

*Nachdruck verboten.  
Uebersetzungsrecht vorbehalten.*

# Biologische und faunistische Untersuchungen an Radiolarien und anderen pelagischen Thieren.

Von

Prof. Dr. **Karl Brandt** in Kiel.

---

## 1. Untersuchungen über den hydrostatischen Apparat von Thalassicollen und coloniebildenden Radiolarien.

### A. Historisches.

Die Entwicklung unserer Kenntniss vom Schweben und dem Sinken oder Steigen der Thalassicollen und coloniebildenden Radiolarien ist im wesentlichen folgende gewesen <sup>1)</sup>: Während JOH. MÜLLER der Ansicht war, dass die genannten Radiolarien durch die Oelkugeln, die sie enthalten, geradezu hydrostatisch sind, ist es nach HAECKEL (1862) am wahrscheinlichsten, dass sie durch active Schwimmbewegungen aufsteigen und sich mit Hülfe der Pseudopodien nicht allein an der Wasseroberfläche festhalten, sondern auch nach Art der Süßwasserschnecken an der Wasseroberfläche entlang kriechen. Von Schwimmbewegungen hat aber weder er noch einer der späteren Beobachter etwas gesehen. HERTWIG sprach dann die Vermuthung aus, dass die Vacuolen hydrostatische Apparate sind, deren Schwinden ein Niedersinken, deren Neubildung ein Wiederaufsteigen der Colonie zur Folge habe (1879, p. 117). Er schildert ausserdem — ähnlich wie vor ihm DÖNITZ — die Bildung der Vacuolen und bezeichnet die Gallerte als ein Ausscheidungsproduct der Pseudopodien. BÜTSCHLI schreibt, ohne eigene Versuche anzuführen,

---

1) Eine genaue Inhaltsangabe der Literatur findet sich in meiner Arbeit von 1885 in den Abschnitten: Gallerte, Vacuolen und Bewegung.

auch der Gallerte, ausser Oelkugeln und Vacuolen, eine wichtige Rolle beim Schwimmen der Radiolarien zu. Sei aber schon das Schweben ohne Annahme von activen Schwimmbewegungen nicht recht erklärbar, so fehle für das Aufsteigen jede befriedigende Erklärung.

Ich selbst zeigte 1885 auf Grund ausgedehnter Versuche und Beobachtungen, die vorzugsweise an coloniebildenden Radiolarien ausgeführt wurden, dass das Schweben von dem specifischen Gewicht des Thieres abhängig ist. Ist dasselbe gleich dem des Meerwassers, so schweben sie, ist es grösser oder geringer, so sinken bezw. steigen sie. Da die Plasmatheile trotz der vorhandenen Oelkugeln erheblich schwerer sind als Meerwasser, so werden die Radiolarien nur durch ihren aus Gallerte und Vacuolen bestehenden hydrostatischen Apparat in den Stand gesetzt, zu schweben. Versuche und Beobachtungen ergeben, dass beide Theile (die Gallerte freilich nicht in allen Fällen) specifisch leichter sind als Seewasser. Bei Reizung oder directen Eingriffen kommt es zu einer Vergrösserung des specifischen Gewichtes durch Entleerung von Vacuolen. Das Wiederaufsteigen findet erst nach Wiederherstellung des normalen Zustandes, also nach Neubildung von Vacuolen statt. Die Regulirung des hydrostatischen Apparates geschieht durch die Bewegungen der Pseudopodien, jedoch in anderer Weise, als HAECKEL und BÜTSCHLI angenommen haben. Unter natürlichen Verhältnissen (in offener See) sind mechanische und thermische Reize die wichtigsten Ursachen für das Auf- und Niedersteigen. Eine willkürliche Bewegung findet dagegen nicht statt. —

Im Anschluss an diese Untersuchungen führte ich im Winter 1886/87 noch eine Reihe von Versuchen in Neapel aus, um über die Entstehung der Vacuolen Genaueres zu ermitteln und die Rolle, welche die Gallerte beim Steigen und Sinken spielt, genauer festzustellen. Ehe ich die Resultate mittheile und verwerthe, habe ich die inzwischen erschienenen Mittheilungen über denselben Gegenstand anzuführen.

In seinem Werke über die Challenger-Radiolarien hat HAECKEL (1887) im wesentlichen auf Grund der schon vorliegenden Angaben seine Ansicht über die morphologische Bedeutung der Vacuolen und über die Bewegungen der Radiolarien ausgesprochen. Ich muss in den nachfolgenden Ausführungen näher darauf eingehen. Ferner hat M. VERWORN gründliche Untersuchungen über den hydrostatischen Apparat von Colliden angestellt und in zwei Mittheilungen veröffentlicht (1891 und 1893), leider jedoch ohne Berücksichtigung der Literatur. Er sagt sogar (1893, p. 144), dass vor seinen Untersuchungen

noch nichts über die Veränderung des specifischen Gewichtes von solchen pelagischen Thieren bekannt gewesen sei. Eine flüchtige Durchsicht der oben angegebenen Literatur würde ihn davon überzeugt haben, dass der grösste Theil seiner Angaben über das Schweben, Steigen und Sinken nur als sehr willkommene Bestätigung von Beobachtungen seiner Vorgänger gelten kann. Die werthvollste Ergänzung zu dem schon vorliegenden Material würde wohl VERWORN'S Hinweis auf die Untersuchungen der Pflanzenphysiologen über die Vacuolen sein. Leider aber sind die von ihm aus dieser Parallele gezogenen Schlussfolgerungen, wie ich unten zeigen werde, unrichtig. Ebenso halte ich seine Darstellung von der Entstehungsweise der Vacuolen nicht für richtig.

1892 habe ich eine gedrängte Darstellung der Schwebearrichtungen von Radiolarien gegeben.

---

### Literatur-Uebersicht.

- BRANDT, K., 1878. Ueber die Axenfäden der Heliozoen und die Bewegungen von Actinosphaerium, in: SB. Ges. Naturf. Freunde Berlin.
- — 1881. Untersuchungen an Radiolarien, in: SB. Akad. Wiss. Berlin, p. 388—404.
- — 1885. Die coloniebildenden Radiolarien des Golfes von Neapel, in: Fauna u. Flora d. Golfes v. Neapel, 13. Monogr.
- — 1892. Ueber Anpassungserscheinungen und Art der Verbreitung von Hochseethieren, in: Ergebn. Plankton-Exped., V. 1, p. 338—370.
- BÜTSCHLI, O., 1882. Protozoa, in: BRONN'S Cl. u. Ordn., V. 1 (1880—1889), p. 430—436, p. 442—444.
- DÖNITZ, W., 1871. Beobachtungen über Radiolarien, in: Arch. Anat. Physiol., p. 71—82; tab. 2.
- HAECKEL, E., 1862. Die Radiolarien, Berlin.
- — 1870. Beiträge zur Plastidentheorie, in: Jena. Z. Med. Nat., V. 5, p. 527—540; tab. 18.
- — 1887. Die Radiolarien. 2. Theil: Grundriss einer allgemeinen Naturgeschichte der Radiolarien, Berlin, 248 S., 64 Taff.
- HERTWIG, RICHARD, 1876. Zur Histologie der Radiolarien, Berlin.
- — 1879. Der Organismus der Radiolarien, in: Jena. Denkschr., V. 2.

- MÜLLER, JOH., 1858. Ueber die Thalassicollen, Polycystinen und Acanthometren des Mittelmeeres, in: Abh. Akad. Wiss. Berlin., 62 S., 11 Taff.
- SCHNEIDER, ANT., 1867. Zur Kenntniss des Baues der Radiolarien, in: Arch. Anat. Physiol., p. 509—511.
- VERWORN, M., 1891. Die physiologische Bedeutung des Zellkerns, in: Arch. ges. Physiol., V. 51, Bonn, 118 S., 6 Taff.
- — 1893. Ueber die Fähigkeit der Zelle, activ ihr specifisches Gewicht zu verändern, *ibid.*, V. 53, p. 140—155.

### B. Sinkversuche mit Glaskugeln.

Eine Kugel sinkt in einer Flüssigkeit um so schneller unter, je grösser die Differenz zwischen ihrem specifischen Gewicht und dem der umgebenden Flüssigkeit ist. Es ist dabei gleichgiltig, ob man in einem Versuche das specifische Gewicht der Flüssigkeit allmählich verringert oder das Gewicht der Kugel allmählich vergrössert. Zweitens ist aber die Sinkgeschwindigkeit der Kugel von dem Volumen in der Weise abhängig, dass von zwei verschiedenen grossen Kugeln mit gleichem specifischen Gewicht die grössere wegen ihres grössern absoluten Gewichtes trotz des grössern Reibungswiderstandes rascher untersinkt als die kleinere. Die Grösse des Reibungswiderstandes ist meines Wissens noch nicht ermittelt. Da es aber für die Verwerthung der Sinkversuche an Radiolarien von Wichtigkeit ist, wenigstens ungefähr zu ermitteln, wie gross die Differenz zwischen einem schwebenden Körper und der umgebenden Flüssigkeit sein muss, um ein langsames oder schnelleres Untersinken herbei zu führen, und da zugleich auch ein zuverlässiger Anhalt dafür fehlt, welchen Einfluss das verschiedene Volumen der Kugeln auf die Sinkgeschwindigkeit ausübt, so waren besondere Versuche erforderlich.

Auf Anrathen meines Freundes H. RODEWALD, Professors der Landwirthschaft in Kiel, haben wir den gemeinsam ausgeführten Experimenten mit verschiedenen grossen Glaskugeln die schon vorliegenden sehr genauen Untersuchungen über die Aenderung der Dichtigkeit von destillirtem Wasser bei Aenderung der Temperatur zu Grunde gelegt.

Stellt man Glaskugeln her, in denen sich ausser destillirtem Wasser ein so grosses Luftbläschen befindet, dass die Kugeln (nach dem Zuschmelzen) bei einer bestimmten Temperatur in destillirtem

Wasser schweben, so kann man durch entsprechendes Erhöhen der Temperatur die Kugel zum langsameren oder schnelleren Sinken bringen. Man braucht nur bei jedem Versuch die Sinkgeschwindigkeit und ausserdem mit einem Normalthermometer die Temperatur des destillirten Wassers, in dem die Kugel sich befindet, festzustellen. Das spezifische Gewicht der umgebenden Flüssigkeit ergibt sich dann unmittelbar aus ROSETTI's Tabelle<sup>1)</sup>. Das Verfahren ist ungleich bequemer und mindestens ebenso zuverlässig wie das andere mit verschiedenen starken Salzlösungen. Wählt man die letztere Methode, so muss man ausser jenen zwei Factoren auch noch jedesmal den Salzgehalt genau bestimmen<sup>2)</sup>.

Ich habe für drei verschieden grosse Kugeln (A, B und C) die erhaltenen Werthe in den nachfolgenden Tabellen zusammengestellt. Die grösste Kugel (A) schwebte bei 33° in destillirtem Wasser; ihr spe-

1) Tabelle der Dichtigkeiten und Volumina des Wassers nach ROSETTI, in: POGGEND. Ann. Erg. 5. Vergl. WÜLLNER, Lehrb. d. Experimentalphysik, Leipzig 1875, V. 3, p. 73.

2) Freilich hat man bei dem eingeschlagenen Verfahren mit einem Uebelstande zu kämpfen, der die Resultate leicht ungenau macht. Wenn man erwärmtes Wasser mit Wasser von der Zimmertemperatur gründlich durchmischt, so muss man mit dem Beginn der Sinkversuche warten, bis das durchschüttelte Wasser möglichst bewegungslos geworden ist. Bei diesem Abwarten ist es nicht zu vermeiden, dass das Wasser oben im Glascylinder etwas wärmer wird als unten. Ist auch die Differenz in unsern Versuchen meist nur sehr unbedeutend gewesen (etwa  $\frac{1}{10}$  —  $\frac{1}{2}$  °), so verstehen dadurch doch kleine Fehler, und zwar theils durch die Ausgleichströmungen, theils dadurch, dass die Kugel zwischen zwei Versuchen entweder unten am Grunde des Glascylinders ruhte oder im Wasser weiter oben aufgehängt wurde. Dabei nahm die Kugel die etwas zu niedrige oder die etwas zu hohe Temperatur der Umgebung an und sank dementsprechend etwas zu langsam oder etwas zu schnell.

Es kommt noch hinzu, dass die geblasenen Glaskugeln keine vollkommenen Kugeln waren, sondern Rotationsellipsoide, wie sie eben beim Glasblasen entstehen, und dass wegen des Füllens der Glaskugeln mit Wasser und wegen des nachher erfolgenden Zuschmelzens ein kleiner, hohler Stiel an der Kugel sein musste, der beim Sinken der beiden grösseren Kugeln senkrecht nach unten, bei der kleinsten aber etwas schräg nach unten gerichtet war. Es wurde damit eine allerdings nur sehr geringfügige Oberflächenvergrösserung herbeigeführt, die eine gewisse Verlangsamung des Untersinkens bedingt haben muss.

Reichen daher auch die Versuche wegen der angegebenen kleinen Fehler nicht aus, um eine Formel daraus abzuleiten, so genügen sie für den vorliegenden Zweck doch vollkommen.

cifisches Gewicht ist demnach 0,99485. Das absolute Gewicht wurde durch Wägung festgestellt; es betrug 16,193 g. Mithin ist das Volumen  $\frac{16,193}{0,99485} = 16,275$  ccm, der Durchmesser 31,2 mm<sup>1)</sup>. Die Werthe der beiden andern Kugeln ergeben sich aus der folgenden Tabelle:

	A	B	C
schwebt bei	33 °	32 °	30,7 °
spec. Gewicht	0,99485	0,99517	0,9956735
absol. Gewicht	16,193 g	1,9007 g	0,1800 g
Volumen	16,275 ccm	1,909 ccm	0,1808 ccm
Durchmesser	31,2 mm	15,3 mm	6,3 mm
		(gemessen)	(gemessen)

Das Volumen von A war 8,5 mal grösser als das von B und 90 mal grösser als das von C.

Vor Allem kam es bei den Versuchen darauf an, die Differenz zwischen dem specifischen Gewicht des sinkenden Körpers und der umgebenden Flüssigkeit und die daraus resultirende Sinkgeschwindigkeit zu ermitteln. Von Wichtigkeit sind also nur die 3. und 4. Spalte der Tabellen für jede einzelne Kugel.

#### Kugel A.

Temp.-Grade	Spec. Gew. der Flüssigkeit	Differenz zwischen dem spec. Gew. der Flüssigkeit und der sinkenden Kugel	Sinkt 1 dm in
43	0,99118	0,00367	2,5 Sec.
42,25	0,99148	0,00347	2,7 "
40,7	0,99209	0,00276	3,1 "
39,6	0,992502	0,002348	3,2 "
38,62	0,99287	0,00198	3,5 "
37,6	0,99325	0,00160	3,7 "
36,9	0,993506	0,001244	4,2 "
35,9	0,993865	0,000985	4,7 "
34,7	0,99428	0,00057	6,3 "
34,3	0,99442	0,00043	7,2 "
34	0,99452	0,00033	7,5 "
33,5	0,994685	0,000165	10,0 "
33,2	0,994784	0,000066	14,0 "
33	0,99485		schwebt

1) Bei directer Messung zeigte sich, dass der grösste Durchmesser des Rotationsellipsoids 31,9 mm betrug.

## Kugel B.

Temp.-Grade	Spec. Gew. der Flüssigkeit	Differenz zwischen dem spec. Gew. der Flüssigkeit und der sinkenden Kugel	Sinkt 1 dm in
36,5	0,99365	0,00152	5,4 Sec.
35	0,99418	0,00099	6,6 "
34,3	0,99442	0,00075	7,3 "
33,8	0,99458	0,00059	8,5 "
33,1	0,99481	0,00036	10 "
32,6	0,994988	0,000192	29,3 "
32	0,99517		schwebt

## Kugel C.

Temp.	Spec. Gew. der Flüssigkeit	Differenz zwischen dem spec. Gew. der Flüssigkeit und der sinkenden Kugel	Sinkt 1 dm in
43,5	0,99070	0,004973	4,3 Sec.
42,4	0,99142	0,004253	4,6 "
40,8	0,99205	0,003623	5,6 "
40,1	0,99231	0,003363	5,9 "
39,2	0,992654	0,003019	6,3 "
38,3	0,99299	0,002683	6,7 "
37,3	0,99336	0,002313	7,6 "
36,3	0,99372	0,001953	7,8 "
35,45	0,994023	0,001650	9,2 "
34,2	0,99445	0,001223	11,9 "
33,45	0,994705	0,000968	12,9 "
32,7	0,994946	0,000772	14,6 "
32,1	0,995138	0,000545	17,3 "
31,7	0,99526	0,000413	22 "
31,4	0,99535	0,000323	28,7 "
31,2	0,99541	0,000263	35 "
30,95	0,99549	0,000183	53 "
30,7	0,9956735		schwebt

Übersichtlicher ist die nachstehende Zusammenstellung, in der nur die wichtigeren Zahlen angeführt sind:

Differenz zwischen dem spec. Gew. des Mediums und der sinkenden Kugel	Sinkgeschwindigkeit in Secunden pro 1 dm		
	A	B	C
	Vol. $\frac{1}{1}$ : (16 275 cmm)	$\frac{1}{8,5}$ : (1909 cmm)	$\frac{1}{90}$ : (180 cmm)
0,000066	14,3		
0,000165	10		
0,000183			53
0,000192		29,3	
0,000263			35
0,000323			28,7
0,00033	7,5		
0,00036		10	
0,000413			22
0,00043	7,2		
0,000545			17,3
0,00057	6,3		
0,00059		8,5	
0,000727			14,6
0,00075		7,3	
0,000968			12,9
0,000985	4,7		
0,00099		6,6	
0,001223			11,9
0,001244	4,2		
0,001252		5,4	
0,001650			9,2
0,001953			7,8
0,002313			7,6
0,002348	3,7		
0,002683			6,7
0,00276	3,5		
0,003019			6,3
0,003363			5,9
0,00347	2,7		
0,003623			5,6
0,00367	2,5		
0,004253			4,6
0,004973			4,3

Aus den vorstehenden Versuchen geht vor Allem klar hervor, dass eine ausserordentlich geringe Aenderung des specifischen Gewichtes genügt, um ein Sinken herbei zu führen. Für jede einzelne Kugel ist, wie die Wiederholung der Versuche ergab, die Sinkgeschwindigkeit bei der gleichen Differenz des specifischen Gewichts stets die gleiche, und die Zunahme der Sinkgeschwindigkeit

erfolgte, wie die Uebersichten zeigen, bei Vergrößerung der Differenz des specifischen Gewichtes in sehr regelmässiger Weise.

Die Versuche zeigen ferner, dass die drei Kugeln sich verschieden verhalten. Da das specifische Gewicht bei allen drei Kugeln fast genau dasselbe war, so können die Unterschiede in der Sinkgeschwindigkeit nur durch die Verschiedenheit des Volumens bedingt sein.

Je kleiner die Kugel ist, desto grösser muss auch die Differenz des specifischen Gewichtes sein, um überhaupt ein sicher messbares Untersinken herbeizuführen. Während bei der Kugel A schon eine Aenderung in der 5. Decimale ein Sinken herbeiführt, ist bei den beiden kleinern Kugeln eine geringfügige Aenderung in der 4. Decimale erforderlich.

Mit der Kugel C stimmen die meisten coloniebildenden Radiolarien und selbst die grössern Colliden im Volumen ungefähr überein. Bei ihnen wird also eine Vergrößerung des specifischen Gewichtes um 0,0001 oder 0,0002 sicher ausreichen, um ein Untersinken herbeizuführen. Solche Sphärozoöen und Colliden jedoch, bei denen das Volumen etwa hundertfach geringer ist, werden einer etwas erheblichen Vergrößerung des specifischen Gewichtes bedürfen, um langsam niederzusenken. Auch bei ihnen wird aber die Zunahme um 0,0004—0,0008 dafür genügen. Wenn aber eine kleine Kugel, deren Volumen noch 300—400 mal geringer ist als das von C, schnell untersinkt (z. B. 1 dm in 5—6 Secunden zurücklegt), so wird die Vergrößerung ihres specifischen Gewichtes schon ganz erheblich sein müssen und etwa in der 1. oder doch mindestens in der 2. Decimale liegen.

Bei geringer Differenz des specifischen Gewichtes ist die Sinkgeschwindigkeit der verschiedenen grossen Kugeln recht verschieden; je mehr aber die Differenz zunimmt, desto näher kommen sich die Werthe für die Sinkgeschwindigkeit, wie die oben mitgetheilte grosse Tabelle und ähnlich auch die folgende Uebersicht zeigt:

Differenz des spec. Gew.	Verhältniss der Sinkgeschwindigkeit		
	A	B	C
0,000 2	1	: 3,5	: 5,2
0,000 36	1	: 1,33	: 3,2
0,001 25	1	: 1,28	: 2,5
0,002 76	1	: ?	: 1,88

### C. Versuche an *Thalassicolla* und an coloniebildenden Radiolarien.

#### 1) *Thalassicolla*.

Durch SCHNEIDER'S Untersuchungen ist bekannt, dass bei *Thal. nucleata* sich der ganze extracapsulare Theil des Körpers (also der Gallertmantel mit Pseudopodien, Vacuolen und Pigmentschicht) von der Centralkapsel und ihrem Inhalt leicht trennen lässt und dass sich die isolirte Centralkapsel in kurzer Zeit wieder zu einer vollständigen *Thalassicolla* unter Regeneration des gesammten Extracapsulariums ergänzt<sup>1)</sup>. Die extracapsularen Theile seien mithin nichts weiter als eine besondere Form des intracapsularen Plasmas.

SCHNEIDER'S Versuch habe ich 1886 mehrfach wiederholt, um zu ermitteln, wie sich das von der Centralkapsel abgelöste Plasma verhält, in welcher Weise die Neubildung der Pseudopodien und der Vacuolen stattfindet und welchen Einfluss das Fehlen bezw. Vorhandensein von Gallertmantel und Vacuolen auf die Hydrostatik der *Thalassicollen* ausübt.

Ueber fast alle diese Punkte hat VERWORN bereits auf Grund sehr umfassender Untersuchungen Mittheilungen gemacht, so dass ich nur die Punkte, in denen ich zu anderer Auffassung gekommen bin, näher ausführen werde<sup>2)</sup>.

---

1) SCHNEIDER'S Angaben, die von VERWORN nicht berücksichtigt sind, lauten bezüglich des letzten Punktes folgendermaassen: Bewahrt man eine rein herausgeschälte Centralkapsel von *Th. nucleata* in Seewasser auf, „so findet man bereits nach 12 Stunden von der ganzen Oberfläche zarte Pseudopodien ausstrahlen. Im weiteren Verlauf bildet sich wieder eine dichte Lage von Sarcode um die Centralkapsel, es treten die Alveolen daran auf, und endlich finden sich sogar die gelben Zellen wieder ein. Kurz, aus der freien Centralkapsel bildet sich wieder eine vollständige *Th. nucleata*.“ — CIENKOWSKI hat später (in: Arch. Mikr. Anat., V. 7, 1871) diese Beobachtungen bestätigt, und auch R. HERTWIG hat die ersten Stadien des Regenerationsvorganges verfolgt (1876, p. 61).

2) Das Verhalten des abgeschälten extracapsularen Weichkörpers z. B. hat VERWORN für *Thalassophysa pelagica*, *Thalassic. nucleata* und *Th. zanclea* so gründlich studirt, dass meine Beobachtungen an *Th. nucleata* nur Bestätigungen darbieten. Eine Stunde nach dem Abtrennen des (bekanntlich kernlosen) Extracapsulariums von der kernführenden Hauptmasse des *Thalassicolla*-Körpers waren die Pseudopodien noch ganz wie vor dem Versuche in

Das vollständig entfernte Extracapsularium wurde bei den von mir untersuchten Exemplaren von *Th. nucleata* binnen etwa einer Woche von der Centralkapsel aus zum grössten Theil ergänzt, doch unterblieb in dieser Zeit und auch weiterhin die Ausscheidung neuer Pigmentkörner völlig<sup>1)</sup>. Schon während der ersten halben Stunde quollen Plasmatröpfchen aus den Poren der Centralkapsel hervor. Dieselben wurden während des ersten Tages zu feinen, langen Pseudopodien, die in grosser Zahl vorhanden waren und nach allen Seiten hin ausstrahlten. Wenn man die *Thalassicolla* leicht bewegte, wogte der Pseudopodienwald im Wasser hin und her. Am nächsten Tage war das aber nicht mehr der Fall, weil sich zwischen den Plasmafäden eine schleimartige bis gelatinöse Substanz ausgebildet hatte. Je weiter die Pseudopodien sich hervorstrecken, desto mehr Gallertsubstanz bildet sich zwischen ihnen aus, so dass nach einigen Tagen eine dicke, von Pseudopodien durchsetzte, gallertige Kugelschale die Centralkapsel umgibt. Da ausserhalb der Centralkapsel sich nichts befand als die feinen Plasmafortsätze, so kann die Gallerte auch nur ein Ausscheidungsproduct derselben sein. Zu demselben Resultat war

Form feiner, meist radiärer Fäden vorhanden; auch die Vacuolen waren noch in grosser Anzahl vertreten. An einem Stück, das zu näherer Untersuchung abgelöst wurde, konnte ich zwar keine deutliche Körnchenströmung erkennen, das Plasma war aber noch keineswegs abgestorben, denn bei mechanischer Reizung durch Deckglasdruck zogen sich die freien Pseudopodien zu Klumpen zusammen, welche allmählich zusammenflossen. 18 Stunden nach Beginn des Versuches waren schon erhebliche Veränderungen eingetreten. Die Gallerte hatte eine schleimig-klebrige Beschaffenheit angenommen; die Vacuolen waren sämtlich geschwunden, und ebenso fehlten fadenförmige Pseudopodien jetzt vollkommen. Das Plasma der Vacuolenwände und der Pseudopodien hatte sich zu mehreren grossen, lappigen Massen, die manchen Amöben recht ähnlich sahen, und zu einer Anzahl von kleinen Tropfen zusammengezogen. Das Plasma war zwar so glashell, wie es nur im lebenden Zustande ist, doch konnten weder active Formveränderungen der Massen noch Strömungen der in ihnen befindlichen Pigmentkörner beobachtet werden. Als das Extracapsularium nach weiteren 24 Stunden wieder untersucht wurde, war das Plasma wirklich abgestorben. Hyaline Tropfen fehlten ganz, statt derselben fanden sich trübe, gelb-graue, feinkörnige Massen ohne deutlichen Contour in der schleimigen Gallerte.

1) In VERWORN'S Versuchen waren die ersten Spuren der Pigmentbildung erst nach 8 Tagen, häufig noch später, bemerkbar. Die Pigmentbildung wird im Laufe der Zeit noch etwas stärker, aber eine so intensiv schwarze Pigmenthülle wie an den normalen Individuen wird in den Culturegefässen nicht erreicht.

bereits R. HERTWIG (1876, p. 24) gelangt: „Die Gallerte entsteht zweifellos durch Ausscheidung vom Protoplasma des Körpers des *Collozoum* aus, sie verhält sich somit zu den Centralkapseln und dem von denselben ausgehenden Netzwerk wie die Grundsubstanz der Bindegewebsformen zu den Bindegewebskörperchen und deren Ausläufern, oder, allgemein ausgedrückt, wie das Protoplasmaproduct zum Protoplasma.“

VERWORN (p. 45) giebt an, dass von den Pseudopodien herausgeschälter Thalassicollen zuerst ein ganz dünner, kaum merklicher Schleim secernirt wird und dass die Schleimsecretion nur eine äusserst geringe ist, wenn die Kapseln völlig ungestört liegen, dass sie aber sofort energisch wird, wenn man sie reizt. Wiederholt sich die Reizung, so wird die Consistenz der secernirten Masse immer fester, bis sie schliesslich derjenigen der Gallertschicht normaler Individuen völlig gleicht. Diese Beobachtung war mir von besonderm Interesse, weil sie das Gegenstück zu einer früher von mir mitgetheilten Wahrnehmung bildet (1885, p. 52). Ausnahmslos trat bei Culturversuchen an coloniebildenden Radiolarien die auffallende Erscheinung ein, dass schon nach wenigen Tagen die Consistenz der Gallerte erheblich abgenommen hat und dass im Verlauf von einigen Wochen die Gallertsubstanz fast vollkommen verschwunden ist<sup>1)</sup>. Ich liess es damals unentschieden, ob das Schwinden der Gallerte durch die vollkommene Bewegungslosigkeit des Wassers in den Culturegefässen oder durch andere Umstände (Verringerung des Sauerstoffquantums oder die verhältnissmässig ausserordentlich geringe Menge des Wassers) hervorgerufen wird. Fasst man beide Beobachtungen zusammen, so kommt man zu dem Ergebniss, dass die häufigen, schwachen, mechanischen Reizungen, die durch die Bewegungen des Meeres auf die gallertführenden Hochseeorganismen ausgeübt werden, von grosser Bedeutung für die vollständige Ausbildung ihres Schwebapparats sind.

Ausser der Gallertsubstanz tritt noch ein anderes Plasmasecret an den Pseudopodien auf, nämlich die Vacuolen. Ich habe sowohl bei Colliden wie bei Sphärozoöen wiederholt die Entstehung der Vacuolen beobachtet und kann HERTWIG's kurze Angabe (a. a. O. p. 24) bestätigen: „Indem sich in den Protoplasmafäden Flüssigkeitsansamm-

---

1) Ganz ähnliche Angaben macht neuerdings auch VERWORN (1893, p. 152). Er führt z. B. an, dass eine frisch gefangene *Beroë* 2 cm lang war, nach 10tägigem Aufenthalt in einem Glase nur noch 6 mm Länge besass.

lungen ausbilden, entstehen Vacuolen, die sogenannten extracapsulären Alveolen, welche so sehr an Grösse zunehmen können, dass sie den voluminösesten Theil der Colonie bilden<sup>1)</sup>“. Ich sah entweder in Pseudopodien oder in grösseren Plasmaansammlungen hier und da kleine Tröpfchen auftreten, die allseitig von Plasma umschlossen bleiben. Sie nehmen dadurch, dass die Plasmaschicht, welche sie umhüllt, immer neue Flüssigkeit abscheidet oder diffundiren lässt, bedeutend an Umfang zu. Treffen sie dann in den Pseudopodienbahnen mit ihres gleichen zusammen, so erfolgt oft ein Zusammenfliessen. Zuweilen aber erreichen sie auch die definitive Grösse in einem Pseudopodienfaden. Nie habe ich eine Beobachtung machen können, welche dafür spräche, dass Vacuolen nichts weiter sind als von Plasma umschlossene Tropfen Meerwasser.

VERWORN giebt eine wesentlich andere Darstellung über die Anlage der Vacuolen (1891, p. 46; 1893, p. 150). Er führt zunächst an, dass die Secretion der Gallerts substanz in der Weise stattfindet, dass an der Oberfläche jedes Pseudopodiums sich eine Schleimschicht bildet, die natürlich bei Zunahme ihrer Mächtigkeit mit den Schleimhüllen der benachbarten Pseudopodien verklebt und verschmilzt<sup>2)</sup>.

Bei dem Verschmelzen der von den einzelnen Pseudopodien gebildeten Schleimhülle sollen dann „überall zahlreich versprengt äusserst kleine, winzige Wassertheilchen rings herum abgeschlossen und so vom Zusammenhange mit dem Medium isolirt werden. Diese kaum wahr-

---

1) Die erste Beschreibung über die Entstehung der Vacuolen rührt von DÖNITZ (p. 76) her. Alle „Alveolen“ sind nichts als Flüssigkeitsansammlungen in der protozootischen Substanz. Sie entstehen dadurch, dass im Pseudopodienmutterboden „kleine, mit hyaliner Flüssigkeit erfüllte, kugelförmige Räume auftreten“, die sich sichtlich vergrössern und allmählich von ihrer Bildungsstätte entfernen. Dabei bleiben sie zuerst durch einen „hohlen Stiel“ mit dem Pseudopodienmutterboden in Verbindung und vergrössern sich beständig, und zwar vermüthlich dadurch, dass ihnen „fortdauernd Flüssigkeit vom Nest aus“ durch den hohlen Stiel zugeführt wird. Schliesslich wird der Stiel abgeschnürt, und die Alveole dadurch selbständig.

2) Ich kann die Bemerkung nicht unterdrücken, dass es mir fast unmöglich erscheint, in dem ausserordentlich dichten Pseudopodienwald einer lebenden *Th. nucleata* zu erkennen, dass die Schleimhüllen der Pseudopodien zunächst von einander isolirt sind und nachher erst verschmelzen. Vielleicht gelänge es aber, mittelst der von mir nachgewiesenen Lebendfärbung der Gallerte durch Phytolacca-Lösung die scheidenförmige Umhüllung der Pseudopodien nachzuweisen (1885, p. 55).

nehmbaren Wasserpartikelchen sind die Ausgangspunkte für die Vacuolenbildung. Indem nämlich die Schleimhülle, die im Wasser löslich ist, sich in diesen abgeschlossenen Wassertheilchen zu lösen beginnt<sup>1)</sup>, schwinden die Schleimwände, welche die einzelnen Wasserpartikelchen von einander trennen, und mehrere Theilchen vereinigen sich zu einem grössern Tröpfchen“. Dieser Process wiederholt sich immer wieder. Die ersten Vacuolen, die man beobachtet, sind äusserst winzig, sehr zahlreich und wenig scharf vom Schleim abgegrenzt. „Durch Verschmelzung mit benachbarten und Wasseraufnahme von aussen werden sie immer grösser und schärfer abgegrenzt, da sie sich ausdehnen bis an das Protoplasma der Pseudopodien, das bald an ihrer Oberfläche ein protoplasmatisches Vacuolenhäutchen liefert“ u. s. w.

Ich habe nach VERWORN's Publication noch keine Gelegenheit gehabt, lebende Radiolarien zu untersuchen, halte aber nach Allem, was ich früher gesehen habe, seine Darstellung über die Vacuolenbildung nicht für richtig. Namentlich steht es mit meinen frühern Beobachtungen in Widerspruch, dass die Flüssigkeitstropfen zunächst frei in der Gallerte liegen und dass sie erst nach Erreichen einer gewissen Grösse mit einem protoplasmatischen Vacuolenhäutchen von den Pseudopodien aus überzogen werden. Ferner weiss ich nicht, wie man VERWORN's Darstellung auf die gewöhnlichen, in der Natur vorkommenden Fälle der Vacuolenbildung übertragen und z. B. auf normale Thalassicollen anwenden soll, die in Folge von Reizung Vacuolen entleert haben und nach Aufhören des Reizes neue Vacuolen in ihrer alten Gallerte und in grösserm Abstände von der Oberfläche derselben ausbilden.

Bei einer herausgeschälten Centralkapsel von *Th. nucleata*, an der die Regeneration des Extracapsulariums verfolgt wurde, maass ich täglich die Dickenzunahme des Extracapsulariums und stellte zugleich die Sinkgeschwindigkeit fest. Die Centralkapsel besass einen Durchmesser von 0,95 mm. Ihr Extracapsularium nahm bis zum 7. Tage beständig an Grösse zu, während in demselben Maasse sich die Sinkgeschwindigkeit verringerte. In der nachstehenden Uebersicht ist von den 14 Beobachtungstagen die Dicke des regenerirten Extra-

---

1) Diese Angabe steht mit dem thatsächlichen Verhalten der Gallerte, das ich (1885, p. 54) eingehend berücksichtigt habe, nicht in Einklang. In Meerwasser, um das es sich hier ja nach VERWORN's Darstellung handelt, löst sich die Gallertsubstanz erst nach vielständiger oder mehrtägiger Einwirkung auf, während sie allerdings in destillirtem Wasser sofort sehr stark aufquillt und sich sehr bald auflöst.

capsulariums und daneben die Zeit angegeben, welche das frei in einem langen und weiten Cylinder mit Seewasser niederfallende Individuum gebrauchte, um einen Weg von 1 dm zurückzulegen.

Tag	Dicke des Gallertsaumes (mm)	Für 1 dm nöthig (Secunden)
1.	0	10
2.	0,19	?
3.	0,60	30
4.	0,64	35
5.	0,71	42
6.	0,90	55
7.	1,03	66
8.	1,16	60
9.	1,06	58
10.	0,98	45
11.	0,94	38
12.	0,94	38
13.	?	? (Wasser gewechselt)
14.	0,9	60

Vom 8. Tage an nahm — in Folge ungünstiger Bedingungen — die Dicke des Gallertsaumes ab und in ungefähr dem gleichen Grade die Sinkgeschwindigkeit zu, doch zeigt die absteigende Reihe bemerkenswerte Verschiedenheiten gegenüber der aufsteigenden. Besonders auffallend war die Verschiedenheit der Sinkgeschwindigkeit bei fast gleicher Dicke des Extracapsulariums am 6., 12. und 14. Tage. Das Beispiel zeigt, dass nicht nur die Dicke, sondern auch die Beschaffenheit des Gallertmantels, die wiederum von den Culturbedingungen abhängig ist, in Betracht kommt <sup>1)</sup>.

## 2) Coloniebildende Radiolarien.

a) Leider habe ich eine genaue Messung der noch schwebenden *Thalassicolla* vor dem Herausschälen der Centrankapsel unterlassen, so dass ich die übrigen Zahlen nicht zu einer annähernden Berechnung

1) Bei einem weniger günstig verlaufenen Regenerationsversuche mit einer ebenso grossen Centrankapsel von *Th. nucleata* erhielt ich während der ersten 4 Tage folgende Werthe:

1. Tag	0	mm	10	Sec.
2. "	0,28	"	18	"
3. "	0,3	"	20	"
4. "	0,39	"	22	"

des specifischen Gewichtes der extracapsularen Theile einerseits und der Centrakapsel andererseits verwenden kann. Da aber der extracapsulare Körper nicht bloss den Schwebapparat der *Thalassicolla* (Gallertsubstanz und Vacuolenflüssigkeit), sondern ausserdem noch extracapsulares Plasma, Pigment und gelbe Zellen enthält, so würde eine solche Rechnung doch nur unvollkommene Resultate geben können.

Durch meine frühern Beobachtungen an *Myxosphaera*-Colonien<sup>1)</sup> bin ich in den Stand gesetzt, eine einwandfreie Berechnung des Volumverhältnisses von Schwebapparat und Plasmakörper auszuführen und das specifische Gewicht beider Theile schätzungsweise zu bestimmen.

Das Volumen einer vegetativen, kugligen *Myxosphaera*-Colonie von 10 mm Durchmesser mit vollkommen ausgebildetem Schwebapparat beträgt ( $\frac{4}{3} r^3 \pi$ ) 656,5 cmm. Die Kugel schwebt frei im Wasser, weil ihr specifisches Gewicht gleich dem des Seewassers (1,028)<sup>2)</sup> ist. Mithin ist das absolute Gewicht  $656,5 \times 1,028 = 674,882$  mg. — Bei der Fructification oder Schwärmerbildung trennen sich die protoplasmatischen Theile von dem Schwebapparat, die erstern sinken unter, die letztern steigen langsam empor. Die kuglige Plasmamasse besass bei der Fructification des angeführten Exemplares einen Durchmesser von 1 mm. Trotz zahlreicher Fettkugeln ist sie erheblich schwerer als Seewasser und legt im Untersinken 1 dm in 5 bis 6 Secunden zurück. Das Volumen dieser Kugel beträgt 0,523 cmm; folglich ist das Volumen des Schwebapparates  $656,5 - 0,523 = 655,977$  cmm. Das Volumen der Plasmamasse verhält sich zu dem des Schwebapparates wie 0,523 zu 655,977 oder wie 1 : 1254. Dass das specifische Gewicht der Plasmakugel erheblich grösser als 1,028 ist, geht aus dem schnellen Untersinken, dass das des hydrostatischen Apparats etwas geringer als 1,028 ist, aus dem Emporsteigen hervor. Durch Einsetzen von Werthen ist leicht zu zeigen, wie ausserordentlich wenig der Schwebapparat bei seinem sehr bedeutenden Volumen leichter zu sein braucht als Seewasser, um den ganzen Organismus in der Schwebelage zu halten.

1) 1885, p. 98.

2) G. v. BOGUSLAWSKI (Handb. d. Oceanographie, V. 1, Stuttgart 1884) giebt p. 170 an, dass nach CARPENTER das mittlere specifische Gewicht des Oberflächenwassers für den östlichen Theil des Mittelmeeres bei Sicilien 1,0280 beträgt. Diesen Werth, der bei 17° C einem Salzgehalt von 3,67‰ entspricht, setze ich im Nachfolgenden ausschliesslich als spec. Gew. des Meerwassers in Rechnung.

Nimmt man an, dass das specifische Gewicht der Protoplasma-  
masse 2 betrage, so ist das absolute Gewicht der Plasmakugel  
( $0,523 \times 2$ ) 1,046. Zieht man diesen Werth von dem absoluten Ge-  
wicht der vegetativen *Myxosphaera*-Colonie ab, so erhält man das  
absolute Gewicht des Schwebapparats; man braucht dasselbe nur durch  
das Volumen des Schwebapparats zu dividiren, um auch das specifische  
Gewicht des hydrostatischen Apparats zu erhalten, also

$$\frac{674,882 - 1,046}{655,977} = 1,026. \text{ Wenn man also das specifische Ge-}$$

wicht des Plasmakörpers zu 2 annimmt, so kommt dasjenige des  
Schwebapparats dem von Seewasser schon ausserordentlich nahe. Die  
Differenz beträgt nur 0,002.

Das specifische Gewicht der Plasmakugel wird aber sicherlich  
nicht höher sein als 2, sondern wahrscheinlich erheblich geringer.  
Setzt man es gleich 1,5 oder 1,08, so erhält man als specifisches Ge-  
wicht des hydrostatischen Apparats im erstern Falle 1,0276, im letztern  
1,02798. Diese Werthe werden der Wirklichkeit sehr nahe kommen,  
denn sobald man das specifische Gewicht nur noch um 0,00002 höher  
annimmt, erhält man auch für den Plasmakörper das specifische Ge-  
wicht von 1,028. Das aber wäre ebenso falsch, wie wenn man das  
specifische Gewicht des hydrostatischen Apparats gleich dem des See-  
wassers setzt.

b) Durch neue Versuche wollte ich (1886) erstens durch Beobach-  
tung und Messung ermitteln, wie sich das Plasma, die Gallerte und  
die Vacuolen von coloniebildenden Radiolarien bei lange andauernder,  
gleichmässiger Reizung verhalten und welches die maximale Sink-  
geschwindigkeit ist, und zweitens suchte ich aus den erhaltenen  
Werthen das specifische Gewicht der Vacuolenflüssigkeit annähernd zu  
berechnen. Die Versuchsreihen b--d geben über diese Fragen, vor  
Allem über die erste, Aufschluss.

Bei normalen Colonien von *Sphaerozoum punctatum* wird der  
Innenraum der Gallertkugel von zahlreichen Vacuolen eingenommen.  
Der äussern Vacuolenschicht liegen die Individuen, von Nadeln um-  
hüllt, an. Noch weiter nach der Peripherie zu findet sich nur ein  
vacuolenfreier Gallertsaum mit Pseudopodien, vereinzelt Nadeln und  
eventuell gelben Zellen.

Vier solche Colonien, die mit gut entwickeltem hydrostatischen  
Apparat an der Wasseroberfläche schwebten, wurden in ein Gefäss  
gesetzt, das mit Durchlüftungseinrichtung versehen war. Durch die

aufperlenden Luftblasen wurden die Colonien vielfach hin und her geworfen und zuweilen auch gegen die Gefässwand geschleudert.

Nachdem sie 20 Stunden dieser mechanischen Reizung ausgesetzt gewesen waren, lagen sie sämmtlich am Boden des Gefässes und waren kleiner geworden. Die Grössenabnahme beruhte in erster Linie auf dem fast vollständigen, in einem Falle sogar gänzlichen Schwunde der Vacuolen und ergibt sich aus der nachstehenden Tabelle, in die auch die Veränderungen bei der Fortsetzung des Versuchs eingetragen sind.

I. Vor dem Versuch	II Nach 20stünd. Reizung	III. Nach 25stünd. Reizung.	IV. Nach 1 $\frac{1}{2}$ stünd. Ruhe	V. Nach 45st. Reizung
Col. a Dm. 5,3mm	4 mm	3,6 (1 dm 12 Sec.)	} 1 dm 15 Sec 1 dm 20 Sec.	2,5(1 dm 13 S.)
„ b „ 4,5 „	3,4 „	3,0 „ „ 14 „		
„ c „ 3,55 „	3, „	2,6 „ „ 14 „		
„ d „ 3,35 „	2,4 „ (gar keine Vacuolen mehr)	2,3 „ „ 20 „		
Alle 4 Colonien schweben an der Oberfläche	Sie liegen am Boden und sinken nach dem Aufsaugen alle fast gleich schnell (1 dm in 22—25 Sec)	Am Boden.	Vacuol. immer noch wenig zahlreich	

Waren schon nach 20stündiger Reizung (II.) die Individuen z. Th. aus ihrem Nadelmantel herausgerückt, so war dies in noch viel höherem Grade nach 25stündiger Reizung (III.) der Fall. Die Nadeln lagen nun frei durch die Gallerte verstreut, die Individuen dagegen rückten nach dem Centrum hin und drängten sich zu mehreren Haufen zusammen. Vacuolen fehlten jetzt ganz oder fanden sich nur ganz vereinzelt. Nach dem centralen Theil, der bei ungeritzten *Sphaerocoum*-Colonien von den zahlreichen Vacuolen eingenommen wird, rücken die Individuen hin, so dass der Gallertsaum verhältnissmässig grösser wird. Derselbe maass bei den 4 Colonien vor dem Versuche 0,14—0,15, nach 20stündiger Reizung 0,3 mm.

Von besonderm Interesse ist das Verhalten der Colonie d. Trotzdem sie nach 20stündiger Reizung gar keine Vacuolen mehr besass, fand doch bei fortgesetzter Reizung zunächst noch eine weitere Verkleinerung des Volumens und eine entsprechende Zunahme der Sinkgeschwindigkeit (III.), dann aber (V.) trotz Wiederzunahme der Masse eine weitere Beschleunigung des Untersinkens statt. Es müssen hier also noch Aenderungen der Gallerthülle stattgefunden haben.

Die Individuen dieser 45 Stunden lang gereizten Colonie (d) waren übrigens noch am Leben und starben erst 2 Tage später ab, ohne dass inzwischen neue Vacuolen gebildet worden wären. Auch die

3 grössern Colonien (a—c), die nur einer 25stündigen Reizung ausgesetzt worden waren, erholten sich in den nächsten Tagen nicht wieder und bildeten keine Vacuolen mehr aus, sondern gingen allmählich zu Grunde. Bemerkenswerth ist bei diesen Colonien, dass nach anderthalbstündiger Ruhe die Sinkgeschwindigkeit etwas verringert war.

Verwerthet man die Messungen an der Colonie d, deren Durchmesser vor der Reizung 3,35 mm betrug, zu weitem Berechnungen, so ist zunächst ihr Volumen zu 19,6748 cmm festzustellen. Da sie schwebte, war ihr specifisches Gewicht 1,028, ihr absolutes Gewicht also  $19,6748 \times 1,028 = 20,2257$  mg. Nach 25stündiger Reizung hatte sie durch Abgabe der Vacuolenflüssigkeit ihr Volumen auf 6,3674 cmm verringert. Die Menge der abgeschiedenen Vacuolenflüssigkeit betrug daher 13,3074 cmm. Das Volumen von Gallerte und den Plasmatheilen zusammen belief sich auf  $\frac{6,3674}{19,6748} = 0,32$ ; das übrige Volumen, also mehr als  $\frac{2}{3}$  des ganzen, war von der Vacuolenflüssigkeit eingenommen gewesen.

Um das specifische Gewicht der Vacuolenflüssigkeit abzuschätzen, setzt man versuchsweise verschiedene Werthe dafür ein. Setzt man es z. B. gleich 1,01, so beträgt das specifische Gewicht der untersinkenden Colonie  $\frac{20,2257 - (13,3074 \cdot 1,01)}{6,3674} = 1,065$ .

Die Parallelzahlen bei den in der 1. Spalte gemachten Annahmen sind folgende:

Spec. Gew. der Vacuolenflüssigkeit	Spec. Gew. der sinkenden Colonie	Differenz gegen Seewasser
1,01	1,065	0,037
1,02	1,044	0,016
1,025	1,033	0,005
1,027	1,03009	0,00209
1,0275	1,02904	0,00104
1,0279	1,0280	0,000209

Da das Volumen der Glaskugel C nur 28 mal grösser ist als das der untersinkenden *Sphaerozoum*-Colonie, so wird die Sinkgeschwindigkeit der letztern nur wenig geringer sein als die von C. Da aber die Sinkgeschwindigkeit verhältnissmässig gross war, so wird die Differenz der specifischen Gewichte etwa 0,0007—0,001 betragen haben. Demnach wird das specifische Gewicht der Vacuolenflüssigkeit nur sehr wenig von dem des Seewassers verschieden sein, nur um etwa

0,0005 bis 0,0003 von diesem abweichen und 1,0275 bis 1,0276 betragen.

c) In einem andern Falle wurden anscheinend vegetative Colonien von *Sph. punctatum*, die mit prall gefüllten Vacuolen an der Oberfläche schwebten, in derselben Weise mechanisch gereizt. Nach 5 Minuten war noch keine Aenderung eingetreten; nach 30 Minuten war nur eine Colonie untergesunken (Sinkgeschwindigkeit 26 Sec. pro dm), und nach 3 Stunden waren in dieser untergesunkenen Colonie die Vacuolen bis auf ganz vereinzelt, grosse Vacuolen geschwunden. Die Individuen waren nach dem centralen Theil der Colonie gerückt, so dass nun der Gallertsaum breiter geworden war. Die zwei andern Colonien dagegen schwebten auch nach 3stündiger Reizung noch an der Oberfläche und liessen an den innern Vacuolen gar keine Veränderung erkennen, während allerdings die weiter aussen gelegenen eine eckige Gestalt angenommen hatten.

Nach 20stündiger Reizung waren in diesen beiden Colonien nur noch wenige abgerundet-polyedrische Vacuolen vorhanden; die Individuen waren aus ihrem Nadelmantel herausgewandert und nach dem innern Theil der Colonie hin zusammengedrückt. Die Sinkgeschwindigkeit betrug 25 bzw. 33 Secunden pro dm. Die dritte Colonie war ganz frei von Vacuolen und legte beim Sinken 1 dm in 25 Secunden zurück.

Die Erklärung für das verschiedene Verhalten der drei Colonien ergab sich nach 24stündiger Ruhe. In den zwei Colonien, die sich weniger empfindlich gezeigt hatten, waren die Individuen in zahllose Schwärmer zerfallen. In der dritten Colonie dagegen, die wirklich vegetativ gewesen war, blieben die Individuen zu einem Klumpen zusammengesogen und erholten sich nicht wieder von der 20stündigen Reizung, sondern starben nach 2 Tagen ab.

d) Zwei andere kugelige, an der Oberfläche schwebende Colonien, und zwar 1 vegetatives *Sphaerozoum punctatum* mit 10 auffallend grossen Vacuolen und 1 junges *Collozoum* (sp.) mit 7 Vacuolen wurden in durchlüftetes Wasser gesetzt.

Die *Sphaerozoum*-Colonie verhielt sich folgendermassen:

	Durchm.	Vac.	Gallert- mantel	Sinke- geschwindigkeit	
I. Vor dem Versuch	2,3	10 sehr grosse	0,2		schwebt oben
II. Nach 17st. Reizung	1,9	4—5 grosse	0,28		1 dm 20 Sec.
III. Nach 4st. Ruhe	2,2	4—5 stark aufgebläht	0,28		1 „ 40 „
IV. Nach 24st. Ruhe	2,0	4 grosse, unregelmässige	?		1 „ 60 „ Individuen im Absterben
V. Nach 48st. Ruhe	?	fehlen ganz	?		1 „ 40 „ Noch nicht abgestorben

Die *Collozoum*-Colonie:

	Durchm.	Vac.	Sinkgeschwindigkeit	
I. Vor dem Versuch	1,4	7	schwebt oben	
II. Nach 17st. Reizung	1.0	0	1 dm 45 Sec.	
III. Nach 4st. Ruhe	1.2	0	1 „ 190 „	
IV. Nach 24st. Ruhe	?	0	1 „ 70 „	Alle Individuen todt Gallerte prall.
V. Nach 48st. Ruhe	1,3	0	sinkt nicht, steigt sogar!	do. do

Nach 17stündiger Reizung waren die Individuen der *Sphaerouzoum*-Colonie im Begriff aus ihrem Nadelmantel herauszurücken und nach dem Centrum zu wandern. Auch nach 4stündiger Ruhe dauerte dieser Vorgang fort. Von den 10 sehr grossen Vacuolen waren nach der langen Reizung nur 4 oder 5 erhalten geblieben. Während der 4stündigen Ruhezeit nahm die Zahl derselben nicht zu. Um so auffallender war es, dass trotzdem eine Grössenzunahme und eine entsprechende Abnahme der Sinkgeschwindigkeit constatirt werden konnte. Die Dicke des äussern Gallertmantels (von den Individuen bis zur Oberfläche der Colonie gemessen) betrug vor dem Versuche 0,2 mm, nach der Reizung 0,28 mm und ebenso viel nach 4stündiger Ruhe. Der Durchmesser der Colonie war aber, wie die Uebersicht zeigt, in der kurzen Zeit erheblich vergrössert.

Bei der *Collozoum*-Colonie war diese Erscheinung noch auffallender. Die sämtlichen (7) Vacuolen waren in Folge der Reizung verschwunden. In der kurzen Ruhezeit fand dann aber auffallender Weise eine Grössenzunahme der Colonie und eine entsprechende Verlangsamung der Sinkgeschwindigkeit statt, trotzdem die Vacuolen nach wie vor gänzlich fehlten.

Auch in diesem Versuch kam es — ebenso wenig wie in den vorigen — zu einer Wiederherstellung des normalen Zustandes. Die Reizung hatte zu lange stattgefunden, als dass die Individuen wieder neue Vacuolen hätten bilden und so den Umfang der Colonie vergrössern können. Unter natürlichen Verhältnissen sind die Radiolaren auch nie so lange andauernden mechanischen Reizungen ausgesetzt, weil sie schon nach kurzer Einwirkung des Reizes untersinken und in ruhigere Wasserschichten gelangen.

Aus den Werthen, die ich in der Tabelle für die *Collozoum*-Colonie angegeben habe, lässt sich durch Rechnung und Schätzung das spezifische Gewicht der Vacuolenflüssigkeit annähernd bestimmen.

Die kuglige Colonie von 1,4 mm Durchmesser schwebte zunächst an der Oberfläche und besass also dasselbe spezifische Gewicht wie

das Seewasser. Das Volumen der Kugel betrug 1,436 cmm, ihr absolutes Gewicht 1,476 mg.

Nach 17stündiger Reizung waren die 7 Vacuolen vollständig verschwunden. Die Kugel besass nun, wie die zusammengeballte Plasmamasse von *Myxosphaera* 1 mm Durchmesser; da aber ihr Schwebapparat noch grösstentheils erhalten war, so sank sie sehr viel langsamer nieder als diese. Die Sinkgeschwindigkeit betrug für 1 dm 45 Secunden (bei *Myxosphaera* 6 Secunden). Das Volumen der gereizten und reducirten *Collozoum*-Colonie ist auf 0,523 cmm zu berechnen, demnach hat die ausgetretene Vacuolenflüssigkeit vorher einen Raum von 0,913 cmm eingenommen. Das Volumenverhältniss der vollständigen und schwebenden Colonie zur vacuolenfreien, gereizten betrug 1 : 0,36. Folglich war in diesem Falle, ähnlich wie in dem Versuch b), fast  $\frac{2}{3}$  des ganzen Volumens (0,64) von der Vacuolenflüssigkeit eingenommen worden.

Um die übrigen Zahlen annähernd zu ermitteln, muss man wie vorher einige Werthe einsetzen. Nimmt man z. B. das specifische Gewicht der Vacuolenflüssigkeit zu 1,01 an, so beträgt das absolute Gewicht der Vacuolenflüssigkeit  $0,913 \times 1,01 = 0,92213$ , mithin das specifische Gewicht der untersinkenden Colonie  $\frac{1,476 - 0,922}{0,523} = 1,059$ .

Die Parallelzahlen bei den in der ersten Spalte gemachten Annahmen sind folgende:

Spec. Gew. der Vacuolenflüssigkeit	Spec. Gew. der unter- sinkenden Colonie	Differenz gegen Seewasser
1,01	1,059	0,031
1,02	1,042	0,014
1,025	1,032	0,004
1,027	1,0293	0,0007
1,0275	1,0284	0,0006

Das Volumen der untersinkenden Colonie ist 344 mal kleiner als das der Glaskugel C, ihre Sinkgeschwindigkeit aber sehr gering (45 Secunden pro 1 dm). Danach ist anzunehmen, dass die Differenz zwischen dem specifischen Gewicht der sinkenden Kugel und dem Seewasser zwischen 0,004 und 0,007 liegen wird, dass also das specifische Gewicht der Vacuolenflüssigkeit grösser als 1,025 und geringer als 1,027 sein muss. Es genügt aber schon, dass die Vacuolenflüssigkeit ein specifisches Gewicht von 1,0275 besitzt, um das Schweben zu erklären.

e) Bei einem weitem Versuche setzte ich zwei kuglige Colonien

von *Sphaerozoum punctatum* nur für  $1\frac{1}{2}$  Stunden demselben mechanischen Reize aus, wie in den andern Fällen, um eine vollständige Wiederherstellung des Schwebapparates verfolgen zu können.

Der Gallertsaum (von den Individuen bis zur Oberfläche der Colonie gemessen) besass vor der Reizung bei Colonie a eine Dicke von 0,42 mm, bei b 0,135 mm; nach der Reizung war er bei a nur 0,38 mm, bei b nur 0,07 mm dick.

Vor dem Versuch	Nach $1\frac{1}{2}$ st. Reizung	Nach $3\frac{1}{2}$ st. Ruhe	Nach 22st. Ruhe	Nach $3 \times 24$ st. Ruhe
a) Dm. 4,8 mm (Gallerte 0,42 „)	4,3 1 dm (0,38) 30 Sec.	3,9 1 dm (0,32) 28 Sec.	4,2 1 dm (0,4) 45 Sec.	4,16 an der (0,4) Oberfläche
b) Dm. 2,95 mm (Gallerte 0,135 „)	2,75 1 dm (0,07) 22 Sec.	2,3 1 dm (0,07) 18 Sec.	2,2 1 dm (0,1) 60 Sec.	Noch am Boden. In Anisosporenbildung begriffen
Beide a. d. Oberfl.				

Nach der kurzen Reizung waren beide Colonien zu Boden gesunken und zeigten deutlich eine Verringerung nicht nur ihres Durchmesser, sondern auch der Dicke ihres äussern Gallertmantels. Sehr auffallend war es dann, dass nach Aufhören des Reizes und mehrstündiger Ruhe noch eine weitere Verkleinerung der Colonie und des Gallertmantels und eine entsprechende Zunahme der Sinkgeschwindigkeit stattfand. Die Colonie a lag zwar noch nach 22stündiger Ruhe am Boden, doch sank sie jetzt nach dem Aufsaugen langsamer unter und zeigte zugleich eine Zunahme des ganzen Umfanges wie des Gallertsauces.

Die Vacuolen verhielten sich folgendermaassen: Vor dem Versuch war der innere Theil der kugligen Colonien bis zu den Individuen von dicht aneinander gelagerten, grossen Vacuolen eingenommen. Unmittelbar nach der Reizung waren die ganz central gelagerten Vacuolen grossen Theils wie vorher, nur undeutlicher contourirt, die mehr den Individuen benachbarten dagegen waren weniger zahlreich, kleiner und ganz undeutlich umgrenzt. Von dem Plasmaüberzug dieser Flüssigkeitstropfen war meist gar nichts mehr zu erkennen. Während der  $3\frac{1}{2}$  stündigen Ruhe waren in der Nähe der Individuen zahlreiche neue, kleine Vacuolen, die sämmtlich scharf umgrenzt waren, entstanden, während von den sämmtlichen frühern Vacuolen keine Spur mehr zu erkennen war. Die Volumenverringerung und die entsprechende Zunahme der Sinkgeschwindigkeit sind damit erklärt. Nach fernern  $18\frac{1}{2}$  Stunden besaßen die Vacuolen schon eine ansehnlichere Grösse und rückten dem Centrum der Gallertkugel zu. In der Nähe der Individuen fanden sich ausserdem kleine Tröpfchen in den Pseudo-

podienbahnen. Noch zwei Tage später war der ganze Innenraum der Colonie a von zahlreichen, grossen Vacuolen erfüllt, nur der ganz centrale Theil besass noch keine neuen Vacuolen.

Das Endresultat bestand darin, dass in dem Versuchsglase die Colonie a am dritten Tage nach dem Versuche an der Oberfläche schwebte, trotzdem weder die Vacuolen vollzählig wieder hergestellt, noch das Gesamtvolumen und die Dicke des Gallertmantels so gross wie bei Beginn geworden waren.

Die berechneten Werthe für die Colonie a stelle ich zur folgenden Tabelle zusammen:

	Durchm.	Vol	abs. Gew.	Vol. d. abgeg. Vacuolenflüss.	
Vor dem Versuch	4,8 mm	57,876 mm	59,494 mg		Schwebt oben
Nach $1\frac{1}{2}$ st. Reizung	4,3 "	41,600 "		16,276 cmm	Sinkt 1 dm in 30 Sec.
" $3\frac{1}{2}$ st. Ruhe	3,9 "	31,019 "		26,857 "	" " " " 28 "
" 22 st. "	4,2 "	38,767 "		19,109 "	" " " " 45 "
" $3\times 24$ st. "	4,16 "	37,659 "	38,711 mg		Schwebt oben

In diesem Falle war es wegen der schwächern Reizung nicht zu einer vollständigen Entfernung der Vacuolenflüssigkeit gekommen. Gleich nach der Reizung war die Vacuolenflüssigkeit in der Gallerte noch grossen Theils vorhanden, wenn auch die Vacuolenwände fehlten. Diese Flüssigkeit diffundirte während der  $3\frac{1}{2}$ stündigen Ruhe zum grössten Theile nach aussen, so dass trotz beginnender Neubildung von Vacuolen das Volumen verringert war. Auch bei dieser erheblichen Volumenverminderung waren noch erhebliche Mengen von Vacuolenflüssigkeit in der Gallerte zurückgeblieben. Während bei stark gereizten *Sphaerozoum*-Colonien, wie oben S. 45 gezeigt, das Verhältniss zwischen Plasma + Gallerte einerseits und der Vacuolenflüssigkeit andererseits 0,32 : 0,68 beträgt, lässt es sich hier auf 0,51 : 0,49 berechnen.

Spec. Gew. der Vacuolenflüss.	Spec. Gew. d. sinkenden Colonie		Differenz d. spec. Gew. gegen Seewasser.	
	nach $1\frac{1}{2}$ st. Reizung	nach $3\frac{1}{2}$ st. Ruhe	nach $1\frac{1}{2}$ st. Reizung	nach $3\frac{1}{2}$ st. Ruhe
1,01	1,035	1,043	0,007	0,015
1,015	1,033	1,039	0,005	0,011
1,020	1,031	1,034	0,003	0,006
1,025	1,029	1,030	0,001	0,004
1,027	1,0283	1,0287	(!) 0,0003	0,0007
1,0275	1,0281	1,0283	0,0001	(!) 0,0003

Die Werthe für das specifische Gewicht der Colonie nach 22-

stündiger Ruhe sind fortgelassen, weil sie genau mit denjenigen nach  $1\frac{1}{2}$  stündiger Reizung übereinstimmen.

Da das Volumen der Colonie etwa  $\frac{1}{4}$  bis  $\frac{1}{5}$  so gross ist wie das der Glaskugel C, so wird der Unterschied in der Sinkgeschwindigkeit beider Kugeln nur ein äusserst geringer sein und die Differenz des specifischen Gewichts mithin nach  $1\frac{1}{2}$  stündiger Reizung etwa 0,00035, nach  $3\frac{1}{2}$  stündiger Ruhe ungefähr 0,00045 oder höchstens 0,0005 betragen. In beiden Fällen muss also das specifische Gewicht der Vacuolenflüssigkeit grösser sein als 1,025.

f) Um Genaueres über das Verhalten der Vacuolen zu ermitteln, setzte ich zwei Colonien von *Sphaerozoum punctatum* und eine kleine kuglige Colonie von *Collozoum* (sp.) nur einer 7 Minuten währenden Reizung durch aufsteigende Luftblasen aus. Von den *Sphaerozoum*-Colonien liess die grössere, eiförmige keine Veränderungen erkennen; sie blieb an der Oberfläche. Die andere kuglige und kleinere (1,7 mm Durchmesser) besass vor der Reizung mehrere grosse Vacuolen; die kurze und schwache Reizung genügte schon, bei ihr ein Untersinken herbeizuführen. Die äussern, den Individuen benachbarten, grossen Vacuolen zeigten eine stark geschrumpfte und gefaltete Wand; statt des kreisrunden Umrisses besaßen sie nun einen sehr unregelmässigen Contour. Die innern Vacuolen jedoch waren kuglig und prall gefüllt, wie zuvor.

Auch bei dem *Collozoum*, das vor der Reizung nur eine sehr grosse kuglige Vacuole (von 1,2 mm Durchmesser) besessen hatte, waren die Erschütterungen hinreichend gewesen, um eine Verkleinerung der Vacuole herbeizuführen; sie maass nun etwa 0,8 mm und war von sehr unregelmässigem Umriss.

Nach  $3\frac{1}{2}$  stündiger Ruhe besass das kuglige *Sphaerozoum* statt mehrerer nur eine sehr grosse Vacuole im Centrum und 2—3 kleine in der Umgebung derselben; an den Individuen fanden sich noch keine neuen Vacuolen. Die Colonie schwebte nach weitem 20 Stunden wieder dicht an der Oberfläche.

Bei dem *Collozoum* wies  $3\frac{1}{2}$  Stunden nach Aufhören des Reizes die Vacuole wieder eine regelmässig kuglige Gestalt auf; doch betrug ihr Durchmesser nur 0,76 mm. Die Colonie lag noch am Boden und sank nach dem Aufsaugen langsam nieder (1 dm in 85 Sekunden). Nach 24stündiger Ruhe jedoch befand sie sich an der Oberfläche und besass eine kuglige Vacuole von 1,1 mm Durchmesser.

#### D. Zusammenfassung und Verwerthung der Resultate.

##### 1) Das Flottiren der Colliden und Sphaerozoöen.

Bei den coloniebildenden Radiolarien und den Colliden habe ich nichts beobachtet, was dafür spräche, dass sie „schwimmen“ — wenn man mit diesem Ausdruck die Fähigkeit activer Fortbewegung versteht. Sie schweben nur frei im Wasser, sind unfähig, sich aus eigener Kraft seitwärts zu bewegen und folgen willenlos allen Strömungen und andern Bewegungen des umgebenden Mediums. Das Schweben kommt dadurch zu Stande, dass diese Radiolarien durch Entwicklung eines voluminösen hydrostatischen Apparates, bestehend aus Gallertsubstanz und Vacuolenflüssigkeit, dasselbe specifische Gewicht annehmen wie das umgebende Meerwasser.

Um das zu beweisen, habe ich früher bereits einige Versuche gemacht (1885, p. 98). „Sobald dem Meerwasser etwas Süßwasser zugesetzt wird, sinken die Sphaerozoöen in demselben Augenblick unter, und zwar gelangen sie um so schneller am Boden des Gefäßes an, je mehr Süßwasser man zufügt, mit andern Worten, je mehr man das specifische Gewicht der Umgebung der Colonie verringert hat. Das momentane Untersinken zeigt deutlich, dass die Colonien nicht etwa wegen heftiger Reizung oder gar weil sie todt sind, zu Boden sinken, sondern nur, weil ihr eigenes specifisches Gewicht jetzt grösser ist als das der Umgebung“<sup>1)</sup>. Ich habe 1886 diese Versuche noch wiederholt mit coloniebildenden Radiolarien und Thalassicollen angestellt; sie führten stets zu dem gleichen Resultat. Um den Einwand, dass doch wohl die Reizung das Untersinken in diesem Falle veranlasst habe, vollkommen auszuschliessen, saugte ich Colliden und Sphaerozoöen, die in etwas versüßtem Meerwasser untergesunken waren, möglichst schnell mit dem Heber wieder auf, um sie wieder in reines Meerwasser überzusetzen. Dort schwebten sie dann nach wie vor. Nur wenn sie etwas zu lange im gemischten Wasser geblieben waren, fand einige Zeit nach dem Zurücksetzen in Meerwasser in Folge des vorhergegangenen Reizes ein ganz langsames Untersinken statt.

Die Thatsache, dass die genannten Radiolarien nur in der Weise schweben, dass sie ihr specifisches Gewicht dem des Meerwassers gleich gemacht haben, steht damit wohl fest.

---

1) Ganz ähnliche Versuche mit demselben Resultat hat später auch VERWORN gemacht.

Es fragt sich nun, wie der schwere Plasmakörper diese Verringerung des specifischen Gewichtes herbeiführt. Wie ich früher bereits näher gezeigt habe, sind die plasmatischen Theile der Radiolarien erheblich schwerer als das Meerwasser und sinken in isolirtem Zustande stets sofort und rasch unter, trotzdem sie meist beträchtliche Mengen von tropfenweise abgelagertem Fett enthalten. Das bedeutende Gewicht des Plasmaleibes wird durch reichliche Secretion von Gallersubstanz und Vacuolenflüssigkeit compensirt. Beide führen eine ausserordentlich erhebliche Volumenvergrößerung herbei; ausserdem zeigen sowohl die Versuche als auch die Berechnungen, dass die Vacuolenflüssigkeit und in vielen Fällen auch die Gallerte um ein Geringes specifisch leichter sind als Meerwasser.

Wie gering die Differenz zu sein braucht, um den äusserst winzigen Plasmaleib trotz seiner Schwere schwebend zu erhalten, zeigt am klarsten die für *Myzosphaera* oben (S. 42) ausgeführte Rechnung. Das Volumen des Schwebapparates (Gallerte + Vacuolenflüssigkeit) ist mehr als 1000 mal so gross wie das des Plasmakörpers (inclusive Kernen, Oelkugeln u. s. w.). Weiter ergaben die Berechnungen, dass bei *Sphaerozoum punctatum* die Masse der vacuolenfreien Colonie (Plasma + Gallerte) zu dem Volumen der Vacuolenflüssigkeit sich wie 0,32 : 0,68, bei einem jungen *Collozoum* wie 0,36 : 0,64 verhält. Nimmt man das Mittel davon, so erhält man folgendes Volumenverhältniss zwischen Plasmakörper, Gallerte und Vacuolenflüssigkeit 0,001 : 0,339 : 0,66. Eine schwebende Colonie besteht also nahezu zu  $\frac{2}{3}$  aus Vacuolenflüssigkeit und zu etwa  $\frac{1}{3}$  aus Gallertsubstanz; der geringfügige Rest wird von dem lebenden Plasmaleibe selbst gebildet.

Bei einem solchen Verhältniss des Schwebapparates zum Plasma genügt es, dass das specifische Gewicht des erstern nur um 0,00002 geringer ist als Seewasser, um den Plasmakörper schwebend zu erhalten. Wäre das specifische Gewicht des Plasmakörpers bekannt, so würde man dasjenige des Schwebapparats genau berechnen können<sup>1)</sup>. Auf Grund der erheblichen Sinkgeschwindigkeit und des geringen Volumens der Plasmakugel sowie der Sinkversuche mit Glaskugeln schätze ich das specifische Gewicht der Plasmamasse auf höchstens

1) Am einfachsten würde die Feststellung des specifischen Gewichtes in der Weise erfolgen, dass man den Plasmakörper, dessen Sinkgeschwindigkeit ja nicht mehr gesteigert werden kann, in Salzlösungen bringt, die concentrirter sind als Seewasser. Das specifische Gewicht derjenigen Salzlösung, in der der Plasmakörper gerade schwebt, muss dann bestimmt werden.

1,1—1,3 Das specifische Gewicht des Schwebapparats würde dann 1,02778—1,02794 betragen, also nur ausserordentlich wenig von dem des Seewassers (1,028) abweichen. Sicher ist das specifische Gewicht des hydrostatischen Apparats nicht geringer als 1,026.

Die Ausbildung der Gallerte ist oben bereits geschildert worden (S. 37), ebenso die Entstehung der Vacuolen (S. 38—40).

Fasst man zunächst die Frage ins Auge, ob die Gallerte specifisch leichter ist als Meerwasser, so ist eine für alle Fälle zutreffende Antwort vorläufig nicht zu geben. Vor Verallgemeinerung von Einzelbeobachtungen muss man sich aber in diesem Falle besonders hüten, weil die Gallerte bei den einzelnen Arten der coloniebildenden Radiolarien und ebenso der Colliden der Consistenz und dem chemischen Verhalten nach sehr verschieden ist. Das specifische Gewicht der Gallertsubstanz wird im Allgemeinen dem des Seewassers sehr nahe kommen; es ist z. B. sicher geringer als das des Plasmakörpers und compensirt daher schon einen Theil des Körpergewichtes. In manchen Fällen, nach VERWORN z. B. bei *Thalassicolla*, ist die Gallerte etwas schwerer als Seewasser, in andern aber muss sie nach meinen frühern Beobachtungen etwas leichter sein als das umgebende Medium, denn ich habe jugendliche Colonien angetroffen, welche frei schwebten, obwohl von Vacuolen in ihnen nichts zu sehen war. Ferner habe ich bemerkt, dass die aus der Vacuole von *Myxosphaera* herausgeschälte Gallertkugel (s. u. S. 55 u. 56) langsam emporsteigt und dann Stunden lang nahe der Wasseroberfläche schwebt<sup>1)</sup>.

In allen Fällen ist die Gallertsubstanz für das Schweben in den obersten Wasserschichten von grosser Bedeutung, weil sie bei einem

1) Ein anderes Argument, das ich 1885 (p. 101) für das verhältnissmässig geringe specifische Gewicht der Gallertsubstanz angeführt habe, erscheint mir auf Grund meiner oben mitgetheilten Versuche jetzt nicht mehr beweiskräftig genug. Bei stark gereizten Thalassicollen schwinden die Vacuolen, die Pseudopodien werden grossen Theils eingezogen und die Thalassicollen sinken unter. „Reisst man nun mit einer Nadel die Gallerthülle ab, so fällt die Centralkapsel als schwere Kugel heraus und bleibt auf dem Boden liegen, während die isolirte Gallertmasse, trotz zahlreicher gelber Zellen und einiger plasmatischer Theile der Radiolarie, sofort zur Oberfläche des Wassers emporsteigt.“ Da aber die von der Plasmahülle entblösste Vacuolenflüssigkeit erst im Verlaufe von mehreren Stunden aus der Gallerte ganz entfernt wird, so kann das Aufsteigen der Gallertmasse in dem genannten Falle auch darin seinen Grund haben, dass noch ziemlich viel von der unzweifelhaft specifisch leichtern Vacuolenflüssigkeit sich in der Gallerte findet.

relativ geringen spezifischen Gewicht ein bedeutendes Volumen besitzt und weil sie ferner, je nach ihrer Consistenz, als mehr oder minder elastisches Polster die empfindlichen Plasmatheile und die von diesen eingeschlossenen Vacuolen vor dem Auseinanderreissen und vor vielen Reizen schützt. Dass andererseits schwache Reize für die gute Ausbildung der Gallertmasse erforderlich sind, musste ich oben (S. 38) aus frühern eigenen Beobachtungen und einer neuern Angabe von VERWORN schliessen.

Bezüglich der Vacuolenflüssigkeit habe ich schon aus meinen frühern Versuchen den Schluss ziehen müssen, dass sie spezifisch leichter als Meerwasser ist. Sobald durch Anstechen oder in Folge von Reizen die Vacuolen theilweise oder ganz entleert werden, sinkt eine Radiolariencolonie — je nach dem Grade der Entleerung — langsam oder schneller unter, trotzdem die Verringerung der Masse in manchen Fällen kaum bemerkbar ist.

Wenn die Vacuolen etwa reines Meerwasser enthielten, so könnten sie bei reichlicher Entwicklung zwar eine beträchtliche Oberflächenvergrößerung und damit eine Verminderung der Sinkgeschwindigkeit herbeiführen, nicht aber ein Emporsteigen. BÜTSCHLI hatte wohl diese Vorstellung, als er (p. 443) hervorhob, dass ein Aufsteigen der Radiolarien durch die bis dahin ermittelten Verhältnisse „gar nicht erklärbar“ ist.

Ich habe früher bereits (1881, p. 393 und 1885, p. 59) den Nachweis geliefert, dass die Vacuolen der Collosphaeriden (*Myxosphaera*, *Collosphaera*, *Acrosphaera* und *Siphonosphaera*) nicht eine wässrige Flüssigkeit, sondern eine Gallertkugel einschliessen, die in manchen Fällen zähschleimig, in andern Fällen compact genug ist, sich herauschälen und in Stücke zerschneiden zu lassen<sup>1)</sup>. Der Vacuoleninhalt

1) J. MÜLLER und im Anschluss an ihn HAECKEL und SCHNEIDER (1858) hatten die Vacuolen der Radiolarien als Alveolen bezeichnet, weil sie dieselben für membranführende, zellenartige Gebilde ansahen. HAECKEL bezeichnete sie später (1870) geradezu als „unzweifelhafte Zellen“. Erst DÖNITZ kehrte zu der ursprünglichen Deutung der Vacuolen als wandungsloser Flüssigkeitstropfen im Protoplasma zurück, die schon von HUXLEY gegeben war. In noch gründlicherer Weise geschah die Widerlegung der vorzugsweise von HAECKEL vertretenen Ansicht durch R. HERTWIG (1876). In seiner zweiten Abhandlung über Radiolarien (1879) hält er zwar im Allgemeinen an der früher begründeten Auffassung der Vacuolen fest; „die grössern von ihnen scheinen jedoch zuweilen von einer Membran umhüllt zu sein“. „Ich schliesse dies daraus, dass es mir gelang, bei einer *Collosphaera* diese

ist in diesem Falle sicher specifisch leichter als Seewasser, denn die herausgeschälte Gallertkugel steigt zur Wasserfläche empor, wie ich früher bereits angeführt habe. Ich kann jetzt hinzufügen, dass auch

Vacuole herauszuschälen und den Ueberzug von Centralkapseln und Gallerte abzustreifen, was wohl nur bei Anwesenheit einer besondern, resistenten Membran möglich ist.“ BÜTSCHLI (1882, p. 436) schliesst sich den Erfahrungen HERTWIG's an. Das Vorhandensein einer besondern Membran erkläre sich daraus, „dass die grosse centrale Vacuole gewissermaassen einen Stützapparat der gesammten Colonie bildet.“ Ich wies dann (1885) nach, dass die von HERTWIG ausgeführte Isolation der grossen Vacuole von *Collosphaera*-Colonien deshalb leicht verständlich sei, weil die Vacuole eine flüssigkeitsreiche Gallertkugel enthält. Auch bei andern Collosphaeriden ist das Herausschälen leicht auszuführen, obwohl auch bei ihnen eine besondere Membran an den Vacuolen fehlt. Trotz meiner Widerlegung, die er gar nicht erwähnt, nimmt HAECKEL neuerdings den Standpunkt von HERTWIG (1879) ein und erklärt den Streit über die Auffassung der Alveolen für überflüssig, weil sowohl Vacuolen wie Alveolen vorkommen (1887, p. 45 und 46). „Die Vacuolen sind einfache Flüssigkeitstropfen, ohne besondere Membran, unmittelbar von der Gallertsubstanz des Calymma umgeben; sie erscheinen als einfache Hohlräume des letztern. Die Alveolen hingegen sind wirkliche Blasen, mit einer dünnen Membran, welche einen Flüssigkeitstropfen oder eine Gallertkugel einschliesst.“ Ich habe bei meinen mehrjährigen Untersuchungen an Radiolarien keine der beiden Formen von Flüssigkeitsansammlungen gesehen, sondern nur direct von Plasma umgebene Tropfen, zuweilen mit Beimischung von Gallertsubstanz, also echte Vacuolen, wie sie auch sonst in vielen Pflanzen- und Thierzellen und in Protozoen vorkommen. —

Ueber HAECKEL's Meinung bezüglich der Vacuolenflüssigkeit bin ich nicht recht ins Klare gekommen. An einer Stelle (1887, p. 45) sagt er: „Die wasserklare oder farblose Flüssigkeit in den Vacuolen und Alveolen ist gewöhnlich wohl einfaches Seewasser, seltener schwach eiweisshaltig (Eiweisskugeln) oder gallerthaltig (Gallertkugeln)“ und an einer andern Stelle desselben Werkes (p. 118): „Die Flüssigkeit oder Gallerte, welche in den Vacuolen oder Alveolen enthalten ist, scheint grossen Theils leichter als Seewasser zu sein (mit geringerm oder gar keinem Salzgehalt?). Wenn nun auch häufig (oder vielleicht immer) das specifische Gewicht des ganzen Körpers ein wenig grösser als dasjenige des Meerwassers ist, so wird doch das Untersinken desselben einerseits durch die allseitig ausstrahlenden Pseudopodien und die meistens vorhandenen Radialstacheln verhindert, die durch ihre grosse Oberfläche den Reibungswiderstand des Wassers erhöhen, andererseits vielleicht durch active (wenn auch schwache) Bewegungen der Pseudopodien.“ Der letzte Satz enthält zugleich HAECKEL's Ansicht über die Schwebeinrichtungen bei Radiolarien.

der Vacuoleninhalt bei manchen Colliden, z. B. *Physematium* und *Thalassolampe*, eine schleimige, sehr klebrige und augenscheinlich gallerthaltige Flüssigkeit ist.

Fener geht aus der von DÖNITZ, HERTWIG und mir geschilderten Entstehungsweise der Vacuolen hervor, dass nicht etwa Meerwassertropfen von Plasma umschlossen werden, sondern umgekehrt die Vacuolenflüssigkeit in dem Plasma auftritt. In neuerer Zeit ist auch VERWORN für die Uebereinstimmung der Vacuolen von Radiolarien mit denjenigen von andern Protozoen wie auch von Thier- und Pflanzenzellen eingetreten. Auf Grund dieser Uebereinstimmung hat er (1891, p. 47) die von den Pflanzenphysiologen schon seit Jahren genau ermittelte Thatsache, dass die dünne Plasmaumhüllung der Vacuolen (Plasmahaut im Sinne der Physiologen) gewisse im Wasser gelöste Stoffe nicht diffundiren lässt, ganz berechtigter Weise auch für die Vacuolen der Radiolarien verworther.

Die schönen Untersuchungen von DE VRIES, PFEFFER, VAN T'HOFF u. a. haben aber weiter ergeben, dass der osmotische Druck abhängig ist von dem Konzentrationsunterschiede der beiden Flüssigkeiten, die durch eine Plasmaschicht getrennt sind. Es ist also falsch, wenn VERWORN (1893, p. 155) sagt: Die als mikroskopisch kleine Bläschen auftretenden Radiolarienvacuolen wachsen, „indem sie vom Medium her Wasser in sich aufnehmen. Dabei muss das Wasser die protoplasmatische Vacuolenwand passiren. Ist aber das lebende Protoplasma für Salze undurchgängig, so können die in dem Meerwasser enthaltenen Salze nicht hindurchtreten. Es gelangt also eine salzfreie Flüssigkeit in die Vacuolen, die natürlich specifisch leichter sein muss als das salzhaltige Meerwasser.“ Das ist deshalb falsch, weil die Vacuole nur wachsen kann, wenn die in ihr befindliche Lösung concentrirter ist als das umgebende Meerwasser. Der osmotische Druck beruht ja darauf, dass von zwei verschieden starken Lösungen, die durch eine Plasmahaut oder durch eine Niederschlagsmembran (PFEFFER) getrennt sind, Wasser von der schwächern Lösung nach der stärkern hin durch die trennende Schicht diffundirt. Ist die Flüssigkeit in der Vacuole concentrirter als die Flüssigkeit der Umgebung, so wächst sie durch Wasseraufnahme, ist sie weniger concentrirt (wie VERWORN annimmt), so kann sie nur durch Wasserabgabe abnehmen, bis ihre Concentration der der Umgebung gleich ist. VERWORN will erklären, dass die Vacuolenflüssigkeit specifisch leichter ist, macht dabei aber einen Cirkelschluss. Consequenter Weise hätte er nur zu dem Resultat gelangen können, dass die

Vacuolenflüssigkeit schwerer ist, so lange die Vacuole wächst, und gleich ist dem Meerwasser, wenn die Vacuole ihre definitive Grösse erreicht hat. Es ist somit keineswegs, wie VERWORN behauptet (p. 155), „ein lückenloses Bild von dem Mechanismus gewonnen, der das geheimnissvolle Steigen und Sinken jener wunderbaren pelagischen Wesen vermittelt.“

Das geringere specifische Gewicht der Vacuolenflüssigkeit kann nur auf einem andern als dem von VERWORN eingeschlagenen Wege verständlich gemacht werden, nämlich durch eine sehr wichtige Entdeckung VAN T'HOFF's, die VERWORN unberücksichtigt gelassen hat<sup>1)</sup>. Danach ist der osmotische Druck proportional der Zahl der Molecüle in der Volumeneinheit. Ferner ist es nicht zu umgehen, dass man das specifische Gewicht der Vacuolenflüssigkeit ungefähr kennen muss, wenn man die Gesetze der Osmose auf die Radiolarien anwenden will. Die bis dahin noch nicht ermittelte Grösse der Differenz zwischen dem specifischen Gewicht der Vacuolenflüssigkeit und dem des Meerwassers habe ich oben auf Grund von Beobachtungen und Versuchen auf 0,003—0,0005 annähernd berechnet. Das specifische Gewicht der Vacuolenflüssigkeit liegt also höchst wahrscheinlich zwischen 1,025 und 1,0275, beträgt also im Mittel etwa 1,02625.

Wenn man es mit natürlichem Seewasser zu thun hat, so entspricht dem specifischen Gewicht von

1,01 ein Salzgehalt von	1,31 %
1,015	1,51
1,02	2,62
1,025	3,28
1,0262	3,43
1,027	3,54
1,0275	3,60
1,028	3,67

Es sind nur zwei Fälle möglich: entweder besteht osmotisches Gleichgewicht, oder das Gleichgewicht ist gestört, und es besteht eine Druckdifferenz zwischen dem Vacuoleninhalt und dem Meerwasser. Im erstern Falle muss die Zahl der Molecüle der in der Vacuolenflüssigkeit gelösten Substanzen gleich der Zahl der Molecüle sein, welche die Seesalze des Meerwassers in der Volumeneinheit enthalten. Es ist zunächst zu untersuchen, ob dieser Fall für Radiolarien zutrifft oder überhaupt möglich ist.

1) in: Z. physikal. Chemie, V. 1, 1887, p. 481.

Die durchschnittliche Zusammensetzung des Meerwassers (nach FORCHHAMMER) geht aus der folgenden Tabelle hervor<sup>1)</sup>. Da es auf das Verhältniss der Moleculargewichte ankommt, so habe ich diese berechnet und in der dritten Spalte mit angeführt.

	In 1000 Th. Oceanwasser	Procent des Salzgehalts	Verhältniss der Moleculargewichte
NaCl	26,862	78,32	45,817
MgCl <sub>2</sub>	3,239	9,44	8,924
MgSO <sub>4</sub>	2,196	6,40	7,552
CaSO <sub>4</sub>	1,350	3,94	5,279
KCl	0,582	1,69	1,240
Verschiedenes (Carbonate etc.)	0,071	0,21	
	34,300	100,00	68,812

Die im Seewasser gelösten Salze besitzen also ein Gesamtmoleculargewicht von 68,812. Wäre das Meerwasser eine Kochsalzlösung, so würde das Moleculargewicht 58,5 betragen; trotz des hohen Moleculargewichtes des Chlormagnesiums und namentlich der Sulfate wird wegen der verhältnissmässig geringen Mengen, in denen diese Substanzen vertreten sind, die Summe der Moleculargewichte aller im Seewasser vorkommenden Salze nur auf 68,812 erhöht.

Die Volumeneinheit ist nach H. RODEWALD<sup>2)</sup> 22,39 cbm. Mit hin geben 68,812 kg Seesalze, gelöst in 22,39 cbm (22390 l) H<sub>2</sub>O bei gleichbleibender Temperatur<sup>3)</sup> einen osmotischen Druck von einer Atmosphäre, oder in Procenten ausgedrückt: 0,30 Proc. Seesalz entsprechen einem Druck von einer Atmosphäre. Besteht osmotisches Gleichgewicht, so ist die Zahl der Molecüle innerhalb der Vacuole und im umgebenden Seewasser in der Volumeneinheit gleich. Da das specifische Gewicht der Vacuolenflüssigkeit geringer als das des Meerwassers ist, so muss in der Vacuolenflüssigkeit ein Theil der Seesalze ersetzt sein durch eine Substanz, deren Moleculargewicht niedriger ist als 68,8, wenn das osmotische Gleichgewicht bestehen soll.

Es kommen dabei in erster Linie organische Stoffe in Betracht.

1) G. v. BOGUSLAWSKI, Handb. der Oceanographie, V. 1, Stuttgart 1884, p. 129.

2) Ueber die durch osmotische Vorgänge mögliche Arbeitsleistung der Pflanzen, in: Ber. Deutsch. Bot. Ges., V. 10, 1892, p. 85.

3) Streng genommen bei 0°. Die Reduction auf die bei den Versuchen angewandte Temperatur hat keinen Einfluss auf die Rechnung.

Nun ist zwar eine stark gequollene, organische Substanz von mir in den Vacuolen verschiedener Radiolarien gefunden worden (die Vacuolengallerte); da aber nur die gelösten, nicht auch die gequollenen Substanzen einen osmotischen Druck erzeugen, so kann die Gallerte hier nicht in Betracht kommen. Es kann sich nur um gelöste C-Verbindungen handeln. Von diesen aber besitzen nur recht wenige ein geringeres Moleculargewicht als 68,8. Am nächstliegenden ist es, an Kohlensäure zu denken, die im lebenden Organismus beständig bei der Athmung gebildet wird und das Moleculargewicht 44 besitzt.

Bei 15° und einem Druck von 1 Atmosphäre löst 1 ccm Wasser fast genau 1 ccm CO<sub>2</sub> (genau 1,0020, bei höherer Temperatur etwas weniger) auf, demnach 100 ccm Wasser 0,19666 Gewichtsprocente CO<sub>2</sub>. Der osmotische Druck einer 0,1966 proc. CO<sub>2</sub>-Lösung wird folgendermaassen gefunden: 44 kg in 22400 l Wasser, d. i. eine Lösung von 0,1964 Proc., bedingen eine Atmosphäre Druck. Folglich ist auch der Druck einer Lösung von 0,19666 Proc. fast genau gleich einer Atmosphäre.

In Bezug auf die osmotische Wirkung werden 0,1964 Proc. CO<sub>2</sub> vertreten durch 0,30 Proc. Seesalze. Ein Betrag von 0,30 Proc. Seesalzlösung könnte also in den Vacuolen fehlen, ohne dass eine Störung des osmotischen Gleichgewichts bewirkt würde, wenn dafür 0,1964 Proc. CO<sub>2</sub> vorhanden wären.

Ueber das specifische Gewicht von CO<sub>2</sub>-Lösungen ist meines Wissens nichts bekannt<sup>1)</sup>. Da das specifische Gewicht von Gaslösungen in Wasser bald höher (z. B. bei Chlorwasserstoffsäure), bald geringer (z. B. bei Ammoniak) ist als 1, so waren directe Versuche erforderlich.

Herr Prof. RODEWALD hat die Güte gehabt, das specifische Gewicht bei 18,5° durch Wägungen im Pyknometer festzustellen, indem er das Gewicht von ausgekochtem, destillirtem Wasser mit demselben Wasser nach Sättigung mit CO<sub>2</sub> verglich. Das Pyknometer hatte ein reducirtes Volumen von 44,996 ccm. Die Differenz beider Wägungen betrug 0,0135 g, und zwar war das mit CO<sub>2</sub> gesättigte Wasser um so viel schwerer. Die Differenz der specifischen Gewichte betrug also 0,0003, mithin das specifische Gewicht der CO<sub>2</sub>-Lösung 1,0003 bei 18,5°.

1) Später fand ich bei BÜTSCHLI (Protozoen, V. 1. p. 292) die Angabe, dass nach S. VON WROBLEWSKI das mit CO<sub>2</sub> gesättigte Wasser (Temperatur 9—12°) eine Dichte von 1,0002 besitzt (in: Ann. Phys. u. Chemie, 1877, p. 500).

Die für den osmotischen Druck von einer Atmosphäre äquivalenten Mengen sind 0,196 Proc.  $\text{CO}_2$  mit dem specifischen Gewicht 1,0003 und 0,30 Proc. Seesalz mit dem specifischen Gewicht 1,0023. Wenn also in den Vacuolen ein Theil des Seesalzes durch Kohlensäure ersetzt ist, so muss die Vacuolenflüssigkeit das specifische Gewicht  $1,028 - 1,0023 + 1,0003 = 1,0260$  besitzen.

Durch Rechnung auf Grund von Beobachtungen hatte ich vorher das specifische Gewicht der Vacuolenflüssigkeit (s. oben S. 58) zu  $1,025 - 1,0275$ , im Mittel zu **1,02625** erhalten. Eben erhielt ich fast genau den gleichen Werth<sup>1)</sup> als specifisches Gewicht der Vacuolenflüssigkeit für den Fall, dass osmotisches Gleichgewicht besteht und dass die Druckdifferenz von einer Atmosphäre durch die entsprechende Menge von  $\text{CO}_2$ -Lösung ausgeglichen wird. Man kommt folglich zu dem wichtigen Ergebniss, dass die coloniebildenden Radiolarien und Colliden in überraschend einfacher Weise und mit äusserst geringem Aufwand an Material und Arbeit schweben, nämlich dadurch, dass die bei der Athmung nothwendig sich bildende Kohlensäure in der Vacuolenflüssigkeit gelöst wird, und dass nach den Gesetzen der Osmose auf diese Weise eine Verringerung des Salzgehaltes und damit auch des specifischen Gewichtes der Vacuolenflüssigkeit herbeigeführt wird.

Ich weiss keine andere anorganische oder organische Substanz anzugeben, die einen solchen Effect herbeiführen könnte, als die Kohlensäure. Die Substanz muss nämlich in genügender Menge in den lebenden Organismen vorkommen und ausserdem nicht allein ein so niedriges Moleculargewicht besitzen, dass sie die Druckdifferenz, die durch geringern Seesalzgehalt der Vacuolenflüssigkeit hervorgerufen wird, compensirt, sondern ferner auch ein so geringes specifisches Gewicht haben, dass die thatsächlich bestehende Differenz des specifischen Gewichtes zwischen der Vacuolenflüssigkeit und dem Meerwasser erklärt wird.

Wenn dadurch, dass  $\text{CO}_2$  in der Vacuolenflüssigkeit aufgelöst ist, das osmotische Gleichgewicht hergestellt wird, so braucht der Organismus keine besondere Arbeit zu leisten. Anders wäre es, wenn

1) Genau genommen ist er etwas geringer, so dass sich auch geringe Mengen von gelösten Substanzen mit höherm Moleculargewicht als 68,8 in der Vacuolenflüssigkeit finden können, z. B. Stoffwechselproducte, deren Vorhandensein man ohnehin erwarten muss.

eine Druckdifferenz bestände. Dieselbe würde bei dem durchschnittlichen specifischen Gewicht der Vacuolenflüssigkeit von 1,0262 nahezu 1 Atmosphäre betragen <sup>1)</sup>. Die Arbeit, die vom Plasma dabei geleistet werden müsste, um die Herstellung des osmotischen Gleichgewichtes zu verhindern, wäre freilich so gering, dass sie gegenüber der durch den Athmungsprocess ausgelösten Energie <sup>2)</sup> verhältnissmässig sehr klein wäre.

So erheblich auch die Fortschritte in der Erkenntniss der Schweb-einrichtungen sind, die sich durch die Anwendung der osmotischen Gesetze ergeben haben, so bleibt der weitem Forschung noch ein weites Feld. Vor allem gilt es die Frage zu entscheiden, worin der Anstoss zur Bildung der hydrostatischen Vacuolen besteht. Das Auftreten der kleinen Flüssigkeitströpfchen im Protoplasma und ihr allmähliches Heranwachsen zu Vacuolen wird nur dann verständlich, wenn man annimmt, dass zunächst eine gelöste Substanz von höhern Moleculargewicht als 68,8 vom Plasma abgeschieden wird. Am nächstliegenden ist die Vermuthung, dass es sich dabei um ein Stoffwechselproduct (organische Säuren, Harnsäure oder dergl.) handelt. Ebenso sind über die Gallertsubstanz der Radiolarien oder anderer Hochseeorganismen noch gründliche Untersuchungen in chemischer und physikalischer Hinsicht erforderlich, ehe der ganze Process sich klar übersehen und physikalisch erklären lässt.

Aehnliche Einrichtungen zur Herabsetzung des specifischen Gewichtes, wie sie bei den untersuchten Abtheilungen der Radiolarien vorkommen, sind ausserordentlich verbreitet bei den Hochseeorganismen. Auch in den meisten andern Fällen werden sich die Gesetze der Osmose in ganz ähnlicher Weise anwenden lassen, wie ich es im Vorstehenden gethan habe. Aber auch bei freischwebenden Süsswasserorganismen, z. B. den Heliozoen, finden sich sehr ähnliche Einrichtungen. Die ersten Versuche über das Schweben, Steigen und Sinken von *Actinosphaerium* habe ich selbst angestellt (l. c. 1878). Das Plasma ist ausserordentlich reich an Vacuolen; der andere bei Meeresorganismen so sehr verbreitete Theil des Schweb-

1) Bestände aber die Vacuolenflüssigkeit aus reinem Wasser, so würde der osmotische Druck, der vom Meerwasser ausgeübt wird,  $\frac{3,67}{0,3} = 12$  Atmosphären ausmachen.

2) Vgl. H. RODEWALD, Weitere Untersuchungen über den Stoff- und Kraftumsatz im Athmungsprocess der Pflanze, in: PRINGSHEIM'S Jahrb. wiss. Bot., V. 20, 1889.

apparats, die in Süßwasser lösliche Gallertsubstanz, fehlt jedoch. Durch schwache mechanische Reizung wird ein Theil der Vacuolenflüssigkeit entleert; das vorher matt bläulich-weiße Thier wird milchweiß, verringert seinen Durchmesser um  $\frac{1}{12}$  bis  $\frac{1}{8}$  und sinkt unter. Da der Durchmesser von *Actinosphaerium* durchschnittlich 0,5 mm beträgt, so ist das Volumen des schwebenden Exemplares (abgesehen von den radiären Pseudopodien) 0,05495 cmm, das des sinkenden 0,04337, mithin das der abgeschiedenen Vacuolenflüssigkeit 0,01158, d. i.  $\frac{1}{4}$  des ganzen Thieres. Bei starker Reizung, die ich damals nicht angewandt habe, wird die Volumenverringering noch erheblicher sein. Das Thier steigt erst wieder empor, wenn seine Masse wieder vergrößert, seine welken und geknickten Pseudopodien wieder borstenartig aufgerichtet sind und die ganze Masse wieder das mattbläuliche Ansehen angenommen hat. Um zu erklären, dass das Sonnenthierchen beim Aufsteigen specifisch leichter wird als das umgebende Wasser, nahm ich an, „dass das stark expandirte *Actinosphaerium* dadurch aufsteigt, dass seine Vacuolen mehr Gas aufnehmen, als das umgebende Wasser enthält“. BÜTSCHLI<sup>1)</sup> machte gegen diese Vermuthung geltend, dass nach S. v. WROBLEWSKI das mit CO<sub>2</sub> gesättigte Wasser eine Dichte von 1,0002 besitzt. Nachdem inzwischen die Gesetze der Osmose entdeckt sind, wäre es lohnend, auf diese Frage zurückzukommen und durch neue Untersuchungen wie auch durch Rechnung zu ermitteln, ob es nicht möglich ist, dass die Heliozoen dadurch schweben, dass sie in ähnlicher Weise wie die flottirenden Radiolarien in ihrer Vacuolenflüssigkeit etwas weniger Salze als das umgebende Wasser und dafür eine entsprechende Menge von Kohlensäure gelöst enthalten. Ausgeschlossen ist diese Möglichkeit nicht, denn das Moleculargewicht der freilich nur spärlich im Süßwasser vertretenen Salze (vorzugsweise Carbonate und Sulfate) ist relativ sehr hoch, während das des Seesalzes, wie gezeigt wurde, ausserordentlich gering ist. Es handelt sich hier nur um minimale Werthe, doch ist möglicher Weise durch Rechnung zu zeigen, dass die absorbirte Kohlensäure trotz des specifischen Gewichtes von 1,0002 oder 1,0003 die Sonnenthierchen noch gerade so schwer oder fast so schwer macht wie das umgebende Süßwasser, das ja auch eine höheres specifisches Gewicht als 1 hat. Dass es für die Süßwasserorganismen schwer ist, das specifische Gewicht so abzustimmen, dass es mit dem der Umgebung gleich ist, geht nicht nur aus der relativ sehr geringen Mannigfaltigkeit der

1) Protozoa, in: BRONN'S Cl. u. Ordn.. V. 1, p. 292.

schwebenden Süßwasserformen hervor, sondern auch daraus, dass sie stets durch Ausbildung von zahlreichen langen und steifen Pseudopodien noch den Widerstand gegen das Wasser erhöhen.

Bei Gelegenheit dieser Untersuchungen könnte auch eine andere Frage ins Auge gefasst werden. Es ist eine sehr auffallende Erscheinung, dass die schwebenden Meeresorganismen ohne pulsirende Vacuolen auskommen (Radiolarien, Globigerinen), während sie bei den flottirenden Süßwasserorganismen von ähnlicher Organisation (Heliozoen) stets vorhanden sind. Auch das wird mit den osmotischen Gesetzen zusammenhängen und durch die in der pulsirenden Vacuole gelösten Stoffe im Vergleich zu den im umgebenden Medium gelösten bedingt sein. Wenn in den pulsirenden Vacuolen eine Substanz gelöst ist, die ein hohes Moleculargewicht besitzt, so findet eine starke Diffusion von Wasser nach der Vacuole hin, in Folge dessen ein Aufblähen der Aussenwand und schliesslich, wenn die Elasticitätsgrenze der gespannten Plasmaschicht erreicht ist, ein Platzen statt. Die Kohlensäure kann bei ihrem niedrigen Moleculargewicht nicht einen so erheblichen osmotischen Druck hervorrufen, wie er bei den pulsirenden Vacuolen vorliegt, während die erhebliche Wasseranziehung seitens der pulsirenden Vacuole sofort verständlich wird, sobald man annimmt, dass nicht bloss Kohlensäure (wie bei den hydrostatischen Vacuolen auch), sondern ausserdem noch Stoffwechselproducte von hohem Moleculargewicht an der betreffenden Stelle vom Protoplasma in concentrirter Lösung abgeschieden werden, dass mit andern Worten die pulsirenden Vacuolen ein primitives Excretionsorgan repräsentiren. Diese Annahme steht mit der jetzt herrschenden Ansicht über die physiologische Bedeutung der pulsirenden Vacuole <sup>1)</sup>, nach welcher sie eine ausschliesslich respiratorische Function besitzt, allerdings nicht in Einklang. Wiederholt ist jedoch schon von verschiedenen Forschern diesen Vacuolen eine ausschliesslich oder vorwiegend excretorische Bedeutung zugeschrieben. Ich selbst habe früher darauf hingewiesen <sup>2)</sup>, dass das Verhalten der Amöben bei Lebendfärbung mit Hämatoxylin dafür spricht, dass die pulsirende Vacuole ein Excretionsorgan sei und Säure enthalte.

Unter Anwendung der osmotischen Gesetze und der von DE VRIES

1) Vergl. BÜTSCHLI, Protozoa, in: BRONN'S Cl. u. Ordn., V. 3, p. 1451 u. f.

2) Färbung lebender einzelliger Organismen, in: Biol. Centralbl., V. 1, 1881, p. 204.

u. a. ausgebildeten Untersuchungsmethoden könnte auch diese wichtige Frage ihrer Lösung näher geführt werden.

## 2) Das Niedersinken und Wiederaufsteigen der Colliden und Sphaerozoöen in Folge mechanischer Reize.

Der hydrostatische Apparat der Colliden und Sphaerozoöen ist in ausgezeichneter Weise regulirbar. Mit äusserst geringem Aufwande an Kraft und Stoff kann das Thier leicht eine Vergrösserung bezw. Verringerung seines specifischen Gewichts herbeiführen.

In den meisten Fällen wird ein Untersinken durch Entleerung einiger, vieler oder sämtlicher Vacuolen bewirkt, ein Wiederaufsteigen durch Herstellung des frühern Zustands, d. h. durch Secretion neuer Vacuolenflüssigkeit. Das Schwinden von Vacuolen bedingt eine Vermehrung, die Neubildung solcher Flüssigkeitsansammlungen eine Verminderung des specifischen Gewichtes. Das Untersinken geschieht unter natürlichen Verhältnissen auf Grund äusserer Reize (mechanischer bezw. thermischer), während die Herstellung des frühern Schwebapparates und darauf das Wiederaufsteigen nach dem Aufhören des betreffenden Reizes erfolgt.

Wenn ein äusserer Reiz die Pseudopodien, welche über die Gallertoberfläche hervorragten, trifft, so ziehen sich dieselben zusammen. Der Reiz wird von den sich zurückziehenden Pseudopodien auf die dünnen Vacuolenwände übertragen, die ja ebenso wie die Pseudopodien aus reizbarem, contractilem Plasma bestehen. In Folge dessen ziehen sich die Wände der Vacuolen zusammen und reissen dabei an vielen Stellen ein, so dass die Vacuolenflüssigkeit durch die Gallerte in das umgebende Medium diffundiren kann. War die Reizung heftiger und länger andauernd, so ziehen sich die plasmatischen Wände der Vacuolen sämtlich zusammen, und alles Plasma der Pseudopodien wie der Vacuolenwände wird nach der kernhaltigen Centralkapselmasse hin concentrirt. Die nun völlig nackten Flüssigkeitstropfen in der Gallerte sind unscharf und unregelmässig contourirt und schwinden allmählich vollständig.

Die mechanischen Reize, denen die Radiolarien unter natürlichen Verhältnissen so häufig ausgesetzt sind, können nie lange einwirken, weil selbst bei heftiger Bewegung der Meeresoberfläche die Thiere dadurch, dass sie untersinken, sehr bald in ruhigere Wasserschichten gelangen. Sie sinken um so tiefer, je heftiger der Reiz war, welcher die Verkleinerung des Gesamtkörpers und zugleich die

Vermehrung des specifischen Gewichtes herbeigeführt hatte. Sowohl nach starker als auch nach schwacher Reizung vergeht stets einige Zeit nach dem Aufhören des Reizes, ehe an dem untersinkenden Thier die Wiederherstellung des hydrostatischen Apparats beginnt. Sobald aber die Pseudopodien wieder vorgestreckt sind und die Secretion neuer Vacuolenflüssigkeit angefangen hat, verlangsamt sich zunächst das Sinken, hört nach einiger Zeit ganz auf, und schliesslich steigt das Individuum bezw. die Colonie wieder langsam empor. Der hydrostatische Apparat ist nun im Wesentlichen wieder wie vor der Reizung beschaffen. Ist die Oberfläche noch stark bewegt, so werden die Organismen gar nicht ganz bis zur Oberfläche gelangen, sondern je nach dem Grade ihrer Empfindlichkeit in grösserer oder geringerer Entfernung vom Wasserspiegel wieder untersinken. Dieses Spiel wird sich so lange wiederholen, bis die Meeresoberfläche nur noch mässig bewegt ist.

Bezüglich des Untersinkens der Radiolarien in Folge von Reizen, welche nicht an und für sich tödtlich wirken, kann man zwei Fälle unterscheiden: erstens schwache oder starke Reizungen von kurzer Dauer; zweitens schwache oder starke Reize, die Stunden oder Tage lang andauern. Zu der ersten Kategorie gehören die mechanischen Reizungen, denen die Plankton-Organismen unter natürlichen Verhältnissen auf offener See ausgesetzt sind. Die starken Schüttelbewegungen und das heftige Hin- und Herschleudern an stark bewegter Meeresoberfläche veranlassen je nach dem Grade der Empfindlichkeit früher oder später ein mehr oder weniger tiefes Hinabsinken der Radiolarien. Schon wenn sie nur einige Meter von der Oberfläche sich entfernen, wogen sie nur noch sanft auf und nieder, und diese Bewegung wirkt, wie Versuche lehren, nicht mehr als Reiz auf sie ein. Da aber selbst der kurz andauernde Reiz immer noch eine Weile nachwirkt, so sinken die Radiolarien auch stets tiefer als nöthig ist, um aus der Region, in der sie weitem Reizungen ausgesetzt sind, herauszukommen, und zwar um so tiefer, je heftiger der Reiz war.

Versuche über die Sinkgeschwindigkeit von *Sphaerocozum*-Colonien haben Folgendes ergeben. Bei schwacher mechanischer Reizung von kurzer Dauer sinken diese Colonien ungemein langsam. Sie legen, wie ich früher bereits (1885, p. 99) angegeben habe, einen Decimeter in 1—2 Minuten zurück. Mithin langen sie in einer Tiefe von 10 m erst in  $1\frac{1}{2}$ —3 Stunden, in einer solchen von 100 m erst in 24 Stunden an. Da aber mechanische Reizung nur in den oberflächlichsten Wasserschichten stattfindet und die Radiolarien bald nach Aufhören des

Reizes die Defecte ihres hydrostatischen Apparats ausgleichen, so können unter natürlichen Verhältnissen die *Sphaerozoum*-Colonien sich selbst bei Sturm nur wenig von der Oberfläche entfernt haben. Dass sogar bei heftigem Sturm die coloniebildenden Radiolarien sich nicht aus dem Bereich der Wellenbewegung entfernen, dass sie also nur bis zu einer Tiefe von etwa 10—30 m hinabsinken, lehrten mich Beobachtungen, die ich früher bereits veröffentlicht habe (1892, p. 360).

Ich habe oben nur die Sinkgeschwindigkeit von *Sphaerozoum*-Colonien, die kurze Zeit schwach gereizt worden sind, angegeben. Es ist von Interesse, auch das Verhalten stark gereizter Colonien kennen zu lernen und die grösste Sinkgeschwindigkeit, welche sich bei solchen Colonien erreichen lässt, zu erfahren. Nach den oben mitgetheilten Versuchen sinken *Sphaerozoum*-Colonien nach starker mechanischer Reizung von kurzer Dauer (oder, was bezüglich des Resultats auf dasselbe hinauskommt, nach zwar schwacher, aber stundenlang andauernder Reizung) mit einer Geschwindigkeit von 1 dm in  $\frac{1}{2}$  Minute. Solche Colonien brauchen also pro m 5 Minuten, d. h. sie kommen in einer Tiefe von 100 m nach 8,3 Stunden, am Boden des Oceans (in einer durchschnittlichen Tiefe von 4000—5000 m) in ungefähr 2 Wochen an.

Endlich brauchen Colonien, die auf das Heftigste gereizt sind, immerhin noch für 1 dm 12 Secunden. Sie legen den Meter in 2 Minuten zurück, kommen in 100 m Tiefe nach 3,3 Stunden, am Meeresgrunde in  $5\frac{1}{2}$ —7 Tagen an. Dies ist die grösste Sinkgeschwindigkeit, die ich bei zahlreichen Versuchen überhaupt bei grössern Radiolarien-Colonien erzielen konnte. Kleine Colonien und die meisten Monozoen sinken bedeutend langsamer, weil der Reibungswiderstand verhältnissmässig um so grösser ist, je kleiner der Gegenstand.

Ob und wie weit auch der andere Theil des hydrostatischen Apparats, die Gallerte, regulirbar ist, müssen weitere Untersuchungen ergeben. Bei meinen oben mitgetheilten Versuchen verhielt sich die Gallerte verschieden. Zunächst fand in manchen Fällen bei Reizung von coloniebildenden Radiolarien scheinbar, nach der Verschmälerung des Gallertsauces zu schliessen, eine Verringerung der Gallertmasse statt. Das Schmalwerden des äussern Saumes hängt aber damit zusammen, dass der vorher grösstentheils von Vacuolenflüssigkeit eingenommene Raum im innern Theile der Colonie nun von Gallerte erfüllt wird. War jedoch die Reizung stärker, so rücken die Individuen mehr nach dem Centrum hin, und der Gallertsaum wird verhältnissmässig breiter. Beide Erscheinungen haben mit

Aenderungen der Gallerts substanz selbst nichts zu thun. Ueberhaupt scheinen mässige Reizungen, die nicht zum Absterben des Organismus führen, keine grössern Volumenveränderungen der Gallerte herbeizuführen.

Längere Reizung (20—25 Stunden) führte in meinen Versuchen an coloniebildenden Radiolarien stets zum Absterben, doch fand der Tod oft erst nach 1—2 Tagen statt, ohne dass das zusammengezogene Plasma inzwischen wieder Pseudopodien vorgestreckt und neue Vacuolen gebildet hätte. Ich habe zwei solche Fälle näher beobachtet. In dem einen (s. oben b) wurde vor dem Absterben nach 45stündiger Reizung eine Vergrösserung der Gallerte constatirt, trotzdem aber eine Zunahme der Sinkgeschwindigkeit beobachtet. Es handelte sich hierbei wohl um eine Aenderung der Gallerts substanz, die durch das nahe bevorstehende allmähliche Absterben hervorgerufen wurde. In dem andern Falle (d) wurde nach 17stündiger Reizung ein gänzlichliches Fehlen der Vacuolen, eine entsprechende Verringerung des Volumens und eine nicht unerhebliche Sinkgeschwindigkeit constatirt. Auffallender Weise wurde dann nach 4stündiger Ruhe eine Vergrösserung des Gesamtvolumens und entsprechende Abnahme der Sinkgeschwindigkeit beobachtet. Da gar keine Vacuolen vorhanden waren, so können auch hier nur Veränderungen in der Gallerte die Ursache der Volumenzunahme gewesen sein. Da es auch in diesem Falle nicht zu einer Wiederherstellung des normalen Zustandes gekommen ist, sondern die Individuen bald abstarben, so hängen wohl gleichfalls die beobachteten Erscheinungen mit dem allmählichen Absterben des Protoplasmas zusammen. Diese Annahme wird dadurch wahrscheinlicher gemacht, dass nach dem erfolgten völligen Absterben der Individuen mit ihren Pseudopodien zunächst wieder eine Zunahme der Sinkgeschwindigkeit, später aber sogar ein Emporsteigen der wieder vergrösserten Colonie stattfand. Die Gallerte war von ebenso fester Consistenz wie bei der lebenden Colonie.

### 3) Thermische Reize.

Von den beiden vorher unterschiedenen Kategorien — den kurze Zeit einwirkenden und den lange andauernden Reizen — habe ich bisher nur die erstern näher erörtert, weil diese hauptsächlich unter natürlichen Verhältnissen in Betracht kommen. Der Unterschied zwischen diesen beiden Kategorien ist viel erheblicher, als es bei flüchtiger Betrachtung erscheint. Die oben mitgetheilten Versuche zeigen unzweifelhaft, dass die Dauer des Reizes von grösserer Wich-

tigkeit für das Weiterleben des Radiolarienorganismus ist als die Intensität. Schwache Reize, die an und für sich ganz unschädlich sind und bei kurzer Dauer nur höchst geringfügige Aenderungen hervorrufen, tödten die Radiolarien bei dauernder Einwirkung schon nach 12 bis 24 oder 36 Stunden. Wie ich bereits ausgeführt habe, können auf offener See mechanische Reize nicht Stunden oder Tage lang auf die zum Sinken befähigten Plankton-Organismen einwirken. Dagegen kommen hier als Reize von event. langer Dauer die thermischen in Betracht. Ich habe früher (1885, p. 117—119) durch Erwärmungs- und Abkühlungsversuche ermittelt, dass 1) bei Erwärmung des Wassers auf die höchste im offenen Meere vorkommende Temperatur (29—30° C) mehrere im Mittelmeer vorkommende Radiolarien<sup>1)</sup> untersinken und bei weiterer Erwärmung bald absterben, und dass 2) bei allmählicher Abkühlung die Colonien von *Collosphaera huxleyi* und *Collozoum pelagicum* bei einer Temperatur von 5—8°, die von *Sphaerozoum punctatum* bei 2—4° untersinken, während *Thalassicolla nucleata* noch bei 2½° an der Oberfläche bleibt. *Sph. punctatum* und *Collosph. huxleyi* ertragen stundenlange Abkühlung auf 1°, ohne zu sterben; sie erleiden jedoch gewisse Veränderungen, die erst nach 2—3 Tagen ein Wiederaufsteigen möglich machen. Auch *Collozoum pelagicum* und *Thalassicolla nucleata* überleben eine Abkühlung auf 2½° (geringere Temperaturgrade wurden bei ihnen nicht angewendet), während *Sph. neapolitanum* in Folge einer solchen Temperaturerniedrigung abstarb.

Das Untersinken bei Erwärmung oder Abkühlung über das Temperatur-Maximum bezw. -Minimum hinaus erfolgt ganz ebenso wie bei mechanischer Reizung durch Zusammenziehung des Plasmas und Entleerung einer mehr oder weniger grossen Anzahl von Vacuolen. Die Versuche zeigen ganz unzweifelhaft, dass solche schwebende Plankton-Organismen auf thermische Reize durch Untersinken reagiren. Für das Verständniss der geographischen Verbreitung, der horizontalen Vertheilung der Organismen im Ocean, ist diese Thatsache von fundamentaler Wichtigkeit.

Betrachtet man zunächst die von mir in dieser Hinsicht untersuchten Radiolarien, so sind dieselben ja mit Ausnahme der kosmopolitischen *Thalassicolla nucleata* Bewohner warmer Meeresabschnitte. Im Mittelmeer schwankt die Temperatur des Wassers zwischen 13

1) *Collozoum inerme*, *C. fulvum*, *Collosphaera huxleyi* und *Sphaerozoum punctatum*.

und 27 °, im äquatorialen Theile des Atlantischen Oceans steigt die Oberflächentemperatur nur wenig höher (bis etwa 29 °).

Nach dem Verhalten bei Abkühlungsversuchen muss man erwarten, dass *Collosphaera huxleyi*, *Colloz. pelagicum* und besonders auch das sehr empfindliche *Sphaeroz. neapolitanum* nur in wärmeren Meeresabschnitten vorkommen werden, während *Sphaerozoum punctatum* ausserdem auch in kälteren Meerestheilen angetroffen werden kann. Sobald nämlich die erstgenannten Species durch Ströme in Gebiete von 5—8 ° Oberflächentemperatur geführt werden, sinken sie unter und gelangen in immer kältere Wasserschichten. Der Reiz dauert fort, und die Anfangs mässige Sinkgeschwindigkeit steigert sich in derselben Weise wie bei andauernder mechanischer Reizung. Die Sinkgeschwindigkeit überschreitet aber auch in diesem Falle nicht das oben angegebene Maximum (höchstens 1 dm in 12 Secunden). Da die Abkühlung andauert und sogar noch zunimmt, so hört der Reiz auch nicht mehr auf, und die nach etwa einem Tage abgestorbenen Radiolarien gelangen todt nach frühestens einer Woche am Meeresboden an. Da mit den Jahreszeiten sich die Oberflächentemperatur in den in Betracht kommenden Meeresabschnitten nicht unbeträchtlich ändert, so wechselt auch mit den Jahreszeiten die Verbreitungsgrenze der einzelnen Species bezw. die Lage ihres Grabes am Meeresgrunde.

Aus den Abkühlungsversuchen folgt ferner, dass die genannten Radiolarien des Warmwassergebietes selbst in der Nähe des Aequators nicht in Tiefen von mehr als 1000 m lebend angetroffen werden können und dass sie mithin auch nicht am Grunde des Oceans zu existiren vermögen.

HERTWIG's frühere Annahme (1879, p. 128), dass dieselben Radiolarien, die an der Meeresoberfläche vorkommen, auch in der ganzen gewaltigen Wassersäule bis zum Boden hinab sich finden, dass sie beständig auf- und niedersteigen und ebenso gut auf dem Grunde wie an der Oberfläche des Meeres leben, wird man also definitiv fallen lassen müssen.

Von den äussern Reizen, welche sonst noch in Betracht kommen könnten, dem Licht und der Veränderung in der Zusammensetzung des Wassers, hat das Licht weder auf die Colliden noch auf die Sphaerozoöen einen nachweisbaren Einfluss. Ich verweise in dieser Hinsicht auf meine frühere Widerlegung der bezüglichen Angaben von GEDDES<sup>1)</sup>. Dagegen sind die Sphaerozoöen gegen Aenderung der

1) in: Mitth. Zool. Stat. Neapel, V. 1, 1883, p. 286—288.

Zusammensetzung des Wassers, namentlich gegen Versüßung des Meerwassers in hohem Grade empfindlich. Auch diese Art der Reizung hat dieselbe Wirkung wie mechanische und thermische; das Plasma zieht sich zusammen, und die Vacuolen entleeren sich nach und nach. Dass auf offener See selbst die heftigsten Regengüsse die verticale Verbreitung nicht in nennenswerther Weise beeinflussen, wie HAECKEL neuerdings behauptet hat<sup>1)</sup>, geht aus meinen Beobachtungen ebensowohl wie aus einfachen Ueberlegungen hervor. Ausser dem Leben unmittelbar an der Oberfläche des freien Oceans wird nichts von dem Süßwasser belästigt; alles, was an Plankton-Organismen unterhalb einer Tiefe von wenigen Metern sich findet, spürt von der schwachen Versüßung der ganz oberflächlichen Schichten überhaupt nichts. Für manche Rand- und Mittelmeere besteht jedoch in dem geringern oder etwas erhöhten Salzgehalt eine Schranke für die Verbreitung stenohaliner Plankton-Organismen. Die Armuth der Plankton-Fauna der Nordsee, besonders aber auch der Ostsee, spricht dafür, ebenso Versuche, die ich in dieser Richtung angestellt habe (1885, p. 113).

#### 4) Sinken aus innern Ursachen.

Nie habe ich während vierjähriger, fast ausschliesslicher Beschäftigung mit den grössern Radiolarien (Colliden und Sphaerozoëen) irgend eine Beobachtung gemacht, die dafür spräche, dass diese Organismen sich freiwillig (ohne äussere Veranlassung) nieder-senkten.

Nur in einem Falle findet auf Grund von innern, im Organismus selbst liegenden Ursachen ein Untersinken statt, und auch dann geschieht es nicht freiwillig, sondern in Folge bestimmter Entwicklungsvorgänge. Man kann, wie ich früher näher ausführte (1885, p. 200), im Leben der coloniebildenden Radiolarien und Colliden drei Hauptabschnitte unterscheiden: den vegetativen Zustand, der den bei weiten grössten Theil des Lebens einnimmt, den fructificativen Zustand, der einige Tage bis 1 oder 2 Wochen dauert und während dessen die Umbildung des Centralkapselinhalts in sehr zahlreiche, winzige Schwärm-sporen sich vollzieht, und endlich den Schwärmzustand.

Wenige Stunden vor Beendigung des fructificativen Zustandes und vor Beginn des Schwärmerstadiums hören die Beziehungen

---

1) Plankton-Studien, Jena, 1890.

zwischen dem kernhaltigen Centralkapselinhalt und dem extracapsularen Plasma (Pseudopodien und Vacuolenwände) fast stets auf. Das letztere zieht sich zusammen und stirbt als kernloses Plasma allmählich ab. Da die Regulirung des hydrostatischen Apparats nur durch dieses Plasma geschah, so ist es verständlich, dass nun ein Untersinken stattfindet und zwar häufig unter gänzlicher Trennung der schwärmerhaltigen Centralkapseln von dem Schwebapparat.

Die Tiefe, in der es zum Ausschwärmen kommt, ist bei den verschiedenen Arten verschieden. Bei manchen findet der Schwund des hydrostatischen Apparats bezw. die Ablösung desselben erst 2 bis 3 Stunden, bei andern 24 bis 30 Stunden vor dem Ausschwärmen statt. Auch die Sinkgeschwindigkeit ist je nach der Grösse und dem Gewicht der untersinkenden Masse sehr verschieden. Von den Species, die ich näher untersucht habe, wird keine in so bedeutender Meerestiefe ausschwärmen wie *Thalassicolla nucleata*. Nach den Beobachtungen und Messungen an cultivirten fructificativen Thalassicollen lässt sich die Tiefe, in der die Entleerung der Zoosporen stattfindet, auf 800—1000 m abschätzen<sup>1)</sup>.

Bei sämmtlichen im Golf von Neapel vorkommenden coloniebildenden Radiolarien findet das Ausschwärmen sicher in sehr viel geringerer Entfernung von der Meeresoberfläche statt. Die Entleerung der Zoosporen wird z. B. bei *Myxosphaera coerulea* in etwa 100 bis 150 oder höchstens in 200 m Tiefe eintreten (1885, p. 202). Bei Anisosporen bildenden Colonien von *Collozoum inerme* wird das Aus-

---

1) Die Trennung der Centralkapselmasse von dem hydrostatischen Apparat findet bei *Th. nucleata* etwa 15—20 Stunden vor dem Ausschwärmen statt. Die Sinkgeschwindigkeit der isolirten, in Schwärmerbildung begriffenen Centralkapsel betrug in mehreren Fällen 5—6 Sec. für 1 dm, einmal allerdings 3 Secunden. Danach würde das Ausschwärmen in einer Tiefe von 1000—2000 m erfolgen, vorausgesetzt, dass während des Niedersinkens im offenen Ocean das Ausschwärmen ungefähr wie in den Culturgläsern erst nach 15—20 Stunden geschieht.

Möglicher Weise kommt es aber unter natürlichen Verhältnissen schon früher zu einem Ausschwärmen, denn die Schwärmer der cultivirten Exemplare waren schon mehrere Stunden vor dem Auseinanderfallen vollständig reif, und die Verhältnisse sind in der Natur erheblich anders als im Culturefass. Das beständige rasche Niedersinken, die dabei immer zunehmende, erhebliche Abkühlung der Umgebung, die grosse Reinheit des Wassers und möglicher Weise auch die allmählich sich mehr und mehr verringemde Lichtintensität können vielleicht ein früheres Ausschwärmen unter natürlichen Lebensbedingungen herbeiführen.

schwärmen jedoch in viel geringerer Entfernung von der Meeresoberfläche erfolgen.

Manche Arten von coloniebildenden Radiolarien zeigen besondere Einrichtungen, die ihnen das Ausschwärmen in unmittelbarer Nähe der Meeresoberfläche ermöglichen. Bei einer Neapler Art, die in den Formenkreis von *Sphaerozoum punctatum* gehört<sup>1)</sup>, konnte ich stets folgendes beobachten.

Im Verlaufe der Schwärmerbildung wurde der hydrostatische Apparat nicht, wie bei den meisten andern Arten, allmählich reducirt; er erfuhr vielmehr zunächst eine so starke Ausbildung, dass die kuglige bis eiförmige Colonie etwas über die Wasseroberfläche hervorragte. An der betreffenden Stelle wichen die Individuen aus einander, so dass nur etwas Gallerte mit Pseudopodien und eventuell auch einigen Vacuolen über den Wasserspiegel sich erhob. Dabei veränderte sich die Form der Colonie derartig, dass eine biconvexe Linse entsteht, die mit der sehr schwach gewölbten Oberseite aus dem Wasser herausragt und nur an der stärker gewölbten, napfförmigen Unterseite über und über mit den Individuen bedeckt ist. Drückt man eine solche Colonie gewaltsam unter, so steigt sie sehr schnell wieder empor, weil die klebrige Gallerte immer einige Luftbläschen festhält. Erst nach Ausbildung der Schwärmer rücken die Individuen am Grunde des Napfes zu einem Haufen zusammen, die Vacuolen schwinden, die Gallerte verwandelt sich in eine dickschleimige Masse, und an dieser Masse hängen bleibend sinkt der Individuenklumpen nun ganz langsam unter. 2 bis 3 Stunden nach Beginn des Sinkens erfolgt (in den Culturefässen) das Austreten der schon längere Zeit vorher vollständig reifen Schwärmer, ohne dass es zu einer Ablösung der schleimigen Gallerte gekommen war. Unter natürlichen Verhältnissen wird das Ausschwärmen in der sehr geringen Tiefe von ungefähr 30 m stattfinden.

Ganz ähnlich verhält sich *Collosphaera huxleyi*. Die Colonien dieser Species platten sich jedoch, da sie nur eine einzige grosse, von weicher Gallerte erfüllte Vacuole besitzen, nicht so stark linsenförmig ab; dagegen kommt es nicht selten vor, dass der Gallertmantel mit den Individuen sich von der Gallertvacuole abtrennt und als hautartiger vacuolenfreier Fetzen an der Wasseroberfläche sich ausbreitet. Nach einiger Zeit rücken die Individuen zu einem oder mehreren Klumpen

1) Die Species *Sphaerozoum punctatum* muss in eine grössere Anzahl von Arten aufgelöst werden.

zusammen und sinken, von der mehr schleimig gewordenen Gallerte umhüllt, langsam unter. Sehr bald nachher findet das Ausschwärmen statt.

Dass bei beiden Arten der hydrostatische Apparat sogar noch nach dem Ausschwärmen der Zoosporen theilweise erhalten bleibt, hängt damit zusammen, dass bei ihnen — abweichend von den meisten andern coloniebildenden Radiolarien — das extracapsulare Plasma mit den ausstrahlenden Pseudopodien durch die Ausbildung der Schwärmer in den Centalkapseln wenig beeinflusst wird und auch nach vollständiger Entleerung der Zoosporen noch ein Zeit lang weiterlebt.

Die vorher erwähnten Luftbläschen habe ich ausser bei fructificativen Exemplaren der beiden genannten Arten auch bei vegetativen Colonien von *Collosphaera huxleyi* und von *Collozoum inerme* wiederholt beobachtet. In allen näher untersuchten Fällen handelte es sich nicht etwa um zufällig an der Gallerte hängen bleibende Luftbläschen, sondern um Gasansammlungen, die unmittelbar unter der Gallertoberfläche lagen und allseitig von einem Plasmaüberzug umgeben waren. Die Form dieser Gasansammlungen, die höchst wahrscheinlich aus atmosphärischer Luft bestanden, war verschieden, meist kuglig, zuweilen etwas unregelmässig, in seltenern Fällen lang strangförmig. Von dem Plasmaüberzug strahlte nach dem Innern der Colonie hin ein dichtes Pseudopodiennetz aus. Solche Luftbläschen mit Plasmaumhüllung bieten den Colonien, bei denen sie regelmässig in bestimmten Lebenszuständen auftreten, denselben Vortheil wie die Gasvacuolen den Difflugien und Arcellen; sie halten den Organismus an der Wasseroberfläche.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Zoologische Jahrbücher. Abteilung für Systematik, Geographie und Biologie der Tiere](#)

Jahr/Year: 1897

Band/Volume: [9](#)

Autor(en)/Author(s): Brandt Karl Andreas Heinr.

Artikel/Article: [Biologische und faunistische Untersuchungen an Radiolarien und anderen pelagischen Thieren. 27-74](#)