
2 Das Plankton

Plankton (gr. Treibgut) ist die Gemeinschaft solcher Organismen des **Pelagials**, also des freien Wasserraums, die – zu wirkungsvoller eigener Fortbewegung unfähig – im Wasser schwebend dem Spiel von Wellen und Strömungen preisgegeben sind; manche von ihnen führen allenfalls tagesperiodische, langsame Vertikalwanderungen aus. Dieses lebende «Treibgut» bildet die Nahrungsgrundlage für all die meist größeren Tiere, die als aktive Schwimmer, i.d.R. Räuber, unabhängig von Wellen und Strömungen den Freiwasserraum durchstreifen, die Gesellschaft des **Nektons**. Beide Organismengesellschaften bilden eine Großbiocönose, und fließende Übergänge verbinden beide.

Zum Unterschied von der lebenden Planktongesellschaft bezeichnet man totes bzw. unbelebtes Geschwels und Treibgut jeglicher Partikelgröße zuweilen etwas unglücklich auch als **Pseudoplankton**.

Dem Rahmen dieser Praktikumsanleitung entsprechend beschränken sich die folgenden Beobachtungen und Untersuchungen auf marines Plankton, das **Haliplankton**; das Süßwasserplankton, auch **Limnoplankton** soll folglich außer Betracht bleiben.

Das Pelagial bietet zwar nicht so vielerlei verschiedene Lebensräume wie das Benthos; aber auch in diesem dem ersten Anschein nach homogen und gleichmäßig besiedelten Freiwasserraum lassen sich Zonen grundlegend unterschiedlicher Lebensbedingungen mit jeweils an die prägenden physikalischen und chemischen Gegebenheiten angepassten Lebensgemeinschaften abgrenzen.

Das auf Photosynthese angewiesene pflanzliche Plankton **Phytoplankton**, überwiegend Algen und Flagellaten einer Größenordnung zwischen 5 und 100 μm , ist auf die obersten lichtdurchfluteten Wasserschichten beschränkt, in nährstoffreicheren, kühleren Randmeeren (Nordsee) kaum mehr als bis zu 1–2 m Tiefe, im Mittelmeer und Atlantik aber u.U. bis zu 100 m. Der relative Anteil des Phytoplanktons am Gesamtplankton nimmt bereits in den obersten Metern unter der Wasseroberfläche in einem steilen Gradienten ab, während der relative Anteil tierischen Planktons, des **Zooplanktons**, mit der Tiefe zunimmt. Die oberste Tiefenzone bis zur maximalen Eindringtiefe letzter Reste von Tages-

licht (etwa 200 m) ist die produktionsreichste im Pelagial, der Bereich des **Epiplanktons**. Darunter, im Dauerdunkel, folgt bis zum Meeresgrund die Zone des **Bathyplanktons**, ausschließlich tierischen Organismen in gewöhnlich geringer Individuendichte. Erst unmittelbar über dem Meeresboden, im **Hypoplankton**, nimmt die Individuendichte vor allem kleinerer Planktonorganismen, namentlich Bakterien und Protozoen, wieder zu.

Unter dem methodischen Aspekt der Probengewinnung unterscheidet man sechs Größenkategorien von Planktonorganismen: Das **Megalo-** oder **Megaplankton** ($> 5\text{ mm}$) besteht nahezu ausschließlich aus Metazoen, größeren planktischen Krebsen und Chaetognathen bis hin zu den ganz großen Coelenteraten, zu Medusen, Siphonophoren etc. Auch im **Makroplankton**, in einer Größenordnung zwischen 1 und 5 mm trifft man weitaus überwiegend Tiere an, Krebse, Hydrozoenmedusen, den Großteil der Chaetognathen und – in den obersten Wasserschichten bis etwa 20 m Tiefe – die Hauptmasse der Fischbrut, Eier sowie junge Larven, zusammen auch als **Ichthyoplankton** bezeichnet. Das **Mesoplankton** (0,5–1 mm) besteht größtenteils aus Kleinkrebsen, namentlich Copepoden, und zuweilen einer Massenblüte einiger großer Dinoflagellaten wie etwa *Noctiluca*. Das **Mikroplankton** (50–500 μm) umfaßt neben Ciliaten den größten Teil der pflanzlichen Massenproduzenten, beherrschend unter ihnen die Dinoflagellaten und Diatomeen, während das kleinere Phytoplankton, Formen wie Coccolithophoriden und Silicoflagellaten, dem **Nanoplankton** (5–50 μm) zugerechnet wird. Noch kleinere Organismen unter 5 μm Größe, überwiegend Bakterien und kleinste Zoo- wie Phytoflagellaten, die ihre mit Abstand höchste Produktivität in den obersten 10–20 cm unter der Wasseroberfläche entfalten, werden als **Ultraplankton** zusammengefaßt.

Vor allem das Makro-, Meso- und in Grenzen das Mikroplankton werden vornehmlich in Planktonnetzen einer Maschenweite von 100–300 μm gefangen, während Nano- und Ultraplankton entweder in Schöpfproben gewonnen und durch anschließende Filtration durch sehr feine Gaze netze kon-

zentriert oder mit einer Planktonpumpe und anschließender Zentrifugation in einer Durchlaufzentrifuge angereichert werden müssen, da Organismen solch geringer Größen derart feinmaschige Planktonnetze verlangen, daß diese zu rasch verstopfen und das Wasser nicht mehr filtrierten. Das i. d. R. nicht allzu reiche Megaloplankton wird zwar auch in normalen Netzfängen erbeutet, dabei aber meist aufgrund des hohen Wasserdrucks bei der Netzfiltration und der entsprechend der Größe der Organismen auch großen Angriffsfläche sehr stark geschädigt. Kurze Netzschleppzeiten, besser jedoch der Fang in Schöpfproben von Bord aus mit weithalsigen Gefäßen können dieser Schwierigkeit begrenzt abhelfen.

Wiewohl definitionsgemäß eigentlich Tiefenverteilungsgruppen, so spielen zwei eng voneinander abhängige Plankton-Subpopulationen infolge ihrer besonders weitgehenden Anpassungen an Grenzlebensräume eine gewisse Sonderrolle: Das **Neuston** und das **Pleuston**. Die Organismen beider Gemeinschaften sind an einen überaus engen Lebensbereich gebunden, nämlich die Wasseroberfläche und eine nur wenige cm tiefe Wasserschicht unter dieser. Beide nehmen nicht an den tagesperiodischen Vertikalwanderungen des übrigen Planktons teil. Das **Neuston** ist eine recht heterogene Gesellschaft aus überwiegend mikro- bis ultraplanktischen Organismen, namentlich Bakterien und Ciliaten, die ausschließlich in den obersten 1–2 cm unter der Wasseroberfläche, also einer immer sauerstoffgesättigten und überaus nährstoffreichen Zone, leben und recht resistent gegen UV-Licht sein müssen. Auch bestimmte, nur vorübergehend in den Freiwasserraum aufsteigende Larvenstadien zahlreicher benthischer Wirbelloser sowie die Brut vieler Fischarten nutzen gehäuft das überreiche Nahrungsangebot dieses so begrenzten Lebensraumes, der infolgedessen zu den individuenreichsten des gesamten Pelagials gehört.

Eine Gemeinschaft unmittelbarer Grenzbewohner bildet das **Pleuston**, eine Selektion durchweg hochangepaßter, überwiegend megaloplanktischer Organismen, die entweder mit einem Teil ihres Körpers über die Wasseroberfläche hinausragend, etwa die Hydroiden *Veleva* und *Porpita* und die Siphonophore *Physalia*, oder an einem aus Körpersekreten gebauten Schaumfloß hängend wie die Schnecke *Janthina* oder die Entenmuschel *Lepas fascicularis*, einem Segelboot ähnlich vor dem Winde driften und sich das produktionsreiche Neuston als reichliche Nahrungsquelle erschlossen haben.

Nur ein vergleichsweise geringer Teil namentlich der Zooplankter verbringt seinen ganzen Lebenszyklus als lebendes Treibgut, als **Holoplankton**.

Planktische Larven benthischer Tiere kehren mit Beginn ihrer Metamorphose in ihren Adultlebensbereich zum Meeresboden zurück, während Fischlarven oder die Larven pelagischer Cephalopoden allmählich in die Gemeinschaft des Nektons hinüberwechseln. Entsprechendes gilt im Bereich des Phytoplanktons z.B. für die Schwärmstadien benthischer Algen. In einzelnen Fällen können auch erwachsene Benthosorganismen sekundär wieder kurzzeitig zum planktischen Leben übergehen, etwa die geschlechtsreifen Schwärmstadien mancher Polychaeten. All diese nur vorübergehend planktisch lebenden Organismen bezeichnet man als **Meroplankton**.

Das gesamte Pelagial, bevölkert von Plankton und Nekton, bildet ein weitgehend in sich geschlossenes Ökosystem; sein Nährstoffaustausch mit dem Benthos ist mit Ausnahme von litoralen Flachwasserzonen und Randmeeren (etwa Ostsee) vernachlässigungswert gering. Dort, wo kein ständiger Zustrom von Nährstoffen, namentlich N und PO_4 , vom Festland und Küsten her erfolgt, wird die primär produzierte Biomasse an Phytoplankton in der Regel bereits in den obersten Wasserschichten von den Primärkonsumenten, überwiegend Kleinkrebsen, Copepoden und Euphausiaceen, aufgezehrt, teils remineralisiert und der Primärproduktion unmittelbar wieder zugeführt, teils noch in den obersten Wasserschichten in der Nahrungskette von Sekundärkonsumenten aufgenommen. Auf diese Weise bleibt die Hauptmasse der Nährstoffe im Bereich des Euplanktons fixiert. Wasserrumwälzung durch Winde und großräumige, teils durch die marinen Bodenprofile hervorgerufene Vertikalströmungen, ebenso das Wechselspiel des Absinkens von Oberflächenwasser erhöhter Salinität aufgrund von Verdunstung und das kompensatorische Aufsteigen nährstoffreichen Tiefenwassers ergänzt ständig die Nährstoffverluste, die durch das Absinken absterbender Organismen aus den oberen produktionsreichen Schichten entstehen. In den produktionsreicheren kälteren Meeren schließlich unterliegen diese dynamischen Gleichgewichte des Nährstoffkreislaufs auch noch jahresperiodischen Schwankungen: Auf Zeiten hoher Produktion und starker Nährstoffverarmung (Frühsommer, Frühherbst) folgen Perioden hoher Absterberaten und der Nährstoffanreicherung (Spätsommer, Winter). Als Nahrung verwertbare organische Substanz erreicht den Meeresboden praktisch nie. In umgekehrter Richtung allerdings fließt ein gewisser Nahrungsstrom vom Benthos zum Pelagial in Form planktischer Larven und Schwärmstadien bodenlebender Tiere (Meroplankton).

Die Rolle der auffälligen tagesperiodischen Verti-

kalwanderungen namentlich kleinerer Zooplankter in diesem trophischen System und ihre Ursachen sind noch unklar. Bei geringeren Wanderungsamplituden innerhalb des Epilanktons spielt sicherlich das sukzessive «Abweiden» verschiedener Tiefenschichten durch die Primärkonsumenten und die ihnen folgenden räuberischen Plankter eine gewisse Rolle; aber damit lassen sich Wanderungsamplituden von mehreren 100 m pro Tageszyklus, wie sie zu beobachten sind, nicht erklären. Hier mag die «Lichtflucht» vieler Tiere ausschlaggebend sein, also das Aufsuchen des Dauerdunkels während der Tageshelle zum Schutz vor Räubern.

Auch die horizontale Verteilung des Planktons ist keineswegs homogen. Areale mit dichten «Planktonwolken» wechseln in der Regel ab mit weiten Bereichen schütterer Planktondichte, was auf dem Schiff an Echolotkurven gut zu beobachten ist. Grund dafür sind einerseits Wasserbewegungen, mehr noch lokale «Produktionsexplosionen» aufgrund wechselnder örtlicher hydrographischer Bedingungen, etwa in einer aus der Tiefe aufströmenden Blase nährstoffreicheren Wassers, die zu lokal erhöhter Primärproduktion und sekundär einer starken Vermehrung des Zooplanktons führt.

Während sich das Phytoplankton mit wenigen Ausnahmen (Sargassum) auf einzellige Algen beschränkt, dominierend unter ihnen die Diatomeen und Dinoflagellaten, sind fast alle überhaupt im Meer lebenden Tierstämme im Plankton vertreten,

z. T. allerdings nur in ihren meroplanktischen Larvenstadien. Allen Planktonorganismen gemein, unabhängig von ihrer systematischen Stellung, ist als spezifische morphologische Anpassung an das Leben im freien Wasserraum der Besitz von Organellen oder Organen zur Erhöhung des Schwebevermögens oder zumindest zur Verhinderung eines zu raschen Absinkens und ebenso – mit Ausnahme natürlich photosynthetisch aktiver Phytoplankter – ein unpigmentierter, glasklar durchsichtiger Körper, der für Räuber nahezu unsichtbar bleibt. Das Schwebevermögen läßt sich beträchtlich erhöhen durch lange Körperanhänge, etwa die Hörner vieler Dinoflagellaten (Ceratum), die weitgespreizten Körperfortsätze der Ophiuridenplutei, ebenso die langen Antennen der Copepoden, oder durch überlange, bei Bedarf abspreizbare Schwebeborsten, wie die Larven vieler Polychaeten (Spioniden) und Myzostomiden sie besitzen. Bei vielen Larven, etwa von Krebsen wie den Euphausiaceen, werden die einander widersprechenden Erfordernisse von erhöhtem Sinkwiderstand und zugleich energiesparender Fortbewegungsmöglichkeit durch Stromlinienform des Körpers in der Hauptbewegungssachse und damit geringen Strömungswiderstand bei gleichzeitig erhöhter Reibung durch eine große Körperoberfläche (Körperlängsstreckung) miteinander in Einklang gebracht. Erhöhter Auftrieb kann auch – namentlich bei Einzellern und Fischeiern – durch Ölkugeln im Plasma oder ebenso durch gasgefüllte Schwimmblasen (*Physalia*) erzeugt werden.

2.1 Methoden

Gerald Schneider und Christian Stienen

2.1.1 Fang und Probenahme

Planktonnetz und Wasserschöpfer sind die Probenahmegeräte der Planktologie. Der Fang von Plankton mittlerer Größe (ca. 50 μm –5 mm) geschieht überwiegend mit Planktonnetzen, kegelförmigen Netzen aus feinmaschiger Nylon- oder Perlongaze definierter Maschenweite (Müllergaze), die das abfiltrierte Plankton in ihrem verjüngten Ende anreichern. Die Netzmündung wird durch einen Stahlring offengehalten; das Netzeende besteht manchmal aus dichterem, wasserundurchlässigem Gewebe zur Aufnahme des konzentrierten Fanges. Ein Ablaufhahn, ein Schlauchstück mit Quetsch-

hahn oder ein abnehmbarer Kunststoff-Becher mit Bajonethalterung an der Netzspitze erlaubt das Abfüllen des Fanges in einen Sammelbehälter.

Mikro- und Ultraplankton müssen mit Wasserschöpfern – und dann selbstverständlich ohne Konzentrationseffekt in der ortsgemäßen Individuendichte – gefangen und anschließend durch Filtration über feine Gazefilter bzw. Membranfilter (Bakterioplankton) angereichert, zuweilen auch mittels einer Planktonpumpe in größerer Menge über ein weitleumiges Saugrohr gleich in eine Durchlaufzentrifuge gepumpt und so konzentriert werden. Lebende Proben zu Kulturzwecken lassen sich am besten ohne Schädigung der Organismen

als Schöpfproben gewinnen. Größeres Megaloplankton schließlich läßt sich schonend nur mit weiltumigen Schöpfgefäßen fangen.

Planktonnetze werden je nach speziellen Bedürfnissen in mannigfachen Abwandlungen der oben beschriebenen Grundform eingesetzt, und die Art ihres Einsatzes richtet sich nach den jeweiligen Fragestellungen: Grundsätzlich kann der Fang stationär durch Absenken und senkrecht Aufholen des Netzes geschehen (**Vertikalhol**). Der Vertikalhol liefert einen Mittelwert der Individuendichte und aller in der durchfischten Wassersäule unter einer definierten Oberfläche vorhandenen Arten unabhängig von ihrer Verteilung in den verschiedenen Tiefenzonen.

Besteht Interesse, bei einem Vertikalhol nur Plankton aus einer bestimmten Tiefenschicht (z.B. Bodennähe) zu erhalten, so muß ein Mechanismus vorhanden sein, das Netz in der gewünschten Tiefe zu schließen; das mag durch einen Seilzug geschehen, welcher den Netzhals hinter dem Öffnungsring zuschnürt (**Nansen-Netz**) oder durch einen Deckel, der die Netzöffnung verschließt (**Apstein-Netz**). Beide Verschlussmechanismen können mechanisch durch am Netztau entlanglaufende Fallgewichte ausgelöst werden. Um mehrere Tiefenschichten während eines einzigen Hols selektiv befischen zu können, wurden **Multinetze** konstruiert: In einen rechteckigen Metallrahmen werden fünf Netze eingehängt, die geschlossen bis zur Untergrenze der tiefsten zu befischenden Schicht gefiert werden und dann, eines nach dem anderen, Tiefenschicht für Tiefenschicht, elektronisch ausgelöst, geöffnet, d.h. innerhalb des Metallrahmens aufgespannt und wieder geschlossen werden. So lassen sich nacheinander alle fünf Netze in vorbestimmten Tiefenhorizonten öffnen und schließen, so daß das Plankton aus verschiedenen Schichten getrennt gewonnen werden kann. Da Plankton im Meer meist fleckenhaft verteilt in lokalen «Wolken» auftritt, sind Vertikalhols nur bedingt für quantitative Aussagen zu verwenden. In den meisten Fällen zieht man daher Schräghols vor. Das Netz wird vom Schiff bei langsamer Fahrt bis zur gewünschten Tiefe gefiert und gleich wieder gehievt; der Netzweg bildet ein breites V. Das auf diese Weise durchfischte Wasservolumen ist meist mehr als 10mal so groß wie bei einem Vertikalhol, so daß Flächen- und Tiefenverteilungsunterschiede «herausgemittelt» werden. Zu solchen Fängen wird gern ein Doppelnetz, das **Bongo-Netz**, eingesetzt; es besteht aus zwei miteinander verschweißten Netzrahmen von je 60 cm Öffnungsweite mit je einem etwa 3 m langen Netzbeutel. Solche Netze bieten gegenüber einem Einfachnetz gleicher Gesamtöffnungs-

weite eine erhöhte Filtrationsleistung (große Netzoberfläche) bei verhältnismäßig niedrigem Filtrationswiderstand. Bringt man in einer Netzöffnung einen Durchstrommesser an, ein propellergetriebenes Zählwerk, welches die Propellerumdrehungen während des Netzschiebens anzeigt, und stellt man zuvor im Blindversuch die Anzahl der Propellerumdrehungen pro m Zugstrecke fest, so kann die vom Netz durchfischte Strecke exakt bestimmt und die filtrierte Wassermenge genau berechnet werden. Schleppnetze sollten im allgemeinen mit einem Scherfuß, mit einer oder zwei Strömungsleitflächen zur Lagestabilisierung des Netzes, ausgestattet sein. Ähnliche Dimensionen wie das Bongo-Netz hat das **WP2-Netz**, es ist allerdings nur ein Einfachnetz. Sehr große Netze dieser Art sind die **Ringtrawls** mit Öffnungsdurchmessern von 1 m und mehr. Abwandlungen des Multinetzes für den fraktionierten Schleppfang in verschiedenen Tiefenschichten sind das große **Mocness-Netz** und der «**Hai**» (so benannt nach seiner stromlinienförmigen Außenverkleidung). Diese Netztypen können ähnlich wie das Multinetz in verschiedenen Tiefenschichten zu fraktionierten Fängen geöffnet und geschlossen werden; darüber hinaus tragen sie meist Sensoren zur elektronischen Aufzeichnung von Temperatur und Salzgehalt.

Neben diesen überwiegend in geringen Wassertiefen eingesetzten Geräten wurden auch Netze für speziellere Fragestellungen entwickelt, so der **Isaaks-Kidd-Midwater-Trawl**, ein Riesennetz mit einer Öffnungsweite von 6 oder mehr m² und 8 m Länge, welches zum Fang kleinerer Fische, Megaloplankton und nicht allzu rasch beweglichem Nekton eingesetzt wird.

Ein Spezialnetz schließlich zum Fang von Neuston und Pleuston ist der **Neustonschlitten**, ein Planktonnetz mit rechteckigem Öffnungsrahmen, das so zwischen zwei Schwimmkufen aufgehängt ist, daß nur die untere Öffnungskante wenige cm tief in das Wasser eintaucht, so daß beim Schleppen nur die Organismen der obersten etwa 10 cm unter der Wasseroberfläche abgeseiht werden. Der Fang mit dem Neustonschlitten setzt ruhige See voraus.

Wasserschöpfer: Der generelle Vorteil von Planktonnetzen, die Organismen aus einem großen Wasservolumen abzufischen und zu konzentrieren, läßt sich zum quantitativen Sammeln von kleinzelligem Phyto- und Mikrozooplankton nicht nutzen, da die Netze so feinmaschig sein müßten, daß sie rasch verstopfen. Hier benutzt man **Wasserschöpfer**. Sie bestehen aus einem Kunststoff- oder Metallrohr definierten Volumens, dessen obere und untere Öffnung mit einem Deckel (**Niskin-Schöpfer**) oder einem Drehverschluß (**Nansen-Schöpfer**) über

einen mechanischen oder elektronischen Auslöser verschlossen werden können. Der Schöpfer wird geöffnet, in eine bestimmte Tiefe gefiert, geschlossen und wieder gehievt. So erhält man eine Wasserprobe bestimmten Volumens (in der Regel zwischen 1,8 und 30 l) mit einer dem Probennahort entsprechenden Artenzusammensetzung und Individuendichte. Häufig werden mehrere Schöpfer kranzförmig in einem Metallgestell angeordnet (**Kranzwasserschöpfer** oder **Rosette**). Sie können einzeln ausgelöst werden, so daß während eines Hols wie bei einem Multinetz mehrere Proben an verschiedenen Stellen – z.B. aus verschiedenen Tiefen – genommen werden können. Gewöhnlich sind an einer solchen Rosette zusätzlich Sensoren für Salzgehalt- und Temperaturmessungen angebracht. Der Vorteil des Schöpfers liegt in der schonenden Behandlung aller Organismen und in deren quantitativer Erfassung ohne Verluste in ihrer natürlichen ortsgemäßen Konzentration.

Lediglich größere Zooplankter werden wegen ihrer geringen Bestandsdichte nur selten gefangen. Sofern sie aus größerer Tiefe gefischt werden müssen, wählt man zu ihrer Untersuchung daher netzgedungen Netze. Sonst schöpft man sie von Bord aus. Ein Nachteil der Schöpfer ist, daß jede Probe nur aus einer definierten sehr eng bemessenen Tiefschicht stammt, während das Netz integrierend das Plankton einer ganzen durchfischten Wassersäule erfaßt.

2.1.2 Hälterung

Für längerfristige Untersuchungen an lebendem Plankton ist dieses so schonend wie möglich zu halten, um so den Organismen außerhalb ihrer normalen Umwelt eine maximale Überlebensrate zu sichern.

Für Zooplankton stellt eine solche kurzzeitige Hälterung in der Regel kein sonderliches Problem dar. Es genügt ein mit Seewasser gefüllter Eimer oder ein zylindrisches Glasgefäß. Gefahr für die Tiere geht von schädigenden Kontakten mit den Gefäßwänden, sowie von der Anreicherung giftiger Stoffwechselprodukte (z.B. Ammonium) aus; auch soll durch hohe Besatzdichten erzeugter Streß schädigend wirken. Diese Probleme sind mit großvolumigen Gefäßen (5–10 Liter) für gewisse Zeit zu vermindern. Die Temperatur sollte im Bereich der Meerestemperatur oder etwas darunter liegen. Es hat sich weiterhin als vorteilhaft erwiesen, die Proben im Dunkeln zu halten, da es sonst zu lichtbedingten Aggregationen von Organismen kommen kann. Ein weiteres Problem ist das Absinken der

Plankter im Hälterungsgefäß. Hiergegen ist wenig zu unternehmen, da z.B. die Verwendung von Magnetrührern oder das Durchblasen von Luft wiederum zu mechanischen Schädigungen der Organismen führen kann.

Vor den Versuchen müssen die Proben wieder konzentriert werden. Hierzu kann man einen Großteil des Wassers mittels eines Schlauches ablassen. Damit dabei kein Plankton verlorengeht, steckt man in den Schlauch einen Trichter, dessen weites Absaugende mit Gaze überspannt ist.

Für längere Hälterung lebender Tiere empfiehlt sich allerdings ein sogenannter Planktonkreisel. Hierbei handelt es sich um ein rundes Glasgefäß, in dem durch eine separate (!) Einheit zugeführte Luft einen kreisförmigen Wasserstrom erzeugt. Hierdurch wird das Schweben der Plankter erleichtert, die Wandkontakte werden verringert und bei Verwendung einer Sandfilter-Anordnung die Wasserqualität erhöht. [Zur Konstruktion des Planktonkreisels siehe Greve 1968 und 1970.] Die für das Zooplankton dargestellten Probleme bestehen verstärkt für das Phytoplankton, wobei das Absinken die größte Gefahr darstellt. Als Hälterungsgefäße lassen sich am besten 2 Liter-Rundkolben verwenden; allerdings sind für bestimmte Versuche Gefäße bis zu 10 Litern erforderlich.

Dem Absinken der Zellen begegnet man am besten durch Verwendung eines Schütteltisches. In Anlehnung an den Planktonkreisel ist auch ein «Phytoplanktonkreisel» entwickelt worden (Greve 1970), für Langzeitkulturen die beste Lösung.

2.1.3 Auswertung

A. Chlorophyll a-Bestimmung nach der UNESCO-Methode:

Der Chlorophyll a (CHL. *a*) -Gehalt ist ein Maß für die in Seewasserproben vorhandene Menge an Phytoplankton. Das Prinzip der Messung besteht in der Extraktion der Pigmente aus dem Phytoplankton mit 90%igem Aceton und der nachfolgenden spektralphotometrischen Konzentrationsmessung der Pigmente.

Technischer Bedarf: 90%iges Aceton, Dispensette für mindestens 11 ml, Dosierlöffel für Glasperlen (Pinzette mit aufgespießtem Röhrchenboden), Glasperlen, Plastikzentrifugenröhrchen 14 ml mit Lamellenstopfen, Zelmühle, Kühlzentrifuge, Spektralphotometer. Für die Filtration: Filtrationsgestell mit Wasserstrahlpumpe, Pinzette, Glasfaserfilter (Whatman GF/C, 2,5 cm Durchmesser), 1 bzw. 0,5 Liter Enghals-Plastikflaschen.

Probennahme und Filtration: Seewasserprobe mit einem Wasserschöpfer nehmen, 0,5–1 Liter werden über die Glasfaserfilter bei möglichst geringem Unterdruck (< 0,5 bar) filtriert und mit filtriertem Seewasser nachgespült.

Aufbewahrung der Filter: Die Filter werden in den Plastikröhrchen tiefgefroren, wenn keine unmittelbare Aufarbeitung der Proben erfolgt. Röhrchen und Filter nach Möglichkeit immer dunkel halten, da Licht die Chlorophyllmoleküle zerstört (Photooxidation).

Extraktion: Die Filter in den Plastikröhrchen werden mit Glasperlen überschichtet. Das am Boden des Röhrchens zusammengefallene Filter muß bedeckt sein. Zugabe von 11 ml 90%igem Aceton. Falls die «Zellmühle» nicht kühlbar ist, Röhrchen für 15 min in den Tiefkühlschrank stellen. Danach werden die mit einem Lamellenstopfen verschlossenen Röhrchen bis zur Zerstörung des Filters im Homogenisator geschüttelt (3–5 min). Danach Homogenat in Kühlzentrifuge klären (15 min bei 5000 UPM). Sollte keine Kühlzentrifuge zur Verfügung stehen, müssen die Röhrchen wieder für 15 min in den Tiefkühlschrank, da sonst die Gefahr der «Explosion» der Röhrchen infolge Überhitzung besteht. Nach Möglichkeit soll sofort danach die Extinktion der dekantierten Lösung im Spektralphotometer gemessen werden.

Messung der Extinktion: Bei jeder neu eingestellten Wellenlänge muß gegen 90%iges Aceton abgeglichen werden. Die Messungen erfolgen in der Reihenfolge 750, 663, 647 und 630 nm. Das ist wichtig, um schon bei der Trübungsmessung (Ext. bei 750 nm) festzustellen, ob die Lösung frei von Schwebstoffen (z.B. Filterresten) ist. Im Zweifelsfall (Ext. bei 750 nm > 0,01) muß noch einmal zentrifugiert werden. Das Extinktionsmaximum für Chl. *a* liegt bei 663 nm, für Chl. *b* bei 647 nm und für Chl. *c* bei 630 nm.

Berechnung: Extinktionswert 750 nm von den anderen Ext. abziehen. $E_{663}-E_{750} = Ek_{663}$, $E_{647}-E_{750} = Ek_{647}$, $E_{630}-E_{750} = Ek_{630}$.

$$\text{Chl. } a \text{ } (\mu\text{g/l}) = \frac{(11,85 \times Ek_{663} - 1,54 \times Ek_{647} - 0,08 \times Ek_{630}) \times V}{P \times l}$$

mit V = Volumen des Lösungsmittels in ml (hier 11,0)

P = Volumen der filtrierten Wasserprobe in Litern (L)

l = Länge der Küvette in cm.

Bei Extinktionen > 0,800 kann mit 90%igem Aceton verdünnt, oder eine kürzere Küvette gewählt werden.

B. Mikroskopische Auswertung

Für die qualitative und quantitative Analyse der Planktongemeinschaften, wie sie in dem Versuch beschrieben ist, dient i.A. das sogenannte umgekehrte oder Utermöhl-Mikroskop. Diese Methode, die im wesentlichen auf der Identifizierung, Vermessung und Auszählung von Zellen beruht, die aus einem bekannten Volumen auf den Boden einer speziellen Utermöhlkammer sedimentierten, liefert die zuverlässigsten Daten bezüglich des Artenspektrums und der Biomasse. Eine genaue Beschreibung der Methode findet man bei Utermöhl (1958). Ist allerdings kein Utermöhl-Mikroskop verfügbar, kann auch ein normales Mikroskop, bzw. Stereomikroskop benutzt werden. Die genaue Durchführung der Analysen sowie weitere Auswertungsmethoden sind bei den entsprechenden Versuchen aufgeführt.

Literatur

- Greve, W. (1969): The «planktonkreisel», a new device for culturing zooplankton. *Mar. Biol.* **1**, 201–203.
 Greve, W. (1970): Cultivation experiments on North Sea ctenophores. *Helgoländer wiss. Meeresunters.* **20**, 304–317.

2.2 Planktongemeinschaften

Gerald Schneider und Christian Stienen

Die Meere der gemäßigten und borealen Breiten zeichnen sich durch starke jahreszeitliche Schwankungen in Menge und Zusammensetzung des Planktons aus, wobei Temperatur und Lichtangebot sowie vertikale Wasserbewegungen eine entscheidende Rolle spielen (Abb. 2.1). Im Winter sind sehr niedrige Phyto- und Zooplanktondichten zu

beobachten. Der Grund liegt in der vor allem durch Lichtmangel bedingten sehr niedrigen Produktion des Phytoplanktons, was auch ein geringes Nahrungsangebot für pelagische Tiere bedeutet. Dies ändert sich allerdings im Frühjahr. Die Zunahme der Tageslänge und die ersten Hochdruck-Wetterlagen führen zu einem starken Anstieg des Lichtan-

gebotes. Wichtiger ist aber eine zunehmende Stabilisierung der Wassersäule infolge abnehmender Winde und ansteigender Erwärmung des Wassers. Die Zone der Durchmischung, in der die Plankter zwischen oberflächennahen und tieferen Schichten zirkulieren, wird flacher als die Eindringtiefe des Lichtes. Dadurch bleiben die Pflanzenzellen während der Zirkulation immer in einem ausreichenden Lichtklima. Diese Bedingungen erlauben eine geradezu explosionsartige Entfaltung des Phytoplanktons: Die Frühjahrsblüte. Ganz generell sind an dieser Massenentfaltung von Algen vor allem zentrische, kettenformende Diatomeen beteiligt, unter ihnen häufig *Skeletonema costatum*; andere sind *Detonula confervacea*, *Achnanthes taeniata* sowie diverse *Chaetoceros*-Arten.

Solche Frühjahrsblüten sind allerdings vergleichsweise kurze Erscheinungen von meist nicht länger als zwei bis drei Wochen. Man hatte früher angenommen, das Ende der Blüte werde durch den «Wegfraß» durch Zooplankton hervorgerufen. In einigen Meeresgebieten trifft dies wohl zu, doch in der Regel hat sich das Zooplankton bis zu dieser Zeit erst wenig entwickelt, so daß dessen Nahrungsbedarf sehr gering ist. Detaillierte Untersuchungen zeigten, daß der Zusammenbruch der Blüte durch die Erschöpfung der Nährstoffe, also der anorganischen Stickstoff- und Phosphorverbindungen in der euphotischen Zone bewirkt wird. Infolgedessen kommt es zu einem Massenabsinken der Phytoplanktonzellen auf den Meeresboden.

Direkt nach diesem Absinken des Phytoplanktons entwickeln sich starke Bestände von Protozooplankton (Ciliaten), deren Bedeutung für den Stoffkreislauf in der euphotischen Zone noch nicht endgültig geklärt ist. Der erste große Biomasseanstieg des Metazooplanktons findet etwa im späten Frühling, also deutlich nach Zusammenbruch der Frühjahrsblüte statt. Hierbei spielen Copepoden eine entscheidende Rolle, daneben jedoch auch andere Crustaceen, meroplanktische Larven bodenlebender Tiere sowie Hydromedusen.

Die Produktionsbedingungen des nun folgenden Sommers werden in entscheidender Weise durch die biologische Entwicklung im Frühling und durch hydrographische Gesetzmäßigkeiten bestimmt. Am Ende des Winters sind die Phytoplanktonnährstoffe in nahezu gleichen Konzentrationen in der gesamten Wassersäule vorhanden (windbedingte Durchmischung bei nahezu ungeschichteter Wassersäule). Während der Frühjahrsblüte wird nun der größte Anteil dieser Nährstoffe in Phytoplanktonbiomasse eingebaut und somit in partikulärem Material festgelegt. Nach Zusammenbruch der Frühjahrsblüte sinken die Pflanzenzellen, und mit

ihnen die ehemals gelösten Nährstoffe zu Boden. Zwar findet dort der Abbau der Pflanzenzellen statt, wobei die Nährstoffe zu erheblichem Teil wieder freigesetzt werden, doch vollzieht sich während dieses Remineralisierungsprozesses eine entscheidende hydrographische Entwicklung: Die stetige Erwärmung der oberflächennahen Wasserschichten bedingt eine zunehmende Dichteschichtung innerhalb des Wasserkörpers, die schließlich zu einer «Zweiteilung» der Wassersäule führt. Eine «Sprungschicht» – in ihr ändern sich Temperatur und Dichte auf wenigen Metern Tiefendifferenz um viele Einheiten – trennt eine warme, lichtdurchflutete Oberflächenschicht von einer kühlen und häufig lichtarmen Tiefenschicht. Salzgehaltsunterschiede können die Sprungschicht noch verstärken. Die am Boden remineralisierten Nährstoffe akkumulieren sich daher in der lichtarmen Tiefenschicht und gelangen kaum in Oberflächennähe, da die Sprungschicht vertikale Austauschprozesse stark behindert. Die Produktion des Phytoplanktons ist daher vor allem auf die durch heterotrophe Organismen remineralisierten Nährstoffe angewiesen.

Das Zooplankton erreicht im Sommer seine größte Artenvielfalt. Die Copepoden stellen immer noch einen sehr großen Anteil, obwohl die Absolutwerte ihrer Biomasse (Masse der lebenden Substanz pro Wasservolumen) häufig deutlich zurückgehen können. Dies liegt an dem Auftreten karnivorer Arten, unter ihnen vor allem Medusen und Chaetognathen (Pfeilwürmer). Besonders die Scyphomedusen können sich in küstennahen Gewässern in derartigen Massen entwickeln, daß allein ihre Biomasse einen Großteil der Biomasse des Metazoen-Planktons ausmachen kann. In meist geringeren Zahlen trifft man Ostracoden, Cladoceren und Appendicularien. In atlantischen Wassermassen treten darüber hinaus auch Salpen, Siphonophoren, pelagische Schnecken (Thecosomata) und manchmal Larvenformen bestimmter Crustaceen südlicher Verbreitung, z.B. von Stomatopoden, und die bizarren Phyllosomalarven der Langusten auf.

Auch das Phytoplankton bildet im Sommer seine höchste Formenvielfalt aus, im Gegensatz zum Zooplankton allerdings in weit geringerer Bestandsdichte. Vorherrschende Organismen sind in der Regel kleine Flagellaten (Nanoflagellaten), im Laufe des Sommers in zunehmendem Maße auch Dinoflagellaten, namentlich der Gattungen *Gyrodinium*, *Gymnodinium*, *Scripsiella*, *Prorocentrum* und *Ceratium*. Die beiden erstgenannten Gattungen umfassen sowohl auto- als auch heterotrophe Formen.

Da viele Zooplankter herbivor sind, mag es zunächst seltsam erscheinen, daß ein kleiner Bestand

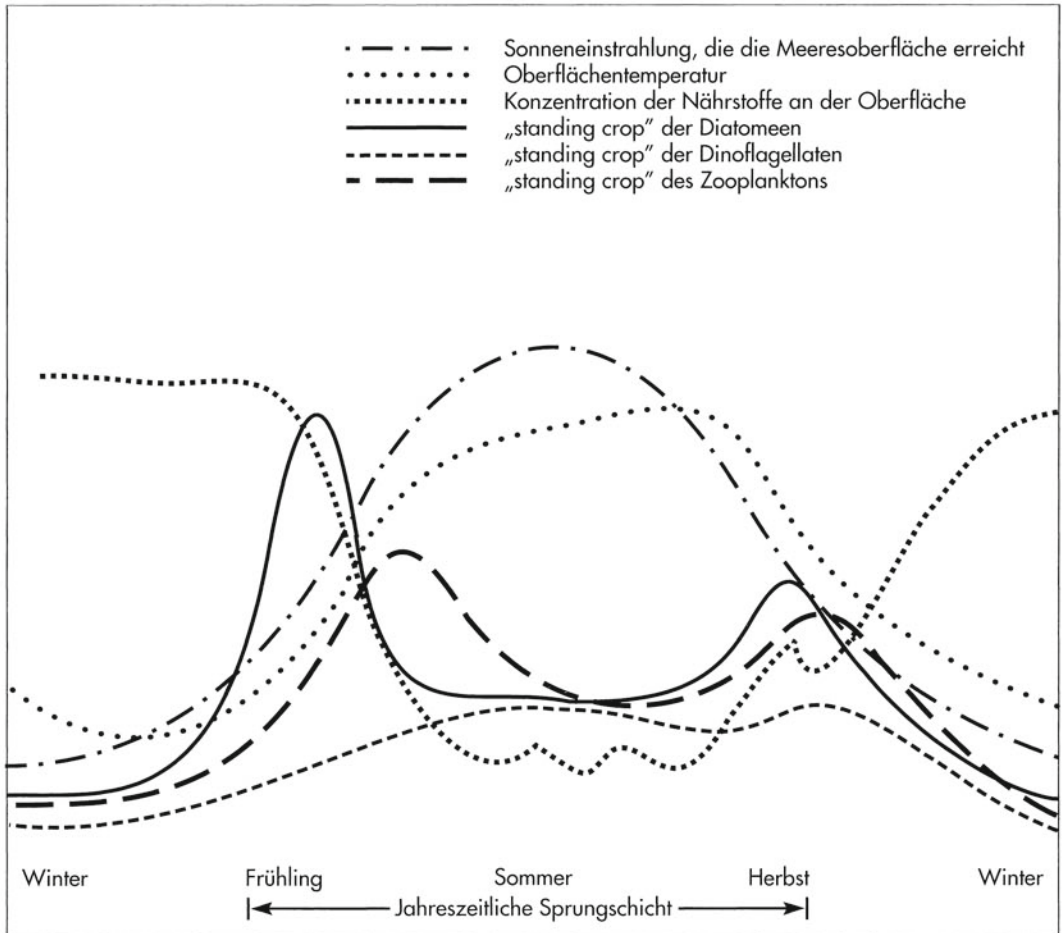


Abb. 2.1: Schematische Darstellung der jahreszeitlichen Fluktuation einiger abiotischer Parameter und Planktonkomponenten. Der heute nicht mehr verwendete Ausdruck «standing crop» ist mit den Begriffen «Bestand» bzw. «Biomasse» gleichzusetzen (aus Tait 1971, leicht verändert)

an pelagischen Pflanzen einen größeren Bestand an Zooplankton ernähren kann. Dies liegt an der hohen Primärproduktion der Phytoplankter und der damit verbundenen hohen Vermehrungsrate. Die Zellen teilen sich sehr schnell, doch führt dies nicht zu einer Biomasseakkumulation wie in der Frühjahrsblüte, da der größte Teil der Zellen vom Zooplankton gefressen wird. Die Zooplankter ihrerseits haben ebenfalls eine hohe Stoffwechselrate (Temperatur!), wodurch die im gefressenen Phytoplankton gebundenen Nährstoffe sehr schnell wieder ausgeschieden werden, so daß sie in gelöster Form ins Wasser gelangen, wo sie erneut von den Pflanzen aufgenommen werden können. Die sowohl beim Phytoplankton als auch beim Zooplank-

ton auftretenden hohen Umsatzgeschwindigkeiten ermöglichen einen hohen Stoffaustausch zwischen den Mitgliedern der pelagischen Gemeinschaft, der sich in hohen Produktionsraten widerspiegelt. Diese Austauschprozesse können aber nicht mit 100%iger Effizienz ablaufen, da es immer zu Verlusten für das Pelagial kommt. So wird z.B. ein Teil der Nährstoffatome über Wachstum und Reproduktion in Zooplanktonkörpern fixiert. Die abgestorbenen Tiere sinken in tiefere Wasserschichten bzw. zum Boden, was einen Nährstoffverlust für die produktive Schicht darstellt. Das nährstofflimitierte Sommersystem müßte sich mit der Zeit «totlaufen». Dies wird allerdings durch sporadische meteorologische Einflüsse (Stürme) verhindert, die zu «Injek-

tionen» nährstoffreichen Tiefenwassers in die produktive Schicht führen. Wichtiger ist in Flachwassergebieten allerdings die Remineralisierungsleistung der Teile des Sediments, die oberhalb der Sprungschicht liegen und somit direkten Kontakt zu dem oberflächennahen Wasser haben.

Zum Herbst beginnt eine Umschichtung der Wassersäule. Die Abkühlung des Wassers und der steigende Einfluß der Winde brechen die Sprungschicht auf, so daß die Nährsalze über die ganze Wassersäule verteilt werden. Das Ergebnis ist meist

eine zweite Phytoplanktonblüte, jetzt aber vornehmlich durch Dinoflagellaten (vor allem *Ceratium*). Auch kann es zu einer zweiten Diatomeenblüte und zu einem nochmaligen Ansteigen der Zooplanktonbiomasse kommen. Diese Herbstblüte ist aber im Gegensatz zur Frühjahrblüte keine Erscheinung die jedes Jahr eintreten kann. Bei zu trübem Herbstwetter kann die Blüte auch ausfallen (Lichtlimitation). Mit dem weiteren Fortgang des Jahres stellt sich dann wieder die schon beschriebene Wintersituation ein, womit der Jahreszyklus der Planktonentwicklung geschlossen ist.

Tabelle 2.1: Relative Häufigkeit der Hauptgruppen des Planktons: Jahreszeitliche Veränderung. Die Klammern fassen die Gruppen zu methodischen Einheiten zusammen.

Saison	Nano- flagellaten	Dino-	Diatomeen	Proto- zooplankton	Meta-
Frühling	+	+	++++	++	+
Frühsommer	++	++	+	+++	++++
Sommer	++++	++	+	+++	++++
Herbst	+++	++++	++	++	+++
Spätherbst	+++	++	+++	+	++
Winter	+	+	+	+	+
Probennahme mit: Netz 10 µm–20 µm, Wasserschöpfer Laborgerät: Mikroskop Netz 100 µm–200 µm Stereomikroskop					

Das hier dargestellte Schema gilt im Grunde sowohl für die Gewässer der gemäßigten und borealen Breiten als auch für das Mittelmeer. Allerdings gibt es auch eine Reihe von Unterschieden. So ist das Mittelmeer insgesamt nährstoffarm. Dies liegt z. T. an dem nur geringen Austausch mit dem Welt-ozean; denn lediglich durch die Straße von Gibraltar findet ein Wassertransport zwischen dem Mittelmeer und dem angrenzenden Atlantik statt. Dabei verläßt relativ nährstoff- und salzreiches Tiefenwasser das Mittelmeer und wird durch nährstoff- und salzarmes Oberflächenwasser aus dem Atlantik ersetzt. Auch die allochthone Zufuhr von Nährstoffen über Flüsse findet nur in begrenztem Ausmaß statt, da das Mittelmeer in einer ariden bzw. semiariden Klimazone mit nur wenigen Flüssen liegt. Von diesem Umstand sind die östlichen Teile des Mittelmeeres allerdings stärker betroffen als die westlichen. Darüber hinaus ist den nordeuropäischen Gebieten ein breiter, relativ flacher Schelf vorgelagert, so daß es durch bestimmte Kombinationen von Bodentopographie und Hydrographie zu Austauschprozessen zwischen Boden und Wassersäule kommt. Das Mittelmeer dagegen ist ein tiefes Becken ohne nennenswerte

Flachwasserbereiche, was die Nährstoffversorgung der oberflächennahen Schichten in größerer Entfernung von der Küste erschwert. Obwohl die Eindringtiefe des Lichtes im Mittelmeer wesentlich größer ist als in den vorher besprochenen Gebieten sind daher die Primärproduktionswerte deutlich niedriger (Sommer: 0,5–1 g C/m²/d im Norden verglichen mit < 0,1–0,2 g C/m²/d im Mittelmeer). Trotzdem ist die grundsätzliche Abfolge der Ereignisse im Mittelmeer ähnlich wie in den gemäßigten und borealen Breiten: Diatomeenbestimmte Frühjahrblüte, Sommerstratifizierung und Herbstblüte nach Aufbruch der Schichtung. Vereinfacht ausgedrückt: Es findet alles nur auf niedrigerem Biomasse-Niveau statt.

Es muß aber immer bedacht werden, daß regionale Sonderaspekte die in diesem Abschnitt erörterten Grundmuster stark variieren können. In der Nähe von Flußmündungen z.B. kann man durchaus auch einen anderen Ablauf und höhere Produktionswerte erwarten. Ähnlich ist es in flacheren Meeresgebieten, wo starke Gezeitenwirkungen die Ausbildung der sommerlichen Sprungschicht verhindern.

Fragen

1. Für die Entwicklung der Frühjahrsblüte ist es wichtig, daß die Durchmischungszone flacher ist als die Eindringtiefe des Lichtes. Warum? Was passiert im umgekehrten Fall? (Hinweis: Vergleichen Sie Respiration und Produktion einer Pflanzenzelle bzw. einer Population von Zellen; bedenken Sie dabei, daß die Produktion mit der Tiefe abnimmt, die Respiration aber konstant bleibt.)
2. Warum findet der Biomasseanstieg des Zooplanktons nach der Frühjahrsblüte statt, obwohl während der

Blüte für die Herbivoren viel mehr Nahrung vorhanden ist?

3. Eine Reihe von Copepoden stehen im Verdacht neben Phytoplankton auch Copepoden-Kotpillen zu fressen. Was könnte das für den Stoffhaushalt des sommerlich nährstofflimitierten Oberflächensystems bedeuten?
4. Welchen entscheidenden Vorteil haben Flagellaten in der beschriebenen Sommersituation bei der Nährstoffversorgung im Vergleich zu Diatomeen? (Hinweis: Flagellaten sind bekanntlich beweglich.)

2.3 Beobachtungen und Experimente zur Lebensweise von Planktonorganismen

2.3.1 Qualitative und semiquantitative Phyto- und Zooplanktonuntersuchungen

*Gerald Schneider und
Christian Stienen*

Die Beurteilung des Zustandes eines pelagischen Ökosystems setzt die Kenntnis des dort vorherrschenden Artenspektrums voraus. Dieses reicht – lassen wir die Bakterien außer acht – von einzelligen Pflanzen (Phytoplankton) und Tieren (Protozooplankton) in einer Größenordnung von wenigen μm bis zu größeren Metazoen im Größenbereich von cm. Das Phyto-, Protozoen- und Metazoenplankton bearbeitet man zweckmäßigerweise an verschiedenen Proben. Die Phyto- und Protozooplankter bilden die Grundlage für ein darauf aufbauendes weitverzweigtes Nahrungsnetz und sollten zuerst bearbeitet werden.

Phyto- und Protozooplankton: Die qualitative Planktonanalyse kleinerer Formen erfordert zuerst eine Unterscheidung zwischen auto- und heterotrophen Einzellern. Anhand der einschlägigen Bestimmungsliteratur (s.u.) sollte jeder wenigstens die 10–15 häufigsten Algen- und Protozoenarten erkennen können. Die Unterscheidung, ob auto- oder heterotroph, ergibt sich in den meisten Fällen bereits aus der Einordnung in die richtige Organismenklasse oder -familie. Allerdings geht die Grenze zwischen Pflanze und Tier innerhalb einiger Gruppen quer durch einzelne Gattungen (viele Dinophyceen). Hier sind Pflanzen und Tiere zuweilen schwer voneinander zu trennen. Erstes Ziel der mikroskopischen Planktonuntersuchungen ist, einen Überblick über die Artenstruktur des Phyto- und Protozooplanktons in einem Lebensraum und die relativen Anteile der beiden Gruppen zu erhalten. Besonders in

den gemäßigten Breiten unterliegt das Spektrum der jeweils dominierenden Arten ausgeprägten jahreszeitlichen Schwankungen. In den Übergangsphasen (Frühsommer, Herbst) lassen sich in einem Zeitraum von 1–3 Wochen solche Verschiebungen im Artenspektrum gut verfolgen.

Zwei Algengruppen bilden die Hauptmasse des Phytoplanktons, die Bacillariophyceae (Diatomeen, Kieselalgen) und die mit 400 Millionen Jahren stammesgeschichtlich sehr alten Dinophyceae (Dinoflagellaten, Panzergeißler). Alle anderen Phytoplanktonarten gehören zu Gruppen, die allenfalls zu bestimmten Jahreszeiten und in bestimmten Meeresgebieten eine bedeutendere Rolle im Pelagial spielen.

2.3.1.1 Untersuchungsobjekte und Materialbedarf:

Je nach Versuchsansatz gehe man von Plankton-Netzfängen (10 oder 20 μm -Netz) oder von Wasserschöpferproben aus.

Technischer Bedarf: Mikroskop mit 10, 25 und 40er Objektiven, Stereomikroskop, einfache Zentrifuge, Objektträger und Deckgläschen, mehrere Bechergläser (ca. 250 ml), Standzylinder (ca. 250 ml), Pasteurpipetten, Spritzflasche, Tropfflasche mit Lugolscher Lösung, Tropfflasche mit gepuffertem 40%igem Formalin (Ansatz beider Lösungen nach Edler, 1984), eine Zählkammer, z.B. nach Thoma oder Fuchs-Rosenthal) mit entsprechenden Deckgläsern, mehrere Petri-Schalen (6–10 cm), Okularmikrometer, evtl. Objektmikrometer, gradierte Zentrifugenröhrchen, mehrere ca. 500 ml-Weithals-Kunststoff-Flaschen, mehrere etwa 100 ml fassende Glasflaschen mit Schraubverschluß.

Meeresbiologische Exkursion

Beobachtung und Experiment

Emschermann, P.; Hoffrichter, O.; Körner, H.; Zissler, D.

(Hrsg.)

1992, XXIII, 244 S. 101 Abb., Softcover

ISBN: 978-3-642-39395-2