Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie, Kiel 1977 (1978):

Untersuchungen zum Stoffhaushalt des Plußsees

Dieter Albrecht, Uwe Münster, Hans-Henning Stabel

Vertical profiles of dissolved inorganic nutrients (PO_4^{3-}, NH_4^+, NO_3^-), temperature and oxygen were determined as well as dissolved organic carbon (^{4}DOC, ^{3}TOC) for one year in weekly distances (April 1976 to June 1977). The concentrations of the inorganic constituents in the highly eutrophic Plußsee are closely related to the temperature isolines or show inverse relationships. The amounts of dissolved organic carbon vary between 5 and 20 mg C/l (May and July 1976), comprising rather complex relationships to microbiological activities.

1. Einleitung

Der Plußsee bei Plön ist ein kleines Waldhumusgewässer mit einem Areal von 13.5 ha, einer Maximaltiefe von 28 m, einer mittleren Tiefe von 9.4 m und einem Volumen von 1.2×10^6 m^3. Der See ist, wie alle norddeutschen Seen glazialen Ursprungs, aus dem Abschmelzen eines Toteisblocks entstanden. Dies hat seine Morphologie bestimmt, ein trichterförmiges Seebecken mit steil abfallenden Uferböschungen. KRAMBECK (1974) beschreibt die Beckenmorphologie sehr anschaulich in einer Isobathenkarte. Die den See umgebenden Hügel sind bewaldet, wodurch die Angriffskraft des Windes auf die Seeoberfläche stark eingeschränkt wird. Dementsprechend ist die temperaturbedingte Schichtung des Wasserkörpers sehr stabil und der Austausch im Vertikalprofil gering (KRAMBECK 1974). Neben der autochthonen Produktion spielt der allochthone Energieeintrag in das Ökosystem durch große Mengen herbstlichen Fallaubs eine Rolle.

Diese und weitere Faktoren bedingen, daß der Plußsee ein stark geschichteter eutropher See mit jahreszeitlich unterschiedlichem Stoffhaushalt ist. Der See wird seit 1966 mit einem dichten Datennetz regelmäßig untersucht, Teilaspekte des Nährstoffhaushalts wurden in zahlreichen Publikationen abgehandelt, u.a. OHLE 1960, 1964, 1965, 1976a und b; OVERBECK 1971, 1972, 1975; ALBRECHT 1973; SCHMIDT 1977; STABEL u. MÜNSTER 1976; UNGEMACH 1961. Der folgende Beitrag soll die Dynamik des Stoffumsatzes am Beispiel einiger ausgewählter, gelöster Komponenten während eines Jahreszyklus beschreiben. Die biogenen Umsetzungen gelöster, anorganischer Bestandteile werden denen der gelösten organischen Substanzen gegenübergestellt.

2. Methoden

Von Juni 1976 bis Juli 1977 wurden an einer fest installierten Meßstation (etwa in der Mitte des Plußsees) wöchentlich Wasserproben entnommen. Die Wassertemperaturen wurden in situ mit Temperatursonden in 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 15, 20 und 25 m Tiefe automatisch registriert (vgl. KRAMBECK 1974).

Die Messung des gelösten Sauerstoffs erfolgte nach der Methode von WINKLER (Deutsche Einheitsverfahren 1975). NH_4^+, NO_3^-, und gelöstes o-Phosphat wurden mit einem Auto-Analyzer der Fa. Technicon, wie bei ALBRECHT u. OVERBECK (1969) beschrieben, bestimmt.

Gelöster organischer Kohlenstoff wurde im AutoAnalyzer als COD ("chemical oxygen demand") nach der Methode von WAGNER (1966) und daneben als TOC ("total organic carbon") zusammen mit dem gelösten anorganischen Kohlenstoff in einer halbautomatischen Verbrennungsapparatur der Fa. Heraeus nach dem Verfahren von MERZ (1975) erfaßt.

3. Ergebnisse und Diskussion

Bedingt durch die Geomorphologie der Umgebung und des Seebeckens wird im Plußsee alljährlich eine sehr regelmäßige Ausbildung der Temperaturschichtung beobachtet. So unterscheiden sich die Temperaturverhältnisse des Untersuchungszeitraumes nur unwesentlich von den langfristig registrierten Werten. Nach Eisaufbruch und Erwärmung im Frühjahr bildete sich rasch eine bis in den Herbst stabile Thermokline aus. Erst ab Mitte Dezember trat Vollzirkulation ein. Ab Mitte März bildete sich mit steigender Oberflächenerwärmung wieder eine Schichtung aus (Abb. 1).

Während der Stagnationsperiode entsteht ein etwa 5 m mächtiges Epilimnion, das etwa 44% des Seevolumens umfaßt. Während der relativ spät einsetzenden herbstlichen Vollzirkulation wird Sauerstoff in das anaerobe Hypolimnion des Sees eingetragen (Abb. 2), und an der Kontaktzone Sediment - Wasser entstehen aerobe Bedingungen. Die ungewöhnlich starke, vom Sediment her einsetzende Sauerstoffzehrung führt bereits Ende Mai erneut zum völligen Sauerstoffschwund im gesamten Hypolimnion ab 5 m Tiefe.

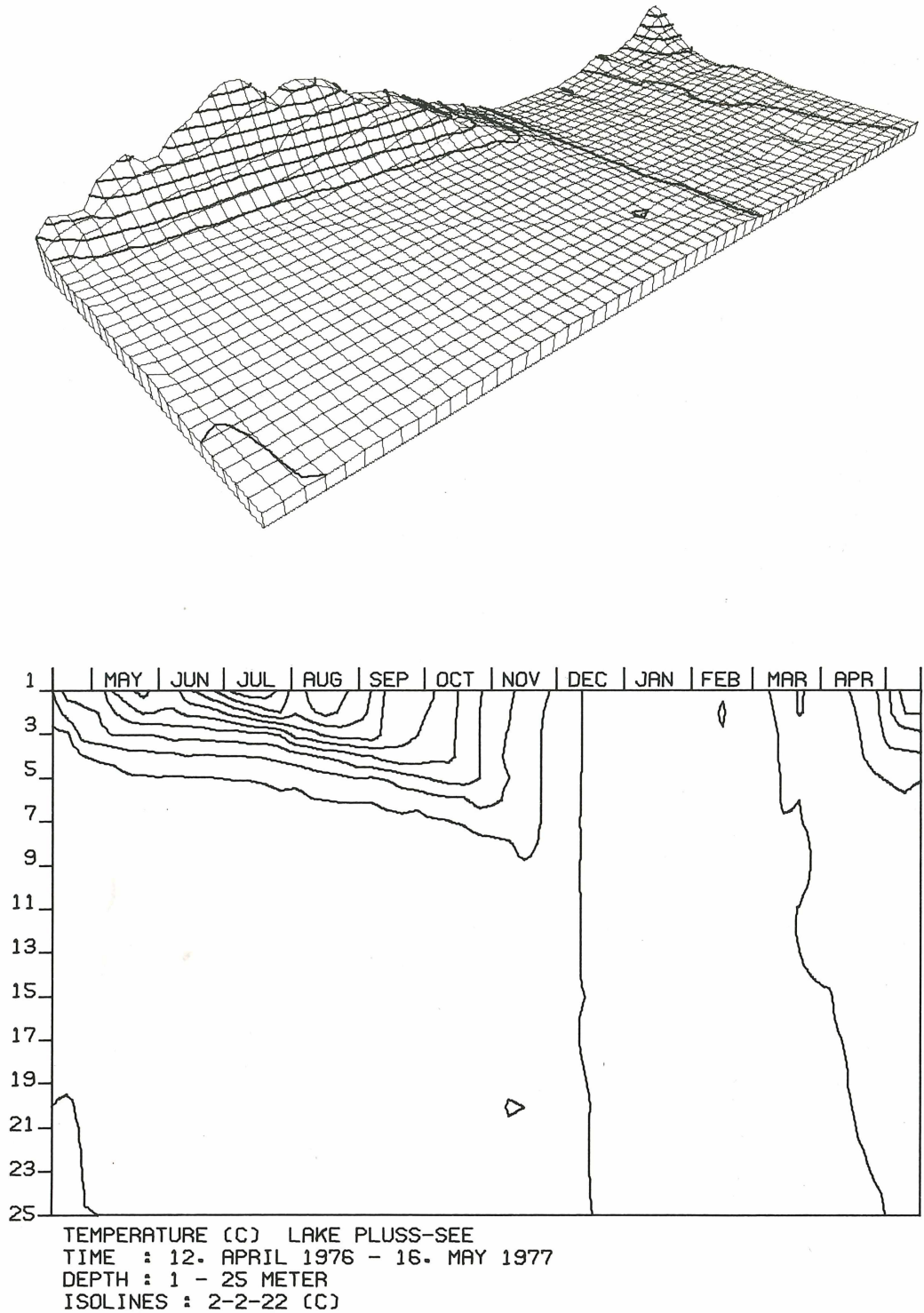
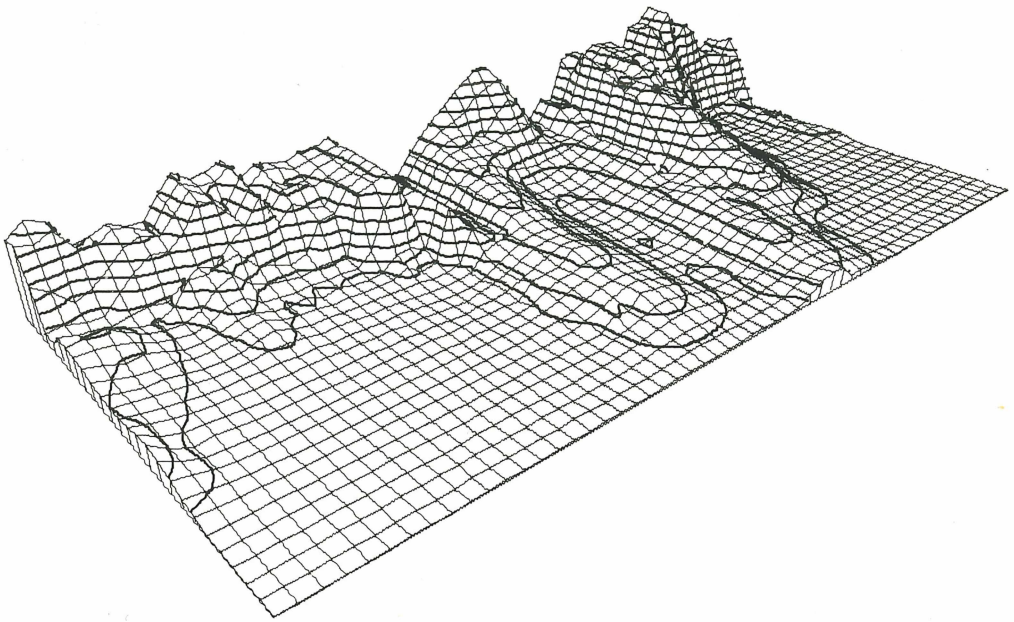
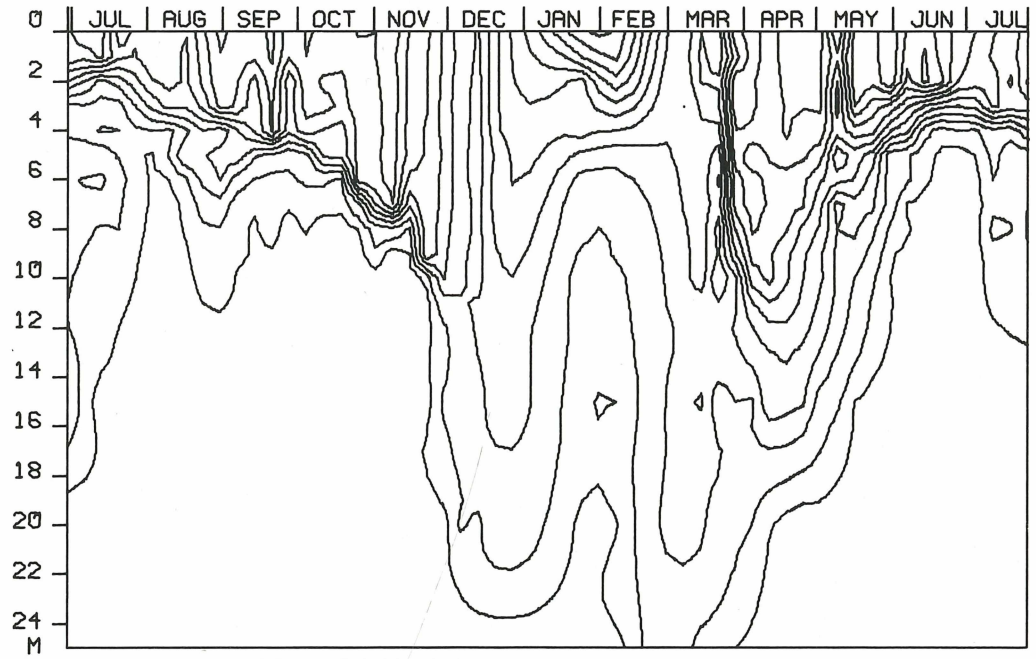


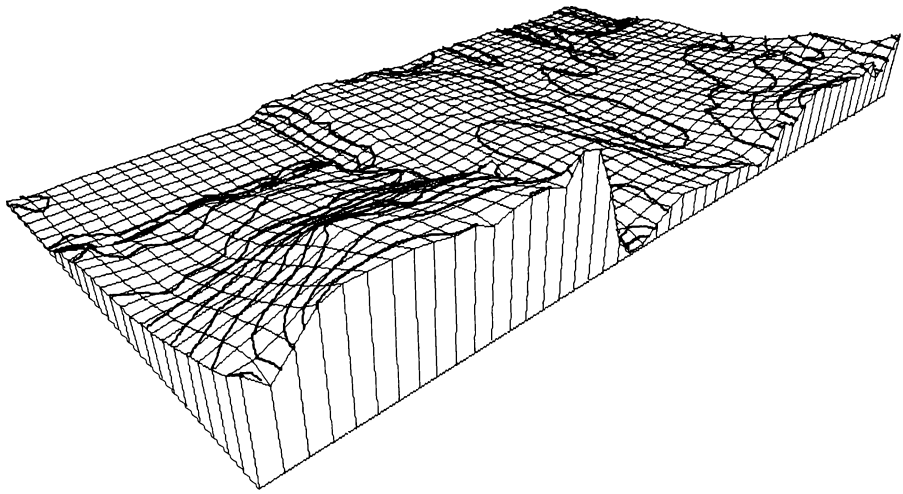
Abb. 1: Temperaturschichtung im Plußsee

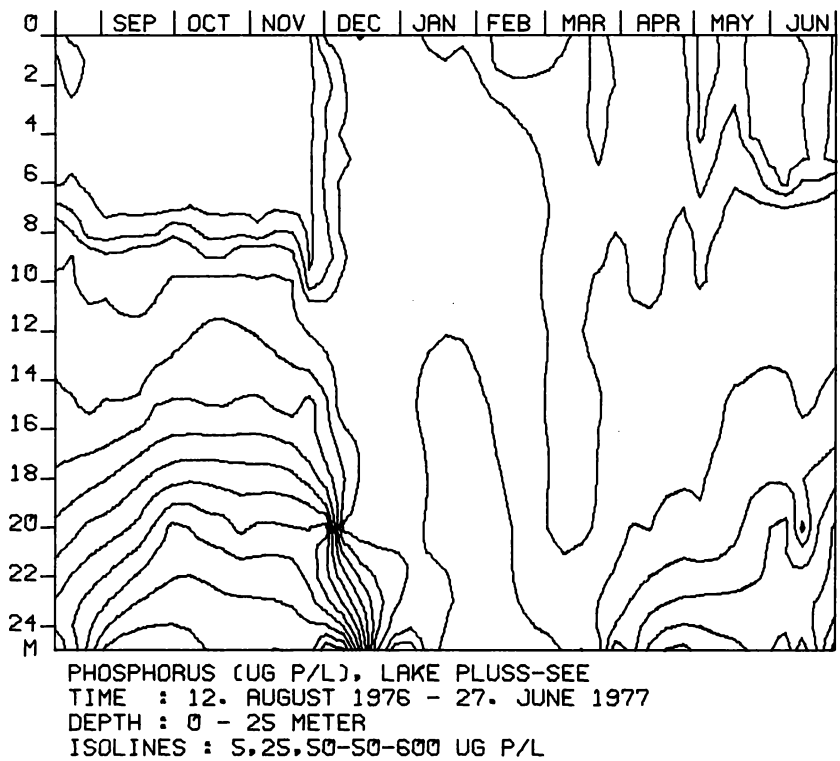




OXYGEN (MG O2/L), LAKE PLUSS-SEE
TIME : 28. JUNE 1976 - 25. JULY 1977
DEPTH : 0 - 25 METER
ISOLINES : 0.5,1.5-1.5-16.5 MG O2/L

Abb. 2: Sauerstoffverteilung im Plußsee





PHOSPHORUS (UG P/L), LAKE PLUSS-SEE
TIME : 12. AUGUST 1976 - 27. JUNE 1977
DEPTH : 0 - 25 METER
ISOLINES : 5,25,50-50-600 UG P/L

Abb. 3: Verteilung des gelösten o-Phosphats

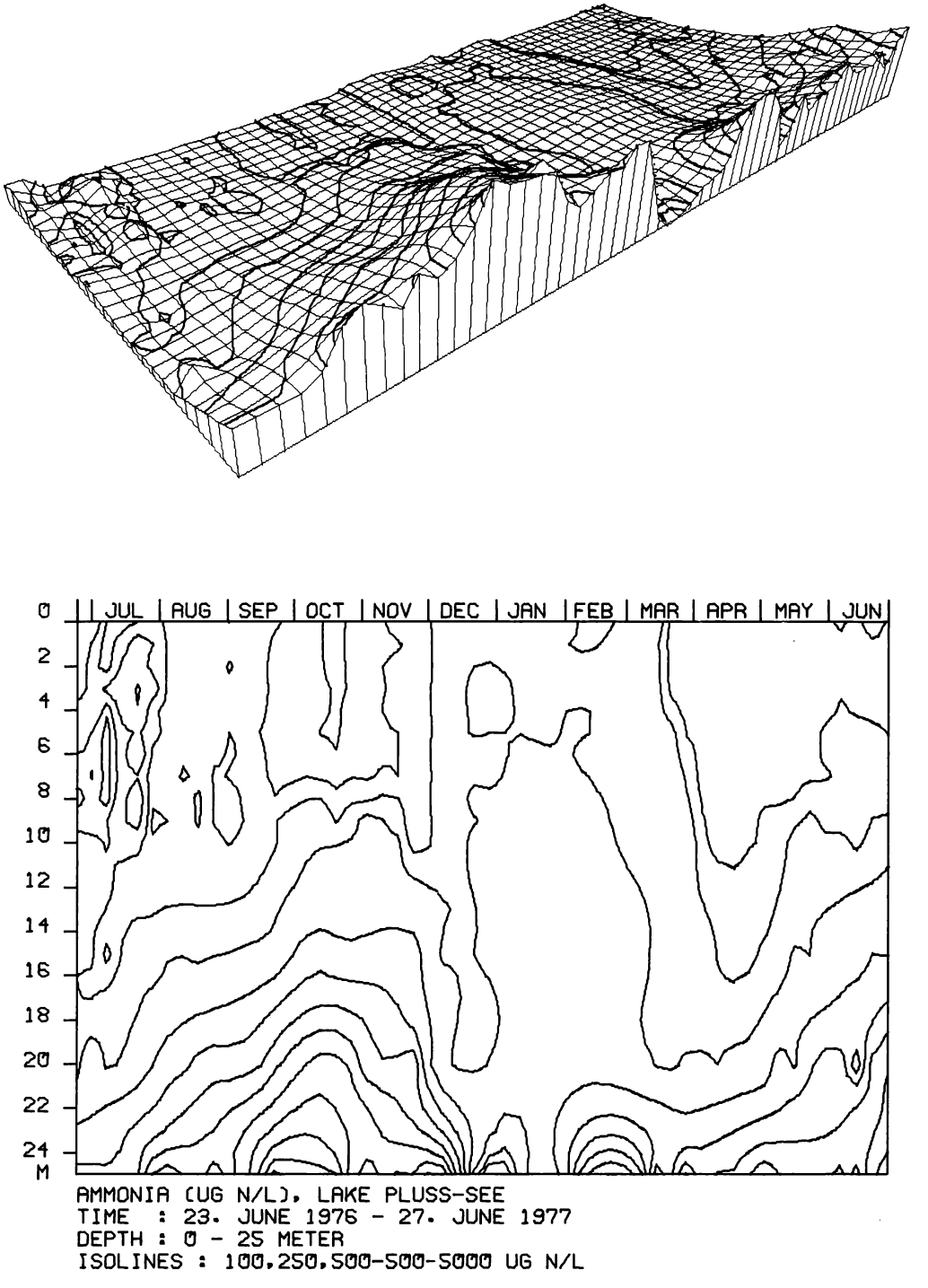


Abb. 4: Ammoniumkonzentrationen im Plußsee

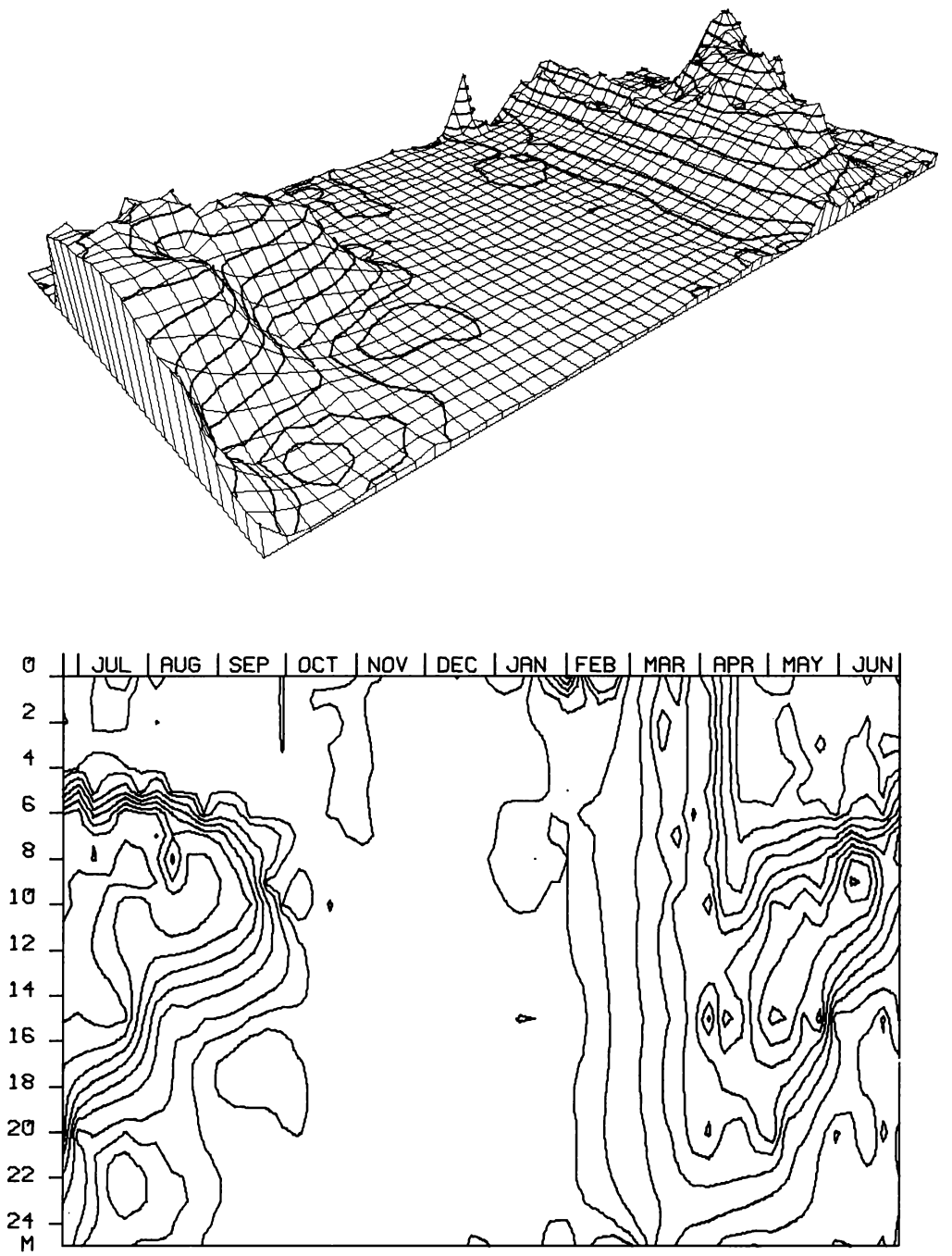


Abb. 5: Nitratverteilung im Plußsee

Abbildung 3 zeigt die Veränderungen der o-Phosphat-Konzentrationen im Plußsee im Untersuchungszeitraum. Mitte August ist das Epilimnion praktisch frei von gelöstem anorganischen Phosphat. Im Metalimnion (6-9 m) stellt sich ein scharfer Gradient ein, und im Hypolimnion befinden sich mit zunehmender Wassertiefe steigende Konzentrationen, die an der Sediment-Wasser-Kontaktzone bis 650 µg PO_4-P/l erreichen. Diese hohen, auf die anaerobe Rückführung von im Sediment gebundenem Phosphat zurückgehenden Mengen werden allerdings nur im untersten Teil des trichterförmigen Wasserkörpers angetroffen. Die extrem stabile Schichtung des Phosphat-Ions wurde erst Ende Dezember völlig aufgehoben. Bei Totaldurchmischung wurden in der gesamten Wassersäule etwa 80 µg P/l gemessen. Doch bereits im Februar nimmt mit beginnender Phytoplanktonproduktion der P-Gehalt der oberen Wasserschichten allmählich ab, bis mit Ausbildung der Sprungschicht im Mai 1977 eine deutliche Zehrung infolge starker biogener Verwertung festzustellen ist.

Die Fluktuation des Ammonium-Ions im Jahresverlauf verläuft in groben Zügen ähnlich der des o-Phosphats (Abb. 4). Vom Sediment her füllt sich das Hypolimnion mit zunehmender Dauer der Schichtung auf, wobei am Ende der Stagnationsperiode bis zu 5 mg/l an der Kontaktzone Sediment - Wasser gemessen werden. Zur gleichen Zeit findet man im aeroben Teil der Wassersäule nur etwa 40 µg NH_4-N/l. Im Juli trat im Epi- und Metalimnion eine geringe Menge Ammonium auf, wahrscheinlich bedingt durch eine starke Entwicklung des Phytoplanktons. Nach der Totaldurchmischung im Dezember verbleiben in der Wassersäule etwa 450 µg NH_4-N/l nahezu homogen verteilt. Dieser Vorrat wird in den oberen Wasserschichten schnell verbraucht; mit zunehmender Erwärmung sinkt die Ammonium-Konzentration im Epilimnion bereits im April auf Werte unter 50 µg N/l. Dagegen erfolgt durch anaeroben Eiweißabbau in der Sedimentnähe schon vom Februar an eine zunehmende Auffüllung des Hypolimnions.

Durch biogene Prozesse ist das Nitrat-Ion eng mit dem Ammonium-Ion verbunden (Abb. 5). Während der Sommerstagnation ist das Epilimnion relativ arm an Nitrat (etwa 10-20 µg NO_3-N/l). Ein sehr steiler Gradient zwischen Metalimnion und Hypolimnion tritt bereits ab Mitte April auf.

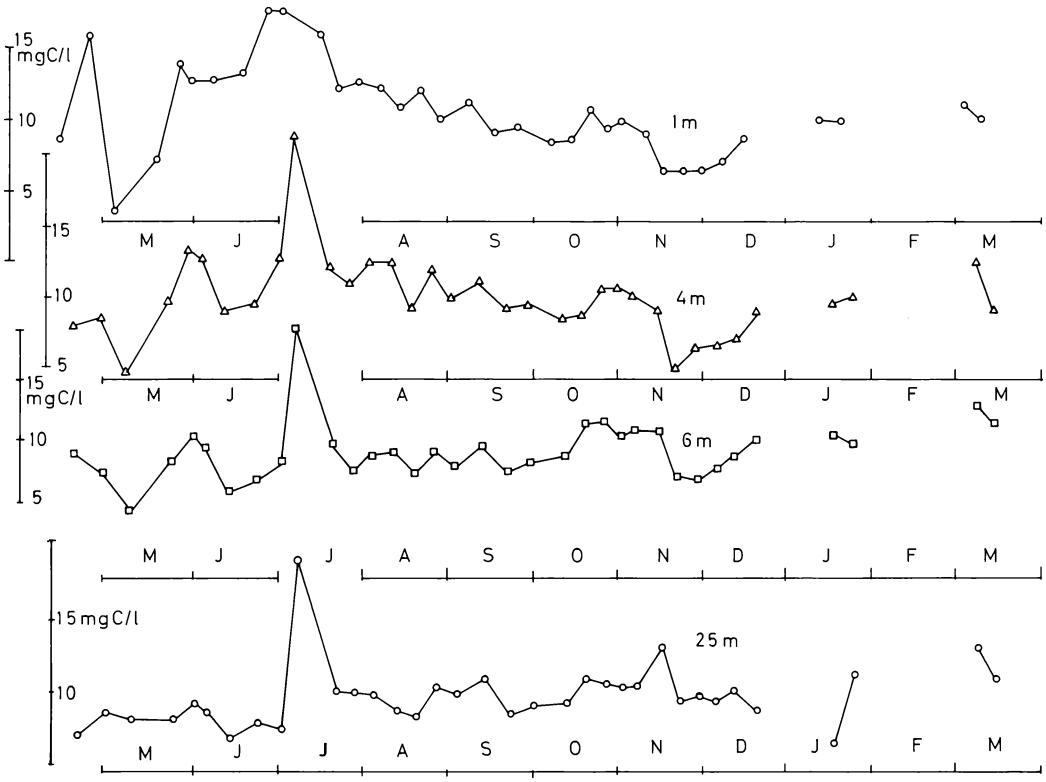


Abb. 6: Konzentrationen des gelösten organischen Kohlenstoffs in ausgewählten Wasserschichten im Jahresverlauf (gemessen als COD)

Vom Sediment her wird das Nitrat ab April allmählich durch Denitrifikation verbraucht. Daher enthalten im August und September nur das Metalimnion und die obersten Schichten des Hypolimnions nennenswerte Mengen an Nitrat (vgl. Abb. 10 u. 11 bei OVERBECK 1968). Die Wiederauffüllung des Sees mit Nitrat-Ionen kann nach dem Eisaufbruch grundsätzlich auf zwei verschiedenen Wegen erfolgen: Ende Januar wurde dem See von außen her durch Niederschläge und Schmelzwasser oberflächlich Nitrat zugeführt. Mit der Frühjahrszirkulation (März 1977) wird daneben genügend Sauerstoff in den Wasserkörper zur Nitrifikation des Ammoniums eingetragen.

Für die Stoffwechseldynamik der hier abgehandelten wichtigsten anorganischen gelösten Nährstoffe des Phytoplanktons im Plußsee haben neben abiotischen Faktoren wie Temperatur und Sauerstoff biogene Umsetzungen eine hervorragende Bedeutung. Der Verbrauch kann sehr schnell erfolgen, so daß die Nährstoffmengen großen Schwankungen unterworfen sind, und die gemessenen Konzentrationen nicht die Dynamik der Prozesse widerspiegeln. Die hier vorgelegten Daten zeigen, daß der Plußsee als ein eutropher, stark geschichteter See im Sommer ein Phosphatlimit aufweist (vgl. VOLLENWEIDER 1970).

Die Konzentrationsgradienten der gelösten organischen Verbindungen im Vertikalprofil sind viel geringer als die der anorganischen Stoffe. Die gelösten organischen Verbindungen setzen sich bekanntlich aus einer sehr großen Zahl chemisch sehr verschiedener Verbindungen zusammen, deren ökologische Bedeutung unterschiedlich ist. Dennoch wird in der limnologischen Literatur häufig der Versuch gemacht, ökologische Funktionen des gelösten Kohlenstoffs mit der Bakterienaktivität in Zusammenhang zu bringen. Die wenigen, bisher publizierten Untersuchungen zur Vertikalverteilung des gelösten organischen Kohlenstoffs im Jahreszyklus lassen jedoch erwartungsgemäß nur gelegentlich Beziehungen zwischen gelöstem organischen Kohlenstoff und Organismenaktivität erkennen.

In Abb. 6 sind die Kohlenstoffmengen aus 1 m, 4 m, 6 m und 25 m Wassertiefe im Jahresverlauf aufgetragen. Die gewählten Wassertiefen charakterisieren die biologisch und chemisch verschiedenen Bereiche (1 und 4 m = Epilimnion, 6 m = Metalimnion, 25 m = Hypolimnion). Die jahreszeitlichen Schwankungen liegen zwischen etwa 5 und 20 mg C/l. Die einander entsprechenden Extremwerte treten synchron in der gesamten Wassersäule des Sees auf. Während der Sommerstagnation wurde in allen vier Wasserzonen ein fast konstanter Anteil an gelöstem organischem Kohlenstoff gemessen.

Auch die in Abb. 7 dargestellten Vertikalprofile des gelösten organischen Kohlenstoffs weisen nur geringe Konzentrationsschwankungen auf. In Andeutung sind Beziehungen zur Primärproduktion vorhanden (vgl. die Kurve vom 20.7.77 in Abb. 7).

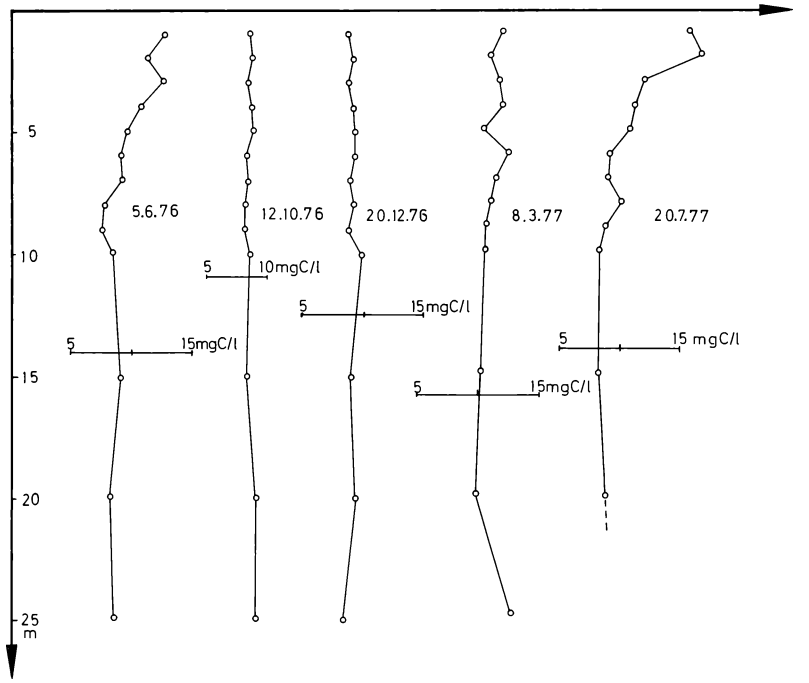


Abb. 7: Schwankungen des COD in einigen ausgewählten Vertikalprofilen
in einigen ausgewählten Vertikalprofilen

An einigen Meßtagen wurden Profile des gelösten organischen Kohlenstoffs nach Totalverbrennung zu CO_2 und nachfolgender titrimetrischer Absorptionsphotometrie als TOC ("total organic carbon") aufgenommen. In der Darstellung eines Vertikalprofils vom 13.7.1977 (Abb. 8) verlaufen die Kurven zwischen anorganischem und organischem Kohlenstoff nahezu gegenläufig. Im Gegensatz dazu verhält sich im Epilimnion der gelöste organische Kohlenstoff nahezu parallel zur Produktionskurve (Abb. 9). Im Metalimnion entspricht ein Minimum an organischem Kohlenstoff einem Maximum an CO_2, ein Zeichen für die hohe mikrobiologische Aktivität in diesem Bereich. Eine analoge Umwandlung von organischem Material in CO_2 läßt auch der deutliche Peak in 15 m Wasertiefe erkennen.

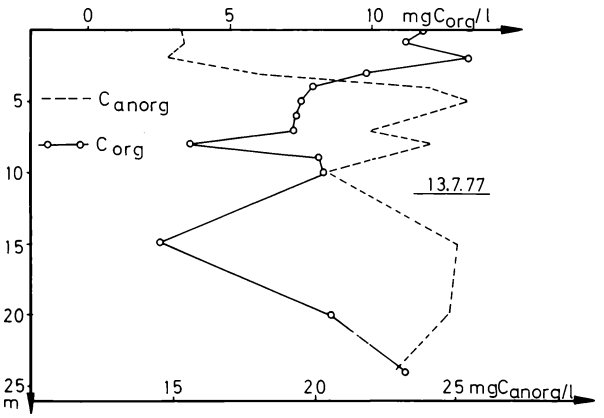


Abb. 8: Gelöster organischer und anorganischer Kohlenstoff (13.7.1977)

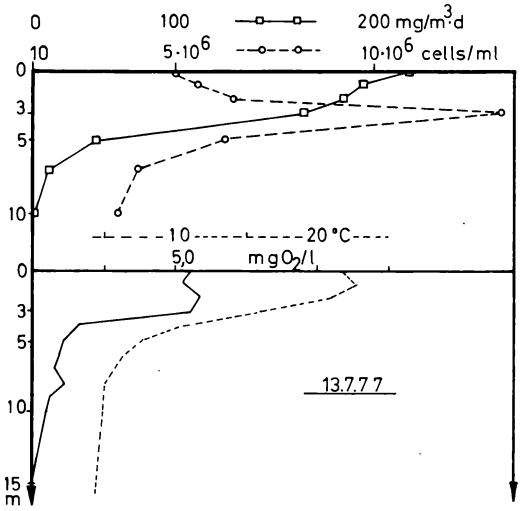


Abb. 9: Produktion, Zellzahl von *Oscillatoria redekei*, Sauerstoff und Temperatur im Plußsee (13.7.1977)

Nach den hier gezeigten Daten ist die Dynamik der gelösten organischen Substanzen im Plußsee noch keineswegs erfaßt. Erst durch Anwendung neuerer analytischer Methoden erhoffen wir, weitere Einzelheiten des Stoffumsatzes zu erfahren. Einige allgemeine Aussagen über den organischen Kohlenstoff lassen sich jedoch aus den Analysen ableiten: Die Konzentrationen schwanken, wie betont, weder im Jahresverlauf noch innerhalb eines Profils in dem Maße wie die anorganischen Komponenten. Stets sind meßbare Konzentrationen an organischem Kohlenstoff im Plußsee vorhanden, so daß für heterotrophe Umsetzungen der Bakterien immer genügend Substanzen zur Verfügung stehen sollten, wobei es jedoch kaum berechtigt ist, die Fülle der organischen Verbindungen pauschal zu betrachten. Zonen starker bakterieller Aktivität sind durch einen hohen CO_2-Gehalt ausgezeichnet, gelöste organische Verbindungen und CO_2 sind hier gegenläufig.

Danksagung

Für die Erstellung der Computergrafiken danken wir Herrn Dr. H.-J. Krambeck und Herrn G. Kobischke, Herrn Prof. Overbeck für die kritische Durchsicht des Manuskriptes.

Literatur

ALBRECHT D., 1973: Verbesserte Methoden zur automatischen Wasseranalyse in der Limnologie. Vom Wass. 41: 129-135.

- , OVERBECK J., 1969: Wasseranalysen in der Limnologie mit Hilfe des Technicon AutoAnalyzers. Technicon Wasserkolloquium, Bad Nauheim 1969, Sdnr. R 855: 1-15.

KRAMBECK H.-J., 1974: Energiehaushalt und Stofftransport eines Sees - Beispiel einer mathematischen Analyse limnologischer Prozesse. Arch. Hydrobiol 73: 137-192.

MERZ W., 1975: Bestimmung des TOC-Gehaltes in Trink-, Fluß- und Abwasser. GIT Fachz. f.d. Laborat. 19: 293-301.

OHLE W., 1960: Die Seen Schleswig-Holsteins, ein Überblick nach regionalen, zivilisatorischen und produktionsbiologischen Gesichtspunkten. Jb. Vom Wass. 26: 16-41.

- 1964: Interstitiallösungen der Sedimente, Nährstoffgehalt des Wassers und Primärproduktion des Phytoplanktons in Seen. Helgoländer wiss. Meeresunters. 10: 411-429.

- 1965: Primärproduktion des Phytoplanktons und Bioaktivität holsteinischer Seen, Methoden und Ergebnisse. Limnologiesymposium (1964): 24-43.

- 1976a: Grenzen der Produktivität und optimale Nutzung holsteinischer Seen. Vom Wass. 47: 3-37.

- 1976b: General considerations on environmental problems of lakes. In: Science for better environment. - Proceedings of the International Congress of the Human Environment (HESC). Kyoto 1976: 383-390.

OVERBECK J., 1968: Bakterien im Gewässer - ein Beispiel für die gegenwärtige Entwicklung der Limnologie. Mitt. Max-Planck-Ges. Förd. Wiss. 3: 165-182.

- 1971: Distribution pattern of phytoplankton and bacteria, microbioal decomposition of organic matter and bacterial production in eutrophic, startified lake. In (Ed. A. Hillbricht-Ilkowska and Z. Kajak): Proceedings of the IBP-UNESCO Symposium on Productivity Problems of Freshwaters. (Kazimierz Dolny/ Poland 1970): 227-237.

- 1972: Experimentelle Untersuchungen zur Bestimmung der bakteriellen Produktion im See. Verh. Int. Ver. Limnol. 18: 176-187.

- 1975: Distribution pattern of uptake kinetic responses in a stratified eutrophic lake (Plußsee ecosystem study IV). Verh. Int. Ver. Limnol. 19: 2600-2615.

SCHMIDT W.D., 1976: Zur Biologie der Eisenbakterien - *Siderocapsa geminata* - *Leptothrix echinata* - des Plußsees. Diplomarbeit: 135 S.

STABEL H.-H., MÜNSTER U., 1977: On the structure of soluble organic substances in sediments of Lake Plußsee. In (Ed. H.L. Golterman): Proceedings of the SIL-UNESCO Symposium "Interactions between sediments and freshwater". Den Haag and Wageningen (Junk and Pudoc): 156-161.

UNGEMACH H., 1960: Sedimentchemismus und seine Beziehung zum Stoffhaushalt in 40 europäischen Seen. Diss. Kiel: 420 S.

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. O.E.C.D. Report (Paris): 159 S.

Adressen

Chem.-Ing. Dieter Albrecht, Dipl.-Chem. Uwe Münster, Dr. Hans-Henning Stabel
Max-Planck-Institut für Limnologie, Abteilung Allgemeine Limnologie
August-Thienemann-Str. 2, D-2320 Plön

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie

Jahr/Year: 1978

Band/Volume: 7_1978

Autor(en)/Author(s): Albrecht Dieter, Münster Uwe, Stabel Hans-Henning

Artikel/Article: Untersuchungen zum Stoffhaushalt des Plußsees 109-118