

PHYTOPLANKTON ALS BIOINDIKATOR FÜR DEN TROPHISCHEN ZUSTAND VON SEEN

dargestellt an Phytoplanktionstudien zweier oberbayerischer Seen.
Christian Steinberg

Zusammenfassung:

In stehenden aquatischen Ökosystemen übernimmt das Phytoplankton den überwiegenden Teil der Primärproduktion. Die einzelnen trophischen Niveaus von Seen prägen in nahezu seespezifischer Weise unterschiedliche ökologische Nischen primär für die Phytoplankter aus, die diese je nach ihrer Valenz mehr oder weniger gut ausfüllen können. Durch die zeitliche Variabilität der ökologischen Nischen, die eine jahreszyklische Sukzession der planktischen Algen bewirkt, werden längerfristige Beobachtungen erforderlich.

Die qualitative und quantitative Phytoplanktonanalyse – die an bayerischen Seen nur spärlich durchgeführt wurden – ermöglicht somit Rückschlüsse auf den trophischen Zustand des jeweiligen Gewässers. Am Beispiel des Ammersees, über den eine zweijährige Untersuchung vorliegt, und des Walchensees, an dem Untersuchungen seit 1975 laufen, wird der Bioindikationswert des Phytoplanktons dargestellt.

Das Phytoplankton des Ammersees wird von der Burgunderblut-Alge, Oscillatoria rubescens, dominiert, die keine deutliche Periodizität aufweist und sukzessions- und klimatisch bedingte ökologische Nischen sehr schnell und mit großen Biomassen besetzt. Seit September 1976 ist die Biomasse dieser Alge pro m^2 (0 – 30 m) nicht mehr unter 15 g gesunken. Die sommerlichen Massenvorkommen des streng zyklisch auftretenden Ceratium hirundinella, das Biomassen von 12 mg/l erreicht, zeigen, daß der Nährstoffvorrat durch Nachlieferung aus dem Umland auch während der Stagnationszeit sehr hoch ist. Beide Algen weisen deutlich auf eutrophe Verhältnisse im Ammersee, ebenso wie die dichten frühjährlichen Diatomeenblüten (1976 max. rd. $50 g/m^2$, 1977 max. rd. $100 g/m^2$), die in beiden Jahren aus verschiedenen Arten bestanden. Zeigte 1976 die Populationsdichte der euryöken Cyclotella glomerata mit 3×10^7 Zellen pro Liter Eutrophie an, so herrschte 1977 die deutlich meso- bis eutröphente Melosira islandica ssp. helvetica vor.

Im Walchensee spielen diverse Diatomeen die wichtigste Rolle. Es sind dies meso- bis eutröphente Arten (Tabellaria fenestrata, Fragilaria crotonensis, Stephanodiscus hantzschii, St. alpinus und Melosira islandica ssp. helvetica), wobei die quantitative Entfaltung dieser Algen (noch) für Mesotrophie spricht. Das Artenspektrum ist in allen Untersuchungsjahren verschieden. Weitgehend verdrängt scheint die bezüglich P (und Si) anspruchslosere Asterionella formosa (var. acaroides) zu sein. 1978 konnte im Sommer erstmalig eine Blüte von Ceratium hirundinella und Volvox aureus

festgestellt werden, woraus eine steigende Tendenz zur Eutrophie im Walchensee abgelesen wird. Diese Tendenz wird bestätigt durch eine Diatomeenblüte im Frühjahr 1979, die alle bisherigen Biomasse - Maxima übersteigt.

Anmerkung:

Die vorliegende Ausarbeitung wurde in verkürzter Form als Vortrag am 26. April 1979 gehalten und umfaßte damals Planktondaten des Walchensees bis März 1979. Von diesem Zeitpunkt an hat sich das Phytoplanktonbild in diesem See geradezu dramatisch verschlechtert. Es ist versucht worden, die wichtigsten Tendenzen dieser Entwicklung und ihre Aussage für den trophischen Zustand des Walchensees in dieser Ausarbeitung festzuhalten.

Einleitung

In keinem anderen Ökosystem lassen sich die Wechselbeziehungen zwischen Umweltfaktoren und Organismen besser und eindrucksvoller verfolgen als in einem aquatischen, speziell einem stehenden Oberflächengewässer. Diese Erkenntnis ist so alt wie die Wissenschaft von den Binnengewässern, die Limnologie (FORBES 1887). In den stehenden Oberflächengewässern übernimmt das Phytoplankton den überwiegenden Teil der Primärproduktion, insbesondere in Seen, die ein Verhältnis von Litoral zu Freiwasserzone (Pelagial) haben, das weit zum Pelagial verschoben ist. Die einzelnen trophischen Niveaus (Höhe des Nährstoffgehaltes und Größe der Primärproduktion) von Seen prägen in nahezu seespezifischer Weise unterschiedliche ökologische Nischen primär für die Phytoplankter aus, in zweiter Linie erst für die sich in der Nahrungskette anschließenden Konsumenten der verschiedenen Ebenen. Diese Nischen werden von den planktischen Algen je nach ihrer Valenz ausgefüllt, so daß die qualitative und quantitative Planktonanalyse deutliche Rückschlüsse auf den trophischen Zustand des jeweiligen Gewässers erlaubt.

Die ökologischen Nischen unterliegen in einem See einer zeitlichen Varianz, die eine jahreszyklische Sukzession vieler Phytoplankter verursacht. Aus diesem Grund sind längerfristige Untersuchungen erforderlich, wenn eindeutige und detaillierte Aussagen zum Trophiezustand der betreffenden Seen angestrebt werden.

Sieht man die Literatur über limnoplanktische Bestandsaufnahmen bayerischer Gewässer durch, dann fällt auf, daß derartige Arbeiten nur aus der Pionierzeit der Limnologie und vereinzelt erst wieder aus der Gegenwart zu finden sind. Zu nennen sind die Phytoplanktonstudien über den Chiemsee von KAISER & SCHEFFELT (1925) und über den Walchen- und Kochelsee von KÜHL (1928). Da die Auswirkungen von erhöhten Siedlungstätigkeiten an den Seeufern und in den weiteren Einzugsgebieten sowie von gravierenden Umstellungen der menschlichen Lebens- und Landnutzungsgewohnheiten, also die Probleme der Eutrophierung, nicht vor bayerischen Gewässern halt gemacht haben ¹⁾, werden die genannten Phytoplanktonuntersuchungen gern als Referenzen für gegenwärtige Studien verwendet. Und ein weiterer Grund spricht für den Wert von Phytoplanktonanalysen: Bis vor rund 20 Jahren war die chemische Analytik nicht in der Lage, den produktionssteuernden Nährstoff, nämlich

1) Auf diesen Tatbestand hat GESSNER schon 1950 (!) aufmerksam gemacht.

Phosphor und seine Verbindungen hinreichend genau zu bestimmen, so daß Aussagen über den Stoffhaushalt der Gewässer vor der "Rasanten Eutrophierung" (OHLE 1953) seit Beginn der 50er Jahre nur vermittelt über das qualitative und quantitative Phytoplankton-Vorkommen gemacht werden können.

Am Beispiel des Ammersees, über den eine ca. zweijährige Untersuchung von November 1975 bis September 1977 vorliegt, und des Walchensees, an dem mit einer kurzen Unterbrechung die Untersuchungen seit November 1975 laufen, wird der Bioindikationswert des Phytoplanktons dargestellt.

Untersuchungsobjekte und -methoden

Mit 47 km² Seeoberfläche ist der Ammersee der dritt- und der Walchensee mit 16,4 km² der viert-größte See Bayerns. Beide Seen sind kalkreich: das Ammerseewasser enthält im Mittel 3,80 mval/l Hydrogenkarbonat und das des Walchensees 2,60 mval/l. Die theoretische Wassererneuerungszeit liegt für beide Seen bei ca. 2 Jahren.

Seit November 1975 wurden die Seen in einem anfangs dreiwöchigen, später in einem 14-tägigen Rhythmus untersucht. Da das Seebecken des Ammersees weitgehend ungliedert ist, sieht man von der Herrschinger Bucht im Osten ab, genügt eine Probenahmestelle über der tiefsten Stelle. Das stärker gegliederte Becken des Walchensees wurde über drei Jahre an drei Stellen beprobt, jedoch werden sich die Phytoplanktondarstellung im folgenden auf die Stelle über dem Kirchelgrund, der mit 192 m tiefsten Stelle des Sees, beschränken. Mit Beginn der Primärproduktionsmessungen wurden folgende Tiefenprofile der Phytoplanktonverteilung aufgenommen: 0, 1, 2, 4, 6, 8, 10, 13, 16, 20, 25, 30, 40 und 50 m. Der Ammersee wurde unterhalb von 50 m in 10m-Intervallen und der Walchensee in 25 m-Intervallen beprobt. Vor Beginn der Produktionsmessung war der Tiefenraaster gröber. Die Algenbiomasse wurde über Algenzählungen im umgekehrten Mikroskop ermittelt, wobei von den wichtigsten Algenarten 100 Zellen, ansonsten 10 Zählfelder gezählt wurden. Die Rechenvolumina wurden von den häufigsten Arten bestimmt; das spezifische Gewicht der Algen gleich 1,000 gesetzt. Die Algenbiomasse-Angaben beziehen sich bei den Ammersee-Untersuchungen auf eine Wassersäule unter einem Quadratmeter bis in 30 m Tiefe, beim Walchensee max. bis 50 m Tiefe. Als Kriterium für die Tiefe, bis zu der integriert wurde, war das Vorkommen von *Gymnodinium helveticum*. Integriert wurden die einzelnen in Säulendiagrammen dargestellten Tiefenprofile, wobei stets mit den Mittelwerten zweier benachbarter Meßwerte gerechnet wurde.

1 PHYTOPLANKTON DES AMMERSEES ²⁾

Charakteristische Arten

Unter den charakteristischen Arten werden die Arten zusammengefaßt, die so häufig vorkamen, daß von ihnen Zeit-Tiefen-Verteilungsbilder in Isoplethendarstellung angefertigt werden konnten, und zwar bislang für den Zeitraum von September 1975 bis Dezember 1976.

Oscillatoria rubescens (Abb. 1)

Die Burgunderblut-Alge kam mit einer Ausnahme während des gesamten Untersuchungszeitraumes vor. Von Februar bis Mai 1976 verdichtet sich die Population dieser Alge auf über 400 Trichomstücke/ml. Das Maximum befand sich im Mai in rd. 6 m Tiefe, charakteristisch für diese oligostenotherme Schwachlichtform. Das Hochwasser in der Ammer, das in der Monatswende von Mai auf Juni durch Schmelzwässer und größere Niederschläge hervorgerufen wurde und große Mengen von Schwebstoffen in den See transportierte, vernichtet infolge Kopräzipitation nahezu quantitativ die Phytoplankton-Populationen und damit auch die der *Oscillatoria rubescens*. Im Juni und besonders deutlich im Juli bilden sich neue Populationen im Metalimnion heran, die ihr absolutes Maximum Mitte September bis Mitte Oktober in rd. 8 m Tiefe erreichen. Eine weitere Population wurde im September unter der Oberfläche gefunden, und zwar bildeten die Algen freischwimmende, schneeflockenartige Bündel von schmutzig-roter Farbe, die mit dem bloßen Auge gut wahrgenommen werden konnten. Bei diesem Populationsmaximum unter der Oberfläche hat es sich wahrscheinlich um größtenteils absterbende Trichome gehandelt, wie laufende Populations-Studien dieser Alge an kleinen polytrophen Seen vermuten lassen.

Von Oktober 1976 geht die Dichte dieser Alge zurück, erreicht jedoch nicht mehr die geringen Werte des Vorjahres: Die Biomasse pro m² ist nicht mehr unter 15 g gesunken. Auffallend an der Verbreitung von *Oscillatoria rubescens* war, daß häufig in tieferen, lichtlosen Wasserschichten intakte Trichome gefunden wurden (April, September bis Dezember 1976), so daß angenommen werden kann, daß sich *Oscillatoria rubescens* bezüglich Kohlenstoff nicht nur autotroph, sondern auch heterotroph ernähren kann. Diese Beobachtung gilt für sehr viele Planktonalgen ebenfalls.

Dem Vorkommen dieser Alge fehlt eine deutliche jahreszyklische Periodizität, sie ist – mit wenigen Ausnahmen – die stets dominierende Alge. *Oscillatoria rubescens* ist

2) Die Darlegung und Diskussion des Ammersee-Phytoplanktons folgt im wesentlichen früheren Veröffentlichungen (STEINBERG 1978 a.u.b., 1979)

zeitlich die erste Alge des akinetischen Phytoplanktons, die die nach dem genannten Ammerseehochwasser freigewordene ökologische Nische zu besetzen beginnt. *Oscillatoria rubescens* ist, wenn sie in größeren Mengen auftritt, oder sogar zur vorherrschender Alge wird, ein Indikator für Eutrophie.

Aphanizomenon gracile (Abb. 2)

Diese ebenfalls fädige Cyanophyte scheint mit *Oscillatoria rubescens* um die ökologische Nische zu konkurrieren, wird aber von der Letztgenannten verdrängt; denn ihr absolutes Maximum liegt Mitte Oktober bis Anfang November in 10 m Tiefe, also sowohl zeitlich als auch räumlich von dem der *Oscillatoria* verschoben. Im November, zu einem Zeitpunkt, als die Stickstoffvorräte des Ammersee-Wassers derart verarmt waren, daß dieser Nährstoff möglicherweise produktionssteuernd wurde, besitzt ein Großteil der *Aphanizomenon*-trichome Heterocysten. Diese Alge ist dann in der Lage, im Wasser gelösten Stickstoff zu fixieren und die N-Mangelsituation zu überbrücken.

Das Vorkommen auch dieser Alge in lichtlosen Zonen weist auf ihre Fähigkeit zur heterotrophen Lebensweise hin.

Der Indikationswert ist ähnlich wie der von *Oscillatoria rubescens*.

Cryptomonas ovata und Cr. ssp. (Abb. 3)

Cryptomonas ovata hat eiförmige, vorn schräg abgestutzte Zellen mit zwei Geißeln. Die Alge besitzt einen Schlund, der sie jedoch nicht zur Aufnahme von fester Nahrung befähigt. Zu dieser Art wurden weitere, seltener vorkommende Arten hinzugezählt. Eine Art ähnelt dem Habitus nach der von HUBER - PESTALOZZI (1968) angegebenen "erosa", doch ist diese Art nach neuesten Arbeiten äußerst selten.

Cryptomonas-Arten kommen ganzjährig vor, mit z.T. allerdings geringen Dichten. Das erste Maximum trat im Mai unterhalb der Oberfläche auf (550 Zellen im ml). Die Algen folgen also unmittelbar auf die Diatomeen-Massenentwicklung des Frühjahrs (siehe unten). Das Hochwasser der Ammer Ende Mai/Anfang Juni verringert die Populationsdichte dieser Alge kurzfristig. Doch Mitte Juni besetzt dieser kinetische Phytoplankter die frei gewordene ökologische Nische schneller als andere Algen - abgesehen von der verwandten *Rhodomonas*-Art, die nachfolgend besprochen wird. *Cryptomonas* erreicht im Juni Dichten von über 700 Zellen im ml. Auffallend

an der Verbreitung der *Cryptomonas*-Arten ist, daß ein weiterer, kleinerer Schwerpunkt nach dem Zusammenbruch einer *Dinobryon sertularia*-Blüte (s.u.) zu finden ist. Ein ähnliches Verhalten von *Cryptomonas ovata*, nämlich verstärktes Auftreten nach Wasserblüten, wird von verschiedenen holsteinischen Seen beschrieben (MÜLLER 1977), so daß zwei Charakteristika aus der Verbreitung dieser Alge abgelesen werden können:

1. Die Fähigkeit, frei gewordene Nischen schnell zu besetzen. Dies wird wahrscheinlich dadurch möglich, daß die Ansprüche an Nährstoffe nicht besonders hoch sind.
2. Mögliche Stoffwechselbeziehung zu den bei zusammenbrechenden Blüten anderer Algen freigesetzten organischen Substanzen. Dieser Tatbestand spricht für eine potentielle Heterotrophie der *Cryptomonas*-Arten.

Da *Cryptomonas ovata* in den verschiedensten Seetypen gefunden wurde, besitzt diese Art indikatorischen Wert nur über ihr quantitatives Vorkommen.

Rhodomonas lacustris (Abb. 4) (JAVORNICKY 1976)

Rhodomonas lacustris unterscheidet sich von der vorgenannten Art durch zumeist kleinere Zellen, eine rötliche Farbe und ein zugespitztes Zellende. Diese *Cryptomonade* war ebenfalls ganzjährig im Plankton vorhanden, und zwar mit der Varietät *nanoplanktica*. Zahlenmäßig ist diese Art zwar der wichtigste *Cryptomonade*, doch wegen ihrer Kleinheit tritt sie biomassemäßig hinter *Cryptomonas ovata* zurück. Anders als *Cryptomonas* trat *Rhodomonas lacustris* im Frühjahr und im Mai zeitgleich mit den jeweiligen *Diatomeen*-Blüten auf, so daß hier wiederum eine intensive Stoffwechselbeziehung zu den im Wachstum befindlichen Populationen anderer Algen vermutet werden kann. Die starken Populationsschwankungen dieser Alge im April und Mai 1976 weisen daraufhin, daß sich in seiner Algenblüte verschiedene Populationen einer Art kurzfristig ablösen und so den Bestand einer einheitlichen, längerlebigen Population vortäuschen. Diese Anmerkung hat prinzipiell für alle dargestellten Algen Gültigkeit.

Das genannte Ammer-Hochwasser reduziert für kurze Zeit den Bestand von *Rhodomonas lacustris* auf Zelldichten von 100 bis 250 /ml. Doch schon zwei Wochen später bildet sich eine sehr dichte Population aus, die parallel zu der von *Cryptomonas* die freie ökologische Nische besetzt. Im August tritt dann ein viertes, allerdings nur kleines Maximum nach der *Dinobryon sertularia*-Blüte und zeitgleich mit dem August-Maximum von *Cryptomonas* auf. Danach sind die Zelldichten gering. Diese Alge hat einen ähnlichen Indikationswert wie die *Cryptomonas*-Arten.

Katablepharis ovalis

Der dritte wichtige Cryptomonade des Ammersees ist ein kleiner, farbloser Falgellat, von dem es in der gängigen (allerdings älteren) Bestimmungsliteratur heißt, er sei noch nicht im Plankton von Seen beschrieben worden: Katablepharis ovalis. Neuere Arbeiten zeigen, daß diese Alge weiter verbreitet ist, als bisher angenommen wurde (MÜLLER 1977).

Katablepharis war während des gesamten Zeitraumes vorhanden, und zwar zur Sommerstagnation in den Schichten unterhalb des Epilimnions bis hin zum Sediment. In den lichtarmen Monaten wurden einzelne Monaden auch in oberflächennahen Wasserschichten gefunden. Diese Alge ernährt sich heterotroph. Da diese Alge in allen Trophiestufen in geringen Dichten vorkommt, ohne besondere Schwerpunkte zu zeigen, scheint dieser Cryptomonade keinen Indikationswert zu besitzen.

Ceratium hirundinella (Abb. 5)

Mit max. 400, durchschnittlich 200 bis 300 µm Zellenlänge gehört diese Alge zu den größten einzelligen planktischen Algen. Als warmstenotherme Art, erscheint sie im Ammersee erst im Juni, und zwar in 5 bis 6 m Tiefe. In der zweiten Augusthälfte war das Populationsmaximum erreicht. Im Milliliter befanden sich rund 200 Ceratium-Zellen. Der Schwerpunkt der Ceratium-Blüte lag zwischen 1,5 und 6 m Tiefe, mied also die Wasserschichten unmittelbar unterhalb der Seeoberfläche. Mit dem Aufkommen der Oscillatoria rubescens-Blüte im September bricht die Ceratium-Population schnell zusammen: Ceratium reagiert anscheinend empfindlich auf Cyanophyten-Toxine. Im Oktober, nachdem das Maximum der Oscillatoria-Blüte vorüber ist, tritt kurzfristig eine zweite kleinere Ceratium-Population auf.

Ceratium hirundinella ist zwar sowohl in meso- als auch in eutrophen Gewässern verbreitet, doch zeigt die recht dichte Blüte im August eindeutig eutrophe Verhältnisse an.

Gymnodinium helveticum var. apiculatum (Abb. 6)

Gymnodinium helveticum ist eine kälteliebende Form, die ihr Entwicklungsmaximum im März und April hat. Das April-Maximum fällt mit der Diatomeenblüte zusammen, die zu dieser Zeit aus kleinen zentrischen Formen bestand; denn Gymnodinium lebt heterotroph, vornehmlich durch Aufnahme intakter Zellen, beispielsweise von kleinen Diatomeen. Ende April wandert diese Alge in metalimnische und hypolimnische

Schichten, also in kälteres und lichtärmeres Milieu. Erst im November ist wieder eine Aufwärtsbewegung zu beobachten.

Über den Indikatorwert dieser Alge ist nichts bekannt. Doch dürfte diese Art als Indikator weitgehend wertlos sein, da sie in Seen der verschiedenen Trophiegrade weit verbreitet ist.

Cyclotella glomerata (Abb. 7)

Diese nanoplanktische Diatomee besitzt sehr kleine, scheibenförmige Zellen, die durch Gallerthüllen häufig zu Kolonien vereinigt sind. Zusammen mit den beiden folgenden Diatomeen bildet *Cyclotella glomerata* den Produktionspeak im Frühjahr. Der erste Populationsschwerpunkt reicht von Anfang Februar bis Mitte März. Im April entwickelt sich eine zweite, gewaltige *Cyclotella*-Population. Die Zelldichten betragen bis zu 31.000 Zellen pro Milliliter. Anfang bis Mitte Mai bricht die *Cyclotella*-Blüte zusammen, also noch vor dem schwebstoffführenden Hochwasser der Ammer. Der Grund für den Zusammenbruch liegt in der Verknappung des für die Diatomeen essentiellen Nährstoffes: der gelösten Kieselsäure. Wie rasch die Populationsexplosionen der Diatomeen diesen Nährstoff aufbraucht, geht aus der nachfolgenden Tabelle hervor.

VERARMUNG VON GELÖSTER KIESELSÄURE (mg/l) IN DER PRODUKTIONSZONE

	06.04.1976	22.04.1976	03.05.1976	18.05.1976
0 m	1,29	0,32	0,14	0,17
5 m	1,29	0,32	0,14	0,29
10 m	1,28	0,98	0,14	0,39
15 m	1,28	1,03	0,38	0,64
20 m	1,27	1,24	0,46	0,98

Der Phosphorgehalt liegt zwischen 30 und 40 µg/l.

Am 03.05.1976 sind derartig geringe SiO₂ Konzentrationen erreicht, daß sich *Cyclotella glomerata* nicht mehr entwickeln kann.

Cyclotella glomerata scheint in den Alpen- und Voralpenseen weit verbreitet zu sein. So wurde im gleichen Frühjahr im mesotrophen Walchensee ebenfalls ein Produktionsmaximum dieser Alge gefunden, das jedoch nur 1/10 von dem im Ammersee erreichte. Es ist naheliegend, das Vorkommen dieser Diatomee als Relikt des früheren mesotrophen Zustandes zu werten, doch spricht das Ausmaß des Frühjahrsmaximums im Ammersee und die weitere Entwicklung dieser Alge im Walchensee (s.u.) dafür, daß sich diese Alge auch in phosphatreicheren Gewässern entwickeln kann. Die hohe Zelldichte weist eindeutig auf Eutrophie.

Stephanodiscus hantzschii var. pusillus (Abb. 8)

Nach GERLOFF (pers. Mitt) ist es schwerlich möglich, mit dem Lichtmikroskop Varietäten von *St. hantzschii* zu bestimmen, wie es KALBE (1973) angibt. Fraglich ist, ob überhaupt verschiedene Vertreter der Gattung (*St. astraea* und *hantzschii*) ohne Raster-Elektronenmikroskop eindeutig identifiziert werden können. Wenn trotzdem an dieser Namensgebung festgehalten wird, dann deshalb, um zumindest die Individuengrößen zu kennzeichnen, die möglicherweise nur zu unterschiedlichen Rassen einer Art gehören.

Diese zentrische Kieselalge maß im Mittel 7 bis 8 μm im Schalendurchmesser. Sie bildete vereinzelt Ketten, wurde im Plankton des Ammersees jedoch überwiegend als einzelne Zellen vorgefunden. Diese Alge hat parallel zu *Cyclotella glomerata* ihr Entwicklungsmaximum im April mit maximal 9000 Zellen im Milliliter. Auch scheinen die Ansprüche bezüglich des SiO_2 -Bedarfs ähnlich zu sein, denn die *Stephanodiscus*-Population bricht gleichzeitig mit der von *Cyclotella glomerata* zusammen.

Stephanodiscus hantzschii gilt als Charakterform eutropher Gewässer, zumal dann, wenn er ausgeprägte Blüten bildet.

Asterionella formosa (Abb. 9)

Die langgestreckten Zellen von *Asterionella formosa* bilden meist sternförmige Kolonien mit 3, 4, 6 oder 8 Zellen. Seltener bildet diese Diatomee zickzackförmige Ketten. Im Ammersee wurde neben der Art auch die Varietät *acaroides* festgestellt, die gebogene ("rachitische"), schwach verkieselte Zellen besitzt. Diese Varietät ist eine SiO_2 -Mangelform (KÖRNER 1970).

Asterionella formosa ist während des untersuchten Zeitraums ein fester Bestandteil der Algengesellschaft. Es zeichnen sich drei Populationsschwerpunkte ab:

1. April und Mai.
2. Nach dem Ammer-Hochwasser im Frühsommer.
3. Im Herbst und Winter.

Asterionella formosa erreicht im Mai 1976 in 5 - 8 m Tiefe Zelldichten von 1500 /ml. Sie ist damit die dritte wichtige Alge im Produktionsmaximum des Frühjahrs. Interessanterweise liegt aber der Entwicklungshöhepunkt zeitlich hinter denen von *Cyclotella glomerata* und *Stephanodiscus hantzschii*. Hierfür bieten sich drei Erklärungsmöglichkeiten an: erstens kann der Zusammenbruch der *Cyclotella/Stephanodiscus*-Population und die anschließende teilweise Remineralisation wieder genügend SiO_2 bereitgestellt haben, daß sich die *Asterionella*-Population weiter entwickeln konnte.

Zum anderen ist von *Asterionella formosa* bekannt, daß sie niedrige Konzentrationen von Nährstoffen ausnutzen kann. Zu diesem Zeitpunkt traten nennenswerte Mengen von der Varietät *acaroides* auf. Als dritte Möglichkeit ist die Exkretion von Hemmstoffen denkbar, mit denen sich die Algen gegenseitig in ihrer Entwicklung beeinflussen. Wahrscheinlich treffen mehrere Erklärungen zu.

Im Juni, nachdem das Ammer-Hochwasser den Kieselsäure-Vorrat im See wieder auf 0,7 bis 1,0 mg/l, an der Oberfläche sogar auf 1,3 mg/l auffüllte, bildet sich ein zweites Maximum von *Asterionella formosa* aus, das wiederum einen beachtlichen Anteil der Mangelform *acaroides* enthält.

Asterionella formosa ist eine der häufigsten und am weitesten verbreiteten Algen. Ihre Lebensansprüche gelten als eurytherm und eurytroph. Daher ist ihr Indikationswert gering einzustufen; allenfalls zeigt die quantitative Entfaltung die verschiedenen trophischen Ebenen an.

Fragilaria crotonensis (Abb. 10)

Diese Kieselalge bildet kammartige Bänder, wobei sich nur die in der Mitte verbreiterten Zellpartien berühren.

Fragilaria crotonensis wird als eurytherme Art beschrieben, tritt im Ammersee aber als warm-stenotherme Rasse auf, die von Juni bis zum Oktober mit hohen Zelldichten verbreitet ist. Ein Populationsschwerpunkt zeichnet sich im September mit über 1000 Zellen /ml in 2 m Tiefe ab. Auffallend an den Vorkommen dieser Alge sind die sehr geringen Zelldichten im Juli und Anfang August in rd. 5 m Tiefe. Diese Lücke deckt sich sehr genau mit dem Verbreitungsmaximum von Dinobryon-Arten (s.u.) und von *Asterionella formosa*. Hierfür bieten sich, ähnlich wie bei *Asterionella* besprochen, zwei Erklärungsmöglichkeiten an: Erstens könnten die verschiedenen Chromophyten um Nährstoffe konkurrieren, die in Minimalkonzentrationen vorliegen. Denkbar wären Kieselsäure, P-Verbindungen und Vitamine. *Fragilaria* würde demnach im Juli und August einer zu dieser Zeit vorkommenden *Melosira*-Art und im September der nachfolgenden *Asterionella* unterlegen sein. Zweitens könnten die verschiedenen Chromophyten sich gegenseitig über wachstumsfördernde und wachstumshemmende Substanzen beeinflussen, die bei diesem Algenstamm, wie auch bei vielen anderen Algen bekannt sind.

Fragilaria crotonensis ist als Charakterform nährstoffreicherer Gewässer anzusehen, wenn sie in Massen vorkommt.

Diatoma elongatum (Abb. 11)

Diatoma elongatum besitzt lang gestreckte Zellen, deren Seitenwände parallel verlaufen. Diese Diatomee bildet zickzackförmige Bänder oder – seltener – sternförmige Kolonien.

Diatoma elongatum tritt im Ammersee als obligostenotherme Schwachlichtform auf, also mit einem Maximum im November und Dezember. Aus anderen Seen wird sie als lichtliebende Form beschrieben, die erst im Frühjahr Blüten bildet (GILLER 1977). Diese Alge erreicht Zelldichten von 400 /ml. Die Population sedimentiert schnell, da der See keine Stratifikation mehr aufweist.

Das Auftreten von *Diatoma elongatum* in den genannten Dichten kann als Hinweis auf eutrophierte Verhältnisse gewertet werden.

Dinobryon sertularia (Abb. 12) und D. divergens (Abb. 13)

Die mit zwei Geißeln ausgestatteten Zellen dieser Chrysophyceen bauen sich art-spezifische vasenförmige Cellulose-Gehäuse, die zu 'Bäumchen' auswachsen. Beide Dinobryon-Arten – daneben kam in wenigen Exemplaren noch *D. sociale* vor – sind im Ammersee mit wärmeliebenden Rassen vertreten, die recht hohe Nährstoffgehalte im Wasser tolerieren, bzw. benötigen. In klassischen Phytoplankton-Studien (RODHE 1948) werden die Dinobryon-Arten, speziell *Dinobryon divergens* als oligotroph bezeichnet. Dies scheint nur für einzelne Rassen dieser Arten zu gelten, so daß aus dem Vorkommen dieser Chrysophyceen nicht eindeutig der Schluß gezogen werden kann, bei dem untersuchten Gewässer handele es sich um ein nährstoffarmes.

Die Dinobryon-Arten kommen von Juni bis Oktober in den oberen Schichten des Epilimnions vor. Die Hauptart ist *D. sertularia* mit Dichten bis zu 1000 Zellen/ml. Im August verschwindet *D. sertularia* aus dem Plankton, um dann eine zweite, kleinere Population im September und Oktober auszubilden. *D. divergens* kommt ebenfalls mit zwei getrennten Populationen vor. Hier fällt die *D. divergens*-freie Zeit zusammen mit dem Maximum der ersten Art, wofür ähnliche Argumente wie bei den Sommerdiatomeen geltend gemacht werden können.

Chrysochromulina parva (Abb. 14)

Bei diesen Algen handelt es sich um kleine Flagellaten mit zwei Schwimmgeißeln und einem Haptonema. *Chrysochromulina* scheint mit der Alge im Bodensee identisch zu sein, die als 'Erkenia' in den Planktonlisten auftaucht (BÜRGI 1976 u. 1977).

Die kleinen Falgellaten waren nahezu das gesamte Jahr vorhanden. Maxima bildeten sich im Frühjahr, nach dem Ammer-Hochwasser, im August und im September heraus. Diese Art trat häufig mit *Rhodomonas lacustris* zusammen auf.

Über den Indikatorwert dieser Alge kann nichts ausgesagt werden, da sie in sehr vielen Algenlisten fehlt.

Phacotus lendneri (Abb. 15)

Phacotus besitzt eine mit Kalk inkustierte Schale, die artspezifisch skulpturiert ist und aus zwei uhrglasähnlichen Hälften besteht. Die einzellige Alge bewegt sich durch zwei gleich lange Geißeln fort.

Von den vielen Chlorophyten des Sommerplanktons trat nur Phacotus lendneri mengenmäßig hervor. Diese wärmeliebende Alge kam von Mai bis November vor, wobei das Maximum dieser Alge mit über 200 Zellen /ml im August und September erreicht wurde.

Aus der Literatur geht nicht eindeutig hervor, ob Phacotus lendneri besondere Nährstoff-Ansprüche hat. Die spärlichen Berichte zeigen eher, daß seine ökologische Nische nicht engbegrenzt ist und von mesotrophen (Zürichsee um die Jahrhundertwende) zu eutrophen Seen (Greifensee und Pfäffikersee) reicht.

Phytoplanktonsukzession (Abb. 16)

Zu Beginn der Ammersee-Untersuchungen im November 1975 war wenig Phytoplankton vorhanden. Es bestand aus einigen Kieselalgen (*Fragilaria crotonensis*, *Stephanodiscus hantzschii*, *Melosira granulata* var. *angustissima* und *Diatoma elongatum*), einem großen Anteil an Cryptomonaden und vor allem der Cyanophyten *Oscillatoria rubescens*. Im Februar nahm die Algenbiomasse zu, bis im April ein Maximum erreicht war, das sich deutlich in geringen Sichttiefen niederschlug. Die frühjährliche Diatomeenblüte bestand aus *Melosira islandica* ssp. *helvetica* und aus den nanoplanktischen Arten *Cyclotella glomerata* und *Stephanodiscus hantzschii* var. *pusillus*. Diese Zusammensetzung galt bis Ende April. Anfang Mai dominierten *Asterionella formosa* mit einem nennenswerten Anteil der Mangelform *acaroides*, die geringere SiO_2 -Vorräte nutzen kann. Ende Mai, noch bevor ein relativ großes, schwebstoffführendes Hochwasser Ammer in den See floß, brach die Diatomeenblüte infolge SiO_2 -Mangels zusammen. Die Reste der Diatomeen-Population, die bekanntermaßen zu dem akinetischen Plankton gehören, wurden mit den im See sedimentierenden Schwebstoffen in die Tiefe verfrachtet, ebenso große Teile der fädigen, ebenfalls

akinetischen *Oscillatoria*. Diese Alge ist jedoch in der Lage, die durch das genannte Hochwasser freigewordene ökologische Nische sehr schnell zu besetzen und auch besetzt zu halten. Unmittelbar nach dem Hochwasser besteht das Phytoplankton weitgehend nur aus Cryptomonaden, also Vertretern des kinetischen Planktons. Das Ammer-Hochwasser hat genügend neue Nährstoffmengen in den See gebracht, um Ende Juni erneut eine kleine Diatomeen-Population aufkommen zu lassen, die aus *Asterionella formosa*, wiederum mit Anteilen der Mangelform *acarcides* bestand. Neben der *Oscillatoria* verschiedenen Chlorophyten (*Phacotus lendneri* und einer *Mougeotia*-Art) und Chrysophyceen (*Dinobryon* und *Mallomonas*) war die auffallendste Alge des Sommerplanktons *Ceratium hirundinella*. Die Biomasse dieser Alge stieg auf Gesamtwerte von 140 und 180 g/m². Mit dem verstärkten Aufkommen von *Oscillatoria rubescens* bricht die *Ceratium*-Population zusammen. Die genannte Cyanophyte dominiert von ihrem Maximum im September, das Phytoplankton des Ammersees mit 50 - 75 % bis zur Diatomeenblüte. Sie bewirkt, daß eine weitere Cyanophyte, die zur N₂-Fixierung befähigte *Aphanizomenon gracile*, sowohl in tieferen Schichten als auch zu einem späteren Zeitpunkt zur Entwicklung kommt. Der Entwicklungsschwerpunkt der *Aphanizomenon*-Art fällt mit einer N-Mangelsituation zusammen, -so daß ein N-Bilanzausgleich über N₂-Fixierung vermutet werden kann.

Die Frühjahrsblüte 1977 zeichnet sich gegenüber der des Vorjahres durch zwei wesentliche Unterschiede aus: sie enthielt mehr als doppelt so viel Biomasse, und sie bestand aus anderen Arten. Nun herrschten große Kieselalgen vor, nämlich *Melosira islandica* ssp. *helvetica* eine eindeutig meso- bis eutrophente Art - wie das Beispiel des Walchensees noch zeigen wird - und große *Stephanodiscus*-Arten. Ein Grund für die Zunahme der Kieselalgen lag in einer erhöhten SiO₂-Konzentration 1977 zu Beginn der Populationsexplosion. Jedoch war dieser Nährstoff nicht derartig viel höher als im Vorjahr, um als alleiniger Grund für die Zunahme gelten zu können. In der ersten Maihälfte waren die SiO₂- und P-Vorräte erschöpft, so daß die Diatomeen-Population zusammenbrach und einer kleinen Blüte von *Oscillatoria rubescens* wich. Die Vertreter der Gattung *Oscillatoria* sind trotz Erschöpfung extrazellulärer P-Reserven in der Lage, sich zu entwickeln, denn sie verfügen über eine Reihe intrazellulärer P-Speicher (ZAISS 1976), die während guter P-Versorgung angelegt und in P-armen Zeiten mobilisiert werden können. Im Mai führte die Ammer mittleres Hochwasser, das den Algenbestand verminderte, jedoch nicht so drastisch wie 1976. Nachfolgend umfaßte das Phytoplankton mehr Taxa als zuvor und der Anteil des kinetischen Phytoplanktons nahm zu. Die Juli-Blüte

bestand zur Hauptsache aus *Oscillatoria rubescens*, *Fragilaria crotonensis* und *Dinobryon sertularia*. In der Monatswende Juli/August führte die Ammer erneut ein kräftiges Hochwasser, das sich wiederum nur bestandsvermindernd auf das Phytoplankton auswirkte. Anschließend begann eine *Ceratium hirundinella*-Blüte.

Zusammenfassend läßt sich das Phytoplankton des Ammersees als das eines eutrophen Sees charakterisieren, das über lange Zeiträume von der Burgunderblut-Alge, *Oscillatoria rubescens*, beherrscht wird. Die Biomasse der Cyanophyte ist seit September 1976 nicht mehr unter Werte von rd. 15 g/m^2 gesunken. Diese Alge fehlt in den Planktonlisten von GESSNER (1950), die auf Untersuchungen von 1942 basieren, völlig. Cyanophyten waren insgesamt nur von untergeordneter Bedeutung, speziell fädige Arten, deren Zunahme als Eutrophierungszeichen zu werten wären (HICKEL 1975). Damals beherrschte die Pyrrophyte *Ceratium cornutum* das Netzplankton. Quantitative Angaben fehlen bei GESSNER leider. In den Untersuchungen der damaligen Bayer. Biologischen Versuchsanstalt von 1955, die von REIMANN (1955) ausgeführt wurden, tauchen erstmals nennenswerte Mengen von Cyanophyten auf, wobei *Oscillatoria rubescens* quantitativ noch von untergeordneter Bedeutung war. Im Sommerplankton dominierten damals *Ceratium*-Arten, die Individuendichten im August 1955 von maximal 4.500 Zellen pro Liter erreichten. Für *Oscillatoria rubescens* werden Werte von 4.000 Fäden/Liter genannt. Diese Befunde wurden als deutliches Zeichen der Eutrophierung gewertet. Inzwischen hat sich die trophische Situation dahingehend verändert, daß - sofern die Zahlen von REIMANN ebenfalls Populationsmaxima wiedergeben - *Ceratium* um das 50-fache und *Oscillatoria* um das 400fache zugenommen hat. Ein weiterer Beweis für den eutrophierten Zustand des Ammersees findet sich in dem Jahresgang der Phytoplankton-Biomasse. Aus einer zweigipfligen Produktionskurve oligo- und mesotropher Seen, die am Beispiel des Walchensee noch vorgestellt werden wird und die je ein Produktionsmaximum durch Diatomeen im Frühjahr und im Herbst haben, entwickelte sich eine mehrgipflige Jahreskurve, deren große Maxima in die Sommermonate fällt. Daraus ist abzulesen, daß der Nährstoff-Nachschub aus dem Umland auch während der Sommermonate groß sein muß, um eine starke Phytoplanktonentwicklung zuzulassen.

Die Ursachen für den eutrophen Zustand des Ammersees und - in grober Skizzierung - auch Vorschläge zur Abhilfe sind in früheren Publikationen dargelegt (STEINBERG 1978 a und b, 1979).

2 PHYTOPLANKTON DES WALCHENSEES ¹⁾

Das Phytoplankton des Walchensees wird eindeutig von Diatomeen beherrscht, wie es die Abb. 17 obere Hälfte erkennen läßt. mit Ausnahme von August 1976, April und Mai 1977 sowie August und September 1978 stellen Diatomeen den überwiegenden Teil der Biomasse. Unsere Aufmerksamkeit gilt im folgenden vornehmlich dieser Algengruppe, von der acht Arten quantitativ ausgewertet wurden: *Cyclotella glomerata*, *Stephanodiscus hantzschii* var. *pusillus* (vgl. Anmerkung zu dieser Alge bei der Besprechung des Ammersee-Phytoplanktons), *Stephanodiscus alpinus*, *Melosira islandica* ssp. *helvetica*, *Asterionella formosa*, *Fragilaria crotonensis*, *Tabellaria fenestrata* und *Synedra acus* var. *angustissima*.

Im März 1976 beginnt die Diatomeen-Produktion *Cyclotella glomerata*, *Asterionella formosa* und *Stephanodiscus alpinus*. Die größten Individuendichten erreichte zwar *Cyclotella* mit ca. 1.000 Zellen/ml, wegen ihrer Kleinheit jedoch nicht gleichzeitig auch die größte Biomasse. *Asterionella formosa* und insbesondere *Stephanodiscus alpinus* prägten im Mai das große Frühjahrs-Maximum. Danach wirkte sich ein größeres schwebstoffführendes Hochwasser der übergeleiteten Isar (Ende Mai/Anfang Juni) bestandsvernichtend auf die *Stephanodiscus*-Population aus. Im Frühsommer erschien ein kleines Maximum von *Fragilaria crotonensis*, s. folgende Seite. Der Vorgang, daß die Diatomeenproduktion des Frühjahrs durch ein Hochwasser in zwei Produktionsspitzen mit unterschiedlichen Arten geteilt wird, wiederholte sich im zweiten Untersuchungsjahr (1977): auch 1977 sind es dieselben Kieselalgen, die die beiden Maxima dieser Algengruppe im Vorjahr prägten. Weniger bestandsvernichtend wirkte sich der Schweb des Hochwassers auf den Vertreter des kinetischen Planktons, auf *Peridinium inconspicuum* aus. Diese Alge hatte im April und Mai 1977 Biomassen von 15 bis 23 g/m² in einer 20 m-Wassersäule und 28 bis 38 g/m² in einer 50 m-Wassersäule.

Es kann nicht ausgeschlossen werden, daß der Rückgang der Diatomeen Ende April/Anfang Mai 1977 neben dem schwebstoffführenden Hochwasser seine Ursache zusätzlich in den Aufkommen der Dinoflagellaten-Population hatte, die gerade in dem genannten Zeitraum ihren Schwerpunkt hatte. Denn von verschiedenen Vertretern dieser Algenordnung, vornehmlich aus dem Meere, ist bekannt, daß sie mit zum Teil sehr giftigen Exkreten auf andere Organismen des Wassers einwirken.

1) Die Darlegung und Diskussion folgt zum Teil STEINBERG (1978 b)

Weitere schwebstoffführende Hochwässer der Isar im Sommer 1976 und Mangel an gelöster SiO_2 verminderten die Diatomeen-Population, so daß im Sommer die Biomasse auf Minimalwerte sank. Von September 1976 an, nachdem Kieselsäure durch die Zuflüsse nachgeliefert worden ist, entwickelten sich Diatomeen-Populationen, die fast nur noch aus *Tabellaria fenestrata* bestanden. Das Maximum mit ca. 95 g/m^2 im Dezember. Diese *Tabellaria*-Blüte wurde im März 1977 durch die Frühjahrsblüte abgelöst.

Die Frühjahrsblüte 1978 zeigte demgegenüber ein anderes Artenspektrum an Diatomeen. Die beiden Biomassen-Maxima im März und Mai bestanden überwiegend aus *Fragilaria crotonensis* bzw. *Melosira islandica* ssp. *helvetica* und *Stephanodiscus hantzschii* var. *pusillus*. Das kleine sommerliche Produktionsmaximum der Diatomeen und die Blüte im November/Dezember enthielten dann wieder die bekannten pennaten Formen *Tabellaria* und *Fragilaria*.

Welche Aussagen bezüglich des Trophiegrades lassen sich nun für den Walchensee anhand der bisherigen Phytoplanktonanalyse treffen? Um dies zu klären, sollen einige physiologische Anforderungen der gefundenen Algen an das Medium besprochen werden. In Abbildung 18, die aus VOLLENWEIDER (1970) übernommen wurde, sind die Populationsdichten von *Asterionella*, *Tabellaria* und *Fragilaria* in Abhängigkeit von steigenden Phosphorkonzentrationen des Kulturmediums dargestellt. Es wird deutlich, daß *Asterionella* die genügsamste der drei Kieselalgen ist: ihr Entwicklungs-Optimum liegt bei P-Konzentrationen unter $10 \mu\text{g/l}$. Dies gilt sogar für verschiedene Rassen, die in den Untersuchungen von SARACENI und RODHE (s. VOLLENWEIDER l.c.) getestet wurden. Die Optima von *Tabellaria* und *Fragilaria* liegen mit $\leq 50 \mu\text{g P/L}$ deutlich höher. Ökologisch gedeutet heißt dies: während *Asterionella* mit P-Konzentrationen, die in streng oligotrophen Seen zu finden sind, auskommt, benötigen die beiden anderen Algen weit mehr P zur optimalen Entwicklung. Blüten von *Tabellaria* und *Fragilaria* zeigen somit an, daß das Gewässer, in denen sie sich entfalten, ökologische Nischen bereitstellt, die meso- und eutrophe Nährstoff- und Produktionsniveaus charakterisieren. Die chemische Analyse bestätigt diesen Sachverhalt, die Ges-P-Konzentrationen liegen im Walchensee um $25 \mu\text{g/l}$.

Umfangreiche Arbeiten von JÄRNEFELT (1952) an 329 finnischen Seen erbrachten, daß unter den Diatomeen nur wenige "Etiketten-Arten" für bestimmte Trophiestufen vorhanden sind. Zu diesen wenigen, eindeutigen Indikatoren zählt JÄRNEFELT

Melosira islandica, die am ehesten geeignet erscheint, Nährstoffreichtum anzuzeigen. Diese Art wurde (vgl. Abb. 19) im Juni 1977 erstmalig während der Untersuchung im Walchensee festgestellt. Damals überschritt die Biomasse 2 g/m^2 nicht. Während der Frühjahrs-Diatomeenblüte 1978 schon ca. 36 g/m^2 , um in diesem Frühjahr das vorläufige Maximum zu erreichen, wie die nachstehenden Zahlen belegen. So betragen die Biomassen dieser Alge

	in 0 - 20 m Tiefe	und	in 0 - 50 m Tiefe
am 19.03.1979	4,9 g/m^2		8,5 g/m^2
am 02.04.1979	7,9 g/m^2		22,0 g/m^2
am 17.04.1979	17,4 g/m^2		52,6 g/m^2
am 02.05.1979	42,3 g/m^2		98,0 g/m^2
am 14.05.1979	67,3 g/m^2		158,6 g/m^2

Dieses Produktionsmaximum von *Melosira islandica* ssp. *helvetica* übersteigt sämtliche vorausgegangenen Produktionen, einschließlich der von *Tabellaria fenestrata* im Dezember 1976. Die Produktion im Walchensee scheint somit einem Niveau zuzustreben, das für eutrophe Seen - vgl. Ammersee-Daten in Abb. 16 - charakteristisch ist.

Sieht man sich den Gang der Phytoplankton-Produktion im Jahreszyklus an, dann fällt auf, daß die sommerliche Produktion in den Jahren 1976 und 1977 gering war und erstmalig 1978 ein deutlich ausgeprägtes Maximum besitzt, das aus Nicht-Diatomeen gebildet wird. Diese steigende sommerliche Produktion wird im wesentlichen durch *Ceratium hirundinella* (siehe Abb. 20) ausgeführt. Die Biomasse stieg im August 1978 auf $22,4 \text{ g/m}^2$, die Individuendichte auf 70 Zellen pro Milliliter. In den Vorjahren trat diese Alge zwar ebenfalls auf, jedoch viel sporadischer und überschritt niemals 4 g/m^2 . Diese starke Zunahme von *Ceratium hirundinella* muß als Zeichen fortschreitender Eutrophierung gewertet werden. Mit anderen Worten: für den Sommer 1979 ist mit einer weiter steigenden *Ceratium*-Blüte zu rechnen.

Nach der Blüte von *Ceratium* erschien Ende August 1978 eine kurzlebige, aber relativ dichte Population von *Volvox aureus*. Diese Grünalge zählt ebenfalls zu den deutlich eutraphenten Algen.

Weitere Phytoplankter, die ihre Verbreitungsmaxima in den Sommermonaten haben, sind die beiden Dinobryon-Arten, *D. sociale* und *D. divergens* (Abb. 21) und die Cryptomonaden *Cryptomonas ovata* und *Cr. spec.* (Abb. 22) und *Rhodomonas lacustris*

(Abb. 23). Der Indikationswert der Dinobryon-Arten für den Walchensee scheint gering zu sein, da es sich wahrscheinlich um Rassen handelt, die höhere P-Konzentrationen tolerieren oder sogar benötigen. Ähnlich wie im Ammersee deutet sich zwischen den beiden genannten Arten ebenfalls ein Antagonismus an, wenn auch nicht so klar ausgeprägt. Die Cryptomonas- und Rhodomonas-Populationen sind durch ähnliche ökologische Valenzen gekennzeichnet, wie die des Ammersees (s.o.). Auffallend sind die insgesamt hoher Biomassen dieser Algen, die gegen Oligotrophie zu sprechen scheinen.

Das Phytoplankton des Walchensees schwankt in den vier untersuchten Jahren sowohl qualitativ als auch quantitativ sehr stark. Arten, die in Produktionsmaxima einzelner Jahre dominierten, verschwinden, neue und zum Teil – bezüglich der Nährstoffe – anspruchsvollere Arten wandern ein und besetzen die ökologischen Nischen. Andere Arten nehmen in ihrer Populationsdichte von Jahr zu Jahr zu. Zu der ersten Gruppe zählt *Asterionella formosa* (Abb. 24), deren Vorkommen im Frühjahr 1976 durch zwei Maxima mit 8 bzw. 18 g/m² gekennzeichnet war. In den folgenden Jahren wurden nur noch Werte um 5 g/m² gefunden. Es ist denkbar, daß diese Diatomee durch anspruchsvollere verdrängt wurde. Zu der Gruppe mit abnehmender Biomasse zählt ebenfalls die Frühjahrspopulation von *Fragilaria crotonensis* (Abb. 25), die im März 1978 noch eine Biomasse von rd. 32 g/m² erreichte. 1979 aber nur noch in geringen Mengen vorkam.

Cyclotella glomerata (Abb. 26) nahm während der vier Jahre stetig zu. Erreichte diese Alge 1976 nur Biomassen von 2 g/m², so stieg die Dichte auf rd. 17 g/m² in den Jahren 1977 und 1978, um dann 1979 mit knapp 23 g/m² ein vorläufiges Maximum aufzuweisen. Diese Alge paßt sich dem steigenden Nährstoffangebot im Walchensee durch zunehmende Zelldichten an. Sie verteidigt ihre ökologische Nische, die sie – wie frühere Arbeiten, die noch zu besprechen sind, zeigen – wahrscheinlich schon zu Zeiten der Oligotrophie im Walchensee besetzt hatte. Die Daten aus dem Ammersee unterstützen diese Aussage. Von der *Cyclotella glomerata* lebt in direkter Abhängigkeit eine *Spumella*-Art.

Sie nimmt ganze Zellen der kleinen Diatomee in amöbenhafter Art auf und entläßt die leeren Schalen durch die Zellmembran. Ihre Verbreitung ist jedoch nicht streng an das Vorkommen von *Cyclotella* gebunden, wie aus Abb. 27 hervorgeht. Ihre Dichten hängen nicht eindeutig von den Populationsdichten der Kieselalge ab. Möglicherweise lebt *Spumella* ebenfalls von Bakterien oder Detritus. Die beiden Algen, die abschließend besprochen wurden, gehören zur Gattung *Stephanodiscus*. (Zur systematischen Abgrenzung gilt das oben

Gesagte entsprechend: möglicherweise handelt es sich bei den beiden Algen um eine einzige Art, die verschiedene Rassen besitzt. Diese Rassen unterscheiden sich dann durch die Zellengröße und das Vorkommen: wie aus Abb. 28 hervorgeht, hält sich die Art – oder Rasse –, die als *Stephanodiscus alpinus* angesprochen wurde, zu einem Großteil in tiefen Wasserschichten auf, so daß die ökologische Abgrenzung den anderen Arten, die HUBER-PESTALOZZI (1942/75) angibt, zutreffen könnte. Der Verfasser schreibt: *Stephanodiscus alpinus* sei 'hypolimnisch' in den meisten Seen der Ostalpen. Maxima in Bezug auf die Tiefenlage starken Schwankungen unterworfen, jedoch stets an sehr niedrige Temperaturen gebunden. *Stephanodiscus alpinus* tritt 1976 mit zwei Maxima auf; das größere liegt im Mai und erreicht Werte von 30 g/m^2 wobei sich knapp $2/3$ dieser Menge in Wasserschichten unter 20 m Tiefe befinden. 1977 hat die Biomasse weiter zugenommen, sie stieg auf über 40 g/m^2 . Auch hier hielten sich knapp $2/3$ dieser Mengen unterhalb von 20 m auf. In den beiden folgenden Jahren war diese Alge jedoch nur noch sehr vereinzelt anzutreffen. Möglicherweise ist sie ebenfalls der *Melosira islandica* ssp. *helvetica* gewichen. Auch die Befunde des Ammersees sprechen dafür, daß sich die beiden Kieselalgen ausschließen.

Der kleine *Stephanodiscus hantzschii* var. *pusillus* trat 1976 nur sporadisch auf, erreichte 1977 ca. 2 g/m^2 Biomasse und 1978 knapp 26 g/m^2 und verschwand in diesem Frühjahr nahezu vollständig wieder. Auch er scheint durch das *Melosira*-Aufkommen verdrängt worden zu sein, allerdings später als *St. alpinus*, d.h. erst durch dichtere *Melosira*-Populationen.

Ein Blick in alte Artenlisten des Phytoplanktons von KÜHL (1928) und GESSNER (1950) zeigt, daß im Walchensee eine starke Veränderung der ökologischen Nischen und, damit verbunden, auch der Biozönose der Primärproduzenten stattgefunden hat. KÜHL fand als wichtigste Algen die Diatomeen *Synedra acus* und *Cyclotella*-Arten, darunter *Cyclotella melosiroides* (= *comensis*). Indikationswert besitzen diese Diatomeen insoweit, als ihre quantitative Entfaltung Rückschlüsse über die Nährstoff-Situation des Sees vor den menschlichen Eingriffen zuläßt. So erreichte die genannte *Cyclotella*-Art Höchstwerte von 40.000 Zellen pro Liter. Verglichen mit den Zahlen der sehr ähnlichen, möglicherweise sogar identischen *Cyclotella glomerata*, die 1976: rd. 10^6 , 1977: 15×10^6 , 1978 und 1979: 8 bis 12×10^6 Zellen pro Liter erreichte, geben die von KÜHL ermittelten Zahlen reine Oligotrophie wieder. In den Untersuchungen von KÜHL 1921 – 1923 spielen *Asterionella* und *Fragilaria* ebenso wie kokkale Cyanophyten quantitativ keine Rolle. *Tabellaria fenestrata* und *Ceratium*

hirundinella tauchten damals im Walchensee nicht auf, ebensowenig *Melosira islandica* ssp. *helvetica*.

GESSNER (1950) fand dagegen in einer Untersuchung aus dem Jahre 1942 neben der weitgehend oligotraphenten *Asterionella formosa* und *Cyclotella planctonica* (möglicherweise mit *C. schroeteri* in KÜHL's Planktonliste identisch) auch schon Algen, die auf sich verschlechternde Verhältnisse hinweisen, nämlich *Fragilaria crotonensis* und *Ceratium hirundinella*, die beide im Netzplankton sehr häufig waren. Allerdings gab GESSNER nur relative Häufigkeiten an, keine Absolutwerte.

Das Massenauftreten von *Tabellaria fenestrata* und *Fragilaria crotonensis* in der Gegenwart erinnert an die Phytoplankton-Befunde in den klassischen Eutrophierungsstudien von Zürich- und Bodensee. In beiden Seen machte sich die beginnende Eutrophierung durch Invasionen dieser Algen bemerkbar. Derartige Invasionen werden als deutlicher Eutrophierungsschub gewertet. Auch an bayerischen Gewässern traten ähnliche Phänomene auf, wie die Phytoplankton-Studien vom Starnberger See durch NÄHER (1963) belegen.

Die Einwanderung und explosionsartige Entwicklung von *Melosira islandica* ssp. *helvetica* muß als ein weiterer Eutrophierungsschub aufgefaßt werden, so daß die Sanierung des Walchensees zu einer sehr vordringlichen Aufgabe wird.

Als Ursache für die starken Veränderungen des Walchensee-Phytoplanktons kommen in erster Linie externe Faktoren, wie erhöhte Nährstoff-Zufuhren aus dem für Wasserkraft-Nutzungen erheblich vergrößerten Einzugsgebiet infrage. Parallel zu den Phytoplankton-Untersuchungen wurde stets der Chemismus des Sees und seiner Zuflüsse untersucht. Die Daten ergeben, daß die bei Krün aus dem ursprünglichen Flußbett abgeleitete Isar, die durch das Kraftwerk Obernach in den Walchensee bei Einsiedl eintritt, die größten Nährstofffrachten bringt. Die Jahresfrachten dieses Flusses wurden aus übergreifenden Monatsmittelwerten der P-Konzentrationen und dem monatlichen Abfluß aus dem Obernachkraftwerk errechnet. Die P-Fracht der Isar liegt in beiden hydrologischen Jahren 1975/76 und 1976/77 zwischen 26 und 27 t P-gesamt. Diese Fracht reicht aus, den Walchensee eutroph werden zu lassen, wie aus der Einordnung in das VOLLENWEIDER-(1976) Diagramm (Abb. 29) hervorgeht. Die natürliche Fracht macht nur rd. 25 % der genannten Belastungen aus und würde im See keine nennenswerte Umstellung im Stoffwechsel hervorrufen. Gewässerschutztechnische Maßnahmen im Einzugsgebiet der oberen Isar werden damit dringend erforderlich.

Abschließende Bemerkungen

Die vorgelegten Phytoplankton-Studien an zwei ausgewählten oberbayerischen Seen legen drei allgemeine Schlußfolgerungen nahe:

1. Es scheint keine eindeutigen oligotrophen Phytoplankter zu geben, allenfalls einige Rassen. Verwiesen sie beispielsweise auf *Dinobryon divergens*, das in klassischen Südi als P-meidend dargestellt wurde. Verschiedene Diatomeen, die das Phytoplankton oligotropher Seen prägen (*Asterionella*, *Cyclotella* u.a.) behaupten sich in nährstoffreicheren Gewässern ebenfalls. Insbesondere *Cyclotella glomerata* reagiert auf erhöhte Nährstoffgehalte mit steigenden Individuendichten. Wenn Phytoplankter oligotropher Niveaus während der Eutrophierung verschwinden, dann wahrscheinlich nicht, weil die erhöhten Nährstoffkonzentrationen unmittelbar toxisch wären (wie dies z.B. für verschiedene Characeen bekannt ist), sondern weil sie stärker nährstoffliebenden Formen in der Konkurrenz um begrenzende Stoffe unterlegen sind oder werden durch diese durch Exkrete in der Entwicklung gehindert (s.u.). Oligotrophes Phytoplankton ist demnach anscheinend durch die Abwesenheit eutraphenter Formen gekennzeichnet.
2. Die Sukzession des Phytoplanktons wird neben klimatischen und anderen abiotischen Faktoren und der Konkurrenz um anorganische und z.T. ebenfalls organische Nährstoffe vermutlich auch durch organische Algenexkrete gesteuert. Diese Stoffe werden von verschiedenen Algenarten aktiv an das Medium abgegeben und stören als Inhibitoren beispielsweise das Aufkommen anderer, hierfür empfindliche Arten, (vgl. FOGG 1971). Als Beispiel mag die Lücke in der *Fragilaria*-Verbreitung im Ammersee dienen, die durch Chrysophyceen hervorgerufen worden war. Neuere Arbeiten aus Nordamerika stellen die Hypothese auf, daß Cyanophyten sich dadurch Konkurrenz-Vorteile verschaffen, daß sie eisen-selektive Chelatoren exkretieren, die nur durch Cyanophyten selbst verwertet werden können (MURPHY, LEAN & NALEWAJKO 1976). Derartige Substanzen sind aus der Bodenkunde bereits bekannt.
3. Ökologische Nischen, die einmal durch Cyanophyten besetzt sind, werden von diesen quasi verteidigt, auch wenn die Milieu-Bedingungen sich zu ungunsten der genannten Algen verändern. Die Exkretion der angeführten Chelatoren scheint einen derartig großen Wettbewerbsvorteil zu bewirken, daß sich die Cyanophyten auch unter nährstoffärmeren Verhältnissen gegen andere Arten durchsetzen, zumindest aber behaupten können.

Beispiel: Obwohl der Tegernsee nach der Abwasserfernhaltung seit einigen Jahren zu den oligotrophen Seen (!) zu rechnen ist, wurde sowohl 1976 als 1977 noch *Oscillatoria rubescens* in respektablen Mengen gefunden, die vor der Abwassersanierung die beherrschende Alge war.

L I T E R A T U R

- BÜRGI, H. R. (1976): Die Phytoplanktonentwicklung im Bodensee in den Jahren 1961 bis 1963. – Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee. Bericht 18.
- (1977): Die langjährige Entwicklung des Phytoplanktons im Bodensee (1963 – 1973). Teil 1: Untersee. – Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee. Bericht 21.
- FOGG, G.E. (1971): Extracellular products of algae in freshwater. – Arch. hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol. 5: 1 – 25.
- FORBES, S.A. (1887): Der See als Mikrokosmos. (The lake as a microcosm). Bull. Peoria (Ill.) Sci.Assoc. Reprinted in Bull. Ill.Nat.Hist. Surv. 15: 537 – 550 (1925).
- GERLOFF, J.: Pers. Mitt. über systematische Schwierigkeiten in der Gattung *Stephanodiscus*.
- GESSNER, F. (1950): Das Phytoplankton der Seen Oberbayerns in seiner quantitativen Entfaltung. – Ber. Bayer. Bot. Gesellsch. 28: 180 – 194.
- HICKEL, B. (1975): Changes in phytoplankton species composition since 1894 in two lakes of East-Holstein, Germany. – Verh. Internat. Verein. Limnol. 19: 1229 – 1240.
- HUBER-PESTALOZZI G.: (1968) Das Phytoplankton des Süßwassers. 3. Teil. Die Binnengewässer 16.
- (1975): Das Phytoplankton des Süßwassers. 2. Teil, 2. Hälfte. Nachdruck von 1942. Die Binnengewässer 16.
- JÄRNEFELT, H. (1952): Das Plankton als Indikator der Trophiegruppe der Seen. – Ann. Acad. Sc.Fenn. Ser. A., 4: 1 – 25.
- JAVORNICKY, P (1976): Minute species of the genus *Rhodomonas* KARSTEN (Cryptophyceae). – Arch. Prot. 118: 98 – 106.
- KAISER, P. E. & SCHEFFELT, E. (1925): Das Phytoplankton des Chiemsees nebst Algenfunden aus anderen Seen des Chiemgau. Arch. Hydrobiol. 15: 141 – 177.

- KALBE, L. (973): Kieselaigen in Binnengewässern. - Die Neue Brehm-Bücherei. Wittenberg Lutherstadt, 206 pp.
- KÖRNER, H. (.970): Asterionella formosa. - Nova Hedwigia 20: 557 - 724.
- KÜHL, F. (1928): Untersuchungen über das Zentrifugenplankton des Walchensees und des Kochelsees in den Jahren 1921 - 1923. Arch. Hydrobiol. Suppl. 6: 96 - 160.
- MÜLLER, Ute (1977): Stoffhaushalt, Phytoplankton und Primärproduktion in drei ostholsteinischen Seen unterschiedlichen Trophiegrades. Dissertation, Kiel.
- MURPH T.P., D. R. S.
LEAN & C. NALEWAJKO
(1976): Blue-green algae: Their excretion of iron-selective chelators enables them to dominate other algae. - Science 192: 900 - 902.
- NÄHER, W. (1963): Untersuchungen über die Radioaktivität im Wasser und Plankton des Starnberger Sees mit besonderer Berücksichtigung der Wassergüte.- Arch. Hydrobiol. 59: 401 - 466.
- OHLE, W. (1953): Der Vorgang rasanter Seealterung in Holstein. - Naturwiss. 40: 153 - 162.
- REIMANN, K (1955): Bericht über die Untersuchungen des Ammersees im Jahre 1955. Veröffentlichtes Gutachten der damaligen Bayer. Biologischen Versuchsanstalt.
- ROHDE, W. (1948): Environmental requirements of fresh water plankton algae. - Symb. Bot. Uppsal. 10: - 149.
- STEINBERG, C. (1978 a): Limnologische Untersuchungen des Ammersees, September 1975 bis Dezember 1976. - Informationsschrift des Bayer. Landesamtes für Wasserwirtschaft 6/78: 78 pp.
- (1978 b): Limnologische Bestandsaufnahmen von Ammer- und Walchensee. - Informationsschrift des Bayer. Landesamtes für Wasserwirtschaft 7/78: 157 - 175.
- (1979): Ausmaß und Auswirkungen von Nährstoffanreicherungen auf das Phytoplankton eines subalpinen Sees. - Eutrophierungs-Fallstudie des Ammersees -. - Gewässer & Abwässer 65/66: (im Druck).

- VOLLENWEIDER, R.A. (1970): Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors in eutrophication. OECD-Report.
- (1976): Input-output models. With special reference to the phosphorus loading concept in limnology. - Schweiz. Z. Hydrol. 37: 53 - 84.
- ZAISS, U. (1976): Physiologische und ökologische Untersuchungen zur Regulation der Phosphatspeicherung bei *Oscillatoria redekei*. - Dissertation, Kiel.

Anschrift des Verfassers:

Dr. Christian Steinberg

Bayer. Landesamt für

Wasserwirtschaft

Lazarettstr. 67

8000 München 19

Abb. 1: Zeit-Tiefenverteilung von *Oscillatoria rubescens* im Ammersee

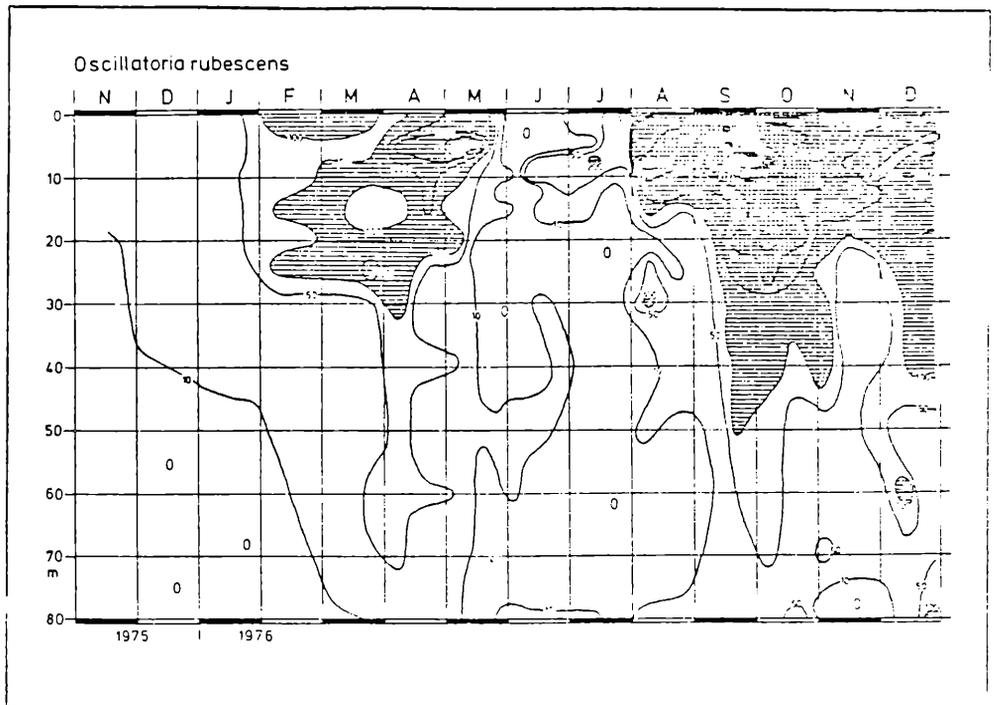


Abb. 2: Zeit-Tiefenverteilung von *Aphanizomenon gracilis* im Ammersee

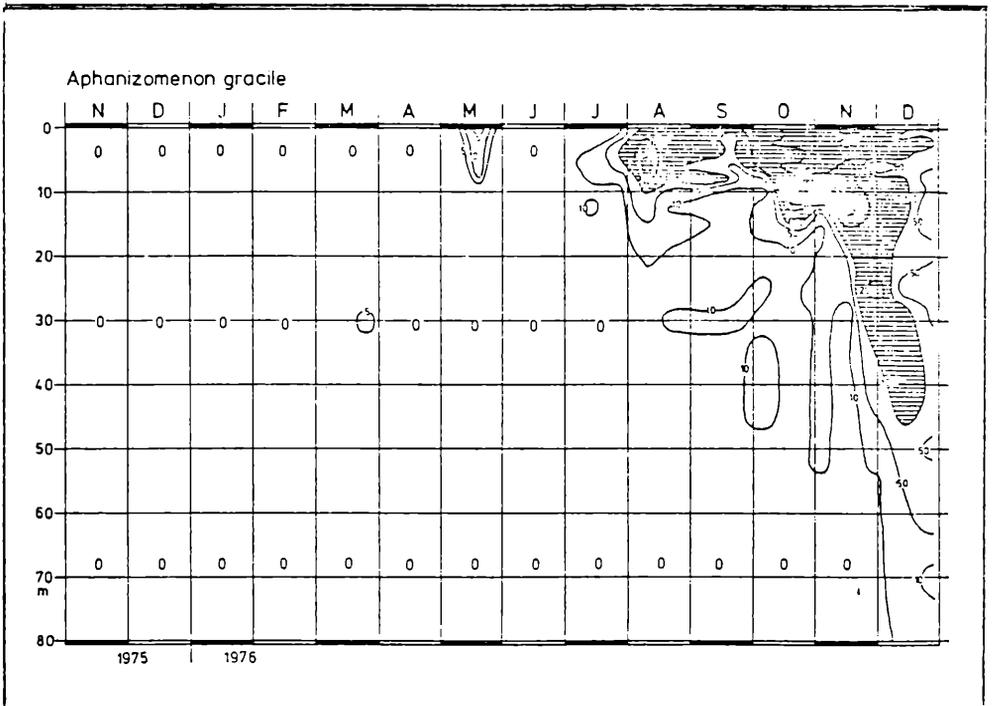
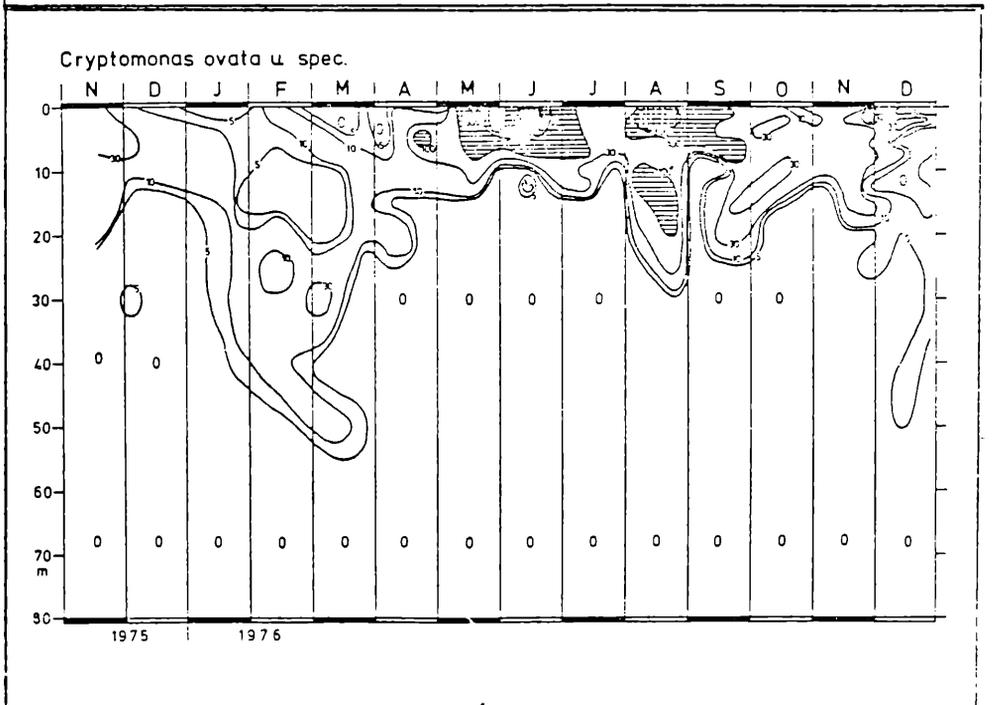


Abb. 3: Zeit-Tiefenverteilung von *Cryptomonas*-Arten im Ammersee



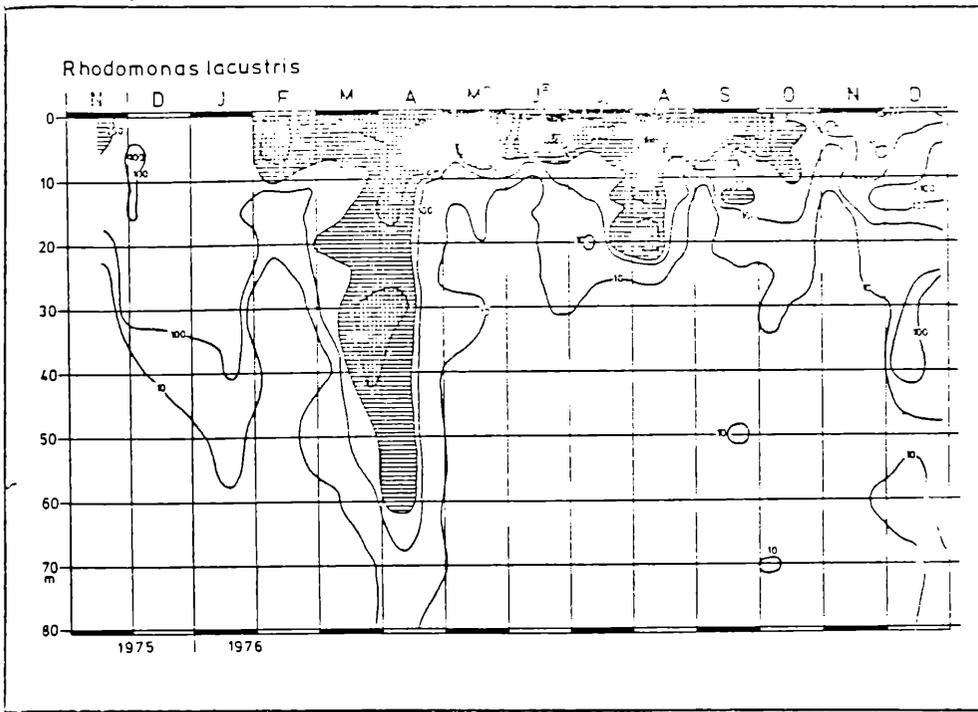


Abb. 4: Zeit-Tiefenverteilung von *Rhodomonas lacustris* Ammersee

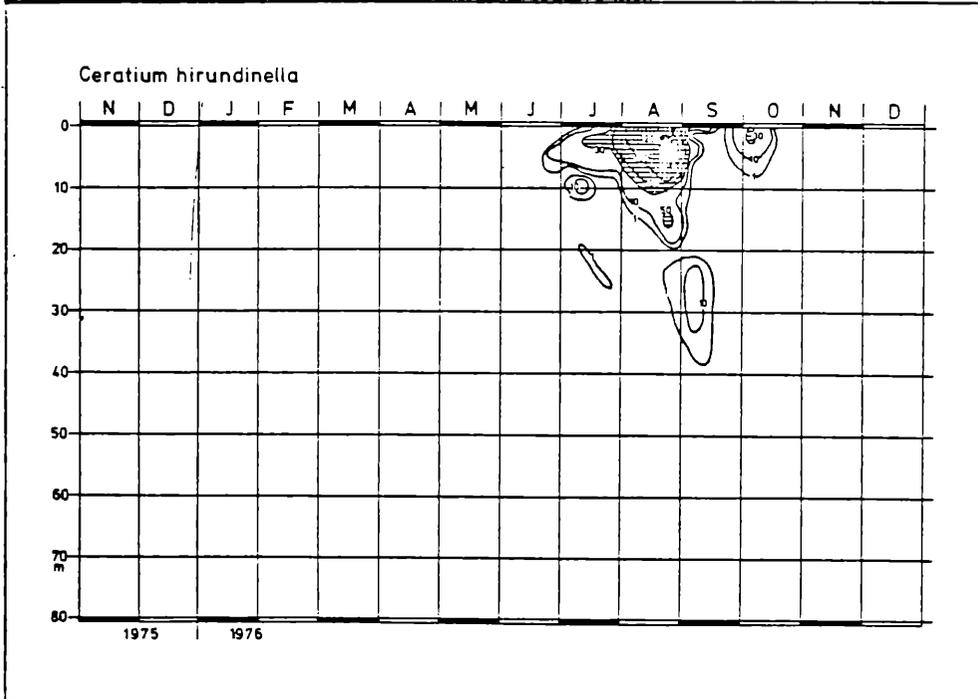


Abb. 5: Zeit-Tiefenverteilung von *Ceratium hirundinella* im Ammersee

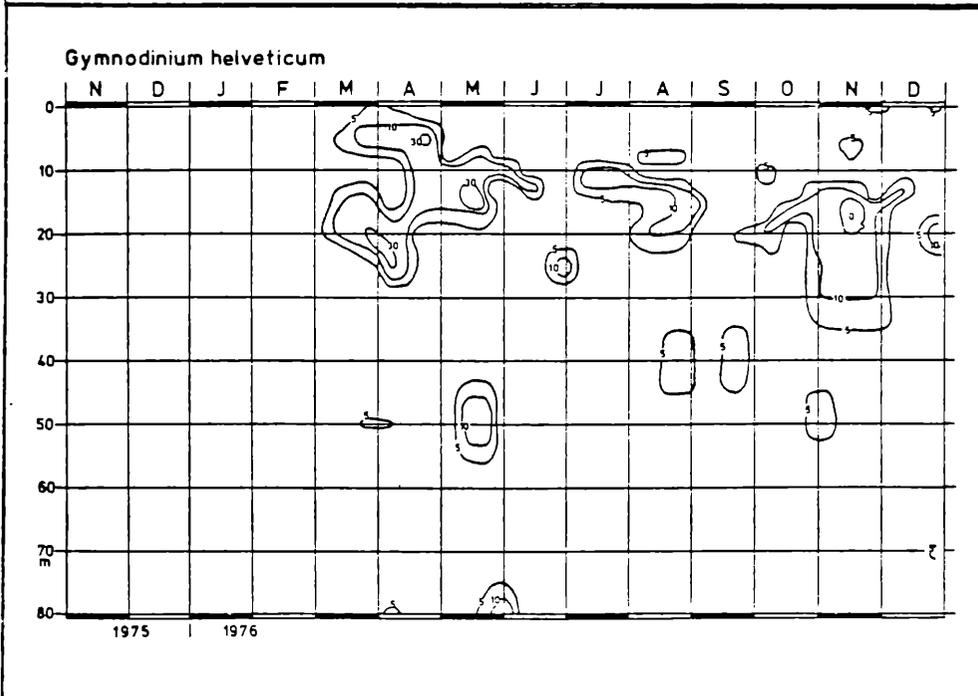


Abb. 6: Zeit-Tiefenverteilung von *Gymnodinium helveticum* im Ammersee

Abb. 7: Zeit-Tiefenverteilung
Cyclotella glomerata im
Ammersee

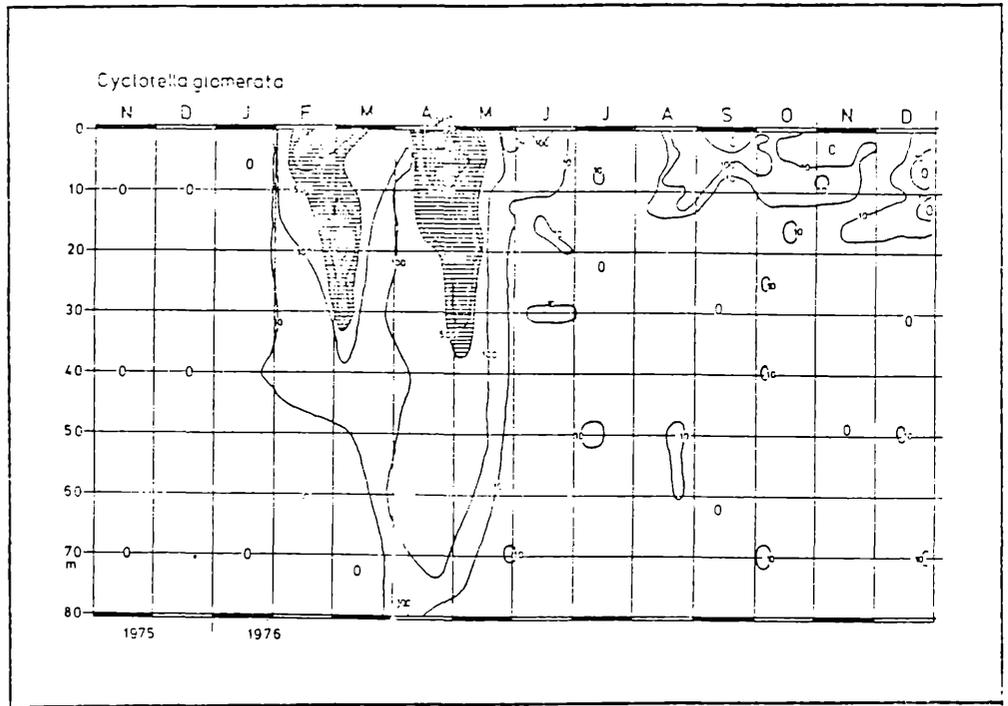


Abb. 8: Zeit-Tiefenverteilung
von *Stephanodiscus hantzschii*
var. *pusillus* im Ammersee

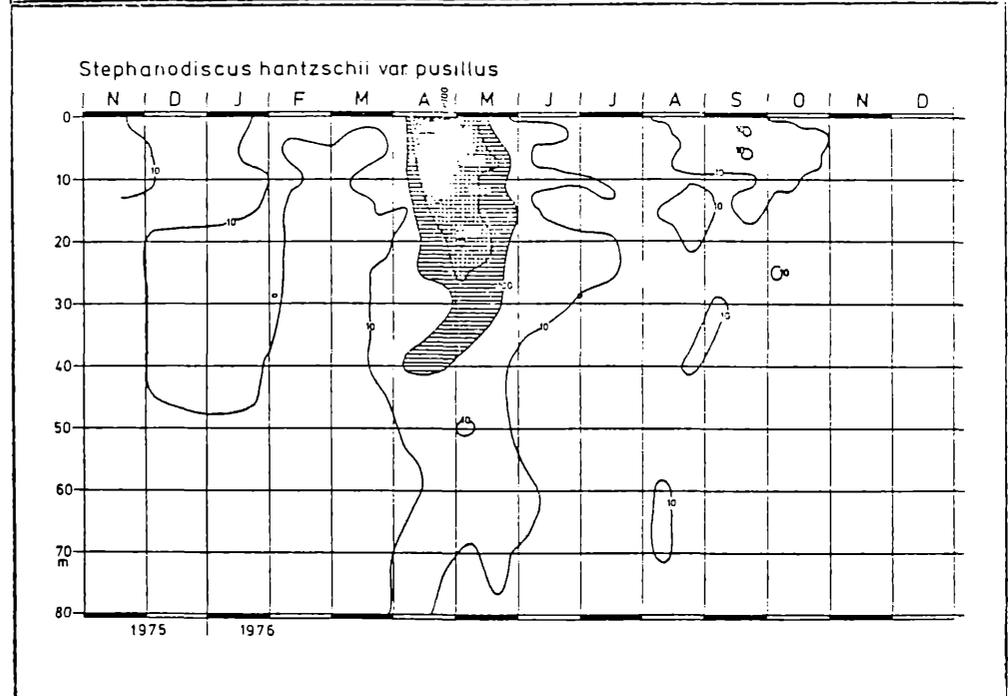


Abb. 9: Zeit-Tiefenverteilung
von *Asterionella formosa* im
Ammersee

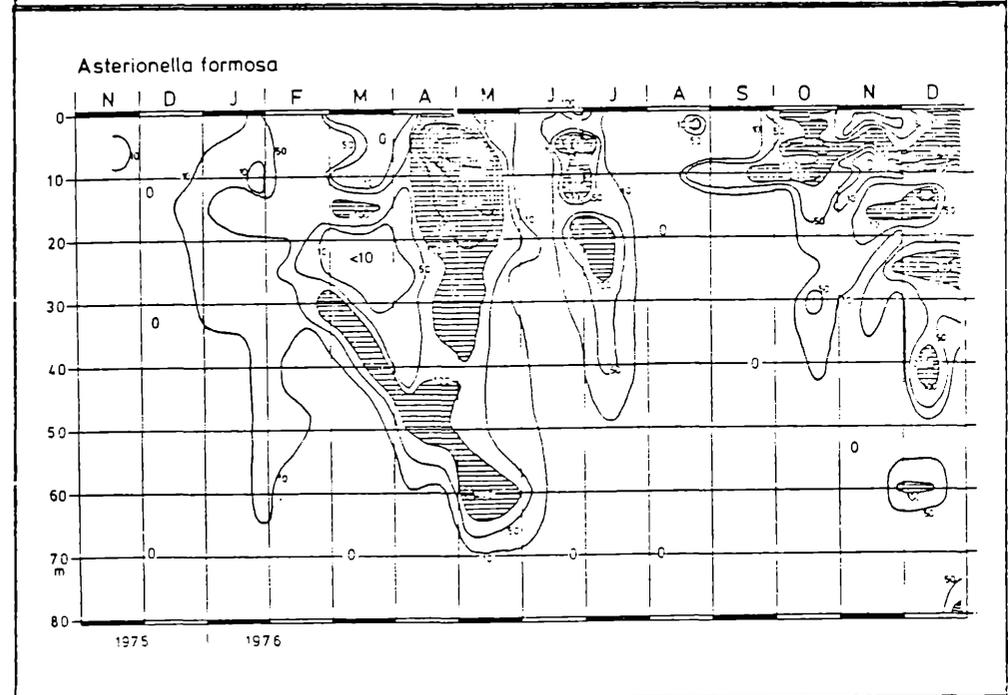


Abb. 10:
von:

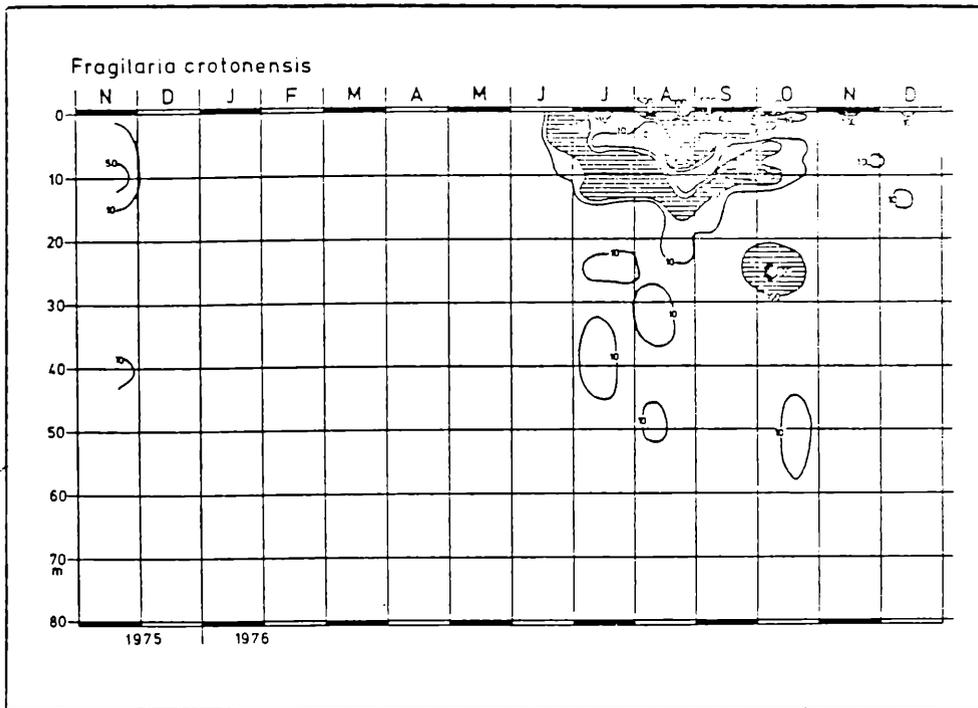


Abb. 11: Zeit-Tiefenverteilung
von *Diatoma elongatum* im Ammer-
see

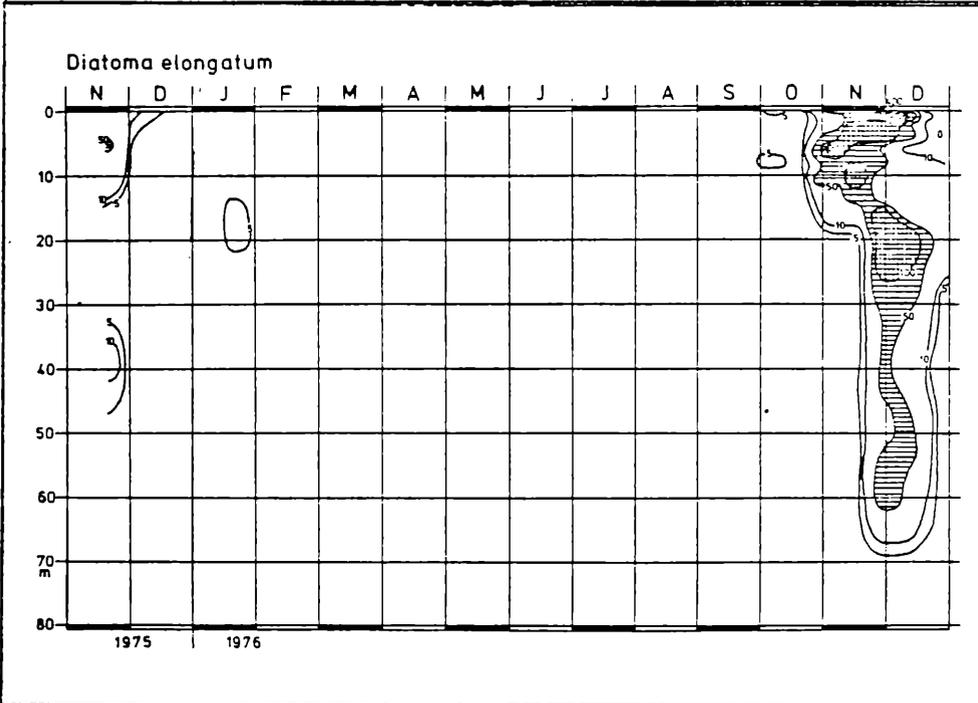


Abb. 12: Zeit-Tiefenverteilung
von *Dinobryon sertularia* im
Ammersee

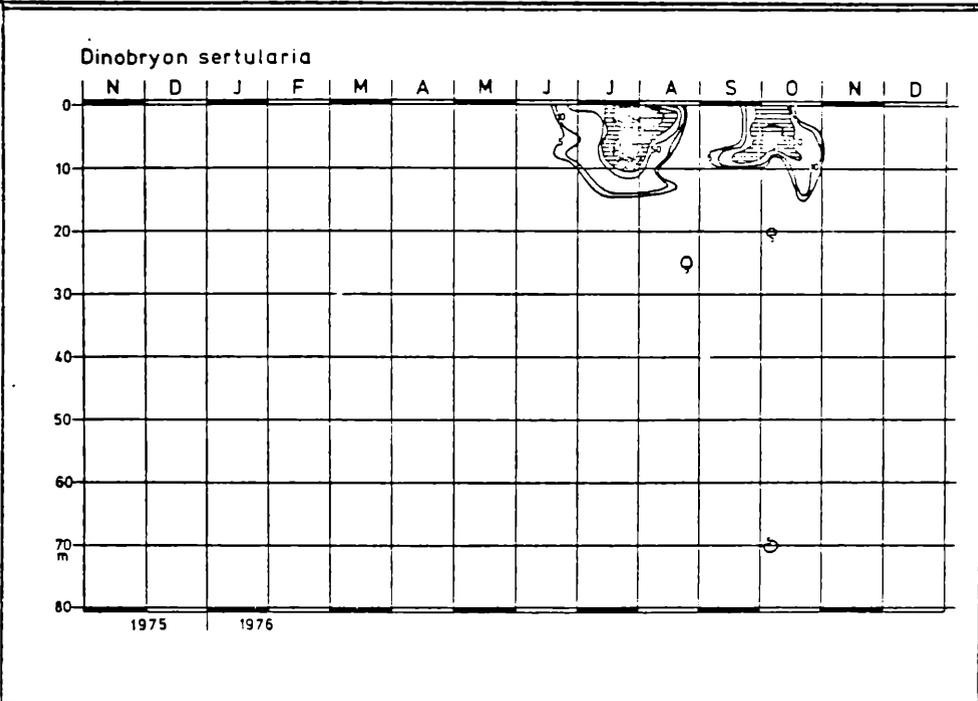


Abb.
von Dinobryon
Ammersee

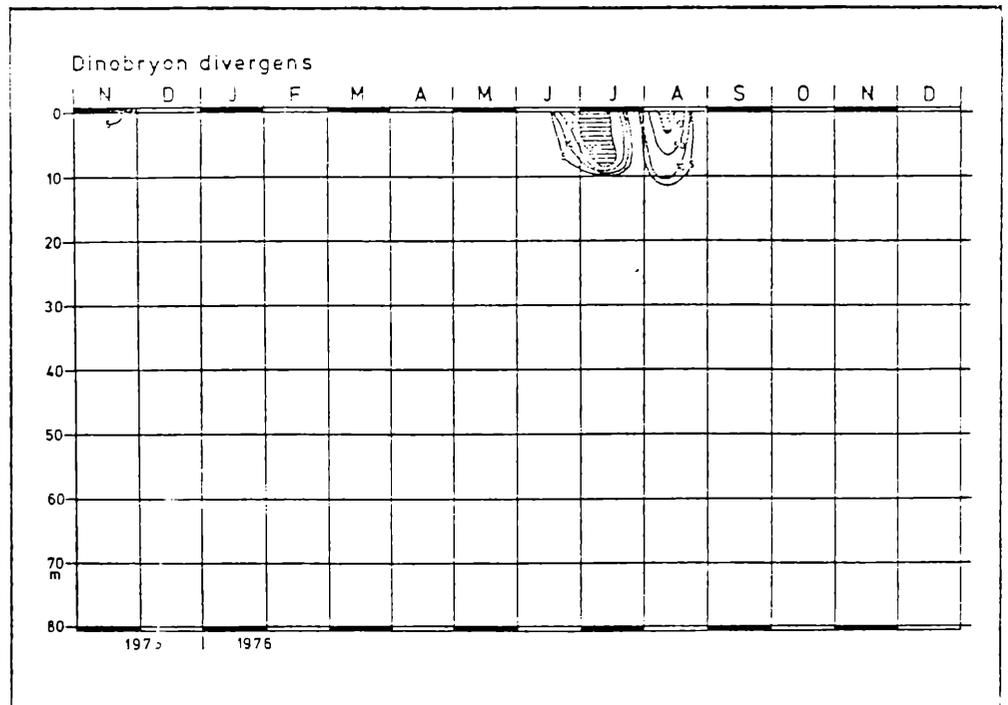


Abb. 14: Zeit-Tiefenverteilung
von Chrysochromulina parva im
Ammersee

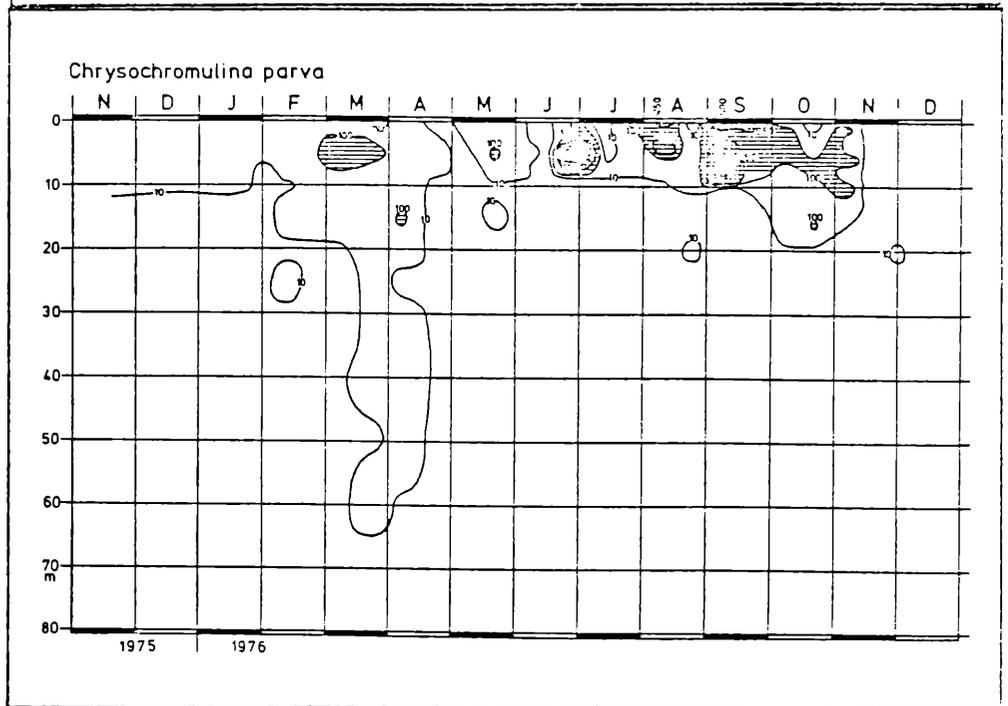
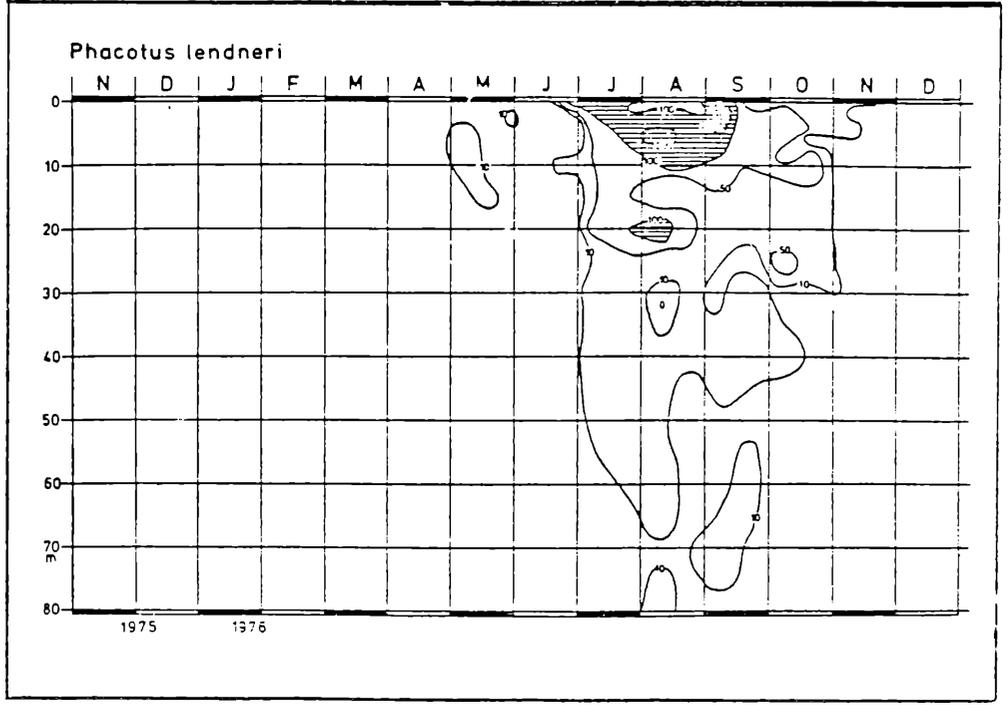


Abb. 15: Zeit-Tiefenverteilung
von Phacotus lendneri im Ammer-
see



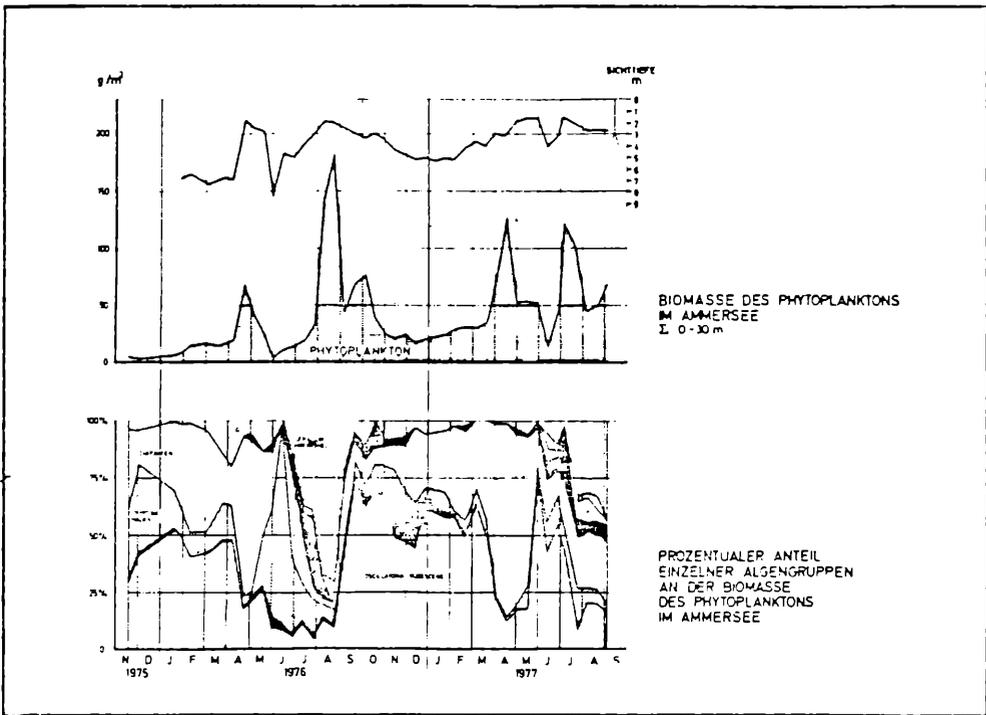


Abb. 16: Phytoplanktonstudie

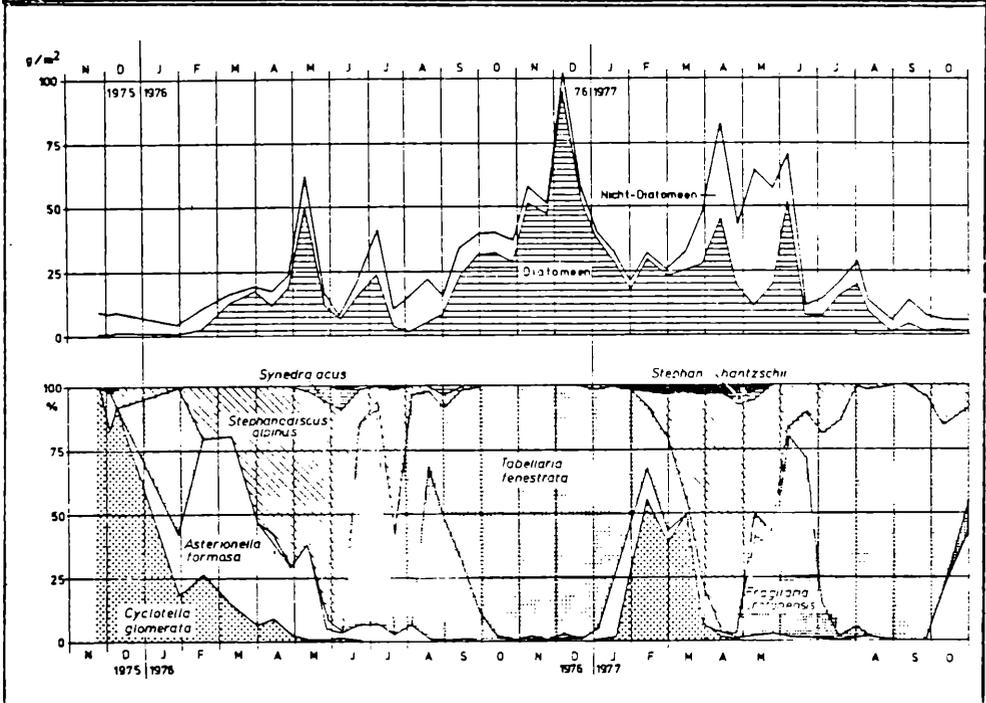


Abb. 17: Phytoplanktonsuccession im Walchensee

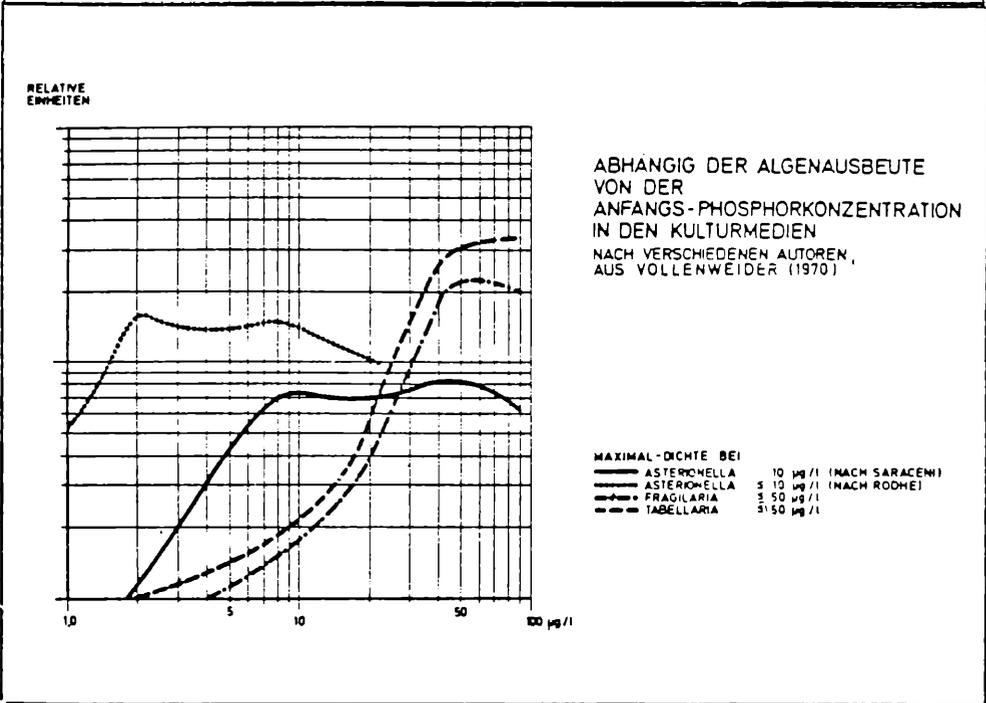


Abb. 18: Phosphoranforderungen verschiedener Diatomeen

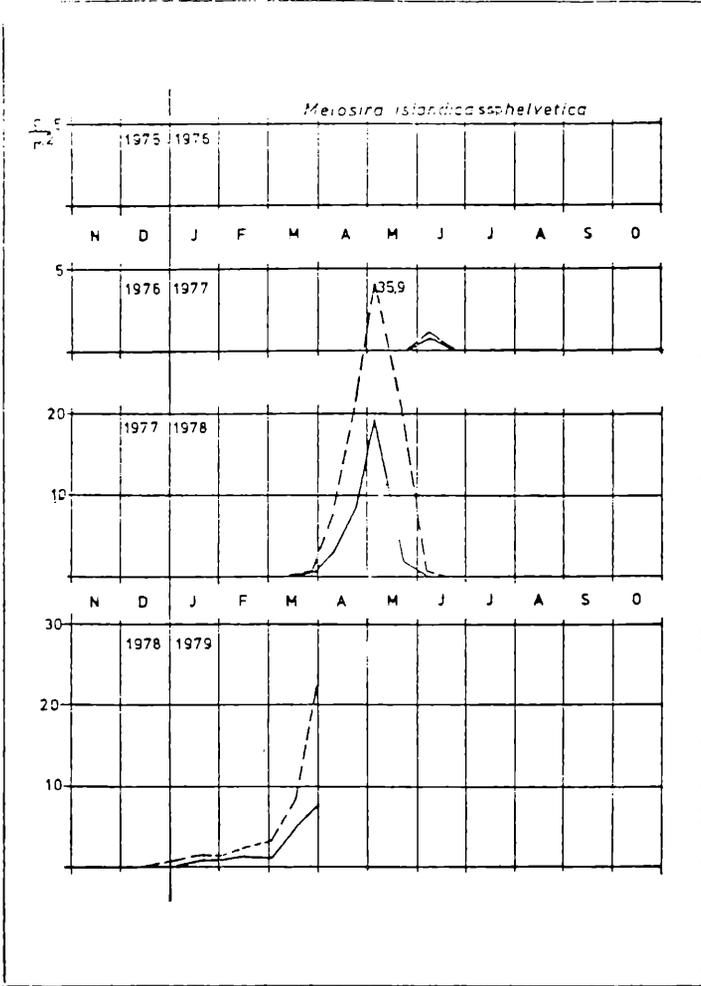


Abb. 19: Biomasse von *Melosira islandica* ssp. *helvetica* im Walchensee

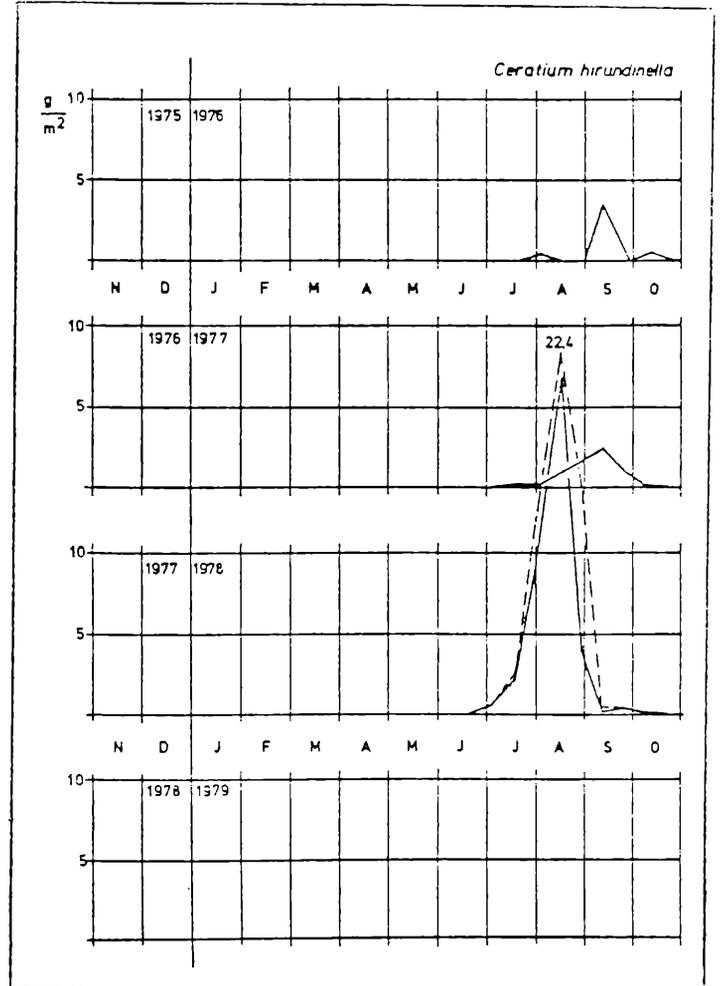
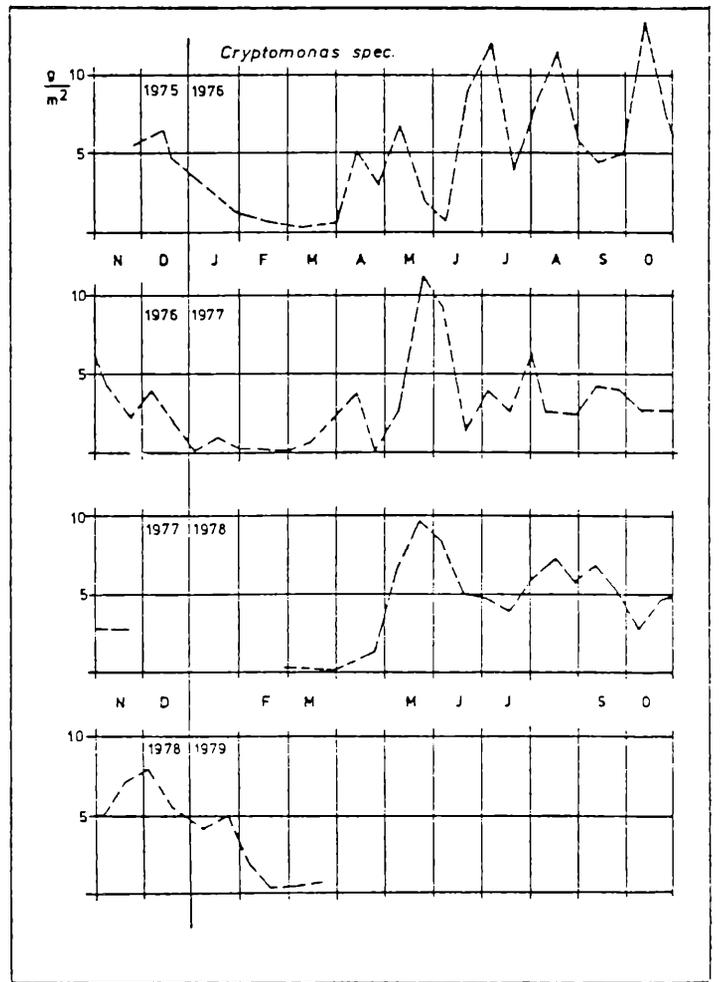
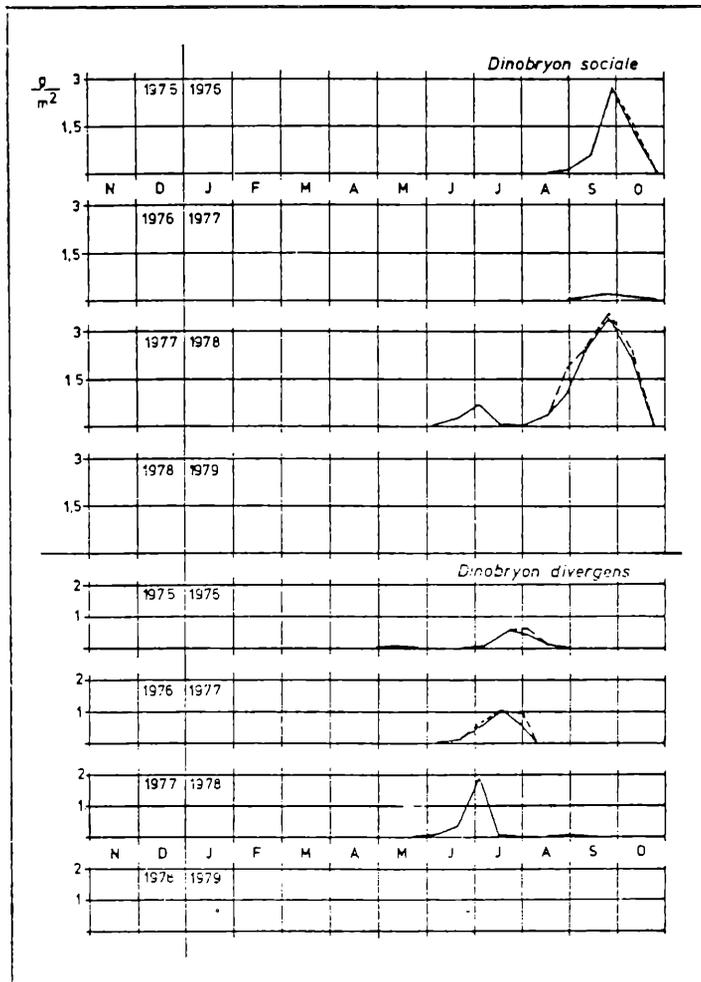


Abb. 20: Biomasse von *Ceratium hirundinella* im Walchensee



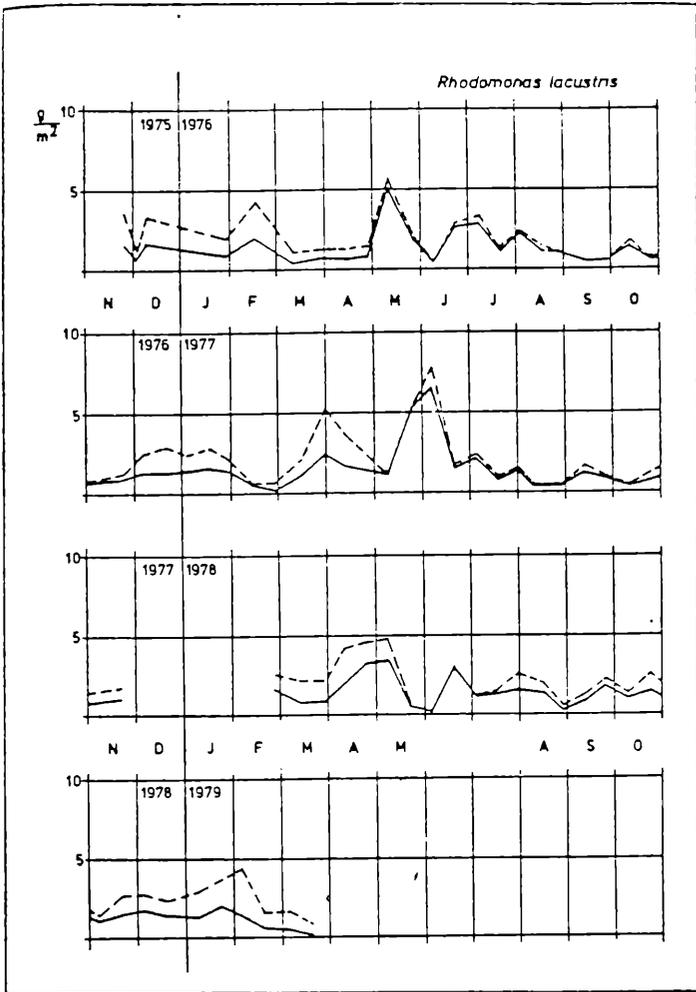


Abb. 23: Biomasse von *Rhodomonas lacustris* im Walchensee

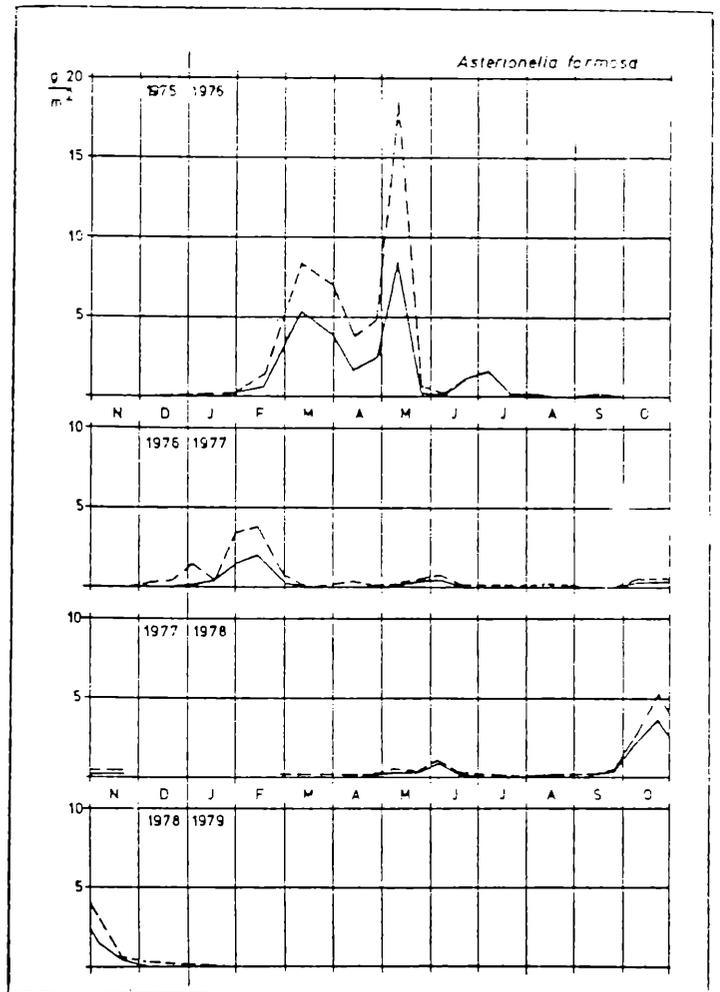


Abb. 24: Biomasse von *Asterionella formosa* im Walchensee

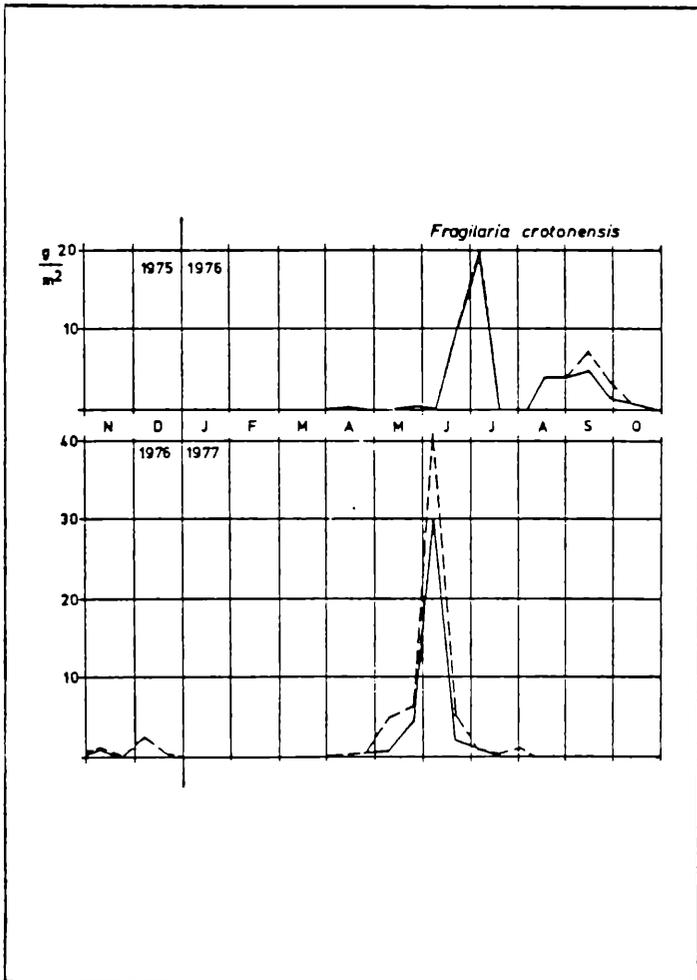
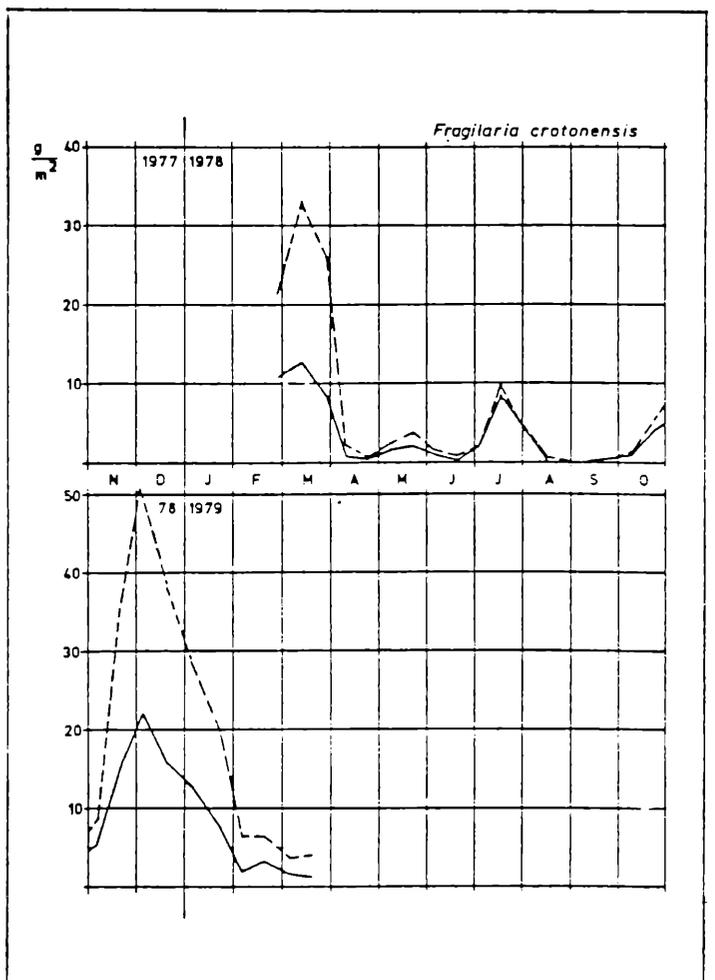


Abb. 25 a: Biomasse von *Fragilaria crotonensis* im Walchensee



25 b: siehe 25 a

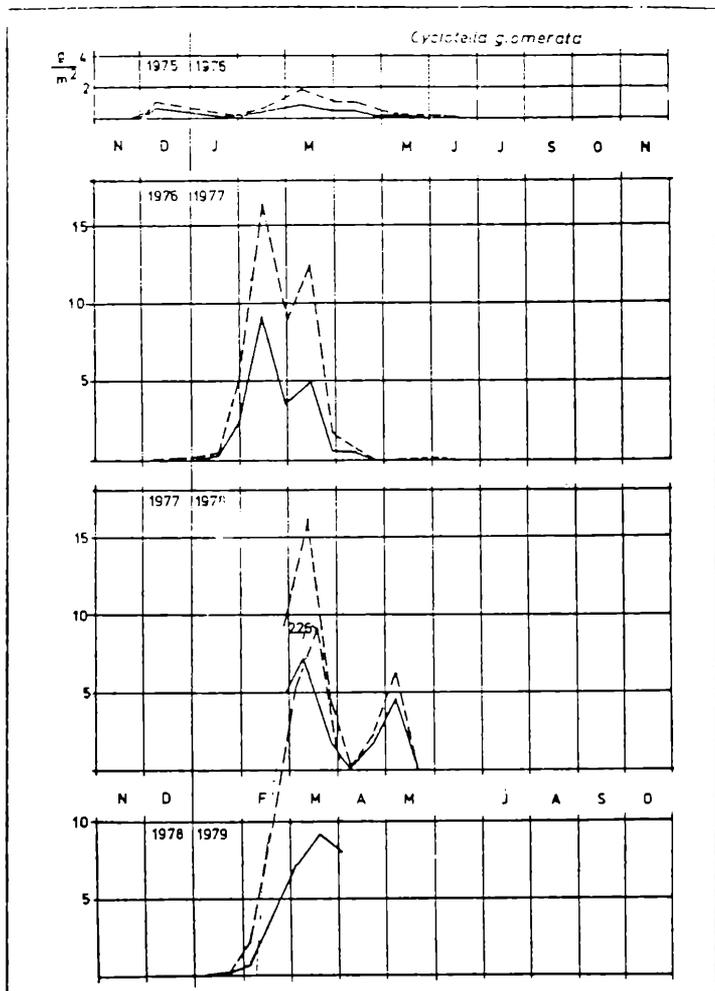


Abb. 26: Biomasse von *Cyclotella glomerata* im Walchensee

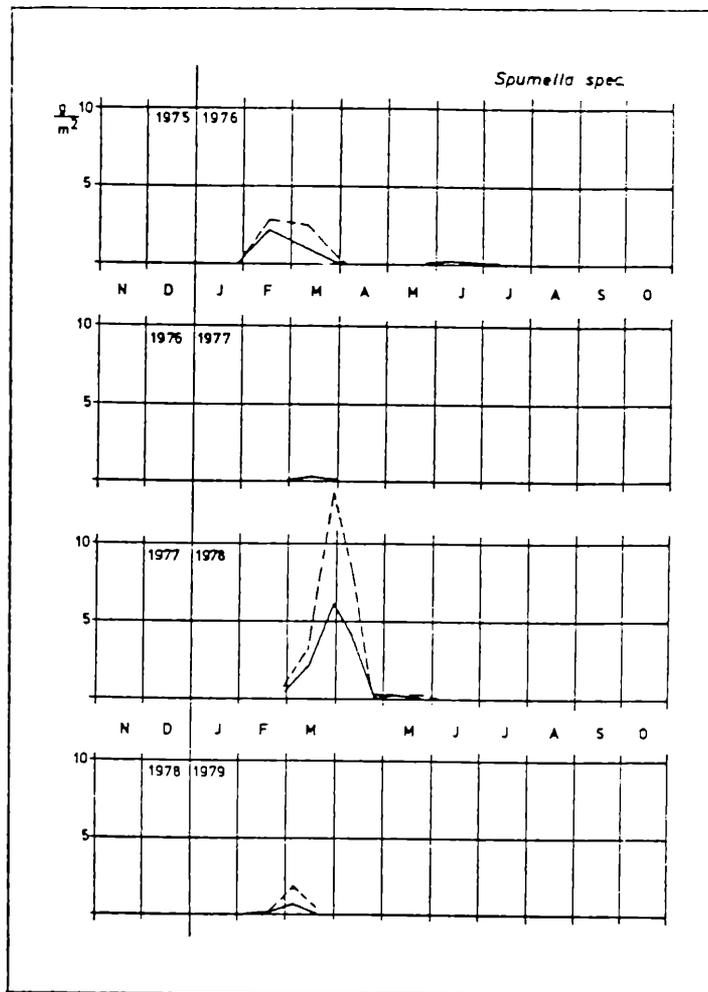
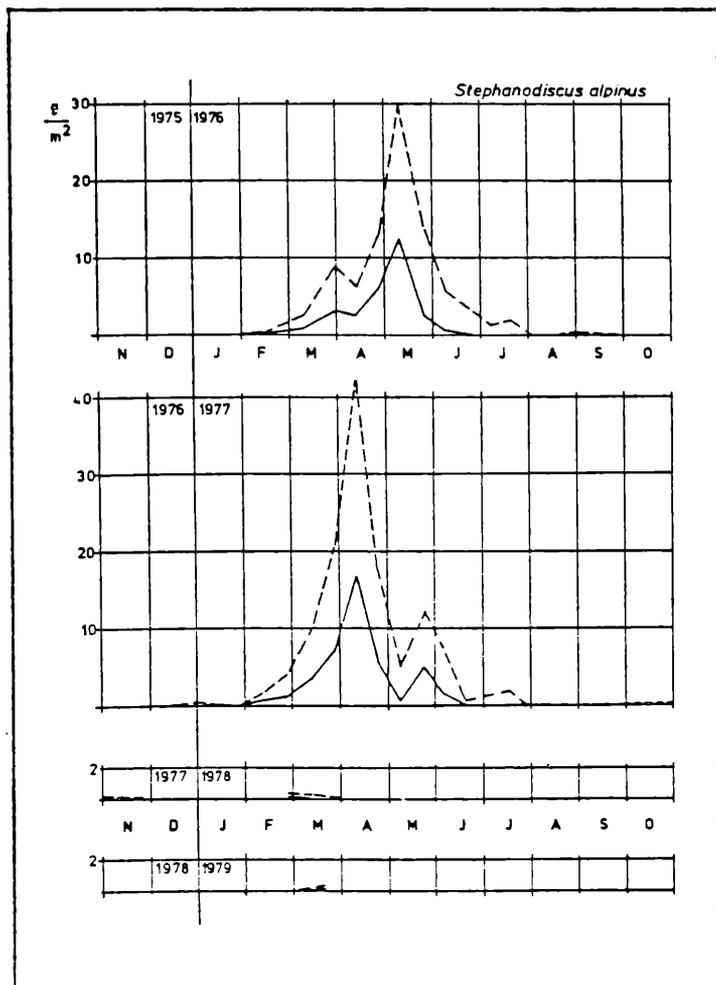


Abb. 27: Biomasse von *Spumella spec.* im Walchensee



Biomasse von
im Walchensee

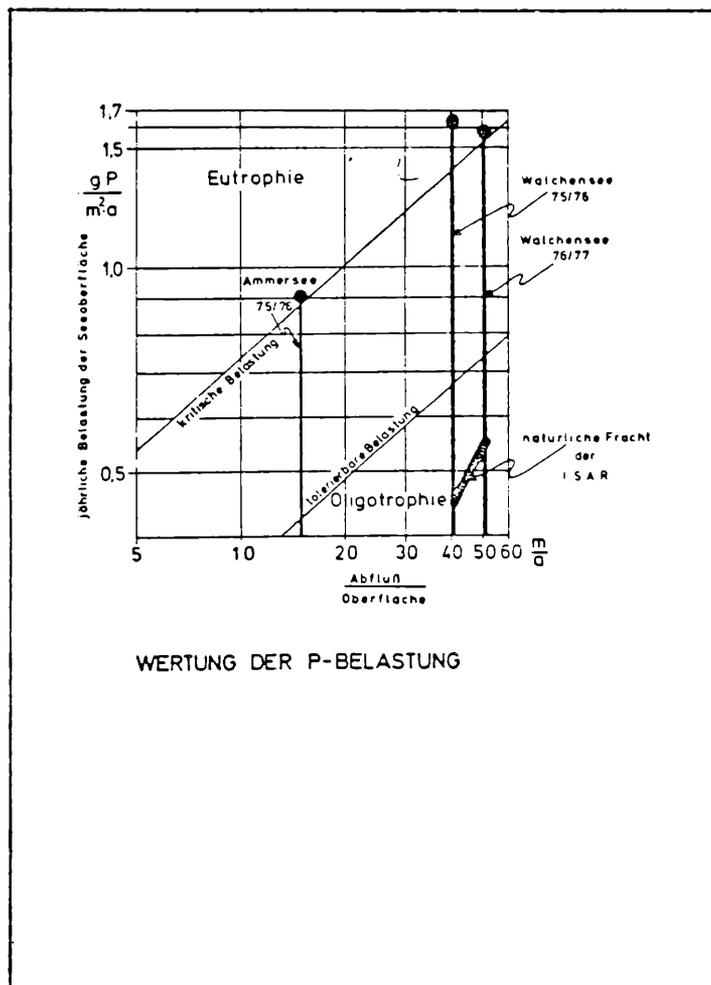


Abb. 29: Wertung der P-Belastungen in Ammer- und Walchensee durch die Hauptzuflüsse

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Laufener Spezialbeiträge und Laufener Seminarbeiträge \(LSB\)](#)

Jahr/Year: 1979

Band/Volume: [3_1979](#)

Autor(en)/Author(s): Steinberg Christian

Artikel/Article: [PHYTHOPLANKTON ALS BIOINDIKATOR FÜR DEN TROPHISCHEN ZUSTAND VON SEEN 83-116](#)