

**Zeitschrift:** Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft Luzern  
**Herausgeber:** Naturforschende Gesellschaft Luzern  
**Band:** 33 (1993)

**Artikel:** Das Plankton : bizarre, schwebende Wasserlebewesen  
**Autor:** Bürgi, Hansruedi  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-523669>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 16.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

## Das Plankton – bizarre, schwebende Wasserlebewesen



Hansruedi Bürgi

Der Lebensraum des freien Wassers ist dadurch gekennzeichnet, dass für die Besiedlung eine feste Unterlage fehlt. Die Lebensgemeinschaft, die sich hier entwickelt hat, nämlich das Plankton, hat sich daher auf eine schwebende Lebensweise spezialisiert.

Dieses «Plankton» ist die Gemeinschaft der mikroskopisch kleinen Einzeller (Bak-

terien, Algen, Urtiere) und mehrzelliger Tiere (Rädertiere, Kleinkrebschen), welche die obersten Wasserschichten der Seen bevölkern. Die meisten Planktonorganismen und hier insbesondere die Algen (Phytoplankton) sind so klein, dass sie einzeln von blossen Auge nicht zu sehen sind. Auf andere Weise werden sie dennoch wahrgenommen: Mit ihren Pigmenten ver-

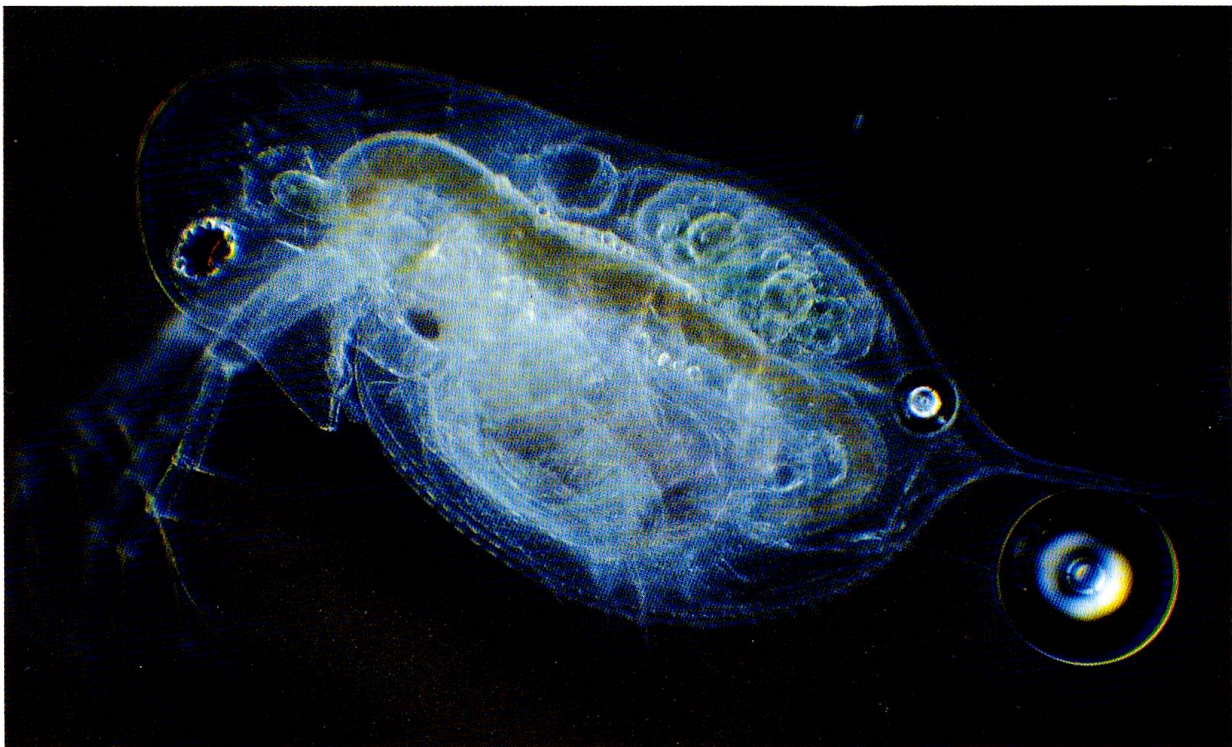


Abb. 1: Der Kleinkrebs *Daphnia* (auch «Wasserfloh» genannt) hält sich mit Hilfe seiner zu Ruderorganen umfunktionierten Antennen in Schwebelage. Im Brutraum ist ein Embryo erkennbar.



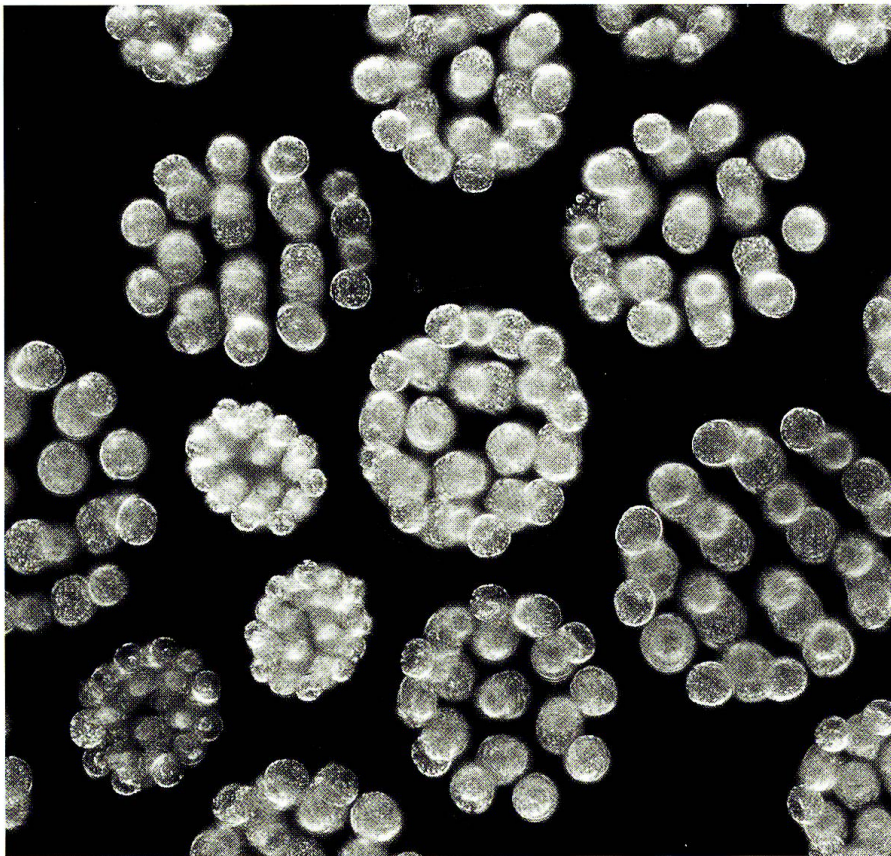


Abb. 2: Die eigenbewegliche Grünalge *Eudorina morum* bewegt sich mit Hilfe von Geisseln und primitiven Lichtsinnesorganen (Augenfleck) an die Seeoberfläche, wo die Intensität des Lichts und dessen spektrale Zusammensetzung günstig sind.

ändern sie die Wasserfarbe. Ohne Plankton wären unsere Mittellandseen klar und blau. Viele Algen besitzen neben ihrem Blattgrün (Chlorophyll) auch blaue, gelbe oder rote Zusatzpigmente. Je nach dem Vorherrschen der einzelnen Farbstoffkomponenten wird der Farbton des Wassers verändert, und es ergeben sich grüne, olivgrüne, ockerfarbene bis bräunlich-rötliche Farbnuancen, die sich bei schneller Abfolge der Algenarten auch entsprechend rasch ändern. Die Intensität der Vegetationstrübung hängt verständlicherweise mit der Nährstoffsituation im Wasser zusammen. Von Natur aus sind unsere Seen kalkreich, nährstoffarm und dementsprechend planktonarm. Sichttiefen von 10 m und mehr und tiefblaues Wasser sind für solche nährstoffarme (oligotrophe) Seen typisch. In nährstoffreichen (mesotrophen bis eutrophen) Seen fällt die Sichttiefe auf wenige Meter oder gar unter einen Meter ab,

das Wasser wird durch das Plankton getrübt, und es erscheint gefärbt.

### ■ Anpassung der Schweborganismen

Die Anpassung der Organismen an eine schwebende Lebensweise hat sich auf verschiedenen Ebenen vollzogen und betrifft neben dem Problem des Dauerschwebens auch die Ernährungs- und Fortpflanzungsweise. Bizarre Formen, spezialisierte physiologische Eigenschaften und ausgeklügelte Verhaltensweisen sind das Resultat dieser Entwicklung zur schwebenden Lebensweise.

Die Biomasse und Gerüstelemente, wie beispielsweise die Schalen der Kieselalgen (aus Silikat bestehend), sind spezifisch schwerer als das Wasser, die Wasserorganismen sinken daher früher oder später in



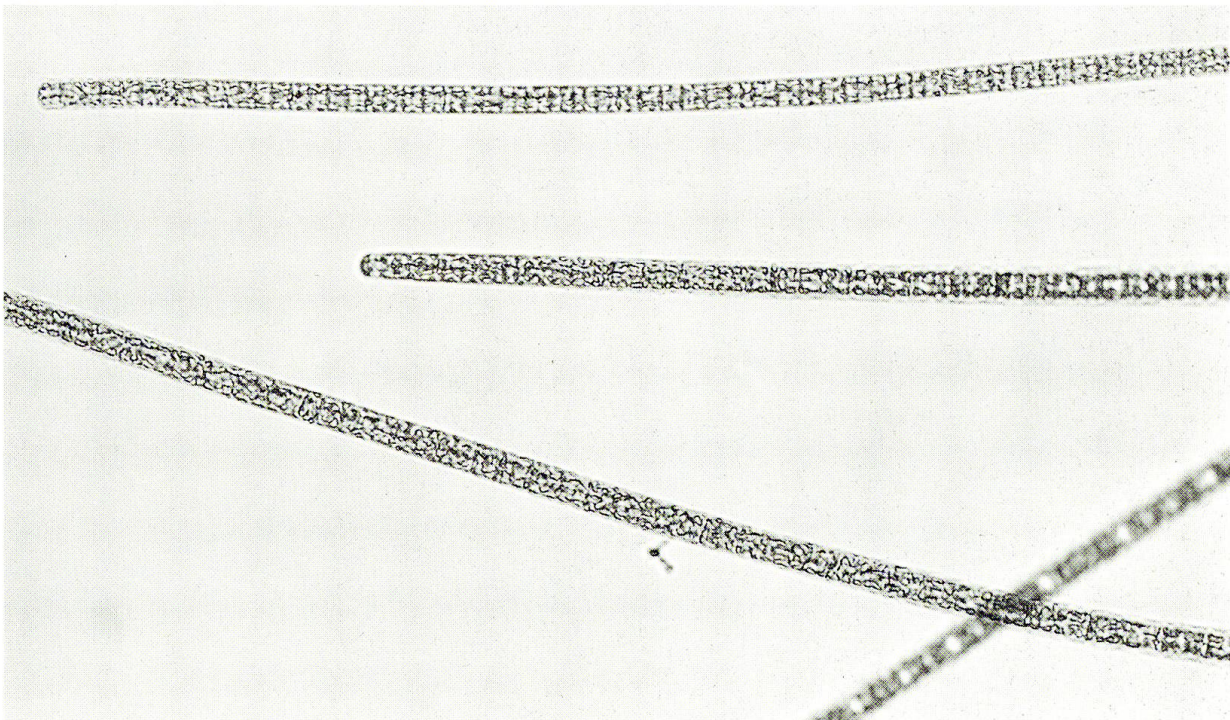


Abb. 3: Die Blaualge *Oscillatoria rubescens* (Burgunderblutalge) kann mit Hilfe von inneren Auftriebskörpern (Gasvakuolen) ihr spezifisches Gewicht demjenigen des Wassers in der bevorzugten Aufenthalts-Tiefe angleichen und dort ohne weiteren Aufwand schwebend verharren.

die Seetiefe und schliesslich auf den Seeboden. Das pflanzliche Plankton, das wie die Landpflanzen auf Licht angewiesen ist, geht schon auf dem Sedimentationsweg infolge des Lichtmangels ein. Das tierische Plankton (Zooplankton) kann zwar auch in grosser Tiefe leben – einige Arten suchen die Seetiefe in tagesperiodischen Wanderungen aktiv auf –, doch bevorzugen viele Zooplankter die Oberflächennzone, wo eine reiche Algennahrung vorhanden ist.

Als wirksamste Massnahmen gegen das Absinken haben sich zwei Mechanismen durchgesetzt: Gasgefüllte Auftriebskörper im Innern des Organismus und gerichtete Eigenbeweglichkeit. Neben Geisseln, Wimpern, Ruderantennen oder Ruderfüssen als Antriebselemente ist auch die Steuerung der Bewegung mit Hilfe eines Lichtsinnes nötig. Die primitiven «Augen» der Planktonorganismen bestehen meist nur aus einfachen Pigmentbechern. Diese

Lichtsinneseorgane gestatten keine figürliche Wahrnehmung. Selbst die etwas komplizierteren Komplexaugen, die bei einigen Kleinkrebsen entwickelt sind, erlauben nur eine Orientierung zur Lichtquelle, somit zur Wasseroberfläche hin.

Die Kompensation mit inneren Auftriebskörpern ist bei Blaualgen verbreitet. Die Dichte des Wassers schwankt im temperierten See von 1,000 bei 4°C bis ca. 0,998 bei rund 20°C. Eine exakte Angleichung des spezifischen Gewichtes der Algen an die Dichte des Wassers in einer gewissen, bevorzugten Wassertiefe ist somit kaum realisierbar. Immerhin kommt sie bei Spezialisten, beispielsweise bei der Burgunderblutalge (*Oscillatoria rubescens*) vor. In vertikal bewegtem Wasser, etwa während der Zirkulation im Winter, ist aber auch für diese eine Einsichtung nicht möglich, weil sich die gasgefüllten Hohlräume in den vertikal verfrachteten





Abb. 4: «Algenblüte», verursacht durch die Blaualge *Aphanizomenon flos-aquae*.

Organismen entsprechend dem wechselnden hydrostatischen Druck dehnen. Eine aus der Tiefe an die Wasseroberfläche geholte Alge mit Gasvakuolen (gasgefüllte Hohlräume) kann oft nicht mehr abtauchen, weil die vom hydrostatischen Druck entlastete Alge durch die gedehnten Gasvakuolen zuviel Auftrieb erhält. Eine solche Erscheinung gipfelt im «Aufrahmen» der entsprechenden Algen an der Wasseroberfläche. Für diese Algenteppiche wurde der etwas irreführende Name «Wasserblüte» oder «Algenblüte» geprägt; da die Algen blütenlose Pflanzen sind, können sie nicht «blühen» (Abb. 4). Dem intensiven Sonnenlicht und Ultraviolett ausgesetzt, gehen diese Algen schnell zugrunde, was neben dem unästhetischen Anblick auch noch zu einer Geruchsbelästigung führen kann. Da eine solche Massenvermehrung von Algen erst möglich ist, wenn das Was-

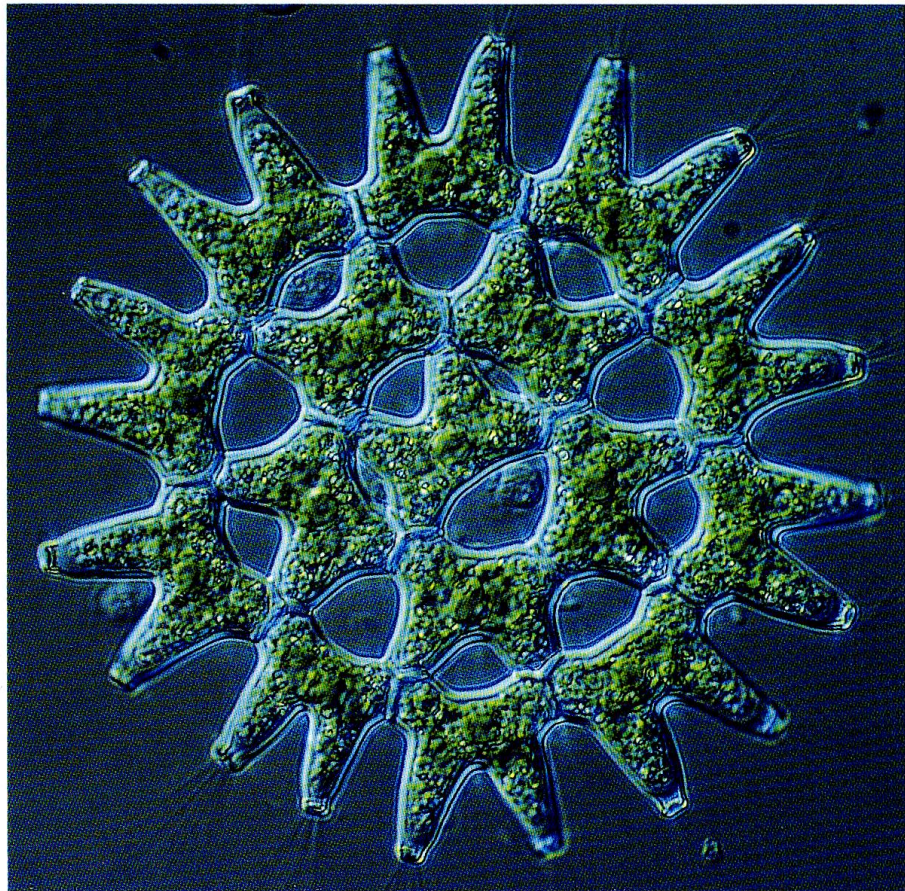
ser entsprechend gedüngt ist, kann das häufige Auftreten von Wasserblüten auch als Indiz für die Überdüngung (Eutrophierung) gelten.

Planktonorganismen, die weder über Eigenbeweglichkeit noch über Auftriebskörper verfügen, weisen oft einen optimierten Formwiderstand auf, der die Reibung und damit die Bremswirkung im Wasser erhöht. Als Sinkbremsen wirken vielfältig gestaltete Schwebelhilfen: Schwebelborsten, sperrige Auswüchse, fadenförmige Organisation usw. Da kleine und kleinste Partikel (analog zu Rauchteilchen in der Luft) länger in Schwebel bleiben als grosse, findet man unter den passiv schwebenden Formen ausgesprochen viele Zwergplankter.

Für das Überleben einer Planktonpopulation im Freiwasser ist letztlich die Bilanz aus Zuwachs und Verlust massgeblich.



Abb. 5: Die Grünalge *Pediastrum duplex* bildet zahnradähnliche Kolonien, die mit Hilfe von zarten Schwebborsten die Sedimentations-Geschwindigkeit im Wasser wie ein Fallschirm erniedrigen.



Bei guten Wachstumsbedingungen können auch grössere Verluste durch Sedimentation, Frass und dergleichen von der Population verkraftet werden. Auch wenn die Wachstumsbilanz zeitweise negativ ist – wenn also mehr Individuen zugrunde gehen als nachwachsen – kann eine Planktonform noch lange im freien Wasser gefunden werden.

Aufbau und Abbau einer Population verlaufen normalerweise exponentiell. So kann die Zahl sämtlicher Individuen einer Art in einem Kubikmeter in die Milliarden gehen. Selbst wenn sich diese Population nun jeden Tag auf die Hälfte reduziert, vergehen mehrere Wochen, bis sie beispielsweise unter 1000 Individuen pro Kubikmeter abgesunken ist. Als Impfmeng für eine neue Wachstumsphase reicht diese Individuendichte aber völlig aus. Der Lebensraum der Freiwasserzone ist für Neu-

ankömmlinge stets offen. Im Gegensatz etwa zu einem Wald, wo der bestehende Bewuchs die Startchance für fremde Samen stark einengt, kann sich eine frisch eingeführte Planktonform im Wasser sofort vermehren, wenn sie gute Bedingungen antrifft.

#### Brutpflege beim Zooplankton

Eier von Rädertieren oder Kleinkrebsen haben aufgrund ihrer Grösse und Form denkbar schlechte Schwebbeeigenschaften. Innerhalb einiger Stunden oder weniger Tage wären die Eier auf den Seeboden abgesunken. Die Entwicklung unter den dort herrschenden widrigen Bedingungen (Kälte, Dunkelheit, Schlamm, Sauerstoffmangel) wäre kaum erfolgreich. Es kann daher nicht erstaunen, dass die stammesgeschichtliche Entwicklung zur Art-



erhaltung Brutpflegemechanismen geschaffen hat. Neben lebendgebärenden Kleinkrebsen und Rädertieren fallen besonders viele Zooplankter mit angehefteten Eiern auf. Die daraus schlüpfenden Jungtiere sind schon zum planktischen Leben befähigt.

#### Überlebensstrategie: Bildung von Dauerstadien

Die frei schwebenden Planktonalgen profitieren von den Bewegungen des Wassers. Durch Turbulenzen und vertikale Konvektionsströmungen werden immer wieder Keime vom Ufer oder vom Seegrund ins freie Oberflächenwasser verfrachtet. Zahlreiche Planktonarten nützen diese Transportmöglichkeit aus: Wenn ungünstige Bedingungen aufkommen, produzieren sie Dauerstadien, welche dann auf den Grund sinken oder ans Ufer gespült werden. Nachdem günstige Lebensbedingungen die Keimung ausgelöst haben, können sie den Lebensraum von dort aus wieder erobern.

#### Einschichtungen und Farbanpassung der pflanzlichen Organismen

Die pflanzlichen Planktonorganismen benötigen für die Photosynthese Lichtenergie. Das auf die Wasseroberfläche auftreffende Licht wird teilweise reflektiert. Die eindringende Strahlung wird im Wasser rasch abgeschwächt. Die im Wasser vorhandenen Schwebstoffe (insbesondere Planktonalgen) erhöhen die Lichtabsorption und -streuung. In planktonreichen Seen nimmt die Lichtintensität mit jedem zusätzlichen Meter Tiefe jeweils um rund die Hälfte des oberliegenden Wertes ab. Schon in 10 bis 20 m Wassertiefe herrscht Dunkelheit.

Die Abnahme der Strahlungsintensität ist spektralabhängig: Rotes und blaues

Licht werden stärker absorbiert als grünes. Dieses dringt daher tiefer ein, und die tiefer unten lebenden Algen müssen sich an Grünlicht anpassen. Grünes Licht kann vom Blattgrün (Chlorophyll) nicht direkt genutzt werden; dazu sind rote Pigmente nötig. In tieferen Zonen des Sees sind deshalb eher bräunliche oder rötliche Algenarten anzutreffen (z.B. Kieselalgen und die Blaualge *Oscillatoria rubescens*).

#### Zooplanktonwanderung

Die Eigenbeweglichkeit des tierischen Planktons schützt die Formen nicht vor horizontaler Abdrift. Zooplankton, das in den Seeabfluss gelangt, wird hoffnungslos flussabwärts verfrachtet. Auch gegenüber den horizontalen Strömungen in einem See kommt die Eigenbeweglichkeit des Planktons nicht an. Die vertikalen Zirkulationsbewegungen und Strömungen sind demgegenüber gering, so dass viele Zooplankter sie überwinden können. Während der Hauptvegetationsperiode von April bis Oktober sind unsere Seen ausserdem thermisch stabil geschichtet. Sofern nicht nur die Oberflächenzone, sondern auch das Tiefenwasser genug Sauerstoff aufweist, wandern viele Kleinkrebse in der Morgendämmerung nach unten und in der Abenddämmerung nach oben.

Verglichen mit den Distanzen, welche von Zugvögeln oder von Fischen zurückgelegt werden, mag die Höhendifferenz von 10 bis 100 m, welche täglich vom Zooplankton überwunden wird, gering erscheinen. Immerhin entspricht diese Distanz aber der 10 000- bis 100 000fachen Körpergrösse der Plankter.

Der Zweck der Wanderung der Zooplankter dürfte nicht primär in der Verhinderung des Zusammentreffens mit ihren Feinden, beispielsweise den planktonfressenden Fischen, liegen, denn diese machen die Wanderungen des Zooplanktons mit.



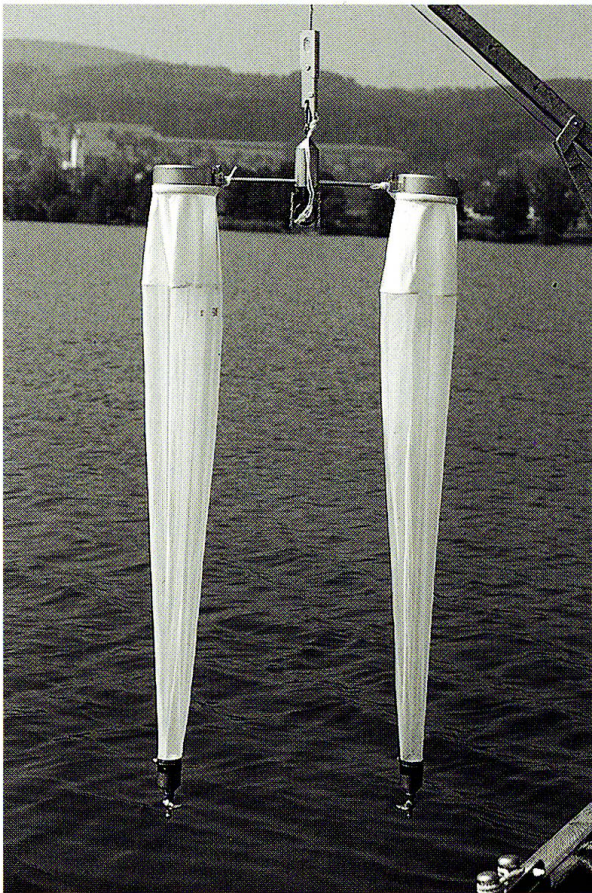


Abb. 6: Zwillingsnetz zur Probenahme von Zooplankton. Mit Nylonnetzen mit rund  $\frac{1}{10}$  mm Maschenweite können mit diesem Gerät quantitative Proben entnommen werden. Über einen Fernauslöser sind diese Proben (durch Kippung der Netzöffnung) auch stufenweise zu entnehmen. Damit können dann Wanderungen der Zooplankter erfasst werden. Feinere Netze mit 10 Micron Maschenweite (und weniger!) dienen zum Aufsammeln von Algenplankton. Proben, die mit so feinen Netzen erhoben werden, sind dann aber nicht mehr quantifizierbar, da sich vor der Netzöffnung ein Stau aufbaut.

Da die Wanderung in die 4° bis 6°C kalte Tiefenzone führt, ist vielmehr die Verlangsamung des Stoffwechsels von Bedeutung. Die Zooplankter haben sich während ihrer Evolution auf sehr geringe Nahrungskonzentrationen hin entwickelt, denn in früheren Zeiten waren fast alle Seen nährstoffarm und wenig produktiv. Der kurze

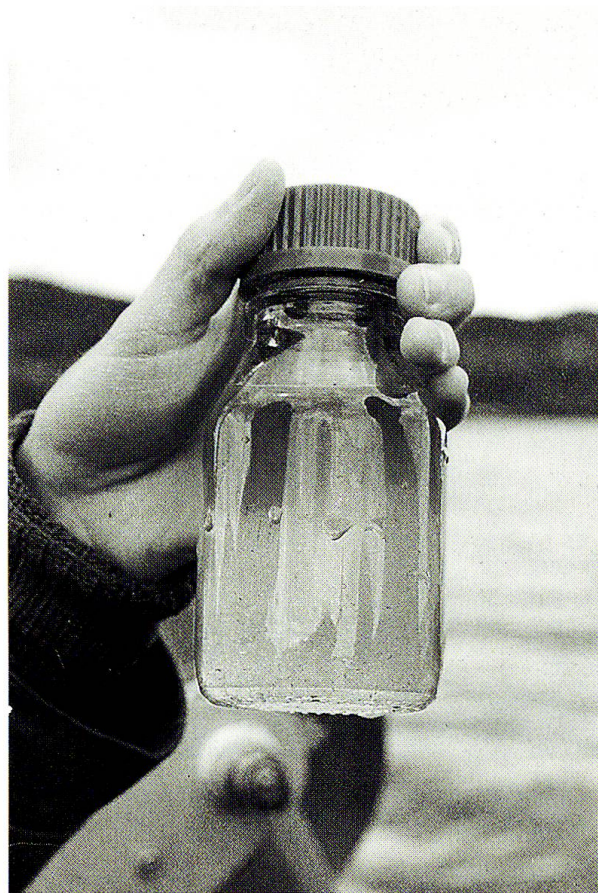


Abb. 7: Menge des Planktons, das unter 1 dm<sup>2</sup> Wasseroberfläche lebt. Die grüne Farbe wird durch Kieselalgen dominiert. Die feinen Punkte sind planktische Kleinkrebse (Zooplankton).

Aufenthalt in der Oberflächenzone dient offenbar der Ernährung der Tiere; damit die Nahrung aber länger hinhält, begibt sich dann das Tier in den tiefer gelegenen «Naturkühlschrank». Dieses Verhalten schützt vor Verausgabung und erlaubt die längerfristige Besiedlung und Entwicklung auch unter Nahrungsmangel.

Durch das Wanderverhalten der Zooplankter wird die Partnersuche bzw. Fortpflanzung der Art besser gewährleistet. Besonders in tiefen, oligotrophen Seen ist die Wanderung, welche die hier in geringster Zahl vorhandenen Individuen zum «Stelldichein» zusammenführt, eine wichtige Voraussetzung für die sexuelle Vermehrung.





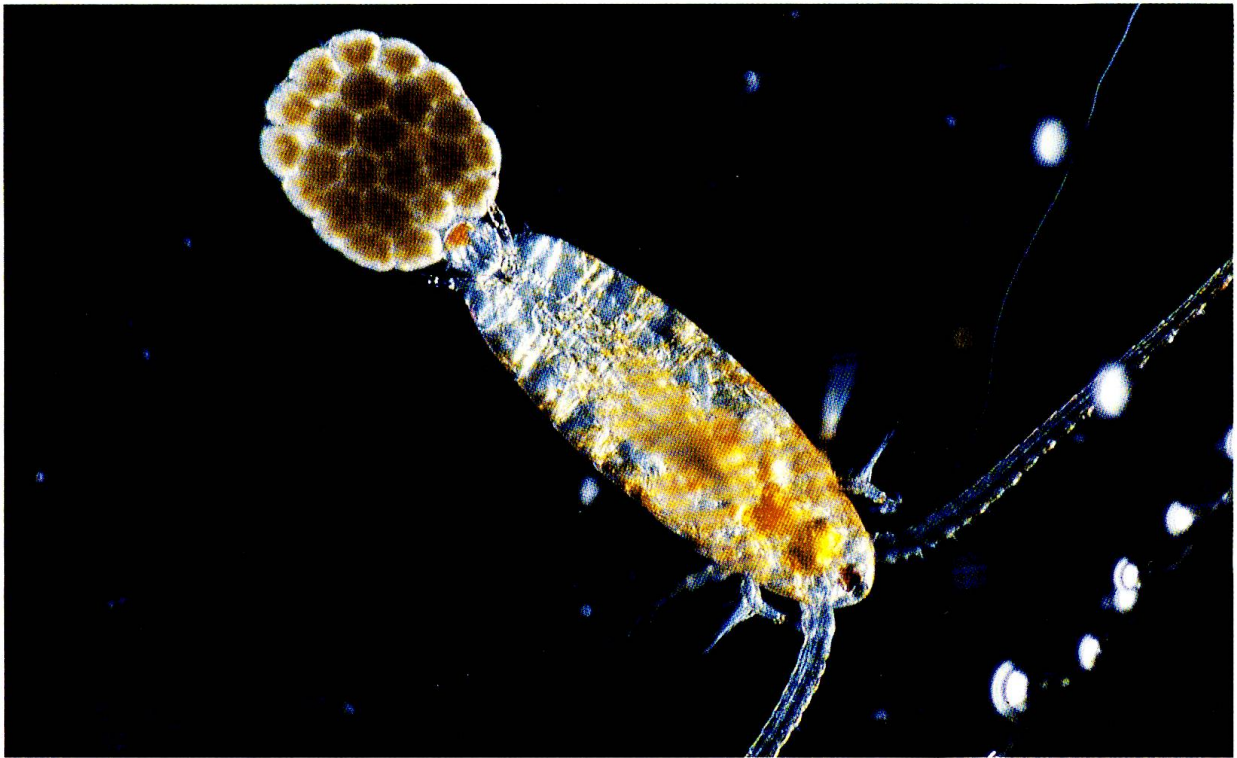


Abb. 8: Brutpflege beim Zooplankton. Der planktische Ruderfusskrebs *Eudiaptomus gracilis* trägt Eier am Hinterleib mit, bis die Larven schlüpfen. Dadurch gelangen diese nicht in die unwirtliche Tiefenzone des Sees.

### ■ Die Umwelt des pflanzlichen Planktons

Die Planktonindividuen haben sich mit vielen ungünstigen Umweltfaktoren abzufinden. Neben den oben erwähnten physikalischen Faktoren wie Licht und Temperatur stellen die niedrigen Nährstoffgehalte des Wassers weitere, das Wachstum begrenzende Faktoren dar. Schliesslich ist jeder Organismus von einer Vielzahl von Konkurrenten, Beute- und Räuberorganismen umgeben und wirkt als Teil eines vernetzten Systems auf die Umwelt zurück. Durch die Aktivitäten des Planktons werden beispielsweise die Nährstoffgehalte lokal und im Zeitablauf verändert.

In ihrer Jahrtausenden langen Entwicklung haben die Algen die Anlage erworben, auch geringste Phosphatmengen aufzunehmen und davon sogar noch Depots anzulegen.

Mehrfache Rezirkulierung hilft mit, das vollständige Aufbrauchen der Nährstoffe hinauszuschieben. Die Algenzusammensetzung eines nährstoffarmen Sees wird durch die besonders sparsamen Kieselalgen und Goldalgen dominiert. Hohe Biomassen und die Vorherrschaft einzelner Algen ist in einem durch Nährstoffmangel gekennzeichneten System nicht möglich. Zu jeder Zeit sind zahlreiche Arten vorhanden, die sich gegenseitig konkurrenzieren. In nährstoffreichen Gewässern hingegen können sich besonders schnellwüchsige Arten gegen ihre Konkurrenz durchsetzen und diese zeitweise verdrängen. Unter solchen Bedingungen ändert das Planktonbild im Laufe des Jahres schnell.

Die Planktonorganismen verändern infolge ihrer Aktivität auch den Sauerstoffgehalt des Wassers. Der Sauerstoff, der bei der Photosynthese freigesetzt wird, wird





Abb. 9: Rädertier *Keratella cochlearis*. Als Algenfresser bevölkert diese Art die Oberflächenzone des Sees. Mit Hilfe des «Räderorganes» strudelt sie feinste Nahrungspartikel ins Mundfeld. Der rote Punkt ist ein primitives Auge.

normalerweise für den Abbau der organischen Produkte schliesslich wieder gebraucht. Die Sauerstoffkonzentration unterliegt nun aber auch physikalischen Einflüssen. Das warme Oberflächenwasser kann den zusätzlichen Sauerstoff nur für kurze Zeit halten; dieser entweicht gemäss den Löslichkeitsgesetzen allmählich in die Atmosphäre. Der Überschussproduktion in den oberflächennahen Schichten steht in der Seetiefe eine Sauerstoffmangelsituation gegenüber, die vom Abbau des herabsinkenden Planktons herrührt.

Zwischen den Planktonalgen und deren Räubern (Zooplankton) entwickelt sich in eutrophen Seen eine Eigendynamik, bei der heftige Entwicklungsschübe der Algen von ebenso rasanten Vermehrungsphasen des Zooplanktons gefolgt werden. Der Nahrungsbedarf der Zooplankter kann dann so gross werden, dass sie den See

förmlich leerfressen. Bevor sie verhungern, produzieren sie oftmals noch Dauereier. Diese bleiben monate- oder jahrelang keimfähig und sichern das Überleben der Arten im See.

Wie sammeln die Zooplankter ihre Nahrung und wie nehmen sie sie auf? Wer schon einmal im Bad eine entglittene Seife wieder behändigen wollte, hat eine Idee vom Problem der Futterbeschaffung der Zooplankter. Primitive Einzeller erzeugen mit ihren Wimpern einen Wasserstrudel zum Mundfeld hin und fangen dort die Partikel ein. Bei den planktischen Krebstieren sind zahlreiche Extremitäten (Antennen, Mundwerkzeuge, Beinpaare) zu raffinierten Filterapparaten umfunktioniert. Aus dem herbeigestrudelten Wasser werden damit feinste Partikel herausgefiltert.

Unter den millimetergrossen Zooplanktern gibt es auch jagende und lauernde



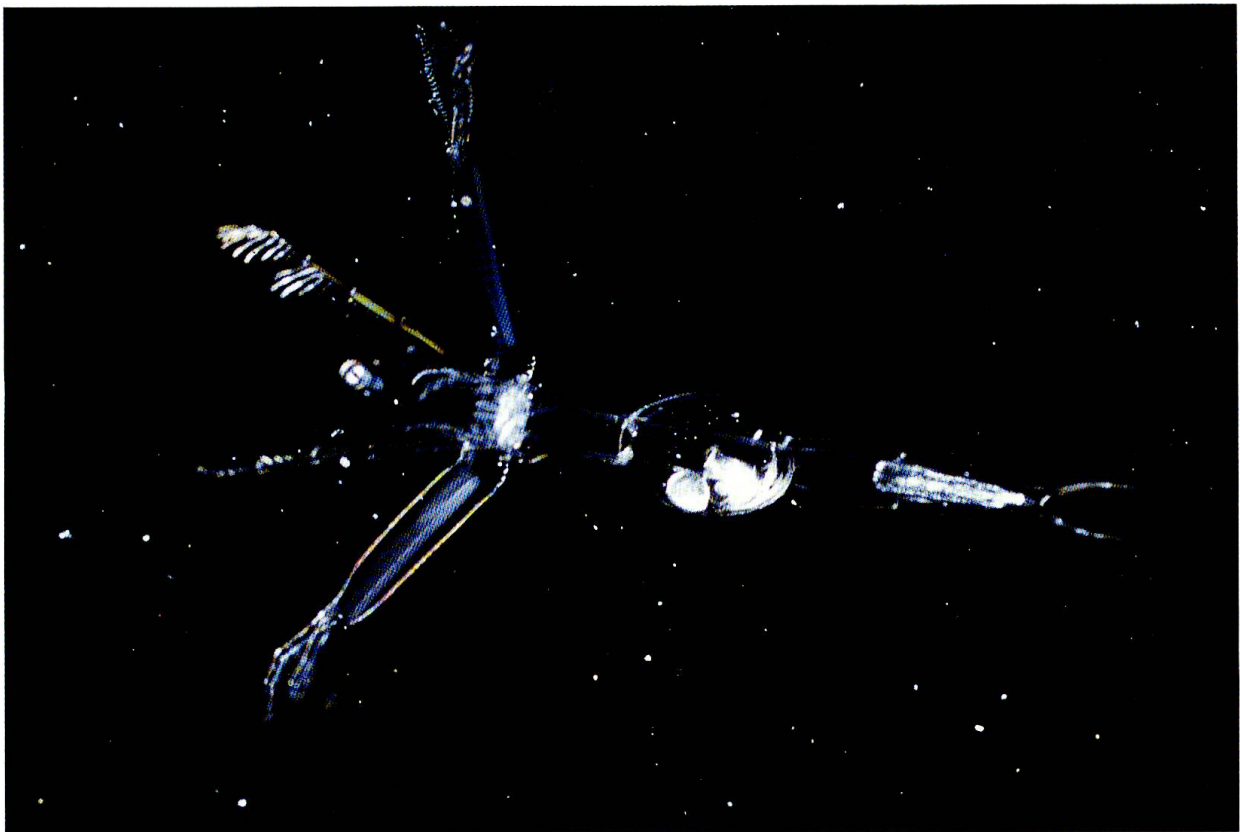


Abb. 10: *Leptodora kindtii* ist ein glasig durchsichtiger Räuber. Seine Antennen sind als Ruderarme, die Beinpaare als Fangarme ausgebildet. Im rucksackartigen Brutraum werden die Jungtiere mitgetragen.

Räuber, die sich ihrerseits von algenfressenden Rädertieren und Kleinkrebschen ernähren. Mit dolchartigen Zangen oder kräftigen Beinen werden die Beuteorganismen gefangen und teilweise ohne Zerkleinerung verschlungen. Ist ein solcher Räuber durchsichtig, so ist sein Nahrungsspektrum ohne Präparation unter dem Mikroskop deutlich sichtbar. Beim räuberischen Rädertier *Asplanchna* kann man oft verschlungene kleinere Rädertiere der Gattung *Keratella* oder *Brachionus* erkennen. Über die Ausscheidungen der *Asplanchna* erhalten aber die überlebenden Beutetiere Signale, welche eine Dornenbildung bei den Nachkommen induzieren. Die bedorneten Nachkommen können dann von *Asplanchna* nicht mehr gefangen werden. Bei vielen Planktern kommen damit zyklische

Veränderungen der Form vor; der Fachmann spricht von Saison-Zyklomorphosen.

#### Fieberkurven des Sempachersees

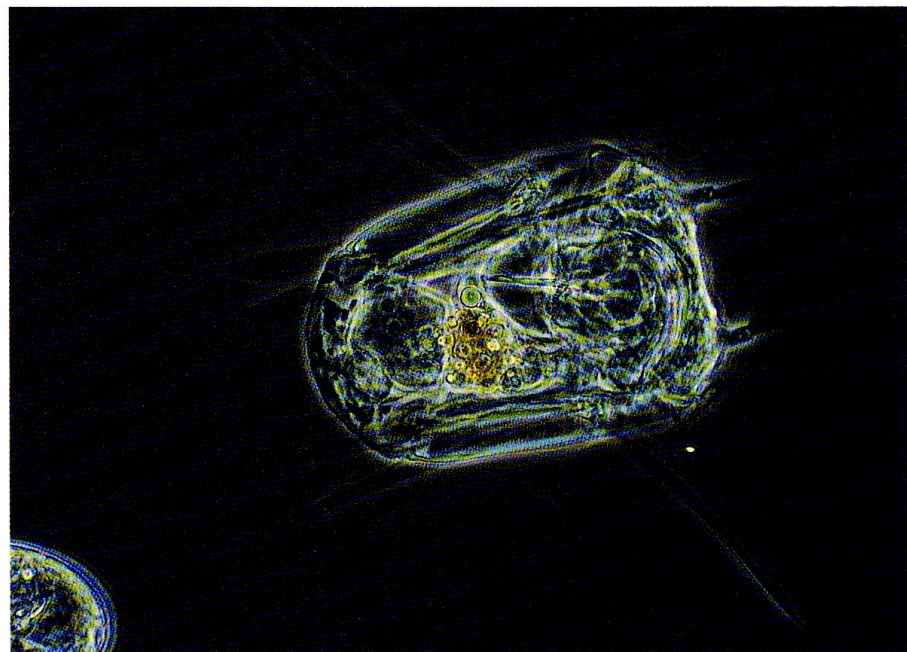
Aus dem früher oligotrophen Sempachersee ist durch übermässige Zufuhr von Pflanzennährstoffen, vor allem von Phosphaten, ein eutropher See geworden. Verglichen mit den anderen Schweizer Seen kam der Sempachersee relativ spät in diese Eutrophierungsphase. Noch bis Mitte der sechziger Jahre war er nährstoffarm. Dies mag mit der extrem langen theoretischen Aufenthaltszeit des Wassers von rund 17 Jahren zu tun haben. Der See hat dadurch ein grösseres Beharrungsvermögen, sein «Gedächtnis» reicht weiter zurück. Dieser Vorteil, der zunächst den besseren Seezu-



Abb. 11: *Asplanchna* ist ein räuberisches Rädertier, das sich mit einem zangenartigen Kauer andere Rädertiere ohne Zerkleinerung einverleibt.



Abb. 12: Das Rädertier *Polyarthra* schafft sich mit abspreizbaren Anhängen Distanz zu seinen Feinden.



stand von früher her bewahrte, kehrte sich dann aber in einen Nachteil, weil die Aufenthaltszeit der Düngestoffe nun entsprechend hoch ist. Durch internes Recycling werden die Nährstoffe mehrfach genutzt.

Zwischen 1948 und 1965 wanderte die Burgunderblutalge *Oscillatoria rubescens* ein. Sie gilt als Anzeiger einer schwachen Eutrophie. Zwischen 1950 und 1969 fand

eine runde Verdoppelung der Individuenzahl von Crustaceen (Krebstieren) statt. Seither nahm die Individuendichte weiter zu. 1964 wanderte die Kleinkrebsart *Cyclops vicinus* ein; sie wurde dann nach und nach immer häufiger. Die grösste Zunahme zeigten aber die Algenfiltrierer *Daphnia* und *Bosmina*: 1985 registrierte Meinrad Marti ein Maximum von 1,7 Mio.





Abb. 13: Die Blaualge *Aphanizomenon flos-aquae* war für das Fischsterben vom 8. August 1984 verantwortlich.

Individuen/m<sup>2</sup>, was gegenüber 1949 mit einem Maximum von 145 000 Individuen/m<sup>2</sup> einer Zunahme um mehr als das Elffache entspricht.

Auch nach der Inbetriebnahme der see-internen Sanierungsmassnahmen traten immer wieder Massenvermehrungen von einzelnen Algen auf. Auffällig war die Massenentfaltung von *Staurastrum* im Sommer/Herbst 1988. Ein derart langes Vorherrschen einer Art ist an sich schon sehr selten; ausserdem neigen die Jochalgen dieser Gattung kaum zu Massenvermehrungen. Unstete Entwicklungen mit heftigen Schüben einzelner Algen sind immer als Zeichen eines sich ändernden Ökosystemes zu werten. Je geringer die Nährstoffzufuhr aus dem Einzugsgebiet wird, um so früher sind die Nährstoff-Vorräte aus der Zirkulationsphase aufgezehrt, um

so kleiner werden dann auch die Planktonbiomassen im Sommer und Herbst. Im Moment verharrt die Phytoplanktonbiomasse des Sees noch auf hohem Niveau und zeigt im Jahresverlauf noch eine ausgeprägte Abhängigkeit von klimatischen Faktoren.

Seit 1984 wird der Sempachersee künstlich belüftet. Die internen Sanierungsmassnahmen wurden just zu der Zeit in Betrieb genommen, als sich eine Blaualge, *Aphanizomenon flos-aquae*, in Massen entwickelte (Abb. 13). Irgend ein Parameter muss dann aber für die Blaualge unvorteilhaft geworden sein, denn sie produzierte zahlreiche Dauersporen. Dieses Verhalten lässt sich mit der vermehrten Samenbildung bei geschädigten Bäumen vergleichen. Die Blaualge signalisierte gleichsam ihr Absterben. Der Kollaps trat dann auch sehr plötzlich auf. Innerhalb einer Woche



löste sich die Hälfte des Phytoplanktons (eben diese *Aphanizomenon*) auf. Pro Quadratmeter betrug der Biomasserückgang 23 g Frischgewicht, was auf den ganzen See hochgerechnet 331 Tonnen Biomasse entspricht! Mit der kurzzeitigen Freisetzung dieser Menge organischer Substanzen war der See überfordert. Möglicherweise waren unter den freigesetzten Inhaltsstoffen fischtoxische Substanzen vorhanden (*Aphanizomenon* ist dafür bekannt, dass sie das hochgiftige Saxitoxin produzieren kann), oder es entstanden während des Abbaus des Belastungstoffes giftige Zwischenprodukte. Innerhalb zweier Tage kam es zu einem grossen Fischsterben im Oberflächenwasser des Sees. Obwohl dieses bisher grösste Fischsterben nie ganz aufgeklärt werden konnte, sind die Hinweise, die zur *Aphanizomenon* als «Täterin» führen, äusserst deutlich: Es gingen nicht primär die tiefer lebenden Fischarten zugrunde, sondern auch robuste Karpfenartige, Barsche und Hechte, welche die Oberflächennzone des Sees bewohnen. Genau hier ereignete sich auch der Kollaps der lichtbedürftigen *Aphanizomenon flos-aquae*. Felchen, die lieber das kalte Tiefenwasser bewohnen, wurden vom Fischsterben kaum betroffen. Taumelnde Fische, die eingesammelt und in frisches Wasser gebracht wurden, erholten sich nicht mehr. Es waren auch keine Verätzungen der Kiemen zu beobachten; somit fielen verschiedene andere bekannte Auslöser für Fischsterben (hoher pH-Wert, Sauerstoffmangel oder -übersättigung) ausser Betracht.

Bleibt die Frage, weshalb *Aphanizomenon* zunächst in solchen Massen auftrat und dann wieder verschwand. Hier sind sicher neben klimatischen Zufälligkeiten (Wetter, UV-Einstrahlung) die Nährstoffe Phosphor und Stickstoff im Spiel gewesen. Jede Massenentfaltung setzt zunächst eine entsprechende Potenz zur Massenproduktion in Form hoher Depots an Pflan-

zennährstoffen voraus. Somit kann das Fischsterben letztlich auf die Eutrophierung des Gewässers zurückgeführt werden.

### ■ Ein Jahreszyklus des Planktons im Sempachersee



Die nachfolgende Beschreibung eines Jahreszyklus von Phyto- und Zooplankton des Sempachersees soll das Beziehungsgefüge Plankton exemplarisch darstellen, ohne dabei allerdings allzu stark ins Detail zu gehen.

Im Jahresverlauf wechseln die Bedingungen für das Wachstum des Planktons: Im Winter verhindern geringe Lichtintensitäten eine gute Nutzung der relativ hohen Nährstoffreserven, welche durch die Winterzirkulation des Wassers aus der Seetiefe in die produktive Zone gebracht werden. Im März/April, mit der Erwärmung der oberen Schichten, beginnt das Phytoplankton intensiv zu wachsen. Schnellwüchsige Zwergplankter beherrschen das Planktonbild. Diese meist eigenbeweglichen Formen (Schlundflagellaten, Goldalgen) sind imstande, eine Verdoppelung der Biomasse in weniger als einem Tag zu erreichen. Da sie zunächst geringe Verluste erleiden, summiert sich die Biomasse zu einem ersten Maximum, das unter einem m<sup>2</sup> Seefläche gegen 100 g Algenfrischgewicht erreichen kann.

Diese Organismen bilden zugleich die Nahrungsgrundlage für die nun folgende Zooplanktonentwicklung. Rädertiere und Kleinkrebse finden im Frühjahr einen «gedeckten Tisch» vor. Durch die allmählich steigende Wassertemperatur wird das Wachstum angeregt, und die Populationen nehmen progressiv zu. Innerhalb von einigen Wochen zieht die Zooplanktonbiomasse mit der Algenbiomasse gleich. Mit der starken Zunahme der Zooplankter setzt ein unaufhaltsamer Niedergang der



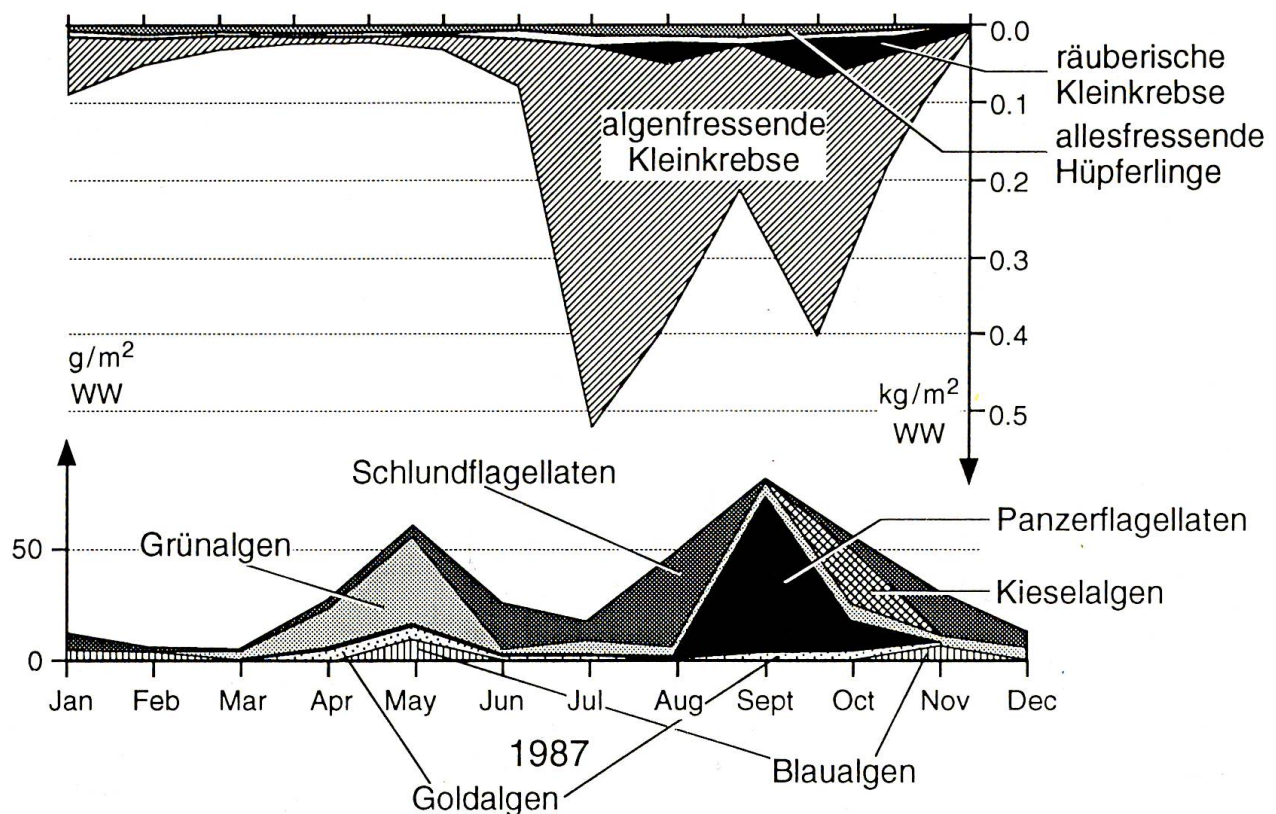


Abb. 14: Jahresgang der wichtigsten Planktongruppen im Sempachersee 1987 (Phytoplankton von unten nach oben, Zooplankton von oben nach unten skaliert). Zooplankton in kg Frischgewicht pro  $m^2$  (0 bis 87 m Tiefe) und Algenbiomasse in g Frischgewicht pro  $m^2$  (0 bis 15 m Tiefe).

Algenbiomasse ein. Im See kommt es deshalb (meist im Mai/Juni) zu einem ausgeprägten «Klarwasserstadium»: Das Ausfiltrieren der sichtmindernden Planktonalgen lässt die Sichttiefe plötzlich auf hohe Werte ansteigen, wie man sie nicht einmal im planktonarmen Winter beobachten kann. Doch der Schein trügt; die Wasserqualität ist gerade zu dieser Zeit infolge der gelösten Abfallprodukte und der hohen Nährstoffgehalte nicht besser geworden. Das Phytoplankton kann sich erst wieder erholen, wenn die Zooplankter infolge Nahrungsmangel in geringeren Dichten auftreten.

Dass kleinste Organismen länger in Schwebe bleiben als grössere und dabei auch bessere Wachstumschancen haben, wurde bereits weiter vorne erwähnt. Ohne weitere Einschränkung müsste also das

Phytoplankton jederzeit durch diese Zwergplankter dominiert werden. Im Frühjahr trifft dies auch zu, doch zeichnet sich dank dem ungebremsten Frass durch die Zooplankter im Frühsommer eine Umschichtung ab: Die vom Zooplankton verschmähten grösseren, fädigen oder sperrigen Algen werden gegenüber den vermehrt gefressenen Zwergalgen wieder konkurrenzfähig. Zu ihnen gehören viele grössere Kieselalgen, Grünalgen, Jochalgen und fädige Blaualgen. Innerhalb von ein bis zwei Wochen erholt sich die Algenbiomasse auf ähnliche Werte wie vor dem Klarwasserstadium. Eine Wiederholung des Räuber-Beute-Kollapses ist in übermässig gedüngten Seen möglich, aber durch die einseitige, für Zooplankton unvorteilhafte Algenzusammensetzung (Dominanz der fädigen und sperrigen Formen)



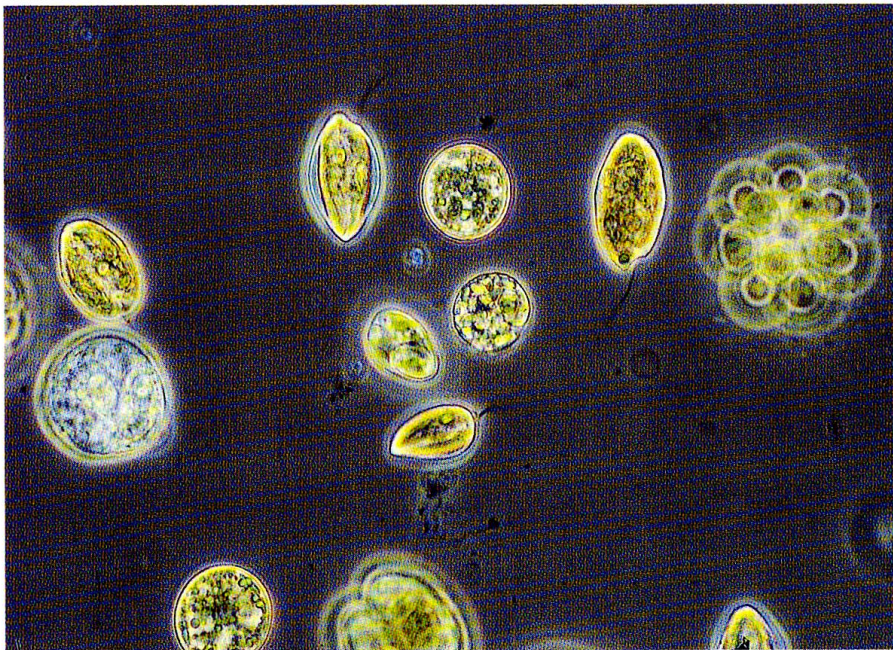


Abb. 15: Winter-/Frühlingsplankton mit dominierenden Zwergplanktern (Schlundflagellaten und zentrische Kieselalgen).

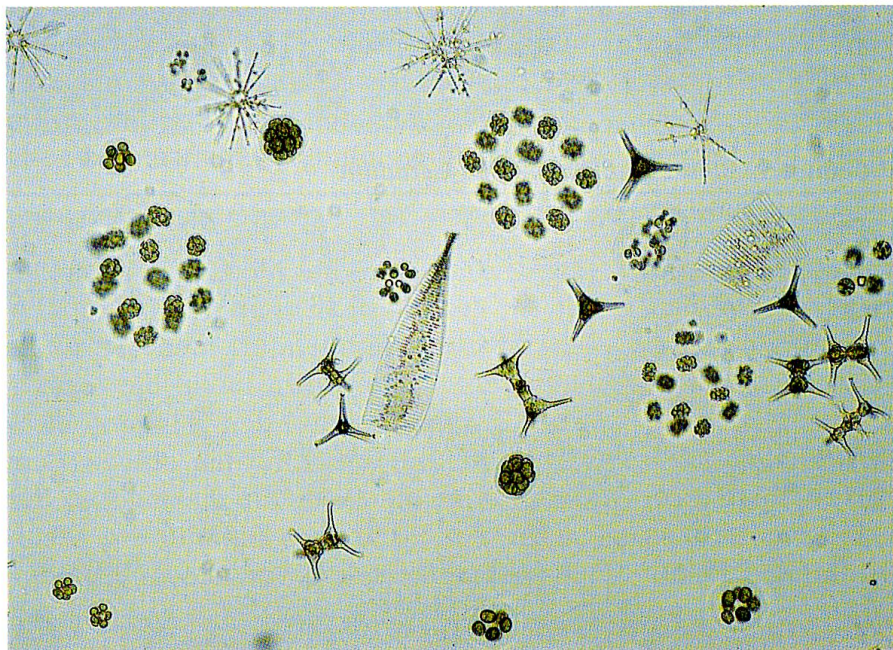


Abb. 16: Sommerplankton mit zahlreichen Grünalgenarten und Kieselalgenkolonien.

unwahrscheinlich. Eine weitere Verschiebung innerhalb der Algengesellschaft wird nun durch physikalisch-chemische Milieuänderungen ausgelöst. Nach und nach vermindert sich der Nährstoffgehalt der Oberflächenschicht durch den Nährstoffentzug über sedimentierende Partikel. Spezialisten, welche auch geringste Spuren von Nährstoffen nutzen können, kommen nun

anstelle der verschwenderischen Algen auf. Darunter befinden sich auch Blaualgen, welche elementaren Stickstoff in eine für die Phytoplankter nutzbare Form umwandeln und damit die drohende Stickstoffknappung umgehen.

• Mit der beginnenden nächtlichen Abkühlung des Wasserkörpers im Spätsommer werden die vertikalen Zirkulationsströ-



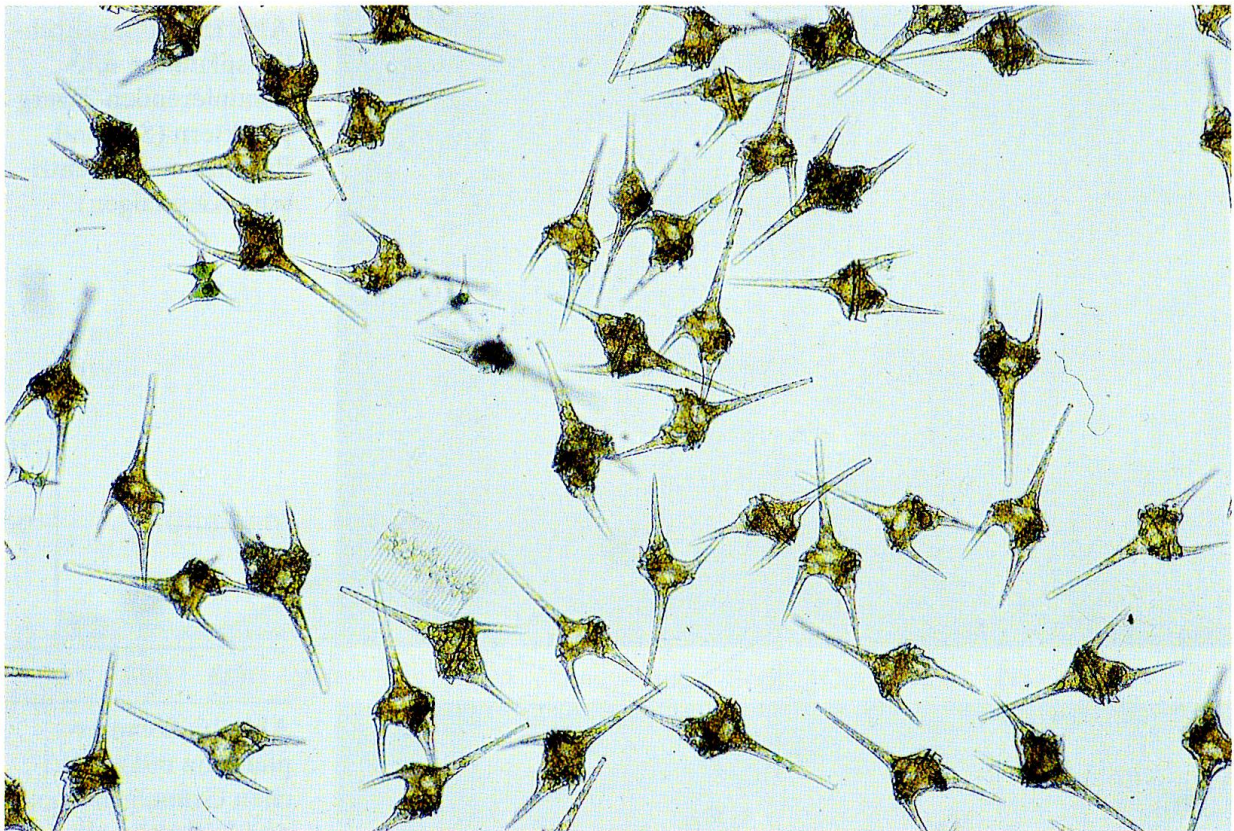


Abb. 17: Herbstplankton mit dominierenden Panzerflagellaten *Ceratium*.

mungen zunehmend wichtiger. Die Gefahr, in die lichtlose Tiefe verfrachtet zu werden, wächst vor allem für die passiv schwebenden Plankter. Noch ist es vielen eigenbeweglichen Arten möglich, den Weg an die Oberfläche zurück zu schwimmen (Beispiel: Panzerflagellaten). Im Spätherbst und Winter geht die Planktondichte dann aber allgemein zurück. Die für das Plank-

ton deutlich verschlechterte Situation bezüglich der physikalischen Wirkungsfaktoren (Licht, Temperatur und vertikale Durchmischung) wird durch die einsetzende Zirkulation und den Nährstoffnachschub aus tieferen Schichten aufgewogen. Damit wird die Basis für die bald wieder einsetzende Frühjahrs-Entfaltung geschaffen, womit der Zyklus von neuem beginnt.