

## Die anorganisch-chemische Zusammensetzung des Zellsaftes von *Coscinodiscus granii* (Bacillariophyceae, Centrales)

H. KESSELER

*Biologische Anstalt Helgoland (Litoralstation);  
List/Sylt, Bundesrepublik Deutschland*

**ABSTRACT:** The inorganic chemical composition of the cell sap of *Coscinodiscus granii* (Bacillariophyceae, Centrales). Cells of *Coscinodiscus granii* of about 200  $\mu\text{m}$  diameter were cultivated at 13° to 17° C in 10-l flasks filled with nutrient solution of about 32 ‰ salinity according to v. STOSCH & DREBES (1964). Illumination was provided by fluorescent lamps (12 hours per day) in combination with daylight. Brightness and quality of irradiation were subjected to considerable changes (2000–6000 lux), simulating ecological conditions. At a diatom concentration of about 10 cells/ml, the material was sifted off by plankton cloth (meshwidth 50  $\mu\text{m}$ ) and rinsed by isotonic LiCl-solution. Further treatment for cell sap preparation was performed as described by KESSELER (1967). As in *C. wailesii*, potassium was accumulated up to about 50 times of its medium concentration, while sodium was reduced to about 10 ‰. Chloride distribution was equal in cell sap and medium. Similar values were obtained in *C. wailesii*. In addition to the methods employed in this species, nitrite, nitrate and silica were also determined. While  $\text{NO}_2^-$  was detected only in traces,  $\text{NO}_3^-$  was present in considerable amounts (about 0.0225 Val/l). The Estimations of silica, however, were low, seemingly due to the fact, that only orthosilicate and straight chain polymers of not more than 3 Si atoms will react with molybdate. The ready formation of Si-compounds, non-reactive under the conditions of the method employed may help to explain the deviation of the cation: anion relation from stoichiometric unity. The density of artificial sap prepared according to the analytical results exceeds the density of the medium by about 1.2 mg/cm<sup>3</sup>. It provides, therefore, no satisfactory explanation for the flotation of diatoms.

### EINLEITUNG

Ungeachtet des bedeutenden Interesses, das den Fragen nach der Beeinflussung der Sinkgeschwindigkeit beziehungsweise nach den Ursachen des Schwebvermögens von Planktonorganismen, insbesondere von Diatomeen, entgegengebracht wird (MARGALEF 1957, 1961, 1963, EPPLEY et al. 1967, SMAYDA & BOLEYN 1965, 1966a, b; SMAYDA 1970), sind Literaturangaben über die chemische Zusammensetzung des Zellsaftes dieser Lebewesen immer noch rar. Gerade die Erweiterung unserer Kenntnisse auf diesem Gebiet könnte jedoch entscheidend dazu beitragen, manche noch offene Frage eindeutig zu beantworten und damit Hypothesen durch Tatsachen zu ersetzen. Bei *Noctiluca*

*miliaris* ist dies inzwischen gelungen (KESSELER 1966). Dank der Gunst des Objektes traten dabei keine nennenswerten Schwierigkeiten auf.

Bei marinen Diatomeen liegen die Verhältnisse jedoch nicht so einfach: Die Kleinheit der meisten Objekte, die Schwierigkeiten, die sich der Suche nach geeigneten Methoden zu ihrer Massenkultur entgegenstellen, nicht zuletzt aber auch die große Empfindlichkeit vieler Arten gegenüber den notwendigen Manipulationen zur Gewinnung und Präparation des Untersuchungsmaterials haben bislang die Auswahl geeigneter Versuchsobjekte sehr erschwert.

So steht denn die Anzahl der Publikationen, die sich mit Fragen der chemischen Zusammensetzung des Zellsaftes von Diatomeen befassen, in umgekehrtem Verhältnis zur ökologischen Bedeutung dieser Organismengruppe für den biologischen Stoffkreislauf im Meer: Abgesehen von den Analysenergebnissen der russischen Autoren BEKLEMISHEV et al. (1961) an Saftproben einzelner Zellen der Riesendiatomee *Ethmodiscus rex* ( $\varnothing$  bis zu 2 mm!) und eigenen Befunden, die an einer aus etwa  $10^5$  Zellen einer Kultur von *Coscinodiscus wailesii* abzentrifugierten Zellsaftprobe gewonnen wurden (KESSELER 1967), liegen nämlich nur zwei Angaben von WERNER (1971b) über den Kalium- beziehungsweise Magnesiumgehalt verschiedener Entwicklungsstadien von *Coscinodiscus asteromphalus* vor.

Die hierbei erzielten Anfangserfolge werden jedoch durch den geringen Aussagewert der sehr unterschiedlichen, zum Teil sogar widersprüchlichen Ergebnisse der einzelnen Autoren in ihrer Bedeutung stark eingeschränkt. Der bloße Hinweis auf die verschiedene Artzugehörigkeit der im übrigen jedoch recht nahe verwandten und im Bauplan sehr ähnlichen Untersuchungsobjekte liefert dafür keine befriedigende Erklärung. Die bisherigen Befunde bedurften daher dringend der Absicherung durch umfangreichere Untersuchungen, die inzwischen im neuen Gebäude der Litoralstation in List auf Sylt in Angriff genommen wurden.

## MATERIAL UND METHODIK

Das für die Versuche verwandte Material wurde mir von Herrn Dr. G. DREBES freundlicherweise zur Verfügung gestellt. Es stammte aus einer Klonkultur besonders großer Zellen ( $\varnothing$  ca. 200  $\mu$ m). Flaschen aus Jenaer Glas von 10 l Fassungsvermögen dienten als Kulturgefäße. Sie wurden mit sterilisiertem Seewasser gefüllt, das die wichtigsten Nährstoffe und Spurenelemente in den Konzentrationen der Grundnährlösung für Diatomeen nach v. STOSCH & DREBES (1964) enthielt. Der Salzgehalt des Kulturmediums betrug etwa 32 ‰.

Die Temperatur des Kulturraumes wurde durch eine Kühlanlage mit Deckenverdampfer bei etwa 15° C gehalten. Da der Raum an seiner Nord- und Ostfront mit Fenstern versehen war, ergaben sich dennoch relativ starke Schwankungen. Besonders das große Ostfenster (2  $\times$  2 m) ermöglichte an klaren Tagen in den Morgenstunden intensive Sonneneinstrahlung, die auch erwünscht war. Eine zusätzliche Wärmequelle boten 28 Fluoreszenzlampen (OSRAM-L-INTERNA, 65 W/39) von je 65 Watt, durch die der 24 m<sup>2</sup> große Raum täglich 12 Stunden lang ausgeleuchtet wurde. In der kühlen Jahreszeit wurden außerdem noch ein oder zwei Heizkörper der Zentralheizung ein-

geschaltet, um die Wärmeabgabe des thermisch nicht isolierten Raumes zu kompensieren. Diese Verhältnisse führten zu einer ausgesprochenen Tag-Nacht-Rhythmik der Raumtemperatur, die am Tage etwa 17° C betrug, während sie nachts auf etwa 13° C absank.

Auch das Lichtklima des Raumes war durch die Kombination von Tages- und Kunstlicht während der Hellphase sowohl in seiner Qualität als auch in seiner Intensität periodischen Schwankungen unterworfen. Die Mindestintensität am Standort der Diatomeenkulturen, einem Nordfenster, betrug ca. 2000 Lux; sie konnte jedoch gelegentlich den dreifachen Wert erreichen.

Infolge dieser Kulturbedingungen, durch welche die wechselnden Licht- und Temperaturverhältnisse der offenen See im Verlaufe eines Tages nachgeahmt werden sollten, herrschte in den Kulturgefäßen stets ein schwacher Konvektionsstrom, der für eine stete Erneuerung der oberen Wasserschichten und damit für einen guten Gasaustausch sorgte. Damit erübrigte sich eine künstliche Turbulenzerzeugung durch Rühren oder Belüften, die sich nach WERNERS (1971a) Beobachtungen nachteilig auf die Zellvermehrung auswirkt. Bei dieser schonenden Behandlung gedeihen die Kulturen sehr gut. Die Zellen blieben – zumindest am Tage – frei suspendiert. Der Grund hierfür dürfte jedoch kaum in der schwachen Konvektionsströmung allein zu suchen sein, da diese allenfalls eine Zirkulation, jedoch keinen Nettotransport bewirkt.

Zur Feststellung der Teilungs- und Wachstumsintensität wurde zu Beginn der ersten Versuche jede der insgesamt vier Flaschen zunächst mit je 50 Zellen beimpft. Während der logarithmischen Wachstumsphase, die etwa 2 Wochen dauerte, teilten sich die Zellen durchschnittlich einmal pro Tag. Unter Berücksichtigung der unvermeidbaren natürlichen Verlustquote erreichten die Kulturen innerhalb dieses Zeitraumes eine Suspensionsdichte von etwa 10 Zellen pro ml Kulturlösung ( $\cong$  ca.  $10^5$  Zellen pro Ansatz).

Bei längerdauernder Kultur ging die Teilungsrate ziemlich rasch zurück. Die Bildung und Speicherung von Assimilationsprodukten dauerte indessen noch eine Zeitlang an. Die mikroskopische Beobachtung ließ eine deutliche Zunahme von partikulären Plasmaeinschlüssen erkennen. Auch die Zahl der Chromatophoren nahm zu. Die normalerweise licht-olivfarbene Tönung der Zellen ging dadurch in ein intensives Goldbraun über. Die Disproportionierung von Zellteilung und Protoplasmawachstum hatte offenbar eine Zunahme des spezifischen Gewichtes der Zellen zur Folge, die sich in einer verstärkten Tendenz zur Sedimentation äußerte. Der Übergang von der logarithmischen in die stationäre Wachstumsphase war dadurch leicht zu erkennen. Über eine Zunahme der Sedimentationsgeschwindigkeit von Diatomeenzellen aus alternden Kulturen berichten auch SMAYDA & BOLEYN (1965, 1966a, b) sowie EPPLEY et al. (1967). Ähnliches wurde von v. STOSCH & DREBES (1964) an *Stephanopyxis turris* bei Si-Mangel beobachtet.

Zur Gewinnung des Zellsaftes wurden je zwei Kulturansätze mit Hilfe eines URBANTI-Trichters, in den ein Stück trichterförmig zusammengeklebte Planktongaze von 50  $\mu$ m Maschenweite eingelegt war, abgesiebt. Das gewonnene Material wurde anschließend mit je 20 ml seewasserisotonischer LiCl-Lösung, die aus einer Meßpipette tropfenweise zugegeben wurde, abgespült. Diese Prozedur dauerte etwa eine Minute lang und wurde, wie noch näher dargelegt werden wird, von den Zellen ohne sichtbare Schädigung vertragen.

Sodann wurde das Material mitsamt der Planktongaze in einen kleinen Polystrolbecher (30 × 15 mm) mit einem Siebeinsatz aus transparentem, perforiertem Hart-PVC („Troidur“) übertragen. Der spitz zulaufende Boden des Bechers war mit einer erhitzten Nadel durchstochen worden. Durch diese Öffnung konnte der später abzentrifugierte Saft in einen zylindrischen Auffangbecher gleicher Abmessungen aus Polyäthylen abfließen, in welchen der Siebbecher mit seinem verjüngten Ende hineinragte. Sieb- und Auffangbecher wurden mit Hilfe eines Siliconkautschukringes in ein 25-ml-Zentrifugenglas eingepaßt, das anschließend mit einem Stück „Parafilm“ luftdicht verschlossen wurde. Nach mindestens zwölfstündigem Einfrieren in einer Tiefkühlbox bei  $-20^{\circ}\text{C}$  zur schonenden Abtötung des Materials wurde der Zellsaft auf einer Kühlzentrifuge (CHRIST „Minifuge“) bei  $+5^{\circ}\text{C}$  zunächst 30 Minuten lang bei 3000 UpM ( $\cong$  ca. 1000  $g_{\text{max}}$ ) und anschließend weitere 30 Minuten lang bei 5000 UpM ( $\cong$  ca. 3500  $g_{\text{max}}$ ) abzentrifugiert. Auf diese Weise wurde aus dem Material von je zwei Kulturansätzen etwa 1 ml Zellsaft gewonnen, der jedoch durch die Li-Spüllösung etwa zur Hälfte verdünnt war. Der abzentrifugierte Saft war hellbernsteinfarben bis goldgelb gefärbt. Eine Ultrazentrifuge zum Abzentrifugieren der Farbstoffe stand leider nicht zur Verfügung. Zur weiteren Aufarbeitung wurde der Zellsaft im Verhältnis 1 : 25 mit destilliertem Wasser verdünnt.

In Anbetracht der größeren Materialmengen, die für die Untersuchungen zur Verfügung standen, wurden die chemischen Analysen auch auf die Bestimmung von  $\text{NO}_2'$ ,  $\text{NO}_3'$  und  $\text{SiO}_3''$  nach den von STRICKLAND et al. (1965) empfohlenen Methoden ausgedehnt. Alle übrigen Kationen und Anionen wurden nach den bereits früher mitgeteilten Analysenverfahren (KESSELER 1964b) bestimmt.

## ERGEBNISSE UND DISKUSSION

### Vorversuche

Im vorausgegangenen Teil wurde bereits erwähnt, daß – im Unterschied zur früheren Praxis – als Spüllösung für das gewonnene Material reine, seewasserisotonische LiCl-Lösung verwandt wurde. Um dem Einwand zu begegnen, dieses völlig unnatürliche Medium könne die Zellen geschädigt und dadurch die Analysenergebnisse in unkontrollierbarer Weise verfälscht haben, sei das Resultat eines Vorversuches zur Prüfung der Verträglichkeit dieser Vorbehandlung mitgeteilt.

WERNER (1971a) benutzte bei der Präparation von *Coscinodiscus asteromphalus* 3,5%ige NaCl-Lösung zum Waschen seines Materials. Dieser Methode stand ich zunächst kritisch gegenüber, da reine NaCl-Lösungen im allgemeinen schädigend auf Meeresalgen wirken. Ein entsprechender Versuch mit meinem Objekt überzeugte mich jedoch von der Unbedenklichkeit dieser Behandlung. Da NaCl für meine Zwecke als Spüllösung nicht in Frage kam, erprobte ich die Wirkung einer reinen LiCl-Lösung. Hierzu wurden je 25 Zellen mit Hilfe einer Mundpipette in kleine Kunststoffschälchen ( $\varnothing$  5 cm) mit je 15 ml einer seewasserisotonischen LiCl-Lösung übertragen und nach den in Tabelle 1 angegebenen Zeiten in ebensolche Schälchen mit je 15 ml Kulturmedium zurückgeführt. Vor der Rückübertragung wurde der sichtbare Schädigungsgrad der Zellen durch Beobachtung unter einem Stereomikroskop (ZEISS „Stemi II“) festgestellt.

Tabelle 1

Sichtbarer Schädigungsgrad von *Coscinodiscus granii*-Zellen nach unterschiedlicher Inkubationsdauer in reiner, seewasserisotonischer LiCl-Lösung. Bedeutung der Symbole für den Schädigungsgrad: ○ = ungeschädigt; Kreuzsymbole = unterschiedlich stark geschädigt; ● = Letalschädigung

Inkubationsdauer (Std.)	1,5	3,0	6,0	12	12
Schädigungsgrad	Anzahl der mehr oder weniger geschädigten Zellen				
○	25	24	23	0	0
+	0	1	1	21	17
++	0	0	0	3	4
+++	0	0	1	0	2
●	0	0	0	1	2
Gesamtzahl der Zellen	25	25	25	25	25

Da diese recht subjektive Kontrollmethode nicht viel über den tatsächlichen Grad möglicher Störungen wichtiger physiologischer Vorgänge aussagt, wurden Anzahl und visuell erkennbarer Zustand der Zellen nach dreitägigem Aufenthalt in den mit Seewasser gefüllten Schalen erneut überprüft. Die Ergebnisse dieser Kontrolle sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Sie zeigen, daß erst nach zwölfstündiger Inkubation in reiner

Tabelle 2

Vermehrung der nach Beendigung der LiCl-Inkubation in Kulturlösung rücküberführten, mehr oder weniger geschädigten Zellen von *Coscinodiscus granii* innerhalb von drei Tagen. Bedeutung der Symbole für den Schädigungsgrad wie in Tabelle 1

Schädigungsgrad	Anzahl der mehr oder weniger geschädigten Zellen				
○	156	148	142	24	8
+	0	0	0	16	17
++	0	2	0	3	4
+++	0	0	1	0	2
●	0	1	3	3	2
Gesamtzahl der Zellen	156	151	146	46	33

LiCl-Lösung eine beträchtliche Anzahl von Zellen hinsichtlich Wachstum und Zellteilung irreversibel geschädigt ist. Die Unbedenklichkeit einer kurzfristigen LiCl-Spülung ist damit erwiesen.

## Chemische Analysen

Die Ergebnisse der chemischen Analysen von 10 Zellsaftproben sind in Tabelle 3 zusammengestellt. Sie enthält am Schluß auch die Daten, die an *Coscinodiscus wailesii* gewonnen wurden. Beim Vergleich der entsprechenden Werte beider *Coscinodiscus*-Arten zeigt sich, daß die Übereinstimmung hinsichtlich der bedeutsamsten Ionen befriedigend ist. In beiden Fällen liegen die für K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> und H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> ermittelten Konzentrationen noch innerhalb der für die Werte von *Coscinodiscus granii* berechneten Standardabweichung. Daß die Na<sup>+</sup>-Konzentration von *C. wailesii* erheblich über dem Wert

Tabelle 3

Ergebnisse der chemischen Analysen von 10 Zellsaftproben der zentrischen Diatomee *Coscinodiscus granii* und Vergleichswerte von *Coscinodiscus wailesii* (in Val/l). Dichten des künstlichen Zellsaftes von *C. granii* = 1,0248 g/cm<sup>3</sup> (20° C), von *C. wailesii* = 1,0278 g/cm<sup>3</sup> (20° C) und des Kulturmediums (32 ‰ S) = 1,0236 g/cm<sup>3</sup> (20° C)

Kationen				Anionen		
K'	Na'	Ca'' + Mg''	Cl'	NO <sub>2</sub> ' + NO <sub>3</sub> '	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> '	SiO <sub>3</sub> ''
<i>Coscinodiscus granii</i>						
0,4718	0,0461	0,0192	0,4478	0,0228	0,0126	0,0033
± 0,0180	± 0,0080	± 0,0024	± 0,0715	± 0,0069	± 0,0089	± 0,0012
± 3,8 ‰	± 17,5 ‰	± 12,5 ‰	± 16 ‰	± 30 ‰	± 70 ‰	± 36 ‰
<i>Coscinodiscus wailesii</i>						
0,4610	0,1250	0,0770	0,3450	—	0,0200	—
					(SO <sub>4</sub> '' = 0,2350)	

von *C. granii* liegt, mag durch die Tatsache begründet sein, daß das Kulturmedium von *C. wailesii* belüftet wurde, wodurch nach der bereits erwähnten Feststellung von WERNER (1971a) der Teilungsmodus der Zellen gestört wird. Damit dürfte auch erklärt sein, weshalb die *C. wailesii*-Kultur erst nach etwa 3 Wochen eine vergleichbare Suspensionsdichte von 10 Zellen pro ml erreichte (die Angabe von 100 Zellen pro ml in der Publikation von 1967 beruht auf einem Druckfehler, wie sich leicht nachrechnen läßt!). Der mehr als dreimal so hohe Ca'' + Mg''-Gehalt der *C. wailesii*-Probe mag durch den Ca''-Gehalt der damals verwandten Spüllösung mitbedingt sein. Andererseits wäre es auch denkbar, daß durch die reine Li-Spüllösung, mit der das *C. granii*-Material behandelt wurde, der natürliche Ca-Gehalt der Zellen ausgewaschen wurde. Bei *Chaetomorpha linum* sinkt jedenfalls der Ca''-Gehalt der Zellwände schon nach kurzem Aufenthalt in Ca-freiem künstlichem Seewasser stark ab (KESSELER 1964a). Im Zellsaft von *C. granii* war Calcium überhaupt nur in sehr geringer Menge nachweisbar, weswegen in der Tabelle darauf verzichtet wurde, zwischen Ca'' und Mg'' zu differenzieren. Gleiches gilt für das Nitrition, das deshalb immer gemeinsam mit Nitrat bestimmt wurde.

Besonders interessant sind die erstmals bestimmten Silikatwerte der Zellsaftproben von *C. granii*, die den erwarteten hohen Konzentrationen in keiner Weise entsprachen. Diese Erwartung stützte sich auf die Beobachtung, daß bei längerem Stehenlassen nativer Saftproben eine kontinuierliche, mehrere Tage lang andauernde Präzipitation eines weißen Sedimentes zu beobachten war, das aus amorpher Kieselsäure zu bestehen schien. Die Diskrepanz zwischen dieser Beobachtung und den tatsächlich bestimmten, geringen Konzentrationen dürfte jedoch auf die Tatsache zurückzuführen sein, daß mit der Nachweisreaktion für das Silizium nur Orthokieselsäure und Polymere mit maximal 3 Si-Atomen erfaßt werden. Höherpolymere Glieder oder Ringverbindungen sind dagegen mit dieser Reaktion nicht mehr nachzuweisen. Die Nichterfassung dieser Si-Polymere dürfte mitbestimmend für das Anionendefizit sein, das in allen Fällen aus den Analysenergebnissen errechnet wurde.

Die langsame Präzipitation der Kieselsäure könnte darüber hinaus eine plausible Erklärung dafür liefern, weshalb im Saft von *C. wailesii* ein so unwahrscheinlich hoher

Sulfatgehalt bestimmt wurde. Es dürfte sich hierbei um nachträglich ausgefälltes Silikat gehandelt haben, das irrtümlich als Sulfat berechnet wurde. Die zum Zwecke des  $\text{SO}_4^{2-}$ -Nachweises zugesetzte  $\text{BaCl}_2$ -Lösung könnte diesen Prozeß durch Bildung schwerlöslicher Bariumsilikat-Verbindungen noch begünstigt haben. Abgestandener Saft, der mehrmals nachzentrifugiert wurde, enthielt jedenfalls nur Spuren von Sulfat, die innerhalb der Fehlergrenzen der im übrigen sehr empfindlichen gravimetrischen Nachweismethode lagen.

Zu der kritischen Bemerkung von WERNER (1971b, p. 131 f.) hinsichtlich der fehlenden entwicklungsphysiologischen Kennzeichnung des für meine ersten Untersuchungen verwandten *C. granii*-Materials sei unter Berücksichtigung der von ihm selbst mitgeteilten Kaliumwerte für die verschiedenen Entwicklungsstadien von *Coscinodiscus asteromphalus* bemerkt, daß es sich hier nur um einen scheinbaren Widerspruch zwischen seinen Befunden und meinen Resultaten handelt. Rechnet man nämlich die von ihm angegebenen Kaliumgewichte auf die von mir bevorzugte Größe Val/l Zellsaft um, so kommt man unter Berücksichtigung des Zell- beziehungsweise Vakuolenvolumens zu  $\text{K}^+$ -Konzentrationen, die meinen Analysenergebnissen recht gut entsprechen. Auch die von ihm beobachtete Inkongruenz zwischen Verringerung des Zellvolumens einerseits und des Protoplasma-(Chlorophyll- und Protein-)Gehaltes zum anderen bestätigt dies. Aus dieser Beobachtung folgt nämlich, daß im Verlaufe der Reduktion des Zellvolumens das Vakuolenvolumen relativ stärker verkleinert wird. Demgemäß muß bei gleichbleibender  $\text{K}^+$ -Konzentration im Zellsaft das Kaliumgewicht pro Zelle ebenfalls in stärkerem Maße abnehmen als das Zellvolumen. Insofern stellen auch die von WERNER mitgeteilten Ergebnisse eine indirekte Bestätigung meiner Befunde dar; zumindest widersprechen sie ihnen nicht.

In Tabelle 3 ist außer den Ionenkonzentrationen auch noch die aräometrisch ermittelte Dichte einer künstlichen, nach den Ergebnissen der chemischen Analysen hergestellten Zellsaftlösung angegeben. Sie betrug  $1,0248 \text{ g/cm}^3$  ( $20^\circ \text{ C}$ ). Dieser Wert ist zwar wesentlich geringer als das für den künstlichen Zellsaft von *C. wailesii* ermittelte spezifische Gewicht, das wegen des irrtümlich berechneten Sulfatgehaltes zu hoch ausfallen mußte; dennoch übertrifft er die Dichte des umgebenden Mediums noch um  $1,2 \text{ mg/cm}^3$ . Damit ist erneut bestätigt worden, daß die chemische Zusammensetzung des Zellsaftes keine stichhaltigen Argumente zur Erklärung der freien Flotation von Diatomeen in der euphotischen Zone der Meere liefert. Dieses Phänomen kann daher nur auf der Basis physikalischer Vorgänge und Gesetzmäßigkeiten erklärt werden. Die von SMAYDA (1970, p. 382 ff.) diskutierten Modelle der durch Wind- oder Wärmeenergie erzeugten LANGMUIRSchen Konvektionszellen können hier m. E. den größten Wahrscheinlichkeitsgrad für sich beanspruchen.

Interessant mag in diesem Zusammenhang die Beobachtung sein, daß die Diatomeenzellen unter ungestörten, den natürlichen Verhältnissen recht nahekommenden Kulturbedingungen auch ohne künstliche Turbulenzerzeugung durch Rühren oder Belüften frei suspendiert blieben. Sie verteilten sich dabei jedoch keinesfalls gleichmäßig über den zur Verfügung stehenden Raum, sondern bildeten Populationswolken, deren Einzelindividuen nicht völlig freibeweglich zu sein schienen. Offenbar standen sie durch optisch nicht wahrnehmbare Schleimfäden oder durch eine sehr diffuse Gallerthülle miteinander in lockerem Kontakt. Besonders deutlich zeigte sich dies, wenn man ver-

suchte, die Zellwolken mit Hilfe eines Glasstabes homogen in den Kulturgefäßen zu verteilen. Dies gelang meist erst nach heftigerem Umrühren. Bei mäßiger Durchmischung zogen sich die Zellpulks dagegen zu kohärenten Strängen oder Bändern auseinander, die dem Wirbelfeld folgten.

Die Bildung derartiger Zellverbände nach Art eines Raumnetzes bedingt natürlich eine beträchtliche Erhöhung des Reibungswiderstandes durch Vergrößerung der relativen Oberfläche. Das Verbleiben einer solchen Diatomeenwolke in der Suspensionszone einer LANGMUIRSchen Konvektionszelle wird dadurch begünstigt. Auch in kleineren Kulturgefäßen kann es unter entsprechenden Bedingungen zur Ausbildung thermischer Konvektionszellen kommen. Organismen, deren spezifisches Gewicht die Dichte des Kulturmediums geringfügig übersteigt, können dadurch suspendiert bleiben.

### ZUSAMMENFASSUNG

1. In Anbetracht der bisher vorliegenden widersprüchlichen Ergebnisse über die chemische Zusammensetzung des Zellsaftes mariner Diatomeen wurden umfangreiche Untersuchungen an *Coscinodiscus granii* durchgeführt.
2. Das Untersuchungsmaterial wurde unter Bedingungen kultiviert, die den Verhältnissen der freien Natur in gewisser Weise entsprachen. Für die Analysen wurde nur frisches Material verwandt, das sich in der logarithmischen Wachstumsphase befand.
3. Die Analyseergebnisse zeigen, daß auch bei *C. granii* K' und Cl' als intrazelluläre Ionen dominieren. Der Na'-Gehalt beträgt nur etwa 10% des K'-Gehaltes.
4. Die Resultate einer chemischen Untersuchung des Zellsaftes von *C. wailesii* werden dadurch im wesentlichen bestätigt; lediglich der damals bestimmte unwahrscheinlich hohe SO<sub>4</sub>'-Gehalt erwies sich als Irrtum.
5. Wider Erwarten ergaben die Silikatbestimmungen nur sehr niedrige Werte. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, daß mit der üblichen Si-Nachweisreaktion nur Orthokieselsäure und Polymerketten mit maximal 3 Si-Atomen erfaßt werden. Ein nicht unbedeutender Teil des tatsächlich vorhandenen Silikats mag sich so dem Nachweis entzogen haben.
6. Die aräometrisch ermittelte Dichte künstlichen Zellsaftes, der nach den Analyseergebnissen hergestellt wurde, betrug 1,0248 g/cm<sup>3</sup>. Das Kulturmedium hatte demgegenüber nur ein spezifisches Gewicht von 1,0236 g/cm<sup>3</sup>. Die chemische Zusammensetzung des Zellsaftes allein vermag daher nicht zu erklären, weshalb Diatomeen dennoch fast ausschließlich in oberflächennahen Wasserschichten schwebend anzutreffen sind.

*Danksagungen.* Frau M. KOSCHORRECK danke ich für die Ausführung der chemischen Analysen. Herrn Dr. G. DREBES gilt mein besonderer Dank für die Überlassung des Versuchsmaterials.

## ZITIERTE LITERATUR

- BEKLEMISHEV, C. W., PETRIKOVA, M. N. & SEMINA, H. J., 1961. On the cause of the buoyancy of plankton diatoms. Trudy Inst. Okeanol. **51**, 33–36.
- EPPLEY, R. W., HOLMES, R. W. & STRICKLAND, J. D. H., 1967. Sinking rates of marine phytoplankton measured with a fluorometer. J. exp. mar. Biol. Ecol. **1**, 191–208.
- KESSELER, H., 1964a. Die Bedeutung einiger anorganischer Komponenten des Seewassers für die Turgorregulation von *Chaetomorpha linum*. Helgoländer wiss. Meeresunters. **10**, 73–90.
- 1964b. Zellsaftgewinnung, AFS (apparent free space) und Vakuolenkonzentration der osmotisch wichtigsten mineralischen Bestandteile einiger Helgoländer Meeresalgen. Helgoländer wiss. Meeresunters. **11**, 258–269.
- 1966. Beitrag zur Kenntnis der chemischen und physikalischen Eigenschaften des Zellsaftes von *Noctiluca miliaris*. Veröff. Inst. Meeresforsch. Bremerh. (Sonderbd) **2**, 357–368.
- 1967. Untersuchungen über die chemische Zusammensetzung des Zellsaftes der Diatomee *Coscinodiscus wailesii*. Helgoländer wiss. Meeresunters. **16**, 262–270.
- MARGALEFF, R., 1957. Nuevos aspectos del problema de la suspensión en los organismos planctónicos. Investigación pesq. **7**, 105–116.
- 1961. Velocidad de sedimentación de organismos pasivos de fitoplancton. Investigación pesq. **18**, 3–8.
- 1963. Modelos simplificados del ambiente marino para el estudio de la sucesión y distribución del fitoplancton y del valor indicador de sus pigmentos. Investigación pesq. **23**, 11–52.
- SMAYDA, T. J., 1970. The suspension and sinking of phytoplankton in the sea. Oceanogr. mar. Biol. **8**, 353–414.
- & BOLEYN, B. J., 1965. Experimental observations on the flotation of marine diatoms. I. *Thalassiosira cf. nana*, *Thalassiosira rotula* and *Nitzschia seriata*. Limnol. Oceanogr. **10**, 499–509.
- — 1966a. Experimental observations on the flotation of marine diatoms. II. *Skeletonema costatum* and *Rhizosolenia setigera*. Limnol. Oceanogr. **11**, 18–34.
- — 1966b. Experimental observations on the flotation of marine diatoms. III. *Bacteriastrium hyalinum* and *Chaetoceros lauderi*. Limnol. Oceanogr. **11**, 35–43.
- STOSCH, H. A. VON & DREBES, G., 1964. Entwicklungsgeschichtliche Untersuchungen an zentrischen Diatomeen. IV. Die Planktondiatomee *Stephanopyxis turris* – ihre Behandlung und Entwicklungsgeschichte. Helgoländer wiss. Meeresunters. **11**, 209–257.
- STRICKLAND, J. D. H. & PARSONS, T. R., 1965. A manual of sea water analysis. Bull. Fish. Res. Bd Can. **125**, 1–203.
- WERNER, D., 1971a. Der Entwicklungszyklus mit Sexualphase bei der marinen Diatomee *Coscinodiscus asteromphalus* I. Kultur und Synchronisation von Entwicklungsstadien. Arch. Mikrobiol. **80**, 43–49.
- 1971b. Der Entwicklungszyklus mit Sexualphase bei der marinen Diatomee *Coscinodiscus asteromphalus* II. Oberflächenabhängige Differenzierung während der vegetativen Zellverkleinerung. Arch. Mikrobiol. **80**, 115–133.

Anschrift des Autors: Dr. H. KESSELER  
Biologische Anstalt Helgoland  
(Litoralstation)  
2282 List/Sylt  
Bundesrepublik Deutschland