den freistehenden Zweigen (Textfig. 2 *B*). Unter diesen jungen Zellen finden wir eine Zone, wo die Verbindungen ausgesprochener werden. Die äußere Hälfte der Zellwand wird verdickt und schichtig, an der Außenfläche wird eine dünne und glänzende Kutikularschicht abgelagert, die radialen Wände sind gleichfalls verdickt und im optischen Durchschnitt erblickt man folgenden Bau. Man sieht ein Dreieck mit halsartigem Teil, der von zwei Zähnen eingeschlossen wird, ihm folgt ein breiter Hauptteil und zwei Zähnchen im tiefsten Teile der Verdickung (Textfig. 3 *A*). Weiter nach innen wird die Zellwand dünner und geht in die Membran der Zweige ersten Ranges über, die der Zentralzelle entspringen. Aufeinanderfolgende Schnitte, die durch die Rinde geführt werden, erlauben die Verdickung besser kennen zu lernen.

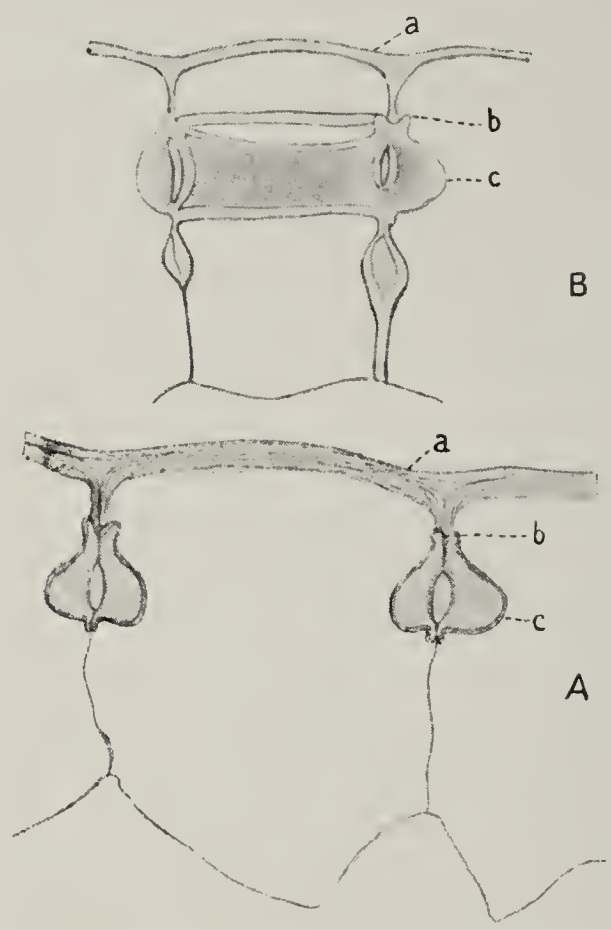


Fig. 3. Bornetella oligospora. *A* Optischer Schnitt durch zwei Nachbarrindenzellen; *a* äußere Zellwand, *b—c* Gürtelband. *B* Dasselbe von der Peripherie betrachtet. Vergr. 750.

Fig. 3 *A* zeigt die Verdickung in optischem Durchschnitt durch die Grenze zweier Nachbarzellen. Die Beschreibung ist schon oben gegeben. Indem wir den Tubus des Mikroskops auf die Zellwand einstellen, bekommen wir die Verdickung am Gürtel zu sehen, der die Zellwand umkreist. In diesem Gürtel erkennen wir einen breiten zentralen Teil, der der Mitte der Verdickung entspricht, und ein oberes und unteres Band, welche beide den zwei Zähnchen in der Mitte der Verdickung entsprechen (Textfig. 3 *B*). Von der Oberfläche aus gesehen bemerkt man die äußerst feinen Kanälchen, die von einer Zelle zur andern führen, etwas tiefer erscheinen die schmalen Umrisse, die den Zähnchen entsprechen, noch tiefer liegt ein breites Band,

welches die Mitte der beschriebenen Bildung vorstellt. Die tieferen Zähnchen sind schwer zu unterscheiden, da sie durch den in die Breite gezogenen mittleren Teil verdeckt werden.

Ein ähnlicher Bau ist durch Cramer bei Bornetella nitida (II, Fig. 8—12, Taf. III) und durch Solms bei derselben Form, sowie Bornetella oligospora (Solms, Fig. 5, 6, 7) beschrieben worden. Die von mir gefundene Struktur erweist sich aber als etwas komplizierter. Im Gürtelbande, den Angaben der genannten Autoren gemäß, werden Kalkkristalle abgelagert, während die Zellwände aus deutlichen Schichten aufgebaut werden.

Einige von den Individuen von Bornetella oligospora stellen ihren Wuchs früh ein und gehen zur Vermehrung über. Dabei nehmen ihre Zellwände unten und am oberen Ende die oben geschilderte charakteristische Struktur an, sich durch oben beschriebene Gürtelbänder auszeichnend. Solch eine Alge bildet unter anderem Graf Solms ab (Taf. IX, Fig. 1). Andere Thalli behalten im Gegenteil ihre Wachstumsfähigkeit, indem sie am Gipfel der Zentralzelle fortwährend neue Wirtel bilden. Diese wachsende Thalli fallen durch ihre mehrfach verzweigten Härchen auf, welche den oberen Rindenzellen entspringen. Die Zentralzelle von Bornetella oligospora, wie dies durch frühere Forschung schon klargelegt ist, erstreckt sich durch den größten Teil des Thallus, kurz vor seiner Spitze endigend. Sie erreicht eine ziemliche Dicke, bis 0,6—0,7 mm, und besitzt feste Zellwände, ungefähr 20 μ dick. Von der Zentralzelle zweigen die Wirtelzweige ab, in der Art, daß in ihnen der Hohlraum jener Zelle eine Fortsetzung findet, dank dem Vorhandensein enger Poren, welche die sehr verdickte Membran durchsetzen (Textfig. 4).

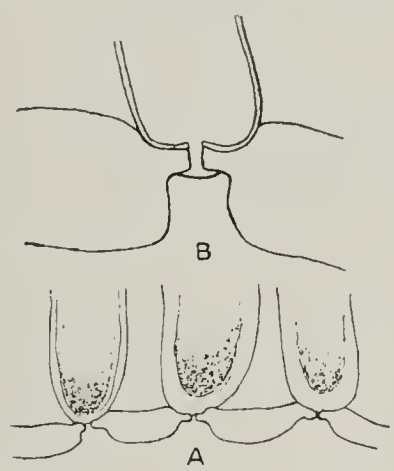


Fig. 4. Bornetella oligospora. *A* Verbindungsstelle der Strahlen erster Ordnung mit der Zentralzelle, eine Pore zeigend. *B* Dasselbe, stärker vergr.

Der Hohlraum der Zentralzelle bildet eine große Vakuole, welche von einem sehr dünnen Protoplasmaschlauch umgeben wird. Das Protoplasma enthält körnige Chromatophoren, Stärke und Eiweißkristalle, welche alle an gut durch Osmiumsäure fixierten Präparaten sichtbar werden. Im Protoplasma sind auch die zahlreichen Kerne eingebettet, trotzdem ziemlich weit voneinander entfernt. Der Zentralzelle entspringen die Zweige 1. Ordnung, welche als Rindenbildner wirken. Die Zahl der Wirtel schwankt; bei großen Exemplaren erreicht sie 35, wobei die Länge eines Zweiges 2. Ordnung = 1 mm und lebhaft an die Zentralzelle erinnert.

An diesen Zweigen entwickeln sich die Sporangien, welche der Schilderung des Grafen Solms gemäß auf verschiedenen Abständen von der Zentralzelle sich abteilen. Ihre Zahl erreicht 8, öfters etwas weniger.

Die Anordnung der Sporangien ist ein Unterscheidungsmerkmal der B. oligospora gegenüber der B. nitida. Fig. 2, Taf. V zeigt einen Teil eines Querschnittes durch den Thallus der Alge, wobei Sporen enthaltende Sporangien an den Ästen 1. Ordnung zu erkennen sind. In fertigem Zustande stellt ein Sporangium einen kugeligen Körper vor, dessen Diameter 160—170 μ gleich ist. Er wird vom Tragast mittelst eines Pfropfens aus einer lichtbrechenden Substanz abgetrennt und sitzt auf einem kurzen Fuße (Fig. 3, Taf. V, Textfig. 5 *A*), welcher leicht vom Tragast abfällt. In meinem Material enthielten die Sporangien je 4 Sporen, tetraedrisch angeordnet; selten waren es 5—6 Sporen (Textfig. 5 *A*). Sporangien mit je 10 Sporen bekam ich nie zu sehen. Die Sporen waren in der einen Richtung 65 μ lang, in der anderen 80 μ. Also war ihre Form nicht rund, wie Solms sie zeichnet (Taf. IX, Fig. 2, 3), sondern eher ellipsoidisch. Solms fand auch eine Sporenlänge von 90—95 μ. Es könnte sein, daß ich es mit einer Varietät zu tun habe, oder daß die Sporenzahl von äußeren Umständen beeinflußt wird. Das Sporangium entsteht als kleine Ausbuchtung am Zweige, welche mit demselben noch lange durch eine Pore verbunden bleibt.

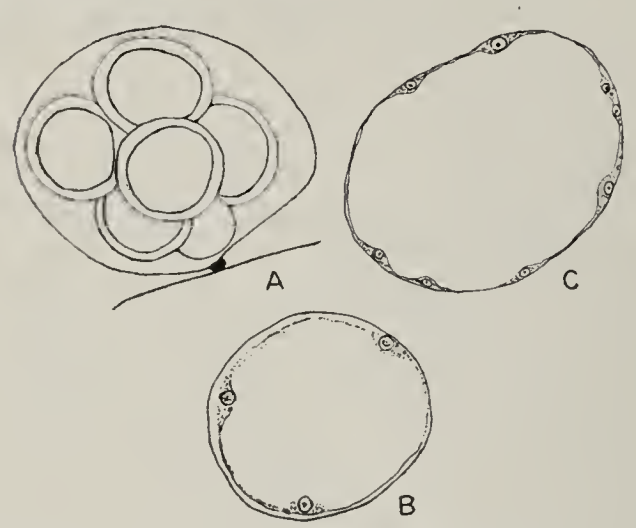


Fig. 5. Bornetella oligospora. *A* Ein Sporangium mit mehreren Sporen (schematisch). *B* Ein Sporangium mit drei abgebildeten Zellkernen. *C* Eine mehrkernige Spore.

Wie aus Fig. 2, Taf. V ersichtlich ist, gibt der das Sporangium erzeugende Ast den größten Teil seines Inhaltes an dasselbe ab. Das Sporangium ist dicht mit Protoplasma und mit Chromatophoren erfüllt. In ihm kann man zuerst einen Kern unterscheiden, später, in einem vorgeschritteneren Stadium bekam ich Sporangien mit 4 typisch angeordneten Kernen zu sehen, wie Fig. 5 *B* zeigt, nämlich als Seiten eines Tetraeders. Wahrscheinlich bilden sich zuweilen mehr als 4 Kerne, da ja die Zahl der Sporen auch größer werden kann. Nach der Teilung der Kerne zerfällt das Plasma in die vier Sporen, die so angeordnet sind, wie in Fig. 3, Taf. V abgebildet ist. Jede Spore wird von einer dicken Zellwand umgeben, deren äußere Schicht uneben und mit Einsenkungen versehen ist, wie es bei Bearbeitung mit Hämatoxylin besonders hervortritt (Fig. 4, Taf. V). An einem Sporenpole befindet sich ein Deckel,

der durch einen ringförmigen Riß abgetrennt wird. Die obengenannte Zellwandstruktur geht auf den Deckel nicht über. Dieser Deckel war schon früher durch Solms an den Sporen von Bornetella gefunden worden. Nach innen zu folgt der Membran das Protoplasma, das mit Stärke und Chromatophoren vollgestopft ist. Auf Mikrotomschnitten kann man einen exzentrisch liegenden Kern finden (Fig. 3, Taf. V). Der Kern enthält einen Kernkörper und ein feines Chromatinnetz.

Schon in den früheren Stadien vergrößert sich die Zahl der Kerne, wie aus Fig. 3, Taf. V zu sehen ist, wo die links liegende Spore zwei symmetrisch angeordnete Kerne enthält. Auf den späteren Stadien werden die Kerne zahlreicher. Die Kerne nehmen in der peripherischen Plasmaschicht ihre Stellung ein, wie aus Textfig. 5 *C* zu sehen ist, wo der Inhalt der Spore mit Absicht nicht abgebildet ist. Die Sporangienbildung geht energisch vor sich in den erwachsenen Thalli und bald wird die ganze Alge mit Sporangien gefüllt. Die dünnen Äste des Sporangium werden abgerissen und sie sammeln sich im unteren Thallusteil an, wo sie gleich Nüssen im Sack liegen. Die Spitze des Thallus wird zerstört und die Sporangien werden befreit. Ihre zarten Häute sind auch nicht lebensfähig im Vergleich mit den stark verdickten Zellwänden der Sporen — und sie werden noch im Innern des Thallus gesprengt, so daß statt ihrer freie Sporen bemerkbar werden. Leider fehlen mir keimende Sporen. Ich werde diese Lücke durch eine betreffende Beschreibung bei anderen Arten derselben Gattung ersetzen.

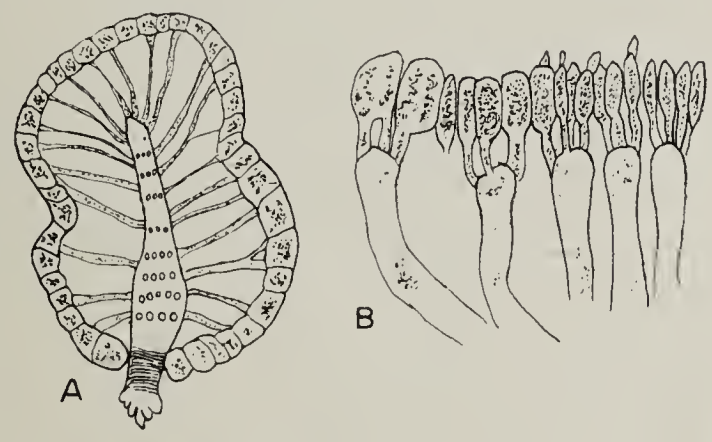


Fig. 6. Bornetella capitata. *A* Optischer Längsschnitt durch eine ausgewachsene Pflanze. *B* Erste Rindenanlage.

Bornetella capitata J. G. Agardh f. brevistylis. Mit B. oligospora zusammen fand ich in den östlichen Meeren, bei dem Aruanischen Archipel eine andere Bornetella-Art, deren Bestimmung viel Schwierigkeiten bereitete. Diese Art zeigt eine Kugel- oder eiförmige Form. Die größten Exemplare erreichen die Größe eines Erbsensamens. Der Thallus sitzt auf einem kurzen Fuße, welcher meistens weit kürzer als der Thallus der Alge ist und nur in einzelnen Fällen ihm gleich ist. Textfig. 6 gibt bei kleiner Vergrößerung den optischen Durchschnitt der Alge wieder. Der Bau des unteren Teiles des Fußes zeigt deutlich, daß der Fuß nicht abgerissen und auch nicht verkürzt ist. Das wird durch eine Ansammlung

von Protoplasma in dem unteren Teile des Fußes des Thallus bestätigt. Bornetella capitata sitzt auf einem Fuße, dessen Länge der des Thallus gleich ist. Ebenso bildet ihn auch Cramer ab (Fig. 6 u. 13, Taf. IV (II)). Nach Solms-Laubach ist dessen Bornetella sphaerica Zarnadini dasselbe, was Bornetella capitata ist (p. 92 seiner Arbeit), obgleich seine Zeichnung (Taf. IX, Fig. 8) Bornetella sphaerica mit runden Sporangien und nicht aufgeblasenen Zweigen 1. Ordnung darstellt. Bornetella capitata trägt aufgeblasene Zweige 1. Ordnung, welche verlängerte Sporangien tragen. Durch ebensolche verlängerte, an aufgeblasenen Zweigen sitzende Sporangien ist auch die von mir zu beschreibende Alge charakterisiert. Auf oben gesagtes mich stützend, zähle ich diese Alge zur Art B. capitata, sie als besondere Form B. capitata forme brevistylis (mihi) bezeichnend. Der bekannte japanische Algologe Okamura bildet auf Taf. XLIV, Fig. 1 *a* u. *b* u. 2 B capitata von den Riukui Inseln ab; dieselbe sitzt auf kurzem Fuße, der weit kürzer ist als der kugelförmige Kopf. Der Vergleich mit den Originalexemplaren der oben genannten Autoren wird erlauben die Art endgültig zu benennen. Indem wir die früher angeführte Zeichnung betrachten, können wir eine Vorstellung vom Bau der Alge uns machen. Sie ist 7 mm lang, besteht aus einer Zentralzelle, welche in der oberen Hälfte zylindrisch mit einer spitzen oder glatten Fläche abschließend in der unteren aufgeblasen ist und in einen kurzen Fuß, der mehrere Ringfalten aufweist, übergeht. Die Basis des Fußes geht oft in korallenförmige Auswüchse über, mittels deren die Alge sich am Substrat anheftet. Der Zentralzelle entspringen die zahlreichen Wirtelzweige 1. Ordnung, deren Zahl gewöhnlich 12—14 beträgt. Diese Zweige werden ebenso wie bei B. oligospora in die Zweige 2. Ordnung geteilt, deren Zahl jene von B. oligospora bei weitem übertrifft und 6—8 beträgt. Die Zweige 1. Ordnung, namentlich die, welche der Zentralzelle entspringen, sind der Form nach zylindrisch und werden nur an den Punkten der zweiten Verästelung keulenförmig aufgeblasen; nur die untersten Zweige erscheinen als auf größere Entfernungen verdickt. Die Zweige 2. Ordnung werden an ihren Enden erweitert, indem sie große Rindenzellen bilden, welche fest untereinander verbunden werden, ohne die für B. oligospora so charakteristischen Gürtelbänder zu bilden. Die große Menge des von mir gesammelten Materials erlaubt den Bau und die Rindenbildung dieser Bornetella-Art zu studieren. Textfig. 6 *B* zeigt einige junge Zweige I. Ordnung, die ihrerseits verzweigt sind. Jeder trägt einige Zweige, deren Durchmesser der ganzen Länge nach ziemlich gleich bleiben, und danach fangen ihre Spitzen an sich radial zu verbreitern, bis dank ihrer Berührung die großzellige Rinde entsteht (Textfig. 7).

Die Sporangien von Bornetella capitata entstehen in großer Zahl an den Zweigen 1. Ordnung, näher zur Peripherie der Alge (s. Fig. 5, Taf. V). Der Sporangien tragende Teil des Astes ist stark aufgeblasen. Das Sporangium nimmt sehr bald seine typische, nämlich längliche Form an. Sie sitzen wie bei B. oligopora auf kurzem Fuße. Ihre Länge schwankt zwischen 160—200 μ, ihre Breite zwischen 90—100 μ. Vom Aste wird das Sporangium durch ebenso einen Pfropfen abgetrennt, wie bei vorhergehender Art, das Protoplasma ist ebenso durch Nährmaterial überfüllt. Anfangs einkernig, wird das Sporangium später vielkernig und dessen Plasma zerfällt in Sporen; deren Zahl verschieden ist. Häufiger entstehen viele Sporen im Sporangium; mehr als 10 (Fig. 5 *B*, Taf. V), wo 13 Sporen abgebildet sind und die unter ihnen liegenden nicht in die Zeichnung aufgenommen wurden.

Es kommen aber auch Fälle vor, wo nur 4—5 Sporen im Sporangium entstehen (Fig. 5 *C*, Taf. V). Die Sporen — 60 μ lang und 48 μ breit — sind durch eine vollkommen glatte Zellwand geschützt, welche sich mittels eines Deckels öffnet.

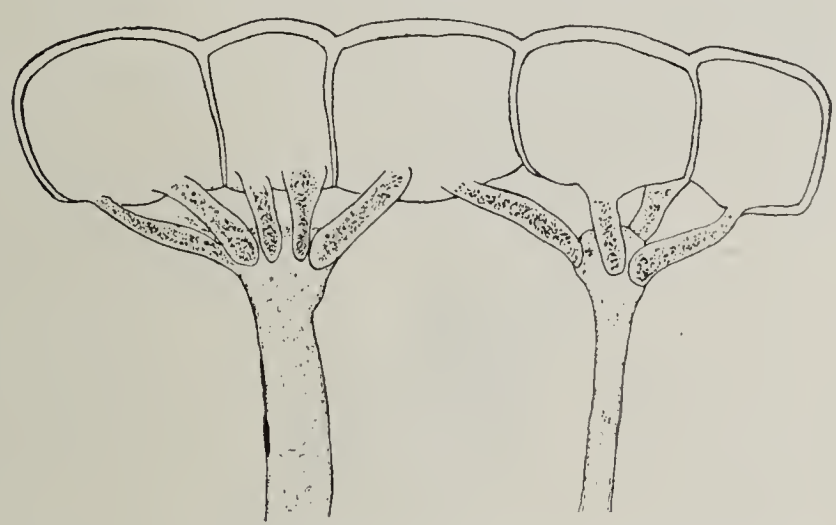


Fig. 7. Bornetella capitata. Ein Teil der fertigen Rinde.

Das größte Interesse verdienen die früheren Keimungsstadien, welche ich bei Bornetella capitata zu sehen bekam. Cramer und Solms haben bereits einige theoretische Bemerkungen über diese Stadien ausgesprochen. Textfig. 8 zeigt ein junges Stadium. Die Zentralzelle ist stark ausgewachsen, ihr entspringen Wirteläste, die beschriebene Äste und Haare tragen. Das Köpfchen ist noch nicht vorhanden. Textfig. 9 gibt ungefähr ein ähnliches Stadium wieder, doch die Wirtelbildung wird regelmäßiger und die Zweige des oberen Stocks umgeben den Scheitel der Alge. Fig. 1, Taf. V endlich zeigt eine weiter fortgeschrittene Alge. Schon ist die obere Hälfte des Thallus entstanden. Der obere Teil des Thallus — sein Scheitel ist fertig, ist aber noch bedeutend kürzer als der Fuß. Der Scheitel besteht aus fest aneinander geschmiegten Zellen. Es haben sich noch die haarförmigen Fäden erhalten, welche an den oberen Zellen entstehen. Über dem Scheitel entspringen vielfach verzweigte Fäden, welche ganz genau denselben Bau aufweisen, wie auf jüngeren Stadien. Der ganzen Fläche des überlangen Fußes entspringen Fäden,

die aber nicht verzweigt sind, während aus der korallförmigen Basis eine Art Sproß mit Seitenzweigen herauswächst. Der Fuß ist bis oben mit protoplasmatischem Inhalt erfüllt, mit Chromatophoren, Eiweißkrystallen und Kernen, und ist auf diesem Stadium noch eine lebendige Zelle.

Diese jüngeren Stadien erlauben eine gewisse Regelmäßigkeit in der Entwicklung der höheren Dasycladaceen zu finden und sie mit den einfachen Vertretern dieser Reihe zusammenzustellen.

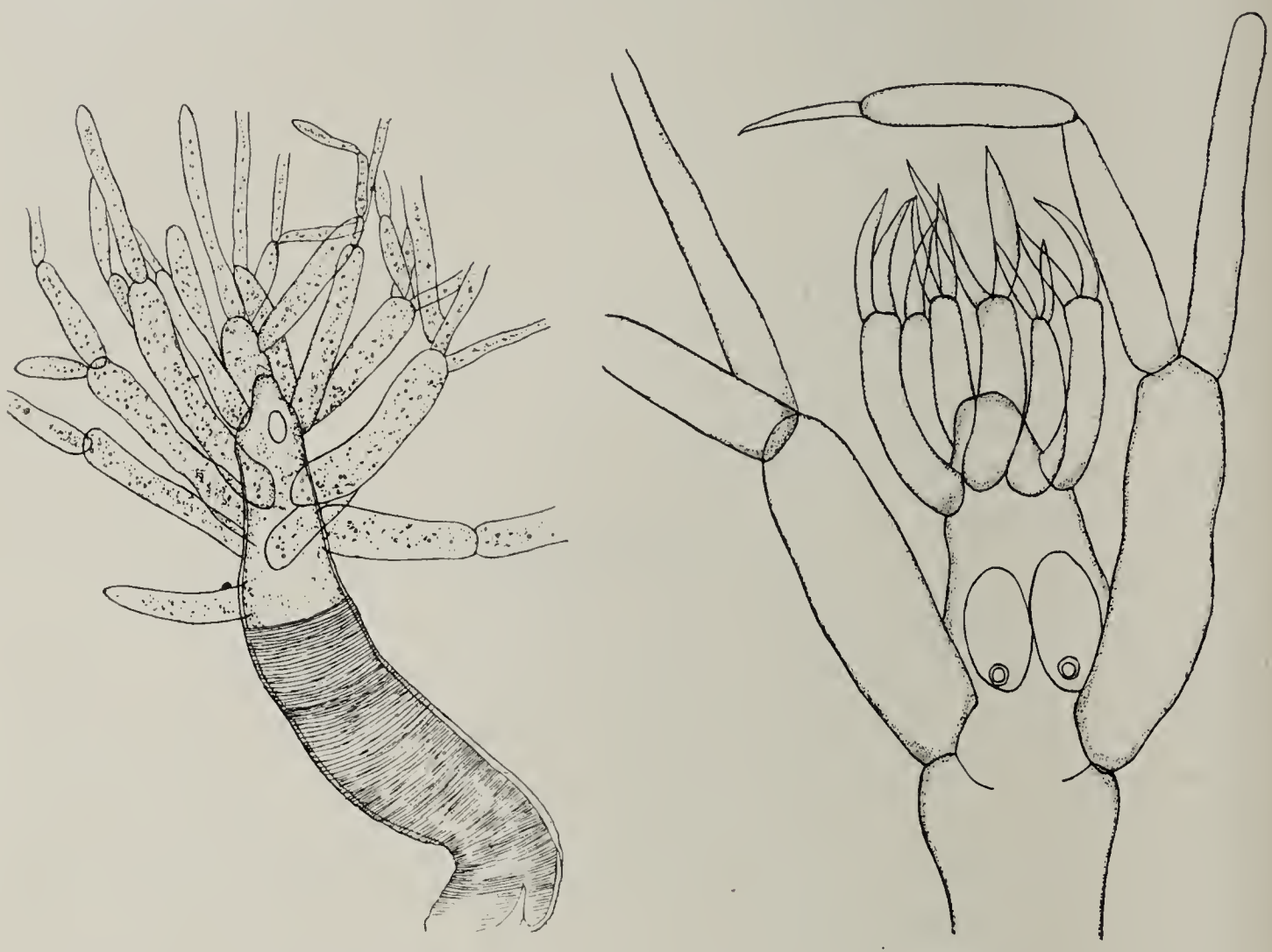


Fig. 8. Fig. 9.

Fig. 8. Bornetella capitata. Ein sehr junges Entwicklungsstadium.
Fig. 9. Bornetella capitata. Ein ebenso junges Entwicklungsstadium wie an Fig. 12.

Die früheren Keimungsstadien von Acetabularia, wie sie Woronin und de Bary beschrieben haben, ebensolche Stadien von Neomeris und Cymopolia nach den Beobachtungen von Cramer (II) und Solms (I) und die vorliegende Beschreibung der jüngeren Thalli von Bornetella capitata weisen auf einen allgemeinen rhythmischen Entwicklungsgang in der Gruppe von Dasycladaceen, auf die verhältnismäßig spät auftretende definitive Ausarbeitung des Thallus und auf eine längere Existenz der Jugendstadien auf. Dem Naturalisten, der in Laboratorien unter den Tropen arbeitet, gibt das Studium der Regeneration bei ge-

nannten Algen Material zur Lösung der Frage: ob die Regeneration unmittelbar eintreten wird, oder ob dabei jedesmal die jüngeren Stadien durchlaufen werden.

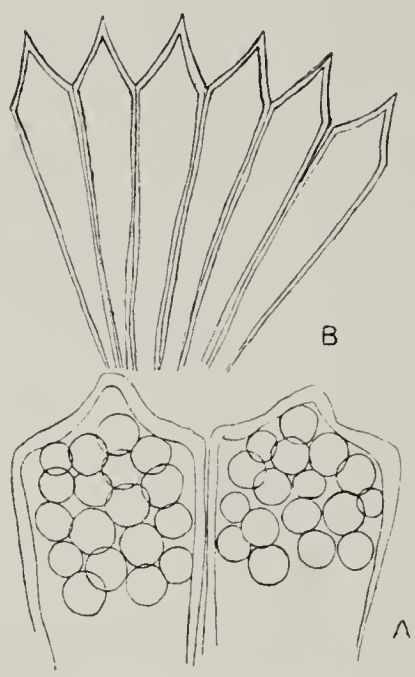
Acetabularia.

Der prachtvollen Monographie des Grafen Solms „Monograph of the Acetabularia" (Transactions of the Linnean Society of London 1895) verdankt jeder Botaniker, der sich mit Acetabularia abgibt, eine Basis, von der er ausgehen kann. Die erwachsene Acetabularia hat bekanntlich die Form eines Hutpilzes dadurch, daß die einen Schirm bildenden Strahlen einem langen und dünnen Fuß aufgesetzt sind. Die Höhlungen der Strahlen sind mit der Höhlung des Fußes vereinigt und an der Stelle, wo die Strahlen ihren Anfang nehmen, wölben sich Auswüchse empor, welche den Namen einer „Krone" erhielten. Die oberen werden als Corona superior bezeichnet, die übrigen nehmen ihre Stellung unter den Strahlen ein, eine untere Krone die Corona inferior bildend. In der Abteilung Acetabuloides und Acetabulum findet man beide Kronen, obere und untere, bei der Polyphysa-Abteilung jedoch nur die obere. Die Strahlen der oberen Krone geben besonderen Dornen — den „Pili" ihren Ursprung, deren Zahl und Ordnung bei der Bestimmung der Acetabularia-Arten von besonderer Wichtigkeit ist, gleichwie die Form der Kronenzähne, die Länge und Form der Strahlen (radii) und Zahl und Größe der Sporen. Indem ich mein Acetabularia-Material bearbeitete, das namentlich von den Aru-Inseln stammte, stieß ich auf Schwierigkeiten, da viele Merkmale der gesammelten Formen mit den Diagnosen nicht stimmen wollten und sich als unbeständig erwiesen. Als größte Acetabularia-Art erwies eine an der Nordküste der Insel Wammar gefundene, wo sie in großer Anzahl in der Ebbe- und Flutregion wuchs, auf felsigem Boden nicht weit vom Leuchtturm. Die Alge bestimmte ich als A. caraibica Kütz, trotz einiger Widersprüche in der Diagnose. Die Alge erreicht eine Höhe von 2 cm, der Durchmesser des Schirms ist 6—7 mm lang, die Zahl der Strahlen kommt gleich. Die Breite der Strahlen dort, wo sie ihren Anfang nehmen, ist 0,08 mm, am Endteil 0,4—0,5 mm (Textfig. 10). Die Strahlen sind durch Kalk zusammengekittet, der Schirm hat das Aussehen eines flachen Tellerchens. Beide Kronen, obere und untere, sind vorhanden. Die Form der Strahlen, sowie die Größe der Alge zwingt sie der Art A. caraibica beizuzählen, wie sie von Solms beschrieben und Taf. I, Fig. 10 seiner Monographie abgebildet

Fig. 10. Acetabularia caraibica. Photographische Aufnahme. Nat. Größe.

worden ist. Diese Art ist von Kützing aufgestellt und in seinem Tabulae Phyc. im Bd. VI, Taf, 93 abgebildet worden. Indem wir die Zeichnungen Kützing's und Solms' vergleichen, finden wir einen großen Unterschied zwischen ihnen. Während Kützing die Strahlenenden seiner Acetabularia caraibica als abgerundet und mit Ausbuchtungen versehen darstellt, stellt sie Solms als flach dar, mit kleinen Dornen oder Höckern in der Mitte. Mit A. caraibica zusammen beschreibt Solms eine andere Acetabularia — Acetabularia dentata, welche durch kleineren Wuchs und stark zugespitzte Strahlenenden ausgezeichnet ist (Fig. 11 der Monogr. Solms).

Solms schreibt beiden Arten dieselbe geographische Verbreitung zu, außerdem beobachtete er bei A. dentata keine Sporen. Mein ziem-



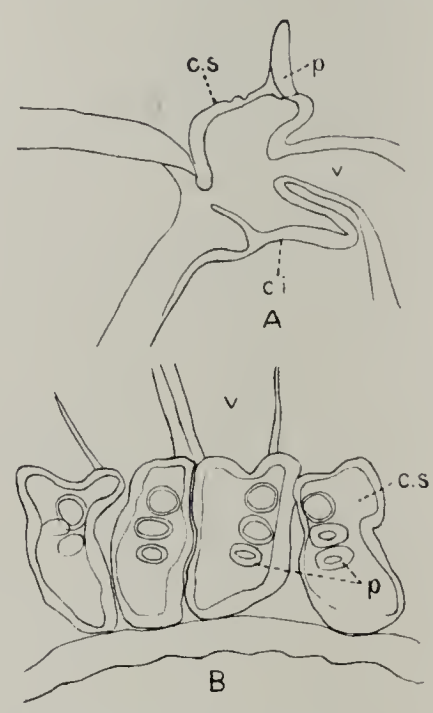


Fig. 11. Acetabularia caraibica. *A* Zwei erwachsene Strahlen mit Sporen. *B* Junge Strahlen, A. dentata gleichend.
Fig. 12. Acetabularia caraibica. *A* Längsschnits durch die beiden Coronae; *cs* corona superior, *ci* corona inferior, *p* Zähnchen „Pili". *B* Corona superior mit Pilen, von oben gesehen; *r* Strahlradius.

lich reichhaltiges Material zeigt, daß die Strahlenform kein unbedingtes Kriterium zur Unterscheidung der Acetabularia-Arten gibt. Textfig. 11 *B* der vorliegenden Arbeit, die jungen Exemplaren von A. caraibica entnommen ist, entspricht vollkommen der Abbildung Solms von A. dentata; die Zeichnung der mehr erwachsenen Alge, deren Strahlen schon mit Sporen gefüllt sind (Textfig. 11 *A*), entspricht der Abbildung von A. caraibica bei Solms. Doch weder die Zeichnung Solms' noch meine eigene geben das Bild Kützing's wieder, der die beschriebene Art aufstellte. Jetzt wird begreiflich, warum Solms nicht die Sporen von A. dentata beschreibt, da sie doch nur als Jugendform von A. caraibica gelten kann; dafür spricht ja auch ihre gemeinsame geographische Verbreitung. Die

obere Krone — Corona superior — der A. caraibica muß als entscheidendes Merkmal bei der Bestimmung der Art gelten, doch die Abbildungen Kützing's sind allzu schematisch und aus ihnen kann man keine Schlüsse über den Charakter der Krone ableiten; ebenso unbrauchbat sind die neuesten Figuren, die Mlle. Vickers herausgab. Solms-Laubach bildet die Krone dieser Art nicht ab, sagt aber, daß sie mit drei in einer Reihe liegenden Dornen versehen ist — „pilis ternis uniseriatis, für A. dentata nur zwei Dorne jedoch angibt, auch „pilis binis uniseriatis" liegend. Die Anzahl der Zähne, welche bei Solms ein wichtiges Unterscheidungsmerkmal ist, ist aber ziemlich schwer zu bestimmen. Durch den Thallus von A. caraibica geführte Schnitte zeigen am öftesten einen Dorn, wie aus Textfig. 12 *A* zu sehen ist, wo *c. s.* die obere Krone vorstellt, *c. i.* die untere, *r* die Strahlen, *p.* den Dorn. Nur eine aufmerksame Nachforschung deckt zwei kleine Grübchen auf, welche dem inneren Teile des Schirms zugekehrt sind. Auf gelungenen Präparaten kann man bei einem Blick von oben auf die Krone dreier in einer Reihe gelegenen Dörnchen gewahr werden, welche sich als doppelkonturierte Kreise darbieten. Wenn man die Fähigkeit der Dörnchen (namentlich des inneren, wenig ausgebildeten) leicht abzufallen, ins Auge faßt, so wird auch dieses Unterscheidungsmerkmal schwankend. Auch die Angaben Marshall A. Howe's, der bei A. pusilla 2—3 Dörnchen und bei A. polyphysoides sogar 5—12 derselben fand, sprechen für eine gleiche Anschauung. Also muß A. dentata aus der Artenliste der Acetabularien ausgeschlossen werden, als Jugendform der Art A. caraibica Kütz.

Die allgemeine Beschreibung dieser Acetabularia ist oben gegeben, jetzt erübrigt es noch einige Details hinzuzufügen. Die Schirmstrahlen der jungen Exemplare sind mit lebendem Inhalte gefüllt, welches aus wandständigem Protoplasma und einer großen Zellsaftvakuole besteht. Das Protoplasma enthält zahlreiche diskusartige Chromatophoren, welche Stärke ausarbeiten und zwischen ihnen kann man an gefärbten Präparaten die Kerne unterscheiden. Ihre Größe schwankt um 5 μ und das erste was ins Auge fällt sind ihre Nukleolen und homogener Inhalt. Die Zellkerne stehen ziemlich von einander ab, etwa 300 μ weit, so daß auf einem Längsschnitt durch den Strahl man im ganzen nur 4—5 Kerne findet. Im ganzen kann man in einem Strahle nicht mehr als 100—200 Kerne zählen. Neben den Kernen liegen gewisse kugelförmige Körperchen, welche auffallend leicht Farbstoffe an sich ziehen. Vielleicht daß wir es mit den metachromatischen Körperchen zu tun haben, welche neulich Nadson beschrieb bei Vaucheria und bei zahlreichen Pilzen. Außer den Chromatophoren und Zellkernen enthielt das wandständige

Protoplasma ziemlich zahlreiche Eiweiskristalle. Die Hohlräume der Strahlen sind von Zellsaft erfüllt, in dem massenweise Inulin vorkommt, (ausführlich durch Leitgeb bei Acetabularia mediterrannea studiert). Durch Einwirken von Alkohol kristallisiert der Inulin einmal als viele kleine, ein anderesmal als vereinzelte große Sphaerokristalle.

Nach Erreichung einer bestimmten Größe beginnt die Vermehrung der A. caraibica, indem in jedem Strahl je 100 oder noch mehr Sporen gebildet werden (Textfig. 13). Die Größe der Spore beträgt ungefähr 100 μ nach beiden Durchmessern gemessen. Die Spore ist kugelrund. Sie wird von einer dichten Membran eingeschlossen, welche gewöhnlich in zwei Schichten zerfällt. Wie bei den übrigen Arten, öffnet sich auch die vorliegende mittels eines Deckels. Die ersten Stadien der Absonderung der Sporen im Strahl konnte ich nicht beobachten und die jüngsten bei mir vorhandenen Stadien zeigenschon fertige Sporen, doch von weit größerem Durchmesser und mit dünner Zellwand. In solchen Sporen waren leicht zu erkennen diskusartige Chromatophoren und große Sphaerokristalle von Inulin. Diesem Stadium folgt das einer Zusammenpressung der Spore, wodurch überflüssiger Zellsaft entfernt wird und die Ausbildung einer festen Membran. Der innere Bau erscheint weniger deutlich und auffallend nur auf Mikrotomschnitten.

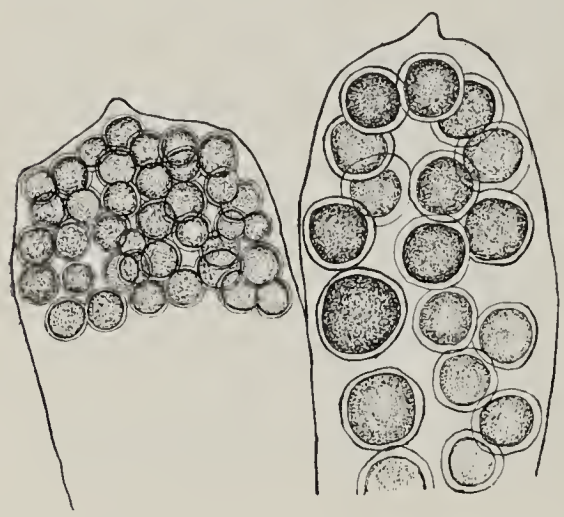


Fig. 13. Acetabularia caraibica. Zwei Strahlen mit ungleichen Sporen.

Interessant ist das Schicksal der Kerne. Die in den vegetativen Protoplasten der Strahlen so deutlichen Kerne verschwinden in den Sporen.. Wenn die Kerne, wie oben gesagt, weit von einander abstehen, so kann man schon deshalb keine große Anzahl von Sporen in den Kernen erwarten. Es ist möglich, daß die Sporen zuerst ein-, später aber mehrkernig erscheinen. Doch auch in der mehrkernigen Spore fällt es schwer, die Zellkerne aufzufinden. Sie weisen keine bestimmte Struktur auf, sondern erscheinen als homogene Platten, welche gleichmäßig mit Eisenhämatoxylin gefärbte Flecke auf farblosem Grunde des Protoplasten darstellen. Deshalb kann ich diese Platten nicht für wirkliche Kerne halten, weder bei A. caraibica auf Grund eigener Präparate, noch bei A. mediterrannea auf Grund der Zeichnung Dr. Gruber's, welche in das bekannte Handbuch Oltmanns' aufgenommen ist. Zuweilen hatte ich es mit Sporen ungleicher Größe in demselben Schirm von A. caraibica zu tun.

Textfig. 13 stellt zwei Strahlen dar, welche mit Sporen gefüllt sind. In dem einen sind die Sporen von gewöhnlicher Größe, 100 μ im Durchmesser, im anderen sind sie doppelt so groß, nämlich 210 μ breit. Diese Beobachtung zeigt, daß die Größe der Sporen als systematisches Merkmal nur nach der Bekanntschaft mit einer großen Menge von Fällen aufgestellt werden darf. In einigen ausschließlichen Fällen wird die Sporenentwicklung auf jüngeren Stadien zurückgehalten, so daß, bevor der Protoplast in die Sporen zerfällt, er schon von festen Membranen eingeschlossen erscheint.

Acetabularia pusilla Howe forma Solmsii.

Diese neue Form (Textfig. 14, 15) sammelte ich an den Felsen des kleinen Archipel Mariri, des östlichen Vorposten der Aruanischen Inseln. Am nächsten steht dieser Art der vom Grafen Solms beschriebenen

Fig. 14. Acetabularia pusilla. Ein Schirm mit Sporen von der Seite.

Fig. 15. Acetabularia pusilla. Corona superior mit je zwei Zähnchen (pilis binis uniseriatis).

Acetabularia (Polyphysa) exigua Solms, doch unterscheidet sich von ihr durch eine Reihe von Merkmalen namentlich durch die Dorne der Krone und die Größe ihrer Zähne. Neulich ist eine ähnliche Form durch den amerikanischen Algologen Marshall A. Howe unter dem Namen Acetabulum pusillum sp. n. von den Antillen und Bahama-Inseln beschrieben worden. Die östliche Form, die ich fand, unterscheidet sich von der westlichen durch unwesentliche Merkmale. Die Zahl der Strahlen ist kleiner bei der östlichen und schwankt zwischen 8—9, während die westliche für gewöhnlich 11—15 Strahlen trägt. Die Zahl der Sporen weist auch Verschiedenheiten auf. Bei der westlichen Form findet man im Sporangium (Strahl) 15—60 Sporen; in meinen Exemplaren fand ich nicht mehr

als 20 pro Sporangium. Die Größe der Sporen bei der westlichen Alge übertraf kaum 62—82 μ, bei der östlichen meistens 70 μ zuweilen auch 90 μ (Textfig. 14). Vielleicht kann man die östliche Form als lokale geographische Rasse gelten lassen, oder als besondere Form der Art. Die von mir gesammelte Alge war 3,5 mm hoch, der Durchmesser des Schirmes war 2 mm gleich, die Zahl der Strahlen 8—9. Der Mangel einer unteren Krone ist für diese Acetabularia charakteristisch, als eine Art, die zur Abteilung Polyphysa gehört. Die obere Krone trägt Zähne, welche 36 μ lang und ebenso breit sind und trägt je zwei Zähne, welche in eine Reihe angeordnet sind (uniseriatis) (Textfig. 15). Die Zahl der Sporen ist 20. Der Durchmesser ungefähr 80—90 μ. Ebenso wie A. caraibica und A. pusilla verändert auch diese Alge die Umrisse der Schirmstrahlen während ihrer Entwicklung. Zuerst vollständig abgestumpft, spitzen sie sich allmählich zu und nehmen die charakteristische, in Fig. 18 abgebildete Gestalt an.

Der Bau der Zelle der vorliegenden Acetabularia stimmt mit dem bereits bei A. caraibica beschriebenen zusammen. Nur die Inulinkristalle konnte ich weder bei dieser Form, noch bei der unten beschriebenen A. parvula entdecken. Wahrscheinlich bildet sich bei der Polyphysa-Abteilung kein Inulin.

Acetabularia parvula Solms.

Die dritte Acetabularia-Art — A. parvula — die ich im Aruanischen Archipel sammelte, muß der vom Grafen Solms unter dem Namen A. (Polyphysa) parvula Solms beschriebenen hinzugerechnet werden. Ich möchte die Beschreibung Solms' durch einige Details ergänzen, um so mehr, als ich Sporen fand, welche früher für diese Art unbekannt waren. Der Beschreibung und Zeichnung Solms gemäß sind die Strahlen dieser Acetabularia frei und miteinander durch Kalkzement verbunden, welcher besonders kräftig an den Seiten der Strahlen entwickelt ist und weniger an ihrer Unter- und Oberseite. Meine Exemplare, die durch Flemming'sches Gemisch fixiert waren, waren vollkommen von Kalk frei, wie aus beiliegender Zeichnung zu sehen ist (Textfig. 20 *A*). Die Höhe des Schirmes kommt gleich 2—2,5 mm, seine Breite übertrifft auch nicht 2,5 mm. Die Länge der Strahlen, deren Zahl an meinen Exemplaren kaum 14 übertraf, ist 0,6—0,7 mm, deren Breite schwankt zwischen 0,08—0,3 mm. Die Srahlen haben eine keilförmige Gestalt, die allmählich enger wird beim Übergange des Strahles zur Krone. An einigen Strahlen, nämlich an ihren äußeren Spitzen, bilden sich kleine Vertiefungen, an anderen dagegen kaum merkliche Dörnchen.

Längs- und Flächenschnitte durch die Schirme dieser Acetabularia erlauben einen Blick auf den Bau der Krone zu werfen, deren Zähne nicht verwachsen sind und je 3 Dörnchen tragen, von denen zwei (Textfig. 16 *B*) aneinandergereiht an der äußeren Seite der Zähne der Krone stehen und eins an der inneren Seite derselben. Selbstverständlich können an Längsschnitten zu gleicher Zeit nur 2 Zähne bemerkt werden, wovon einer der äußere, der andere der innere ist. Die Sporen haben eine rundliche Form. In jedem Strahle findet man deren 6—14, wobei ihre Größe zwischen 64 und 96—100 μ schwankt. Der Sporenbau ist bei allen Arten der Acetabularien derselbe. Diese Form zeigt einen völligen Mangel an Sphaerokristallen. (Vgl. sie mit der vorhergehenden.)

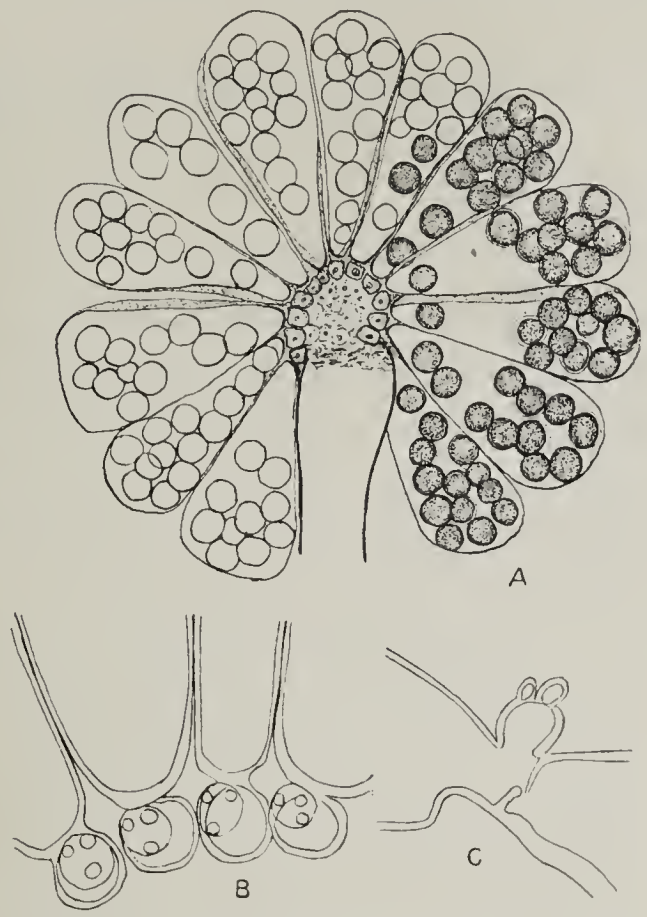


Fig. 16. Acetabularia parvula. *A* Ein Schirm mit Sporen von oben. *B* Corona mit Zähnchen von oben. *C* Corona im Längsschnitt mit zwei Zähnchen.

Am Ende dieser Schrift führe ich eine Liste der Dasycladaceae an, welche ich in den Meeren des Malayischen Archipels antraf:

Bornetella oligospora Solms,
Bornetella capitata J. G. Agard. f. brevistylis,
Neomeris dumetosa Zamouroux,
Acetabularia caraibica Kütz.,
Acetabularia pusilla Howe f. Solmsii,
Acetabularia parvula Solms.

Charkow, Mai 1911 (Botanisches Institut).

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Flora oder Allgemeine Botanische Zeitung

Jahr/Year: 1912

Band/Volume: 104

Autor(en)/Author(s): Arnoldi W.

Artikel/Article: Algologische Studien. Zur Morphologie einiger Dasycladaceen (Bornetella, Acetabularia). 85-101