

*Nachdruck verboten.  
Übersetzungsrecht vorbehalten.*

**Die Doppelschalen von Orbitolites**  
und anderer Foraminiferen,  
vom entwicklungsmechanischen Standpunkt aus betrachtet.

Von

Prof. Dr. Ludwig Rhumbler,  
Privatdozent und Assistent in Göttingen.

(Hierzu Tafel VII und VIII und 17 Textfiguren.)

---

**Inhaltsverzeichnis.**

I. Teil.

**Empirisches über die Gestaltungsform der Doppelschalen.**  
Bezeichnungsweise.

1. Kap. **Univalente Doppelschalen.**
  1. Aus ganz jugendlichen Verschmelzlingen entstandene äquale univalente Doppelschalen.
  2. Univalente Doppelschalen, die aus der Verschmelzung von einer alten Schale mit einer Erstlingschale entstanden sind.
2. Kap. **Bivalente komplanale Doppelschalen.**
  1. Bivalente Doppelschalen, die aus verschmolzenen Erstlingschalen bestehen.
  2. Bivalente Doppelschalen älterer Verschmelzlinge.
    - a) Äquale Doppelschalen.
    - b) Inäquale Doppelschalen.
3. Kap. **Biplanale Doppelschalen.**
  1. Geknickte bivalente Doppelschalen.
    - a) Marginale Vereinigungen.
      - α) Äquale geknickte Doppelschalen.
      - β) Inäquale geknickte Doppelschalen.
    - b) Rand-Scheiben-Vereinigungen.
  2. Gekreuzte bivalente Doppelschalen.
4. Kap. **Eventueller Einfluss einer durchbrochenen oder nachgiebigen Unterlage auf die Gestalt bivalenter komplanaler Doppelschalen.**

5. Kap. **Mehrfachverschmelzungen.**
6. Kap. **Ist die Verschmelzungsfähigkeit auf Individuen von irgend welcher bestimmten Kategorie beschränkt?**
1. Besteht eine Altersgrenze für die Verschmelzungen?
  2. Verschmelzen nur megalosphaerische und nur mikrosphaerische Individuen mit einander oder finden auch zwischen den Schalen verschiedener Generationen Verschmelzungen statt?
7. Kap. **Die Größenverhältnisse der Mehrfachschaalen im Vergleich zu gewöhnlichen Einzelschaalen.**
8. Kap. **Die Doppel- und Mehrfachschaalen in der Litteratur und bei anderen Foraminiferen.**
1. Die Orbitoliteschaalen in der Litteratur.
  2. Doppelschaalen anderer Foraminiferen.
    - a) In der Litteratur.
    - b) Eigene Beobachtungen an anderen Foraminiferen.

## II. Teil.

### Mechanisch-Theoretisches.

9. Kap. **Warum drücken die größeren (älteren) Verschmelzlinge stärker auf die in Bildung begriffene Stauwand als die kleineren (jüngeren)? Woher stammt also mit anderen Worten die Prävalenz des größeren Verschmelzlings über den kleineren?**
10. Kap. **Verhältnis der Kerne zur Schaalenabscheidung und die bei der Kämmerchenbildung maßgebenden mechanischen Faktoren.**
1. Die Rolle der Kerne bei der Abscheidung der Schaalensubstanz.
  2. Die bei der Kämmerchenbildung maßgebenden mechanischen Faktoren.
11. Kap. **Regenerierte Schaalen und Spaltungsmonstra.**
12. Kap. **Die Wirkung der Spannung der abgeschiedenen Schaalensubstanz auf die Ausgestaltung der Doppelschaalen.**
13. Kap. **Wann und warum entwickeln sich univalente Doppelschaalen?**
1. Ganz jugendliche Verschmelzlinge mit weniger als vier präjugalen Kammerlagen.
  2. Univalente Doppelschaalen, die aus einer alten und aus einer Erstlingssschale gebildet sind.
14. Kap. **Warum bringen Erstlingssschaalen bivalente Doppelschaalen zur Ausbildung, sobald ihre Erstlingsachsen sich schneiden?**
15. Kap. **Gekreuzte Doppelschaalen.**
16. Kap. **Entwicklungsmechanische Schlußbetrachtungen.**
- Anhang I: **Maßangaben für Orbitolites duplex Carp.**
- Anhang II: **Versuch einer mechanischen Erklärung der Wanderungen der Kerne nach den Stellen hin, wo die von ihnen produzierten Stoffe gebraucht werden.**
- Anhang III: **Die Art des Eingreifens des Kerns in die mechanische Arbeit der Zelle.**
- Litteraturverzeichnis.
- Tafelerklärungen.

## I. Teil.

**Empirisches über die Gestaltungsformen  
der Doppelschalen.**

Schon anderwärts (RHUMBLER 01, p. 27) habe ich auf eigentümliche Doppelschalen aufmerksam gemacht, die man zuweilen bei gewissen Foraminiferen, vor allem bei Orbitolites gar nicht so selten findet, und die durch eine gewisse Analogie zu den Verschmelzungserscheinungen bei Metazoen ein allgemeineres Interesse verdienen. Tiere, die in frühesten Ausbildungsstadien mit einander verschmolzen sind, teilen den, nach der Verschmelzung von beiden Tieren gemeinsam aufgebauten, Schalenteil in der Regel einen Aufbau mit, der ganz demjenigen eines gewöhnlichen Einzelindividuums entspricht. Es erinnert das an die von ZUR STRASSEN (98) festgestellte Entwicklung von verschmolzenen Ascariseiern („Rieseneier“ ZUR STRASSEN) und an das von DRIESCH aufgedeckte Verhalten mit einander verschmolzener Seeigelblastulae (DRIESCH 00, p. 430), die beide nach der Verschmelzung ein einheitliches normales Individuum aufbauen.

Auf der anderen Seite trägt derselbe „nach der Verschmelzung gemeinsam aufgebaute“ Schalenteil der Foraminiferen-Doppelschalen eine deutliche Duplicität zur Schau, wenn die beiden Individuen bei ihrem gegenseitigen Aufeinandertreffen bereits älter waren, d. h. schon größere Schalen vor ihrer Verschmelzung als Einzeltiere abgeschieden hatten. Es steht also eine derartige Coalescenz älterer Schalen mit den künstlich zur Verwachsung gebrachten älteren Amphibienlarven BORN's (97), die nach ihrer Vereinigung sich durchaus als Doppeltiere weiterentwickelten, in kaum zu verkennender Analogie.

In diesem Aufsätze soll nun eine genauere durch Photographien unterstützte Beschreibung der mir bekannt gewordenen Doppelschalen, eine Analyse des mechanischen Zustandekommens derselben und eine nähere Prüfung erfolgen, in wie weit die erwähnte Analogie zwischen diesen protozootischen Schalen und den Verschmelzungen bei Metazoen zu recht besteht und in wie weit sie etwa eine bloß zufällige ist.

Die nachstehenden Untersuchungen werden sich fast ausschließlich mit Doppelschalen von *Orbitolites duplex* Carp. beschäftigen. Sie wurden aus einer sehr großen Menge von gewöhnlichen einfachen Schalen derselben Art ausgelesen, die Prof. SCHAUNSLAND auf

der Insel Laysan gesammelt hat; wo sie als leere Schalen an den Küstensäumen in großen Massen angeschwemmt, eine Art Küstensand darstellen, wie schon von DANA (cit. bei WALTHER 93, p. 210) festgestellt worden ist. Daneben hat SCHAUINSLAND auch konserviertes Material mit Weichkörpern mitgebracht und mir zur Verfügung gestellt, so daß auch die Weichkörper untersucht werden konnten. Allerdings fanden sich unter diesem Weichkörpermaterial keine Doppelschalen, was aber aus den später (Kap. 10) genannten Gründen nicht schwer ins Gewicht fällt.

Außer *Orbitolites duplex* war auch *Orbitolites complanata* Lam. in großer Zahl im genannten Material vorhanden;<sup>1)</sup> auch sie war, wenn auch seltener, in Doppelschalen vertreten, von denen in allen Hauptstücken dasselbe gilt, wie von den Doppelschalen der *O. duplex*. Die einfacheren Kammerungsverhältnisse hiessen mich die *Orbitolites duplex* bei der nachfolgenden Darstellung bevorzugen.

Das jeweilige Alter der Verschmelzlinge läßt sich bei *Orbitolites* leicht, wenn auch nur in relativen Größen angeben, nämlich in Kammerringen, welche sich um die Embryonalkammer dieser cyklisch wachsenden, biplan kreisscheibenförmigen Foraminifere, in um so größerer Zahl vorfinden, je älter sie ist. Eine Schale ist zehn Kammerringe alt, wenn sie zehn Kammerringe um die Embryonalkammer herum gelegt hat. Welchem Zeitwert ein Kammering entspricht läßt sich aus dem Aufbau der Schale nicht entnehmen. Dieser Zeitwert ist aber auch für unsere Fragen gleichgültig und zudem voraussichtlich nicht immer gleich, sondern, wie ohne weiteres vorausgesetzt werden darf, von der zur Verfügung stehenden Nahrungsmenge, der Temperatur und sonstigen nicht leicht zu übersehenden äußeren Umständen abhängig. Da die Schalteile, die einmal angelegt sind, auch späterhin erhalten bleiben, wenn während des Wachstums weitere Schalteile hinzugekommen sind, so führt jede Schale so zu sagen Protokoll über ihre eigene Ausbildungsgeschichte und es läßt sich im späteren Alter der Schale noch vielerlei späterhin erkennen, was die altgewordene Schale in ihrer Jugend durchgemacht hat.

---

<sup>1)</sup> Die Untersuchung der anderen im Material SCHAUINSLAND's vorgefundenen Foraminiferen wird später in den Zoolog. Jahrbüchern (SPENGLER) erfolgen; hier wird nur auf das gegenwärtige Thema Bezügliches mitgeteilt. Herrn Prof. Dr. H. SCHAUINSLAND erlaube ich mir aber schon hier meinen vorläufigen besten Dank für die Zuweisung des Materials abzustatten.

Verschmelzungen von Schalen treten bei Orbitolites ganz besonders leicht ein. Sie setzt sich in großer Zahl und oft in mehreren Exemplaren dicht neben einander auf Tangen fest, so daß die anwachsenden Schalen während des Wachstums mit ihren Rändern zusammenstoßen und dann mit einander verwachsen. Die Tangstücke, von denen Herr Prof. SCHAUMSLAND einige auf Laysan sammelte, gehören verschiedenen Gattungen und Arten an, und werden von den Orbitoliten in verschiedenster Weise besetzt. Für gewöhnlich treffen die Schalen in einer Ebene auf einander, weil sie meistens beide der ebenen Blattfläche eines Tanges mit einer ihrer Scheibenflächen flach aufliegen. Manchmal stoßen sie aber auch unter einem beliebigen Winkel zusammen; z. B. wenn die beiderseitige Begegnung an der Abzweigungsstelle eines Seitenastes oder auf einer stark gewellten Fläche eines Tanges stattgefunden hat, und die eine Schale auf einem Wellenberg, die andere in einem Wellenthale sitzt.

### Bezeichnungweise.

Zur Erleichterung der nachfolgenden Darstellung und zum Verständnis der beigegebenen Tabellen sollen einige Ausdrücke eingeführt werden.

Bei den megalosphaerischen Schalen von Orbitolites duplex, mit denen wir es im Nachstehenden vorwiegend zu thun haben, folgen auf die große, bekanntlich als Megalosphaere bezeichnete Embryonalkammer zunächst 2—6 Kammerreihen (Photo 1 u. 6), die noch nicht die Megalosphaere ringartig umfassen, sondern bloß nach einer Seite hin sich als mit der Reihenzahl immer größer werdende „Teile“ von Kreisbogen der Megalosphaere anschließen.

Die megalosphaerischen Embryonalkammern von Orbitolites duplex bestehen aus einem etwas abgeplatteten, an einer Seite eine geringe Zuspitzung tragenden, sonst kugligen Centralraum, um dessen Zuspitzung sich ein schlauchförmiger Kammerteil wie eine Öse herumlegt (Photo 1). Der schlauchförmige Teil mündet nach einem vollen Umgang wieder an der Zuspitzung und öffnet sich hier dann, um die Erstlingskammern anzuschließen. Da sich die nicht cyklichen Erstlingskammern manchmal nicht leicht von den späteren Kammerringen unterscheiden lassen, so läßt sich der ungefähre Verlauf der Erstlingsachse oft bequemer dadurch finden, daß man durch die Mitte des Centralraumes und seine Zuspitzung sich eine Linie gezogen denkt, die mit ausreichender Annäherung mit der Erstlingsachse zusammenfällt. Jedoch ist die Embryonalkammer manchmal anormal verzogen (Photo 6), so daß dann die angegebene Erleichterung nicht gilt, sondern der durch die Definition der Erstlingsachse angegebene Weg eingeschlagen werden muß.

Diese „nicht zu vollkommenen Kreisen zusammenlaufenden 2—6 Kammerreihen“ bezeichne ich als „Erstlingskammern.“

Die durch die Mitte der Reihen der Erstlingskammern und die Mitte der Embryonalkammer hindurchgehend gedachte Linie soll „Erstlingsachse“ heißen.

Die späteren Kammern legen sich in Form mit dem Alter der Schale an Breite zunehmender „geschlossener“ Ringe um den Erstlingsteil der Schale (= Megalosphaere + Erstlingskammern) herum und werden deshalb als „Ringkammern“ oder kurzweg als „Ringe“ bezeichnet. Jede Ringkammer ist in kleine Sekundärkämmerchen untergeteilt, die, mit ihrer Längsachse in der Höhenrichtung der Scheibe verlaufend, an den beiderseits an die äußeren Scheibenflächen der Schale angrenzenden Enden unter wiederum „kammeriger“ Anschwellung nach dem Schalencentrum zurückgeneigt sind, und in den auf einander folgenden Ringen alternierend stehen. Die Kämmerchen desselben Ringes sind durch einen cirkulären Verbindungskanal in Connex gesetzt und münden am Schalenrand mit besonderen Mündungsporen nach außen, von denen sich normalerweise zwei (pro Kämmerchen) vorfinden, die jedoch bei meinen Exemplaren gar nicht selten zu einer verschmolzen sind. Sie sollen einfach als „Randporen“ bezeichnet werden. Wenn diese Randporen von neuen Kämmerchen überdeckt werden, stellen sie radiäre Kammerverbindungen von Ring zu Ring dar.

Die alternierende Anordnung der Kämmerchen ist derart eingerichtet, daß namentlich bei durchfallendem Licht (Photo 7, 24 u. a.) eine oft mit kunstvoller Regelmäßigkeit ausgeführte Figur entsteht, die an diejenige erinnert, welche man häufig auf der Rückseite von Taschenuhren angebracht findet.<sup>1)</sup> Diese Figur kann das Abzählen der Ringe sehr erschweren, da man durch sie leicht in falsche Kammerreihen eingeführt wird. Beobachtungen bei auffallendem Licht bringen dagegen die Ringe deutlich zum Ausdruck (Photo 18—20 u. 33—35).

In betreff der verschmolzenen Schalen (die nach meiner früheren Benennung [98a p. 71] als „Doppelschalen“ zu bezeichnen sind, weil bei ihnen nicht bloß die Schalen, sondern im Inneren derselben auch die Weichkörper in direkter Berührung stehen) sind nachfolgende Ausdrücke gebraucht worden.

Jeder Teilhaber an einer Doppelschale wird als „Verschmelzling“ bezeichnet. Sind die Verschmelzlinge in erkennbarer Weise

<sup>1)</sup> Herr Prof. W. Roux hat mich auf dem Zoologenkongreß in Berlin darauf aufmerksam gemacht, daß diese Zeichnung sehr an Trajektoriensysteme erinnere, wie man sie in manchen Knochen findet.

ungleich alt, dann heißen sie „inäqual“; sind sie bezüglich ihres Alters nicht merkbar verschieden, so werden sie „äqual“ genannt, im gleichen Sinne ist eine „äquale“ oder „inäquale“ Doppelschale eine solche, die aus äqualen, beziehungsweise inäqualen Verschmelzungen besteht.

Doppelschalen, deren Verschmelzlinge in einer gemeinsamen Ebene liegen, nenne ich „komplanale“;<sup>1)</sup> solche dagegen, deren zugehörige Verschmelzlinge verschiedenen Ebenen angehören, „biplanale“.

Alle Kammern, die schon zur Zeit der Verschmelzung (als die Tiere mit ihren Schalenrändern eben zusammentrafen) angelegt waren, die also zu dem Verschmelzungsakte bereits fertig mitgebracht wurden, bezeichne ich (einerlei, ob es sich dabei um Erstlingskammern oder auch um Kammerringe handelt) als „präjugale Kammern“.<sup>2)</sup>

Im Gegensatz hierzu sind als „postjugale Kammern“ alle diejenigen bezeichnet, welche erst nach der stattgefundenen Verschmelzung aufgebaut worden sind.

Die von Embryonalkammermitte des einen zur Embryonalkammermitte des anderen Verschmelzlings gezogene gedachte Linie bezeichne ich als „Verbindungsachse“.

Die Winkel, welche die Verbindungsachse mit den Erstlingsachsen (cf. oben) bildet, sollen „Winkel der Erstlingsachsen“ heißen (cf. Textfig. A die durch Punktierung kenntlich gemachten Winkel).

Als „Verschmelzungsnaht“ gilt diejenige Linie, in welcher die Kammern der beiderseitigen Verschmelzlinge an einander stoßen. Die Verschmelzungsnaht schneidet die Verbindungsachse fast immer rechtwinklig.

Unter „orthogonalem Durchmesser“ oder kurz unter „Orthogonalachse“ bezeichne ich in jedem Verschmelzling denjenigen Schalendurchmesser, welcher zur Verbindungsachse (im Endpunkt derselben) senkrecht steht.

Biplanale Doppelschalen können auf zweierlei Weise kom-

<sup>1)</sup> Die Endung „planal“ soll ausdrücken „Ebenen angehörig“, nicht etwa schlechthin „eben“ wie die Endung „plan“. Eine „biplane“ Schale ist nach altem Sprachgebrauch eine mit zwei ebenen Oberflächen ausgestattete. Eine „biplanale“ Doppelschale aber eine, deren verschmolzene Einzelschalen in verschiedenen Ebenen liegen.

<sup>2)</sup> Diese sehr zweckmäßigen Ausdrücke (präjugal und postjugal) verdanke ich einem gütigen Vorschlage des Herrn Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. E. EHLERS.

poniert sein. Im ersten einfachsten Falle bleiben die Orthogonalachsen der beiden Verschmelzlinge unter sich und mit der Verschmelzungsnaht parallel, die beiden Schalenscheiben schneiden sich dann winklig in der Verschmelzungsnaht. Die Verbindungsachse wird winklig geknickt,<sup>1)</sup> den Winkel, den die Verbindungsachse alsdann bildet, und dessen Scheitel auf der Verschmelzungsnaht gelegen ist, bezeichne ich als „Knickungswinkel“, die betreffenden Doppelschalen als „geknickte Doppelschalen“.

Im zweiten komplizierteren Falle kreuzt die Projektion der einen Orthogonalachse (auf die durch die andere Orthogonalachse gelegte Vertikalebene)<sup>2)</sup> die Orthogonalachse des anderen Verschmelzlings unter Bildung zweier Winkelpaare, dessen kleinere gleiche Scheitelwinkel „Kreuzungswinkel“ genannt werden sollen. Unter derartigen Verhältnissen bezeichne ich die betreffenden Doppelschalen als „gekreuzte Doppelschalen“ (bezw. kürzer als Kreuzlinge). (Fig. F.)

Je größer die Kreuzungswinkel sind, desto mehr verliert die Verschmelzungsnaht an Ausdehnung, weil naturgemäß nur an der Verlötnungsstelle des Kreuzes eine solche vorhanden sein kann, und diese Verlötnungsstelle um so kleiner wird, je schroffer die Kreuzung ist.

Der Aufbau der postjugalen Schalenteile läßt zwei verschiedene Ausbildungsmodi erkennen.

Der „univalente“ Modus ist dadurch gekennzeichnet, daß die postjugalen Kammern durchweg ihr gewöhnliches Verhalten zeigen, also sich als ungestörte konzentrische Ringe zu einer vollständig normal aussehenden Schalenscheibe zusammenfügen, die sich von der Ausbildung einer gewöhnlichen Einzelschale nur dadurch auszeichnet, daß im Centrum der Kammerringe nicht wie sonst „eine“ Embryonalkammer, sondern deren „zwei“ liegen, die entweder direkt zusammenstoßen (Photo 7) oder auch durch einige präjugale Kammerringe getrennt sein können (Photo 4).

Bei den univalenten Doppelschalen haben demnach die mit einander verschmolzenen Schalen während ihres gemeinsamen Wachstums keine vollen Ganzkreise von Kammern zur Ausbildung gebracht, wie ihnen als Einzelschale zukäme, sondern jeder Verschmelzling produziert fortgesetzt jeweils nur einen postjugalen Halbkreis von Kammern. Erst durch den engen Zusammenschluß der beiderseitigen postjugalen Halbringe entstehen die Ganzringe der postjugalen Zeit-

<sup>1)</sup> Ich scheue hier vor dem Ausdruck „geknickte Achse“ nicht zurück, um nicht noch mehr Termini einführen zu müssen.

<sup>2)</sup> Ebene, die senkrecht zur Schalenscheibe in der Orthogonalachse errichtet ist.



periode, die sich als gemeinsames Produkt um die beiden Verschmelzlinge als gemeinsames Centrum herumlegen.

Jeder Verschmelzling hat also einen Teil seiner prospektiven Potenz (d. i. seines individuellen Könnens) aufgegeben und als Hälfte mit dem anderen ein gemeinsames einheitliches Ganzes erzeugt. Es handelt sich demnach um „verschmolzene Einheitsobjekte“ im Sinne DRIESCH'S (00, p. 431), allerdings mit der Maßgabe, daß die zur Zeit der Verschmelzung bereits fertiggestellten beiderseits mitgebrachten „präjugalen Kammern“ nicht verändert und deshalb auch nicht gleichfalls in ein Einheitliches umgeschmolzen werden. Die Einheitsstruktur bezieht sich nur auf das nach der Verschmelzung Gebildete, nicht auf das, was schon vor dem Zusammentreffen gebildet war.

Der „bivalente Modus“ des postjugalen Schalenaufbaues besteht darin, daß die beiderseitigen Verschmelzlinge auch nach der Verschmelzung ihre Kammerkreise voll (also nicht wie vorhin als Halbkreise) zur Ausbildung zu bringen suchen.<sup>1)</sup> Es handelt sich bei solchen Schalen offenbar ohne jede Einschränkung um „Zwillingsentwicklung“ im Sinne DRIESCH'S (00, p. 431). Ein Umstand macht die bivalenten Schalen besonders auffallend. Da die Schalen während ihres Zusammentreffens auf Fremdkörpern festsitzen, können sie nicht aus einander rücken, während sie beiderseits ihre „vollen“ Kammerringe zur Ausbildung bringen, da nun infolge hiervon die beiderseitigen Ringe sich an der Verschmelzungsstelle zwischen den Schalenrändern der zusammentretenden Tiere gegeneinanderpressen müssen und in den früheren Schalenebenen nicht Platz finden können, so hebt sich an der Verschmelzungsnaht der Wachstumsrand der gegen einander andrängenden Schalen nach oben, d. h. in einer der Unterlage (Alge) entgegengesetzten Richtung — in die Unterlage selbst kann er sich wegen deren Widerstandskraft natürlich nicht hineinsenken — mauerartig empor und es entsteht „auf der Verschmelzungsnaht“ eine aus Kammerderivaten der beiden Verschmelzlinge zusammengesetzte Scheidewand, die ich ihrer Entstehungsursache wegen als „Stauwand“ bezeichnen will (SS, in Photo 14—16 u. 19—22).

Diese Stauwände sind es, welche die bivalenten Doppelschalen besonders auffällig machen; doch muß gleich hier darauf aufmerksam gemacht werden, daß ganz täuschend ähnlich sehende Wände und

---

<sup>1)</sup> Daß hierbei die beiderseitigen Sekundärkammerreihen mit einander verschmolzen sind, wird später gezeigt werden.

ähnliche Schalenauswüchse auch bei gewöhnlichen einfachen (nach altem Brauche als „laciniat“ bezeichnete) Schalen vorkommen, die sich dann aber durch den Besitz von bloß „einer“ Embryonalkammer der Verwechslung mit Doppelschalen entziehen. Die bloß laciniaten Auswüchse lassen keine bestimmte Lagerung zum Schalenganzen erkennen, während sich die „Stauwände der Doppelschalen stets auf der Verschmelzungsnah (also innerhalb des Abstandes zwischen den beiden Embryonalkammern) in die Höhe richten und außerdem senkrecht zur Verbindungsachse stehen. Laciniate Auswüchse kommen auch bei Doppelschalen vor, lassen sich aber, wie aus dem eben Gesagten folgt, von den echten Stauwänden stets durch ihre Lagerung unterscheiden.

Bei gekreuzten Doppelschalen kann die Stauwandbildung fehlen (cf. Kap. 5), die gekreuzten Schalen setzen sich dann aber so scharf von einander ab, daß ihre Natur als bivalente Doppelschalen gar nicht verkannt werden kann.

Zu den beigegebenen Photographien ist zu bemerken, daß sich die von der Bildfläche aus in die Höhe hebenden Stauwände und etwa sonst vorhandene Schalenexkreszenzen bei dem durchfallenden Lichte, bei welchen die Schalen zur Sichtbarmachung ihrer Kammern aufgenommen werden mußten, als dunkle ungekammerte Streifen projizieren, deren Kammerung nicht erkannt werden kann, weil bei der Aufnahme unter Vergrößerung natürlich immer nur eine optische Ebene der Schale scharf eingestellt werden konnte. Die richtige Interpretation der Bilder soll durch die bei auffallendem Lichte angefertigten Photogramme 18—20 u. 30—35 erleichtert werden.

Ehe wir uns zur Besprechung der einzelnen Arten von Doppelschalen wenden, mag noch einmal folgender Schlüssel an die Eigentümlichkeiten der von uns unterschiedenen Kategorien von Doppelschalen erinnern:

Die Verschmelzlinge liegen in einer Ebene: komplana- le Doppelschalen.	}	Ohne Stauwand auf der Verschmelzungsnah . . . . .	1. univalente Doppelschalen.
		Mit Stauwand auf der Verschmelzungsnah . . . . .	2. bivalente komplana- le Doppelschalen.

Die Verschmelzlinge liegen in verschiedenen Ebenen: biplanale Doppelschalen.	}	Die Orthogonalachsen der Verschmelzlinge sind parallel, Stauwand vorhanden . . .	3. geknickte bivalente Doppelschalen.
		Die Orthogonalachsen der Verschmelzlinge sind nicht parallel. Bei schroffer Kreuzung ist die Stauwand reduziert . . .	4. gekreuzte bivalente Doppelschalen.

### 1. Kapitel. Univalente Doppelschalen.

(Ohne Stauwand „zwischen“ den Verschmelzlingen.)

Univalente Doppelschalen können sowohl, wie früher gesagt (01), von ganz jugendlichen Verschmelzlingen als auch, wie hier hinzugefügt werden muß, dann gebildet werden, wenn bloß der eine Verschmelzling zur Zeit der Verschmelzung ganz jugendlich, der andere aber bereits sehr alt war.

#### 1. Aus ganz jugendlichen Verschmelzlingen entstandene äquale univalente Doppelschalen.

Die regelmäßigste Ausbildung der hierher zu rechnenden Doppelschalen zeigt das in Photo 7 abgebildete Exemplar, hier ist der Verlauf der Kammeranordnung so regelmäßig und einheitlich, wie er sonst selbst bei gewöhnlichen Einzelschalen gar nicht oft vorkommt. Die beiden Embryonalkammern stoßen unmittelbar an einander; präjugale Kammerringe sind überhaupt nicht vorhanden; Kammerringe waren also während der Verschmelzung überhaupt noch nicht erzeugt; wohl aber wäre es denkbar, dass die zusammengetretenen Megalosphären schon einige Erstlingskammern, die ja keine Ringe bilden, besessen haben, darüber ist eine Entscheidung nicht möglich. Es steht nur fest, daß die Megalosphären nur eine ganz geringe Anzahl oder auch gar keine Kammern erzeugt hatten, als sie auf einander trafen.

Das Letztgesagte gilt auch von den zwei weiteren Exemplaren, die in Photo 3 und 5 abgebildet sind; auch sie besitzen nämlich

keine präjugalen Kammerringe. Der periphere Rand dieser Schalen ist z. T. durch Bruch, größtenteils aber durch Ungleichmäßigkeiten in der Kammerausbildung — die bei allen Schalen, also auch bei den Einzelindividuen, in ganz der gleichen Weise vorkommen — nicht so regelmäßig als bei dem Exemplar Photo 7. Im Übrigen läßt sich aber auch bei diesen Schalen die durchaus einheitliche „univalente“ Ausbildung der Doppelschalen nicht verkennen.

Daß das direkte Aneinanderstoßen der beiderseitigen Embryonalkammern, wie es die seither betrachteten Doppelschalen zeigten, kein unerläßliches Erfordernis für eine recht regelmäßige Ausbildung der univalenten Doppelschalen ist, zeigt das Exemplar Photo 4 dessen Embryonalkammern deutlich um zwei präjugale Ringe von einander getrennt sind.

Die fünf übrigen äqualen univalenten Doppelschalen, die ich in dem von mir untersuchten Material aufgefunden habe, zeichnen sich durch einige weitere Besonderheiten aus: ihre Scheibenflächen sind nicht glatt, sondern mit verschiedenartigen Exkreszenzen besetzt.

Die Schale, Photo 12, zeigt zwei auf der Schalenscheibe senkrecht stehende — die eine nach oben, die andere nach unten von der Bildfläche gerichtete-mauerartige kurze Radiärfalten.

Das Exemplar, Photo 8, zeigt am Rande eine stark zugespitzte, trichterförmige Spaltung, deren weitere Öffnung an der Schalenperipherie liegt, während die Trichtermündung auf die eine der beiden Embryonalkammern zugerichtet ist.

In der Photographie hat dieser Trichter durch den V-förmigen dunkleren Streifen Ausdruck gefunden, dessen Scheitel, wie man sieht, der einen Embryonalkammer zugekehrt ist.

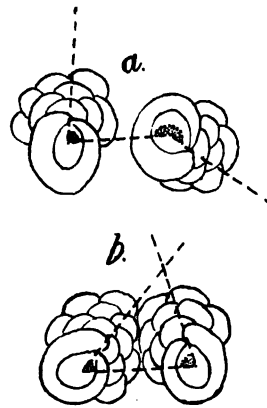
Die beiden in den Photogrammen 9 und 10 wiedergegebenen Schalen führen eine Spaltung der Schalenscheibe parallel zur Verbindungsachse vor, die bei Photo 9 noch wie ein zusammengedrückter Trichter aussieht, bei Photo 10 aber ohne seitlichen Abschluß zum Trichterkegel ist; die emporstehenden Spalthälften lassen sich durch ihre Dunkelung in der Photographie erkennen.

Die präjugalen Kammerringe übersteigen auch hier die Zahl vier nicht, in vier Fällen sind überhaupt keine präjugalen Ringe vorhanden, wie die Tabelle b im Anhang I zeigt (cf. No. 5 u. 7—9).

Keine dieser Exkreszenzen zeigt die charakteristische Lagerung einer echten „Stauwand“, senkrecht zur Verbindungsachse im Zwischenraum zwischen den beiderseitigen Embryonalkammern.

Man könnte daran denken, daß die genannten Schalenauswüchse Stauwände vorstellten, die nicht wie die echten Stauwände von den späteren geschlossenen Kammerringen erzeugt sind, sondern von einer Kollision der nicht zu Ringen an einander gereihten Erstlingskammern herrührten.<sup>1)</sup>

Es läßt sich ja leicht einsehen, daß die Kollision der beiderseits zur Kammerbildung aus den Randporen vorgeflossenen Sarkodemassen, oder kurz gesagt der beiderseitigen Kammeransätze, nur dann „zwischen“ den beiderseitigen Embryonalkammern „senkrecht“ zur Verbindungsachse stattfinden „muß“, wenn die neuzugesetzten Kammern als volle Kreise rings um die Schalenscheiben herum zur Ausbildung kommen, denn die gemeinsame Schnittsehne (cf. Verschmelzungsnaht) zweier sich schneidender Kreise (cf. Ringkammern per Verschmelzlinge) steht stets senkrecht zur Verbindungslinie (cf. Verbindungsachse) der Mittelpunkte der beiden Kreise. Die Collision kann dagegen auf sehr verschiedenen Strecken eintreten, wenn die Kammern, wie dies bei den Erstlingskammern der Fall ist, nur nach bestimmten Richtungen hin angesetzt werden; Voraussetzung ist hierfür nur, daß die „Erstlingsachsen“ (cf. p. 197) sich schneiden, denn nur dann werden die Erstlingskammern mit einander kollidieren, ehe sie von Ringkammern umrahmt werden. Damit sich nun die Erstlingsachsen, die ihren 0-Punkt im Centrum der Embryonalkammern haben, schneiden können, ist es notwendig, daß beide auf derselben Seite der Verbindungsachse liegen und mit der Verbindungsachse gemeinsam ein Dreieck bilden (dessen Eckpunkte in den Mittelpunkten der Embryonalkammern und dem Schnittpunkte der Erstlingsachsen gegeben sind). Dieses Dreieck kann aber natürlich nur dann zu stande kommen, wenn die Summe der Winkel der Erstlings-



Textfig. A.

Schema, soll zeigen, daß sich die Erstlingsachsen nur dann schneiden können, wenn die Summe der „Winkel der Erstlingsachsen“, deren Scheitel in der Figur punktiert sind, nicht größer als  $180^\circ$  ist. In Fig. a ist die Summe größer als  $180^\circ$  (nämlich =  $85 + 215^\circ = 300^\circ$ ), in Fig. b kleiner als  $180^\circ$  (nämlich =  $75 + 50^\circ = 125^\circ$ ); in Fig. b schneiden sich die Erstlingsachsen daher; in Fig. a dagegen nicht.

<sup>1)</sup> Die nachfolgende kurze mechanische Auseinandersetzung, die eigentlich in den theoretischen Teil der Arbeit gehört, ist bereits hier eingefügt, um auf die eventuelle Bedeutung der Winkel der Erstlingsachsen aufmerksam zu machen,

achsen nicht über  $180^\circ$  beträgt, wie ohne weiteres aus Textfig. A hervorgehen wird.<sup>1)</sup> (Winkelsumme im Dreieck =  $180^\circ$ )

Nun ist aber, wie aus unserer Tabelle 1 im Anhang I hervorgeht, bei allen seither betrachteten univalenten Doppelschalen — ob sie glatte Oberflächen oder die erwähnten Exkrescenzen tragen, ist hierbei einerlei — die Summe der Winkel der Erstlingsachsen (siehe die entsprechende Rubrik in der Tabelle) größer als  $180^\circ$ . Die erwähnten Exkrescenzen können also nicht ohne Weiteres auf eine Kollision der Erstlingskammern zurückgeführt werden.

Daran ändert sich nichts, wenn wir später sehen werden, daß die Kollision der Erstlingsachsen unter besonderen Umständen sogar echte Stauwandbildung hervorrufen kann. Die erwähnten Exkrescenzen verschuldet sie offenbar nicht, sondern es handelt sich hier um sogenannte „laciniate“ Bildungen, die ebenso häufig auch bei gewöhnlichen Einzelschalen angetroffen werden (Photo 17 und 18 L; man vergleiche 18 L mit 10 L; die Schalen Photo 17 u. 18 sind einfache Schalen, denn sie haben nur eine Embryonalkammer) und die deshalb nicht im stande sind, die univalenten Doppelschalen ihres einheitlichen Ausbildungscharakters zu entkleiden, den wir ihnen zugeschrieben haben.

## 2. Univalente Doppelschalen, die aus der Verschmelzung von einer alten Schale mit einer Erstlingsschale entstanden sind.

Univalente Doppelschalen kommen auch dann zu stande, wenn eine alte Schale, die schon eine größere Zahl von Kammerringen (bei meinen hierher gehörigen Exemplaren sind es stets mehr als zwölf) erzeugt hat, mit einer Erstlingsschale zusammentrifft, die überhaupt noch keinen Kammerring besitzt, sei es, daß sie schon als einfache Embryonalkammern oder sei es, daß sie erst, nachdem sie

deren Angabe wir zu späterer Verwendung bei unseren mechanischen Ableitungen nicht entbehren können.

<sup>1)</sup> Die Winkel müssen stets so gemessen werden, als gehörten sie bereits einem, wenn schon unmöglichen, Dreieck an, d. h. man darf nie einen Schenkel überschreiten, um zu dem anderen Winkel zu gelangen, sondern muß die Messungen entweder rechts oder links von der Verbindungsachse (nie einmal rechts, einmal links von ihr) vornehmen, wenn man sich auf dem Liniensystem: „Erstlingsachse des einen Verschmelzlings-Verbindungsachse-Erstlingsachse des anderen Verschmelzlings“ entlang gehen denkt. Die Nulllinie des Transporteurs ist auf der Verbindungsachse anzulegen und die Winkelmaße müssen durch die vier Quadranten, also bis  $360^\circ$  durchgehen.

bereits einige ihrer nicht ringförmigen Erstlingskammern angelegt hatte, von der älteren erreicht wurde. Es findet dann eine einfache Umfließung der fremden Embryonalkammer und ihrer eventuellen Erstlingskammern statt, welche höchstens mit einer Verdickung der Schalenscheibe (Fig. 13 der dunkle Fleck bei A) verbunden ist (da, wo die Erstlingskammern der umflossenen fremden Embryonalkammer liegen).

Das Exemplar Phot. 13 trägt über der Embryonalkammer des älteren Verschmelzlings einen laciniaten Kamm (L), der seiner Lage nach bereits lange vor der Kollision errichtet worden sein muß — denn er zieht sich schon über die frühesten präjugalen Kammeringe hin — er darf deshalb in keiner Weise mit der späteren beiderseitigen Verschmelzung in ursächlichen Zusammenhang gebracht werden. Eine echte Stauwand, die auf der Verbindungachse  $EE_1$  liegen müßte, fehlt. Der Scheibenkontur ist nach der eingeschmolzenen Erstlingsschale hin etwas zugespitzt; im übrigen hat die Einschmelzung des Fremdlings keine weiteren Störungen im Kammergefüge des größeren Verschmelzlings hervorgebracht.

Ich habe im ganzen drei komplanale Doppelschalen dieser Art aufgefunden. Keine hatte eine Stauwand zwischen der Embryonalkammer der älteren Schale und derjenigen des in die Schalenscheibe einverleibten Erstlingsschale hochgetrieben, die Schalen sind also alle drei „univalent“; die Summe ihrer jeweiligen beiderseitigen Erstlingsachsenwinkel beträgt durchweg über  $180^\circ$ , so daß sich also die Erstlingsachsen in keinem der drei Exemplare schneiden.<sup>1)</sup>

Ausser den drei genannten komplanalen Doppelindividuen besitze ich ein Exemplar, dessen einverleibte Erstlingsschale einen ungefähr rechten Winkel mit der größeren Schale bildet, welches also biplanal ist, und das gleich hier abgehandelt werden soll, obgleich es eigentlich in ein späteres Kapitel gehört, um die Verschmelzung von Erstlingsschalen mit älteren Schalen in Einem erledigen zu können.

Die Erstlingskammern der einverleibten Jugendschale haben sich nur drei Kammerlagen hoch aus der Scheibe der größeren Schale äußerst unscheinbar emporgewulstet; im übrigen haben sie die ältere in keiner sonstigen Weise alteriert; eine Stauwand zwischen den Embryonalkammern fehlt gänzlich: also ist auch diese Schale uni-

<sup>1)</sup> Ob das „Nichtschneiden“ der Erstlingsachsen Bedingung für die „Univalenz“ solcher hochgradig inäqualen Doppelschalen ist, kann aus der geringen Zahl der Fälle nicht geschlossen werden; bivalente Doppelschalen (mit echter Stauwand) dieser Art sind mir nicht vor Augen gekommen.

valent. Die beiderseitigen Erstlingsachsen schneiden sich nicht. Die Doppelschale besitzt acht postjugale Kammerringe, die allein dem größeren Verschmelzling zugehören. Die eingeschmolzene Jugendschale ist also recht erheblich im Wachstum hinter dem älteren Verschmelzling zurückgeblieben; sie scheint nach der Verschmelzung überhaupt nicht mehr gewachsen zu sein.

Die geschilderten univalenten Doppelschalen stark inäqualer Verschmelzlinge dürfen nicht mit Einzeltieren verwechselt werden, die in Brutbildung begriffen sind (cf. LISTER 95, p. 431). Sie lassen sich daran erkennen, daß die Schalenwände der Jugendschale mit derjenigen des älteren Verschmelzlings in substantieller Kohärenz stehen, während die Schalen der Brut stets frei (d. h. ohne durch Schalensubstanz mit der Mutterschale fest verbunden zu sein), in besonderen größeren Bruthohlräumen am Schalenrande der Mutter liegen.

Fassen wir nun die im vorstehenden Kapitel gesammelten Erfahrungen zusammen, so ergibt sich folgendes:

Eine univalente Ausbildung der Doppelschalen (dauernde Verzichtleistung auf die Ausbildung voller Kammerringe für jeden Verschmelzling; die postjugalen Kammerringe werden von beiden Verschmelzlingen gemeinsam erzeugt) konnte nachgewiesen werden:

Erstens bei beiderseitig sehr geringer Zahl der präjugalen Kammerringe (nicht über vier); also wenn beide Verschmelzlinge bei der gegenseitigen Kollision noch sehr jung waren.

Zweitens bei einerseitigem gänzlichen Fehlen und anderseitig sehr großer Anzahl der präjugalen Kammerringe, d. h. also wenn der eine Verschmelzling noch so jung, so daß er noch keine Kammerringe erzeugt hatte, der andere dagegen bereits verhältnismäßig alt war, als die Kollision stattfand.

Für alle Fälle galt, daß sich die Erstlingsachsen der beiden Verschmelzlinge nicht schnitten, die Summe ihrer Winkel betrug mehr als  $180^\circ$ . Laciniated Bildungen kommen bei univalenten Doppelschalen in derselben Lagerung und ebenso häufig vor, wie bei den Einzelschalen; sie können aber nicht mit echten Stauwänden verwechselt werden, weil ihnen die hierzu notwendige Lagerung zur Verbindungsachse fehlt.

## 2. Kapitel: **Bivalente komplanale Doppelschalen.**

Bei den bivalenten komplanalen Doppelschalen liegen die beiden Verschmelzlinge in einer Ebene und in der Verschmelzungsnähe hat sich eine „Stauwand“ hochgerichtet, deren Basallinie die Verbindungs-



achse senkrecht schneidet und mit der Verschmelzungsnaht zusammenfällt.

Bivalente Doppelschalen werden zur Ausbildung gebracht:

Erstens: Unter besonderen Bedingungen von Erstlingsschalen nämlich dann, wenn sich ihre Erstlingsachsen winkelig schneiden;

zweitens: ausnahmslos von älteren Verschmelzlingen.

### 3. Bivalente Doppelschalen, die aus verschmolzenen Erstlingsschalen bestehen.

Ich besitze im ganzen vier Schalen, die entgegen der vorhin für jugendliche Verschmelzlinge aufgestellten Regel einen bivalenten Ausbildungsmodus aufweisen, die also eine echte Stauwand in dem Zwischenraum zwischen den beiderseitigen Embryonalkammern errichtet haben, obgleich ihre präjugale Kammerzahl die Zahl 4 nicht überschreitet und obgleich also nach unseren früheren Erfahrungen von ihnen der stauwandlose univalente Ausbildungstypus hätte erwartet werden sollen.

Photo 14 zeigt eine dieser vier Doppelschalen von der Stauwandseite aus gesehen. Photo 15 eine andere von der Unterseite. In Photo 14 schimmern die beiderseitigen Embryonalkammern zu beiden Seiten der schwarz gebliebenen Stauwand mit ihrer letzten Randpartie hervor. Die einretouchierten Kreise sollen den wirklichen Umfang der Embryonalkammern wiedergeben, sie berühren einander gegenseitig, haben also keine präjugalen Erstlingskammern — von anderen als Erstlingskammern kann ja bei den Erstlingsschalen, die nach unserer Definition (p. 197) noch der späteren geschlossenen Kammerringe entbehren, nicht die Rede sein — zwischen sich. Das in Photo 15 dargestellte Exemplar besitzt drei präjugale Lagen von Erstlingskammern zwischen seinen beiden Embryonalkammern. Zwei dieser Lagen gehören dem einen, zwei dem andern Verschmelzling zu. Die Photographien zeigen deutlich, daß die Stauwände ( $SS_1$ ) in beiden Fällen die für den bivalenten Ausbildungstypus maßgebende Lagerung (zwischen E u.  $E_1$ ) inne haben, dagegen läßt sich die Lagerung der Erstlingsachsen in den Photographien nicht erkennen.

Eine genaue Prüfung der vier Schalen hat ergeben, daß sich bei allen die Erstlingsachsen schneiden, woraus folgt, daß die beiderseitigen „Winkel der Erstlingsachsen“ (cf. p. 199 u. Textfig. A) in Summa nicht größer als  $180^\circ$  sein können, ihre Summe schwankt, wie die Tab. Nr. 13—16 des Anhangs I zeigt, zwischen  $10$  u.  $170^\circ$ .

Wir sehen in den besprochenen vier Erstlingsverschmelzungen offenbar Verhältnisse verifiziert, die, wie wir oben (p. 205) vermutet haben, zum Aufrichten von Schalenteilen führen müssen. Die Erstlingskammern sind nicht nach verschiedenen Seiten gerichtet, sondern gegen einander gewendet. Wir glaubten aber früher, daß diese Hochtreibungen der Schalenscheibe in jeder Richtung stattfinden könnten, während wir jetzt sehen, daß sie als echte Stauwände nur in bestimmter Lagerung auftreten. Wir dürfen uns demnach mit der früheren Erklärung nicht genügen lassen, sondern werden im mechanisch-theoretischen Teil dieser Arbeit das in der früher gegebenen mechanischen Erklärung noch Fehlende zu ergänzen haben (cf. weiter unten Kap. 14).

#### 4. Bivalente Doppelschalen älterer Verschmelzlinge.

Alle älteren Verschmelzlinge (nach meinen Erfahrungen alle, die mehr als 4 präjugale Kammerringe besitzen) bringen bivalente Doppelschalen zur Ausbildung, einerlei welche Lagerung ihre Erstlingsachsen inne haben.

Die spezielle Ausgestaltung der bivalenten Doppelschalen ist abhängig von dem Altersverhältnis der beiden Verschmelzlinge.

##### a) Äquale Doppelschalen.

Sind die beiden Verschmelzlinge bei ihrer Kollision gleichaltrig gewesen, d. h. ist die präjugale Kammerzählung bei beiden gleich oder wenigstens nahezu gleich, so richtet sich die Stauwand in der Mitte der Verbindungsachse senkrecht, d. h. mit jeder der verschmolzenen Schalenscheiben einen rechten Winkel bildend, in die Höhe, die peripheren Ringe der Stauwand laufen (zum mindesten bei Anlage der ersten postjugalen Kammerringe) kontinuierlich in die peripheren postjugalen Kammerringe über und ziehen sie etwas an sich heran, so daß sich der Rand der Doppelschale wie eine Schüsselwand aus der ursprünglichen Schalenebene mehr oder weniger emporhebt und dadurch eine Gesamtgestalt der Doppelschale entsteht (Photo 19), die einem zweifächerigen Salzfaß ähnlich sieht. Die beiden durch die Stauwand abgeteilten Fächer dieser Salzfaßbildung, die also bei den einzelnen Schalen sehr verschieden tief sein können, lassen sich in den Photos 16, 21 und 22 daran erkennen, daß ihr tiefer liegender Schüsselgrund mit den beiderseitigen Embryonalkammern stärker beleuchtet und bei der Aufnahme schärfer gefaßt worden ist, als der höher liegende Rand.

Der periphere Rand ist bei den äqualen bivalenten Doppelschalen mehr oder weniger deutlich elliptisch (Photo 14 u. 16; auch Photo 21, jedoch hier der periphere Rand lädiert). Auf der Höhe der Stauwand zeigt sich dabei eine leichte sanduhrförmige Einschnürung, die jedoch verloren geht, sobald „freie Randringe“, d. h. solche, welche, wie gleich mitgeteilt werden wird, nicht mehr mit der Stauwand in direktem Connex stehen, gebildet werden (Photos 15 u. 19 bei SS<sub>1</sub>; Photo 16 ohne Einschnürung mit freien Randringen).

Die Stauwand ist meistens gerade gestreckt (Photo 14 u. 19), seltener „unregelmäßig“ gebogen (Photo 16, 20 u. 21); manchmal hat die Stauwand mit ihrer Kammerbildung früher halt gemacht als die peripheren postjugalen Kammerringe, die Stauwand erreicht, dann den peripheren Rand der Doppelschale nicht mehr (Photo 16, 20 u. 21). Da dieses Aufhören mit der Kammerbildung meistens an den beiden sich an die Schüsselwände anlegenden Rändern zu gleicher Zeit geschieht so sind auch meistens die zu beiden Seiten der Verbindungsachse gelegenen Stauwandteile gleich groß (Photo 16 u. 21); zuweilen jedoch hört die Stauwandbildung an dem einen Ansatzrande früher auf als an dem anderen. (Photo 20, wo bei S<sub>1</sub> die Stauwand den peripheren Schalenrand nicht erreicht, während sie bei S noch in ihn überläuft.)

Über die Kammerung der Stauwand kann man sich nur durch Anschleifen derselben zureichenden Einblick verschaffen.

Um bei der Bewältigung des größeren Materials mit dem Schleifen in Canada-balsam nicht allzuviel Zeit zu verlieren, habe ich bloß einige Dünnschliffe in Canada-balsam hergestellt und mich im übrigen nachfolgender kürzeren Methode bedient. Ich durchtränkte die zum Schleifen bestimmten Schalen zunächst mit Nelkenöl,<sup>1)</sup> dem ganz wenig absoluter Alkohol (auf ein Uhrsälchen etwa fünf Tropfen) beigemischt war, dann schliif ich die Schale, dieselbe mit einer feinen Pinzette haltend, auf feinstem Schmirgelpapier derart ab, daß die Schleiffläche parallel zur Verbindungsachse, senkrecht zu Stauwand- und Schalenscheiben-Ebenen stand. Durch diese Lagerung der Schliiffläche erhält man einen paratangentialen Durchschnitt durch Stauwand und die übrigen Schalenteile und kann dann bequem die Kammerung auf Stauwand und den Grundscheiben mit einander vergleichen, nachdem man die rückständigen Schmirgelteilchen aus den angeschliffenen Kammern entfernt hat. Die Entfernung dieser Schmirgelbestandteile geschieht durch Abspülen in reinem Nelkenöl; es entstehen dann zwischen dem Nelkenöl-Alkoholgemisch und dem Nelkenöl Diffusionsströme, welche die Schmirgelteilchen nach aussen spülen, zumal wenn man durch Hin- und Herziehen der angeschliffenen Schale im Nelkenöl die Kraft der entstehenden Strömungen steigert. Auf diese Weise kann man sich in wenigen Minuten die Schliffe herstellen, zu deren Fertigstellung man Stunden

<sup>1)</sup> Nicht mit Nelkenöl durchtränkte Schalen würden auf dem Schmirgelpapier zersplittern.

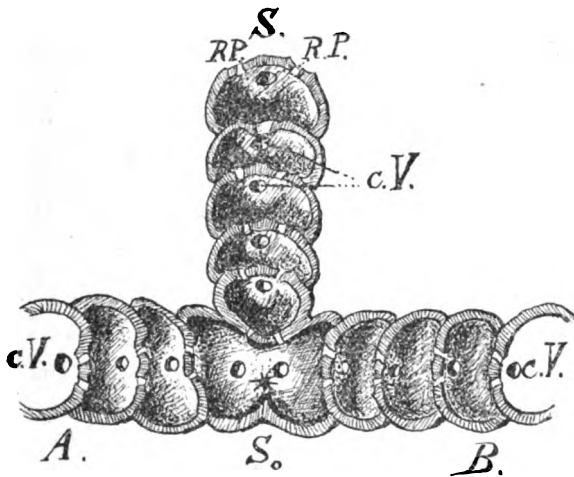
gebraucht, wenn man die Schalen in üblicher Weise erst in Canadabalsam einschmilzt und dann auf dem Schleifstein abschleift. Die Nelkenölmethode liefert zwar naturgemäß weniger elegante Präparate, sie spart aber Zeit — sie ist außerdem besser als man erwarten sollte, und reicht — worauf es allein ankommt — voll hin, um die Kammerungsverhältnisse sicher erkennen zu können, zumal wenn man sich vorher an einigen Canadabalsam-Schliffen mit den zu interpretierenden, meistens nicht ganz einfachen Bildern vertraut gemacht hat. Es genügt, die Schale auf die angegebene Weise von einer Seite her anzuschleifen, zweiseitige Dünnschliffe lassen sich auf diese kurze Methode überhaupt nicht herstellen, weil ein Dünnschliff den Pinzettendruck nicht aushalten kann. Um trotzdem die Kammerung deutlich erkennen zu können, ist es daher zweckmäßig, das Nelkenöl mit absolutem Alkohol auszuspülen und dann die getrocknete Schale in Luft mit auffallendem Licht zu studieren. Man muß die Schale dabei mit der Anschlifffläche genau horizontal richten und das Licht möglichst grell nehmen. Als Lichtquelle diene bei allen Untersuchungen eine Nernstlampe (von 40 Kerzen Stärke), die sich namentlich auch bei durchfallendem Licht bewährte, wenn es galt, durch besonders dicke Schalen hindurch die Kammerung durchleuchten zu lassen. Um die Schalen in jeder beliebigen Stellung betrachten zu können, also auch bei dem wagerechten Aufstellen der Schlifffläche, bediente ich mich folgender einfachen Einrichtung: eine kleine Menge Plastolin, wie es zu Modellierzwecken gebraucht wird, wurde durch Fingerdruck platt auf einem Objektträger ausgebreitet, und alsdann die getrocknete Schale in der gewünschten Stellung dem Plastolin mit einer feinen Pinzette aufgesetzt; das Plastolin hält augenblicklich, ohne die Schale dauernd zu beschmutzen, die Schale in jeder gewünschten Lage fest, und die Schale läßt sich auch nachträglich in jede neue Lage bringen, ohne jemals umzufallen. Für trockene Beobachtung in der Luft ist das Plastolin geradezu ideal.<sup>1)</sup> Für Beobachtungen in einem flüssigen Medium taugt es dagegen nicht; es verliert in solchen seine nutzbaren Eigenschaften (augenblickliches Anhaften ohne Beschmutzung und feinste Nachgiebigkeit) fast gänzlich.

Auf den Anschliffen zeigt sich nun, daß die Kammerung in den höheren Partien der Stauwand genau die gleiche ist, wie diejenige in den entsprechenden Teilen (auf den Kammerringen gleicher Ordnung) der Grundscheiben; sie unterscheidet sich somit auch von der Kammeranordnung gewöhnlicher Einzelexemplare nicht; vor allem ist sie nicht etwa doppelt, wie man der doppelten Herkunft der Stauwand (von zwei Verschmelzlingen her) entsprechend hätte annehmen sollen. In diesem Punkte versagt also die „Bivalenz“. Die Kammern stehen wie bei gewöhnlichen Schalen mit ihrem längsten Durchmesser senkrecht zu den Seitenflächen der

<sup>1)</sup> Inwieweit sich das Plastolin auch zum Festhalten anderer kleiner Objekte in bestimmter Lagerung bei Beobachtungen in Luft eignet, habe ich nicht ausprobiert. Seine Brauchbarkeit hängt natürlich in erster Linie von seiner Adhäsionsfähigkeit an dem Objekt ab, und diese muß natürlich mit der Natur der Objekte wechseln, so daß von den Foraminiferenschalen aus noch nicht auf eine allgemeine Brauchbarkeit zu gleichen Zwecken bei anderen Objekten geschlossen werden darf.

Scheibe (also hier der Stauwand-Seitenflächen), die Zahl der Randporenreihen ist nicht gesetzmäßig erhöht, sondern beträgt auf der Stauwand wie sonstwärts in der Regel zwei (cf. p. 198).

Nur an der Basis der Stauwand, also innerhalb der Verschmelzungsnah, weicht die Kammerausgestaltung von der gewöhnlichen Norm ab. Die beiderseitig mit einander kollidierenden Kammern stehen hier nicht durch einfache Radiärkanäle wie die übrigen Kammern mit einander in Verbindung, sondern sind in größerem Umfange an der Berührungsstelle (Textfig. B bei \*) mit



Textfig. B.

Querer Anschlag durch die Stauwand  $SSo$  und die anstoßenden Scheibenteile  $A$  u.  $B$  einer äqualen bivalenten Doppelschale von *Orbitolites duplex* CARP.; bei  $S^o$  die Kollisionskammer mit ihrer Verschmelzungsverbindung \*;  $RP$  = Randporen auf der Stauwand; die ihnen entsprechenden weiß gehaltenen Poren der übrigen Kammern stellen die radiären, die großen Öffnungen  $cV$  die cirkulären Verbindungen der einzelnen Kämmerchen dar. Etwas schematisiert.

einander verschmolzen, es entstehen auf diese Weise in guten Radiärschliffen deutliche, ziemlich regelmäßige oder auch (namentlich bei den später zu besprechenden schief geneigten Stauwänden inäqualer Verschmelzlinge) mehr oder weniger verzogene zweiflüglige doppelwertige Kollisionskammern, deren obere und untere Flügelspitzen von der Verschmelzungsstelle weggewendet sind, entsprechend der Zurückbeugung der Kammerenden (nach den Schalen-centren der beiden Verschmelzlinge hin), die die kollidierenden Kammern zu der Kollision (der Norm der Einzelschalen nach) mitgebracht haben.

Je nach dem Grade der gegenseitigen Verschmelzung der kollidierenden Kammern läßt sich von der Unterfläche der Verschmelzlinge aus (auf der Verschmelzungsnaht) die Doppelwertigkeit der Kollisionskammern erkennen oder nicht. Sie erscheinen bei hochgradiger Verschmelzung nämlich breiter als sie ihrem Altersrange nach sein müßten. Man wird diese Breiterung der Kammern in Photo 29 zwischen S und S<sub>1</sub> erkennen können. Bei geringerer Verschmelzung erscheinen sie von der Unterfläche aus wie zwei Kammern von gewöhnlicher Breite, denn die zusammengestoßenen peripheren Randwände sind dann zu einem gemeinsamen Wandwulst zusammengeschmolzen (Textfig. B zwischen \* und S<sub>0</sub>), der ihnen von der Unterfläche aus das Ansehen zweier Kammern von gewöhnlicher Breite verleiht. Ganz das Gleiche gilt auch für die schiefgeneigten Stauwände inäqualer Verschmelzlinge, was, um spätere Wiederholungen zu vermeiden, gleich hier bemerkt werden soll. Unter solchen Umständen schließen, von der Unterfläche aus betrachtet, die von den beiden Verschmelzlingen gelieferten Kammerringe ohne merkbare Besonderheiten an einander, wie Photo 22 erkennen läßt, d. h. die von beiden Verschmelzlingen her zusammentreffenden Kammern schließen wie sonst alternierend an einander, und die postjugalen Kammerringe des einen Verschmelzlings setzen sich in derselben Breite in diejenigen des anderen fort. Auch hier zieht sich also ein univalenter Charakterzug in die Bivalenz der Doppelschalen hinein.

Die Bivalenz der Doppelschalen ist hiernach keine ganz vollkommene, das ist sie ja aber auch bei den künstlich zur Verschmelzung gebrachten oder aus gestörten Eiern entwickelten Verwachsungszwillingen der Metazoen nicht; denn auch diesen fehlen an der Verschmelzungsstelle zum mindesten einige Organteile, sei es, daß sie während des Experimentes weggeschnitten und nach der Vereinigung nicht wieder ersetzt, oder sei es, daß sie von den gestörten sich selbst überlassenen Embryonen gar nicht (wie auch hier) zur Ausbildung gebracht worden sind (z. B. das Fehlen der Körperwand an der Verwachsungsnaht). Ganze Organe fallen weder hier noch dort aus.

#### b) Inäquale Doppelschalen.

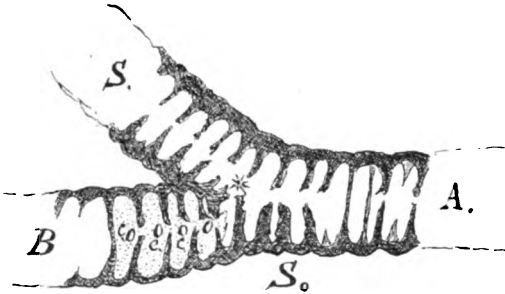
Bei ungleichem Alter der Verschmelzlinge, d. h. also, wenn die Anzahl der präjugalen Kammern bei beiden Verschmelzlingen ungleich ist, hat der ältere größere Verschmelzling mit seiner größeren Zahl von präjugalen Kammern das Übergewicht über den jüngeren. Er drückt den von dem jüngeren

Genossen aufgeführten Anteil der Stauwand nach dem jüngeren hinüber, so daß die Stauwand sich unter einem spitzen Winkel auf die jüngere Schale hinüberneigt. Der nach der Seite des jüngeren Verschmelzlings zu messende Neigungswinkel der Stauwand ist um so kleiner, oder was dasselbe heißt, um so spitzer, je kleiner der eine Verschmelzling im Vergleich zum anderen ist. Zugleich stellt sich mit der Neigung der Stauwand auf den kleineren Verschmelzling eine gesetzmäßige Krümmung der Stauwand ein, sie krümmt sich konkav nach der Seite des kleineren Verschmelzlings hin und zwar wieder um so stärker (physikalisch gesprochen mit um so kleinerem Krümmungsradius), je kleiner der eine Verschmelzling im Vergleich zum anderen ist, bei scharfer Einstellung auf die Verschmelzungsnaht zeigt sich diese Krümmung an der Stauwandbasis meist sehr deutlich, in Photo 22 (SS<sub>1</sub>) ist sie dem nicht sehr ungleichen Alter der Verschmelzlinge entsprechend nicht sehr bedeutend, in Photo 30 (bei auffallendem Licht) wird man sie als weit erheblicher erkennen. Diese Konkavkrümmung ist im übrigen nicht auf die Stauwandbasis beschränkt, sondern setzt sich auch auf den aufsteigenden Teil der Stauwand fort, so kommt es, daß bei erheblicher Altersdifferenz das dem kleineren Verschmelzling angehörige kleinere Fach der Doppelschale die Form eines Randtrichters (ähnlich Photo 33) mit konkav gekrümmter Innenwand annimmt, der allerdings bei genügender Widerstandskraft der Unterlage, auf der Unterlagenseite, wo er sich nicht ausbiegen kann, abgeplattet und eigentümlich verdrückt erscheint. Diese abgeplattete Unterlagenseite kommt in den Photos 23 und 24 dadurch zum Ausdruck, daß die Kammerringe um E<sub>1</sub> ebenso scharf erscheinen als die von E, sie liegen eben in derselben Fläche, die nach oben gewendeten Trichterwände erscheinen wieder als die halbmondförmigen Dunkelungen (SS<sub>1</sub>).

Ist die Unterlage dagegen nachgiebig — ein Vorkommen, auf das wir später noch einmal Rücksicht zu nehmen haben werden —, dann erscheint diese Trichterbildung stark inäqualer Doppelschalen oft in sehr regelmäßiger Ausbildung, d. h. ohne namhafte Abplattung auf der Unterseite, wie Photo 33 zeigt, und zwar um so regelmäßiger ausgestaltet, je stärker die Inäqualität der Verschmelzlinge war und je länger das postjugale Wachstum gedauert hat.

Der periphere Randkontur, der bei den äqualen Doppelschalen elliptisch war, spitzt sich bei den inäqualen Schalen auf seiten des kleineren Verschmelzlings je nach der relativen Altersdifferenz der beiden Verschmelzlinge mehr oder weniger stark zu.

Die durch den kleineren Verschmelzling verursachte Zuspitzung setzt sich auch hier durch eine Einbuchtung von der übrigen Ellipse ab, so lang die Stauwand den peripheren Schalenrand erreicht. Diese Einbuchtung ist meist nur gering (Photo 23 und 24 S), und sie verschwindet, wie bei den äqualen Schalen, vollständig dann, wenn freie Randringe gebildet werden (Photo 24 auf der Seite von S).



Textfig. C.

Dünnschliff durch die Basis der Stauwand *SSo* und die angrenzenden Scheibenteile zweier inäqualer Verschmelzlinge *A* u. *B*, von denen *A* größer als *B*. Bei \* mündet die Kammerreihe von *B* seitlich in diejenige von *A* ein. Die Stauwand *SSo* ist nach dem kleineren Verschmelzling *B* geneigt. *c* = circuläre Verbindungen der Kämmerchen.

sind oder aber die Kammerreihe der Stauwand erscheint als direkte Fortsetzung derjenigen des größeren Verschmelzlings. An der Verschmelzungsnaht mündet dann die Kammernfolge des kleineren Verschmelzlings, ohne eine besondere Form der Kollisionskammern hervorzurufen, seitlich ein (Textfig. C bei \*). Nur die seitliche, manchmal den übrigen Kammerverbindungen gegenüber etwas vergrößerte Einmündungsstelle zeichnet dann die Kollisionskammer vor den übrigen aus.

### 3. Kapitel. Biplanale Doppelschalen.

(Die Verschmelzlinge liegen in zwei verschiedenen Ebenen.)

#### 1. Geknickte bivalente Doppelschalen.

Die geknickten bivalenten Doppelschalen sind, woran wir uns hier noch einmal erinnern wollen, dadurch zu stande gekommen, daß die beiden Verschmelzlinge auf Unterlagen aufsaßen, die gegen einander geneigt waren (cf. p. 197), sie liegen deshalb nicht innerhalb ein und derselben Ebene, sondern sie sind „biplanal“, ihre Verbindungen

Zu dem früher über die Gestaltung der (in der Verschmelzungsnaht gelegenen) Kollisionskammern äqualer Schalen Gesagten ist hinzuzufügen, daß ihre Ausbildung bei den inäqualen Schalen in zweierlei Weise modifiziert sein kann. Entweder läßt sich die früher angegebene zweiflügelige Form der Kollisionskammern (cf. p. 212) noch erkennen, nur daß die oberen Flügelspitzen in der Richtung der Stauwandneigung verzogen



dungsachse ist an der Verschmelzungsnah winklig geknickt. Der Winkel, welcher den Grad dieser Knickung angiebt, wird als Knickungswinkel bezeichnet. Die in den Endpunkten der Verbindungsachse (d. h. in den Centren der beiderseitigen Embryonalkammern) senkrecht zu ihr errichteten Schalendurchmesser, die Orthogonalachsen, verlaufen parallel.

Die biplanalen geknickten Doppelschalen ähneln im Ganzen ihrem Aussehen nach den komplanalen Doppelschalen, doch verschafft sich neben der Inäqualität der Verschmelzlinge hier auch die Größe ihres Knickungswinkels und die Art ihres Aufeinandertreffens noch besonderen Einfluß auf die Gestalt der betreffenden Doppelformen. Was die Art des Aufeinandertreffens der Schalen anlangt, so haben die biplanalen vor den komplanalen Vereinigungen voraus, daß sie sich nicht bloß mit ihren beiderseitigen Wachstumsrändern begegnen können (marginales Zusammentreffen), sondern daß auch bereits fertig gebildete Schalenteile gelegentlich von dem Wachstumsrand einer kollidierenden Schale getroffen werden.

#### a) Marginale Vereinigungen.

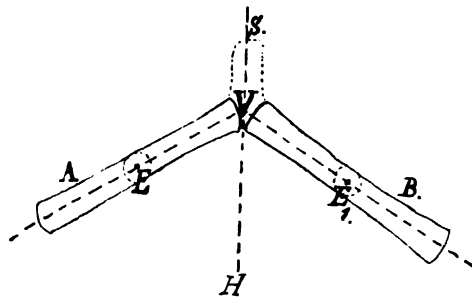
Die verschiedenen Ebenen zugehörige Verschmelzlinge treffen mit den Wachstumsrändern ihrer Schalen zusammen.

#### α) Äquale geknickte Doppelschalen.

Eine senkrechte Stellung der Stauwand zu den Schalenscheiben der Verschmelzlinge, wie wir sie bei den äqualen komplanalen Doppelschalen angetroffen haben, ist hier nicht möglich, weil die beiderseitigen Schalenscheiben nicht in einer Ebene liegen.

An Stelle der senkrechten Aufrichtung der Stauwand tritt bei den „geknickten“ biplanalen Doppelschalen, wenn sie aus gleich großen Verschmelzlingen zusammengesetzt

sind, eine Lagerung der Stauwand innerhalb der Verlängerung der Halbierungslinie des Knickungs-



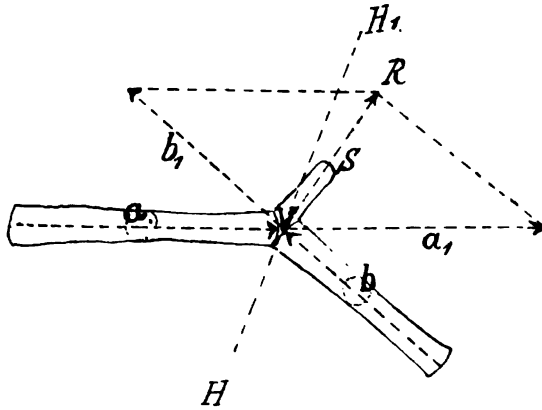
Textfig. D.

Die Lage der Stauwand  $VS$  bei einer äqualen geknickten Doppelschale in der Verlängerung der Halbierungslinie ( $VH$ ) des Knickungswinkels  $EVE_1$ .  $A$  und  $B$  die Scheibenteile der beiden Verschmelzlinge;  $EE_1$  ihre zugehörigen Embryonalkammern. Umrisszeichnung nach einem Querschliff von *Orb. compl.*

winkels.<sup>1)</sup> Sind in Textfig. D, A und B die auf einander treffenden „gleich alten“ Verschmelzlinge, so ist  $EVE_1$  ihr Knickungswinkel, VH die Halbierungslinie des Knickungswinkels, in deren Verlängerung VS sich dann die Stauwand (S) mit ihrer Basis senkrecht zu der geknickten Verbindungsachse  $EVE_1$ , also im dargestellten Aufriss senkrecht auf und unter die Papierebene aufbaut. Auch hier zieht die Stauwand, aber meist nur in sehr geringem Grade — manchmal kaum merklich — die peripheren Schalenränder schüsselwandartig in die Höhe.

### β) Inäquale geknickte Doppelschalen.

Bei ungleichem Alter der Verschmelzlinge neigt sich wiederum (analog den komplanalen) die Stauwand aus der angegebenen Lage-



Textfig. E.

Die Konstruierbarkeit der Richtung  $VR$  der Stauwand  $VS$  mit Hilfe der Scheibengrößen der inäqualen Verschmelzlinge A und B, von denen A größer ist als B. Alles Übrige im Text.

rung dem kleineren Verschmelzling zu und zwar umsomehr, je kleiner der betreffende Verschmelzling im Vergleich zu seinem größeren Schalenengenossen ist. Hieraus ergibt sich die „Konstruierbarkeit“ der Neigung der Stauwand. Diese empirisch gefundene

<sup>1)</sup> Man wird leicht einsehen, daß diese Lagerung der Stauwand auch für die komplanalen Doppelschalen gilt, wenn man sie als geknickte Doppelschalen betrachtet, deren Knickungswinkel ein gestreckter, d. h. gleich  $180^\circ$  ist. Die Halbierungslinie des Winkels  $180^\circ$  steht immer senkrecht zu dem Winkelschenkel, daher kommt es, daß bei gleichaltrigen komplanalen Doppelschalen auch die Stauwand stets senkrecht zu den Schalenscheiben der Verschmelzlinge steht.

Konstruierbarkeit soll gleich in eine mechanisch-theoretisch verwendbare Form gebracht werden.

Bedeutend  $a$  u.  $b$  die auf den Punkt  $V$  der Zusammenstoßung wirkenden, dem jeweiligen Schalendurchmesser proportionalen Druckkräfte,<sup>1)</sup> so entsprechen diesen, die in der gleichen Richtung verlagerten Zugkräfte  $a_1$  u.  $b_1$ ; und deren Resultierende ist  $R$ . Der von beiden Verschmelzlingen gemeinsam gebaute Schalenteil, kurzweg die Stauwand  $S$  wächst also in der Richtung  $R$  weiter, welche aus der Verlängerung der Halbierungslinie  $VH_1$  herausgetreten ist und sich unter einem spitzen Winkel der kleineren Schale  $B$  zugeneigt hat. Die aus der angegebenen Konstruktion gefundene Länge von  $R$  entspricht nur der Größe der Kraft mit welcher die Stauwand hochgeht, nicht etwa der Länge des entstehenden Stauwandstückes,<sup>2)</sup> was hier, um Irrtümer abzuwehren, erwähnt werden muß.

Da bei den geknickten Doppelschalen die Verschmelzlinge in verschiedenen Ebenen liegen, haben sie sich fast alle einer mikrographischen Wiedergabe entzogen, nur in Fig. 25 u. 31 habe ich solche wiederzugeben versucht. Fig. 25 zeigt eine inäquale geknickte Doppelschale senkrecht von oben auf den Stauwandrand ( $SS_1$ ) gesehen. Die beiderseitigen Embryonalkammern  $EE_1$  liegen in schüsselförmigen Vertiefungen, und es ist ein ungleichfächeriges Salzfaß mit abwärts gebogenen Fächern entstanden, dessen kleinerem Fach die Stauwand  $SS_1$  mehr zugeneigt ist als dem größeren, wie man daran erkennen kann, daß in der abgebildeten Horizontalprojektion die Stauwand  $SS_1$  unverhältnismäßig nahe an  $E_1$  herangerückt erscheint. Die in der Figur oben und unten liegenden peripheren Schalenränder sind stark hinter die Bildfläche zurückgedrückt zu denken. Der periphere Schalenkontur zeigt bei  $SS_1$  dieselbe Einschnürung, die wir bei komplanalen Doppelschalen angetroffen haben, so lange die Stauwand, wie auch hier, bis an die peripheren Schalenränder heranreicht.

In Fig. 31 erkennt man in  $KK_1$  die Knickungslinie, auf ihr ist also senkrecht hinter die Bildfläche die Stauwand aufsitzend zu denken; der Knickungswinkel, in dessen Hohlkehle man hineinsieht, ist bei dem abgebildeten Exemplar sehr groß.

<sup>1)</sup> Die mechanische Begründung dafür, daß diese Druckkräfte dem Schalendurchmesser proportional sind, wird später gegeben.

<sup>2)</sup> Der jeweilige Stauwandzuwachs gleicht im großen und ganzen — soweit die Stauwand ihr Wachstum nicht verringert oder ganz sistiert (cf. p. 210) — demjenigen Zuwachs den die Schalen  $a$  u.  $b$  in ihrem ganzen Umfange während der Druckwirkung erfahren haben; hat der periphere Schalenrand beispielsweise vier Kammerringe angesetzt, so trifft man diese vier Ringe auch auf der Stauwand.

Die geknickten Doppelschalen sind seltener als die komplanalen, sie waren aber immerhin in SCHAUINSLAND's Material zahlreich genug, um den angeführten Modus ihrer Ausbildung erkennen zu lassen. Ich habe etwa zehn Exemplare untersucht, Ausnahmen von der angegebenen Ausbildung waren nicht darunter.

#### b) Randscheibenvereinigungen.

Wie bereits bemerkt, tritt mit der biplanalen Lagerung der Verschmelzlinge die Möglichkeit ein, daß die eine Schale mit ihrem Wachstumsrand auf den bereits „fertiggestellten“ Scheibenteil einer anderen Schale auftritt.<sup>1)</sup> Der mit seinem Wachstumsrand auf die fertige fremde Schale auftreffende Verschmelzling lötet dann seine Schale auf der fremden fest, ohne daß er natürlich die fremde Schale irgendwie aus ihrem normalen Ausbildungsgang herausbringen kann, da die getroffenen Schalenteile des Fremdlings ja bereits fest sind.

Die Auflötung kann unter solchen Umständen unter jedem beliebigen Winkel stattfinden. In Photo 26 ist eine derartige Doppelschale dargestellt. Eine kleinere Schale, deren Embryonalkammer ( $E_1$ ) in dem Photogramm schwach durch die fast senkrecht stehende (ihr Neigungswinkel zur größeren Scheibe beträgt etwa  $80^\circ$ ) und darum schwarz erscheinende Scheibe hindurchschimmert, ist nahe dem Rande der in der Bildfläche liegenden größeren Scheibe (deren Embryonalkammer  $E$  ist) aufgelötet; das Wachstum der  $E$ -Schale ist in keiner Weise von demjenigen der aufgelöteten  $E_1$ -Schale alteriert worden.

Außer dem photographierten Exemplar traf ich ein zweites, das fast genau so aussah, nur daß die kleinere Schale unter einem kleineren Winkel (ca.  $60^\circ$ ) der größeren angelötet war. Sonst habe ich keine Doppelschalen gefunden, die in die gleiche Kategorie hätten eingestellt werden können. Die Bivalenz der beiden Schalen geht hier so weit, daß gemeinsam aufgebaute Schalenteile überhaupt nicht vorhanden sind. Die Schalen hängen nur an der Verlötungsstelle zusammen.

### 2. Gekreuzte bivalente Doppelschalen.

Kriterium für die gekreuzten Schalen: Denkt man sich die Doppelschale so gestellt, daß ihre beiden Schalenscheiben zu einer dritten Ebene senkrecht stehen, dann schneiden sich die Projektionen der den beiden Verschmelzlingen zugehörigen Orthogo-

<sup>1)</sup> Komplanale Schalen können dagegen naturgemäß immer nur mit ihren beiderseitigen Wachstumsrändern zusammenstossen, denn zwei in einer Ebene liegende Kreisscheiben können sich nur mit ihren Rändern berühren.

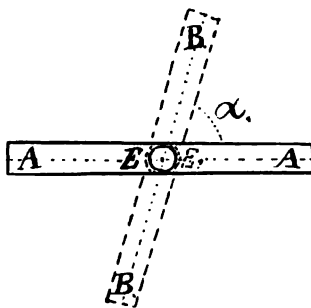
nalachsen (auf diese dritte Ebene) oder ihre Verlängerungen einander. Von den beiden durch die Kreuzung entstandenen Scheitelwinkel-paaren wird das Bogenmaß der kleineren Scheitelwinkel ( $\alpha$  Textfig. F) als „Kreuzungswinkel“ bezeichnet.

Außer dem gegenseitigen Altersverhältnis der beiden Schalen ist die Größe des Kreuzungswinkels von maßgebendem Einfluß auf das Aussehen der gekreuzten Doppelschalen.

a) Sind die Kreuzungswinkel klein (etwa  $< 30^\circ$ ), so ähneln die gekreuzten Doppelschalen entweder komplanalen Doppelschalen oder auch geknickten Doppelschalen, den ersten nämlich dann, wenn die Verbindungsachse eine gerade ist, den geknickten Doppelschalen dagegen dann, wenn die Verbindungsachse geknickt erscheint. Man kann dann nämlich in beiden Fällen die für die in Vergleich gestellten Schalenarten charakteristische Stauwand noch erkennen, sie neigt bei inäqualen Kreuzungen immer wieder dem kleineren Verschmelzlinge zu, ist aber kürzer als sonst, weil sie naturgemäß nur an der Kreuzungsnähe zur Ausbildung kommt, und sie biegt außerdem mit ihren beiderseitigen Ansatzrändern nicht wie bei den seitherigen Doppelschalen unter Spaltung in den peripheren Randkontur beider Verschmelzlinge gleichzeitig über, sondern stets mit dem einen Ansatzrand in den Randkontur des einen mit dem anderen Ansatzrand in den Randkontur des anderen Verschmelzlings.

Denkt man sich auf dem peripheren Randkontur der gekreuzten Doppelschale entlang gehen, so muß man „notwendig“ nach Überschreiten der Kreuzungsstelle auf den anderen Kreuzling übertreten, man beschreibt eine 8, deren beiderseitigen Schleifen um die Längsachse der 8 im Betrage des Kreuzungswinkels zu einander gedreht sind.<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Bei komplanalen und geknickten Doppelschalen kann man von der Stauwand aus stets gleich gut auf den Randkontur des einen als auch auf den des anderen Verschmelzlings übertreten, hier dagegen kommt man konsequent, wenn man den Sinn seines Marsches nicht ändert, von dem Randkontur des einen zu demjenigen



Textfig. F.

Schema einer gekreuzten Doppelschale. Die beiden Schalenscheiben sind auf der Bildfläche senkrecht stehend gedacht; die Scheibe  $BB$  liegt hinterwärts von der Scheibe  $AA$ . Die Projektionen der Orthogonalachsen  $AEA$  und  $BE_1B$  schneiden sich einander unter dem Kreuzungswinkel ( $= \alpha$ ). —  $E$  = Embryonalkammer von  $AA$ ;  $E_1$  desgl. von  $BB$ .

Fig. 28 läßt die Achtertour der Schalenperipherie deutlich durch die Dunkelung der Schalenränder hervortreten, welche wiederum darauf zurückzuführen ist, daß diese Ränder aus der Bildfläche abwechslungsweise nach oben und unten heraustreten, wie unsere Darstellung verlangt.

Bei inäqualen Kreuzlingen ist die eine Rundschleife der Acht nach Maßgabe der Inäqualität kleiner als die andere (Photo 34) und die größere Schleife beugt sich bei weiterem Wachstum der Kreuzlinge über die Kreuzungsstelle hinaus, beiderseits bauchig vor, so daß die kleine Achterschleife ganz in die große hineingedrückt erscheinen kann, wie dies in Photo 32 zu sehen ist. Ein Verhalten, das auch hier wieder das Prävalieren der größeren Schale über die kleinere bekundet, die größere strebt mit größerer Kraft nach Aufrechterhaltung ihres ursprünglichen Bauplanes als die kleinere.

b) Je größer der Kreuzungswinkel ist, desto kürzer wird die Kreuzungsstrecke der Achterschleife. Nähert sich der Kreuzungswinkel dem Werte von  $90^\circ$  — größer als  $90^\circ$  kann er überhaupt nicht werden, weil eine steilere Kreuzung als eine rechtwinklige nicht denkbar ist — so laufen die peripheren Randkonturen der beiden Kreuzlinge überhaupt nicht mehr in Achterbiegung in einander über, sondern derjenige des einen Kreuzlings stellt sich senkrecht auf die Schalenscheibe des anderen Kreuzlings auf und umgekehrt (cf. Photo 35 und Modell 42d). Die Schalen durchschneiden sich dann gegenseitig und zwar um so schärfer, je weniger der Kreuzungswinkel von  $90^\circ$  abweicht. Die kreuzweise Schneidung ist um so augenfälliger, je mehr postjugale Kammerringe von beiden Kreuzlingen bereits angelegt worden sind (Photo 35).

Mit dem Aufhören des Ineinanderlaufens der peripheren Randkonturen in einer Achterkreuzung fehlt bei diesen großwinkligen Kreuzungen auch jede stauwandartige Bildung, die uns

des anderen Verschmelzlings, wo man auch diesen gedachten Marsch beginnt und wie lang man ihn sich fortgesetzt denkt. Dabei steigt man, wenn man sich den einen Verschmelzling in die Horizontalebene hineindenkt, immer auf dem einen Schleifenschenkel der Achterkreuzung aus der Horizontalebene empor und auf dem anderen Schleifenschenkel der Kreuzung unter die Horizontalebene hinab. Man wechselt also bei einem Umgang zweimal die Schalen und zweimal den Sinn der Höhenbewegungen, während der Sinn der Fortbewegung der gleiche bleibt, also niemals „Kehrt“ gemacht wird. Man denke sich auf den Randkonturen der Figuren 32 und 34 entlang laufen, dann erhält man die geschilderten Verhältnisse für die obenliegende Schalenseite, auf der untenliegenden nicht sichtbaren Schalenfläche würden dieselben Verhältnisse in spiegelbildlichem Sinne wiederkehren.

seither als Erkennungszeichen für die bivalente Ausbildung der Doppelschalen gedient hat; aber gerade hier kann man dieses Merkzeichen bivalenter Ausbildung ohne Unsicherheitsgefühl entbehren, denn die Schalen geben sich ohne weiteres als „bivalente“ zu erkennen, ihre Konstitution aus ursprünglich zwei Schalen liegt deutlich vor Augen, niemand wird zweifeln, was von der Doppelschale dem einen und was dem anderen Kreuzling zugehört.

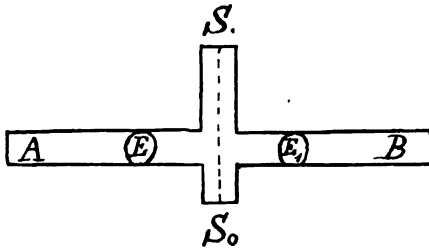
Die Kreuzlinge waren im Material von LAYSAN nicht selten, was wohl mit der (häufigen) Benutzung einer schmal-fiederspaltigen Alge als Unterlage in Zusammenhang stehen mag. Ich fand die schmalen Fiedern einer Alge in allen Richtungen mit Orbitolithen besetzt. Die größeren Schalen waren über den Rand der Fiedern gelegentlich frei hinaus gewachsen und müssen unter solchen Umständen leicht in die Lage kommen, sich mit anderen Schalen gegenseitig zu kreuzen.

#### 4. Kapitel. Eventueller Einfluss einer durchbrochenen oder nachgiebigen Unterlage auf die Gestalt bivalenter komplanaler Doppelschalen.

Die eben erwähnte gelegentliche Ansiedlung der Orbitolithen auf fiederspaltigen Algen, die so besetzt sein können, daß mehrere Fiedern von einer Schale gedeckt werden — die Schalenscheibe sitzt dann wie einem untergelegten Rost auf — bringt es mit sich, daß zuweilen die Kollision der Verschmelzlinge über einer Lücke der Fiedern stattfinden kann. Es fehlt in solchen Fällen der Widerstand der Unterlage, der bei Besetzung größerer zusammenhängender Fremdkörperflächen, die gegeneinander gepreßten Kollisionskammern einseitig nach oben aus den ursprünglichen Schalenebenen heraustrreibt; die Oberfläche hat dann vor der Unterfläche nichts voraus, und die Folge hiervon ist, daß sich nicht nur nach oben, sondern auch nach unten auf der Verschmelzungsnah eine Stauwand aufrichtet. Dasselbe wird auch dann eintreten, wenn aus irgend anderen beliebigen Gründen die Unterlage nachgiebt. Die Stauwand kreuzt dann die übrigen Schalenflächen und man muß sich vorsehen, diese Stauwandkreuzungen nicht mit echten Schalenkreuzungen zu verwechseln.

Eine Stauwandkreuzung besitzt in dem Kreuzarm der Stauwände (Fig. G, SS<sub>0</sub> u. Fig. H, A<sub>1</sub>, B<sub>1</sub>) keine Embryonalkammer, sie liegen vielmehr beide in demjenigen Arm des Kreuzes, welcher die Verbindungsachse enthält (cf. die Lage der Embryonalkammern E und E<sub>1</sub> in dem Kreuzarm AB in Fig. G und H). Die gekreuzten Doppel-

schalen haben dagegen in jedem Arm des Kreuzes eine Embryonalkammer aufzuweisen (Fig. F, p. 220: E auf dem Arm AA;  $E_1$  auf dem in einer anderen Ebene dahinter liegenden Arm BB).



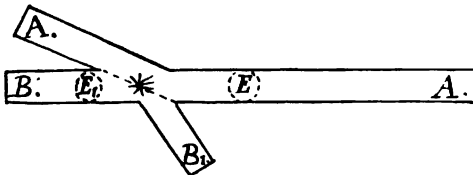
Textfig. G.

Schema einer nach zwei Seiten gerichteten Stauwand einer äqualen komplanalen Doppelschale auf nachgiebiger Unterlage. Die kreuzende Stauwand  $SS_0$  enthält keine Embryonalkammer und steht senkrecht zu den beiden Schalenscheiben A u. B. — E = Embryonalkammer von A;  $E_1$  desgl. von B (nach einem Querschliff).

Bei diesen Stauwandkreuzungen ist in der Regel die eine Stauwandpartie stärker entwickelt als die andere; ich vermute, daß die stärkere Stauwand beim Festsitzen auf der Fiederlage nach oben gerichtet war, die andere weniger hohe durch den Fiederspalt sich nach unten senkte.

Bei komplanalen äqualen Verschmelzlingen kreuzt die Stauwandebene rechtwinklig die Schalenscheiben, siehe das Schema Textfig. G; wo  $SS_0 \perp AB$ .

Bei komplanalen inäqualen Verschmelzlingen (Textfig. H) biegt sich der Scheibenrand des größeren Verschmelzlings nach der einen



Textfig. H.

Schema einer nach zwei Seiten gerichteten Stauwand ( $A_1 B_1$ ) zweier inäqualer komplanaler Verschmelzlinge  $AA_1$  u.  $BB_1$ . —  $A_1 > B_1$ ;  $AA_1 > BB_1$ . —  $A_1$  stärker nach B hingeneigt als  $B_1$  nach A hin. — E = Embryonalkammer von  $AA_1$ . —  $E_1$  desgl. von  $BB_1$ . — \* Verschmelzungsnah (nach einem optischen Querschnitt).

Seite und bringt dort eine größere (obere?) dem anderen Verschmelzling stärker zugeneigte Stauwand (A) zur Ausbildung, der Scheibenrand des kleineren Verschmelzlings biegt sich dagegen nach der anderen Seite, um dort eine kleinere (untere?) auf den anderen Verschmelzling weniger herabgeneigte Stauwand zu erzeugen. Auf der Ausweichungsstrecke (Fig. H

bei \*) sind die Kammern der beiden Schalen miteinander verschmolzen. Diese Strecke repräsentiert die Verschmelzungsnah und steht, wie sonst, senkrecht auf der Verbindungsachse.

Nur komplanale Verschmelzlinge erzeugen auf nachgiebiger Unterlage derartige nach zwei Seiten gerichtete Stauwände, weil, wie man leicht einsehen wird, jedes andere Zusammentreffen als das-



jenige in einer Ebene, eine Erleichterung der Stauwandbildung nach derjenigen Seite, welche jenseits des Scheitels des Knickungswinkels liegt, mit sich bringt, und die Stauwand selbstverständlich immer sich nach der Richtung hin wenden muß, wo ihr die größte Erleichterung für ihre Ausbildung geboten wird.

Die Doppelschalen mit zweiseitigen Stauwänden waren in dem Material von LAYSAN etwa ebenso häufig wie die gekrenzten Doppelschalen; begreiflicherweise waren sie (bei der Lagerung der Stauwände nach verschiedenen Seiten hin) nicht photographierbar, so daß die Schemata G und H die Illustration des Gesagten übernehmen müssen.

### 5. Kapitel. Mehrfachverschmelzungen.

Die Herkunft der Verschmelzung — Verwachsung von dicht nebeneinander auf derselben Unterlage festsetzende Schalen — erklärt es, daß die Verschmelzungen nicht auf bloß zwei Individuen beschränkt sind, sondern daß auch mehrere zufällig dicht nebeneinander festsetzende Individuen ihre Schalen zu „Mehrfachschalen“ vereinigen können.

Dreifachschalen trifft man kaum erheblich seltener als Doppelschalen, vierfache kommen nicht häufig vor und fünffache Verschmelzungen habe ich nur zweimal gefunden.

Auch für die Mehrfachbildungen gilt dasselbe wie für die Doppelschalen. Diejenigen Verschmelzlinge, die nur wenige (höchstens 4) oder gar keine präjugalen Kammerringe zwischen ihren Embryonalkammern erkennen lassen und deren Erstlingsachsen sich nicht kreuzen, haben keine Stauwand zwischen sich hochgerichtet, während sich mit einer größeren Anzahl (mehr als 4) von präjugalen Kammern auch sofort wieder eine Stauwand einstellt.

In Photo 38 sehen wir z. B. eine „trivalente“ komplanale Schale, die zwischen ihren durch mehr als 4 präjugale Kammerringe getrennten Embryonalkammern  $E$  und  $E_1$ , sowie zwischen  $E_1$  und  $E_2$ , die Stauwände  $SS$  und  $S_1S_1'$  hochgerichtet hat. Bei einer serialen Anordnung der Verschmelzlinge, wie sie in Photo 38 gegeben ist, beträgt die Zahl der Stauwände  $n-1$ , wenn  $n$  die Anzahl der Verschmelzlinge bedeutet, bei nicht serialer Anordnung ist sie gleich der Anzahl der gegenseitigen Aneinanderstoßungen der Verschmelzlinge, die natürlich sehr verschieden sein kann, und deshalb nicht zahlenmäßig normierbar ist.

In Photo 39 ist eine komplanale, leider defekte Fünffachschale zur Darstellung gekommen, welche zeigt, daß zwischen den dicht zu-

sammenliegenden Embryonalkammern  $E_0$  und  $E$  (2 präjug. Kammer-  
ringe),  $E_1$  und  $E_2$  (2 präjug. Ringe) und  $E_2$  und  $E_3$  (3 präjug. Ringe)  
keine Stauwand gebildet worden ist, während sich eine solche zwischen  
den weiter auseinander liegenden  $E_0$ ,  $E_1$  und  $E_2$  (6 präjug. Ringe)  
und  $E$  und  $E_3$  (ca. 9 präjug. Ringe) hindurchzieht. (Die Embryonal-  
kammer  $E_3$  liegt direkt auf dem unteren Bruchrand der Schale  
und ist nur mit ihrem centranen Randteil erhalten.)

Natürlich können die Verschmelzlinge der Mehrfachschalen auch  
in ganz verschiedenen Ebenen liegen; also „pluriplanal“ sein. Eine  
derartige pluriplanale Vierfachschale ist in Photo 40 wiedergegeben.  
Eine univalente komplanale Doppelschale mit Embryonalkammern,  
die durch 2 präjugale Kammeringe getrennt sind, kreuzt sich  
hier mit 2 anderen Schalen, deren eine ihre Embryonalkammer  
durchschimmern läßt, während die Embryonalkammer der hinterwärts  
gelegenen nur von der Rückenseite aus gesehen werden kann, so daß  
sie in unserer Aufnahme nicht sichtbar ist.

Die pluriplanalen Mehrfachschalen können durch gegenseitige  
Kreuzung und Knickungen, an denen sich auch die Stauwände be-  
teiligen können, äußerst komplizierte Gestalten annehmen, die aber  
kein besonderes Interesse bieten, da sich immer wieder dieselben  
Regeln bei ihnen bestätigen, die wir bereits einfacher und darum  
auch klarer bei den Doppelschalen angetroffen haben:

Wo ältere Verschmelzlinge in den Mehrfachschalen  
aneinanderstoßen, werfen sie Stauwände auf; jugend-  
liche, deren Erstlingsachsen sich nicht schneiden, er-  
zeugen keine Stauwände. Wo Stauwände mit Schalenscheiben  
zusammenstoßen, lagern sie sich derartig, daß die stärkeren von  
ihnen die schwächeren im Sinne der stärkeren verschieben, einerlei  
ob die stärkeren Schalenteile Stauwände oder ob sie die ursprüng-  
lichen Schalenscheiben der Verschmelzlinge sind; auch lacinierte Ex-  
kreszenzen, können sich, dieselbe Rolle spielend, noch in die Kom-  
plikation hineindrängen. Das Ältere erweist sich immer als das  
Stärkere, das das Jüngere wegdrückt.

## 6. Kapitel. Ist die Verschmelzungsfähigkeit auf Individuen von irgend welcher bestimmten Kategorie beschränkt?

### 1. Besteht eine Altersgrenze für die Verschmelzung?

JENSEN (96, p. 195) hat bei seinen Verschmelzungsversuchen an  
lebenden Orbitoliten die Erfahrung gemacht, daß „ganz jugend-  
liche“ Orbitoliten sehr leicht mit ihren Pseudopodien und auch

mit ihren Weichkörpern verschmelzen. Während er bei der Berührung der Pseudopodien „älterer“ Tiere eine gegenseitige kontraktorische Erregung der Pseudopodien eintreten sah, die sich unter Umständen bis zu körnigem Zerfall steigerte, ohne daß eine Verschmelzung der Pseudopodien oder gar der Weichkörper eintrat. JENSEN, dem die von uns betrachteten Doppelschalen nicht unbekannt geblieben sind, weist darauf hin, daß man an diesen Doppelschalen die Altersgrenze feststellen könne, bis zu welcher eine gegenseitige Verschmelzung der Individuen eintreten könne. Es ist daher bei der Reichlichkeit des von uns untersuchten Materials nicht ohne Interesse, nach einer solchen Altersgrenze für die Verschmelzbarkeit zu suchen. Es ergibt sich, daß man zwar häufiger auf jugendliche Verschmelzungen trifft als auf solche, die erst im späteren Alter eingetreten sind; aber eine prinzipielle Altersgrenze, wie sie JENSEN vermuten zu dürfen glaubt, existiert für die Verschmelzungen zu Doppelschalen nicht. Gänzlich ausgewachsene Exemplare habe ich noch mit ihren Rändern zur Sanduhrform verwachsen gefunden, die an der Schnürstelle durch die kleine offizielle Stauwand modifiziert war.

Die jungen Versuchstiere JENSEN's, die anstandslos mit einander verschmolzen, entstammten ein und demselben Muttertier und gehörten der gleichen Brut dieses Muttertieres an. Tiere verschiedener Descendenz standen ihm nicht mehr zu weiteren Versuchen zur Verfügung. Es mag daher erwähnt werden, daß die von uns untersuchten Verschmelzungen zu Doppelschalen natürlich nicht an das Herkommen aus ein und derselben Brut gebunden sind — denn die ungleich großen Verschmelzlinge inäqualer Doppelschalen können unmöglich zu gleicher Zeit im Mutterkörper entstanden sein, sie sind vielmehr auch in zeitlicher Beziehung ungleich alt, wie sie es in Bezug auf die Anzahl (cf. p. 196) ihrer präjugalen Kammerringe sind — und ohne Boden wäre die Annahme, daß die inäqualen Verschmelzlinge zwar verschiedenen Bruten angehören könnten, aber dann doch verschiedenen Bruten von „ein und derselben“ Mutter zugehören müßten, zumal es sehr unwahrscheinlich ist, daß die Orbitoliten mehr als einmal Brut ausbilden.

Die Schlußfolgerungen, die JENSEN aus seinen Versuchen zieht, werden durch diese Ergebnisse keineswegs umgestoßen; ich halte vielmehr den Schluß JENSEN's auf individuelle Verschiedenheiten zwischen den Individuen verschiedenen Alters für durchaus berechtigt. Bei JENSEN's Versuchen, die er mit freibeweglichen (auf keiner Unterlage festgehefteten) Tieren ausführte, handelt es sich um „spontane“

Verschmelzungen, denen die Tiere ausweichen können, bei der Entstehung der Doppelschalen dagegen ohne Frage um „Zwangsverschmelzungen“, welcher die Tiere nicht entgehen können, weil sie fest an die Scholle geschmiedet sind. Die kontraktorische Erregung wird auch bei dem ersten Zusammentreffen inäqualer Individuen kaum ausbleiben, auch der degenerative Zerfall der Pseudopodien in Kugeln vielleicht nicht, wie ihn JENSEN beobachtet hat, aber es wird im Verlaufe des Aneinanderliegens „jene Milderung der Gegensätze“ eintreten, die JENSEN nicht selten im Verlauf der Degeneration eintreten sah. Durch kontraktorische Erregung entstandene Plasmakugeln gaben bei reichlichem und lebhaftem Zufluß von normalen Pseudopodien und wiederholter Berührung mit denselben ihre ablehnende Haltung auf, um schließlich von den sich einziehenden Fäden centripetal in das Schaleninnere geschafft zu werden (loc. cit. p. 190). Eine allmähliche Reizgewöhnung wird die Tiere mit der Zeit der Verschmelzung fähig machen, wenn sie sich auch anfänglich einer solchen zu widersetzen vermögen. Die von JENSEN vermuteten individuellen chemischen Verschiedenheiten werden während längerer Zwangsberührung mehr und mehr schwinden — in diesem Sinne wird Diffusion und Diosmose in den beiden zur Berührung gebrachten „flüssigen“ Zelleibern schon ausgleichend wirken müssen — so daß schließlich Verschmelzung eintreten kann.

## **2. Verschmelzen nur megalosphärische und nur mikrosphärische Individuen miteinander oder finden auch zwischen den Schalen verschiedener Generationen Verschmelzungen statt?**

Die Orbitoliten gehören zu den dimorphen Foraminiferen, d. h. Generationen von verschieden gestalteten Schalen, mikrosphärischen Schalen mit vergleichsweise sehr kleiner Embryonalkammer, wechseln in längerer oder kürzerer Periode mit Generationen, die als megalosphärische eine auffallend große Embryonalkammer besitzen. Die letzteren sind sehr viel zahlreicher als die mikrosphärischen Schalen. Alle unsere seitherigen Erörterungen haben sich auf megalosphärischen Schalen bezogen, und es muß daher zur Vervollständigung noch folgendes hinzugefügt werden.

Ein einziges Mal habe ich ein Schalenbruchstück gefunden, das offenbar einem univalenten komplanalen rein mikrosphärischen Doppeltier zugehörte. Die beiden mikrosphärischen Embryonalkammern waren nur durch „eine“ präjugale Kammerlage getrennt. Die mikrosphärischen Schalen verschmelzen also auch untereinander und wahrscheinlich nach denselben Regeln wie die

megalosphärischen, denn die Univalenz war auch hier mit einer nur ganz geringen Zahl (1) präjugaler Kammerringe vereint. Da die mikrosphärischen Individuen sehr viel seltener sind als die megalosphärischen erklärt sich ihr vereinzelt Vorkommen.

Auch Verschmelzungen zwischen megalosphärischen und mikrosphärischen Schalen kommen — wenn schon wegen der relativ geringen Anzahl der mikrosphärischen Schalen gleichfalls als Seltenheit — vor.

Ich habe wiederum nur eine Schale dieser Art gefunden, sie ist in Photo 36 abgebildet. Die mikrosphärische Schale (Mi) ist größer als die megalosphärische (Meg), die ihr unter geringer Kreuzung etwas trichterartig zusammengedrückt anhängt. Der centrale Erstlingsteil der größeren mikrosphärischen Schale ist in der Kopie wegen seiner relativen Dünne überlichtet, so daß die Mikrosphäre, die bei der angewendeten Vergrößerung kleiner als Stecknadelkopfgroße zu denken ist, nicht hervorgetreten ist.

Die Verschmelzungsfähigkeit von mikro- und megalosphärischen Schalen verdient einige Beachtung.

SCHAUDINN hat nämlich bei der sogenannten Plastogamie (= Zell-leibverschmelzung ohne Kernkopulation) von *Discorbina* festgestellt, daß bei dieser allerdings einer ganz anderen Gruppe zugehörigen Foraminifere nur Individuen mit gleichen Kernverhältnissen zur Verschmelzung gebracht werden können (SCHAUDINN 95, p. 187 u. 188). Es könnte über kurz oder lang die Frage interessieren, ob diese Zustandsgleichheit der Kerne ein allgemeingiltiges Postulat für die Verschmelzungsfähigkeit der Foraminiferen darstellt? Wir können im voraus antworten, daß dies für die Zwangsverschmelzungen von *Orbitolites* nicht der Fall ist, — aber mit den spontanen Verschmelzungen, die SCHAUDINN beobachtete, mag es sich auch in dieser Hinsicht wieder anders verhalten — denn mikro- und megalosphärische Individuen sind im stande, miteinander zu verschmelzen, wie das Exemplar Photo. 36 zeigt, und wir wissen durch die Untersuchungen SCHAUDINN's und LISTEB's, daß die Kernverhältnisse in den mikro- und megalosphärischen Generationen grundsätzlich verschiedene sind.

Wir fassen zusammen: Irgend welche Beschränkung in der Verschmelzbarkeit der Orbitolitesschalen zu Doppelschalen läßt sich weder bezüglich des Alters der Tiere, noch bezüglich der Zugehörigkeit zur megal- und mikrosphärischen Generation noch in irgend einer anderen Beziehung feststellen.

Es können vielmehr alle derselben Spezies<sup>1)</sup> zugehörige Individuen miteinander verschmelzen, wenn sie nur immer auf einer Unterlage festgeheftet mit ihren Schalen aufeinander treffen.

Daß die Festheftung auf der Unterlage eine Bedingung für die Unbeschränktheit des Verschmelzenkönnens darstellt, geht aus den mitgeteilten Versuchen JENSEN's hervor. Freie, nicht festsitzende Tiere würden nach diesen Versuchen nicht bedingungslos mit einander verschmelzen. Man wird deshalb die spontane Verschmelzungsfähigkeit freibeweglicher Individuen, wie sie JENSEN behandelt hat von den Zwangsverschmelzungen, die uns beschäftigt haben, begrifflich zu scheiden haben. Da aber die Zwangsverschmelzungen nicht künstlich durch Experiment, sondern ohne Hinzuthun eines Experimentators in der freien Natur vor sich gegangen sind, wird man sie zweckmäßig als „natürliche Zwangsverschmelzungen“ bezeichnen.<sup>2)</sup>

### 7. Kapitel. Die Größenverhältnisse der Mehrfachschalen im Vergleich zu gewöhnlichen Einzeltieren.

Die Durchmesser der Mehrfachschalen sind nicht mehrfach so groß als eine Einzelschale; eine Doppelschale hat also nicht die doppelte Größe einer einfachen, sondern das Verschmelzungsprodukt hält sich im allgemeinen ganz innerhalb der Größenschwankungen einzelner Schalen; nur wenn ganz alte, kurz vor Beendigung ihres Wachstums stehende Schalen mit einander an ihren Rändern verschmelzen, entstehen Doppelschalen, die auch annähernd die doppelte Größe einfacher Schalen besitzen, denn die Größe, die vor der Verschmelzung erreicht ist, kann natürlich nach der Verschmelzung nicht wieder reduziert werden.

Für die bivalenten Doppelschalen begreift sich das genannte Verhalten z. T. dadurch, daß ein großer Anteil der beiden Schalenscheiben durch die Bildung der Stauwand aus den ursprünglichen Schalenscheiben heraus gehoben wird und die, in anderer Richtung hochwachsende, Stauwand den Durchmesser der Doppelschale nicht vergrößern kann.

<sup>1)</sup> Obgleich zwei verschiedene Species, nämlich *O. duplex* und *O. complanata*, in dem Material von LAYSAN sehr reichlich vorhanden waren, und obgleich jede von ihnen nach den mitgeteilten Regeln Doppelschalen zu erzeugen vermag, habe ich doch keine Doppelschale vorgefunden, deren Verschmelzlinge den beiden verschiedenen Species zugehört hätten.

<sup>2)</sup> Die Verwachsungsversuche mit Amphibienlarven BORN's würden dagegen experimentelle Zwangsverschmelzungen darstellen. Zwangsverschmelzungen, weil die mit ihren Wundflächen an einandergebrachten Tiere nicht ohne weiteres, sondern nur dann mit einander verschmelzen, wenn sie durch Nadeln (also durch Zwang) an einander gehalten werden.

Die univalenten Doppelschalen, denen die Stauwandbildung fehlt, und die trotzdem die Größe einfacher Schalen nicht überbieten, zeigen jedoch, daß die Stauwandbildung nicht die einzige Ursache für die gleiche Größenstufe einfacher und mehrfacher Schalen sein kann (cf. Anhang I unter e).

Es muß vielmehr eine Vereinigung der Verschmelzlinge zu „einer physiologischen Einheit“ angenommen werden, deren Wachstumsgrenzen dieselben sind, wie diejenigen einfacher Tiere. Es ist diese Annahme zwar nicht viel mehr als eine Umschreibung, aber doch wenigstens eine solche, die von der Schale aus auf den physiologischen Lebensbetrieb des Weichkörpers, seine Assimilationsintensität und Assimilationskapazität, seine Ausnutzungsfähigkeit der in seiner Umgebung vorhandenen Nahrung etc. etc. hinweist; auf Gebiete allerdings, die sich vorläufig wegen allzu geringer Bebauung jeder weiteren soliden Spekulation entziehen.

## 8. Kapitel. Die Doppel- und Mehrfachschaalen in der Litteratur und bei anderen Foraminiferen.

### 1. Die Orbitolites-Doppelschalen in der Litteratur.

Die Doppelschalen der Orbitoliten wurden meines Wissens zuerst erwähnt von W. B. CARPENTER, PARKER und JONES (62 p. 123 und 124), doch scheinen mir bei der Beschreibung die Mehrfachbildungen nicht von den bloß laciniaten Schalenexkrescenzen geschieden zu sein, denn von der Mehrzahl der Embryonalkammern die für die Mehrfachbildungen charakteristisch sind, ist nicht die Rede. BÜTSCHLI bezog sich dann in seinem Protozoenwerk an zwei Stellen auf die vorgenannten Mitteilungen, ohne daß er über deren Natur ins reine kommen konnte „da genauere Untersuchungen über den Bau dieser monströsen Schalen nicht vorlagen“ (BÜTSCHLI 80 p. 95 und 143); sie werden noch mit Spaltungsschalen zusammengestellt.

Im 7. Band des Challenger-Report auf Taf. 8, Fig. 11 bildet CARPENTER dann eine unverkennbare bivalente Doppelschale von *Orbitolites complanata* in Salzfassform ab, und spricht (83 p. 36) die richtige Vermutung aus, daß sie durch Verschmelzung zweier Schalen entstanden sei.

Im 9. Bande des Challenger-Report folgt dann H. B. BRADY mit der Abbildung einer gleichfalls zweifellos bivalenten Doppelschale, deren Stauwand dem kleineren Verschmelzling zugeneigt ist; (BRADY 84, t. 17 f. 1). Sie wird (loc. cit. p. 219) als eine der häufigsten Monstrositäten bezeichnet, ohne daß über ihr Zustandekommen etwas

ausgesagt wird. Das ebenda t. 17 f. 5 abgebildete Exemplar scheint mir eine Mehrfachschaale zu sein, ohne daß sich bei der Unsichtbarkeit der Embryonalkammern hierüber Sicherheit gewinnen ließe. Die Figuren 3 und 4 sind sicher bloß laciniate Bildungen. Die Abbildungen beziehen sich gleichfalls auf *Orbitolites complanata*.

Auf diese Mitteilungen folgt dann m. W. als letzte vor den meinigen, die schon oben erwähnte JENSEN's (96 p. 195), welche in den Doppelschalen, zweifellose Verschmelzungsprodukte erkennt.

Hier heißt es: „Eine solche Doppelmißbildung von *Orbitolites* besitzt zwei Centren, welche je aus einer Empryonalkammer bestehen, um die sich in ganz normaler Anordnung eine größere oder kleinere Anzahl weiterer Kammern gruppiert. Diese beiden centralen Kammersysteme berühren sich tangential und sind in atypischer Weise gemeinschaftlich von einem und demselben Kranze cyklisch-ovaler Kammerreihen umschlungen, während die zu beiden Seiten des Berührungspunktes übrig bleibenden Räume durch ein häufig recht unregelmäßiges Konglomerat von Kammern ausgefüllt sind. Die beiden genannten Centren zeigen uns aber genau die Größe an, welche die beiden Einzelindividuen von *Orbitolites* erreicht hatten, ehe sie zu dieser Doppelbildung verschmolzen, um sich von da an mit einem gemeinsamen Kammerkranze zu umgeben.“

Die Beschreibung scheint nur auf univalente Schalen gemünzt zu sein, deren Erstlingskammern das unregelmäßige Konglomerat darstellen würde, vielleicht aber sollen mit dem letzteren auch die Stauwände gemeint sein. JENSEN's Fig. 10 Taf. 2 ist eine univalente komplanale Doppelschaale von *Orbitolites duplex*.

## 2. Doppelschalen anderer Foraminiferen.

### a) In der Litteratur.

Bei den von den *Orbitolitiden* im System nicht sehr weit abstehenden imperforaten *Milioliniden* hat SCHLUMBERGER (93) hierher zu rechnende Doppelschalen beobachtet. Er beschreibt eine Schale von *Quinqueloculina dilatata* d'Orb und bildet sie im Querschliff ab, die zwei Embryonalkammern besaß, obgleich die Schale äußerlich vollkommen das Gepräge einer einheitlichen Schale trug. SCHLUMBERGER teilt an gleicher Stelle mit, daß er dieselbe Erscheinung schon früher bei der fossilen *Mililine Fabularia discolithes* Defr. angetroffen habe. Es handelt sich in beiden Fällen um frühzeitige Verschmelzungen von Embryonalkammern, die in vollem Einklang mit unseren Erfahrungen nach der Verschmelzung in offener „Univalenz“ weitergebaut hatten.

Aus den sandschaligen Gruppen der *Nodosinelliden* und *Rhabdamminiden* sind univalente Doppelschalen abgebildet und



beschrieben worden. 1. Von *Reophax findens* Park. durch H. B. BRADY (84 p. 299 t. 32 f. 10 u. 11). Drei- bis vierkammerige Schalen haben sich mit ihren Mündungen vereinigt und nach der Vereinigung gemeinsam einheitlich weitergebaut. Die Verschmelzung zweier oder auch dreier Individuen scheint hier Regel zu sein, da von dieser Form bis jetzt nur derartige Doppelschalen — Einzelschalen gar keine — beschrieben worden sind. Die Verschmelzung erfolgt offenbar spontan, da ein Festsitzen der Schalen weder bekannt noch dem ganzen Bau nach wahrscheinlich ist. 2. Von der Rhabdamminide *Jacullela obtusa* BRADY giebt GOËS (94 t. 4 f. 89) die Abbildung einer univalenten Doppelschale. Unter spitzem Winkel stossen zwei dieser röhrenförmigen Sandschalen mit ihren Mündungen zusammen und die Röhre wächst dann in gewöhnlicher *Jacullela*-Weise weiter; demnach liegt auch hier „Univalenz“ vor.

Auch aus der feinporösen kalkschaligen Familie der *Nodosariden* sind zwei Doppelschalen bekannt geworden. CHAPMAN bildet aus dem Gault von Folkestone zwei fossile Schalen ab, deren eine, *Vaginulina truncata* REUSS zugehörige, seitwärts von ihrem Mündungsende eine zweite Embryonalkammer angelötet hält, ohne daß es jedoch bei ihr zu weiterer Kammerbildung gekommen wäre (CHAPMAN 98 t. 2 f. 10, p. 14). Man weiß also nicht, ob sich der postjugale Schalenteil nach dem univalenten oder bivalenten Typus weiter entwickelt hätte. Dagegen führt das andere Exemplar, eine *Vaginulina recta* REUSS (CHAPMAN loc. cit. t. 2 f. 11, p. 14) vor, bei welchem eine ursprünglich mikrosphärische Schale am Mündungsende, nachdem sie sieben Kammern allein aufgeführt hat, mit einer megalosphärischen Embryonalkammer verschmolzen ist. Die Kammernfolge nach der Verschmelzung hat einen durchaus univalenten Charakter beibehalten. Diese Schale zeigt also einmal, daß auch bei *Vaginulina* mikrosphärische und megalosphärische Schalen miteinander verschmelzen können, und dann zweitens, daß durch die Einschmelzung einer neuen Embryonalkammer die postjugale Kammerfolge nicht in „Bivalenz“, sondern in „Univalenz“ weitergeführt wird. Es entspricht diese Schale also in letztgenannter Beziehung ganz dem Verhalten, das ältere *Orbitolites*-Schalen zeigten, wenn sie mit einer sehr jugendlichen Schale oder einer noch kammerlosen Embryonalkammer zusammengetroffen waren (cf. p. 206). Ich vermute wegen der abgeplatteten Gestalt dieser *Vaginulinen*, daß sie zu den fest-sitzenden Formen gehört haben, daß also Zwangsverschmelzung vorliegt.

Weitere als Doppelschalen sicher zu erkennenden Schalenverschmelzungen sind mir in der Litteratur nicht bekannt. Nicht alles,

was auf den ersten Anblick als Doppelschale erscheinen könnte, ist als solche aufzufassen.

Es giebt zwei Kategorien von Schalen, vor deren Verwechslung mit Doppelschalen gewarnt werden muß, nämlich einmal die von mir früher als „Koppelschalen“ bezeichneten Zwillinge, die nach vollendetem Wachstum sich spontan aneinanderlöten, um unter nachfolgender Plastogamie (d. i. Zelleibverschmelzung) Brut zu erzeugen (SCHAUDINN 95 b. cf. auch MOEBIUS 82 p. 92 und RHUMBLER 98 p. 82—86), aber nach der Verlötung, der Schale nichts neues „Gemeinsames“ zufügen, sondern höchstens frühere Schalenteile resorbieren, um den Zusammenfluß der Zelleiber zu erleichtern (SCHAUDINN 95 b.). Ihnen fehlt das allen Doppelschalen zukommende Kriterium des postjugalen Weiterbaues der gemeinsam gewordenen Schale, und mit diesem Fehlen der gemeinsamen Arbeit ist auch die Frage sinnlos, ob diese Koppelschalen univalent oder bivalent sind; es sind eben bloß zwei miteinander verkoppelte sonst selbständige Schalen.

Bekannt sind solche Koppelschalen von *Textularia folium* Pa. J. (MOEBIUS loc. cit., BRADY 84 p. 357 t. 42 f. 5; RHUMBLER loc. cit.) von *Patellina* und *Discorbina* (SCHAUDINN loc. cit.) von *Spirillina* und *Verneuilina* (RHUMBLER loc. cit.).

Die andere Schalenkategorie, welche in Gefahr läuft, mit Doppelschalen verwechselt werden zu können, ist in denjenigen Schalen gegeben, die man seither vielfach auch als „Doppelmonstra“ aufgeführt hat, die ich aber von jetzt ab, um Verwechslungen zu vermeiden, als „Spaltungsmonstra“ zu bezeichnen vorschlage. Es wird von ihnen noch einmal im theoretischen Teil dieser Arbeit die Rede sein, so daß hier nur auf ihre Unterschiede von wirklichen Doppelschalen aufmerksam gemacht zu werden braucht. Sie besitzen im Gegensatz zu letzteren nur eine Embryonalkammer, sind also ursprünglich Einzelschalen, die dann im späteren Verlauf ihres Wachstums eine Spaltung ihrer Kammerreihen zeigen, so daß die an sich einheitliche Schale während ihres späteren Wachstums das Aussehen eines Verschmelzungsproduktes aus zwei Schalen erhält, obgleich von einem solchen gar nicht die Rede sein kann. Bei allen Abbildungen der Litteratur, in denen sich die Zahl der Embryonalkammern nicht erkennen läßt, oder wo sie nicht im Text angegeben wird, läßt sich schwer entscheiden, ob es sich in einem speciellen Falle um eine solche Spaltschale oder um eine echte Doppelschale handelt. Als Beispiele für derartige Spaltschalen können jedoch ohne Bedenken folgende gelten: *Polystomella strigilata* (F. u. M.) bei M. SCHULTZE 54 t. 5 f. 14 u. 15; Den-

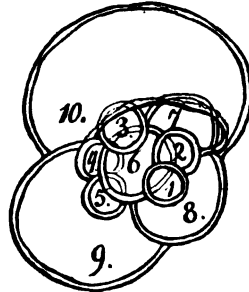
talina legumen L. bei WILLIAMSON 58 t. 2 f. 49; Bigenerina robusta BRADY bei BRADY 84 t. 45 f. 15 u. 16; Peneroplis pertusus Forsk. bei DREYER 98 t. 4 f. 194, 203, 205—207, 212, 213, 215 und 217.

An die Spaltschalen schließen sich dann ohne scharfe begriffliche Scheidungsgrenzen die gleichfalls mit Verwechslung drohenden schon mehrfach genannten laciniaten Schalenauswüchse der Orbitoliten an (cf. p. 206 und Photo 17 u. 18), die als partielle Spaltungen anzusehen sind, und im Gegensatz zu den Doppelschalen, wie wir wissen, in Übereinstimmung aber mit anderen Spaltschalen bloß eine Embryonalkammer besitzen.

#### b) Eigene Beobachtungen an anderen Foraminiferen.

Aus eigener Erfahrung kenne ich außer bei Orbitolites echte Mehrfachschaalen, erstens von einer Globigerina species, die ich für neu halte, deren Specialbeschreibung hier aber nicht interessiert. Bei ihr traf ich im Anfangsteil der Schale mehrmals zwei bis fünf unverkennbare Embryonalkammern, die zunächst gemeinsam eine größere kugelige Kammer erzeugt hatten, an welche sich dann die übrigen Kammern in normaler einheitlicher Weise anschlossen (Textfig. I). Der frühzeitigen Verschmelzung von Embryonalkammern entsprechend besitzen also auch diese Globigerina einen univalenten Ausbildungsmodus. Da es sich um pelagische Formen handelt, so ist die Verschmelzung hier fraglos eine spontane gewesen.

Zweitens besitze ich die in Photo 41 abgebildete Doppelschalen von Discorbina valvulata d'Orb. Es sind hier unverkennbar bereits ältere Schalen mit einander verschmolzen. Daß es sich nicht um eine der vorhin erwähnten Koppelschalen handelt, geht aus der Thatsache hervor, daß die beiden Schalentheilhaber die gemeinsame Kammer (g k) aufgebaut haben; es liegt nicht bloß eine Schalenverlötung vor. Nach Erzeugung der gemeinsamen Kammer hat die in der Figur nach unten gewendete Schale A noch fünf Kammern ganz nach ihrem ursprünglichen Bauplan aufgebaut. Das gleiche hat



Textfig. I.

Eine Globigerina sp. mit fünf Embryonalkammern (1—5), die gemeinsam eine kugelige Kammer (6) aufgebaut haben, auf welche die Kammern 7—10 in der für die Species charakteristischen Form folgen. Univalente Fünffachschaale. (Aus der Nähe von Ascension.) Vergr.:  $\frac{550}{1}$ .

die obere Schale B gethan, jedoch ist ihre 5. Kammer, die auch hier die Endkammer war, abgebrochen und nur ihre Wandränder sind stehen geblieben. Diese Schale ist also entsprechend dem höheren Alter, in welchem die Verschmelzlinge zusammengetroffen sind bivalent.<sup>1)</sup>

Überblicken wir die von anderen Foraminiferen namhaft gemachten Fälle echter Doppelbildungen noch einmal, so fällt auf, daß es sich mit Ausnahme der letztgenannten *Discorbina* durchweg um sehr frühzeitige Verschmelzungen — meist sogar um solche von Embryonalkammern handelt, die, wie das unseren Erfahrungen bei *Orbitolites* im allgemeinen (exkl. Erstlingschalen mit sich schneidenden Erstlingsachsen) entspricht, durchaus univalente Schalen zur Ausbildung gebracht haben.

Nur die Doppelschale der *Discorbina valvulata* (d'Orb) (Photo 41) tritt — dem höheren Alter der Verschmelzlinge entsprechend — als Pendant neben die bivalenten *Orbitolitesschalen*.

Ohne Zweifel scheinen die frühzeitigen Verschmelzungen und mit ihnen die univalente Ausbildung der Doppelschalen sehr viel weiter verbreitet als die späteren Verschmelzungen und ihre bivalenten Doppelschalen. Es ist das in keiner Weise auffallend, wenn man sich an die früher citierte Erfahrung JENSEN'S (95) erinnert, daß nur jugendliche Individuen zur spontanen Verschmelzung gebracht werden können; und es ist gewiß kein bloßer Zufall, daß die in Bivalenz auftretende *Discorbina* gleichzeitig wieder eine festsitzende Form ist, die also, ganz wie *Orbitolites*, offenbar nur darum auch in höherem Alter noch zu Verschmelzungen kommt, weil sie auf irgend einem Untergrunde festsitzend (cf. die Abbildungen bei BRADY 84 t. 87 fig. 6 u. 7) bei ihrem weiteren Wachstum nicht von einander loskommen können, wenn sie sich in früher Jugend zu dicht neben einander angesiedelt haben.

Wir können also allgemein sagen: „Ältere Schalen verschmelzen nach unseren heutigen Erfahrungen nur dann, und zwar immer zu „bivalenten“ Doppelschalen,<sup>2)</sup> wenn sie festsitzen, wenn sie also einer Zwangsverschmelzung unterliegen (cf. p. 229).

<sup>1)</sup> Natürlich gilt das früher angeführte Kennzeichen der Bivalenz, nämlich die Stauwandbildung, nur für den cyklischen Schalenbau der *Orbitoliten*, der spiralische Bau, mit dem wir es oben bei der *Discorbina* zu thun haben, bringt seine Bivalenz durch die Fortführung der „beiden“ Spiralen zum Ausdruck.

<sup>2)</sup> Betreffs der plastogamischen Verbindung zu Koppelschalen, die nicht mit Doppelschalen verwechselt werden dürfen, cf. p. 232 zu 233.

Auch die Zusammenfügung von ganz jugendlichen Schalen oder von noch einfachen Embryonalkammern mit „alten“ Schalen scheint nur unter Zwangsverschmelzung vor sich zu gehen, führt aber zur Ausbildung univalenter Doppelschalen (cf. p. 206 u. 232).

Embryonalkammern oder noch ganz jugendliche Schalen verschmelzen dagegen unter sich nicht nur unter Zwang, sondern auch „spontan“ mit einander (im Einklang mit JENSEN 95) und zwar in den weitaus meisten Fällen zu „univalenten“ Doppelschalen. Soweit wir bis jetzt wissen, machen nur diejenigen frühzeitigen Verschmelzungen von Orbitolites duplex eine Ausnahme, deren Erstlingsachsen sich schneiden, indem unter solchen Bedingungen bivalente Doppelschalen entstehen.

Worauf nun dieses verschiedenartige Verhalten beruht, wie die Erstlingsachsen der Or-b. dupl. dazu kommen, eine Ausnahme zu veranlassen, und wie die speciellen Gestaltungsformen der verschiedenen Arten von Doppelschalen zu stande kommen, das soll im zweiten mechanisch-theoretischen Teil dieser Arbeit erörtert werden.

---

## II. Teil.

### **Mechanisch-Theoretisches.**

Aus methodischen Gründen sollen unsere Auseinandersetzungen mit der mechanischen Entstehung der Stauwand bivalenter Doppelschalen beginnen. Es wird sich dann leicht feststellen lassen, unter welchen Umständen die zur Stauwandbildung notwendigen mechanischen Bedingungen nicht erfüllt sind, und warum alsdann eine univalente Doppelschale entsteht.

Im empirischen Teil dieser Arbeit haben wir die Schilderung der Gestaltungsverhältnisse der Doppelschalen schon dadurch unter einen gewissen einheitlichen Gesichtspunkt zu bringen gesucht, daß wir mehrfach darauf hinwiesen, wie der größere Verschmelzling über den kleineren das Übergewicht besitzt, wie der größere stärker als der kleinere seinen ursprünglichen normalen Bauplan (der ihn zur Einzelschale ausgebildet hätte) aufrecht zu erhalten sucht. Bezeichnen wir dieses Übergewicht des älteren Verschmelzlings als „Prävalenz“, so stellen wir zunächst fest, daß

sich diese Prävalenz des größeren Verschmelzlings über den kleineren in Bezug auf die „postjugalen“ Schalenteile<sup>1)</sup> überall nachweisen ließ, wo inäquale Schalen zu Doppelschalen zusammengeschmolzen waren, ganz einerlei, um welche Art von inäqualen Doppelschalen es sich im Spezielleren auch handelte.

Die Prävalenz des älteren Verschmelzlings über den jüngeren trat nämlich, um noch einmal daran zu erinnern, deutlich hervor:

Erstens: Wenn Embryonalkammern oder Erstlingsschalen von den Kammeringen einer älteren Schale überfütet wurden (cf. p. 206 und Photo 13). Die Prävalenz der älteren Schale geht hierbei so weit, daß der eingeschmolzene Erstling (resp. die eingeschmolzene Embryonalkammer) bei komplanarer Vereinigung nur eine Verdickung der Doppelschale im Bereich der Einschmelzung verursacht, bei biplanarer Vereinigung aber, wo die Erstlingsschale bei etwa senkrechter Stellung bereits zur Verschmelzungszeit die Schalenhöhe der größeren überragt haben kann, die Erstlingsschale postjugal gar nicht mehr oder in weit geringerem Grade als der größere Verschmelzling weiter wächst (cf. p. 207).

Zweitens schafft sich die Prävalenz des älteren Verschmelzlings deutlich erkennbaren Ausdruck in der Hinneigung der Stauwand auf den kleineren Verschmelzling bei komplanalen inäqualen Doppelschalen. Der größere Verschmelzling drückt die Stauwand aus der Senkrechten hinaus<sup>2)</sup> über den kleineren Verschmelzling hin.

Drittens zeigt sich dieselbe Prävalenz bei den geknickten Doppelschalen darin, daß sich die Stauwand, die bei äqualen geknickten Doppelschalen in der Verlängerung der Halbierungslinie des Knickungswinkels liegt (p. 217 Textfig. D), mit der Inäqualität der Verschmelzlinge wieder auf den kleineren Verschmelzling hin niedergeneigt, d. h. von dem größeren Verschmelzling niedergedrückt wird.

Viertens tritt schließlich die Prävalenz auch bei gekreuzten Doppelschalen deutlich zu Tage, indem die kleinere Achterschleife der gekreuzten Doppelschalen (Photo 34) bei weiterem postjugalen Wachstum ganz von der größeren Achterschleife, die dem größeren Verschmelzling zugehört, überwuchert wird, so daß die kleinere Schleife in die größere hineingedrückt erscheint (Photo 32 p. 221).

Hiermit sind alle Fälle inäqualer Schalenverschmelzungen erschöpft, und es zeigt sich nirgends eine Ausnahme von dem Gesetz: die Prävalenz der größeren Verschmelzlinge über die kleineren.

<sup>1)</sup> Natürlich nicht in Bezug auf die Größe der zur Verschmelzung mitgebrachten Schalenscheiben, an denen nach der Verschmelzung nichts geändert wird und für die mit dem Ausdruck Prävalenz gar nichts Neues ausgesagt würde; die vor der Verschmelzungszeit gelegene Ungleichheit haben wir als „Inäqualität“ bezeichnet.

<sup>2)</sup> d. h. aus der Vertikalebene hinaus, in welcher die Stauwand sich in die Höhe richten würde, wenn die beiden Verschmelzlinge gleich alt (groß) wären.

Wir stellen uns zunächst folgende Frage:

**9. Kapitel. Warum drücken die größeren (älteren) Verschmelzlinge stärker auf die in Bildung begriffene Stauwand als die kleineren (jüngeren)? Woher stammt also mit anderen Worten die Prävalenz des größeren Verschmelzlings über den kleineren?**

Die Schalen selbst können natürlich bei der Entstehung der Aufstauung keine aktive Rolle spielen. Sie drücken selber nicht und verrücken ihren Ansatzpunkt auf der Unterlage nicht, sie geben bloß den Widerstand ab, an dem die Aufstauung stattfindet.

Die zur Entstehung der „Aufstauungen“ erforderlichen Drucke müssen unbedingt und verständlicherweise von demjenigen Sarkodeteil ausgehen, der zur Kammerbildung aus den Mündungsporen des Scheibenrandes hervortritt,<sup>1)</sup> um jeweils einen neuen Kammerring zu bilden.

Es fragt sich daher, warum der aus der größeren Schale während der Kammerringbildung austretende Sarkodeteil stärker drückt als derjenige, der aus der kleineren Schale hervorquillt?

Zunächst wird man an die Oberflächenspannung denken, welche bei verschiedenen großen Tieren mit der verschiedenen Größe ihrer flüssigen Weichkörper eine verschieden große sein muß. Es läßt sich aber leicht einsehen, daß sich das Übergewicht der Sarkode der größeren Schale beim Aufbau des gemeinsamen Schalenteiles aus der Oberflächenspannung der vortretenden Sarkodemasse nicht ableiten läßt, denn die Oberflächenspannung verhält sich umgekehrt wie der Krümmungsradius der Oberfläche, sie müßte also bei einem großen Tier geringer als bei einem kleinen sein, und wenn die beiderseits gegen einander vorquellenden Sarkodeteile bloß mit ihren gespannten Oberflächen gegen einander drückten, so müßte die größere schwächer gespannte Oberfläche des größeren Tieres leichter ausweichen, als die kleinere stärker gespannte Oberfläche des kleineren Tieres, die Stauwand müßte sich demnach zur Zeit ihrer ersten Entstehung auf die größere Schalenscheibe hinabneigen; gerade das Gegenteil ist aber der Fall, sie neigt sich, wie wir gesehen haben, dem kleineren

---

<sup>1)</sup> Über den Vorgang der Kammerbildung bei den polythalamen Foraminiferen haben M. SCHULTZE (54, p. 30) und eingehender F. SCHAUDINN (95, p. 196) berichtet. Einer persönlichen Mitteilung SCHAUDINN's verdanke ich die Kenntnis, daß die kammerbildende, aus der Endmündung vorquellende Sarkode während der ersten Hüllabscheidung keine Pseudopodien ausschießt. Vgl. auch O. BÜTSCHLI 80, p. 131 und 132.

der beiden Verschmelzlinge zu. Mit der Oberflächenspannung läßt sich demnach die Prävalenz des größeren Verschmelzlings nicht erklären. Von ihrer event. Wirksamkeit wird erst später die Rede sein (Kap. 12).

Ich habe auf Grund umfangreicher Untersuchungen und Versuche mit an sich sehr verschiedenen Zellen die Erfahrung gemacht, daß sich der zähflüssige Zelleib äußeren Drucken gegenüber physikalisch überhaupt nicht, wie man a priori erwarten könnte, wie eine Flüssigkeit verhält, sondern durchaus das Verhalten einer „plastischen, knetbaren“ Substanz aufweist.<sup>1)</sup> Wir werden uns bald davon überzeugen, daß das auch hier der Fall ist. Doch wollen wir gleich hier die sich sofort aufdrängende Frage erledigen, wie sich die behauptete Plastizität mit dem „flüssigen“ Zustand verträgt, der von mir im Anschluß an eine ganze Reihe von Forschern bei meinen früheren mechanischen Erklärungsversuchen von Lebenserscheinungen der Zelle für das Protoplasma in Anspruch genommen und der neuerdings wieder mit bestem Erfolge von P. JENSEN verwertet worden ist (JENSEN 01) als Erklärungsprinzip für andere Lebensverrichtungen speziell der Foraminiferen und zwar auch der Orbitoliten, mit denen wir es hier zu thun haben. Eine Flüssigkeit als solche besitzt keine plastischen Eigenschaften. Es scheint ein Widerspruch vorzuliegen, wenn dieselbe Sarkode das eine Mal bei Erklärung eines Teiles ihrer Handlungen als Flüssigkeit, das andere Mal zur Erklärung eines anderen Teiles ihres Schaffensvermögens aber als eine plastisch knetbare Masse angesehen wird.

In einer anderen Arbeit, die dem Drucke nahe ist und voraussichtlich bald erscheinen wird, werde ich zeigen, daß sich die Duplizität des Verhaltens einmal als Flüssigkeit, das andere Mal als plastische Masse auch bei allen anderen lebenden Zellenhalten, die ich daraufhin geprüft habe (Amöben, Blastomeren und einige andere Zellen), nachweisen läßt, so daß die hier angeschnittene Frage erhöhte Beachtung verdient. Die verschiedene Reaktionsweise verteilt sich folgendermaßen auf verschiedene Einwirkungen: Zug- und Druckkräften gegenüber, die mit ihrem Trägheitsmoment als

<sup>1)</sup> DREYER (98, p. 73) spricht in seiner *Peneroplis*-Arbeit von einer „ausgeprägten fließend-weichen Sarkodeplastik“, ohne im übrigen genauer zu definieren, was er darunter versteht, und ohne in die Mechanik der Schalenbildung tiefer einzudringen. Ganz im Gegensatz zu seiner früheren ausgezeichneten Arbeit „über die Gerüstbildung der Radiolarien“ (92) bringt seine *Peneroplis*-Arbeit gar keine klar faßbaren, mechanischen Erklärungen. Es hat meines Erachtens dieser Arbeit sehr geschadet, daß sie „philosophisch“ gehalten werden sollte.



bloße Massen von bestimmter Bewegungsenergie von außen her auf die lebende Zellmasse einwirken, verhält sich die lebende Zellmasse wie eine plastische Masse; äußeren Kräften gegenüber dagegen, die als Molekularkräfte auf die lebende Substanz, also etwa mit Adhäsion, chemischer Umsetzung etc. einwirken, verhält sich der lebende Zellinhalt durchaus wie eine rein flüssige Masse.<sup>1)</sup> Woher kommt das?

Es giebt keine andere Theorie und Anschauung, welche diese Verschiedenheit der Antwortreaktion auf verschiedenartige äußere Eingriffe hin einheitlich zu erklären im stande wäre, als die Wabenlehre BÜTSCHLI'S. Eine einheitliche Flüssigkeit, auch wenn sie ad libidum mit Fäden oder Kleinkörpern irgend welcher Art vollgepfropft gedacht wird, könnte niemals dieses „doppelseitige“ Verhalten gleichzeitig zeigen, ein Schaum dagegen thut es ohne weiteres. Denn in einem Schaum ist nicht bloß die Oberfläche gespannt, sondern ein Schaum besitzt auch durch die Spannung der Schaumwände im Innern im Gegensatz zu einer einheitlichen Flüssigkeit eine „Innenspannung“, die es nicht gestattet, daß die einzelnen Alveolen wie die Teilchen einer Flüssigkeit jeder fremden, sich mit

<sup>1)</sup> So bilden diejenigen Foraminiferen, die ihre neuen Kammerwände direkt, d. h. ohne erst eine Lage von neuer Schalensubstanz auf die Wand der vorausgehenden Kammer abgelagert zu haben, auf die früheren Kammerwände aufsetzen, an homologen Stellen stets einen bestimmten Randwinkel mit diesen direkt berührten alten Wänden, wie es auch unter gleichen Umständen jede andere Flüssigkeit thun müßte. Zellen ohne feste Membran (frühe Blastomeren, Amöben) werden unter Ausbreitung von einer reinen Wasseroberfläche (Grenzfläche Wasser—Luft) wie fast alle anderen Flüssigkeiten (und wie keine nicht flüssige oder verflüssigte Substanz) stürmisch aus einander gerissen, weil in diesen Fällen Adhäsionskräfte, also Molekularkräfte, auf die lebende Substanz von außen einwirken. Dagegen ist es nicht möglich, irgend eine lebende, membranlose Zelleibmasse durch außen an ihr vorbeigeführte Strömungen des Außenmediums (also durch bloße Bewegung von Massen) in gleichgerichtete Wirbelbewegungen zu versetzen, die „lebende“ Zellmasse zerreißt eher als sie solchen äußeren Antrieben folgt, obgleich jede andere Flüssigkeit unter gleichen Umständen sofort mit einem den Außenströmen entsprechenden Innenwirbel antwortet und sich in gleicher Weise auch jede „abgestorbene“ Zelle verhält. Erst nach dem Absterben, soweit dieses ohne Zusatz von erhärtenden Reagentien erfolgt, verhält sich die Zelleibmasse auch äußeren Massenbewegungen gegenüber als Flüssigkeit. Während des Lebens dagegen reagiert sie bei kurzer Einwirkung wie eine elastische, bei länger andauernder Einwirkung, die wir oben allein in Rücksicht gezogen haben, wie eine „plastische“ Masse. Während des Absterbens stürzt die Wabenstruktur in ersichtlicher Weise zu einem fädigen Gerüstgerinsel zusammen, das widerstandslos in der flüssigen Grundmasse umhergewirbelt werden kann. Alles Nähere in der annoncierten Arbeit.

ihr in Kontakt vollziehenden Massenbewegung widerstandslos <sup>1)</sup> folgen, sondern die Schaummasse setzt derartigen Verschiebungen die Spannung ihrer Schaumwände entgegen. Nur durch länger andauernde Zug- und Druckwirkungen kann, sofern das Schaumwerk nicht zerrissen werden soll, eine plastische Anpassung des Schaumes an die durch die Bewegung der Fremdmasse neu entstandenen Druck- resp. Zugverhältnisse entstehen. Es findet dann unter dem fremden Druck oder Zug zunächst eine Verziehung der Schaumalveolen statt, welche die Schaumwände aus ihrer normalen Minimalflächenordnung herastreibt. Alsdann führt die Schaumwandspannung unter möglichster Vermeidung von lokalen Verschiebungen der Einzelalveolen (minimaler Alveolenverschiebung, vorwiegend Neuordnung der Wände an Ort und Stelle) eine neue Minimalflächenordnung mit mechanischer Notwendigkeit herbei, die genau den „neuen Zug- und Druckverhältnissen entspricht“, mit anderen Worten diesem Verhältnis „plastisch“ angepaßt erscheint. Man mache analoge Versuche mit Schäumen.

Greifen dagegen Molekularkräfte in das Schaumgefüge ein, so ändert sich sofort die Spannungsenergie der Schaumwände selbst, — denn diese Energieform stammt ja von den molekularen Attraktionsverhältnissen zwischen Schaumwandsubstanz und Schaumalveoleninhalt her, und muß sich deshalb mit der molekularen Veränderung oder Beeinflussung der Wand- oder der Alveolensubstanz von seiten fremder Substanzen auch selbst verändern, — und es findet nun nach Maßgabe der Zugherabspannung oder Erhöhung eine ausgiebige Verlagerung der Zellalveolen statt, die im allgemeinen denselben Gesetzen folgt, wie die Verlagerung von Teilchen <sup>2)</sup> einer einheitlichen Flüssigkeit.

Wer diesen kurzen Ausführungen zu folgen zögert, muß auf meine annoncierte Arbeit verwiesen werden, die ich im Laufe dieses Jahres im „Archiv für allgemeine Physiologie“ zu veröffentlichen gedenke. Der neugewonnene Standpunkt läßt sich folgendermaßen formulieren: Ein Schaum und das lebende Protoplasma als solcher kann zwar in all seinen Konstituenten rein flüssig sein, er ist aber

<sup>1)</sup> Dabei ist abgesehen von der bei Flüssigkeiten geringen Innenreibung.

<sup>2)</sup> Man denke an die amöboidkriechenden Schäume BÜTSCHLI'S, die durch Verseifung ihrer Oberfläche, also durch molekulare Veränderungen ihrer Oberflächen in Gang gesetzt werden und ganz den Flüssigkeitswirbeln entsprechen, die eine einheitliche Flüssigkeit aufweist, wenn ihre Oberfläche an einer bestimmten, dem „Wirbelscheitel“ entsprechenden Stelle unter geringerem Druck steht als an den übrigen Oberflächenstellen.

unter keinen Umständen eine einheitliche Flüssigkeit, die jeder Innenspannung<sup>1)</sup> entbehrt und bloß eine Oberflächenspannung besitzt, sondern Schäume besitzen neben der Oberflächenspannung eine Innenspannung, die sich nach dem Minimalflächengesetz stets der äußeren Form des Gesamtschaumes anpaßt (d. h. sich durch Umstellung der Wände so anordnet, daß die Schaumwände Minimalflächen innerhalb der äußeren Form darstellen) und nun diese äußere Form aufrecht zu erhalten sucht, einerlei, ob diese durch äußere Drucke, oder allein durch die Oberflächenspannung oder wodurch sonst herbeigeführt oder modifiziert ist. Schäume besitzen demnach eine Plastizität, das ist Anpassungsfähigkeit ihrer Gesamtgestalt an äußere Drucke, die einer einheitlichen Flüssigkeit ganz fehlt.

Die Plastizität der Schäume braucht allerdings keine ständig andauernde zu sein; sie ist es nur dann, wenn die Spannung der Gesamtoberfläche des Schaumes [die hier so gut wie bei einer einheitlichen Flüssigkeit (cf. die sogen. Oberflächenspannung der Flüssigkeiten) vorhanden ist], geringer ist, als die Innenspannung des Schaumes. Die Innenspannung wächst „*ceteris paribus*“ mit der Anzahl und Kleinheit der Schaumwände im Innern.<sup>2)</sup>

Ist dagegen die Spannung der Schaumoberfläche größer als die Innenspannung des Schaumes, was bei Verschiedenheit des an die

---

<sup>1)</sup> Sind Kolloide wabig gebaut, dann sind sie nicht als einheitliche Flüssigkeiten zu rechnen, gelatierte Kolloide sind z. B. keine einheitlichen Flüssigkeiten; sie besitzen Innenspannung. Innenspannung und Innenreibung dürfen nicht mit einander verwechselt werden. Innenspannung bewirkt zunächst elastische, dann plastische Äußerungen. Innenreibung nur Verschiebungser schwerung, keine Elastizität.

<sup>2)</sup> So kommt es z. B., daß sich klingschlagener Seifenschaum (cf. Rasierschaum) bei genügender Kleinheit der Schaumalveolen ganz wie eine dauernde plastische Masse verhält, während ein großblasiger Seifenschaum, den man etwa aus einer Thonpfeife ausgeblasen hat, sich nur als temporär plastisch erweist, und nach Aufhören äußerer form-modifizierender Einwirkungen sehr bald wieder unter der Spannung seiner Oberfläche in seine eigene Minimalflächenform zurücktritt. Durch äußere Vorbeiströme im umgebenden Medium kann man aber auch einen großblasigen Seifenschaum, obgleich er in Bezug auf seine Oberflächenspannung einer einfachen Flüssigkeit gleicht, nicht in die früher genannten Wirbel versetzen. Nur „in“ den Schaumwänden selbst kann man schon durch einfaches Vorbeiblasen heftige Wirbel erzeugen; das ist kein Wunder, denn die Wandsubstanz ist eine einheitliche Flüssigkeit (Seifenwasser); nur der Schaum als Ganzes ist eine solche nicht, sondern ein mit innerer Spannung ausgestattetes Gemisch von zwei Flüssigkeiten, resp. von Seifenwasser und Luft.

Schaumoberfläche anstoßenden äußeren Mediums und der in den Schaumhöhlräume eingeschlossenen Substanz sehr leicht der Fall sein kann,<sup>1)</sup> so ist die Plastizität des Schaumes nur eine vorübergehende Erscheinung eine vergängliche Eigenschaft. Die Form, die der Schaum durch äußere Einwirkungen aufgezwungen erhalten hat, kehrt dann nach Aufhören der äußeren Einwirkung unter dem Druck der sich jetzt selbst überlassenen Oberfläche allmählich wieder in diejenige Formgestalt zurück, welche wegen der Spannung der Schaumoberfläche einer minimalen Oberflächenentfaltung entspricht, und welche von den früheren formändernden Außeneinflüssen nichts mehr erkennen läßt. Diese Rückkehr zur Form mit Minimaloberfläche muß aber bei einem Schaum immer viel langsamer erfolgen, als sie unter sonst gleichen Umständen bei einer einheitlichen Flüssigkeit eintreten würde; man würde vor der Einnahme der Form mit minimaler Oberflächenentfaltung stets eine längere Zeit einer „plastischen Nachwirkung“ unterscheiden können. Es mag nun gleich hier erwähnt werden, daß wir es bei der Orbitoliteschale nicht mit „dauernder“ Plastizität, sondern mit einer temporär „plastischen Reaktion“ der zum Kammerbau vorfließenden aus den Randmündungen unter Aufquellung hervorgepreßten Sarkode zu thun haben, daß aber allem Anschein nach die plastische Nachwirkung längere Zeit andauert, als die Abscheidung der festwerdenden Schalensubstanz in Anspruch nimmt, so daß die Kammern in einem Zustand und einer Form erstarren, die auf dem Mittelweg zwischen der durch den Staudruck plastisch gedrückten und durch die Spannung der Oberfläche nachträglich wieder verkleinerten Oberflächenform liegt.

Inwiefern sich diese Mitwirkung der Oberflächenspannung in der Gestalt der Doppelschalen Ausdruck verschafft, werden wir bald sehen. Vorerst muß gezeigt werden, wie nun mit Hilfe der plastischen Reaktion die in der Stauenge zweier kollidierender Verschmelzlinge (zum Kammeraufbau eingequollenen Sarkode sich so lagert, daß die von ihr abgeschiedenen Stauwandkammern nach der Seite des kleinen Verschmelzlings hinüber geneigt werden. Wir haben hierzu zwei Punkte ins Auge zu fassen.

1. Es ist für die gesamten Foraminiferen eine nahezu ausnahmslos geltende Regel, daß die Größe der neu angelegten Kammern

<sup>1)</sup> Z. B. wenn die gesamte Schaummasse sehr klein und ihre Oberfläche deshalb relativ groß ist und außerdem die Bedingung erfüllt ist: Adhäsion zwischen der Schaumwandsubstanz der Oberflächenschicht und dem Außenmedium kleiner als Adhäsion zwischen Schaumwandsubstanz und Schaumkammersubstanz.

mit dem Alter des Tieres nicht unerheblich zunimmt; denn die Kammern nehmen um so mehr an Umfang und Durchmesser zu, je weiter sie in ihrer Genese von der Embryonalkammer abliegen. Das heißt aber nichts weiter, als daß beim Kammerbau eine um so größere Sarkodemenge aus der Gehäusemündung vorfließt, je mehr Kammern bereits vorher angelegt waren. Das gilt nun auch für Orbitolites. Wir überzeugen uns leicht auf unseren Tafeln, daß die Kammerringe *ceteris paribus* um so breiter werden, je weiter sie von der Embryonalkammer abliegen. Es muß also auch hier um so mehr Sarkode zur jeweiligen Kammerbildung ausfließen, je älter die Schale während der Bildung eines neuen Kammeringes bereits ist.

2. Die Verschmelzung der beiderseits in den Engpaß vorgestoßenen Sarkode, die notwendig zur Entstehung der früher behandelten Kollisionskammern (Textfig. B und C) angenommen werden muß, zeigt weiter, daß die beiden Tiere bereits zur Kollisionszeit gleichzeitig (oder wenigstens annähernd zu gleicher Zeit)<sup>1)</sup> in die Kammerbildungsperiode eintreten.<sup>2)</sup>

Geschieht aber die Kammerbildung in der Stauenge zwischen den Schalen beiderseits gleichzeitig und tritt, wie wir vorhin gesehen haben, aus der größeren der beiden in Verschmelzung begriffenen Schalen während der Kammerbildung mehr plastisch knetbare Sarkode (in gleichen Zeiteinheiten) aus als aus der kleineren, so wird in dem zwischen den beiden Schalen befindlichen Engpaß die größere Sarkodemenge der größeren Schale die ihr sich entgegenstimmende kleinere der anderen Schale um so mehr aus der direkten Flucht-richtung (die natürlich diejenige ist, welche direkt senkrecht nach oben aus dem Engpaß herausführt) fortdrängen, je größer sie ist und wir erhalten folgende Antwort auf unsere als Kapitelthema aufgestellten Fragen:

Der aus der größeren Schale während der Kammer-

<sup>1)</sup> Der Kammerring der einen Schale darf noch nicht fest sein, wenn derjenige des anderen Verschmelzlings gegen ihn andrückt.

<sup>2)</sup> Man wird sich vorstellen dürfen, daß die beiden Tiere während ihrer Zwangsberührung mit der Abdämpfung ihrer individuellen Verschiedenheiten (cf. p. 227) auch zugleich ihren physiologischen Zustand in der Weise an einander angleichen, daß die chemisch-mechanische Konstellation, welche zur Abscheidung von Schalensubstanz führt, bei beiden Tieren zu gleicher Zeit eintritt. In gewissem Sinne analoge Verhältnisse zeigen bekanntlich die verschmolzenen Amphibienlarven BOERN'S. Sie machen beide gleichzeitig ihre Metamorphose durch.

bildung austretende „plastische“ Sarkodeteil drückt stärker als derjenige, welcher aus der kleineren Schale hervorquillt, weil er in den Engpaß hinein, welcher zwischen den beiden in Konflikt geratenen Schalen liegt, in derselben Zeit mehr Sarkodemasse zugepreßt erhält, als der sich entgegenstimmende Sarkodeteil der kleineren Schale, und weil sich dabei die gegeneinander gestauten Sarkodeteile wie plastische Substanzen verhalten.

Verhielte sich die Sarkodemasse wie eine einheitliche Flüssigkeit, dann könnte ein gleicher Effekt nicht erzielt werden; sie repräsentiert aber ein wabiges Gemisch zweier Flüssigkeiten, das mit mechanischer Notwendigkeit die geforderten plastischen Eigenschaften bei Druckwirkungen zeigen muß.

#### Künstliche Analogieversuche.

Preßt man eine nicht zu schwere bewegliche plastische Masse <sup>1)</sup> unter 2 ungleich großen nebeneinander liegenden kreisrunden festen Scheibenpaaren, <sup>2)</sup> die sich gegenseitig fast berühren, dadurch gegeneinander, daß man auf die Platten drückt und zwar auf die größere erheblich stärker als auf die kleinere, um in gleichen Zeiten mehr Plastolin unter ihr hervorzupressen, <sup>3)</sup> als unter der kleineren, so heben sich die hervorgepreßten Massen aus dem Zwischenraum zwischen den Scheibenpaaren heraus und die beiderseits vorquellenden Massen bilden unter gegenseitiger Vereinigung eine Stauwand, die sich nach der Seite der kleineren Scheibe hinüberneigt. Das beweist also, daß unter den angenommenen Umständen sich plastische Massen wirklich derart verhalten, wie wir es von der Sarkode während der Stauwandbildung behauptet haben.

Die geschilderte Art einer experimentellen Veranschaulichung der plastischen Druckwirkungen läßt sich dadurch vereinfachen, daß man die Plastolinscheiben gleich im fertigen Größenverhältnis der als Vorlage dienenden Verschmelzlinge <sup>4)</sup> herstellt, und diese Scheiben

<sup>1)</sup> Ich habe zu meinen diesbezüglichen Versuchen Plastolin benutzt.

<sup>2)</sup> Z. B. runde feste Glasscheiben, wie sie zum Verschuß von Cylindergläsern für Spirituspräparate benutzt werden.

<sup>3)</sup> Der Preßdruck muß hier das Aufquellen bzw. das Anwachsen der Sarkode ersetzen, indem er das Plastolin über die Scheibenränder hinaus vortreibt.

<sup>4)</sup> Hat man z. B. eine Doppelschale, deren einer Verschmelzling einen Scheibendurchmesser von 2 mm (nach dem freien Scheibenrande hin gemessen) besitzt, während derjenige des anderen bloß 1 mm lang ist, so fertigt man die Plastolinscheiben im Größenverhältnis 2 : 1, sagen wir die eine zu 6 cm, die andere zu 3 cm an.

alsdann auf ebener Unterlage oder unter entsprechendem Knickungswinkel oder etwaigem Kreuzungswinkel so gegeneinander drückt, daß die Scheibencentren denselben Abstand aufweisen, wie ihn die Embryonalkammern der jeweils kopierten Doppelschale inne haben; dabei muß aber die größere Scheibe dicker und widerstandsfähiger genommen werden als die kleinere. Ohne jede Schwierigkeit oder besondere Nachhilfe lassen sich auf diese Weise alle Formen der von uns betrachteten Doppelschalen in ihren Hauptzügen (Neigung und Größe der Stauwände) in größter Formähnlichkeit kopieren. In Photo 42 habe ich einige Hauptformen solcher Plastolinkopien abgebildet.

Besonders überzeugend wirkt das selbstthätige Hervorkommen der Achterschleifen, wenn man die Scheiben unter Kreuzwinkelstellung gegeneinander drückt (Photo 42c u. e).

Das Tertium comparationis bei der letzten Art von Versuchen liegt in dem gegenseitigen Aufeinanderlosrücken zweier plastisch reagierender Scheibenränder. Ungleich ist die Ursache dieses Vorrückens, auf die es natürlich aber dem mechanischen Effekt nach gar nicht ankommt.<sup>1)</sup>

## 10. Kapitel: Verhältnis der Kerne zur Schalenabscheidung und die bei der Kämmerchenbildung maßgebenden mechanischen Faktoren.

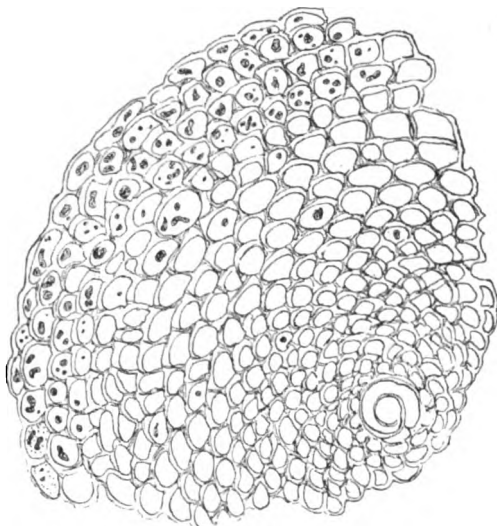
Im vorigen Kapitel war von der Sarkode nur schlechthin die Rede und man darf Rechtfertigung dafür verlangen, daß auf die besonderen Differenzierungen des Weichkörpers vor allem auf die allüberall so notwendigen Kerne keinerlei Rücksicht genommen worden ist.

### 1. Die Rolle der Kerne bei der Abscheidung der Schalensubstanz.

MAX VERWORN (88, p. 464) hat bekanntlich nachgewiesen, daß eine Regeneration von Teilstücken bei den Foraminiferen nur dann eintritt, wenn das betreffende Teilstück einen Kern besitzt. Kernlose Teilstücke können bis 3 Wochen am Leben erhalten werden, aber eine Abscheidung von Schalensubstanz und eine hiermit verknüpfte Schalenregeneration findet nicht statt sobald der Kern fehlt. Man wird also Schalenabscheidung und Kern in irgend welchen direkten oder indirekten Konnex zu stellen haben.

<sup>1)</sup> Bei Orbitolites sitzt die Schale fest und nur der Schalenrand rückt vor, bei den Plastolinversuchen kann man die Scheiben nicht festsetzen, weil ihr Rand vorrücken soll und dies nur durch Vorschieben geschehen kann. Der Effekt muß nach dem Vorrücken der gleiche sein, wenn, wie wir behaupten und erfüllt sehen, die vorgerückten, gegeneinander gestemmtten Ränder gleiche mechanische Eigenschaften besitzen.

Bei Orbitolites findet man, wie schon von BÜTSCHLI (86, p. 82) nachgewiesen worden ist, in den peripheren Kammerreihen, also



Textfig. K.

Entkalkter Orbitolites-Weichkörper (nur ein Quadrant ist gezeichnet). Man sieht die Zusammenhäufung der Kernmassen in den peripheren Weichkörperteilen. Radius der Schale = 1,02 mm.

die ungestörten Tiere sprechen demnach für Kern und Schalensubstanz (Fig. K).

Dieser Konnex zwischen Kern und Schalensubstanz ist aber ohne jeden Zweifel ein rein stofflicher, kein direkt kinetischer, der Kern tritt, um ein Beispiel zu gebrauchen, bei dem Aufbau der Schale nicht als dirigierender Baumeister auf, der die Anordnung des Baumaterials leitet, sondern er ist ein Fabrikant und Lieferant von Stoffen,<sup>1)</sup> die zur Herstellung

<sup>1)</sup> Daß der Kern das Rohmaterial, wenn ich mich so ausdrücken darf, zu seinen Fabrikaten aus dem Zelleib vorher aufnehmen muß, ehe er diese dem Zelleib überliefert, liegt auf der Hand; denn in sich selbst aus dem Nichts heraus kann er sie nicht schaffen, und er steht nur mit dem Zelleib in direktem Konnex, so daß ihm eine andere Quelle für die zum Fabrikat benötigten Stoffe gar nicht bleibt. Der Kern ist in dieser Beziehung auch Stoffaufnehmer, ehe er Fabrikant und Lieferant von neuen Stoffen für den Zelleib wird. Diese drei verschiedenen Thätigkeiten des Kernes, Aufnahme, dann Umwandlung des Aufgenommenen, dann Abgabe des Umgewandelten, sind im übrigen nicht auf alle



der Schalenwand unbedingt notwendig sind. Er darf beim Schalenbau nicht fehlen, weil die von ihm gelieferten Stoffe nicht fehlen dürfen, und wenn er immer in der Nähe der Baustelle anzutreffen ist, so kommt das nur daher, daß dann seine Lieferungen sicherer und rascher an dem Orte des Bedarfes eintreffen werden.<sup>1)</sup> (Vergl. auch meine früheren Erörterungen über die Vorgänge in einigen Nematodeneiern 01, p. 84—87.)

Die Behauptung, daß der Kern nicht direkt als kinetisches Centrum bei der Schalenabscheidung auftritt, sondern nur Stoffkategorien hierzu liefert, gründet sich darauf, daß sich diejenigen Faktoren, welche bei der Schalenabscheidung in Frage kommen, mit voller Sicherheit erkennen lassen, und daß unter ihnen die Lagerung des Kernes nicht vorkommt.

Eingehende Studien, die wiederum in meiner späteren Arbeit (ox) veröffentlicht werden sollen, haben mir gezeigt, daß bei der Schalensubstanzabscheidung folgende, rein mechanische Faktoren für die Gestalt der Abscheidungen (= Gestalt der Kammern) maßgebend sind.

1. Das Gleichbleiben homologer Randwinkel, d. h. derjenigen Winkel, welche die vorfließenden Sarkodeteile mit den berührten Wandteilen der fertig gestellten Schale während des Kammerneubaus bilden. (Eine Folge des flüssigen Zustandes der Sarkode.)

2. Die Gestalt der Flußfläche, d. h. derjenigen älteren Schalenfläche, welche von der hervorquellenden Sarkode berührt, so zu sagen als Flußbett benutzt wird.

3. Da die Sarkode gegebenenfalls sehr verschieden gestaltete Flächen der älteren Schalteile berühren kann, je nach dem Orte, von wo sie her zur Kammerbildung ausfließt, so ist auch die Lage der als Ausflußöffnung dienenden Schalenmündung für die Ausgestaltung der neu errichteten Kammer maßgebend.

Zeiten des Kernlebens in gleicher Weise verteilt, sie erreichen in den verschiedenen Perioden der Zellteilung nach einander ihre höchste Intensität, wie ich mehrfach zu zeigen versucht habe (RHUMBLER 99a und 98a, p. 116).

<sup>1)</sup> Dieser wie jeder andere Zweckmäßigkeitsgrund giebt natürlich nur die Erklärung dafür, daß die natürliche Zuchtwahl die Kernwanderungen nach den Baustellen hin zugelassen und eventuell gefördert hat; er sagt dagegen gar nichts aus über das Zustandekommen der Massenverlagerungen (des Kernes einerseits und des durch seine Wanderungen in Mitleidenschaft gezogenen Plasmaleibes andererseits). Die Mechanik der Kernzusammenhäufung an den Baustellen habe ich im Anhang II zu dieser Arbeit einer kurz skizzierten naheliegenden Erklärung unterworfen.

4. Das Gesetz der geringsten Oberflächenvergrößerung. Die kammerbildende Sarkode wählt von ihrer Abflußöffnung aus ihre Flußfläche stets so, daß ihre konstanten Randwinkel sich auf denjenigen Schalenflächen verschieben, die unter steter Beibehaltung der Randwinkel mit dem geringsten Oberflächenaufwand überflossen werden können. (Es ist das eine Folge der Oberflächenspannung der Sarkode.)

5. Unter besonderen Umständen auch die Menge der ausgeflossenen Sarkode. Sie bestimmt immer die Größe der Kammer, greift aber auch eventuell als Faktor in die „Gestaltungsform“ der Kammer mit ein, nämlich dann, wenn die kammerbildende Sarkode bei schwächerer oder stärkerer Ausbreitung, die natürlich von ihrer Menge abhängig ist, verschiedenartige Krümmungen der früheren Schalenwände (also der Flußfläche) bestreicht. Bleibt die Krümmung der Flußfläche dagegen auf große Strecken die gleiche, so hat auf diesen Strecken gleicher Krümmung die Menge der ausgeflossenen Sarkode keinen Einfluß auf die Gestalt der Kammern, sondern nur auf die Größe derselben.<sup>1)</sup>

Mit Hilfe dieser Faktoren läßt sich die Gestalt neuer Kammern im voraus angeben, sie leisten also alles, was zur Kammerbildung notwendig ist, ohne daß die Lagerung des Kernes unter diesen Faktoren wäre, was eine direkte Mitwirkung des Kernes als kinetisches Centrum ausschließt. Er wirkt nur indirekt, indem er, wie gesagt, offenbar chemische Stoffe zur Herstellung der Schalen-substanz liefert, und nun die Größe der unter 1 genannten Randwinkel nach einem Satze der Physik außer von der Natur der berührten festen Wand (ältere Schalenwand) auch von der Natur der berührenden Substanz (der unter Kernbeihilfe produzierten Schalen-substanz also) abhängt.

Unter den genannten Faktoren ist ebensowenig wie die Lagerung des Kernes die Gestalt des früheren Schalenganzen aufgezählt, von der früheren Schale ist lediglich die beim Aus-

---

<sup>1)</sup> Eine Einwirkung der Schwerkraft, die man etwa unter den genannten Faktoren vermessen könnte, läßt sich nirgends nachweisen. Die Kammeranlage geschieht offenbar ganz unabhängig von der Schwerkraftwirkung, was größtenteils auf die Ähnlichkeit der spezifischen Gewichte von Sarkode und von dem umgebenden Meerwasser zurückzuführen ist, zum Teil auch von der Größe der bei dem Sarkodeausfluß in Kraft tretenden inneren Schaumspannung und der äußeren Oberflächenspannung verursacht sein mag. Die spezifische Gewichts-differenz zwischen Sarkode und Meerwasser ist zu klein, um gegen die genannten Spannungen aufkommen zu können.

strömen der Sarkode berührte Schalenfläche (= Flußfläche), sonst nichts von dem älteren Schalengefüge erwähnt.

Wir müssen bei der entwicklungsmechanischen Bedeutung, die wir später dieser Unabhängigkeit der Kammeranordnung von den älteren nicht berührten Schalentteilen oder, was dasselbe heißt, von der vorausgehenden Schalenorganisation (exkl. der berührten Schalentteile) zuschreiben werden, hier notwendig noch näher auf die Bildung der Kämmerchen und die Anordnung derselben eingehen.

## 2. Die bei der Kämmerchenbildung maßgebenden mechanischen Faktoren.

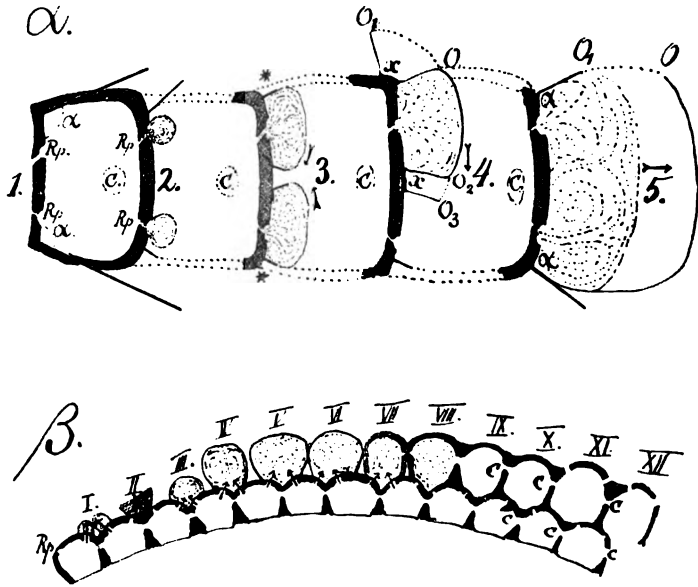
Denken wir uns in Textfig. L den peripheren Schalenrand von Orbitolites dargestellt und zwar in  $\alpha$  einen radiären Querschnitt, in  $\beta$  einen solchen parallel zu den Scheibenflächen der Schale, so quillt bei dem Kammerbau die Sarkode aus den beiden radialen etwas schräg nach außen gerichteten Randporen Rp hervor. Die vordringenden Ränder der Sarkode bilden mit der berührten Schalenwand einen bestimmten Randwinkel  $\alpha$ , der sich an der früheren Schale messen läßt, weil auch bei jeder vorangehenden Kammerbildung vor dem Festwerden der Schalensubstanz die Sarkode mit dem gleichen Randwinkel vorgeflossen war, und nach der Erstarrung der Schalensubstanz sich auch jede frühere Kammerwand darum mit demselben Randwinkel ihrer Vorgängerin anlegte.

Der Randwinkel ist durch die Neigung der Schalenwände zu den früheren Schalenwänden bestimmt. In Textfig. L 1 ist also  $\alpha$  der gesuchte Randwinkel, mit welchem die aus den Randporen austretende Sarkode vor der Neuabscheidung von Kammern auf der berührten Schalenwand (= Flußfläche) vorfließen muß. (Die Größe des Randwinkels läßt sich bei unserer Orbitolites sehr schwer exakt bestimmen, weil hierzu genaue Radiärschliffe nötig wären, die sich kaum mit Sicherheit herstellen lassen.<sup>1)</sup> Ich taxiere den Randwinkel auf ca.  $110^\circ$  und habe ihn in dieser Größe auch in das Schema Textfig. K eingetragen, auf eine genauere Bestimmung kommt es für unsere augenblickliche Zwecke nicht an.

Die Sarkode schiebt nun (nach Faktor 4 p. 248) diesen Randwinkel von den Randporen aus auf der berührten Schalenwand so nach allen Seiten hin vor, daß sie denjenigen Wandflächen folgt,

<sup>1)</sup> Überdies scheinen sekundäre Schalensubstanzablagerungen an den Innenwänden bei Orbitolites die Erkennung des Randwinkels zu erschweren, bei anderen Foraminiferen liegen die Verhältnisse weit günstiger.

welche sie mit dem geringsten Oberflächenaufwand überfließen kann. Eine geometrische Ableitung, auf die ich hier nicht näher eingehen kann, ergibt, daß eine Flüssigkeit mit stumpfem Randwinkel ( $\alpha = > 1 R$ ) bei ihrer Ausbreitung auf einer Flußfläche, um so leichter



Textfig. L.

Schematische Darstellung der Kämmerchenbildung bei Orbitolites;  $\alpha$  auf einem Radiärschnitt,  $\beta$  auf einem Flächenschnitt der Schalenscheibe dargestellt. Weitere Erklärung im Text. Vergr. etwa für  $\alpha = 100/1$ ; für  $\beta = 33/1$ .

vorfiebt, je konkaver die Flußfläche ist und um so schwerer, je konvexer sie ist. Eine ebene Flußfläche steht in Bezug auf die Ansprüche, welche sie an die Oberflächenvergrößerung der vorfließenden Flüssigkeit stellt, in der Mitte zwischen konkaven und konvexen Flußflächen; d. h. eine ebene Flußfläche ist schwerer zu überfließen als eine konkave und leichter als eine konvexe Oberfläche. Vergleicht man das Stück S, um das der Flüssigkeitsrand auf der Flußfläche vordringt, mit der Vergrößerung O, welche die freie Oberfläche bei diesem Vorrücken erfährt, so ergibt sich, daß

1.  $O < S$  wenn die Flußfläche konkav . . . (1)
2.  $O = S$  wenn die Flußfläche eben . . . (2)
3.  $O > S$  wenn die Flußfläche konvex ist. (3)

Für die in diesen Sätzen enthaltenen Bedingungen steigert sich also die Schwierigkeit der Überfließung von Satz 1 nach 3 hin. Bei

Orbitolites duplex liegen die Randporen in kleinen, seither nicht erwähnten Einsenkungen, also in „konkaven“ Eindellungen der im übrigen „konvexen“ Randwände. Diese Nöpfchen werden beim Vorquellen der Sarkode zunächst ausgefüllt, denn sie verlangen zu ihrer Ausfüllung nur ganz wenig Oberflächenzusatz (nach Satz 1). Ist die Konkavität der Nöpfchen ausgefüllt, so macht der Sarkoderand zunächst Halt am Rande der Nöpfchen, weil die Sarkode beim Heraustreten aus den Nöpfchen auf konvexe Flächen übertreten muß, die viel schwerer (nach Satz 3) zu überfließen sind, und weil derartige Erschwerungen, wie für einen analogen Fall gleich näher ausgeführt werden soll, immer mit einem Haltmachen des vorfließenden Randes (cf. p. 254), nicht jedoch mit einem Aufhören der Ausströmung verbunden sein müssen. Die Sarkode wölbt sich daher zunächst stärker und stärker aus dem Niveau der Nöpfchenränder empor (Textfig. L 2), bis sie durch diese Vorwölbung soviel freie Oberfläche erzeugt hat, daß sie, infolge dieses durch die Vorwölbung erzielten Oberflächengewinnes auf die „Konvexitäten“ der Flußfläche übertreten kann,<sup>1)</sup> ohne ihren Randwinkel verändern zu müssen. Aus unserem vorgenannten dritten Satze, mit dem wir es also von jetzt ab allein zu thun haben, folgt, daß die Sarkode mit ihrem Randwinkel denjenigen Wandflächen folgen wird, die am wenigsten konvex gekrümmt sind, denn dann spart sie am meisten Oberfläche (und noch profitlichere Flächen, konkave oder ebene Flächen stehen ihr nach Verlassen der Nöpfchen überhaupt nicht mehr zur Verfügung). Die Sarkode wird sich also zunächst in der Höhenrichtung auf dem peripheren Schalenrand ausbreiten, das kann sie mit ihren äußeren Rändern aber nur so lange, bis sie an die seitlichen Schalenkanten (Textfig. L 3 bei \*) gelangt. Diese Kanten stellen eine außerordentlich starke konvexe Krümmung dar, die also nur mit größtem Oberflächenaufwand bezwungen werden könnte (in Textfig. L 4 würde beispielsweise OO<sub>1</sub> das Oberflächenstück darstellen, welches zu einem Umkippen des Sarkoderandes auf die Seitenflächen der Schale unter Beibehaltung des Randwinkels erforderlich wäre). Ehe die Sarkode sich diesen Oberflächenaufwand abringen läßt, muß erst alles andere überflossen sein, was sich leichter,<sup>2)</sup> d. h. mit geringerem Oberflächenaufwand überfließen läßt.

<sup>1)</sup> Da jede Flüssigkeitsoberfläche so klein wie möglich zu werden sucht (Minimalflächengesetz), so erfordert jede Vergrößerung einer Flüssigkeitsoberfläche Energieaufwand, Arbeit; leichter soll also heißen, was weniger Energieaufwand verlangt.

<sup>2)</sup> Auch aus einem überfüllten Gefäß fließt die Flüssigkeit erst dann über,

Der Sarkoderand wird also an der Schalenkante Halt machen und die Sarkode wird jetzt zunächst, die geringere Höhenkrümmung noch immer benutzend, ihre medianen Ränder vorschieben (hier muß sie zur Vorschiebung ihres Randes um dieselbe Längsstrecke ( $x$ ), welche zur Überwindung der Kante nötig wäre, bloß das Oberflächenstück  $O_2O_3$ , Textfig. L 4 neu erzeugen, das mit  $OO_1$  verglichen sehr klein ist). Da nun das Gleiche für die beiden Sarkodepartien gilt, die neben einander aus den beiden Randporen austreten, so werden diese Sarkodepartien jetzt in der Mitte zusammenstoßen, und können nun mit einander verschmelzen (Textfig. L 5), was sie in unserem Falle auch thatsächlich thun. Wir erhalten hierdurch jetzt einen in der Höhenrichtung langgestreckten einheitlichen Sarkodewulst, der durch diese Streckung schon die Höhenstreckung der späteren Kammer andeutet. Nach der Verschmelzung der aus den Randporen ausgetretenen Sarkodemasse ist aber die Flußfläche in der Höhenrichtung voll benutzt, wenn nun noch mehr Sarkode aus den Randporen ausquillt, was geschieht dann?

Die Sarkode breitet sich dann natürlich in peripherer tangentialer Richtung auf dem Scheibenrand aus, denn wenn auch der periphere Schalenrand durchaus kreisrund konvex wäre, so wäre doch auf alle Fälle seine Konvexität weit geringer als diejenige der Schalenkanten, die neben ihm noch als Ausweichstelle für die Sarkode allein in Frage kämen. Die Verhältnisse liegen am peripheren Schalenrand aber derart, daß nicht bloß Konvexitäten zur Verfügung stehen. Die Peripherie der Schale ist nicht gleichförmig gekrümmt (kreisförmig), sondern erscheint etwas gelappt, d. h. ist mit den Einzelkammerchen entsprechenden Vorsprüngen versehen, zwischen denen sich da, wo die Radiärwände der Kammerchen stehen, kleine Eindellungen befinden (Textfig. L I).

Um weitere physikalische Ableitungen zu umgehen, wollen wir

---

wenn die Oberfläche der Flüssigkeit sich über das Niveau der Gefäßränder empor und hinüber gewölbt hat. Unter gewöhnlichen Umständen ist aber die Hinüberwölbung über das Niveau der Gefäßränder nicht sehr bedeutend, weil die Schwerkraft, die für die Foraminiferen in Wegfall kommt (cf. Fußnote p. 248), die überhängende Flüssigkeitsschicht über den Gefäßrand hinwegziehen hilft. Annulliert man durch Einbettung in ein gleich schweres, nicht mischbares Medium die Schwerkraftwirkung, so können die Überwölbungen der Gefäßränder durch die Flüssigkeit recht erhebliche Ausdehnung annehmen, wie man sich leicht überzeugen kann, wenn man Öl aus einer spitzen, an der Mündung senkrecht abgeschliffenen Pipette in spezifisch gleich schweren Alkohol langsam ausfließen läßt: das vorfließende Öl türmt sich zu einer langgestreckten Perle auf, ehe es den abgeschliffenen Rand der Pipette überfließt.

die Eindellungen kurz als konkave Einkrümmungen der peripheren Wand ansehen (Textfig. L II K), was allerdings nicht ganz, aber doch für unsere Zwecke ausreichend genau zutrifft. In diese konkave Einsenkungen öffnen sich die Randporenpaare der jeweils hier an einander stoßenden Kämmerchen des letzten Ringes der Schale (cf. die Pfeilchen Fig. K bei I). In diese leicht auszufüllenden (weil „konkave“) Einsenkungen werden also die länglich gestreckten Sarkodewülste eintreten, die wir vorhin auf dem Radiärschnitt aus jedem Randporenpaare austreten sahen ( $\beta$  I), und es wird auch hier wieder eine Verschmelzung der Sarkode eintreten, so daß aus je zwei vorgequollenen Sarkodewülsten ein dickerer neuer wird, welcher die Sarkode des späteren Kämmerchens repräsentiert (III). Unter weiterem Vorquellen der Sarkode hebt sich die zusammengeflossene Masse aus der Konkavität empor und gelangt nach einiger Zeit aus der Vertiefung, die als Konkavität leicht ausgefüllt wird, auf die Gipfelpunkte der Erhebungen, wo dann der Randwinkel der Sarkode stehen bleiben muß, weil ein Übertreten der Flüssigkeit aus dem diesseitigen Thal über den Berggipfel hinweg, wobei die Konkavität des Berggipfels überwunden werden müßte, außerordentlich viel Oberflächenvergrößerung verlangen würde. Da nun aus jedem Thal Sarkode aufsteigt, und auf dem Berggipfel Halt macht, so müssen nun auch auf dem Berggipfel die Sarkodemassen je zweier benachbarter Thäler zusammenstoßen (Fig. L V—VII). Es könnten also auch hier wieder Sarkodeverschmelzungen eintreten, wie wir sie vorher zweimal bei den Sarkodepartien auftreten sahen, die demselben Thal angehörten. Die Sarkodepartien sind aber jetzt, nachdem schon mehr Zeit verflossen ist — vielleicht weil sie auf ihrer Oberfläche schon mit der Abscheidung der Schalensubstanz beginnen<sup>1)</sup> oder aus anderen mir nicht bekannten Gründen —, weniger zu gegenseitiger Verschmelzung geneigt als bei dem früheren Zusammenfließen der demselben Thale

<sup>1)</sup> Wenn sich etwa die Oberfläche in einem bereits gallertigen Zustand befindet, so wird von den Stellen der ersten Berührung (die zugleich Stellen größten gegenseitigen Druckes sind) die Gallerte nach den anderen weniger stark oder gar nicht gedrückten Oberflächenstellen hin weggedrückt; und die anderen Oberflächenstellen bleiben dann durch die Gallerte getrennt. Zuweilen scheinen die Sarkodepartien der Kämmerchen schon früher in gegenseitige Berührung zu kommen, noch ehe sie mit der Schalensubstanzabscheidung begonnen haben; was natürlich die Verschmelzung der Kämmerchen zu einem einheitlichen, ringförmigen, nicht in Unterkämmerchen zerteilten Kammerraum zur Folge hat. Man trifft derartige einheitliche Ringkammern gelegentlich mitten zwischen den normalen untergeteilten. Bei der von FLINT (99, p. 304 Taf. 49) beschriebenen *Peneroplis* ist dies (für unsere Formen ausnahmsweise) Verhalten für den ganzen Schalenbau Regel geworden.

zugehörigen Plasmapartien, sie verschmelzen normalerweise nur an denjenigen Punkten, an denen sie sich zuerst berühren, und führen durch diese Verschmelzung zur Ausbildung der zirkulären Verbindungskanäle zwischen den Kammern desselben Kammerringes, die wir früher erwähnt haben (cf. p. 198) und die in Textfig. L mit c bezeichnet sind (VIII—X).

Jetzt sind die günstigeren Schalenkrümmungen überdeckt, und wenn die Sarkode überhaupt sich noch weiter auf der älteren Schalenwand ausbreiten sollte, müßte sie über die so sehr viel Oberflächenzulage beanspruchenden Randkanten hinüber. Sie thut es immer noch nicht, sondern läßt ihre Ränder mit den Randwinkeln an den Schalenkanten stehen, indem sie sich jetzt ganz damit begnügt, die neu hinzutretenden Sarkodemassen auf dem bereits gewonnenen Terrain zwischen den Schalenkanten aufzuhäufen (XI). Diese Aufhäufung ist daran schuld, daß bei der stärkeren Aufquellung (es quillt mehr Sarkode auf, weil größere Schalen mehr vorquellbare Sarkode einschließen) spätere Kammern die früheren an Breite übertreffen (cf. p. 243). Diese Zusammenhäufung zwischen den peripheren Schalenkanten (Textfig. L 5 und XI), also die Breitensteigerung der in Bildung begriffenen Kammern, kann nur so lange fortgehen, bis die Oberflächenzunahme, welche mit ihr verbunden ist, denselben Wert erreicht hat wie derjenige, der zur Überwindung der Randkanten notwendig wäre (Textfig. L 5 OO<sub>1</sub>). Träte dann noch weitere Sarkode aus, so müßten die Randkanten überflossen werden.<sup>1)</sup> Soweit kommt es aber normalerweise bei Orbitolites nicht, sondern die Sarkode macht in den Aufhäufungsstadien bereits Halt, und es greifen deshalb die neuen Kammerwandränder hier nicht (wie bei anderen, den sogenannten involuten Foraminiferen, die keine so stark konvexe Hemmnisse besitzen) über die früheren Kammern hinüber, sondern eine Schicht von Kammern setzt sich wie eine Reihe Mauersteine auf Kammerschicht auf, so daß die scheibenförmige Gestalt gewahrt bleibt, deren erste Ursache in der zweiseitigen Abplattung der Embryonalkammer zurückliegt.

Bei dieser skizzenhaften Ausführung war also thatsächlich nur von dem peripheren Schalenrand die Rede, und gar nicht von der dem Randringe vorangegangenen Struktur der Schale, weder von der Lage der Embryonalkammer, noch von der Anordnung der früheren Kammern, die doch infolge der kunstvollen Regel-

<sup>1)</sup> Es kämen dann die p. 248 unter 5 genannten Verhältnisse in Betracht.

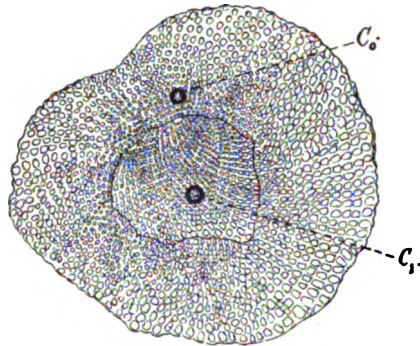


mäßigkeit, in welcher sie normalerweise auftritt, besonders wichtig erscheinen könnte.

Daß wir mit dieser Nichtbeachtung des früheren Schalenbaues und mit der alleinigen Betrachtung derjenigen Schalenwände, die von der ausfließenden Sarkode direkt befloßen werden, vollständig im Recht sind, wird aber unumstößlich durch die regenerierten Schalen bewiesen, die bei Orbitolites wegen ihres scheibenförmigen zerbrechlichen Aufbaues recht häufig vorkommen (RHUMBLER 94 p. 60) und die schon lange bekannt sind (CARPENTER, PARKER, JONES 62; Taf. 4 Fig. 26 u. 27), auf die ich aber hier noch kurz eingehen muß.

### 11. Kapitel. Regenerierte Schalen und Spaltungsmonstra.

Für die regenerierten Schalen gilt als durchgängige Regel, daß sich die Kammern des regenerierten Schalenteiles weder nach der Lagerung der früheren, vor dem Zerbrechen angelegten Kammern, die ersetzt werden sollen, noch nach der Lagerung der Embryonalkammer, die im regenerierten Bruchstück sogar ganz fehlen kann (Textfig. M), in irgend einer Weise richten. Ausschlaggebend für die Richtung der Regenerationskammern ist bloß der Verlauf des Bruchrandes des in Regeneration befindlichen Schalenstückes.



Textfig. M.

Um den Bruchrand der Schale herum, der durch seine stets scharfen Kanten die Sarkode wieder vor dem Überfließen auf die Scheibenflächen bewahrt, legen sich die regenerierten Kammern als konzentrische Rahmen herum. Diese Rahmen haben allerdings das deutliche Streben, die Schalenscheibe wieder zur vollkommenen Kreisform zurückzuführen,<sup>1)</sup> aber das Centrum dieser erstrebten

Eine regenerierte Schale von Orbitolites duplex CARP. Das im Innern der Schale deutlich kenntliche Bruchstück besaß keine Embryonalkammer. Diese wird im unverletzten Tier, der Kammeranordnung nach zu urteilen, bei C<sub>0</sub> gelegen haben; der Mittelpunkt der regenerierten Kammerringe ist aber C<sub>1</sub> und fällt also nicht mit der Embryonalkammer der vormals unverletzten Schale zusammen. Durchm. 2,7 mm.

<sup>1)</sup> CARPENTER, PARKER und JONES (62, p. 119) beschreiben die Art, wie die Kreisform allmählich wieder erreicht wird, bereits vollkommen richtig; sie sagen

Kreisform liegt nicht wie bei den ungestörten Schalen im Bereich oder doch in allernächster Nähe<sup>1)</sup> der Embryonalkammer, sondern es fällt mit dem Mittelpunkt des an sich in seinen Umrissen ganz willkürlichen Bruchstückes zusammen, und ist deshalb mit den letzteren in Bezug auf die frühere Struktur der vormals noch unzerbrochenen Schale selbst ganz willkürlich gelagert.<sup>2)</sup>

Wenn man bedenkt, daß bei *Orbitolites* der ganze Scheibenrand mit Mündungen besetzt ist, und daß in dem Regenerat die Protoplasmastränge, die durch die Randporen als Pseudopodienbüschel hindurch treten, ganz neue Richtungen einhalten müssen, kann man sich vorstellen, wie stark hierbei die vorher manchmal so wunderbar regelmäßige Verteilung der Sarkode in den mit fast mathematisch konstruierter Regelmäßigkeit angeordneten Kammern alteriert werden muß; und wenn die regelmäßigen Anordnungsverhältnisse bei einer unverletzten Schale den Gedanken eines bestimmten Gerichtetseins der Sarkodeteilchen (im Sinne DRIESCH's etwa) nahe legt, so zeigt die regenerierte Schale, daß es mit diesem inneren

von den Reihen der Regenerationskammern: „It is observable however, that the breadth of these rows varies in different parts, being least where they invest the projecting portions of the fractured edge, and greatest where they sink into its hollows.“ Über diese Regenerationen vergleiche auch CARPENTER (83, p. 37 und die dort angegebenen Figuren).

<sup>1)</sup> Letzteres wegen der durch die Erstlingskammern verursachten excentrischen Lagerung der Embryonalkammer.

<sup>2)</sup> Das Ausrundungsstreben der in Regeneration befindlichen Schalenscheibe erklärt sich ohne weiteres daraus, daß alle vorstehenden Ecken des Bruchstückes Stellen mehr oder weniger großer Konvexität, alle Einbiegungen des Bruchrandes aber Stellen verschiedengradiger Konkavität darstellen. Da nun nach p. 250 die Sarkode auf Konkavitäten der Flußfläche leichter vorfließen kann als auf Konvexitäten derselben, so wird aus dem kommunizierenden Kammersystem des Bruchstückes zur Zeit der Kammerbildungsperiode unter dem gleichen allgemeinen Aufquellungsdruck der Sarkode in gleichen Zeiten mehr Sarkode in die konkaven als in die konvexen Bruchrandstellen vorquellen, und die Kammern müssen in den konkaven Einsenkungen des Bruchrandes breiter ausfallen, an den konvexen Vorsprüngen schmaler. Diese Verhältnisse bleiben bestehen, bis die schneller an Breite zunehmenden konkaven Kammerbaustellen mit den langsamer wachsenden konvexen in dieselbe kreisförmige Niveaufäche eingeordnet sind. Ist das jedoch erreicht, dann wachsen die Kammerringe in normaler Weise gleichmäßig weiter. Dabei ist aber weiter noch in Rücksicht zu ziehen, daß diejenigen Kämmerchen des Bruchrandes, die dem ursprünglichen Scheibenrand der noch unzerbrochenen Schale näher lagen, wegen größeren Rauminhaltes mehr Sarkode enthalten und deshalb auch mehr Sarkode bei der Regeneration vorquellen lassen als die kleineren, früher mehr central gelagerten Kämmerchen; auf der ursprünglichen Randseite fallen daher auch die regenerierten Kämmerchen etwas breiter aus, als auf den früheren Centralpartien.

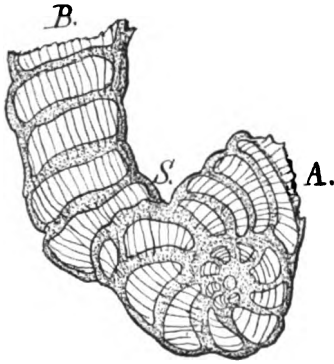
Gerichtetsein als einer selbständigen Kräfteart hier nicht allzuweit her sein kann, denn die ganze Richtung fällt über den Haufen, sobald nur die Form des Ansatzrandes für die neuen Kammern geändert wird.

Aus den Auseinandersetzungen dieses Kapitels läßt sich zu dem späteren Vergleich mit den Metazoen durch naheliegende Schlußfolgerung die Erkenntnis gewinnen, daß die Stauwandbildung bivalenter Doppelschalen nur einer vorübergehenden, nicht einer während des ganzen weiteren Wachstums der Doppelschalen „andauernden“ ungewöhnlichen mechanischen Einwirkung ihre Entstehung und Ausbildung verdankt. Hat sich innerhalb der Verschmelzungsnäht erst eine Kammerlage mit ihrem Rand in die Höhe gestaut, dann setzen sich auch die späteren Kammerringe in dieser Höhenrichtung weiter an, weil für den Kammeransatz die Lage und Gestalt der direkt berührten Kammern maßgebend ist. Der Stauwandrand wächst wie ein gewöhnlicher Scheibenrand in der einmal aufgenommenen Richtung in die Höhe weiter, ohne daß er durch seine ursprünglich doppelte Herkunft andauernd beeinflusst, oder aktiv gesprochen etwa von zwei Bildungscentren (cf. die beiden Embryonalkammern) aus dirigiert würde.

Auch das Umgekehrte kommt vor, daß sich eine ursprünglich einheitliche Schale in ihrem späteren Wachstum spaltet. Diese Spaltungen mögen zum Teil durch irgend welche mechanische Störungen von außen her veranlaßt sein;<sup>1)</sup> ein anderer Teil mag durch eine Verschiebung der Mündungsporen, die wahrscheinlich allgemein, durch eine Durchstoßung der ersten Wanddecke durch austretende Pseudopodien (M. SCHULTZE 94, FRITZ SCHAUDINN 95) zu stande kommen, und die dabei kleinen Verschiebungen ausgesetzt sein werden, entstanden sein; oder es mögen auch noch andere Ursachen zu derartigen Spaltungen, die bei sehr verschiedenen Fora-

<sup>1)</sup> Während der Abscheidung und dem Festwerden der Schalensubstanz müssen äußere Eingriffe sehr leicht Deformationen und Durchschneidungen der kammerbildenden Sarkode veranlassen können. Bringt man Quecksilbertropfen in eine ganz dünne (ca.  $\frac{1}{10}$  % ige) Chromsäurelösung, so überziehen sich dieselben mit einer äußerst dünnen Haut, und die Anwesenheit dieser Haut ermöglicht es, daß man den Tropfen in beliebiger Weise eindellen und einschneiden kann, ohne daß sich die Dellen und Schnittfurchen wieder ausgleichen. Über noch andere Versuche mit stärkeren Chromsäuren und Quecksilbertropfen, mit denen man sämtliche Formen der niederen Foraminiferengruppen künstlich ohne weitere Eingriffe erzeugen kann, werde ich in der späteren Arbeit (ox) zu berichten haben.

miniferen zur Beobachtung gekommen sind, führen können. Wie sie aber im speziellen Falle auch zu stande gekommen sein mögen, sobald die Spaltung aufgetreten ist, bleibt sie auch im weiteren Wachstum erhalten; auf jeder Spalthälfte setzen sich, wie wir nach unseren Auseinandersetzungen leicht begreifen, die Kammern an, und es entsteht jetzt infolge der einmaligen Spaltung eine doppelte Kammerreihe, ohne Rücksicht darauf, daß der ursprüngliche Ausgangspunkt der Schale ein einheitlicher war. Auf diese Weise entstehen die bereits früher genannten, im Gegensatz zu den Mehrfachschalen mit bloß einer Embryonalkammer ausgestatteten Spaltungsmonstra (cf. p. 233). Ein solches Spaltungsmonstrum ist in Fig. N von der den Orbitoliten nahestehenden *Peneroplis pertusus* Forsk. abgebildet.



Textfig. N.

Ein Spaltungsmonstrum von *Peneroplis pertusus* FORSK. Bei *S* beginnt die Spaltung. *A* u. *B* sind die beiden Spalthälften. *A* hat die frühere Spiralwindung der Schale beibehalten, *B* dagegen hat sich gerade gestreckt, da sie mit dem früheren Spiralgang außer Connex gesetzt ist. Größe: 1 mm.

Sehr interessante Spaltungsmonstra der gleichen Foraminifere hat FR. DREYER in seiner *Peneroplis-Monographie* publiziert. Die beiden Spalthälften tragen in seinen Figuren z. T. ganz verschiedenen Charakter und man sieht deutlich, daß für die Ausbildung der Folgekammern nur diejenige der direkt berührten vorausgehenden maßgebend ist (DREYER 98, Fig. 206 u. 212 u. a.).

Andere Spaltungsmonstra aus der Litteratur wurden früher (p. 232) namhaft gemacht. Sie scheinen bei Formen mit siebförmigen Mündungen häufiger zu sein, was wohl damit im Zusammenhang steht, daß zuweilen die aus den Mündungsporen vorgetretenen Sarkodepartien durch zu frühes Festwerden der Schalensubstanz oder aus anderen Gründen nicht mit einander verschmelzen.

Die mehrfach genannten laciniaten Bildungen bei Orbitolites sind nichts weiter als derartige Spaltungen, und auch sie bauen ihre einmal aus der Scheibe vorgestülpten Spaltheile wie der periphere Schalenrand normal weiter, ohne Rücksicht darauf, daß sie ein unnötiges Plus der Schale darstellen.

## 12. Kapitel. Die Wirkung der Spannung der abgeschiedenen Schalensubstanz auf die Ausgestaltung der Doppelschalen.

Trotzdem die Kämmerchen der Kammerringe wie wir im vorigen Kapitel gezeigt haben, und wie von Anfang an selbstverständlich ist, einzeln angelegt werden (entsprechend der kammerweisen Mündung der Randporen), so bilden sie doch durch dichtes Aneinanderschließen gemeinsam ein Ganzes höherer Ordnung, nämlich einen Kammerring, dessen einheitlicher Zusammenschluß so weit geht, daß man an korrodierten alten Schalen manchmal mehr oder weniger große Teilstücke von Kammerringen im Zusammenhang ablösen kann, ohne ein Zerbrechen derselben in die Einzelkämmerchen befürchten zu müssen. Dieser Zusammenschluß wird durch Schalensubstanzabscheidung auf den miteinander in seitliche Berührung geratenen Einzelkämmerchen vermittelt. Die abgeschiedene Schalensubstanz lagert sich zwischen die einzeln zur Kämmerchenbildung hervorgequollenen Sarkodepartien, um nach ihrer Erstarrung die radiären, nur an der Stelle der zirkulären Verbindungsröhrchen unterbrochenen Scheidewände der Kämmerchen zu liefern.

Ob die Schalensubstanz ein Exsudat der kammerbildenden Sarkode<sup>1)</sup> ist oder ob sie als ein Umwandlungsprodukt der oberflächlichen Sarkodepartien angesehen werden muß,<sup>2)</sup> wie SCHAUDINN (95, p. 220) für *Calcituba* äußerst wahrscheinlich gemacht hat, das fällt für unsere Auseinandersetzung nicht schwer ins Gewicht. Ob sie so oder so entsteht, auf alle Fälle wird sie die Einzelkämmerchen schon während ihrer Entstehung zusammen binden und das zusammengebundene Kämmerchenensemble deshalb wie eine dem Umfang des Kammerringes entsprechenden ringförmigen einheitlichen Zuwachsstreifen reagieren lassen, wie wir ihn in unseren Plastolinversuchen kopiert haben, ohne auf die Unterteilung des Ringes in Einzelkämmerchen damals Rücksicht zu nehmen. Wir erhalten hier also zunächst die Berechtigung zu unserem früheren Kopierverfahren mit dem Plastolin.

<sup>1)</sup> Unter „kammerbildender“ Sarkode ist hier, wie allenthalben, kein bestimmt histologisch differenzierter Sarkodeteil oder etwa eine besonders differenzierte Sarkodeschicht verstanden, sondern immer nur die zur Kammerbildung aus den Schalenmündungen vorgeflossenen Sarkodepartien.

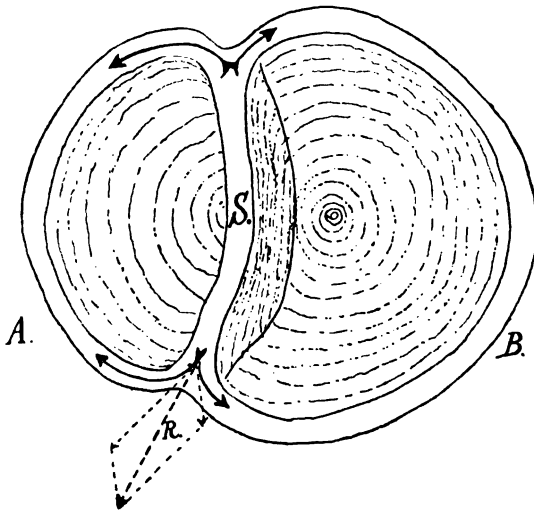
<sup>2)</sup> Ich halte es nicht für unwahrscheinlich, daß die ungeschichtete Schale der imperforaten Kalkschalen (*Milioliden* und *Orbitolitiden*) ein Umwandlungsprodukt, die geschichtete Schale der perforaten Kalkschalen dagegen ein Abscheidungsprodukt der Sarkode darstellt.

Weiter aber bezweifle ich nicht, daß wie bei fast allen ähnlichen Zellabscheidungen, deren Genese genauer bekannt ist, die Schalensubstanz, ehe sie ihre definitive Festigkeit erhält, einen flüssigen — wenn auch sehr zähflüssigen Zustand durchmacht; was ja ohnedies der Fall sein muß, wenn sie sich als ein direktes Umwandlungsprodukt der an sich flüssigen, kolloidalen Sarkode darstellt. Ist nun die Schalensubstanz während der Kammerbildung flüssig oder zähflüssig, so muß sie die durch ihre Vermittlung zusammengebundenen Einzelkammerchen in ihrer Gesamtheit wie mit einer elastisch gespannten Deckschicht umkleiden. Diese elastische Spannung der Deckschicht leitet sich als physikalische Notwendigkeit entweder aus der Oberflächenspannung derselben gegen das äußere Wasser hin her, oder sie ist durch das gallertige Durchgangsstadium der Schalensubstanz vor dem Festwerden gegeben, wenn etwa die Schalenmasse bereits auf einem früheren Stadium des Vorquellens der Sarkode abgeschieden und dann dem anwachsenden Volumen der Sarkode entsprechend, auseinander getrieben werden sollte, wie dies von M. SCHULTZE (54, p. 30) für *Polystomella* wahrscheinlich gemacht worden ist.

Zu der Oberflächenspannung der schaumig gebauten Sarkodemasse selbst, von der wir oben in Kap. 9 gesprochen haben und welche Schuld daran war, daß das Vorwärtsfließen der kämmerchenbildenden Sarkodepartien nur unter „minimaler“ Oberflächenvergrößerung vor sich gehen konnte (cf. p. 248) tritt also jetzt noch die kontraktive Spannung der zu einer Deckschicht zusammengeflossenen zähflüssigen oder gallertigen Schalensubstanz hinzu; und diese neu hinzutretende Spannung erwirkt neue Resultate, da sie sich nicht wie die Oberflächenspannung der Sarkode auf die Einzelkammerchen beschränkt, sondern sich über das ganze Ensemble der Kämmerchen des ganzen neu entstandenen Ringes hinüberzieht. Daß diese Spannung der Schalensubstanzschicht die Einzelkammerchen so dicht als möglich aneinander pressen wird, das braucht als selbstverständlich nicht näher ausgeführt zu werden; uns interessiert vor allem ihre Einwirkung auf die Doppelschalen.

Diese durch die noch nicht festgewordene Schalensubstanz vermittelte Spannung ist es offenbar, welche die „konkave“ Einkrümmung der Stauwand nach Seiten des kleineren Verschmelzlings bei bivalenten, inäqualen Doppelschalen besorgt (Photo 22, SS<sub>1</sub>; Photo 24, SS<sub>1</sub>). Die Natur dieser Spannung bewirkt es nämlich, daß sie um so stärker sein muß, je kleiner die in Entstehung begriffenen Kammerringe sind, über die sie sich hinzieht; denn die Oberflächenspannung ist

dem Krümmungsradius der Oberfläche umgekehrt proportional, oder auch eine geringere Menge von Gallerte ist schwerer dehnbar, drückt, also auf die untergelagerte Sarkode mehr, als eine größere Gallertmenge, was auf unsere Verhältnisse übertragen nichts anderes heißt, als: je kleiner der Kammerringteil des kleineren Verschmelzlings, der sich über die Stauwand hinzieht, desto größer die kontraktive Wirkung der ihn überziehenden Schalensubstanz. Ein kleiner Kammerring sucht sich also während seiner Bildung stärker zu kontrahieren, als ein großer; und ein kleinerer Verschmelzling wird deshalb die

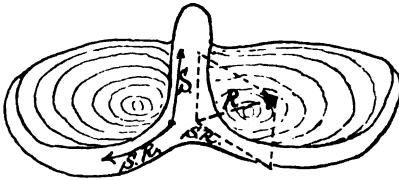


Textfig. 0.

Schema, welches die konkave Einkrümmung der Stauwand (*S*) nach dem kleineren Verschmelzling (*A*) hin demonstrieren soll. Der über dem kleineren Verschmelzling sich hinziehende Ring von Schalensubstanz (*SA*) sucht sich vermöge seiner größeren Spannung stärker zu kontrahieren als der größere Ring *SB*, der sich über den Randkammerring des größeren Verschmelzlings hinzieht. Konstruiert man an den Ansatzstellen der Stauwand diesen Zugverhältnissen entsprechend das Kräfteparallelogramm, so ergibt sich die Resultierende *R*, d. h. die Ansatzstelle der Stauwand sucht sich nach *A* hin vorzustrecken, woraus dann die erwähnte Konkavität folgert, weil dieselben Verhältnisse auch für die gegenüberliegende Ansatzstelle der Stauwand gelten.

auf der Stauwand befindlichen Kammerringteile stärker zu einem gemeinsamen Kreisring mit seinen übrigen peripheren Kämmerchen zusammenzuziehen streben, als der größere Verschmelzling, woraus dann notwendig die konkave Einkrümmung der Stauwand, (zum Kreisanschluß an die Peripherie des kleineren Verschmelzlings) nach Seiten der kleineren Schale folgt (Textfig. 0). Bei äqualen Salzfaß-

bildungen wird der gleiche, durch die Schalensubstanz verursachte Zug von den peripheren Kämmerchen der beiden Verschmelzlinge aus, also von zwei entgegengesetzten Richtungen, mit gleicher Kraft auf die Stauwand wirken, so daß sich die Stauwand normalerweise<sup>1)</sup> nicht nach einem der Verschmelzlinge hin konkav einkrümmen kann. Die kontraktive Wirkung der Ringe muß sich dann aber notwendig darin äußern, daß sich — wie wir thatsächlich konstatiert haben — die peripheren Kammerringteile in der Richtung der Stauwand in die Höhe ziehen, so daß die Verschmelzlinge im weiteren Wachstum Schüsselform bzw. die Doppelschalen die Form eines zweifächerigen Salzfaßes annehmen (Textfig. P).



Textfig. P.

Schema, welches das Aufsteigen der Schalenränder bei einer äqualen Salzfaßbildung erklären soll. Die Doppelschale ist seitlich gesehen gedacht. Auf die seitlichen Ansatzstellen der Stauwand wirken zwei Komponenten, nämlich erstens die kontraktive Spannung der sich um den Scheibenrand herumlegenden Schalensubstanz (*SR*), und zweitens diejenige des auf der Stauwand gelagerten Kammerringteiles (*S*). Ihre Resultierende ist *R*, welche in der Richtung nach der oberen Schalenrandkante verläuft und demnach den Kammerring nach oben zu verlagern strebt.

trahieren würde, so daß die Stauwand mehr nach dem größeren Verschmelzling als nach dem kleineren hingezogen werden müßte, was den Thatsachen direkt zuwiderläuft.

Im übrigen ist die kontraktive Wirkung der abgeschiedenen Schalensubstanz bei den einzelnen Doppelschalen in sehr verschiedenem Grade kenntlich, manchmal tritt sie kaum hervor.

<sup>1)</sup> Störungen in diesen Verhältnissen können natürlich jederzeit Abweichungen von der Regel veranlassen.



Es hängt das jedenfalls damit zusammen, daß die kontraktive Wirkung der Spannung der Oberfläche erst dann zu ausgiebigerer Wirkung kommen kann, wenn das Ausströmen der Sarkode aufhört und ein Gleichgewicht in den von beiden Verschmelzlingen ausgehenden Druckwirkungen eingetreten ist, so daß von seiten dieser Druckwirkungen keine „Neuordnung der Schaumwände“ mehr verlangt wird und eine solche jetzt von der viel schwächer wirkenden Schalensubstanzspannung vorgenommen werden kann.<sup>1)</sup> Es wird dann das Endresultat der Oberflächenwirkung ganz davon abhängen, wie lang noch (unter sonst gleichen Bedingungen) nach dem Ausströmen der Oberflächenspannung allein das Operationsfeld überlassen bleibt, bis die abgeschiedene Schalensubstanz fest wird. Dieses Festwerden scheint mir aber nicht immer nach genau derselben Zeit stattzufinden (vgl. auch p. 253 Fußnote).

Es soll nunmehr noch ein minder wichtiger Punkt erörtert werden.

Wie wir gesehen haben, entspricht die Dicke der von beiden Verschmelzlingen gemeinsam errichteten Stauwand nicht, wie man erwarten sollte, der Summe der Einzeldicken der beiden verschmolzenen Scheiben, sondern die Stauwanddicke ist wie die Tabellen im Anhang 1 zeigen, meist sehr ungleich und durchweg geringer als diese Summe; auch setzt sich die Stauwand keineswegs immer bis zu den Randringen der erwachsenen Scheibe hin fort, wir haben bei unseren Schalen freie Randringe verzeichnet, der Ansatz von neuen Randringen hat also bei den betreffenden Doppelschalen auf der Stauwand früher Halt gemacht als auf den übrigen Schalentteilen. Beides wird seinen Grund darin haben, daß die in der Stauwand befindliche Sarkode schlechter ernährt wird und deshalb die Kammerbildung dürrtiger betreibt und mit der Kammerbildung leichter aussetzt, als die den übrigen Schalentteilen angehörige Sarkode, die wohl die auf die Tangfläche niedergesunkenen Detritusteilchen oder dort weidendes Kleingetier oder dort befindlichen Diatomeenrasen von der Tangfläche ungehindert weglesen kann, während die Sarkode der Stauwand hierbei stets im Nachteil sein wird, weil sie immer erst auf größeren Umwegen den Weideplatz der Tangfläche erreichen kann, und deshalb den Randpseudopodien gegenüber immer etwas „post festum“ nachzukommen gezwungen ist.

Ich habe bei einander nahe sitzenden mit Weichkörper wohl erhaltenen Tieren gesehen, daß sie beide auf ihren zugekehrten Seiten

<sup>1)</sup> Denke ich mir eine dauernd plastische Substanz, z. B. Plastolin, von einer gespannten dünnen elastischen Gummihaut umhüllt, welche die Rolle der Oberflächenspannung versehen soll, so wird mich diese dünne schwach gespannte Gummihaut nicht daran hindern können, dem Plastolin durch Kneten beliebige Formen mitzuteilen; sobald ich aber mit dem Kneten aufhöre, wird die gespannte Membran ihr Recht fordern und kann, wenn ihre Kraft dazu ausreicht, die von mir geknetete Form durch Abrundung in diejenige einer geringeren Oberflächenentfaltung überführen.

auffallend weniger Kammern angesetzt hatten, als auf ihrer übrigen Peripherie, was in demselben Sinne spricht. Die Tiere mußten sich in dem Zwischenfeld in die dort befindliche Nahrung teilen, in ihrer sonstigen Umgebung gehörte jedem das ganze Feld.

Bei der ersten Entstehung der Stauwand mag eine Dickenreduktion (= Reduktion auf weniger als die Summe der Schalendicken der beiden Verschmelzlinge) der Stauwand auch dadurch gefördert werden, daß unter der „Austrittserschwerung“, d. h. unter dem Drucke des beiderseitigen Gegeneinanderstehens, welchen die kammerbildende Sarkode in der Stauenge erfährt,<sup>1)</sup> hier, wo sich die Stauwand aufzurichten beginnt, weniger Sarkode als an den freien peripheren Rändern vorquellen kann; doch würde eine solche Erklärung den vorgenannten Fall einer Aussetzung der Kämmerchenbildung auf Seite der gemeinsamen Weidefläche und die eventuell spätere Bildung freier, von der Stauwand nicht berührter Randringe nicht begreiflich machen, so daß ich ihr nur einen nebensächlichen Wert beilegen kann.

### 13. Kapitel. Wann und warum entwickeln sich univalente Doppelschalen?

#### 1. Ganz jugendliche Verschmelzlinge mit weniger als vier präjugalen Kammerlagen.

Ganz jugendliche Verschmelzlinge, die zusammen nicht mehr als vier präjugale Kammerringe besitzen, so daß jeder nur zwei besitzen darf, erzeugen univalente Doppelschalen, sofern sich ihre Erstlingsachsen nicht kreuzen.

Die Bedingungen, — nicht mehr als zwei Kammerringe und Nichtkreuzung der Erstlingsachsen — machen darauf aufmerksam, daß die beiden ersten Kammerringe und die Lagerichtung der Erstlingskammer irgend eine mechanische Besonderheit verursachen müssen, welche zur Univalenz führen.

Wir müssen hier auf eine früher noch nicht erwähnte Besonderheit in Bezug auf die Randporen der Erstlingskammern der *Orbitolites duplex* aufmerksam machen. Da die Erstlingskammern sich noch nicht wie die späteren Kammerringe zu geschlossenen Kreisen um die Embryonalkammer herumlegen, so sind bei ihnen auch nicht, wie bei den späteren Ringen, die Randporen regelmäßig auf

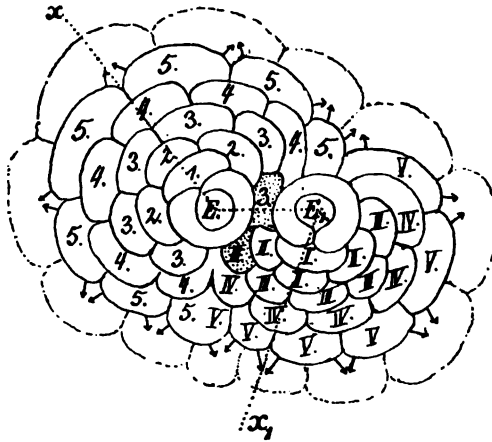
<sup>1)</sup> Da innerhalb der Stauenge die austretende Sarkode von derjenigen des anderen Verschmelzlings Widerstand erfährt, an den peripheren Schalenrändern aber nicht, so wird unter dem gleichen Vorquellungsdruck, der sich im gesamten Weichkörper verteilt, an den Stellen des Widerstandes weniger Sarkode austreten als anderwärts. Ist der Widerstand stärker als die Reibung, welche die Sarkode im Innern der Schale an den Schalenwänden erfährt, dann kann an den Stellen des Widerstandes überhaupt keine Sarkode austreten, wie das später von den schroffen Schalenkreuzungen gezeigt werden wird.

den ganzen peripheren Scheibenrand verteilt, sondern sie wenden sich nach derjenigen Seite, nach welcher sich die Erstlingskammern entfaltet haben, also in Fig. 1 und 6 nach dem oberen Tafelrande hin. Die der Mündung der Embryonalkammer abgewendete Schalen-seite (in Photo 1 und 6 nach dem unteren Tafelrande hin) ist bei der Anlage der frühesten Erstlingskammern gänzlich porenlos und kann deshalb keine Kämmerchen erzeugen, sie erhält Mündungsporen erst dann, wenn die an Umfang zunehmenden Kreisbogenteile der Erstlingskammern sich von zwei Seiten herkommend zu wirklichen Kammerringen geschlossen haben, und mit der ersten Erzeugung der Ringe auch für den ganzen Umkreis des Ringes Randporen mitbringen. Die beiden ersten Ringe, welche auf die Erstlingskammern folgen, schließen sich von zwei Seiten her um den Embryonalteil der Schalen zusammen, etwa wie ein geöffneter Armring sich beim Zumachen über dem Arm von zwei Seiten her zusammenschließt. Dieser seitliche Ringverschluß zeichnet die beiden ersten Ringe ihrer Genese nach von den späteren Ringen aus, denn die späteren Ringe treten, nachdem der Schalenrand allerwärts Poren erhalten hat, in ihren einzelnen Gliedern, den Kämmerchen, auf der ganzen Randstrecke der Scheibe mit einemmal von vornherein zu einem Ring gruppiert auf, der nicht erst seitlich geschlossen zu werden braucht, wie man aus Photo 2 ersehen kann, wo der äußere blaß erscheinende, noch nicht zu voller Festigkeit und Undurchsichtigkeit erstarrte Randring den früheren Schalenteil allwärts in gleichmäßiger Ausbildung umzieht.

Diese Verhältnisse — die einseitige Lagerung der Randporen der Erstlingskammern und der seitliche Ringverschluß der frühesten Kammerringe — erklären im Verein mit der genannten Lagerung der Erstlingsachsen die Entstehung univalenter Doppelschalen für die ganz jugendlichen Verschmelzungen in nachfolgender Weise.

a) Handelt es sich um „Erstlingsschalen“, die noch ganz ohne Kammerringe sind (cf. p. 197), so führt der partielle Porenmangel zur Univalenz und zwar in folgender Weise. Infolge des Nichtschneidens der Erstlingsachsen können sich die Erstlingskammern nach den verschiedenen Seiten hin ungestört entwickeln, ohne mit einander in Konflikt zu geraten. (Man vergegenwärtige sich diese Verhältnisse an Photo 7, wo die Kammerungsverhältnisse besonders deutlich hervortreten, und an Textfig. p. 205.) Der Rand des Ensembles der Erstlingskammern jedes Verschmelzlings wird zwar früher oder später an den anderen Verschmelzling anstoßen müssen (die Kammer 3 und III in Textfig. Q.) — sonst fände

überhaupt keine Erstlingsverschmelzung statt — aber die getroffene Seite der Genossin ist dann die porenlose, der sich die randständigen Kammern anlegen können, ohne daß sich die nach einer anderen Richtung hin vorrückende Sarkode der Genossin dagegen anstemmen könnte. Im Gegenteil die berührte Wand wird anziehend auf die Sarkode einwirken und die Kämmerchen an sich heranziehen. Die berührte konvexe Außenfläche der Genossin wirkt auf die Berührerin wie eine Konkavfläche, in der die Sarkode nicht bloß keinen Widerstand findet, sondern in die sie sich nach Satz 1 auf p. 251 vor allen Dingen hineinziehen



Textfig. Q.

Eine univalente Doppelschale in ihrer Kammernfolge dargestellt. Die Kämmerchen der gleichen Lage sind mit gleichen Zahlen bezeichnet, die zugleich die Ordnungszahl der Kammerlage bedeuten. Die arabischen Zahlen beziehen sich auf die Kämmerchen des Verschmelzlings ( $E$ ), die römischen auf diejenigen des Verschmelzlings ( $E_1$ ). Die Kämmerchen 3 u. III verlegen für die späteren die zwischen  $E$  u.  $E_1$  befindliche Stauenge, die Pfeile der Schlußkammern zeigen, daß die Sarkode aus ihnen normal ausfließen kann, ohne daß es zu besonderen Stauwirkungen kommen kann.  $E x$  u.  $E_1 x_1$  die beiden Erstlingsachsen, die sich nicht schneiden.  $E E_1 x_1 = \text{Winkel der Erstlingsachse von } E_1 (= 70^\circ)$ ;  $E_1 E x = \text{Winkel der Erstlingsachse von } E (= 230^\circ)$ .

Vergr.  $\frac{2}{1}$ ; (schematisiert.)

muß. Ist das aber erst geschehen, so ist der zwischen den beiden Erstlingen früher vorhandene Engpaß durch das seitliche Einrücken der Randkämmerchen, ohne daß es zu einem Konflikt zwischen den beiden Sarkodeleibern gekommen wäre, für immer geschlossen. Die Verschlußkammern des Engpasses öffnen nun wie immer ihre Randporen radiär nach außen. Wenn alsdann die späteren Ringe gebildet werden, so ist wie immer nur die berührte Flußfläche der Doppelschale maßgebend, der Druck der bei der Kämmerchenbildung aus den Randporen hervorquellenden Sarkode hat radiäre Richtung, wie die kleinen Pfeile in Textfig. Q zeigen sollen. Zu einander entgegenwirkenden Drucken zwischen

den beiden Sarkoden kommt es demnach hier überhaupt nicht. Ohne

Gegeneinanderwirkung kann aber natürlich eine Stauwandbildung nicht eintreten, d. h. die Doppelschale muß notwendig (stauwandslos) univalent werden, indem sie späterhin ihre Kammerringe einheitlich über die Flußflächen der verschmolzenen Erstlingsteile hinzieht.

Eine Frage wäre hier noch zu stellen:

Dadurch, daß die postjugalen Kammerringe um die Erstlingschalenteile der Verschmelzlinge als einheitliche Kreise herumgelegt werden, kann jeder der Verschmelzlinge nur einen Halbring zur Ausbildung bringen, denn zwei aneinander geschlossene Halbringe ergeben die bei der Univalenz konstatierten Ganzringe (cf. p. 200). Wo bleibt, so fragen wir, diejenige Sarkode, die für die zu Gunsten des Genossen aufgegebenen Kammerringteile der Verschmelzlinge bestimmt war, da diese doch nicht a priori auf die spätere Verschmelzung eingerichtet gewesen sein können?

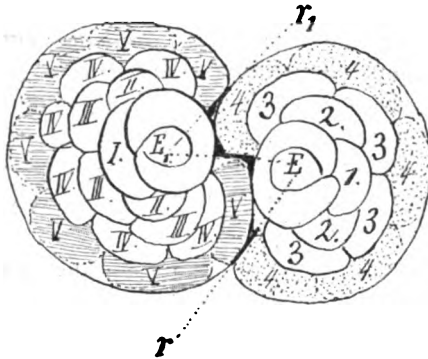
Die Sarkode tritt wie immer aus den Randporen aus; da aber jetzt nur ein Halbring mit Randporen besetzt, und deshalb auch nur die halbe Zahl von Poren vorhanden ist, so wird unter den neuen Verhältnissen doppelt so viel Sarkode aus jeder Randpore austreten müssen, als bei einer entsprechend<sup>1)</sup> jungen Einzelschale. Hieraus folgt, daß die von den Verschmelzlingen beiderseits aufgebauten Halbringe dem Volumen nach annähernd das Doppelte von Sarkode enthalten müssen, als der entsprechend große halbe Ring einer normalen Einzelschale; mit anderen Worten, daß der erste postjugale Ring dem doppelten Volumen „entsprechend“ breiter sein muß, als ein gleich alter Ring einer Einzelschale.

Bezeichnen wir mit  $r$  den Radius der präjugalen Schalenscheibe des einen Verschmelzlings, mit  $r_2$  den Radius desselben Verschmelzlings nach Zusatz seines ersten postjugalen Halbringes und schließlich mit  $r_1$  den Radius, den der Verschmelzling aufweisen müßte, wenn er das Sarkodevolumen des postjugalen Halbringes in voller Ungestörtheit als Vollring hätte anlegen können, so ergibt sich, daß der Radius des postjugalen Halbringes  $r_2 = \sqrt{2 r_1^2 - r^2}$  sein muß, anstatt  $r_1$ , wie er in der Einzelschale (ohne Kollision mit einer anderen Schale) hätte sein müssen.<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Dabei ist allerdings vorausgesetzt, daß sich der Aufquellungskoeffizient der Sarkode während der Verschmelzung der Schalen nicht ändert. Eine derartige Änderung aber anzunehmen liegt keinerlei Grund vor.

<sup>2)</sup> Faßt man nämlich den Kammerring als einen Hohlzylinder auf, dessen Höhe  $h$  gleich der Schalenhöhe ist, so ergibt sich der Inhalt des Kammerringes in einer normalen Einzelschale  $= (r_1^2 - r^2) \pi h$ ; der Inhalt des postjugalen Halbringes wäre fernerhin  $= \frac{(r_2^2 - r^2) \pi h}{2}$ . Da diese Inhalte dem gleichen Sarkode-

b) Haben die Verschmelzlinge zur Zeit der Kollision bereits ihr Erstlingsalter (cf. p. 198) hinter sich und beginnen sie mit der Anlegung der „ersten“ Ringe, so führt offenbar der erwähnte Ring-schluß von den Seiten her (nach Armspangenart), welcher die ersten Ringe vor den späteren auszeichnet zur univalenten Ausbildung der Doppelschalen. Die Schlußenden der Ringe treten in



Textfig. R.

Eine univalente Doppelschale, deren Verschmelzung während der Zeit der ersten Kammerringbildung (V u. 4) erfolgt ist. Die Kollisionstellen sind schwarz ausgezeichnet und haben radiäre Richtung ( $r$  u.  $r_1$ ) zu den Embryonalkammern, so daß die kollidierenden Kämmerchen mit ihren Radiärwänden auf einander treffen; auch auf der Verbindungsachse  $E E_1$  liegt eine Kollisionsstrecke, sie ist demnach zu beiden Verschmelzlingen radiär gerichtet. Die Erstlingsachsen und ihre Winkel sind nicht eingetragen; die letzteren würden zusammen ca.  $360^\circ$  betragen.

(Schematisiert.)

drücken, und die Stauwand muß sich, wenn sie überhaupt entsteht, in der Verbindungsachse selbst oder annähernd parallel zur Ver-

quantum entsprechen sollen, müssen sie einander gleich sein. Man erhält also

$$(r_1^2 - r^2) \pi h = \frac{(r_2^2 - r^2) \pi h}{2}$$

$$2 r_1^2 - 2 r^2 = r_2^2 - r^2$$

$$2 r_1^2 - r^2 = r_2^2$$

$$r_2 = \sqrt{2 r_1^2 - r^2}$$

Auf die Unterteilung der Ringe in Kämmerchen braucht hierbei keine Rücksicht genommen zu werden.

den Engpaß ein, stoßen aber früher oder später auf die Erstlingskammern oder ersten Ring - Schlußkammern des anderen Verschmelzlings auf (Textfig. R V und 4) und es kommt jetzt allerdings zu einer Stauwirkung zwischen den entsprechenden Sarkodeteilen der beiden Verschmelzlinge. Die Stauwirkung verläuft aber zunächst in wesentlich anderer Richtung als bei derjenigen, welche zur Ausbildung einer charakteristischen Stauwand führt; während bei der Kollision älterer Schalen nämlich die Gegeneinanderstauung mit den peripheren Rändern der Kämmerchen stattfindet, sind es jetzt die in der Textfig. R schwarz ausgezogenen radiären Wände der Kämmerchen ( $r$ ;  $r_1$  und  $E E_1$ ), die gegeneinander

bindungsachse oder zu einer der Embryonalkammern radiär aufrichten, nicht aber senkrecht zur Verbindungsachse, wie es für das Zustandekommen des bivalenten Doppeltypus Regel war. Höchst wahrscheinlich ist es, daß bei einer bestimmten Größe derartiger radiär verlaufender Gegeneinanderstauungen diejenigen laciniaten Auswüchse univalenter Doppelschalen entstehen, welche sich wie diejenigen in Photo 1 und bei den Exemplaren Nr. 5, 8 und 9 unserer Tabelle (siehe Anhang Ib) innerhalb der Verbindungsachse emporrichten, und deshalb nicht als echte Stauwände in unserem Sinne bezeichnet werden können, da sie als solche senkrecht zur Verbindungsachse stehen müßten.

Da auch bei gewöhnlichen Einzelschalen sehr häufig radiär gerichtete laciniate Wände direkt von der Embryonalkammer aus über die Schalenscheibe hinziehen (Photo 17 und 18), so müßte alsdann für diese angenommen werden (da bei ihnen ein Gegeneinander-vorrücken von Ringenden zweier verschiedener Individuen fehlt), daß hier die zusammenschließenden Ringenden der ersten eigenen Ringe in ungewöhnlich starker Weise gegen einander gepreßt werden, sei es daß die Sarkode vorher besonders stark gewachsen ist oder daß sie aus besondern unbekanntem Gründen besonders stark aufquillt. Auf jeden Fall läßt sich leicht begreifen, daß die ersten Ringe nicht genau auf ihren Zusammenschluß im voraus berechnet sind und daß auch zur bestimmten Zeit einmal zuviel Sarkode für den Zusammenschluß vorhanden sein kann, ebenso wie gegensätzlich während der ganzen Periode der Erstlingskammern-Erzeugung zu wenig Sarkode für diesen Zusammenschluß vorhanden ist (und zwar während einer wechselnden Entwicklungsdauer, also auch hier unter schwankenden Verhältnissen, denn die Zahl der Lagen der Erstlingskammern wechselt zwischen 2 und 6).

In der Regel werden aber bei unseren, die ersten Ringe produzierenden, Verschmelzlingen keine derartigen laciniaten Auswüchse erzeugt, offenbar weil die von den zusammentreffenden beiderseitigen Sarkoden ausgeübte Druckwirkung für gewöhnlich eine andere Richtung annimmt. Die seitlichen radiären Wandflächen der Einzelkammerchen sind nämlich normalerweise kleiner als die peripheren Abschlußwände derselben; da nun beide Wändesorten aus der gleichen Schalensubstanz bestehen und auch im ganzen von gleicher Dicke sind, wie aus der Mehrzahl unserer Photographieen hervorgeht, so müssen die größeren peripheren Wände weniger widerstandsfähig sein als die kürzeren kleineren Radiärwände. Der Staudruck muß sich in der (schaumig) flüssigen Sarkode der in Kollision geratenen

Kämmerchen nach allen Seiten hin fortpflanzen und er wird somit eine Vorbauschung der größeren peripheren Wände, nicht aber für gewöhnlich ein laciniates Hochgehen der radiären Kammerwandteile hervorrufen, denn die größere periphere Wand läßt sich wie jede andere größere Platte leichter ausbiegen als eine kleinere von demselben Material und der gleichen Dicke. Die Ausbauschung bedeutet natürlich eine Vergrößerung der Kammerbreite und wir erhalten somit auch hier, wie vorher bei der Verschmelzung von Erstlingen ohne Ringe den Thatbestand, daß der durch die Kollision an seiner Vollendung behinderte Ring einen Ersatz für die ihm verwehrte Schlußstrecke des Ringes darin findet, daß er den zur Ausbildung gelangten Ringteil verbreitert; er ersetzt durch Breite, was ihm an Länge fehlt.

Bei einem gewissen Grade der „Verbreiterung der Kämmerchen“ (die gleichbedeutend mit der Längenzunahme der Radiärwände ist) werden die Radiärwände schließlich weniger widerstandsfähig als die peripheren Wände, nämlich dann, wenn sie durch besonders reichlichen Sarkodeausfluß länger als die peripheren Wände geworden sind. Es können alsdann die vorher genannten radiären laciniaten Schalenanswüchse auftreten, die aber auch dann die Doppelschalen ihres univalenten Charakters nicht entkleiden, weil eben derartige Auswüchse in gleicher Lagerung und offenbar von analogen, mechanischen Faktoren veranlaßt, auch bei gewöhnlichen Einzelschalen garnicht selten vorkommen.

## **2. Univalente Doppelschalen, die aus einer alten und einer Erstlingsschale gebildet sind.**

Eine bereits alte Schale, die mit einer ganz jugendlichen (mit weniger als etwa drei Kammerringen ausgestatteten) zusammentrifft, drückt wegen stärkeren Vorquellens ihrer Sarkode so stark auf die jugendliche, daß die Sarkode des jugendlichen Verschmelzlings nur nach der distalen (dem Staudruck gegenüberliegenden) Seite hin vorquellen und dort ihre Kammern bauen kann; an dieser Stelle werden dann ihre Kammern von den in gleichen Perioden erheblich an Größe zunehmenden, postjugalen Kammerringen des älteren Verschmelzlings im Wachstum überholt, umflutet und eingeschmolzen, ohne daß es zur Ausbildung einer Stauwand kommen kann, weil nur in entgegengesetzter Richtung auf einander gestoßene Kammern sich naturgemäß aufstauen können, während hier die Kammern der kleineren in derselben peripheren Richtung fortgedrängt werden, in welcher auch die größere Schale wächst (Photo 13 und p. 206).



#### 14. Kapitel. **Warum bringen Erstlingschalen bivalente Doppelschalen zur Ausbildung, sobald ihre Erstlingsachsen sich schneiden?**

Die früher festgestellte Thatsache, daß bei gegenseitiger Schneidung der Erstlingsachsen selbst bei sehr jungem Alter der Verschmelzlinge bivalente Doppelschalen entstehen, erklärt sich daraus, daß unter solchen Umständen die Kammern bez. Kammerringe, die von den beiden Verschmelzlingen aus gegen einander vorrücken, sich mit ihren peripheren Wänden (nicht, wie dies im vorigen Abschnitt der Fall war, mit ihren radiären) gegen einander stemmen. Der Druck der Zusammenstauung wird sich zwar auch hier in der flüssigen (schaumigen) Sarkode nach allen Seiten hin verbreiten, die aufquellende Sarkode selbst kann aber in keiner anderen Richtung als nach der Mündungsseite hin (welche beim Schneiden der Erstlingsachsen zugleich die Richtung der Stauwirkung ist) entweichen, da sie den porenlosen Schalenrand hinter sich hat, der sie wie eine feste Tüte umgibt und der, wie wir wissen, die Erstlingschalen auszeichnet.

Besonders klar liegen die Verhältnisse, wenn sich die beiden Embryonalkammern unter gegenseitiger Zuwendung ihrer Mündungen direkt berühren, so daß Mündung an Mündung liegt, ohne daß irgendwelche Kammern zwischengeschaltet wären, wie dies z. B. bei dem in Photo 14 abgebildeten Exemplar der Fall, aber nicht photographierbar war. Die Embryonalkammern haben nur eine Mündung, welche am Ende ihres schlauchförmigen Kammerteiles liegt; die Sarkode kann also nicht anderwärts entweichen, wenn sich ihrem Vorquellen aus dieser Mündung ein Hindernis entgegensetzt, sondern sie muß sich an dem Hindernis in die Höhe bäumen, das gilt bei der Zukehrung ihrer Mündungen für beide Embryonalkammern und — die Stauwand entsteht.

#### 15. Kapitel. **Gekreuzte Doppelschalen.**

a) Bei senkrechter Schalenkreuzung (Photo 35) wird so zu sagen der Engpaß zwischen den beiden Verschmelzlingen derart durch die in der Horizontalen und Vertikalen vorwachsenden freien Ränder der Kreuzlinge allseitig abgeschlossen, daß hier (also an der Verlötnungsstelle des Kreuzes) überhaupt keine kammerbildende Sarkode mehr vorquellen kann, sondern dafür die an die Verlötnungsstelle des Kreuzes seitwärts anschließenden Kammern reichlichere Sarkodemengen während ihrer Ausbildung aufnehmen müssen. Das dem Vorquellen der Sarkode entgegenstehende Hindernis ist innerhalb der Verlötnung ein absolutes, so daß (Photo 35) die ursprünglich für die

Kreuzungsstelle bestimmte Sarkode nach den Nachbarkammern überquellen muß.

b) Bei Kreuzungen, die unter einem Kreuzungswinkel von weniger als  $90^\circ$  vor sich gehen, treten folgende Verhältnisse ein. Am Kreuzungspunkt selbst wird die postjugale Zulage neuer Kammern wie bei rechtwinkliger Kreuzung unterdrückt, seitlich davon kommt es in dem Gebiet, wo die beiderseitigen Schalenränder sich überhaupt noch treffen, zu zwei einseitigen Stauwandbildungen, von denen eine nach oben, die der anderen Seite dagegen nach unten gelegen ist, entsprechend den Berührungsflächen der beiden Verschmelzlinge; — Verhältnisse, deren Zustandekommen sich besonders leicht durch das kreuzweise Gegeneinanderdrücken zweier kreisförmiger Plastolinscheiben (Photo 42 c und e) kopieren und mechanisch verständlich machen läßt.

### 16. Kapitel. **Entwicklungsmechanische Schlussbetrachtungen.**

Für die „spontanen“ Verschmelzungen, die früher (p. 235 u. 238) für andere Foraminiferen namhaft gemacht wurden, liegen die Bedingungen zur Erreichung einer univalenten Ausbildung offenbar sehr einfach.

Da sie in jugendlichem Alter (vorwiegend oder ausschließlich als Embryonalkammern) zusammentreten, werden ihre Zelleiber wahrscheinlich schon vor der Schalenabscheidung miteinander verschmelzen (cf. die oben p. 226 citierte Erfahrung JENSEN'S) und die durch Verschmelzung einheitlich gewordene Sarkodemasse wird sich dann auch zur Zeit der Schalensubstanzabscheidung durchaus einheitlich benehmen, d. h. nach der Zusammenschmelzung einheitlich weiter bauen. Es ist in diesem Falle gerade so, als ob man das bei der Kammerbildung austretende Sarkodequantum einfach vermehrt hätte. Daß aber das Sarkodequantum nur dann, wenn verschiedenartig gekrümmte Flußflächen zur Verfügung stehen, „formverändernd“ auf die Kammergestalt mit einwirken können, haben wir p. 248 gesehen, und man wird auch erkennen, daß die gemeinhin kugeligen Embryonalkammern diesen Bedingungen für die Formveränderungen nicht entsprechen; infolge ihrer Kugelgestalt vermögen sie den auf ihnen vordringenden Sarkoderändern nur eine Art von Krümmung, diejenige ihres Kugelradius vorzusetzen.

Überdies kann es bei spontanen Verschmelzungen, bei denen die Verschmelzlinge ja nicht auf einer (als Widerlager für jede Stauwirkung benötigten) Unterlage festgeheftet sind zu keinerlei Stauwirkung kommen, so daß auch darum schon die Entstehung gegen-

einander gestauter (wenn schon partiell verschmolzener) Doppelkammern, wie sie die Bivalenz bei Zwangsverschmelzungen auszeichnen (cf. außer Orbitolites auch die Photo 41 abgebildete Discorbina) nicht zu erwarten sind.

Komplizierter liegen die zur Erreichung der „Univalenz“ notwendigen Bedingungen für die „Zwangsverschmelzungen“ der Orbitolites.

Wenn man die für die verschiedenen Kategorien der Orbitolites-Doppelschalen gegebenen Erklärungen miteinander vergleicht, so wird man finden, daß eine univalente Ausbildung derselben nicht schlichtweg, wie ich früher glaubte (01 p. 27), von der Jugend der Verschmelzlinge, sondern auch von der Lagerung ihrer Erstlingsachsen abhängig ist und daß sie weiterhin nur dadurch ermöglicht wird, daß sich die frühesten Kammerringe — anders als die späteren — armspangenartig von den Seiten her um den Erstlingsteil der Schale herum zum Verschuß zusammenlegen. Die Verschmelzung jugendlicher Orbitoliten zur Univalenz ist demnach an ganz bestimmte mechanische Bedingungen geknüpft.

Vergleicht man hiermit dasjenige, was seither von den Rieseniern der *Ascaris* und den Verschmelzungen der Echinidenblastulae bekannt geworden ist, die ja gleichfalls Zwangsverschmelzungen vorführen, so darf man wohl auch für sie annehmen, daß zu ihrer Bildung ganz bestimmte Bedingungen erfüllt sein müssen, denn in ein und demselben Wurm bzw. in der auf ein und dieselbe Weise behandelten Kultur der Echiniden-Blastulae ist es immer doch nur ein geringer Prozentsatz, welcher zur Univalenz verschmilzt; die Mehrzahl der Eier desselben Wurmes, die Mehrzahl der Echinidenblastulae, die ganz in gleicher Weise behandelt sind, wie die verschmolzenen, erreichen die Univalenz nicht; weil offenbar für sie die Bedingungen hierzu nicht erfüllt waren. Natürlich hätte ein weiterer Vergleich unserer Doppelschalen mit den genannten Doppelbildungen bei den Metazoen nur dann Sinn und Zweck, wenn man auch für die Metazoen die Verschmelzungsbedingungen ebenso genau kennen würde, wie jetzt diejenigen der Orbitolitesverschmelzungen. Das ist leider nicht der Fall; auf hypothetische Vergleichen müssen wir aber verzichten.

Kann somit zwar nicht gesagt werden, in wie weit die vorliegende Untersuchung auch für die Entwicklungsmechanik der Metazoen in dieser oder jener Richtung nutzbar gemacht werden kann, so betrachte ich es doch ferner als ein beachtenswertes Ergebnis, daß das Studium der Doppelschalen eine große Unab-

hängigkeit der späteren Ausbildung der Schale von den ursprünglichen Ausgangszuständen derselben ergeben hat. Für alles, was später Neues an der Schale angebaut wird, ist nur das direkt Vorhergehende, das direkt von dem Neuhinzukommenden Berührte maßgebend, nicht aber das, was ursprünglich im Plane der Einzelschalen vor der Verschmelzung lag — nicht also die prospektive Bedeutung der Einzelschale, um in DRIESCH'S Nomenklatur zu reden. Nur weil die zuerst in Kollision geratenen, äußersten Kammerringe älterer Verschmelzlinge sich aus dem zwischen den Schalen befindlichen Engpaß heraushoben, da sie sich gegenseitig bei ihrer Vorquellung aus den Randporen bedrängten und in dem Engpaß nicht nebeneinander Platz finden konnten, hat sich bei bivalenten Schalen die Stauwand gebildet. Die gegeneinander vorquellenden Sarkodemassen haben sich infolge ihrer „plastischen“ Eigenschaften (cf. p. 239) aus der Stauenge heraus hochgestülpt, indem die eine Sarkode auf die andere als Hindernis wirkte. Auch von jedem anderen Hindernis würde das Gleiche gelten, wie z. B. das Exemplar Photo 37 bei LL<sub>1</sub>, derartige in der Photographie schwarz erscheinende Emporwallungen des peripheren Schalenrandes zeigt, welche durch besondere Protuberanzen der Alge, von welcher ich das Tier losmachte, veranlaßt worden waren. Die Stauwandbildung ist nicht erfolgt, wie ich früher selber irrigerweise geglaubt habe (01, p. 27), weil jeder Verschmelzling bis zuletzt seine Individualität aufrecht zu erhalten sucht, sondern weil in einem vorübergehenden Zeitpunkt bei der Bildung der Kollisionskammern sich die Kammern der Verschmelzlinge gegenseitig als Hindernisse begegneten, und weil die späteren Kammerringe die von den Kollisionskammern für die Stauwand angegebene Richtung (diejenige der Stauwand) beibehalten mußten; denn für die Lage der neu gebildeten Kammern ist stets nur die von der Sarkode berührte Flußfläche maßgebend; und die kammerbildende Sarkode, die aus den Kollisionskammern hervorquillt, mußte naturgemäß auch auf den Wandungen der Kollisionskammern ihre neuen Kammerwände aufsetzen. So begreift es sich leicht, daß die Stauwandbildung und hiermit die bivalente Ausbildung der Doppelschalen unterbleibt, sobald die Erstlingskammern und die ersten, armspangenartig sich schließenden Kammerringe sich beiderseits nicht als Hindernisse entgegneten, sondern sich gegenseitig in den vorhandenen Raum ohne weitere Druckwirkung einlagern können, wie dies nach unseren Untersuchungen dann der Fall ist, wenn sich die beiderseitigen Erstlingsachsen nicht schneiden; in diesem Falle stauen sich keine Kammern auf; fehlt aber die Aufstauung

zur Begegnungszeit, so wird sie auch später niemals nachgeholt. Die Verschmelzlinge tragen — wenn ich mich so ausdrücken darf — keinen bestimmten Plan in sich, den sie unter allen Umständen nach Möglichkeit durchzuführen suchen, sie sind nicht „teleologisch (mit Endabsichten) geladen“ (sit venia verbo), sondern sie assimilieren und wachsen und setzen während ihres Wachstums neue Kammern an, die nicht nach Maßgabe eines inhärenten Planes, sondern einzig und allein nach Maßgabe der auf p. 247 u. 248 namhaft gemachten mechanischen, dem zähflüssig-wabigen Zustand der Sarkode entsprechenden Faktoren ihre Anordnung erhalten. Daß diese Faktoren unter normalen Umständen, d. h. bei gewöhnlichen Einzelindividuen, immer das Gleiche oder doch im Rahmen der individuellen Variation Ähnliches hervorbringen, ist selbstverständlich, weil gleiche Faktoren unter gleichen oder ähnlichen Bedingungen selbstredend auch Gleiches und Ähnliches liefern werden. Falsch aber wäre es, zu glauben, daß das normalerweise von den Einzelschalen gelieferte einem der lebenden Materie in irgend welcher Weise inhärenten Plane entspräche oder daß ein bestimmtes Gerichtetsein der Einzelteilchen der Sarkode vorläge. Wäre letzteres der Fall, dann müßten alle Doppelschalen bivalent sein, weil jede Partnerin der Doppelschalen für sich ihren Plan durchzuführen bestrebt sein müßte, dann müßten die zerbrochenen Schalen sich wieder nach demselben Plan regenerieren, während sie sich tatsächlich an das Frühere gar nicht kehren, und könnten die Spaltungsmonstra nicht so planvergessen ihre zufällig erhaltenen Spaltungen selbständig weiterbauen, sondern sie müßten die Spaltung zu redressieren streben.

Die gewonnene Einsicht, daß das jugendliche Individuum in seinem Werdegang nicht teleologisch nach seinem späteren Ziele hinarbeitet, überhebt uns auch der an unserem Material nicht zu entscheidenden Frage, ob die zu univalenten Doppelschalen zusammen tretenden jugendlichen Schalen etwa aus einem oder ob sie aus verschiedenen Muttertieren herkommen, denn unter allen Umständen reagiert das Zusammentretende rein physikalisch. Daß die Verschmelzung erfolgt, ist für jede Doppelschale Vorbedingung, und es ist für den weiteren Schalenausbau nicht von Belang, ob die Verschmelzung sofort (wie wahrscheinlich bei den Abkömmlingen einer Mutter) oder erst nach gegenseitiger Aneinandergewöhnung eintritt, wie wir für die aus verschiedenen Muttertieren stammenden Verschmelzlinge annehmen mußten (cf. p. 227). Von Wichtigkeit ist nur, daß die beiden Verschmelzlinge ihren nach bestimmten physikalischen Gesetzen reagierenden Zelleib mitbringen. Die Entstehung

der verschiedenen Doppelschalen ist mit anderen Worten ein rein mechanisches Problem, bei dem es auf die intimste Innenstruktur der Sarkode, die bei verschiedenen Individuen, wie ich mit JENSEN überzeugt bin, niemals ganz die gleiche sein wird, im großen und ganzen gar nicht ankommt; denn auch an sich verschiedene Substanzen können mechanisch in gleicher Weise reagieren, wie ich mehrfach in meinen früheren Arbeiten aus einander gesetzt habe, sofern nur ihre Aggregatzustände die nämlichen sind. Wir haben in dem Verhalten der Doppelschalen die Wirkung zähflüssig-wabig gebauter Massen erkannt, die den von ihnen abgeschiedenen Schalenkalk, sobald sie in den Zustand der Kammerbildung eintreten, stets mit demselben für die Species konstanten Randwinkel berühren.

Die Kerne greifen in keiner Weise direkt unmittelbar mit irgend einer mechanischen Kräfteart in die Gestaltungsformen der Schale ein, sondern diese werden unmittelbar nur in der entwickelten Art und Weise von dem Protoplasmaleib der Foraminifere bestimmt; und ich bin der Überzeugung, daß diese Erfahrung nicht nur für die Foraminiferen gilt, sondern daß die Gestaltungsform des Zelleibes ganz allgemein, auch bei den Metazoen und deren Entwicklung, von dem Zelleib selbst bzw. den Spannungsverhältnissen, die in seinen Substanzkategorien nicht in den Kernsubstanzen herrschen, bestimmt wird, wie ich früher schon für die Nematodenblastomeren erwiesen zu haben glaube (RHUMBLER 01). Die Kerne sollen hiermit in ihrer Bedeutung nicht degradiert werden. Daß sie Wesen und Eigenart ihren Zelleibern aufzuprägen vermögen, beweist BOVERI's bekannter Versuch mit bastardierten Eibruchstücken der Seeigel, und daß sie hochwichtige unentbehrliche Bestandteile der Zelle darstellen, geht aus allem hervor, was wir über die mit ihrer Entfernung verbundenen Ausfallerscheinungen (VERWORN) und über ihre Ubiquität wissen. Nach meiner Überzeugung greift der Kern in kurzweg alle Lebenserscheinungen irgendwie notwendig ein, aber nicht mechanisch als Kraftzentrum, sondern als Lieferant von unentbehrlichen hochwichtigen Stoffen, ohne die kein wesentlicher Bestandteil der Zelle auf die Dauer existieren und mechanisch arbeiten kann.<sup>1)</sup> Diese Auffassung des Kernes mag wie eine wenigbesagende Umschreibung klingen, denn wenn der Kern zu allem notwendig ist, dann muß er auch in alles mit eingreifen, so könnte man denken, und es erscheint zunächst belanglos, ob man dieses Eingreifen als unmittelbar oder mehr oder weniger mittelbar ansieht. Das ist aber keineswegs der Fall,

<sup>1)</sup> Einige weitere Ausführungen hierüber finden sich im Anhang Nr. III.

es handelt sich im Gegenteil um eine prinzipiell wichtige Auffassung.

Denn ist der Kern bloß Stofflieferant und werden die Gestaltungsformen der Zellen und hiermit auch die Gestaltungsformen der Zellaggregate, z. B. der Blastulae, der Gastrulae etc. etc., nur von den Spannungen innerhalb der Zelleiber (inkl. der offenbar sehr wichtigen Zelloberfläche) und den Aggregaten als solchen, nicht aber von den Kernen bestimmt, dann ist es mit einemmal begreiflich, warum die verschmolzenen Rieseneier der *Ascaris* univalente Embryonen liefern. Die Kerne sind dann zwar doppelt, aber da sie gar nicht nachweislich in den Entwicklungsgang eingreifen, entsteht nichts Doppeltes, sondern es ist einfach jetzt die doppelte Kernstoffmenge für eine doppelt so große Eizelle vorhanden. Der Protoplasmaleib des Dopeleies ist mechanisch, aber zunächst nichts weiter als ein wabig gebauter, aus einer zähflüssigen und einer minder zähflüssigen Masse komponierter Schaum, dessen Spannungsverhältnisse es mit sich bringen (vgl. meine früheren Arbeiten über Zellteilung), daß er von den imbibitionsfähigen Centrosomen<sup>1)</sup> in zwei Zellen geteilt werden kann, und dasselbe gilt dann für jede der beiden durch die Teilung entstandenen Zellen von neuem, auch sie werden mechanisch wieder geteilt u. s. f. So entsteht ein Zellaggregat, dessen Zusammenordnung neue Spannungen mit sich bringt, die dann im Verein mit den Spannungen im Inneren der Zelle zur Gastrulation und späterhin zu den weiteren Gestaltungsvorgängen des Embryos führen. Isolierte Blastomeren stellen in dieser Auffassung das Gleiche, nur entsprechend kleinere mechanische Systeme dar wie eine gewöhnliche Eizelle oder ein Dopelei, so daß es gar nicht zu verwundern ist, daß das Gleiche, nämlich erstlich 2, dann 4 u. s. f. Zellen und schließlich einen einheitlichen Embryo zu liefern vermögen.<sup>2)</sup> So verliert die Entwicklungsmöglichkeit verschmolzener

<sup>1)</sup> Unter Beihilfe der durch den Teilungsmechanismus zu bestimmter Zeit aus dem Stoffmagazin „Kern“ heraus an die richtige Stelle (Durchschnürungsäquator) fortgedrängten Kernsubstanzen.

<sup>2)</sup> Daß Vereinigungen von Eizellen und die Isolierung der Blastomeren nicht ins Uneingeschränkte fortgeführt werden darf, ohne die Entwicklungsfähigkeit zu beeinträchtigen oder ganz zu inhibieren, ist a priori voranzusehen, da die bei der Zellmechanik in Betracht kommenden Spannungen, soweit wir wissen, fast durchweg Oberflächenspannungen sind, die unter sonst gleichen Umständen und gleichbleibendem Material von dem Krümmungsradius der Oberflächen und folglich auch von der Größe der Zellen abhängig sind. Die Leistungsfähigkeit der Spannungen in der Oberfläche nimmt im großen und ganzen mit der Größe der Zellen ab; andererseits beansprucht die Durchteilung der Zellen einen um so größeren Kräfte-

Eier oder verschmolzener Embryonalgebilde und diejenige isolierter Blastomeren zu Einheitsbildungen an Merkwürdigkeit und gewinnt an Verständlichkeit, wenn man seine Blicke nicht auf das Endresultat hin richtet, sondern, wie wir es für Orbitolites gethan haben, zunächst fragt, was direkt während und nach der Verschmelzung eintritt, und welche neuen mechanischen Bedingungen durch die Verschmelzung bzw. durch die Isolierung für die Einzelzelle gesetzt werden.<sup>1)</sup>

Eine isolierte Blastomere ist eine Zelle, die sich in zwei Zellen teilt, ebenso wie das befruchtete Ei eine solche ist, und dasselbe gilt, wenn zwei Eizellen zu einer Zelle verschmolzen sind.

Dieser Hinweis auf die Bedeutung des der Verschmelzung oder einem anderen Vorgang oder künstlichen Eingriff sich zunächst anschließenden Geschehens erscheint mir neben dem Abweis einer teleologischen Entwicklungstendenz im Orbitoliteskörper als die Hauptfrucht meiner diesmaligen Untersuchungen und mechanischen Analysen.

Man sollte auch von dem befruchteten Ei nicht sagen, daß es das spätere Individuum hervorbringe, sondern sollte die Befähigung des Eies nicht weiter abstecken als die persönliche Existenz der Eizelle dauert, also bis zur ersten Teilung des Eies. Mit der ersten Teilung hat die persönliche Befähigung der Eizelle ihre Grenze erreicht, jedoch reiht sich alsdann die Befähigung der aus der Eizelle hervorgehenden Blastomeren generation successive an, die das Überkommen nach ihren neuen Verhältnissen in neue Bahnen leitet und auf höhere kompliziertere Stufen hebt, entwickelt (vergleiche das Kapitel: Über den Mechanismus, welchen die steigende Komplikation der Embryonalzellen während der Ontogenie besorgt“ in RHUMB. 99, p. 227). Es ist nicht richtig, daß das befruchtete Froschei eine Kaulquappe oder gar einen Frosch hervorbringt, es bringt die beiden ersten Frosch-Eiblastomeren hervor, sonst nichts, nur dadurch, daß die beiden ersten Froschblastomeren die Fähigkeit besitzen, sich weiter zu teilen, d. h. in neue Blasto-

aufwand, je kleiner dieselben sind. Es darf also die Eizelle, die sich normal teilen und weiter entwickeln soll, weder eine obere noch eine untere Grenzgröße überschreiten, die natürlich für verschiedene Eier eine verschiedene sein kann, je nach Plasmaart und begleitenden Nebenumständen.

<sup>1)</sup> Daß die Zahl derartiger neuer Bedingungen während der Normalentwicklung oder durch künstlichen Eingriff eine sehr große sein kann, ist selbstverständlich. Eine sehr schöne Reaktion der Blastomeren auf Außenbedingungen hat uns neuerdings MAASS bekannt gegeben (01).



merengenerationen überzugehen, mit wieder neuen Fähigkeiten entsteht nach langer Zeit, nach vielen, vielen mechanischen Geschehnissen und stofflichen Umwandlungen die Froschquappe und schließlich der Frosch. Von dem künftigen Frosch selbst ist in dem Ei allem Ermessen nach gar nichts enthalten, das Ei enthält, ich wiederhole, bloß die Potenz zur Hervorbildung der beiden ersten Blastomeren, die natürlich an sich als Froschblastomeren typisch sind, d. h. eine gewisse chemische und dadurch auch mechanische (cf. das im Anhang III über Oberflächenenergie Gesagte) Besonderheit besitzen, die nur den Blastomeren der betreffenden Froschart zukommen, und die natürlich schon durch die Komposition des Eies selbst gegeben sind, und sich durch die ganzen Generationenkette der Embryonalzellen, wenn auch unter steter Umwandlung, fortsetzen.

Es wäre meiner Überzeugung nach aber durchaus falsch, wenn man, wie vielfach geschehen ist, in betreff dieses Typischseins behaupten wollte, daß beispielweise ein Hühnerei in seiner intimen Struktur schon ebenso sehr von einem Eidechsenei verschieden sei, wie das fertig gebildete Huhn von der fertig gebildeten Eidechse.<sup>1)</sup>

Es ist keine Frage, daß der Zellteilungsmechanismus, wie ich ihn in verschiedenen Arbeiten zu beleuchten versucht habe, dem Entwicklungsgang ein Mittel in die Hand giebt, auch die allergeringsten im Ei vorhandenen chemischen Unterschiede im Laufe der Zellteilungen, welche nach meinem früheren Erklärungsversuch den Zellen ihr Gepräge aufdrücken, zu immer größer werdenden mechanischen Verschiedenheiten und Besonderheiten auszubilden. Was später als Endeffekt in den ausgebildeten Tieren als außerordentlich verschieden erscheint, kann in den beiderseitigen Eiern in einer minimalen Verschiedenheit (ja von theoretischer Seite aus durch die besondere Komposition weniger Moleküle) bewirkt worden sein; dabei ist es vom mechanischen Standpunkt aus durchaus nicht notwendig, daß jede körperliche Verschiedenheit zwischen zwei ausgebildeten Teilen, also jede Besonderheit des Einzeltieres auch bereits im Ei ihre besondere Vertretung habe. Es liegt vielmehr auf der Hand, daß bei der Wechselwirkung der Organe eine geringe Besonderheit in einem Organe uneingeschränkt viele Besonderheiten in anderen nach sich ziehen kann.

<sup>1)</sup> Hiermit stimmen die Resultate MATTHEW's gut überein, welcher das Chromatin der Spermatozoen der höheren Tiere nicht chemisch komplizierter fand, als dasjenige der niederen, und vor allem auch nicht komplizierter als dasjenige der späteren Zellgenerationen des ausgebildeten Tieres, wie es jede evolutionistische Entwicklungstheorie zur Voraussetzung nehmen müßte.

Wenn WEISMANN u. a. für jede spätere Besonderheit des fertig entwickelten Tieres bereits Vertretungen im Ei angenommen hat,<sup>1)</sup> und hierdurch zu unmöglich komplizierten Entwicklungsmechanismen gelangt ist, so hat ihn der Blick auf das Endresultat (auf das fertige Tier) hierzu verführt, und dieselbe Betrachtungsweise droht jetzt andere Forscher (wie ich nicht zweifle) in die Irre zu leiten, indem sie Zielstrebigkeit in der Entwicklung erblicken, weil sie selbst das Ziel des vollendeten Entwicklungsganges vor Augen haben. Gerade in diesem Punkte kann uns Orbitolites noch einmal als Beispiel dienen. CARPENTER, PARKER und JONES (62, p. 120) welche bereits die Regenerationsvorgänge der Orbitoliten richtig geschildert, wenn auch nicht erklärt haben, kommen durch das Endresultat verblendet zu dieser Auffassung: „*the reparative nismus*“<sup>2)</sup> seems always to tend towards the production of a disk, whose shape shall approach the circular, whatever may be the form of the fragment which serves as its foundation.“ Sie haben also an demselben Objekt und an den gleichen Geschehnissen die Wirkung eines Regenerationstriebes erkennen zu dürfen geglaubt, der mich zu gegensätzlichen Überzeugungen geführt hat. Ihr reparativer Nismus zerstiebt vor der rein sachlichen, von Stufe zu Stufe durchgeführten mechanischen Analyse und an seine Stelle treten sehr einfache mechanische Gesetze, wie ich als sicher dargethan zu haben glaube. Daß diese Gesetze (Gesetze der Flüssigkeitsspannungen) sowie der von ihnen geleitete Mechanismus sehr einfache sind, ist an sich gar nicht merkwürdig, denn einmal legt die Einfachheit des Mechanismus der Komplikation der chemisch-intimen Struktur der lebenden Materie keinerlei Schranken auf (RHUMBLER 99b) und zum anderen, was fast noch wichtiger ist, funktioniert ganz allgemein ein Mechanismus um so besser und sicherer je einfacher er ist. Der Astronom z. B. benutzt zu seinen Beobachtungen, deren Wert von einer genauesten Zeitbestimmung abhängig ist, nicht eine möglichst komplizierte, sondern eine möglichst einfache (wenn schon in ihrer Einfachheit mit penibelster Akkuratess ausgeführte) Uhr, weil er weiß, daß jede nicht unbedingt nötige Zuthat die Quelle von Störungen werden kann. Je einfacher je besser, gilt auch für den Mechanismus der lebenden

<sup>1)</sup> Wer derartige Vertretungen im Ei als Notwendigkeit annimmt, ist Evolutionist und muß konsequenterweise entsprechende Vertretungen auch in allen vorwärtigen Instanzen bis zur Stammutter Eva zurück annehmen. Diese alte Absurdität gilt in entsprechender Modifikation auch für die modernen Evolutionisten.

<sup>2)</sup> Auch im Original kursiv gedruckt.

Materie, und es ist ein ganz irreleitendes Gefühl, das uns glauben machen will, die soviel vermögende lebende Substanz könne nicht durch einfache Gesetze regiert werden. Die natürliche Zuchtwahl hat lange genug über der lebenden Substanz gewacht, um aus ihr die sichersten Mechanismen hervorzuzüchten, und diese sind immer die einfachsten. JAMES WATT soll einmal bei dem Anblick einer Maschine gesagt haben: „Wie schwer muß es gewesen sein, diese Maschine zu erfinden, da sie so einfach ist.“ Es ist ein Anzeichen von Stümpertum, mit komplizierteren Mitteln das zu erreichen, was sich mit einfacheren Mitteln erzielen läßt, die Werke der Natur sind aber keine Stümperarbeiten. Aus der Einfachheit der in vorliegender Arbeit gegebenen mechanischen Analysen ergibt sich somit ihre große Wahrscheinlichkeit und hiermit ihre wissenschaftliche Berechtigung.

#### Anhang I.

#### Mafsangaben für Orbitolites duplex Carp.

(zum Nachweis dafür, daß die Doppelschalen weder den doppelten Durchmesser der einfachen besitzen noch daß die Stauwandbreite bivalenter Doppelschalen der doppelten Höhe von Einzelschalen entspricht).

#### a) Zwölf gewöhnliche Einzelschalen.

Durchm. mm	Höhe mm	Durchm. mm	Höhe mm	Durchm. mm	Höhe mm	Durchm. mm	Höhe mm
3,1	0,190	3,0	0,204	3,0	0,200	2,9	0,238
2,9	0,258	3,0	0,126	3,0	0,181	3,1	0,200
3,5	0,117	2,1	0,143	2,8	0,247	2,9	0,190
Sa. 9,5	0,565	8,1	0,473	8,8	0,628	8,9	0,628

$$\text{Im Mittel: Durchmesser also: } \frac{9,5 + 8,1 + 8,8 + 8,9}{12} = \frac{35,3}{12} = 2,9 \text{ mm}$$

$$\text{Schalenhöhe: } \frac{0,565 + 0,473 + 0,628 + 0,628}{12} = \frac{2,294}{12} = 0,191 \text{ mm.}$$

## b) Zwölf univalente Doppelschalen.

Lfd.- Nr.	Photo	Größter Durch- messer der Doppelschale mm	Größe der Embryonal- kammern a. b.		Anzahl der prüfungen Kammer- lagen a. b.		Winkel der Erstingen- achsen α. β.		Anzahl der postjugalen Kammer- ringe	Besondere Bemerkungen
			mm	mm						
1	7	2,1	0,247	0,238	0	0	315°	90°	ca. 27	vollständig eben.
2	11	3,2	0,266	0,2	0	0	90°	325°	ca. 26	eben.
3	(sehr ähnlich 11)	3,8	0,19	0,19	0	0	ca. 90°	225°	ca. 31	eben.
4	4	2,8	0,219	0,209	2	1	135°	90°	ca. 20	eben.
5	(ähnlich 10)	2,8	0,209	0,181	0	0	180°	5°	ca. 20	lacinierte Wand parallel zur Verbindungsschse.
6	8	2,6	0,19	0,162	2	0	100°	270°	ca. 20	Trichterfalte am Rande (Photo 8).
7	9	2,7	0,2	0,2	0	0	45°	315°	ca. 22	lacinierte Ekrescenz über der Verschmelzungsnahst bis zum Rande.
8	10	2	0,219	0,171	0	0	170°	135°	ca. 20	lacinierte Ekrescenz über der Verbindungsschse (Photo 10).
9	(sehr ähnlich 10)	2,8	0,162	0,162	0	0	90°	270°	ca. 20	do.
10	12	3,6	0,228	0,219	2	1	85°	260°	ca. 22	2. Radialfalten Photo 12.
11	5	3,9	0,257	0,228	2	2	135°	280°	ca. 23	eben, nur Rand gekerbt (Photo 5).
12	3	(3)	(0,209	0,2)	0	0	(ca. 25°	ca. 315°)	(ca. 22)	eben, nur Rand gekerbt.

Die Messungen von Nr. 12 sind nach der Photographie vorgenommen, da das Originalexemplar verloren ging.

Durchschnitt = 2,9 mm (zufällig genau) genau der- selbe Wert wie in Tabelle a.	Durch- schnittlich Größe: 0,206.	Im ganzen nicht über 4.	Summe $\alpha + \beta = >$ 180°.	Durch- schnittlich 22,7.
--	---	----------------------------	--	--------------------------------

c) Bivalente komplanale Doppelschalen  
mit weniger als 4 präjugalen Kammern.

Lfd. Nr.	Photo	Größter Durchmesser der Doppelschale mm	Größe der Embryonalkammern		Anzahl der präjugalen Kammerlagen		Winkel der Erstlingsachsen		Anzahl der postjugalen Kammerlinge	Breite der Stauwand	Besondere Bemerkungen
			a.	b.	a.	b.	$\alpha$ .	$\beta$ .			
13	14	1,9	0,219	0,219	0	0	45°	10°	ca. 15	0,276	keine freien Randringe.
14	(ähnlich 14)	2,1	0,238	0,171	2	0	10°	90°	ca. 15	0,228	3 freie Randringe.
15	(ähnlich Photo 16; aber Embryonalkammern dicht zusammen unter der Stauwand)	2,2	0,171	0,171	1	0	35°	135°	ca. 20	0,219	auf der einen Seite 12, auf der anderen 6 freie Randringe.
16	15	3	0,19	0,181	1	1	0°	10°	ca. 21	0,257	keine freien Randringe.
		Mittel 2,3 mm			weniger als 4		$\alpha + \beta = < 180^\circ$			Mittel 0,245	

## d) Bivalente komplanale Doppelschalen

No.	Photo	Größe in mm	Zahl der präjugalen Kammern			Größe der Embryonal- kammer		Abstand
			a	b	a + b	E	E <sub>1</sub>	
17	24	3,3	16	6	22	0,19	0,19	0,827
18		2,8	10	6	16	0,266	0,19	0,603
19		3,2	8	6	14	0,2	ca. 0,161	0,399
20		3,7	13	6	19	0,238	0,238	0,76
21		2,3	11	8	19	0,266	ca. 0,208	0,603
22		2,9	5	4	9	0,238	0,219	0,342
23	16	3,2	5	5	10	0,257	0,304	0,38
24		3	23	1	24	0,238	0,2	0,76
25		3	5	ca. 5	10	0,2	0,19	0,428
26		3	13	5	18	0,257	0,219	0,665
27		4 (defekt)	6	5	11	0,247	0,2	0,314
28		3,1	5	4	9	0,19	0,209	0,266
29		2,1	11	5	16	0,19	ca. 0,2	0,57
30		3,2	7	5	12	0,19	0,2	—
Sa. 42,8 Mittel 3,057						Durchschnittliche Größe 0,217		

mit mehr als 4 präjugalen Kammerlagen.

Ungefähre <sup>1)</sup> Anzahl der postjugalen Kammern.	Breite der Stauwand.	Zahl der freien Randringe.	Ausbildungstypus der Doppelschale.
30,5	0,19	5 auf der einen Seite, auf der anderen keine	inäqual; Stauwand nach b zugeneigt und konkav eingebogen
24	0,117	4	do.
16,5	0,238	8 einerseits, 3 andererseits	fast äqual, nur ganz wenig b zugeneigt und konkav eingebogen
21	0,19	keine	stark inäqual (Randtrichter)
15,5	0,181	keine	inäquale Stauwand nach b zugeneigt und konkav eingebogen
21	0,19	keine	do.
19	0,285	6 einerseits, 4 andererseits	äqual (zweifächeriges Salzfaß)
21,5	0,126	keine	stark inäqual (Randtrichter)
22	0,276 oben 0,143 unten	keine	Doppelschale mit Stauwand nach zwei Seiten, die obere größere Stauwand etwas nach a hingeneigt
16,5	0,219	5 einerseits, andererseits keine	inäqual (Randtrichter)
ca. 23	0,19	keine	fast äqual
21	0,2	einerseits 11, andererseits 5	äqual (zweifächeriges Salzfaß)
13	0,285	keine	inäquale Stauwand nach b zugeneigt und konkav eingebogen
25	0,238	einerseits 6, andererseits keine	do.
	Sa. 3,068 Mittel 0,204		

<sup>1)</sup> Da die Anzahl der postjugalen Ringe wegen Randschädigungen und gelegentlichen lokalen Verkümmern der Ringe sich nicht genau angeben ließ, wurden die Zählungen in möglichst verschiedenen Radien vorgenommen, und dann das Mittel aus diesen Zählungen für jede Schale in die Tabelle eingesetzt.

e) Zusammenfassung.		
Abschnitt	Größe in mm.	Stauwandbreite
b	2,9	—
c	2,3	0,245
d	3,057	0,204
Mittel: 8,257 = 2,752		Mittel: 0,449 = 0,2245
3		2

2,752 sogar etwas kleiner als der Durchmesser der Einzelschalen (= 2,9 mm).

0,2245 = etwas mehr als die durchschnittliche Schalenhöhe gewöhnlicher Einzelexemplare (= 0,191 mm) aber nicht das Doppelte, welches 0,382 mm betragen müßte. Differenz vom Einfachen: 0,0335. Differenz vom Doppelten: 0,1575.

Die Vergleichung der gemessenen beliebig aufgegriffenen Einzel- und Doppel-Schalen ist zulässig, da es sich in allen Fällen um Exemplare handelt, die in durchaus normaler Umgebung ihr Leben zu Ende geführt haben und abgestorben sind, so daß nicht verschiedene Altersstufen durch einander geworfen sind.

#### Anhang II.

**Versuch einer mechanischen Erklärung der Wanderungen der Kerne nach den Stellen hin, wo die von ihnen produzierten Stoffe gebraucht werden.**

(Zu p. 247.)

Die Mechanik der Kernwanderungen läßt sich auf Grund des von mir früher aufgestellten Import- und Export Gesetzes (RHUMBLER 99, p. 512) ableiten, wenn man die Umgrenzung des Kernes für zähflüssig oder von einem gelatinösen Aggregatzustand gelten läßt. Sollen zunächst die Substanzen, die der Kern zur Schalensubstanz liefern muß, aus dem Kern austreten, so ist hierzu physikalisches Erfordernis, (vergl. RHUMBLER 98 oder 99 p. 592 und 593), daß die Adhäsion der austretenden Substanzen zu dem Plasmaleib, in den sie übertreten, größer ist als ihre Adhäsion zu der Kernsubstanz, und größer als die Kohäsion der Substanzen, mit welchen sie innerhalb des Zelleibes in Berührung kommen. Würden diese Bedingungen aber für die ausgetretene Substanz nach ihrem Austritt aus dem Kern erfüllt bleiben, so müßte der Kern von seinen Abscheidungen



wegwandern, denn seine Oberflächenspannung (die gleich der Kohäsionsspannung in der Oberfläche minus der Adhäsionsattraktion nach dem angrenzenden Medium ist), würde auf der Abscheidungsseite vermehrt, da hier die Abscheidungen mit besonders geringer Adhäsion zur Kernoberfläche angehäuft sind, so daß die Wirkung der Kohäsionsspannung in der Kernoberfläche stärker hervortreten müßte.

Soll nun der Kern von seinen Abscheidungen sich nicht entfernen, sondern soll er im Gegenteil nach der Abscheidungsseite hinwandern, so ist hierfür zweite physikalische Bedingung, daß im Zelleib eine chemische Umwandlung der Kernabscheidungen vor sich geht, welche die Adhäsion der umgewandelten Substanzen zum Kern wieder steigern, denn dann wird die Oberflächenspannung des Kerns auf der Abscheidungsseite wieder verringert, weil die Adhäsion größer wird und der Kern wandert (bei ausreichendem Grade dieser Verringerung) seinen Abscheidungsprodukten nach; werden die Abscheidungsprodukte durch geeignete Adhäsions- und Kohäsionsverhältnisse (cf. RUMBLER 98 p. 324) nach bestimmten Stellen der Oberfläche hingezogen, so folgt ihnen der Kern also nach: der Kern bewegt sich nach der Baustelle hin. Die hier in ihre zwei Komponenten zergliederten Bedingungen (Exportbedingungen für die Kernabscheidungen und chemische Umwandlung derselben im Zelleib in Substanzen von gesteigerter Adhäsion zum Kern) können durch eine einzige chemische Zusammenarbeit von Kern und Zelleib erfüllt werden, ja die erste Bedingungsreihe (Exportbedingungen für die Substanzen aus dem Kern heraus) macht von vornherein die zweite (chemische Umwandlung im Zelleib) sehr wahrscheinlich, denn chemische Umwandlung hat immer große Adhäsionen zwischen den chemisch wirksamen Stoffen zur Voraussetzung.

Wenn die Adhäsion der Kernabscheidungen zu den Zelleibstoffen nicht größer wäre, wie die Kohäsion der Zelleibstoffe, dann könnte eine chemische Umwandlung nicht stattfinden, denn die gegenseitige Adhäsion „chemisch aufeinander wirkender“ Stoffe muß notgedrungen größer sein als ihre Kohäsionen; die chemisch wirkenden Moleküle werden ja von den zwischen ihnen wirksamen Adhäsionen (in bezug auf die Moleküle Affinitäten genannt) aus einander gerissen, d. h. ihre Kohäsionen werden überwunden und nach Maßgabe ihrer Adhäsionen fügen sich die von einander getrennten Moleküle, Ionen oder Atome, zu neuen Körpern zusammen. (Die neuen Moleküle

werden so zusammengesetzt, daß sie *ceteris paribus* diejenigen Atome zusammenlagern, die die größte Adhäsion zu einander haben.<sup>1)</sup>

Die chemische Umwandlung hat also die Erfüllung der Exportbedingung zur Voraussetzung; der Export aber nicht die nachfolgende chemische Umwandlung; nehmen wir aber für unseren Fall diese chemische Umwandlung im Zelleib nicht an, so verzichten wir auf eine naheliegende Erklärung der Kernwanderung, während sich alles in einfachster — und deshalb auch in wahrscheinlichster Weise erklärt, wenn wir die chemische Umwandlung der Kernabscheidungen zugeben, die von vornherein wahrscheinlich ist, weil wir uns auch sonst Kern und Zelleib in chemischer Stoffwechselwirkung vorstellen (cf. VERWORN 01 p. 536).

---

### Anhang III.

#### Die Art des Eingreifens des Kerns in die mechanische Arbeit der Zelle.

(Zu p. 276.)

Die Energieart, die bei den formgebenden Entwicklungsvorgängen der metazoischen Frühstadien in Wirkung ist, ist unverkennbar — ebenso, wie aus unseren Untersuchungen der Orbitoliten klar hervorgeht, — ausschließlich oder doch vorwiegend die „Oberflächenenergie“ (cf. OSTWALD 99) der Flüssigkeiten; und zwar nicht nur Oberflächenenergie der Zelloberflächen, sondern auch diejenige der in dem Alveolenwerk der Zelle enthaltenen Wabeninhaltsmassen, bez. die Energie der Grenzflächen „Wabeninhalt-Wabenwand“. Die Oberflächenenergie ist nun unter sonst unveränderten Bedingungen von der chemischen Natur der flüssigen Oberfläche abhängig; jede chemische Veränderung im Innen- oder Außenmedium einer flüssigen Oberfläche<sup>2)</sup> muß auch die Energie der Oberfläche verändern und jede Energieveränderung kann bekanntlich direkt oder, falls es sich um Zufügung von potentieller Energie handelt, auch später in Arbeit

---

<sup>1)</sup> Mir scheint hier eine Stufenfolge vorhanden zu sein, welche, wenn man ganz von etwa bei den Einzelercheinungen noch hinzukommenden Kräftearten (elektrische Ladung etc.) absieht, von der Unlöslichkeit (Kohäsion > Adhäsion) zur Löslichkeit (Adhäsion der Moleküle > Kohäsion) zu den Erscheinungen der Dissociation (= Jonisation) (Adhäsion der Ionen > Kohäsion derselben) schließlich zu den chemischen Reaktionen (Adhäsion der Atome oder bestimmter Atomkomplexe > Kohäsion derselben) graduell herüberführt. Als „Adhäsion“ ist immer die Anziehungskraft der Moleküle zum umgebenden Medium verstanden.

<sup>2)</sup> Z. B. bei der Zellteilung cf. RHUMBLER.

umgesetzt werden. Somit treten also die Spannungsarbeiten der Entwicklung in direkte Abhängigkeit von der chemischen Komposition der lebenden Materie.

Dies muß unbedingt so sein, wenn die Oberflächenenergie wirklich das leitende mechanische Prinzip der Zelle ist, wie alle neueren Zellmechaniker annehmen.

Da wir nun den Kern als Stoffmagazin auffassen müssen, so ist hier der Punkt, wo er in dem Zellmechanismus sich Geltung verschafft und wo er Eigentümlichkeiten zu übermitteln vermag; indem er in die chemischen Umsetzungen der Zelle überall mit seinen Stoffen bestimmend eingreift, bestimmt er auch die Größe der in den Zellen enthaltenen Spannungen, die ja wie wir wissen <sup>1)</sup> ceteris paribus von der chemischen Struktur abhängig sind und bestimmt schließlich auch hiermit deren Endeffekt. Der Zellkern greift demnach chemisch in die mechanische Arbeit (hier mechanisch im Sinne von Substanzverlagerungen jeder Art genommen) der Zelle ein <sup>2)</sup>; er thut dies in der denkbar günstigsten Weise, weil sich die Oberflächenenergie direkt in mechanische Arbeit umsetzt, ohne erst in Wärme umgewandelt werden zu müssen. <sup>3)</sup> Der Entwicklungsmechanismus ist der Hauptsache nach keine Wärmekraftmaschine, sondern eine chemische Oberflächenenergiemaschine.

---

<sup>1)</sup> Oberfläche = Grenzfläche zwischen zwei Medien, für unsere Fälle durchgängig flüssige Medien.

<sup>2)</sup> Über den Zusammenhang zwischen Oberflächenspannung und der chemischen Komposition vgl. die Handbücher: NERNST (98, p. 265) und OSTWALD (99, p. 149).

<sup>3)</sup> Sogar die Wärme, welche das Ei zur Synthese seiner lebenden Bestandteile oder sonstwie zur Entwicklung gebraucht, vermag das Ei nicht aus sich selbst zu produzieren, sondern sie muß ihm von außen zugeführt werden. Die Entwicklungsgeschwindigkeit ist bekanntlich ganz allgemein von der dem Ei äußerlich zugeführten Wärme abhängig. Das Vogelei bedarf zu seiner Entwicklung der dauernden Bebrütung, es vermag die Wärme noch nicht zu produzieren, die der spätere ausgebildete Vogel sich ohne weiteres selbst zu schaffen vermag. Das Säugetierei erhält die Wärmezufuhr durch die Bluttemperatur der Mutter u. dgl. mehr. Die von uns für so wichtig erachteten Oberflächenspannungen werden nach physikalischen Gesetzen in ihrer Größe, in ihrer Leistungsfähigkeit also, von der Temperatur mitbestimmt.

## Litteraturübersicht.

- BORN, G.: „Über Verwachsungsversuche mit Amphibienlarven“ in: Arch. f. Entwicklunsmech. v. 4, 1897, p. 349—465 t. 16—22 u. p. 517—623 t. 23—26.
- BRADY, H. B.: „Report of the Foraminifera“ in: Rep. scient. results of the voyage of H. M. S. CHALLENGER. Zoology v. 9, London 1884.
- BÜTSCHLI, O.: „Kleine Beiträge zur Kenntnis einiger mariner Rhizopoden“ in: Morphol. Jahrb. v. 11, 1886, p. 78—101.
- Derselbe: „Protozoa“ in: Dr. H. G. BROM's Klassen und Ordnungen des Tierreichs. v. 1, Leipzig und Heidelberg 1880—89.
- CARPENTER, W. B.: „Report on the specimens of Genus Orbitolites“ in: Rep. scient. results of the voyage of H. M. S. CHALLENGER. v. 7 No. 4, London 1883.
- CARPENTER, W. B., PARKER, W. K. and JONES, T. R.: Introduction to the study of the Foraminifera. (Ray Society.) London 1862.
- CHAPMAN, F.: „The Foraminifera of the Gault of Folkestone. Part. X“ in: J. R. Micr. Soc. 1898, p. 1—49 t. 2.
- DREYER, Fr.: „Die Prinzipien der Gerüstbildung bei Rhizopoden, Spongien und Echinodermen“ in: Jena. Zeitschr. v. 26, 1892, p. 204—468 t. 15—29.
- Derselbe: „Peneroplis, eine Studie zur biologischen Morphologie und zur Speciesfrage.“ Leipzig 1898, 119 p. t. 1—5.
- DRIESCH, H.: „Studien über das Regulationsvermögen der Organismen“ 4. Die Verschmelzung der Individualität bei Echinidenkeimen in: Arch. Entwicklunsmech. v. 10, 1900, p. 411—434, 13 Textfig.
- FLINT, J. M.: „Recent Foraminifera. A descriptive catalogue of specimens dredged by the U. S. Fish Commission Steamer Albatross.“ in: Rep. U. S. Mus. Part I, 1899, p. 251—349 t. 1—80.
- GOËS, A.: A synopsis of the arctic and skandinavian recent marine Foraminifera hitherto discovered“ in: Svenska Ak. Handl. v. 25 No. 9, 1894, 127 p., 25 Tafeln.
- JENSEN, O.: „Über individuelle physiologische Unterschiede zwischen Zellen der gleichen Art“ in: Arch. ges. Physiol. v. 62, 1895, p. 172—200 t. 1 u. 2.
- LISTER, J. J.: „Contributions to the life-history of the Foraminifera“ in: „Phil. Trans.“ v. 186, 1895, B. p. 401—453 t. 6—9.
- MAAS, O.: „Experimentelle Untersuchungen über die Eifurchung“ in: S. B. Gesellsch. Morphol. u. Physiol. München 1901, p. 1—20.
- MOEBIUS, K.: „Foraminiferen von Mauritius.“ Berlin 1882.
- NERNST, W.: „Theoretische Chemie.“ 2. Aufl. Stuttgart 1898, p. 265.
- OSTWALD, W.: „Grundriß der allgemeinen Chemie.“ Leipzig 1899. p. 149.
- RHUMBLER, L.: Versuch einer mechanischen Erklärung der indirekten Zell- und Kernteilung. Erster Theil: Die Cytokinese. In: Arch. Entwicklunsmech. v. 3, 1896, p. 527—623, 39 Textfig. u. Tafel 28.
- Derselbe: „Zelleib-, Schalen- und Kernverschmelzungen bei den Rhizopoden und deren wahrscheinliche Beziehungen zu phylogenetischen Vorstufen der Metazoenbefruchtung“ in: Biol. Centralbl. v. 18, 1898 (a), p. 21—38, p. 33—38. p. 69—86 u. p. 113—130, 14 Textfig.
- Derselbe: „Physikalische Analyse von Lebenserscheinungen der Zelle. I. Bewegung, Nahrungsaufnahme, Defäkation, Vakuolenpulsation und Gehäusebau bei lobosen Rhizopoden“ in: Arch. Entwicklunsmech. v. 7, 1898 (b), p. 103—350, 100 Textfig. u. t. 6 u. 7.

- Derselbe: „Die Furchung des Ctenophoreneies nach Ziegler und deren Mechanik“ in: Arch. Entwicklungsmech. v. 8, 1899 (a), p. 187—238, 28 Textfig.
- Derselbe: „Allgemeine Zellmechanik“ in: Ergeb. Anat. v. 8, 1899 (b), p. 543—625.
- Derselbe: „Über ein eigentümliches periodisches Aufsteigen des Kernes an die Zelloberfläche innerhalb der Blastomeren gewisser Nematoden“ in: Anat. Anz. v. 19, 1901, p. 60—88, 21 Textfig.
- Derselbe: „Embryonale und postembryonale Schalenverschmelzungen bei Foraminiferen in ihrer Analogie zu Rieseneiern und Verwachsungszwillingen bei Metazoen“ in: Tageblatt des V. Internationalen Zoologen-Congresses zu Berlin. 1901, No. 8 p. 27.
- Derselbe: Unter ox ist eine Arbeit bezeichnet, die bereits fast druckfertig in kurzer Frist unter nachfolgendem oder ähnlichem Titel in einer geeigneten Zeitschrift erscheinen wird: „Der Aggregatzustand und die physikalischen Besonderheiten des lebenden Zellinhalts.“
- SCHAUDINN, F.: „Die Fortpflanzung der Foraminiferen und eine neue Art der Kernvermehrung“ in: Biol. Centralbl. v. 14, 1894, p. 161—166.
- Derselbe: „Untersuchungen an Foraminiferen. I. *Calcituba polymorpha* Roboz“ in: Z. wiss. Zool. v. 59, 1895, p. 191—232 t. 14—15. (Auch als Dissertation. Berlin 1894.)
- Derselbe: „Über den Dimorphismus der Foraminiferen“ in: „S. B. Ges. naturf. Berlin.“ Jahrg. 1895 (a), p. 87—97.
- Derselbe: „Über Plastogamie bei Foraminiferen.“ Ibidem (b), p. 179—190.
- SCHLUMBERGER, C.: „Monographie des Miliolidées du golfe de Marseille“ in: Mém. Soc. Zool. France. v. 6, 1893, p. 57—80 t. 1—4.
- SCHULTZE, M.: „Über den Organismus der Polythalamien.“ Leipzig 1854, p. 68 t. 1—7.
- ZUR STRASSEN, O. L.: „Über die Riesenbildung bei *Ascaris*-Eiern“ in: Arch. f. Entwicklungsmech. v. 7, 1898, p. 642—676 t. 16 u. 17.
- VERWORN, M.: „Biologische Protistenstudien“ in: Z. wiss. Zool. v. 46, 1888, p. 455—470 t. 32 u. 3 Textfig.
- Derselbe: „Allgemeine Physiologie.“ 3. Auflage. Jena 1901.
- WALTHER, J.: „Einleitung in die Geologie als historische Wissenschaft.“ Jena 1893, 1055 p.
- WILLIAMSON, W. C.: „On the recent Foraminifera of Great Britain.“ Ray Society. London 1858.

### Tafelerklärung.

Alle Photogramme mit Ausnahme von Fig. 41 und 42 Taf. 8 beziehen sich auf *Orbitolites duplex* und zwar stellen sie, abzüglich der Fig. 1, 2, 6, 17, 18 und 37, welche sich auf gewöhnliche Einzelschalen beziehen, durchweg Doppelschalen dar.

Aus technischen Rücksichten konnten die Vergrößerungen nicht für alle Figuren gleich genommen werden; ich gebe daher die reelle Größe für jede Schale in Millimeter an.

Allgemein gültige Bezeichnungen:

E, E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub> = Embryonalkammern der Verschmelzlinge. Eingeklammert für die Verschmelzlinge selbst verwendet.

L = lacinierte Schalenexkreszenzen.

SS<sub>1</sub> = Stauwand. Die mit ° signierten Figuren haben keinerlei Retouche erfahren.

#### Tafel VII.

Fig. 1. Jugendliches Einzelindividuum mit 6 Lagen von Erstlingskammern die noch nicht zu vollständigen Ringen zusammengeschlossen sind. Größe: 0,44 mm.

°Fig. 2. Junge Schale, älter als die vorige, sie besitzt nur 2 Lagen von Erstlingskammern, auf welche dann sofort vollständig geschlossene Kammerringe folgen. Der letzte Randring erscheint heller als die vorausgehenden, er ist offenbar noch nicht so stark verkalkt wie die früheren und offenbar in seinem ganzen Umfange zu ein und derselben Zeit abgeschlossen worden. Größe: 0,5 mm.

Fig. 3—5. Univalente Doppelschalen mit glatten Scheibenflächen (d. h. ohne lacinierte Exkreszenzen).

Fig. 3. Ohne präjugale Kammern. Größe: 3 mm. (Nr. 12 der Tabelle.)

°Fig. 4. Mit 3 präjugalen Kammerlagen, die deutlich sichtbar sind. Größe: 2,8 mm. (Nr. 4 der Tabelle.)

°Fig. 5. Mit 4 nicht deutlich erkennbaren präjugalen Kammern. Größe: 3,9 mm. (Nr. 11 der Tabelle.)

°Fig. 6. Jugendliche Einzelschale mit 7 Lagen von Erstlingskammern, etwas verzogen (man vgl. mit Fig. 1). Größe: 0,32 mm.

°Fig. 7. Univalente Doppelschale von äußerst regelmäßiger Ausbildung. Die Lage der Embryonalkammern tritt deutlich hervor. Präjugale Kammern fehlen. Denkt man sich die in der Figur nicht eingezeichneten Erstlingsachsen gezogen, so überzeugt man sich leicht, daß diese sich nicht schneiden. Die Winkel der Erstlingsachsen betragen 90 und 315°. Größe: 2,1 mm. (Nr. 1 der Tabelle.)

NB. Auch in Fig. 4 lassen sich die Winkel der Erstlingsachsen aus der Figur heraus bestimmen. Sie betragen hier 90 und 135°.

Fig. 8—10. Univalente Doppelschalen mit lacinierten Exkreszenzen. (cf. p. 204).

°Fig. 8. Mit 2 präjugalen Kammern und trichterförmiger Exkrescenz, seitlich von E<sub>1</sub> nach rechts. Größe: 2,6 mm. (Nr. 6 der Tabelle.)

Fig. 9. Ohne präjugale Kammer. Größe: 2,7 mm. (Nr. 7 der Tabelle.)

°Fig. 10. Desgl. Größe: 2 mm. (Nr. 8 der Tabelle.)

°Fig. 11. Univalente Doppelschale ohne lacinierten Auswuchs und ohne präjugale Kammer. Größe: 3,2 mm. (Nr. 2 der Tabelle.)

Fig. 12. Univalente Doppelschale mit 2 lacinierten Falten in der Verlängerung der Verbindungsachse; mit 3 präjugalen Kammerlagen. Größe 3,6 mm. (Nr. 10 der Tabelle.)

Fig. 13. Univalente Doppelschale von einem älteren mit einem lacinierten Schalenauwuchs (L) versehenen Verschmelzling (E) und einem ganz jugendlichen E<sub>1</sub> gebildet. Größe: 2 mm.

Fig. 14. Bivalente Doppelschale, ohne präjugale Kammern. Die Erstlingsachsen schneiden sich, lassen sich in der Figur aber nicht erkennen. Größe: 1,9 mm. (Nr. 13 der Tabelle.)

°Fig. 15. Bivalente Doppelschale mit 2 präjugalen Kammern. Größe: 3 mm. (Nr. 16 der Tabelle.)

°Fig. 16. Äquale bivalente Doppelschale mit ca. 7 freien Randringen. Größe: 2,8 mm.

°Fig. 17. Eine gewöhnliche Einzelschale mit laciniater Exkrescenz (L), die nicht mit der Stauwand einer Doppelschale verwechselt werden darf. Das Exemplar hat nur eine Embryonalkammer, die unter der laciniaten Exkrescenz (L) liegt, und deshalb in der Figur nicht sichtbar ist. Größe: 3,1 mm.

°Fig. 18. Eine ähnliche Schale wie vorige, aber mit größerer Exkrescenz. Bei auffallendem Licht. Größe: 2,9 mm.

NB. Man vergleiche diese Figur mit der Doppelschale Fig. 10, von der sie sich durch den Besitz von nur einer, aber nicht sichtbaren, Embryonalkammer unterscheidet.

°Fig. 19—21. Äquale bivalente Doppelschalen.

°Fig. 19. Kanadabalsampräparat bei auffallendem Licht. Größe: 3 mm.

°Fig. 20. Größe: 4 mm. Auffallendes Licht.

°Fig. 21. Größe: 2,7 mm.

°Fig. 22. Inäquale bivalente Doppelschale. Die Stauwand  $SS_1$  ist nach dem kleineren Verschmelzling ( $E_1$ ) hin geneigt und konkav nach ihm eingebogen. Größe: 2,8 mm.

#### Tafel VIII.

°Fig. 23—24. Inäquale bivalente Doppelschalen.  $SS_1$  wie in Fig. 22.

°Fig. 23 mit 10+6 präjugalen Kammern. Größe: 2,8 mm.

°Fig. 24 mit 16+6 präjugalen Kammern. Größe: 3,3 mm.

Fig. 25. Geknickte bivalente Doppelschale. Größe: 2 mm. (cf. p. 218.)

Fig. 26. Eine Randscheibenverwachsung. Die jugendlichere Schale ( $E_1$ ) sitzt der älteren  $E_1$  auf. Größe: 2,8 mm.

Fig. 27. Gekreuzte bivalente Doppelschale. Man sieht die Stauwandbildung auf der oberen Seite zwischen E und  $E_1$ . Diejenige der anderen hinter der Bildfläche liegenden Seite war bei diesem Exemplar aus unbekanntem Gründen nicht zur Ausbildung gekommen. Größe: 1,8 mm.

°Fig. 28. Gekreuzte bivalente Doppelschale (cf. p. 221). Größe: 1,4 mm.

°Fig. 29. Äquale bivalente Doppelschale von der Unterfläche aus gesehen. Die Stauwand, welche bei diesem Exemplar ganz außergewöhnlich kümmerlich entwickelt war, ist senkrecht hinter die Bildfläche gehend zu denken. In der Mitte zwischen E und  $E_1$  ist senkrecht zur Verbindungsachse die Verschmelzungsnäht mit den großen Kollisionskammern zu erkennen. Größe: 3 : 4,3 mm.

°Fig. 30. Bivalente inäquale Doppelschale bei auffallendem Licht. Man erkennt, daß sich  $SS_1$  nach dem kleineren Verschmelzling hinüberneigt. Größe: 2,9 mm.

°Fig. 31. Geknickte bivalente Doppelschale.  $KK_1$  = Knickungskehle. Größe: 2 mm.

°Fig. 32. Gekreuzte bivalente inäquale Doppelschale. Größe: 3 mm.

°Fig. 33. Inäquale bivalente Doppelschale. Der kleinere Verschmelzling erscheint zu einem Trichter am peripheren Schalenrande zusammengedrückt. Größe: 3 mm.

°Fig. 34. Inäquale gekreuzte Doppelschale. Größe: 3,2 mm.

°Fig. 35. Äquale gekreuzte Doppelschale mit großem Kreuzungswinkel. Größe: 3,3 mm.

° Fig. 36. Eine bivalente inäquale Doppelschale, die aus einem mikrosphärischen (Mi) und einem megalosphärischen Verschmelzling (Meg) besteht. Größe: 3,8 mm.

° Fig. 37. Eine gewöhnliche Einzelschale mit Aufwulstungen an den Lücken (LL<sub>1</sub>) des peripheren Schalenrandes, die durch anstoßende Fremdkörper (Protuberanzen einer Algenoberfläche) verursacht worden sind. Größe: 2,6 mm.

° Fig. 38. Eine Dreifachschale. Größe: 2,3 mm.

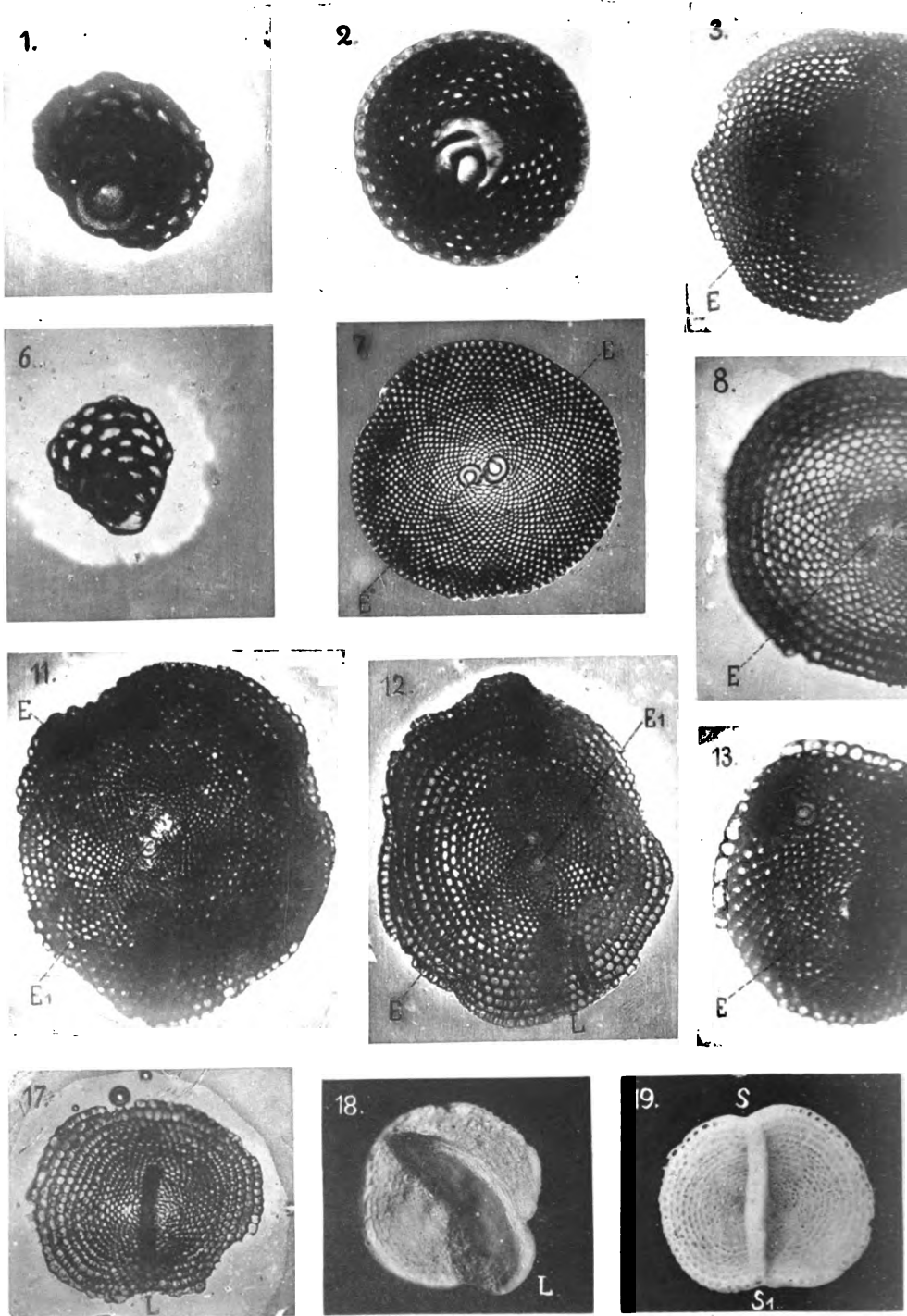
Fig. 39. Bruchstück einer Fünffachschale. Zwischen den nahe zusammenliegenden Embryonalkammern E<sub>0</sub>E oder E<sub>1</sub>E<sub>2</sub>E<sub>3</sub> hat sich keine Stauwand hochgerichtet, dagegen ist eine solche zwischen den durch mehrere präjugale Kammerlagen getrennten Embryonalkammern E<sub>0</sub>E einerseits und E<sub>1</sub>E<sub>2</sub>E<sub>3</sub> andererseits entstanden. Größe: 3,2 mm.

° Fig. 40. Eine gekreuzte und geknickte Mehrfachschale von komplizierterer Form. Größe: 3 mm.

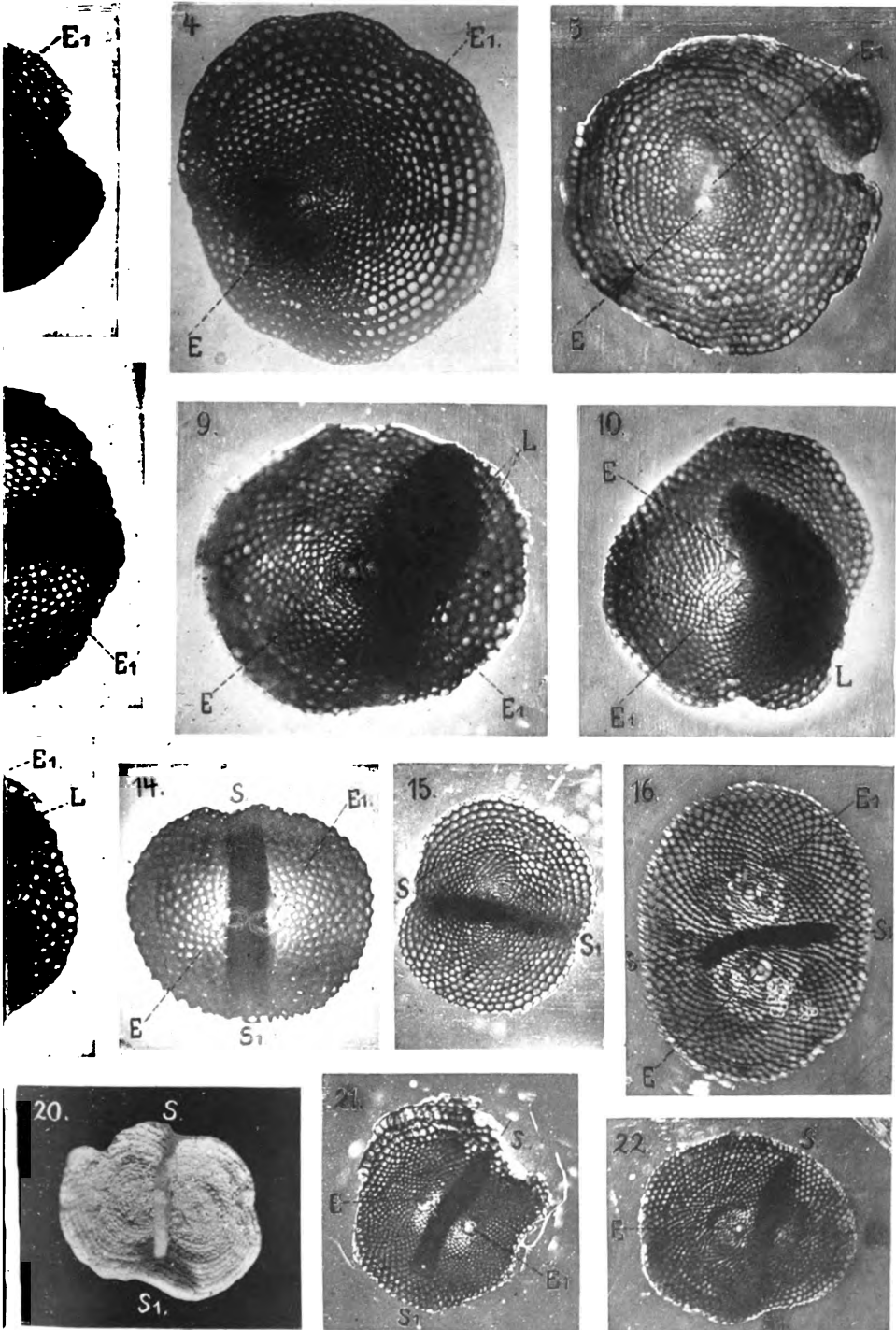
° Fig. 41. Eine bivalente Doppelschale von *Discorbina valvulata* (d'ORB) A und B die beiden Verschmelzlinge; sie sind beide megalosphärisch, die Megalosphäre von A in dem Photogramm nicht zu erkennen. GK = die von beiden Verschmelzlingen gemeinsam gebildete Kollisionskammer. Nach Errichtung von GK hat jeder Verschmelzling noch fünf weitere Kammern in für die Art typischer Spiralform angebaut (von GK aus nach links zu zählen); jedoch ist die Endkammer von B zerbrochen. Größe: 0,57 mm.

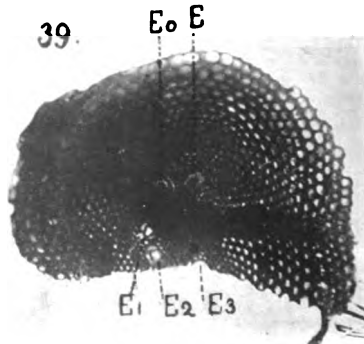
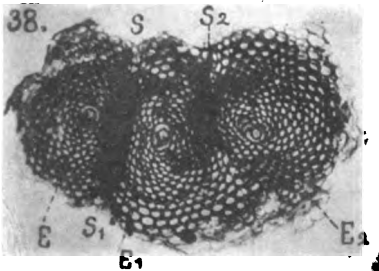
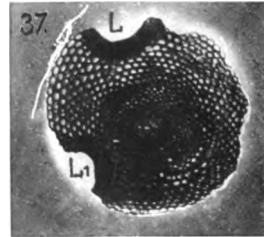
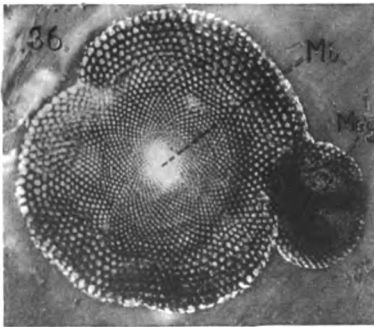
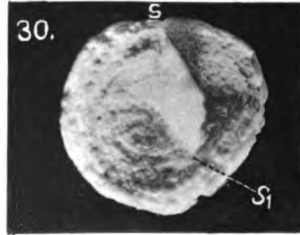
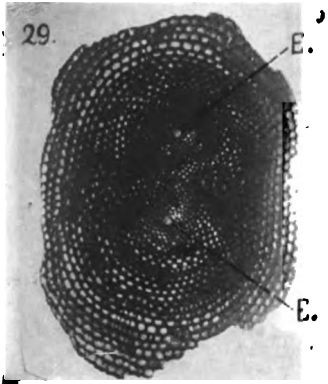
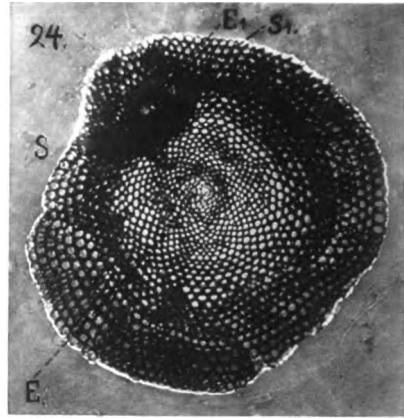
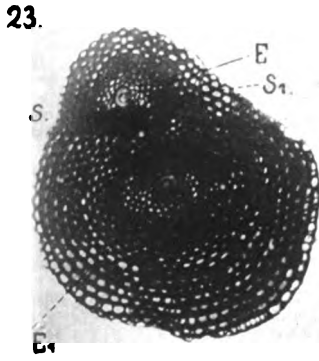
° Fig. 42. Plastollinnachbildungen von Doppelschalen (cf. p. 244)  $\frac{1}{3}$  nat. Größe.



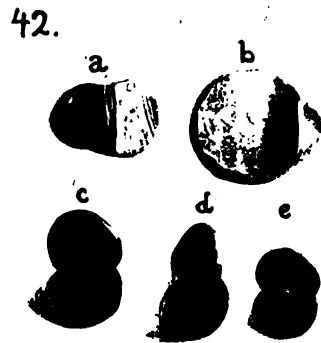
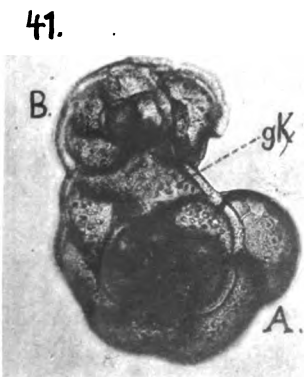
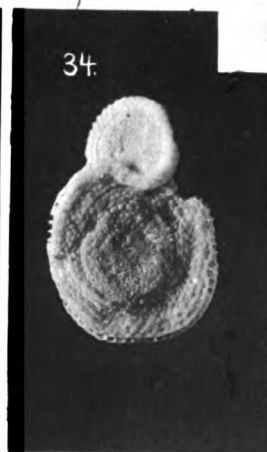
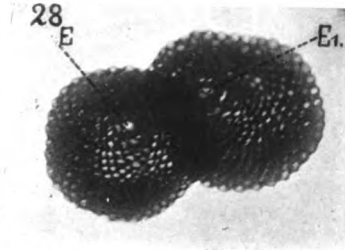
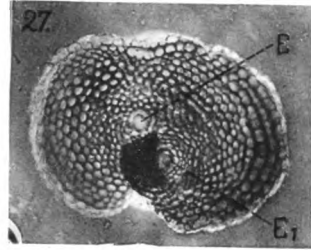
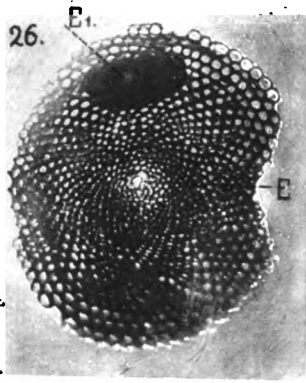
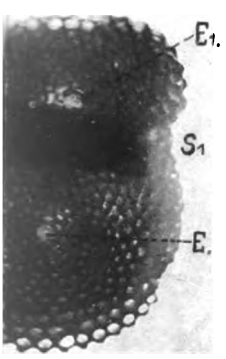


L. Rhumbler phot.





L. Rumbler phot.



Crayondruck von J. B. Obernetter, München.