

Nachdruck verboten.
Übersetzungsrecht vorbehalten.

Die Struktur und die chemische Zusammensetzung der Gehäuse bei den Süßwasserrhizopoden.¹⁾

Von

S. Awerinzew,

Leiter der Biolog. Station an der Murmanküste, Alexandrowsk, Gouv. Archangelsk.

(Hierzu 8 Textfiguren.)

Die primitiven, nur aus einer organischen Substanz aufgebaute Gehäuse sind stets einschichtig, aber nicht strukturlos, wie dies gewöhnlich angenommen wird; das Vorhandensein einer feinwabigen Struktur ist in einigen Fällen ohne weiteres zu bemerken (*Cochliopodium*, *Lieberkühnia*), in anderen Fällen (*Hyalosphenia*, *Ditrema*, *Gromia*) läßt sie sich durch Austrocknen nachweisen, d. h. durch rasche Verdunstung des Xylols, in welches das Gehäuse zuvor übergeführt wird, unter niederem atmosphärischem Druck. Überhaupt hat sich die Mikrostruktur der im Bestande irgend welcher Gehäuse auftretenden organischen Substanz in allen Fällen, wo ich eine solche genauer untersuchen konnte, stets als feinwabig erwiesen, wovon ich mich überzeugen konnte, indem ich Bilder aus optischen Flächen- und Querschnitten kombinierte (*Diffugia septentrionalis*, *Centropyxis aculeata*, *Nebela spumosa*).

Mit Annahme der primitiven Formen besteht der größte Teil der Gehäuse aus zwei Schichten: einer inneren, ungemein dünnen, welche aus organischer Substanz, wahrscheinlich mit einem unbedeutenden Zusatze von Kieselsäure besteht, und einer äußeren, welche

¹⁾ Der nachstehende Ansatz gibt eines der Kapitel aus einer Arbeit über die Süßwasserrhizopoden wieder, welche der Verfasser gegenwärtig in russischer Sprache veröffentlicht.

aus den verschiedenartigsten Materialien zusammengesetzt ist. Der Charakter der Gehäuse hängt hauptsächlich von den morphologischen und chemischen Eigentümlichkeiten dieser letzteren Schicht ab; dieselbe besteht entweder aus einer Reihe von Prismen (*Arcella*), oder aus Sandkörnchen, oder endlich aus durchsichtigen, verschieden geformten Plättchen; alle diese Bildungen sind durch ein organisches Bindemittel untereinander verkittet.

Indem wir zu der Betrachtung der einzelnen Elemente dieser äußeren Schicht übergehen, wollen wir uns vor allem die ungewöhnlich komplizierte Struktur der Gehäuse von *Arcella* klar machen.

EHRENBERG (1838, p. 133) vermutete, das Gehäuse dieser Rhizopode wäre durchwegs von Kanälchen durchsetzt; WALLICH (1864, p. 12–13) beschrieb sechseckige Zwischenräume, welche durch ein symmetrisches Netz gebildet werden und längs welchen das Gehäuse von *Arcella* stets zerbricht; seit den Arbeiten von HERTWIG und LESSER (1874, p. 94) und BÜTSCHLI (1875, p. 466) hat sich hierauf die Ansicht befestigt, daß das Gehäuse von *Arcella* aus zwei Schichten besteht: einer inneren, dünnen, strukturlosen und einer äußeren, aus hexagonalen, mit Flüssigkeit angefüllten, Prismen besitzenden Schicht, wobei BÜTSCHLI (1880–82, p. 20) diese Prismen mit den Plättchen von *Euglypha* homologisierte.

PENARD (1890, p. 26) vermutete anfangs gleich GRUBER (1881, p. 111), wir hätten es hier nicht mit Prismen, sondern mit Plättchen zu tun, welche durch eine chitinöse Substanz miteinander verklebt sind. Später kehrte dieser selbe Autor (PENARD 1902, 394) zu der Auffassung WALLICH's zurück, indem er die Ansicht aussprach, das Gehäuse der jungen *Arcella* bestände aus einer dünnen Hülle, an deren inneren Seite sich ein hexagonales Netzwerk von vorspringenden Leisten befindet: bei dem ferneren Wachstum des Gehäuses beginnt sich von dessen Innenseite eine spezielle organische Substanz mit beträchtlichem Eisengehalt (Chitin) abzulagern, welche sich vor allem an dem Systeme von Leisten ansammelt und schließlich eine zweite, innere Schicht der Hülle bildet; die auf diese Weise verschlossenen Alveolen nehmen die Gestalt von Prismen an und sind mit Wasser gefüllt.

RUMBLER (1896, p. 103) endlich nimmt an, daß die einzelnen, mit Flüssigkeiten gefüllten Prismen aus kleinen kugelförmigen Tröpfchen (Phäosomen) gebildet werden, welche durch eine organische Substanz miteinander verklebt sind.¹⁾

¹⁾ KUNSTLER (1903, p. 81 und Fig. 11) gibt bei seinen Untersuchungen über die Hüllen verschiedener Protozoen unter anderem auch eine schematische Zeichnung

Indem ich zu meinen eigenen Beobachtungen übergehe, muß ich vor allem bemerken, daß die äußere Gehäuseschicht bei *Arcella* nicht immer aus regulären hexagonalen Prismen besteht, sondern daß im optischen Querschnitte häufig unregelmäßige Dreiecke und Vielecke zu Gesichte kommen, welche bisweilen sogar einspringende Winkel aufweisen (Fig. 1).

Der Unterschied im Charakter der Färbung der Grenzen zwischen den Zellen und derjenigen ihres Inhaltes, welcher schon von HERTWIG und LESSNER beobachtet wurde, läßt sich natürlich durch den verschiedenen Brechungskoeffizienten derjenigen Substanzen erklären, aus welchen diese Teile bestehen.

Bei dem Studium optischer Querschnitte durch die Gehäuse von *Arcella*, und zwar am besten an Präparaten, welche mit einer schwachen Methylenblaulösung gefärbt wurden, kann man sich davon überzeugen, daß erstens nicht alle Prismen eine gleiche Höhe erreichen (Fig. 2), und daß zweitens bisweilen Zwischenräume auftreten, welche nicht von Prismen eingenommen sind, sondern nur unten von einer dünnen strukturlosen Hülle verschlossen werden.

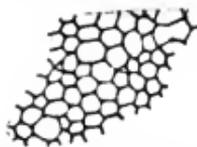


Fig. 1. *Arcella vulgaris*.
Teil des Gehäuses von oben
gesehen.



Fig. 2. *Arcella vulgaris*.
Teil des Gehäuses
im optischen Querschnitt.



Fig. 3. *Arcella vulgaris*.
Gehäuse nach der
Behandlung mit Soda.

Indem ich die Versuche von HERTWIG und LESSER mit dem Anfüllen der Prismenhöhlungen durch Kohlensäure unter aufeinanderfolgender Einwirkung von Soda und Essigsäure wiederholte, gelang es mir, in starken Sodalösungen das allmähliche Auftreten von hellen, mit Flüssigkeit gefüllten Vakuolen innerhalb der einzelnen Prismen zu beobachten, während deren ganze übrige Ausdehnung von einem mehr kompakten, schwach körnigen Inhalte angefüllt war; bei der ferneren Einwirkung von Soda nahm die Zahl der Vakuolen zu und diese letzteren zerflossen schließlich miteinander und erfüllten die gesamte innere Höhlung der Prismen (Fig. 3).

der Mikrostruktur des Gehäuses von *Arcella*, welche jedoch nichts weiteres wie eine optische Täuschung darstellt, der Wirklichkeit nicht entspricht und von dem Unterschied in den Brechungskoeffizienten der verschiedenen Bestandteile der Schale abhängig ist.

Läßt man eine starke Lösung von Eau de Javelle auf das Gehäuse von *Arcella* einwirken, so gelingt es allmählich (im Verlaufe von 2—3 Stunden), dessen gesamte Prismenschicht zu zerstören und die dunkle darunterliegende Hülle bloßzulegen, auf welcher man die Abdrücke der Prismen in Gestalt eines kaum bemerkbaren Netzwerkes aus polygonalen Zellen beobachten kann (Fig. 4). Um die Struktur noch genauer studieren zu können, wandte ich die Methode des Austrocknens (nach BÜTSCHLI) an. Das von seinem Protoplasma befreite Gehäuse von *Arcella* wurde allmählich durch verschiedenen Alkohol von bis zu 99,8 Proz. Stärke (inkl.) geführt, sodann in eine Mischung von Xylol und absolutem Alkohol verbracht und endlich in reines sorgfältig destilliertes Xylol mit einem Siedegrad von 136°—138° C. Hierauf wurde das Gehäuse entweder einfach an der Luft oder aber unter der Luftpumpe bei herabgesetztem Drucke getrocknet.

Das Bild, welches sich nach einer derartigen Bearbeitung des Gehäuses ergab, war sehr charakteristisch: die den optischen Querschnitt der Prismen darstellenden Vielecke treten außerordentlich scharf hervor, wobei sich einige ihrer Seiten als leicht einwärts gebogen erweisen (Fig. 5); bei niedriger Einstellung des Mikroskopes erscheinen die Lücken zwischen den einzelnen Polyedern nicht durchwegs ihrer ganzen Länge nach dunkel, sondern man trifft in

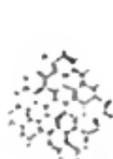


Fig. 4. *Arcella vulgaris*.
Gehäuse nach der Be-
handlung mit
Eau de Javelle.

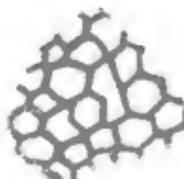


Fig. 5. *Arcella vulgaris*.
Gehäuse, bei herabgesetztem
Luftdrucke ausgetrocknet.

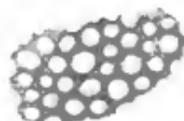


Fig. 6. *Arcella vulgaris*.
Gehäuse, getrocknet und
sodann in Wasser gelegt.

denselben stellenweise kleine hellere Bezirke, welche von einer weniger stark lichtbrechenden Substanz erfüllt sind. Führt man hierauf solche Gehäuse wiederum in 100proz. Alkohol oder in Wasser über, so beobachtet man folgende bemerkenswerte Erscheinung: die Polyeder verlieren fast augenblicklich ihr früheres Aussehen, ihre Ecken runden sich ab und in den zwischen ihnen bestehenden Zwischenräumen treten deutlich die Konturen schwach angesprochener, kaum bemerkbarer kleiner Zellen auf (Fig. 6).

Indem man die Gehäuse zuerst mit einer sauren Pepsinlösung behandelt und sodann wenig verdünntes Eau de Javelle auf dieselben einwirken läßt, gelingt es bisweilen, die einzelnen Prismen voneinander zu isolieren, ohne ihren völligen Zerfall hervorzurufen.

Eine weitere Trennung der Elemente läßt sich verfolgen, indem man eine heiße, starke Lösung von KHO auf die Gehäuse von *Arcella* einwirken läßt; dabei lassen sich einige aufeinanderfolgende Stadien konstatieren: das Schwellen des Gehäuses, dessen Zerfallen in seine einzelnen Bestandteile in Gestalt kleiner Kügelchen und endlich die vollständige Zerstörung.

Indem man alle diese Angaben kombiniert, kann man sich vorstellen, daß die äußere Schicht des Gehäuses von *Arcella* auf irgend eine Weise aus einzelnen kugelförmigen Elementen zusammengesetzt wird, welche von einem speziellen organischen Bindemittel von wabigem Bau ¹⁾ untereinander verkittet werden: indem diese Kügelchen gegenseitig einen Druck aufeinander ausüben, nehmen sie eine polygonale, prismatische Gestalt an, wobei ausnahmsweise zwei oder sogar drei derselben miteinander verschmelzen. Das Vorhandensein kleiner, von Prismen nicht eingenommener Räume von meist dreieckiger Form und mit nach innen vorgewölbten Rändern zwingt uns zu der Annahme, daß diese Gebilde nicht in Gestalt einer Schanmschicht, sondern eben in Gestalt einzelner Kügelchen oder Phäosome im Sinne RUMBLER'S entstehen. Gleichzeitig mit ihnen entsteht auch die innere dünne Schicht, welche ihren chemischen Eigenschaften und ihrer Entstehungsweise nach vielleicht mit der die Körnchen zusammenkittenden Substanz übereinstimmt, was durch ihr Verhalten den Farbstoffen gegenüber bestätigt wird.

Am kräftigsten wird durch Methylenblau die wohlentwickelte innere Schicht gefärbt, weniger gut dagegen die Wandungen der Prismen, oder richtiger gesagt nur deren Zwischenlage. Augenscheinlich sind die Gehäuse von *Pyxidicula* und zum Teil auch diejenigen von *Centropyxis*, nach optischen Flächenschnitten und Querschnitten zu urteilen, nach einem gemeinsamen Plane mit *Arcella* gebaut, obgleich es wohl möglich ist, daß bei der letzteren dieser Rhizopoden das Gehäuse nicht von zusammengeklebten Kügelchen, sondern einfach von einer organischen Substanz mit schamiger Struktur gebildet wird.

Zu den Gehäusen übergehend, bei welchen die obere Schicht

¹⁾ Diese Struktur ist an den Schalen von *Arcella apicata* SCHAUDINN (Deutsch-Ostafrika, Bd. IV) ganz besonders deutlich zu sehen.

aus ungeformten fremden Körperchen oder aber aus geformten, ein Produkt der sekretorischen Tätigkeit des Organismus darstellenden Elementen gebildet wird, wird man vor allem beachten müssen, daß die *Rhizopoda lobosa* und die *Rhizopoda filosa monostomata* in dieser Hinsicht zwei durchaus parallele Reihen darbieten.

| | | |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| | Gehäuse zweischichtig: äußere Schicht aus Fremdkörpern bestehend. | Gehäuse zweischichtig: äußere Schicht aus den Produkten der sekretori- schen Tätigkeit des Organismus bestehend. |
| <i>Lobosa:</i> | <i>Diffflugia, Lecquerensia,</i> | <i>Lecquerensia, Quadrulo- Arcella</i> (?). |
| <i>Filosa monostomata:</i> | <i>Pseudodiffflugia,</i> | <i>Cyphoderia, Euglypha, Trinema,</i> |

Auf den ersten Blick erscheint eine solche Einteilung unbedingt genau und leicht anwendbar; genauere Beobachtungen zeigen uns jedoch, daß wir es auch hier mit einem außerordentlich variablen und nur schwer zu bestimmenden Charakter der Gehäuse zu tun haben. Erstens treffen wir bei den Arten der Gattung *Diffflugia*, welche die äußere Schicht ihrer Gehäuse für gewöhnlich aus Sandkörnchen und Schalen von Kieselalgen aufbauen, nicht selten unter letzteren Produkte der sekretorischen Tätigkeit der Rhizopoden selbst; dasselbe läßt sich auch auf *Pseudodiffflugia* anwenden. Ferner besteht das Gehäuse von *Lecquerensia*, welches für gewöhnlich aus in ihrem eigenen Protoplasma entstandenen Plättchen der verschiedensten Formen aufgebaut wird, bisweilen aus fremden, von außen her gewonnenen Elementen.

WALLICH, einer der ersten Forscher, welcher das polarisierte Licht bei der Untersuchung der Rhizopodengehäuse anwandte (1864, p. 19), bot damit eine sehr bequeme Methode für die Unterscheidung dieser ihrer Natur nach so verschiedenen Bildungen; später benutzte RUMBLE diese selbe Methode bei der Untersuchung von *Diffflugia* (1896, p. 99).

Während die Sandkörnchen bei gekreuzten Nicols die Polarisationsebene drehen, erweisen sich die innerhalb des Protoplasmas der Rhizopoden entstandenen Gehäuseelemente unter gleichen Bedingungen als nicht unterscheidbar, indem sie keine doppelt lichtbrechende Eigenschaft besitzen.¹⁾

¹⁾ Das gleiche Fehlen der Befähigung, die Fläche der Polarisation zu drehen, fand ich (1903a, p. 489) auch bei den Kiesel skeletten der Radiolarien, welche das Produkt der sekretorischen Tätigkeit des Organismus selbst darstellen.

Bei den Rhizopoda treffen wir folgende für den Bau der Gehäuse verwendete Sekretionsprodukte an: unregelmäßige, gleichsam aus einzelnen Kugelchen zusammengeklebte oder verzweigte, bisweilen aber auch bohnenförmige Körperchen, wie bei *Lecquercusia*: dünne, unregelmäßig vieleckige oder an den Ecken schwach abgerundete Plättchen, wie bei einigen *Diffugia*-Arten oder bei *Nebela*; reguläre quadratische oder rechteckige Elemente, wie bei *Quadrula*, oder endlich runde, doppelt gewölbte oder eingebuchtete runde Scheiben und Ellipsen, wie bei *Cyphoderia*, *Euglypha*, *Platocista*, *Assulina*, *Sphenoderia*, *Trinema* und *Corythion*.

Alle die soeben beschriebenen Elemente der äußeren Gehäuse-schicht sind entweder so angeordnet, daß zwischen ihnen kleine Zwischenräume übrig bleiben, welche von der sie untereinander verkittenden Substanz eingenommen werden, oder sie schließen sich mit ihren Rändern dicht aneinander an, oder aber endlich legen sie sich mit ihren Rändern aneinander, ähnlich wie Dachziegel, und zwar stets auf die Weise, daß die der Ausgangsöffnung nähergelegenen Plättchen den Rand der von der Ausgangsöffnung entfernter liegenden nächsten Reihe bedecken.

Dank dem Umstande, daß sich zwischen den Rändern der Plättchen eine diese letzteren miteinander verklebende organische Substanz befindet, sind die Bedingungen für die Lichtbrechung an den verschiedenen Stellen des Gehäuses nicht die gleichen, was zu einer unrichtigen Erklärung ihrer Struktur führte; eine solche finden wir z. B. bei der Beschreibung des Baues der Gehäuse von *Cyphoderia*, welche, wie bisher gewöhnlich angenommen wurde, aus hexagonalen Täfelchen bestehen sollen (FR. E. SCHULZE 1875, p. 110 ff.; LEIDY 1879, p. 206, Taf. 35 Fig. 19, Taf. 36 Fig. 23; RUMBLER 1896, p. 48, Taf. 5 Fig. 7, 10, 14). Obgleich auch RUMBLER bei der Untersuchung von Gehäuseelementen, welche er mit Hilfe von H_2SO_4 und HCl isoliert hatte, sechseckige Plättchen beobachtete, glaube ich dennoch, daß diese Erscheinung durchaus nicht der wirklichen Struktur dieser Gebilde entspricht.

Das gleiche kann auch bezüglich der von RUMBLER (1896, p. 48) beobachteten „knopfförmigen Verdickung“, sowie über „die beiderseitige Einsenkung der centralen Plättchenteile“ an einigen Plättchen von *Cyphoderia* (Taf. I Fig. 9 u. 10) gesagt werden.

Was die Frage über den Ursprung und über die chemische Zusammensetzung der geformten Elemente der Rhizopodengehäuse betrifft, so besitzen wir hierüber vorerst keinerlei unanfechtbare, streng nachgewiesene Angaben. Die chemische Zusammensetzung

der Plättchen von *Euglypha*, *Cyphoderia* und andere Formen wurde meines Wissens noch niemals genügend eingehend beschrieben, so daß alle Autoren Vermutungen für Tatsachen aunahmen. Die einen glaubten, wie z. B. WALLICH (1864, p. 215), in Folge der theoretischen Auffassungen über die Abstammung dieser Elemente von Diatomeenschalen, dieselben beständen aus Kieselsäure; andere, wie z. B. FR. E. SCHULZE (*Cyphoderia*) (1875, p. 110) und LEIDY (*Quadrula*) (1879, p. 143) bezeichneten sie als chitinöse Plättchen.

Auf Grund meiner eigenen Beobachtungen bin ich zu dem Schluß gekommen, daß die Plättchen, aus welchen die meisten Rhizopoda lobota (alle mit Ausnahme von *Quadrula irregularis*) und ein großer Teil der Rhizopoda filosa ihr Gehäuse aufbauen, ihrer chemischen Zusammensetzung nach sehr einförmig sind, da sie hauptsächlich aus Kieselsäure bestehen. Hiervon wurde ich vor allem durch deren Unveränderlichkeit bei der Einwirkung von Hitze und erhitzter starker anorganischer Säuren überzeugt. Das vollständige Verschwinden solcher Plättchen in starken, heißen Lösungen von KHO erweckte in mir jedoch einigen Zweifel bezüglich ihrer chemischen Zusammensetzung und veranlaßte mich, Reaktionen auf Kieselsäure zu versuchen, was ich denn auch mit den Gehäusen von *Lequereusia*, *Euglypha* und *Cyphoderia* durchführte.

Auf den mit einer dicken Schicht zuvor überhitzten Kanadabalsams bedeckten Objektträger, oder noch besser auf ein dünnes Celloidinplättchen wurde ein gewisses Quantum der zu untersuchenden Gebilde verbracht, welche sodann der Einwirkung von Fluorwasserstoffsäure mit einem kleinen Zusatz von Kochsalz ausgesetzt wurden; nach einer Reihe von mißlungenen Versuchen erhielt ich endlich positive Resultate, welche auf die Anwesenheit von SiO_2 in den Gehäusen aller obenerwähnten Rhizopoden hinwiesen.¹⁾

Die Löslichkeit der Plättchen in starken kochenden Lösungen von Kalilauge widersprechen deren chemischer Zusammensetzung in keiner Weise, indem es bekanntlich zwei verschiedene Arten von wasserfreier Kieselsäure gibt; die eine — mit einem spezifischen Gewicht von 2,5, die andere — von 2,2; letztere wird unter anderem

¹⁾ Auf die Anwesenheit von Kieselsäure wird hingewiesen durch die Bildung mikroskopisch kleiner Kristalle von Na_2SiF_6 in Gestalt von Kombinationen aus Prismen und Pyramiden des hexagonalen Systems und ebenso in Gestalt sechseckiger Täfelchen. Die Bedingungen für den günstigen Verlauf der Reaktion bestehen in vollständigem Fehlen von Pseudochitin in den Gehäusen, sowie in dem genügenden Quantum sowohl der für die Reaktion verwandten Elemente, wie auch von HF und NaCl.

durch die Eigenschaft charakterisiert, sich in erhitzten Lösungen von Alkalien wenn auch langsam, aber doch vollständig aufzulösen.

Die Infusorienerde (Kieselgur, Tripel), welche ein Hydrat der Kieselsäure darstellt (mit einem spezifischen Gewicht von 2.2) ist ebenfalls sowohl in Alkalien, wie auch in Flußpathsäure verhältnismäßig leicht löslich.

Wir sehen demnach, daß die meisten der die obere Schicht ihrer Gehäuse aus Plättchen bauenden Rhizopoden die Fähigkeit besitzen, Kieselsäure zu akkumulieren,¹⁾ welche in ihrem Protoplasma in Gestalt verschiedenartig konstruierter Elemente abgelagert wird. Die Frage, woher diese Kieselsäure stammt und in welcher Gestalt sie abgelagert wird, ist bis zu dem heutigen Tage unbeantwortet geblieben. PENARD (1890, p. 19) vermutet mit WALLICH, daß wir es hier mit veränderten Schalen von Bacillariaceen zu tun haben, andere Autoren, wie z. B. RUMBLER (1893, p. 339) nehmen an, daß flüssige Kieselsäure zwischen den Waben des Protoplasmas der Rhizopoden auftritt und, indem sie zusammenfließt, in Gestalt unregelmäßiger Stäbchen (*Lequeureusia*) oder regulärer, meist hexagonaler (?) und elliptischer Plättchen erstarrt (*Cyphosleria* und andere Formen, 1896, p. 103).

Bei der Besichtigung einer ganzen Reihe von lebenden *Lequeureusia epistomium*, wo die Elemente der Gehäuse ziemlich groß und von charakteristischer gekrümmt-elliptischer Form sind, fand ich mehrfach Exemplare, in deren Protoplasma die Reserveplättchen ihrer Größe nach durchaus nicht mit den Plättchen des Gehäuses übereinstimmten. Dies Verhalten brachte mich auf den Gedanken an ein allmähliches Wachsen solcher Gebilde. Um diese Frage zu entscheiden, stellte ich Messungen einer beträchtlichen Anzahl von Reserveelementen sowie auch fertiger Plättchen in den Gehäusen von *Lequeureusia epistomium* an, wobei ich zu der Überzeugung kam, daß in dem Protoplasma zuerst kleine Kieselsäurekörnchen auftreten, welche durch Ablagerung immer neuer Quantitäten von SiO_2 ununterbrochen an Größe zunehmen und bald die Gestalt und die Größe der ausgebildeten Gehäuseelemente annehmen (Fig. 7).

¹⁾ Von großem Interesse ist die Tatsache, daß bei einigen Süßwasserrhizopoden, und zwar bei *Quadrula subglobosa* (*Quadrula irregularis*), Plättchen gefunden wurden, welche nicht Silicium, wie man dies erwarten müßte, sondern Calcium enthalten. Diese Entdeckung von LAGERHEIM (1902), welche später von PENARD (1903, p. 262) bestätigt wurde, erfordert noch ein weiteres eingehenderes Studium. Mir selbst ist es leider kein einziges Mal gelungen, diese *Quadrula*-Art zu finden; bei *Quadrula symmetrica* dagegen bestehen die Plättchen stets, wovon ich mich mehrfach überzeugen konnte, aus Kieselsäure.

Während des Wachstums dieser Plättchen wird die Kieselsäure gleichmäßig auf ihrer gesamten Oberfläche abgelagert, wodurch der centrale Teil des Plättchens schließlich stärker verdickt erscheint als dessen Ränder; die Entstehung der Plättchen erfolgt, wie man annehmen kann, in der Art des Wachstums von Kristallen, und ich kann mich keinesfalls mit der Voraussetzung RUMBLER'S von einem



Fig. 7a—d.

Lecquereusia epistomium.
Allmähliches Wachstum der Reserveplättchen.

Verschmelzen der einzelnen Kieselsäuretröpfchen einverstanden erklären, obgleich sich durch diese letztere Annahme die Struktur der Gehäuseelemente bei *Lecquereusia spiralis* sehr gut erklären ließe. Da ich nicht die Möglichkeit besitze, genaue Beobachtungen über das Wachstum der Reserveplättchen bei dieser letzteren Rhizopodenart vorzunehmen, kann ich nur angeben, daß im allgemeinen die Kieselsäure beständig in sehr unbedeutenden Quantitäten ausgeschieden wird und sofort nach der Ausscheidung aus dem Protoplasma er-

starrt. Die Kieselsäuretröpfchen, wenn solche sich überhaupt bilden, sind unserem (bewaffneten) Auge nicht zugänglich und es ist unmöglich, in ihnen jene Tröpfchen von SiO_2 zu erkennen, welche nach der Voraussetzung von RUMBLER zum Aufbau der Reserveplättchen von *Lecquereusia spiralis* verwendet werden. In diesem letzteren Falle verläuft wohl der ganze Prozeß am ehesten in der Art der Bildung von Kristalldrüsen oder Kristallaggregaten, wobei die einzeln auftretenden Kieselkörner miteinander verschmelzen und dann mit neuen Schichten von Kieselsäure umgeben werden.

Obgleich die Gehäuse verschiedener Rhizopoden, welche aus Produkten der inneren Sekretion dieser Organismen aufgebaut werden, bisweilen zum Teil modifizierte Diatomeenschalen enthalten (wie z. B. die Gehäuse von *Lecquereusia* und *Nebela*), so sind doch solche Fälle durchaus nicht so häufig, wie dies für gewöhnlich angenommen wird. Ich habe häufig derartige Elemente unter den isolierten Bestandteilen von allen möglichen Gehäusen angetroffen, wobei es sich nach sorgfältigen Untersuchungen erwiesen hat, daß wir es hier mit wenigen Ausnahmen mit Körperchen zu tun haben, welche nur ihren Umrissen nach entfernt an Schalen von Bacillariaceen erinnern, während ihre Struktur in keinerlei Weise darauf hinweist, daß derartige Bildungen zu den erwähnten Algen gehören. Außerdem

werden, wie dies aus meinen ferneren Untersuchungen hervorgeht, in den Fällen, wo ein Mangel an fertigen Reserveelementen eintritt, unverdaute Nahrungsreste, in welchen hauptsächlich Diatomeenschalen enthalten sind, zum Aufbau eines neuen Gehäuses verwendet.

Es ist wohl möglich, daß die in das Protoplasma der Rhizopoden gelangten Diatomeenschalen darin aufgelöst werden, und daß ihre Kieselsäure sich später in Gestalt verschieden geformter Plättchen gleichsam wiederum anskristallisiert. Allein eine solche Entstehung der Kieselsäurebildungen ist nicht die einzig mögliche, da Kieselsäure stets im Wasser vorhanden ist, und zwar entweder in gelöstem Zustande oder aber in Gestalt suspendierter Teilchen irgend einer kieselsäurehaltigen komplizierten Verbindung, wie z. B. Ton.¹⁾

Von Interesse ist unter anderem die Abstammung der Elemente in den Gehäusen von *Heleopera* und *Nebela*; bei der letzteren dieser Rhizopoden haben sie das Aussehen quadratischer, runder oder elliptischer Plättchen und unregelmäßig konstruierter Stäbchen. Die einen Autoren, wie z. B. TARÁNEK (1882, p. 15) vermuten, die erwähnten Elemente seien die Produkte der sekretorischen Tätigkeit des Protoplasmas von *Nebela*, andere, wie z. B. PENARD (1890, p. 20 ff.), sind geneigt, darin Plättchen aus den Gehäusen anderer Rhizopoden zu sehen, welche zusammen mit der Nahrung in das Innere von *Nebela* gelangt sind.

Indem ich die Elemente der Gehäuse von *Nebela* isolierte, fand ich zwischen ihnen auch die charakteristischen gezähnelten Randplatten von *Euglypha*, sowie die nicht weniger auffallenden Plättchen von *Quadrula* und *Lecquereusia* (Fig. 8). Ferner gelang es mir auch, einen Zusammenhang zwischen den das betreffende Gewässer bewohnenden Rhizopodenarten und den Elementen der Gehäuse von *Nebela* festzustellen: in denjenigen Gewässern, wo von den Arten der Gattung *Lecquereusia* nur *L. epistomium* vorkam, war in den Gehäusen von *Nebela* das Vorhandensein der leicht zu unterscheidenden Plättchen jener Art zu konstatieren: dieselbe Beobachtung wurde auch bezüglich *Quadrula*



Fig. 8.
Isolierte Plättchen aus dem
Gehäuse von *Nebela* sp.

¹⁾ Es ist auch möglich, daß die kieseligen Elemente in den Gehäusen der Rhizopoda nicht allein aus Kieselsäure bestehen, wie dies auf den ersten Anschein der Fall ist, sondern eine komplizierte, organische, Si-haltige Verbindung darstellen.

angestellt. Indessen beobachtete ich mehrfach Exemplare von *Nebela*, deren Gehäuse aus unregelmäßigen vieleckigen Plättchen bestanden, welche, soviel mir bekannt ist, nicht in Gehäusen anderer Rhizopoden angetroffen werden, sowie aus Schalen von Diatomeen.

Hieraus kann man ersehen, daß infolge irgend welcher Ursachen gewisse *Nebela*-Arten ihre Gehäuse aus Kieselplättchen aufbauen, welche sich in ihrem Protoplasma gebildet haben, andere Arten dagegen aus Plättchen, welche in dem Protoplasma anderer Rhizopoden entstanden und mit der Nahrung in das Innere der *Nebela*-Arten gelangt sind.¹⁾

Bezüglich der Plättchen von *Heleopera* kann ich nur das gleiche aussagen wie oben, indem die Vertreter dieser Gattung sich größtenteils von anderen Rhizopoden ernähren, aus deren Gehäuseresten sie denn auch ihrerseits die äußere Schicht ihres eigenen Gehäuses aufbauen.

Ebenso finden wir auch bei *Diffugia* bald Gehäuse, welche durchweg aus Sandkörnchen gebildet sind, bald dagegen ganz oder zum Teil aus solchen Elementen bestehende Gehäuse, welche im eigenen Protoplasma der Rhizopode entstanden sind.

Unter anderem weist PEXARD (1890, p. 35) darauf hin, daß es ihm noch niemals gelungen sei, unter den Reserveplättchen von *Euglypha* Kieselnadeln aufzufinden, welche doch für die Gehäuse einiger Arten dieser Gattung so überaus charakteristisch sind. Dieser Autor spricht dabei die Vermutung aus, daß diese Nadeln später, erst bei der Bildung des neuen Gehäuses entstehen, und zwar auf andere Weise als dessen Plättchen. Ich kann mich jedoch mit PEXARD nicht einverstanden erklären, indem ich mehrere Male derartige Nadeln zusammen mit Reserveplättchen in dem Protoplasma einiger *Euglypha*- und *Placocista*-Arten gefunden habe. Allerdings waren solche Fälle sehr wenig zahlreich im Vergleich mit der Gesamtheit aller von mir untersuchten Exemplare von Rhizopoden, deren Gehäuse mit derartigen Nadelchen versehen sind, allein man muß dabei in Betracht ziehen, welche Schwierigkeiten es bereitet, diese Nadelchen aufzufinden und von der Meuge von Plättchen und anderen Einschlüssen, welche das Protoplasma der Rhizopode erfüllen, zu unterscheiden. Von besonderem Interesse in dieser Hinsicht ist der von mir an *Euglypha ciliata* beobachtete Fall einer Teilung, wobei aus irgend welchen Gründen in dem Protoplasma des Tieres

¹⁾ Ich habe eine *Nebela maxima* gesehen, welche sieben Exemplare von *Trinema* verschluckt hatte.

nicht genügend Nadeln für das neue Gehäuse gebildet worden waren: die Nadeln wurden hier durch die gewöhnlichen ovalen Plättchen ersetzt, wie sie für den Bau der Gehäusewandung Verwendung finden.

Die meisten Forscher, welche sich mit dem Studium der Rhizopoden abgegeben haben, nahmen entweder das Vorhandensein von Chitin in deren Gehäusen für eine bewiesene Tatsache an, oder aber sie hielten an dieser Bezeichnung sogar noch dann fest, nachdem gewisse Reaktionen, wie z. B. die Löslichkeit in kochender KHO (mittlerer Konzentration), den chemischen Eigenschaften des Chitins nicht entsprochen hatten.¹⁾

Um die chemischen Eigenschaften dieser organischen Substanz, welche sowohl in Gestalt ganzer kompakter Hüllen, wie auch in Gestalt einer die verschiedenartigen für den Bau der Gehäuse verwendeten Elemente miteinander verklebenden und auskleidenden Masse auftritt, eingehender zu untersuchen, wählte ich eine Reihe von Rhizopodenformen — *Arcella*, *Diffugia*, *Centropyxis*, *Nebela*, *Hyalosphenia*, *Cyphoderia*, *Euglypha*, *Gromia* und *Ditrema* —, an welchen ich einige weiter unten beschriebene Reaktionen ausführte.

Indem ich vor allem die Wirkung der Hitze in verschiedener Stärke auf diese Formen anwandte, konnte ich das Vorhandensein einer mehr oder weniger beträchtlichen Quantität organischer Substanz in den Gehäusen aller dieser Rhizopoden feststellen, besonders leicht läßt sich das Verkohlen bei *Gromia*, sowie bei einigen Arten der Gattungen *Centropyxis*, *Diffugia* und *Ditrema* feststellen.

Ferner gelang es mir, gleich PENARD (1890, p. 14, vgl. RUMBLER 1896, p. 99), mich davon zu überzeugen, daß, obgleich die organische Substanz der Gehäuse durch die Hitze zerstört wird, die ursprüngliche Gestalt dieser Gehäuse fast bei allen Arten unverändert bleibt und nur die feinste Struktur derselben leicht deformiert wird, oder eine neue, bis dahin unbemerkt gebliebene Struktur gebildet wird. Infolge dieses Umstandes muß ich mich natürlich mit der Schlußfolgerung von PENARD einverstanden erklären, daß in diesem Falle sogar bei denjenigen Arten, wo für gewöhnlich keinerlei Anzeichen für die Anwesenheit von SiO_2 vorliegen, Kieselsäure dennoch vorhanden ist und die gesamte organische Substanz des Gehäuses durchtränkt.

Da das Protoplasma die Untersuchung erschweren konnte, wurde vor dem Erhitzen der Gehäuse, welches auf dem Objektträger oder auf Platinblech vorgenommen wurde, eine vorbereitende Bearbeitung

¹⁾ RUMBLER 1896, p. 43.

in künstlichem Magensaft mit nachfolgendem Auswaschen in schwacher KHO und destilliertem Wasser angewendet.

In einigen Fällen wurde die Temperatur bis zu einem solchen Grade gesteigert, daß das Deckgläschen zu schmelzen und sich leicht zu krümmen begann, wobei nur *Lecquereusia*, *Nebela* und *Sphenoderia* in die einzelnen, ihre äußere Schicht zusammensetzenden Elemente zerteilen. Wurde jedoch das Glühen auf Platinblech noch weiter fortgesetzt und die Temperatur noch mehr gesteigert, so zeigte sich in den einzelnen aus Kieselsäure bestehenden Elementen eine feinsbläsig Struktur, ihre Ränder begannen abzuschmelzen und bisweilen verschmolzen die Elemente miteinander zu einer formlosen Masse.

Bei der Einwirkung kochender 10—20proz. Lösungen von KHO und ebenso bei der Einwirkung von H_2SO_4 gelang es mir, die organische Substanz der Gehäuse vollständig zu zerstören¹⁾; in den meisten Fällen bleibt bei der Bearbeitung mit KHO von den Gehäusen nichts anderes übrig als Sandkörnchen (*Difflugia*, *Lecquereusia* und *Centropyxis*), dagegen konnte ich mich bei der Anwendung von kalter wie erwärmter H_2SO_4 von der Anwesenheit eines körnigen Rückstandes überzeugen, und zwar nicht bloß bei den Formen, in deren Gehäuse Sandkörnchen enthalten sind, sondern auch bei solchen, welche im Bestande ihres Gehäuses überhaupt keinerlei geformte Elemente besitzen (*Arceella*, *Hyalosphenia*). Diese Körner halte ich für feinste Teilchen der die organische Substanz des Gehäuses durchtränkenden Kieselsäure.

In diesem Falle bestätigen meine Versuche in vollem Maße die theoretische Auffassung von PEXARD und RUMBLER, welche bei den meisten Rhizopoden die Erhaltung der Gestalt des Gehäuses nach Erhitzung einer Verschmelzung der Quarzkörperchen zuschreiben.

Es ist mir nicht gelungen, bei diesen feinsten Teilchen die Reaktion auf SiO_2 anzuwenden, indem es zu viel Schwierigkeiten bereitet, eine für die Reaktion genügende Quantität dieses Niederschlages in reiner, von allen Beimischungen befreiter Gestalt zu gewinnen.

Die meisten Gehäuse, mögen sie nun aus organischer Substanz bestehen oder verschiedene andere Ablagerungen enthalten, sind

¹⁾ Um die organische Substanz mit kalter H_2SO_4 zu zerstören, muß man diese letztere sehr lange (mehrere Tage) einwirken lassen; rascher geht die Zerstörung bei Erwärmung vor sich. In dieser Hinsicht stimmen meine Versuche mit denjenigen von RUMBLER an *Cyphoderia* überein, welcher fand 1896, p. 51, daß die Gehäuse dieser Art bei der Einwirkung von kalter H_2SO_4 nur selten in die Plättchen zerfallen, aus denen sie bestehen.

entweder ganz farblos und durchsichtig, oder aber in verschiedenen Nuancen gelb (*Cochliopodium*, *Pseudochlamys*, *Pyxidicula*, *Arcella*, einige Arten von *Diffflugia*, *Centropyxis*, *Hyalosphenia*, *Cyphoderia*, *Ditrema*, *Gromia*), braun (*Assulina*, *Arcella*) und sogar rosa gefärbt (*Heleopera*).

Indem ich die Gehäuse von *Arcella* und einigen *Diffflugia*, *Hyalosphenia*, *Cyphoderia*, *Ditrema* der Einwirkung von 3—4proz. HCl unterwarf, erzielte ich verschiedene Resultate: während *Arcella*, *Diffflugia*, einige *Centropyxis* sowie *Cyphoderia* vollständig ihre Färbung verloren, blieb diejenige von *Hyalosphenia* und *Ditrema* ganz unverändert. Bei dem Glühen derartiger Gehäuse dagegen blieb umgekehrt die Färbung bei *Arcella*, *Diffflugia*, *Centropyxis* und *Heleopera* unverändert und wurde sogar bei einigen Exemplaren noch intensiver, indem sie in das Rotbraune überging, während *Ditrema* und *Hyalosphenia* nach und nach vollständig farblos wurden. Dies Verhalten veranlaßt mich zu der Vermutung, daß die Färbung der Gehäuse von sehr verschiedenen Ursachen abhängen kann.

Es war schon früher auf die Anwesenheit von Eisen in den Gehäusen von *Cyphoderia* hingewiesen worden (RHIMBLER 1896, p. 32). Indem ich eine 10proz. Lösung von Kaliumeisencyanür und eine gewisse Quantität von halb verdünnter konzentrierter Salzsäure auf die Gehäuse verschiedener Rhizopoden einwirken ließ, erhielt ich folgende Resultate: in den Gehäusen von *Diffflugia* (selbst wenn dieselben farblos sind) und *Arcella* ist auf Grund der Bildung von Berliner Blan stets zweifellos Eisen in Gestalt einer Oxydverbindung vorhanden; dieselben Resultate, wenn auch mit weniger intensiver Färbung, wurden auch bei *Cyphoderia*, *Centropyxis* und bisweilen bei *Hyalosphenia*, *Nebela* und *Heleopera* erzielt. Bei *Ditrema* wiederum gelang es mir im Gegenteil kein einziges Mal, diese charakteristische Färbung zu erzielen. Von besonderer Wichtigkeit ist die Tatsache, daß es gelungen ist, Eisen zu konstatieren einerseits bei Formen, welche entweder ganz farblose, absolut durchsichtige Gehäuse besitzen, wie die *Diffflugia*-Arten, nachdem dieselben gut ausgewaschen und ihres Protoplasmas beraubt worden waren, andererseits aber bei Formen, welche ihre gelbliche Farbe selbst bei der Einwirkung von HCl nicht verlieren, wie *Hyalosphenia*. Die gelbliche Farbe der Gehäuse beruht demnach bisweilen auf der Anwesenheit von Eisensalzen (*Arcella*), bisweilen aber ist sie augenscheinlich an besondere Eigenschaften der die Gehäuse zusammensetzenden organischen Substanz gebunden (*Ditrema*). Auf Grund ihrer Fähigkeit, Eisenoxydverbindungen abzusetzen, spielen die Gehäuse der Süßwasser-

rhizopoden eine nicht geringe Rolle in dem Haushalte der Natur, indem sie die lösliche Eisenoxydulverbindung in dessen unlösliche Oxydform überführen, welche wahrscheinlich ein Hydrat des Eisenoxyds ist. Den Übergang in der Färbung der Gehäuse von *Arcella* von gelb zu rötlich beim Glühen, möchte ich der bei diesem Prozesse vor sich gehenden Wiederherstellung der Eisenoxydverbindungen zuschreiben.

Infolge der Angaben über den ungleichartigen Charakter der organischen Substanz in den Gehäusen beschloß ich, deren chemische Natur bei verschiedenen Rhizopodenformen genauer zu untersuchen.

Zu diesem Zwecke wurde eine ganze Reihe von Reaktionen an den Gehäusen von *Arcella*, *Centropyxis*, *Difflugia*, *Cyphoderia*, *Ditrema* und *Gromia* versucht, und zwar: die Einwirkung von Verdauungsfermenten, Na_2CO_3 , Ammoniak, Salpeter-, Essig-, Schwefel- und Salzsäure verschiedener Konzentration, die MILLOX'sche Reaktion, die Xanthoproteinreaktion, die Reaktion auf abspaltbaren Schwefel und auf Cellulose.¹⁾ Es erwies sich hierbei, daß die Gehäuse der genannten Formen eine organische, stickstoffhaltige Substanz mit einer großen Menge abspaltbaren Schwefels enthalten, welche in künstlichem Magensaft unverdaulich, in Alkalien bei Erhitzung löslich ist, alle charakteristischen Reaktionen auf Eiweißverbindungen gibt und ihren Eigenschaften nach an das Ceratin erinnert; alle diese Eigenschaften zusammengefaßt veranlassen mich, die organische Substanz der Gehäuse auf die Gruppe der Albuminoide zu beziehen und derselben den Namen Pseudo-Chitin zu geben. Selbstverständlich verhalten sich die Gehäuse der verschiedenen Formen den Wirkungen verschiedener chemischer Agentien gegenüber sowohl bezüglich der Zeitdauer als auch was die Intensität der Reaktion betrifft, nicht ganz in der gleichen Weise. Selbst verschiedene Exemplare ein und derselben Art verhalten sich nicht gleichmäßig denselben Reagentien gegenüber. Dies veranlaßt uns zu der Annahme, daß wir es hier (ebenso wie bei den Ceratinbildungen) mit einer Gruppe gleichartiger, außerordentlich veränderlicher chemischer Substanzen zu tun haben.

Es ist wohl möglich, daß die Ursache der mit dem Alter des Organismus stets zunehmenden Widerstandsfähigkeit des Pseudo-Chitins, wie ich sie für die Gehäuse verschiedener Arten nachgewiesen habe, in der allmählichen Polymerisation der Gehäuseteilchen zu suchen ist. Hiermit, glaube ich, wird man auch den

¹⁾ AWERINZEW 1903, p. 351.

von RHUMBLER angegebenen Unterschied im Verhalten der ursprünglichen Kittmasse von *Diffugia acuminata* sowie der von diesem Autor bei einigen Exemplaren beobachteten sekundär ausgeschiedenen organischen Kittmasse der auflösenden Wirkung des Ätzkali gegenüber erklären können.

Literaturverzeichnis.

- 1903 AWERINZEW, S.: Beiträge zur Kenntnis der marinen Rhizopoden. Mitteil. zool. Stat. Neapel Bd. XVI.
- 1903a —: Über die Struktur der Kalkschalen mariner Rhizopoden. Zeitschr. f. wiss. Zool. Bd. LXXIV.
- 1875 BÜTSCHLI, O.: Zur Kenntnis der Fortpflanzung bei *Arcella vulgaris* EUBO. Arch. f. mikr. Anat. Bd. XI.
- 1860—82 —: Protozoa. (In BRONN'S Klassen und Ordnungen des Tierreichs Bd. I Sarcodina.)
- 1838 EHRENBERG, C. G.: Die Infusionstierchen als vollkommene Organismen.
- 1881 GAUBER, A.: Die Teilung der monothalamen Rhizopoden. Zeitschr. f. wiss. Zool. Bd. XXXVI.
- 1874 HERTWIG, R. & LESSER, E.: Über Rhizopoden und denselben nahestehende Organismen. Arch. f. mikr. Anat. Bd. X (Suppl.).
- 1903 KUNSTLER, J.: Notice sur les téguments des micro-organismes. Arch. d'anat. microscop. Bd. VI.
- 1902 LAGERHEIM, G.: Om *Quadrula subglobosa* LAGERH. Geolog. Fören. Förhandl. Stockholm Bd. XXIV.
- 1879 LEIDY, J.: Fresh-water Rhizopoda of North America. Rep. of the Unit. Stat. Geol. Surv. of the Territ. Bd. XII.
- 1890 PENARD, E.: Études sur les rhizopodes d'eau douce. Mém. Soc. Phys. Hist. Nat. Genève Bd. XXXI, 2.
- 1902 —: Faune rhizopodique du bassin du Léman.
- 1903 —: Notice sur les Rhizopodes du Spitzberg. Arch. f. Protistenk. Bd. II.
- 1896 (1895) RHUMBLER, L.: Beiträge zur Kenntnis der Rhizopoden. III, IV, V. Zeitschr. f. wiss. Zool. Bd. LXI.
- 1875 SCHULZE, F. E.: Rhizopodenstudien. III—V. Arch. f. mikr. Anat. Bd. XI.
- 1882 TARAŇEK, K.: Monographie der Nebeliden Böhmens. Abhandl. d. kgl. böhm. Gesellsch. d. Wiss. VI. Folge Bd. XI.
- 1864 WALLICH, G.: On Structural Variation among the Diffugians Rhizopods. Ann. and Magaz. of Nat. Hist. 35. Bd. XIII.
-

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Archiv für Protistenkunde](#)

Jahr/Year: 1907

Band/Volume: [8 1907](#)

Autor(en)/Author(s): Awerinzew Sergei Wassiljewitsch

Artikel/Article: [Die Struktur und die chemische Zusammensetzung](#)

[der Gehäuse bei den Süßwasserrhizopoden 95-111](#)