

Internationale Gewässerschutzkommission
für den Bodensee

Institut für Seenforschung
Langenargen
-Bibliothek-

Jahresbericht über den limnologischen Zustand des Bodensees

Nr. 2

Der limnologische Zustand des Freiwassers
von Januar 1975 bis März 1976

schöner



Jber. Int. Gewässerschutz Komm. Bodensee: Limnol. Zust.
Bodensee, 2 (1977)

INTERNATIONALE GEWÄSSERSCHUTZKOMMISSION FÜR DEN BODENSEE

JAHRESBERICHT ÜBER DEN LIMNOLOGISCHEN ZUSTAND DES BODENSEES

Nr. 2

DER LIMNOLOGISCHE ZUSTAND DES FREIWASSERS

VON JANUAR 1975 BIS MÄRZ 1976

Kiefer

BERICHT DER ARBEITSGRUPPE "FREIWASSER" DER KOMMISSION

KARLSRUHE 1977

MITGLIEDER DER ARBEITSGRUPPE "FREIWASSER" DER INTERNATIONALEN GEWÄSSERSCHUTZKOMMISSION FÜR DEN BODENSEE :

Prof. Dr. Heinz Ambühl, Dübendorf

Dipl. Sc.nat. Heinrich Bühler, Dübendorf

Dr. Hans-Rudolf Bürgi, Dübendorf

Dr. Ulrich Einsle, Konstanz

Dr. Hubert Lehn, Konstanz

Dr. Hanno Rossknecht, Langenargen

Dr. Wolfgang Schmitz, Karlsruhe, Koordinator

Dr. Roland Schröder, Insel Reichenau

Dr. Gustav Wagner, Langenargen

DURCHFÜHRUNG DER UNTERSUCHUNGEN

Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasser-
reinigung und Gewässerschutz (EAWAG), Dübendorf,
Abteilung Limnologie: Phytoplanktonuntersuchungen und
hygienisch-bakteriologische Untersuchungen des Unter-
sees, chemische Analytik und hygienisch-bakteriolo-
gische Untersuchungen der Station Hagnau-Münster-
lingen, Datenverarbeitung

Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg,
Institut für Seenforschung und Fischereiwesen,
Standort Konstanz: Terminfahrten und Messungen auf dem
Obersee, Phytoplankton- und Zooplanktonuntersuchun-
gen im Obersee und im Untersee

Standort Insel Reichenau: Terminfahrten und Messungen auf
dem Untersee, chemische Analytik der Unterseesta-
tionen und der Oberseestation Fischbach-Uttwil
bis August 1975

Standort Langenargen: Chemische Analytik der Obersee-
station Langenargen-Arbon und ab September 1975
auch Fischbach-Uttwil

Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg,
Institut für Wasser- und Abfallwirtschaft, Karlsruhe:
Spezielle analytische Arbeiten: organischer Kohlen-
stoff in Obersee und Untersee ohne Stationen Hagnau-
Münsterlingen und Überlingen), Datenverarbeitung

Laboratorium des Zweckverbandes Bodensee-Wasserversorgung:
Terminfahrten und Messungen auf dem Überlinger See,
chemische Analytik für die Untersuchungsstation Über-
lingen.

BERICHTSENTWURF UND -EDITION:

Dr. Wolfgang Schmitz

INHALT

	Seite	Abb.
EINLEITUNG	3	1
TEIL 1: BODENSEE-OBERSEE		
Witterung	5	2
Wasserstände	6	3
Thermik	6	4
Sauerstoff	7	5
Orthophosphat	9	6
Andere gelöste Phosphorverbindungen (ohne Orthophosphat)	10	
Nitrat	10	7
Kieselsäure	11	8
Anorganische Kohlenstoffverbindungen	12	9
Weitere Parameter des Kalk-Kohlensäure- Gleichgewichts	13	
Umsetzungen im Stickstoffhaushalt	14	10-11
Chemische Indikation von Phytoplanktonproduktion	15	12-14
Phytoplanktonbiomasse	17	15-16
Quantitativ vorherrschende Ionen	18	
Gelöste organische Stoffe	19	
Schwermetallgehalte	19	
Hygienisch-bakteriologische Verhältnisse	19	
Vergleich des limnologischen Zustandes an ver- schiedenen Untersuchungsstationen im Obersee	20	17-18

TEIL 2: BODENSEE-UNTERSEE

GNADENSEE

Thermik	22	19
Sauerstoffverhältnisse	23	20

	Seite	Abb.
Orthophosphat	24	21
Nitrat	25	22
Ammonium	26	23
Nitrit	27	24
Kieselsäure	28	25
Anorganischer Kohlenstoff und Kalk-Kohlen- säure-Gleichgewicht	29	26
Anorganischer Kohlenstoff und Kalk-Kohlensäure- Gleichgewicht	30	27-28

RHEINSEE

Thermik	31	29
Sauerstoff	32	30
Orthophosphat	33	31
Nitrat	34	32
Ammonium	35	33
Nitrit	36	34
Kieselsäure	37	35
Anorganischer Kohlenstoff und Kalk-Kohlen- säure-Gleichgewicht	38	36
Phytoplanktonbiomasse und chemische Biomasse- indikatoren	39	37,28

ZELLER SEE

Beziehungen zwischen Zustandsbild des Ober- sees und des Untersees	41
---	----

ZUSAMMENFASSUNG

TABELLEN	44
ABBILDUNGEN	

E I N L E I T U N G

Die Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee legt hiermit den aktuellen Jahresbericht über die Ergebnisse der regelmässigen limnologischen Freiwasseruntersuchungen des Bodensees für das Kalenderjahr 1975 und das Seejahr 1975 (April 1975 bis März 1976) vor. Der Bericht wurde im Auftrag der Kommission von deren Arbeitsgruppe "Freiwasseruntersuchungen" ausgearbeitet. Die Grundlage für den Bericht bildet das regelmässige Untersuchungsprogramm der Kommission, an dessen Durchführung die in der Liste der Berichtersteller aufgeführten Institute gemeinsam beteiligt waren.

Die Tabelle 1 gibt eine Übersicht über Örtlichkeiten, Wassertiefe und Zeitpunkt der Messungen oder Probenentnahme. Die Untersuchungsstationen sind in der Karte Abb. 1 eingetragen. Die Untersuchungsdaten wurden bei der EAWAG und der Landesstelle für Gewässerkunde und wasserwirtschaftliche Planung Baden-Württemberg auf EDV-Datenträger und in Tabellen archiviert. Im folgenden wird in Form von Isoplethen-Abbildungen die vertikale und zeitliche Verteilung der Konzentrationen verschiedener Parameter des Gütezustandes übersichtlich dargestellt.

Neben Thermik und Sauerstoffzustand werden die Pflanzennährstoffe (PO_4 , NO_3 , SiO_2 , Kohlensäure) behandelt, ferner die Verhältnisse des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtes und des Stickstoffkreislaufs sowie der Biomasseverteilung des Phytoplanktons. Für den Obersee beschränken sich diese Darstellungen hauptsächlich auf die zentrale Untersuchungsstation Fischbach-Uttwil, da sich das Zustandsbild an den anderen Messtationen sehr ähnlich gestaltet. Die Situation an den verschiedenen Obersee-Untersuchungsstationen wird vergleichend nur anhand einiger ausgewählter Parameter dar-

gestellt. Im Bodensee-Untersee werden die Zustände im Rheinsee und im Gnadensee ausführlich, die im Zellersee nur kurz behandelt.

Das jeweilige limnologische Zustandsbild des Freiwassers wird stark durch die Witterungserscheinungen geprägt. Zustandsänderungen von Jahr zu Jahr dürfen daher nicht von vornherein als Ausdruck einer gerichteten Entwicklungstendenz interpretiert werden. Erst die Betrachtung längerer Zeitreihen lässt darüber eine Entscheidung zu. Dies ist beim Vergleich der Jahressituation 1974/75⁺) und 1975/76 zu beachten.

Die Untersuchungsergebnisse werden zur Zeit der weiteren wissenschaftlichen Auswertung unterzogen. Die Benutzung der Daten für wissenschaftliche Zwecke durch Dritte bedarf der Zustimmung der Kommission.

+) vgl.: Int. Gewässerschutzkomm. Bodensee: Jber. limnol.
Zustand Bodensee, 1 (1976), 1 - 46

TEIL 1 : B O D E N S E E - O B E R S E E

Die thermischen, chemischen und biologischen Verhältnisse des Bodensee-Obersees zeigten im Seejahr 1975 in grossen Zügen den Verlauf, wie sie in einem tiefen, ursprünglich oligotrophen See der gemässigten Klimazone im Übergang in das eutrophe Stadium zu erwarten sind.

WITTERUNG

Die Witterung im Kalender- und Seejahr 1975 wich in verschiedener Beziehung vom langjährigen Mittel zum Teil erheblich ab (Abb. 2). Die Wintermonate (Januar bis Februar 1975 und Januar und Februar 1976) waren überdurchschnittlich warm mit positiven Abweichungen von den langjährigen Monatsmitteln der Lufttemperatur um mehrere Grad (C). Während der anderen Jahreszeiten bewegten sich die Lufttemperaturen weitgehend im Bereich der langjährigen Mittel bei negativen Abweichungen im Juni und positiven Abweichungen um mehrere Grad im September. Die Strahlenverhältnisse im Berichtszeitraum waren gekennzeichnet durch ein zum Teil erhebliches Einstrahlungsdefizit im Frühjahr und Frühsommer 1975 sowie im Februar 1976, wie aus den Monatssummenwerten der Sonnenscheindauer zu erkennen ist.

Positive Abweichungen vom langjährigen Mittel gab es im Februar 1975 und im März 1976. In der übrigen Zeit entsprach die Sonnenscheindauer dem langjährigen Mittel. Die Häufigkeit starker Winde im Januar 1976 bewirkte nachhaltige Durchmischung und Wiederbelüftung des Bodenseewassers bis in die grössten Tiefen.

WASSERSTÄNDE

Die Wasserstandsschwankungen in der Berichtsperiode ergeben sich aus den Aufzeichnungen des Pegels Konstanz. Die Abb. 3 stellt die Ganglinien der Monatsmittelwerte dar. Im Vergleich zu den langjährigen Monatsmitteln zeichneten sich die Seewasserstände durch überdurchschnittliche Höhe in der Sommerzeit 1975 aus sowie auch zu Beginn des Jahres 1975. Im Herbst 1975 und im Winter 1975/76 lagen die Seewasserstände unter dem langjährigen Durchschnitt.

THERMIK

Die Winterperiode zu Beginn des Jahres 1975 erbrachte keinen vollständigen Temperatúrausgleich der Wassermassen. Bis Ende März lag die Wassertemperatur an der Seeoberfläche über 5° (C) (Abb.4). Zu Beginn des Monats April bestand immer noch ein Gradient zwischen $4,9^{\circ}$ an der Seeoberfläche und $4,6^{\circ}$ im Wasser der grössten Tiefe. Von diesem Zeitpunkt an setzte eine Erwärmung der Wasseroberfläche ein, die zum gewohnten sommerlichen Schichtungsbild der Wassermassen führte. Der stärkste Temperaturgradient des Metalimnions lag dabei während der Sommermonate in 15 bis 20 m Tiefe. Unter 25 m Tiefe traten nur noch geringfügige Temperaturänderungen ein. Die Oberflächentemperaturen stiegen rasch im April, verblieben während des Monats Mai etwa im Bereich von 11° und erreichten nach erneutem Anstieg seit Anfang Juni im Juli $19,2^{\circ}$. Diese Temperatur wurde im Laufe des Sommers zwar wesentlich überschritten (Maximum Anfang August $22,2^{\circ}$), Mitte August waren die Oberflächentemperaturen jedoch wieder unter 18° zurückgefallen. Damit blieben die Oberflächentemperaturen während des Sommers 1975 unterdurchschnittlich. Im September und Oktober verminderten sich die Wassertemperaturen im Epilimnion. Im oberen Hypolimnion im Bereich von etwa 50 m ergab

sich als Resultat von Durchmischungsvorgängen eine geringfügige Temperaturerhöhung. In grössere Tiefen des Sees greifende Vertikalzirkulationen setzten jedoch erst merklich im Januar ein. Die fortgesetzte oberflächliche Abkühlung des Wassers führte schliesslich etwa ab Mitte Februar zu einem vollständigen Temperatúrausgleich des Wassers bei $4,5^{\circ}$, der bis Mitte März bei durchschnittlich $4,3^{\circ}$ weitgehend erhalten blieb. Ende März ergaben sich die ersten Anzeichen für oberflächliche Wasseraufwärmung. Aufgrund der thermischen Situation war hinsichtlich der winterlichen Wiederbelüftung des Seewassers eine relativ günstige Ausgangslage für das Seejahr 1976 zu erwarten.

SAUERSTOFF

Die Verteilung der Sauerstoffgehalte im Wasser des Bodensees im zentralen Obersee über der grössten Tiefe zeigte im Jahre 1975 den aus den letzten Jahren gewohnten Verlauf (Abb. 5). Wie das thermische Schichtungsbild in den Wintermonaten zu Beginn des Jahres 1975 erwarten liess, trat in dieser Zeit kein vollständiger Ausgleich zwischen den Sauerstoffgehalten der Oberfläche und des Tiefenwassers ein. Allerdings war Sauerstoffanreicherung auf etwa $11 \text{ mg O}_2/\text{l}$ bis zum Beginn des Seejahres 1975 bis in 150 m Tiefe hinab durchgreifend erfolgt, und auch im tiefen Hypolimnion war zu diesem Zeitpunkt ein gewisser Anstieg des Sauerstoffgehaltes (auf $7,6 \text{ mg O}_2/\text{l}$ in 250 m Tiefe) erfolgt. Von diesem Zeitpunkt an setzten im Hypolimnion die Sauerstoffzehrungen ein, die sich insbesondere im tieferen Bereich den ganzen Sommer über fortsetzten. Im April und Mai traten andererseits die üblichen durch Phytoplanktonproduktion bedingten Sauerstoffsättigungen im Epilimnion ein, wobei Ende April ein Maximum von $15,4 \text{ mg O}_2/\text{l}$ an der Wasseroberfläche (152 % O_2 -Sättigung) beobachtet wurde. Das Ausmass der hypolimnischen Sauerstoffzehrung erreichte im

Oktober in 250 m Tiefe mit 4,4 mg O₂/l sein Maximum (37 % O₂-Sättigung). Infolge der schlechten Wiederbelüftung im Winter 1974/75 und der im Winter 1975/76 erst spät einsetzenden tiefergreifenden vertikalen Zirkulationsbewegungen blieb die Periode mit Sauerstoffgehalten von weniger als 5 mg O₂/l in 250 m Tiefe im Jahre 1975 wesentlich länger als während des Jahres 1974 erhalten. Hingegen waren die Sauerstoffverhältnisse im oberen Teil des Hypolimnions 1975 sogar ein wenig besser als im vorausgegangenen Jahr. In 100 m Tiefe wurden ständig Sauerstoffgehalte über 11 oder 10 mg O₂/l gemessen. Auch hat es den Anschein, als ob der starke Anstieg im Sauerstoffgehalt der oberen Wasserschichten während der Frühjahrszeit im Verlaufe des Sommers zur Sauerstoffversorgung auch tieferer Wassermassen beigetragen hat. Möglicherweise steht der hohe Sauerstoffgehalt in grösseren Wassertiefen auch im Zusammenhang mit Flusswassereinschichtungen. Hinsichtlich des Auftretens eines spätsommerlichen metalimnischen Sauerstoffminimums zeigte der Bodensee wieder das gewohnte Bild. Im September wurden hier in 20 m Tiefe 7,6 mg O₂/l (72 % O₂-Sättigung) gemessen. Diese metalimnische Sauerstoffzehrung beeinflusste nach Eintritt von Vertikalzirkulationen im Dezember auch tiefere Wassermassen im Bereich von 50 bis 100 m. Eine Zunahme des Sauerstoffs auch in grösseren Tiefen war um die Jahreswende 1975/76 spürbar. Während der verbleibenden Wintermonate bis zum Beginn des Seejahres 1976 war die Wiederbelüftung des gesamten Wasserkörpers nachhaltig. In der ersten Märzhälfte wurden in 250 m Tiefe Sauerstoffgehalte von 10,5 mg O₂/l gemessen. Im Bereich der obersten 100 m des Seewassers lagen sie etwa im Bereich von 11 mg O₂/l. Damit trat der See in das neue Seejahr mit einer wesentlich günstigeren Sauerstoffbilanz ein als im vorausgegangenen Jahr.

ORTHOPHOSPHAT

Als zur Zeit für das Pflanzenwachstum im See begrenzender Nährstofffaktor verdient das Orthophosphat und dessen Konzentrationsveränderungen besondere Aufmerksamkeit. Wie bereits in vorangehenden Jahren beobachtet, kam es auch während des Jahres 1975 zu keinem vollständigen Konzentrationsausgleich des Orthophosphats zwischen Wasseroberfläche und Seeboden (Abb. 6). Am stärksten angenähert waren die Werte im März 1975 mit $68 \text{ mg PO}_4\text{-P/m}^3$ an der Wasseroberfläche und $97 \text{ mg PO}_4\text{-P/m}^3$ in 250 m. In der Folgezeit ergab sich eine fortgesetzte Verminderung der Konzentrationen im Epilimnion, die sich in gewissem Umfange auch noch ins Metalimnion fortsetzte und die sich zum Teil durch Inkorporation dieses Nährstoffes in die Phytoplanktonpopulationen, zum Teil auch durch Mitfällung bei der biogenen Kalziumkarbonatfällung, erklärt. Wie im Sommer des vorangegangenen Jahres betrugen die Restkonzentrationen an Orthophosphat im Epilimnion zeitweise weniger als $1 \text{ mg PO}_4\text{-P/m}^3$. Auch im Hypolimnion waren bis in die grösste Seetiefe zunächst im Frühsommer die Orthophosphat-Konzentrationen rückläufig. Das Konzentrationsminimum in 250 m Tiefe trat Ende Mai bei 82 mg/m^3 auf. Von diesem Zeitpunkt an trat im Hypolimnion allgemein eine Konzentrationserhöhung auf, am stärksten im tiefen Hypolimnion, wo im Oktober 1975 ein Maximum von über $140 \text{ mg PO}_4\text{-P/m}^3$ erreicht wurde. Von Oktober 1975 an nahmen epilimnische Konzentrationen allmählich wieder zu, die hypolimnischen Orthophosphatgehalte hingegen ab. Im März 1976 wurde auf einem Niveau von etwa $75 \text{ mg PO}_4\text{-P/m}^3$ ein annähernder Konzentrationsausgleich in der gesamten Wassermasse erzielt. Nach Ausgang des Winters 1975/76 waren zwar die Orthophosphatgehalte in 250 m Tiefe etwas geringer als zur gleichen Zeit des Vorjahres, insgesamt gesehen hat sich jedoch die Zunahme des Orthophosphats im Bodenseewasser, wie der Vergleich des auf Grund der Befunde der Station Fischbach-Uttwil errechneten Gesamteinhaltes an Orthophosphat zeigt

(März 1974: 3.194 t, März 1975: 3.359 t, März 1976: 3.628 t), fortgesetzt. Erhöht gegenüber dem Vorjahr hat sich auch die maximale über Grund erreichte Orthophosphat-Konzentration sowie die Ausdehnung der Zone hoher Orthophosphat-Konzentrationen im tiefen Hypolimnion.

ANDERE GELÖSTE PHOSPHORVERBINDUNGEN (OHNE ORTHOPHOSPHAT)

Wie auch in früheren Zeiten, so traten neben Orthophosphat im Wasser des Bodensees während des Jahres 1975 nahezu ständig merkliche Mengen andersartiger gelöster Phosphorverbindungen auf, von denen man annehmen muss, dass sie für die Nährstoffversorgung des Phytoplanktons teils direkt, teils indirekt eine Rolle spielen. Die Konzentrationen, in denen diese Verbindungen vorliegen, schwanken in der Regel nicht allzu weit um 10 mg P/m^3 , was auch im Jahre 1975 überwiegend der Fall war. Da Konzentrationen dieser Größenordnung auch noch auftreten, während das Orthophosphat zeitweise bis auf ganz geringe Reste aufgezehrt worden war, hat diese Komponente der Phosphorverbindungen sicherlich erhebliche Bedeutung für die Aufrechterhaltung der Phytoplanktonproduktion bei ausgesprochenem Orthophosphatmangel. Erst während der Winterzeit wurde verschiedentlich ein Verschwinden dieser Phosphorverbindungen unter die Nachweisbarkeitsgrenze beobachtet.

NITRAT

Am Verhalten des Nitrates im Wasser des Bodensee-Obersees hat sich während des Seejahres 1975 gegenüber dem Vorjahr nichts Wesentliches geändert (Abb. 7). Ein vollständiger Konzentrationsausgleich des Nitrates zwischen Wasseroberfläche und grösster Tiefe wurde zu keinem Zeitpunkt des Jahres erreicht. Am geringsten waren die Konzentrationsunterschiede zu Beginn

des Seejahres 1975 mit $780 \text{ mg NO}_3\text{-N/m}^3$ an der Oberfläche gegen 810 mg/m^3 in 250 m Tiefe. Während die Nitratwerte im Tiefenwasser unter 30 m während des ganzen Sommers über 800 mg betrugen, wird das Nitrat als Nährstoff im Epilimnion und teilweise auch noch im Metalimnion aufgezehrt. Die hier verbleibenden Restkonzentrationen lagen im Sommer 1975 in derselben Grössenordnung wie im Jahr zuvor. Die beobachteten NO_3 -Minima an der Wasseroberfläche lagen im Juli bei $240 \text{ mg NO}_3\text{-N/m}^3$ und im September bei 200 mg/m^3 . Infolge der Vertikalbewegungen der Wassermassen glichen sich bis Februar die Konzentrationsunterschiede auf einem Niveau auf etwa über $800 \text{ mg NO}_3\text{-N/m}^3$ annähernd aus. Im März waren anschliessend auch bis in grössere Tiefen hinabreichend bereits wieder Konzentrationsabnahmen zu verzeichnen offenbar in Verbindung mit der Frühjahrsentwicklung des Phytoplanktons. Wie schon seit längerer Zeit sind auch im Jahre 1975 keine Tendenzen zur Veränderung des Verhaltens von Nitrat im Nährstoffzyklus des Sees erkennbar.

KIESELSÄURE

Grundsätzliche Veränderungen des Verhaltens der Kieselsäure im Nährstoffkreislauf des Bodensees gegenüber der Zustandsentwicklung des Vorjahres waren auch im Jahre 1975 bis zu Beginn des Seejahres 1976 nicht zu verzeichnen (Abb. 8). Auch bei der Kieselsäure lag wieder das schon beim Orthophosphat und Nitrat beobachtete typische Verteilungsverhalten der pflanzlichen Nährstoffe im Seewasser vor, obwohl die Kieselsäure als essentieller Nährstoff nur für eine bestimmte Planktongruppe, die Kieselalgen, erforderlich ist. Die Ausgangskonzentrationen lagen zu Beginn des Seejahres 1975 zwischen 3 und $4 \text{ mg SiO}_2/\text{l}$, also im selben Konzentrationsbereich wie 1974. Die Nährstoffabnahme im Epilimnion liess im Juli 1975 an der Oberfläche ein Konzentrationsminimum von $0,3 \text{ mg SiO}_2/\text{l}$ erreichen, während die Konzentrationen im

Tiefenwasser den Sommer über zunahmen und nach einem kurzfristigen Rückgang in den beiden letzten Monaten des Jahres 1975 sogar Konzentrationswerte von 5 mg SiO_2/l überschritten. Zu Beginn des Jahres 1976 wurden die Konzentrationsunterschiede wieder weitgehend nivelliert, und im Februar 1976 wurde der Ausgangszustand, wie er zu Beginn des Seejahres 1975 geherrscht hatte, mit Konzentrationen zwischen etwa 3 und 4 mg SiO_2/l wieder erreicht. Im März 1976 setzte, von der Oberfläche ausgehend, die Konzentrationsabnahme der Kieselsäure bereits wieder ein, was auch mit dem Verhalten des Nitrats im Einklang steht.

ANORGANISCHE KOHLENSTOFFVERBINDUNGEN

Da Kohlensäure oder deren Dissoziationsprodukte bei der pflanzlichen Photosynthese quantitativ gegenüber anderen Nährstoffen dominierend aufgenommen werden, treten bei den anorganischen Kohlenstoffverbindungen im limnischen Nährstoffzyklus absolut gesehen auch die quantitativ stärksten Konzentrationsfluktuationen auf; die relativen Schwankungen sind hingegen meistens wegen des bedeutenden Vorrates an anorganischem Kohlenstoff im limnischen System weniger bedeutend. Das zyklische Verhalten der Totalkohlensäure als Ausdruck für die Gesamtheit aller anorganischen Kohlenstoffverbindungen im Wasser ähnelt im Bodensee der bereits beschriebenen Dynamik der übrigen Pflanzennährstoffe (Abb. 9). Im Verlaufe des Jahres 1975 nahm die Konzentration von TCO_2 im Epilimnion insbesondere im oberflächennahen Bereich von etwa 2,4 mmol/l zu Beginn des Seejahres 1975 auf 1,9 mmol/l im Juli ab, während hingegen die Konzentrationen im Hypolimnion im Verlaufe des Sommers anstiegen und dabei in 250 m Tiefe im November ein Maximum von über 2,7 mmol/l erreichten. Ein annähernder Konzentrationsausgleich trat dann im Verlaufe des Winters im Monat März bei 2,4 bis 2,5 mmol/l ein. Die Akkumulation der Gesamtkohlensäure im tiefen

Hypolimnion war damit im Jahre 1975 geringfügig höher als im vorangegangenen Jahr. Weitere Veränderungen im Verhalten der Gesamtkohlensäure im limnischen Kreislauf waren während des Seejahres 1975 nicht zu beobachten. Der Zyklus von TCO_2 im Freiwasser des Bodensee-Obersees erscheint bilanzmässig ausgeglichen.

WEITERE PARAMETER DES KALK-KOHLensäURE-GLEICHGEWICHES

Wie zu erwarten, zeigt das Verhalten der Alkalinität des Wassers ($\text{HCO}_3^- + 2 \text{CO}_3^{2-}$) sowie des Kalziums entsprechend den im Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht herrschenden Beziehungen ein dem geschilderten Verhalten von TCO_2 entsprechendes Bild, während sich die pH-Werte des Wassers gegenüber TCO_2 antagonistisch verhalten. Die Schwankungen dieser Komponenten lagen im Seejahr 1975 nicht wesentlich anders als im vorausgegangenen Jahr. Der niedrigste Kalzium-Gehalt wurde im Juli in 5 m Tiefe mit 1,91 mval/l gemessen und gleichzeitig dabei der höchste Wert in 250 m Tiefe mit 2,6 mval Ca/l. Die entsprechenden Werte der Alkalinität lagen bei 1,94 mval/l an der Oberfläche und 2,49 mval/l in 250 m Tiefe. Dementsprechend wurde an der Wasseroberfläche ein pH von 8,70 gegenüber 7,56 in 250 m Tiefe beobachtet. Der höchste Jahreswert des pH an der Wasseroberfläche wurde am 24.6.1975 im Obersee bei 8,77 festgestellt. Da die Leitfähigkeit des Bodenseewassers in erster Linie durch Kalziumionen und Dissoziationsprodukte der Kohlensäure bestimmt wird, so ergaben sich auch für diesen Parameter extreme Unterschiede zwischen Wasseroberfläche und dem Tiefenwasser des Obersees im Monat Juli mit 208 Mikrosiemens cm^{-1} gegenüber 285 Mikrosiemens cm^{-1} .

UMSETZUNGEN IM STICKSTOFFHAUSHALT

Neben Nitrat spielen andere anorganische Stickstoffverbindungen im Wasser des Bodensee-Obersees nur eine untergeordnete Rolle. Ähnlich wie im vorangegangenen Jahr blieb die Konzentration an Ammoniumionen im Freiwasser des Obersees grösstenteils unter der Nachweisbarkeitsgrenze ($10 \text{ mg NH}_4/\text{m}^3$) (Abb. 10). In gleicher Zeit wie im Vorjahr trat in der Sommerzeit im Epilimnion eine Ammoniumanreicherung auf, wahrscheinlich durch Remineralisierung von Eiweissverbindungen aus abgestorbenem Planktonmaterial, mit Maximalwerten von annähernd gleicher Höhe wie im vorausgegangenen Jahr ($90 \text{ mg NH}_4\text{-N}/\text{m}^3$). Vorübergehend zeigten sich auch etwas erhöhte $\text{NH}_4\text{-N}$ -Werte im Tiefenhypolimnion während der Hochsommerzeit. Während der ersten Monate des Jahres 1976 wurden an der Station Fischbach-Uttwil oberflächlich, im Januar auch im grösseren Tiefen erhöhte $\text{NH}_4\text{-N}$ -Werte gemessen, die im Hypolimnion in den Monaten Februar und März wieder unter die Nachweisbarkeitsgrenze abgesunken waren. Auch im Bodenseewasser an der Station Langenargen-Arbon wurden solche Erhöhungen beobachtet, nicht hingegen in der Untersuchungsstation Hagnau-Münsterlingen. Das Auftreten von Nitrit im Jahreszyklus des Freiwassers im Obersee hängt mit den Konzentrationsverhältnissen von Ammonium zusammen, da Nitrit ein Zwischenprodukt der bakteriellen Oxidation von Ammonium zu Nitrat darstellt. Während des Jahres 1975 war das Verteilungsbild des Nitrits dem des vorangegangenen Jahres sehr ähnlich (Abb. 11). Erhöhte Konzentration (im Maximum $20 \text{ mg NO}_2\text{-N}/\text{m}^3$) trat nur während der Entwicklung höherer Planktondichten und des gleichzeitigen Auftretens erhöhter Ammoniumwerte im Epilimnion vom Frühjahr bis zum Frühherbst auf. Andererseits waren die NO_2 -Werte in Seebodennähe in 250 m Tiefe während der Sommerzeit ebenfalls leicht erhöht. Als kurzlebiges Zwischenprodukt in der Oxidationskette verschwand das Nitrit nach dem Rückgang der Ammoniumkonzentrationen im Epilimnion und in der Nähe des Seebodens alsbald wieder, jedoch blieb

es zeitweise während des Winters 1975/76 in Spuren weiterhin nachweisbar. Während der Monate Februar und März vor Beginn des neuen Seejahres war Nitrit, ausgenommen unmittelbar an der Seeoberfläche, überhaupt nicht mehr nachweisbar. Insgesamt gesehen zeigte der Obersee in der Dynamik der anorganischen Stickstoffverbindungen keine gravierenden Unterschiede gegenüber dem Vorjahr.

CHEMISCHE INDIKATION VON PHYTOPLANKTONPRODUKTION

Infolge der Inkorporation von Nährstoffen während der Vermehrungsphase des Phytoplanktons ist zu erwarten, dass an Schwebstoff gebundener organischer Kohlenstoff, organischer Stickstoff und Phosphor in der Masse eine Zu- oder Abnahme erfahren, wie sich die Planktonbiomasse ändert. In grossen Zügen zeigte sich auch während des Jahres 1975 vom Beginn des Frühjahres an im Epilimnion des Obersees eine Zunahme des Gehaltes an partikulär gebundenem Phosphor (Abb. 12) mit Konzentrationsmaxima, die zwar nicht genau so hoch wie das im Frühjahr 1974 beobachtete waren, jedoch mit zeitweise über 20 oder 30 mg P/m³ 1975 in der gleichen Grössenordnung lagen. Die vorübergehende Erhöhung des partikulären Phosphors im Oktober 1975 mag eine örtliche Erscheinung sein, da sie an der Untersuchungsstation Hagnau-Münsterlingen nicht beobachtet worden ist. Dass überhaupt während der Herbst- und Winterzeit 1975/76 in der gesamten Wassersäule des Obersees an der Station Fischbach-Uttwil leicht erhöhte Werte an partikulärem Phosphor festgestellt wurden, lässt sich womöglich mit den tiefergreifenden Zirkulationsvorgängen dieser Jahreszeit in Verbindung bringen. Am Ende des Seejahres 1975/76 lagen die Werte des partikulären Phosphors in der gesamten Wassermasse durchweg wieder bei 1 mg P/m³ oder geringeren Werten,

Auch der partikulär gebundene organische Stickstoff trat in den höchsten Konzentrationen wie gewöhnlich während der Frühjahrs- und Sommerzeit im Epilimnion auf und erklärt sich durch den Biomassezuwachs des Phytoplanktons (Abb. 13). In der ersten Jahreshälfte 1975 blieben die Konzentrationen an partikulärem organischem Stickstoff im Hypolimnion ebenso wie im vorangegangenen Jahr gering. Die Tendenzen zur Zunahme der Konzentrationen auch im tieferen Seewasser vom Spätsommer an waren im Jahre 1975 an der Untersuchungsstation Fischbach-Uttwil wesentlich ausgeprägter als 1974. Erhöhte Konzentrationen wurden hier im Gegensatz zum vorausgegangenen Jahr auch während der Winterzeit 1975/76 gemessen, was möglicherweise mit den stärkeren Durchmischungserscheinungen zusammenhängt. Allerdings lagen die Werte für partikulären organischen Stickstoff im gesamten Hypolimnion der Untersuchungsstation Hagnau-Münsterlingen den Winter 1975/76 über wie gewöhnlich im niedrigen Konzentrationsbereich von etwa 10 bis 20 mg PON/m³. Die Angaben dieser Werte von Fischbach-Uttwil erfolgten daher hier unter dem Vorbehalt, dass ihre analytische Verlässlichkeit einer nochmaligen Überprüfung bedarf.

Die Verteilung des Chlorophylls (a + b + c) im Wasser des Bodensee-Obersees (Abb. 14) verlief im Seejahr 1975 in den Grundzügen in gleicher Weise wie im vorausgegangenen Jahr⁺, d.h. auffallend hohe Konzentrationen traten lediglich im Epilimnion vom Frühjahr an bis zum Einsetzen der Vollzirkulation im Herbst ein, wobei die Maxima in 2,5 bis 5 m Tiefe zu beobachten waren. Die beobachteten Höchstwerte lagen im Jahre 1975 mit knapp 40 mg/m³ Ende April und Mitte Juli etwas niedriger als im vorangegangenen Jahr. In Tiefen unter 50 m betrugen die Chlorophyllkonzentrationen wie auch schon im Jahr zuvor das ganze Jahr über weniger als 1 mg/m³.

+ Die Angaben über Chlorophyll (a+b+c) in Jber. Nr. 1 sind fehlerhaft und mit dem Faktor 10 zu multiplizieren.

PHYTOPLANKTONBIOMASSE

Die Phytoplanktonbiomasse wurde als Rechengewicht (Frischgewicht) aufgrund der Zählung und Artenbestimmung der Planktonzellen unter Verwendung eines konstanten Faktors der jeweiligen durchschnittlichen Zellgrösse einzelner Arten ermittelt.

Der jahreszeitliche Verlauf der durchschnittlichen Biomassekonzentration des Phytoplanktons in den obersten 20 m der Untersuchungsstation Hagnau-Münsterlingen ist in Abb. 16 dargestellt. Die Biomassekonzentrationen waren, wie im Vorjahr, in den Wintermonaten niedrig und bewegten sich zwischen 0,03 und 0,18 mg/l. Ein bedeutender Zuwachs trat ebenso wie im Vorjahr im Monat April ein. Von diesem Zeitpunkt an blieben die Biomassekonzentrationen den ganzen Sommer über bis in den Herbst hinein auf hohem Niveau. Im Gegensatz zum Sommer 1974 verlief die Entwicklung nach einem verhältnismässig starken Rückgang der Biomassekonzentration während des Monats Mai in der Folgezeit stetig. Im Juli wurde mit 1,35 mg/l das Jahresmaximum erreicht, das deutlich geringer blieb als das Maximum des Jahres 1974. Während der Monate August und September nahm die Phytoplanktonbiomasse nur geringfügig ab und senkte sich dann während der Monate Oktober und November auf ein für die Jahreszeit immer noch recht hohes Niveau von etwa 0,3 mg/l. Im Schnitt lag damit die Phytoplanktonbiomasse in derselben Grössenordnung wie 1974, sie war jedoch zeitlich über die Sommerzeit gleichmässiger verteilt als im Vorjahr.

Der Anteil einzelner Algengruppen an der Planktonbiomasse war recht unterschiedlich und differierte während der verschiedenen Jahreszeiten. Ständig in deutlichen Masse anwesend waren wiederum die Cryptophyceen, die in der Frühjahrs- und Frühsommerplanktonproduktion dominierten und im Winter als einzige Gruppe in nennenswertem Masse vorhanden waren,

während in den Hochsommermonaten andere: Algengruppen vorherrschten. Dinophyceen traten merklich von April bis Oktober auf und erreichten im August gemeinsam mit den Diatomeen ein Spitzenniveau. Dies entspricht in etwa auch dem Verteilungsbild des Jahres 1974. Ein stärkeres Auftreten der Chlorophyceen war ebenso wie 1974 nur in den Sommermonaten zu verzeichnen. Im Gesamtanteil gegenüber anderen Algengruppen blieben sie jedoch gering. Höchste Dominanz während der Sommermonate erreichten die Diatomeen, nämlich wie schon im Vorjahr in den Monaten Juli und September, aber auch im August 1975, wo sie das Zelldichteniveau der Dinophyceen erreichten. Das Auftreten von grösseren Mengen von Cyanophyceen beschränkte sich wie üblich auf die Spätsommermonate August und September, erreichte jedoch dabei bei weitem nicht das Vorjahresniveau.

Die gemeinsame Übersicht über die Mittelwerte der chemischen Parameter, welche Anzeige der Biomasse sind (partikulärer Phosphor, partikulärer organischer Stickstoff, Chlorophyll) und der Rechenbiomasse des Phytoplanktons (Abb. 15) zeigt, wie bereits aus früheren Daten bekannt, nur recht grobe Entsprechungen, jedoch keine eindeutigen Korrelationen. Aus der Abbildung sind auch die eindeutigen Beziehungen zwischen Phytoplanktonbiomasse und Änderung der Sichttiefe im Verlaufe des Jahres zu entnehmen.

QUANTITATIV VORHERRSCHENDE IONEN

Die Konzentrationsverhältnisse der vorherrschenden Ionen im Wasser des Bodensee-Obersees wichen auch im Jahre 1975/76 nicht von den zuvor beobachteten Grössen ab. Über die Kalziumkonzentrationen wurde bereits bei der Diskussion des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtes berichtet. Die Magnesiumkonzentrationen schwankten zwischen 0,46 und 0,74 mval/l, die Natriumgehalte schwankten zwischen 3,6 und 4,7 mg/l, das

Kalium zwischen 1,3 und 1,9 mg/l, Chlorid zwischen 2,7 und 4,5 mg/l und Sulfat zwischen 26,5 und 38,0 mg/l. Im Spätsommer traten wie bisher Konzentrationsunterschiede zwischen Wasseroberfläche und Seegrund bei Magnesium 0,46 gegen 0,59 mval/l, Chlorid (2,7 gegen 4,1 mg/l) und Sulfat (26 gegen 35 mg/l), (alle Daten von August 1975), auf.

GELÖSTE ORGANISCHE STOFFE

Messungen des in Lösung befindlichen organischen Kohlenstoffs an der Station Hagnau-Münsterlingen ergaben Werte zwischen 1,3 und 3,7 mg C/l (1974: 1,3 bis 2,4 mg C/l). Die Konzentrationen an gelöstem in organischer Bindung befindlichem Stickstoff lagen wie im Vorjahr zumeist zwischen 200 und 300 mg N/m³, gegen Ende des Jahres 1975 allerdings niedriger um 100 mg N/m³ oder weniger.

SCHWERMETALLGEHALTE

Die Konzentrationen an gelöstem Eisen und Mangan zeigten im Jahre 1975 einen grösseren Schwankungsbereich als im Vorjahr. Werte für gelöstes Eisen wurden zwischen 0 und 136 mg/m³ und für gelöstes Mangan zwischen 0 und 77 mg/m³ beobachtet. Die hohen Konzentrationen wurden im Tiefenwasser in Bodennähe während der Zeit des stärksten Sauerstoffschwundes angetroffen und deuten auf Rücklösungen dieser Stoffe aus dem Sediment unter diesen Bedingungen hin.

HYGIENISCH-BAKTERIOLOGISCHE VERHÄLTNISSE

Die im Wasser des Bodensee-Obersees angetroffenen Mengen von coliformen Keimen bewegten sich im Seejahr 1975 in der

Grössenordnung des vorangegangenen Jahres. Die beobachteten Schwankungen lagen zwischen 0 und 2200 Keimen/100 ml an der Station Fischbach-Uttwil und zwischen 0 und 2200 Keimen/100 ml an der Station Hagnau-Münsterlingen. Höhere Gehalte an coliformen Keimen traten sowohl in den oberen Wasserschichten wie auch im Tiefenwasser auf. Streptococcus fäkalis war in 100 ml sehr oft nicht mehr nachweisbar, verschiedentlich jedoch erheblich häufiger als im Seejahr 1974. Die beobachteten Schwankungen lagen an der Station Fischbach-Uttwil zwischen 0 und 110 Keimen/100 ml und bei Hagnau-Münsterlingen zwischen 0 und 23 Keimen/100 ml.

VERGLEICH DES LIMNOLOGISCHEN ZUSTANDES AN VERSCHIEDENEN UNTERSUCHUNGSSTATIONEN IM OBERSEE

Die Untersuchungsdaten von korrespondierenden Tiefen und Terminen an den 4 Untersuchungsstationen Langenargen-Arbon, Fischbach-Uttwil, Hagnau-Münsterlingen und Überlingen weisen keine bedeutsamen Unterschiede auf, weshalb die graphischen Isoplethen-Darstellungen hier auf die Daten der zentralen Obersee-Station Fischbach-Uttwil beschränkt wurden. Die allgemeine simultane Übereinstimmung des Zustandsbildes ist aus den synoptischen Darstellungen der Sauerstoffverhältnisse und der Orthophosphatkonzentrationen in den Abbildungen 17 und 18 ersichtlich. Die Zusammenstellung lässt erkennen, dass das zeitliche Auftreten von Sauerstoffzehrungen im Hypolimnion und im Metalimnion sowie von Sauerstoffübersättigungen im Epilimnion und Metalimnion an allen Untersuchungsstationen weitgehend zusammenfällt, was auch im Jahre 1974 beobachtet werden konnte. Es ergibt sich ferner, dass an Stellen von weniger grosser Seebodentiefe die Sauerstoffzehrungen weiter in das Hypolimnion hinauf sich auswirken als an Stellen mit grösserer Seetiefe. Im Sauerstoffhaushalt gestaltete sich die Situation im Obersee

von Osten nach Westen fortschreitend günstiger. Im Überlinger See war ein stärkeres Absinken der Sauerstoffgehalte überhaupt nicht zu beobachten.

Beim Vergleich der Orthophosphatverhältnisse ergab sich, dass im Tiefenwasser das Erscheinen hoher Orthophosphatkonzentrationen an der Untersuchungsstelle Fischbach-Uttwil besonders ausgeprägt ist, in weniger starkem Masse in Langenargen-Arbon und Hagnau-Münsterlingen und am wenigsten im Überlinger See. Es fällt auf, dass das Erscheinen von Orthophosphat im tiefen Hypolimnion der Station Fischbach-Uttwil im Jahre 1975 ein weit stärkeres Ausmass als im vorhergegangenen Jahr erreichte.

TEIL 2: BODENSEE-UNTERSEE

Die thermischen, chemischen und biologischen Verhältnisse des Bodensee-Untersees zeigten im Seejahr 1975 den gewohnten Verlauf, wie er in einem See der gemässigten Klimazone im eutrophen Zustand zu erwarten ist. Im einzelnen wichen dabei die Verhältnisse in den verschiedenen Teilen des stark gegliederten Untersees voneinander ab. Dies ist in erster Linie dadurch bedingt, dass der Rheinstrom, ausgehend vom Obersee und dessen Abfluss im Seerhein, die einzelnen Teile des Untersees in ganz verschiedenem Masse erfasst und dass je nach dem Grade dieser Einwirkung die sommerliche Schichtungsstabilität im Untersee abgeschwächt wird. Im geringsten Masse ist dies im morphologisch nahezu abgeschlossenen Gnadensee der Fall. Am meisten wird durch den Rheinstrom der südliche Teil des Untersees, der sogenannte Rheinsee, beeinflusst. Der Zeller See nimmt eine Mittelstellung ein. Die folgende Darstellung des Unterseezustandes in Isoplethenform beschränkt sich auf die extremen Stationen des Gnadensees und des Rheinsees. Die Untersuchungsergebnisse des Zeller Sees werden nur cursorisch behandelt.

G N A D E N S E E

THERMIK

Der thermische Jahresgang des Gnadensees (Abb. 19) begann 1975 mit einer schwach ausgeprägten inversen Schichtung im Februar (Oberflächentemperatur $3,8^{\circ}$, Temperatur in 20 m Tiefe $4,1^{\circ}$). Um die Monatswende Februar/März wurde Homo-

thermie bei etwa $4,0^{\circ}$ erreicht, die anschliessende von der Oberfläche ausgehende Erwärmung des Wassers setzte sich, wenn auch mit verringerter Wirkung, bis in die grössten Tiefen des Sees fort. Dadurch kam es während der Sommerzeit nicht zu einer deutlich ausgeprägten thermischen Schichtung in Epilimnion, Metalimnion und Hypolimnion im klassischen Sinne. Während des Hochsommers lag der stärkste Gradient der Temperaturschichtung in etwa 5 m Tiefe. Von hier ab nahmen die Wassertemperaturen zur Tiefe hin nahezu kontinuierlich ab. Die zunehmende Erwärmung des Oberflächenwassers führt hier im Juli zu einem Temperaturmaximum von $22,0^{\circ}$. Bis zu diesem Zeitpunkt hatte sich das Tiefenwasser auf $7,6^{\circ}$ erwärmt. Die spätsommerliche und herbstliche von der Wasseroberfläche ausgehende Vertikalzirkulation glich die Oberflächentemperaturen, dabei immer grössere Tiefen umfassend, aus. Das Temperaturmaximum im Tiefenwasser wurde im November bei $9,6^{\circ}$ kurz vor Einsetzen der totalen Vertikalzirkulation, die bei $9,0^{\circ}$ auftrat, beobachtet. Die Monate November, Dezember 1975 und Januar 1976 waren durch eine ständige Abkühlung der gesamten dabei homotherm bleibenden Wassermassen bis auf etwa $3,5^{\circ}$ Mitte Januar gekennzeichnet. Im Februar war die Schichtung wieder invers mit $1,9^{\circ}$ Oberflächentemperatur gegenüber $3,6^{\circ}$ in 19 m Tiefe. Nach Aufhebung der inversen Schichtung durch Totalzirkulation waren die thermischen Verhältnisse Mitte März bei $4,2^{\circ}$ wieder nahezu homotherm. Das thermische Verhalten des Gnadensees entsprach während des Seejahres 1975 damit grundsätzlich dem Verhalten des Vorjahres.

SAUERSTOFFVERHÄLTNISSE

Die Ausgangssituation zu Beginn des Jahres 1975 war im Gnadensee durch nahezu homogene Sauerstoffkonzentrationen in der gesamten Wassermasse bei etwa $11,7 \text{ mg O}_2/\text{l}$ gekennzeichnet (Abb. 20). Während der restlichen Wintermonate

und des Frühjahrs 1975 baute sich in Oberflächennähe, meist beschränkt auf Tiefen bis zu 5 m, infolge der Auswirkung der Photosynthese von Phytoplankton eine Zone mit über der Sättigungskonzentration liegenden Sauerstoffgehalten auf, worin sich die Situation 1975 deutlich von derjenigen des Jahres 1974 abhob. Im Mai wurde eine Maximalkonzentration von $14,2 \text{ mg O}_2/\text{l}$ (141 % O_2 -Sättigung) an der Wasseroberfläche beobachtet. Der fortgesetzte Rückgang der Sauerstoffgehalte während des Sommers 1975 umfasste die gesamte Wassermasse, wobei auch an der Wasseroberfläche wesentlich stärkere Konzentrationsabnahmen im Laufe der Zeit beobachtet wurden, als im vorangegangenen Jahr. Hier wurde ein Minimum im Monat November mit $6,8 \text{ mg O}_2/\text{l}$ (63 % O_2 -Sättigung) erreicht. Im Gegensatz dazu trat ein vollständiger Verlust des Sauerstoffs im Tiefenwasser erst später als im Vorjahr, nämlich gegen Ende August ein, hielt dafür jedoch bis weit in den Oktober hinein an. Entsprechend dem Durchgreifen der Vertikalzirkulation bis in die grösste Tiefe des Sees wurde eine Wiederbelüftung des Tiefenwassers erst Ende Oktober bemerkbar. Mit etwas zeitlicher Verzögerung im Tiefenwasser erfolgte gegen Ende des Jahres 1975 eine fortgesetzte Zunahme der Sauerstoffgehalte im Tiefenwasser, bis Anfang Januar 1976 ein ausgeglichener Zustand bei einer Konzentration von etwa $12 \text{ mg O}_2/\text{l}$ (95 % O_2 -Sättigung) erreicht wurde. Die Monate Februar und März 1976 waren gekennzeichnet durch eine weitere offenbar photosynthetisch bedingte Zunahme der Sauerstoffgehalte in der gesamten Wassermasse, die zu hohen Übersättigungsgraden führte. Mitte März betrugen die Sauerstoffgehalte durchschnittlich $17 \text{ mg O}_2/\text{l}$ (137 % O_2 -Sättigung).

ORTHOPHOSPHAT

Hinsichtlich der Gehalte an Orthophosphat zeigte der Gnadensee 1975/76 im Prinzip das gleiche Verteilungsbild wie

im Jahre zuvor mit ausgeglichenen Konzentrationen während der winterlichen Zirkulationsperioden und einem ausgeprägten Schichtungsbild während der sommerlichen Stagnationszeit (Abb. 21). Das im März 1975 beobachtete Konzentrationsniveau lag bei weniger als $50 \text{ mg PO}_4\text{-P/m}^3$ und damit geringfügig unter dem Niveau des Vorjahres. Die anschliessende Aufzehrung des Orthophosphats in der Wassermasse der obersten 10 m führte wie im Vorjahr zeitweise zu einem Absinken der Konzentrationen unter die Nachweisbarkeitsgrenze, so zum Beispiel an der Wasseroberfläche im Mai und im Juli 1975. Die Akkumulation von Orthophosphat in der Nähe des Seebodens, offenbar in Verbindung mit Rücklösungserscheinungen, erreichte vor Einsetzen der Totalzirkulation wiederum einen Kulminationspunkt mit ähnlich hohen Werten wie im vorangegangenen Jahr (Maximum $416 \text{ mg PO}_4\text{-P/m}^3$ im Oktober 1975). Nach Eintritt der vertikalen Totalzirkulation glichen sich die Konzentrationen auf einem sehr hohen Niveau von etwa $110 \text{ mg PO}_4\text{-P/m}^3$ im Dezember 1975 wieder aus, das damit deutlich höher lag als im vorangegangenen Jahr. Annähernd ausgeglichene Konzentrationen zwischen Wasseroberfläche und Seeboden herrschten die folgenden ersten Wintermonate hindurch. Die Situation war durch eine rapide Abnahme der Orthophosphatkonzentrationen in der gesamten Wassermasse gekennzeichnet. Mitte März 1976 war das beobachtete Konzentrationsniveau niedriger als $40 \text{ mg PO}_4\text{-P/m}^3$ und damit deutlich niedriger als im Frühjahr 1975. Es hat den Anschein, als ob hinsichtlich des Nährstoffkreislaufes des Phosphors der Gnadensee einer stärkeren Dynamik im Jahre 1975/76 als im vorausgegangenen Jahr unterlag.

NITRAT

Die Nitratgehalte im Gnadensee zeigten ebenfalls wieder das ausgeprägte Verteilungsverhalten der Pflanzennährstoffe mit vertikal homochemischem Zustand während der Zirkulations-

perioden und deutlichen Schichtungerscheinungen während der Sommermonate. Das Konzentrationsniveau von Nitrat war in den ersten Monaten des Jahres 1975 ähnlich dem Zustandsbild des Jahres zuvor mit Konzentrationen von etwa $800 \text{ mg NO}_3\text{-N/m}^3$ Anfang März (Abb. 22). Die Nitratzehrung in der Produktionsschicht verlief im Seejahr 1975 weniger drastisch als 1974. Das Nitrat wurde zu keinem Zeitpunkt vollständig aufgezehrt. Das beobachtete Konzentrationsminimum lag bei $170 \text{ mg NO}_3\text{-N}$ im Juli 1975 (gegenüber $0 \text{ mg NO}_3\text{-N/m}^3$ im September 1974). Die Nitrataufzehrung im sauerstoffarmen oder sauerstofffreien Tiefenwasser war 1975 von ähnlichem Ausmass wie im Jahr zuvor, trat jedoch entsprechend den Sauerstoffverhältnissen im Tiefenwasser zeitlich verzögert ein. Zu Beginn der Totalzirkulationsperiode waren die Nitratgehalte genau so wie im Vorjahr in der gesamten Wassermasse zunächst niedrig auf einem Niveau von 100 bis $200 \text{ mg NO}_3\text{-N/m}^3$, worauf dann infolge fortgesetzter Nitrifikation des Ammoniaks eine fortlaufende und gleichmässige Konzentrationszunahme in allen Wasserschichten bis zum Frühjahr 1976 eintrat, wobei im Februar 1976 sich dem Vorjahr entsprechend ein Konzentrationsniveau bei $800 \text{ mg NO}_3\text{-N/m}^3$ einstellte. Änderungen des Verhaltens des Gnadensees im Nitrat-Zyklus waren damit während des Seejahres 1975 nicht zu beobachten.

AMMONIUM

Auch das Zustandsbild der Ammoniumkonzentrationen im Wasser des Gnadensees war während der Wintermonate durch weitgehend ausgeglichene Konzentrationsverhältnisse und während der Sommerzeit durch ausgeprägte Schichtungerscheinungen bestimmt (Abb. 23). Genauso wie im Vorjahr war Ammonium am Beginn des Seejahres 1976 im Wasser des Gnadensees auf Konzentrationen unter der Nachweisbarkeitsgrenze ($10 \text{ mg NH}_4\text{-N/m}^3$) abgesunken. Eine Erhöhung der Konzentrationen

trat vornehmlich während der Folgemonate im Tiefenwasser als Folgewirkung der Nitratreduktion bei Sauerstoffmangel auf, wobei wie im Vorjahr eine Maximalkonzentration von über $1800 \text{ mg NH}_4\text{-N/m}^3$ in der grössten Tiefe - wegen der Sauerstoffsituation gegenüber dem Vorjahr zeitlich verzögert - auftrat. Eine wesentliche Zunahme der Ammoniumkonzentrationen in oberflächennahen Schichten trat im Sommer 1975 zunächst nicht ein, wurde vom Hochsommer an jedoch sehr deutlich und erreichte im September 1975 in 5 m Tiefe nahezu $100 \text{ mg NH}_4\text{-N/m}^3$. Durch Konzentrationsausgleich bei gesteigerter Vertikalzirkulation im Herbst 1975 stiegen auch oberflächlich die Konzentrationsgehalte sehr stark, nämlich auf über $400 \text{ mg NH}_4\text{-N/m}^3$ an. Auch im Dezember lag das Konzentrationsniveau in der gesamten Wassermasse bei ca $400 \text{ mg NH}_4\text{-N/m}^3$ noch sehr hoch. Die anschliessende Ammonium-Oxidation liess die Konzentrationswerte bis März jedoch wieder bis zur Nachweisbarkeitsgrenze (10 mg/m^3) absinken. Als unterschiedliches Verhalten gegenüber dem Vorjahr bleibt daher beim Ammonium-Kreislauf im Gnadensee lediglich das vorübergehend sehr hohe vertikal ausgeglichene Konzentrationsniveau von über $400 \text{ mg NH}_4\text{-N/m}^3$ zu verzeichnen.

NITRIT

Das Verteilungsverhalten des Nitrits im Gnadensee war im Seejahr 1975 dadurch bestimmt, dass es sich hierbei nur um ein kurzlebiges Zwischenprodukt von durch die Aktivität der Bakterien bestimmten Veränderungen im Redoxsystem der anorganischen Stickstoffverbindungen des Seewassers handelt. Nach vollständiger Reduktion des Nitrats zu Ammonium im tieferen Seewasser lag, wie zu erwarten, daher auch kein Nitrit im Wasser mehr vor, während in der Periode starker Nitratreduktion, die diesem Zustand vorausging, besonders hohe Nitritgehalte im Tiefenwasser auftraten (Abb. 24). Das gleiche Erscheinungsbild war im Seejahr 1974 zu beobach-

ten. Anders als im vorausgegangenen Jahr waren zu Anfang des Jahres 1975 die Nitritgehalte offenbar im Gefolge der fortlaufenden Ammonium-Oxidation relativ hoch, ein Zustand, der weder Anfang 1974 noch während der Wintermonate 1975/76 zu beobachten war und somit vermutlich eine Ausnahme darstellte. Nitrit war während der gesamten Beobachtungsperiode 1975/76 auch in den oberflächennäheren Schichten des Gnadenseewassers nachzuweisen, wobei es zumeist im Konzentrationsniveau von 10 bis 20 mg $\text{NO}_2\text{-N/m}^3$ blieb. Zeitweiliges vollständiges Verschwinden wurde im Seejahr 1975 im Gegensatz zu 1974 niemals beobachtet. Die ständige Anwesenheit von Nitrit ist damit beim Gnadensee ein Indikator für die starke Dynamik im Stickstoffhaushalt des Sees.

KIESELSÄURE

Auch die Verteilung der Kieselsäure im Gnadensee ist durch vertikale Gleichmässigkeit während der Wintermonate und deutliche Schichtung während der Sommermonate gekennzeichnet (Abb. 25). Infolge starker Diatomeenentwicklung im zeitigen Frühjahr kommt es regelmässig bereits vor Eintreten chemischer Schichtungserscheinungen zu einer Abnahme der Kieselsäuregehalte in der gesamten Wassermasse während der Monate Februar und März des Jahres. Dies konnte sowohl 1974 als auch 1975 und 1976 beobachtet werden. Besonders stark war die Abnahme im März 1976, die die Kieselsäurekonzentrationen bis unter die Nachweisbarkeitsgrenze ($0,1 \text{ mg SiO}_2/\text{l}$) absinken liess. Auch im Bereich der oberflächennahen Schichten wurde ein solch niedriges Konzentrationsniveau im Mai 1975 erreicht. Ansonsten blieb während der gesamten Sommermonate Kieselsäure in der Produktionszone des Gnadensees ständig, wenn auch bisweilen auf niedrigem Konzentrationsniveau, nachweisbar, was dem Verhalten des Sees auch im Jahre 1974 entspricht. In gleicher Weise entwickelten sich in beiden Jahren im Tiefenwasser Konzentra-

tionserhöhungen an Kieselsäure wohl als Folge des Auflösens der Schalen abgestorbener Kieselalgen, wobei ein Konzentrationsmaximum von 2,9 mg SiO_2/l im September in 21 m Tiefe beobachtet wurde.

ANORGANISCHER KOHLENSTOFF UND KALK-KOHLensäURE-GLEICHGEWICHT

Die Verteilung des gesamten anorganischen Kohlenstoffs(TCO_2), d.h. der Summe von Kohlensäure und deren Dissoziationsprodukten war im Gnadensee im Seejahr 1975 sehr ähnlich dem Zustandsbild des Vorjahres (Abb. 26). Das anfängliche ausgeglichene Konzentrationsniveau von TCO_2 lag im März 1975 bei ca. 2,48 mmol/l etwa ebenso hoch wie im Vorjahr. Die Abnahme der Gesamtkohlensäure infolge Photosynthese der Planktonalgen in Oberflächennähe führte zu einem oberflächlichen Konzentrationsminimum von 1,93 mmol/l im September (gegenüber 1,83 mmol TCO_2/l 1974). Die Akkumulation der Gesamtkohlensäure über dem Seeboden erreichte im September 1975 im Maximum 3,03 mmol/l gegenüber 3,09 mmol/l im September 1974. Der Ausgleich dieser Unterschiede wird durch die herbstliche Vertikalzirkulation erreicht. Im März 1976 war bei ca 2,4 mmol TCO_2/l wieder das übliche Konzentrationsniveau erreicht. Konzentrationsschwankungen der übrigen am Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht beteiligten Komponenten stellen sich ganz entsprechend dem beim TCO_2 beobachteten Verteilungsverhalten ein. So bestanden im September 1975 zwischen der Wasseroberfläche und dem Wasser in 21 m Tiefe die folgenden Konzentrationsunterschiede:

T	Leitfähigkeit Mikrosiemens cm ⁻¹	pH	freie Kohlensäure mval/l	Alkalinität mval/l	Kalzium mval/l
0 m	211	8,35	0,018	2,00	1,98
21 m	301	7,35	0,275	2,76	2,66

Die beobachteten Differenzen waren damit im September 1975 etwas geringer als im vorangegangenen Jahr zum gleichen Zeitpunkt. Die Konzentrationswerte des Kalziums weisen darauf hin, dass ein Teil der Abnahme der Gesamtkohlensäure auf die Ausfällung von Kalziumkarbonat aus oberflächlichen Wasserschichten zurückzuführen ist. Mit Eintritt der Vertikalzirkulation glichen sich allmählich die Konzentrationsunterschiede aller Komponenten des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtes wieder aus. So lagen die Differenzen zwischen Oberflächenwasser und Wasser aus 21 m Tiefe am 9.2.1976 bei folgenden Werten:

T	Leitfähigkeit Mikrosiemens cm ⁻¹	pH	freie Kohlensäure mval/l	Alkalinität mval/l	Kalzium mval/l
0 m	266	7,90	0,068	2,52	2,60
21 m	287	7,90	0,070	2,58	2,62

PHYTOPLANKTONBIOMASSE UND CHEMISCHE BIOMASSEINDIKATOREN

Eine Übersicht über die Phytoplanktonbiomasse im Untersee während des Jahres 1975 liefert die Untersuchung der Chlorophyllgehalte im Gnadensee, Zeller See und Rheinsee (Abb. 28). Die Auswertungen der Phytoplanktonuntersuchungen liegen zur Zeit noch nicht vor, so dass keine Rechenvolumina-Daten für Phytoplankton herangezogen werden können. Die Übersicht zeigt, dass ähnlich wie im Vorjahr zu gleichen Zeiten in verschiedenen Teilen des Sees recht unterschiedliche Phytoplanktondichten vorhanden sein müssen, wie man aus den Unterschieden der Chlorophyllkonzentration schliessen kann. Im Herbst bis gegen Ende des Jahres 1975 waren die Verhältnisse in den einzelnen Seeteilen hingegen recht homogen. Es ist weiter ersichtlich, dass, abgesehen von den Wintermonaten November/Dezember und Januar, das Produktionsniveau

Im Untersee von beträchtlicher Höhe ist. Die beobachteten Maxima der Chlorophyllkonzentration im Untersee waren 1975 niedriger als im Jahr zuvor. Überhaupt wurde ein Wert von über 20 mg Chlorophyll/m³ während des Jahres 1975 im Untersee (Gnadensee) nur ein einziges Mal gegenüber 8 Fällen des Jahres 1974 beobachtet, was darauf schliessen lässt, dass die Biomasse insgesamt geringer als im Vorjahr war.

Der Zyklus der Konzentrationsveränderungen von partikulärem Phosphor (Abb. 27), der bis zu einem gewissen Grade die Phytoplanktonentwicklung widerspiegelt, war im Gnadensee im Jahre 1975 ähnlich wie im Jahr zuvor mit geringen Werten unter 10 mg P/m³ lediglich während der Wintermonate und besonders hohen Werten ohne wesentliche vertikale Schichtung während der Frühjahrszeit. Zeitweise Anreicherungen im Hypolimnion über Grund im Frühsommer stehen wahrscheinlich in Beziehung zur Mitfällung mit biogen gefällttem Kalziumkarbonat und während der Wintermonate wahrscheinlich im Zusammenhang mit der Wiederausfällung von Eisen, das während der Sommerstagnation in erheblicher Konzentration im Hypolimnion in Lösung gegangen war.

R H E I N S E E

THERMIK

Infolge des Einflusses des Rheinstromes erfolgen gewöhnlich im Rheinsee auch während der warmen Jahreszeit bis in das tiefere Wasser hinein turbulente Zirkulationen, so dass sich thermische Schichtungen weniger stabil und mit geringerem Gradienten als in den stärker abgeschlossenen Teilen des Untersees ausbilden können. Auch werden in der Regel weit geringere Oberflächentemperaturen im Rheinsee

erreicht als beispielsweise im Gnadensee und Zeller See. Letzteres war im Seejahr 1975 jedoch nicht in dem Ausmass wie sonst der Fall (Abb. 29). Während des Sommers wurden im Rheinsee nur geringfügig niedrigere Oberflächentemperaturen (Maximum $21,2^{\circ}$ im Juli und August) erreicht als im Gnadensee. Im Bereich um 20 m Tiefe waren die Temperaturen im Rheinsee während des Sommers um mehrere Grad höher als in der gleichen Tiefe des Gnadensees. Im Wasserkörper unter 40 m Tiefe stiegen die Temperaturen während der Sommermonate nicht wesentlich über 8° . Damit herrschten am Seeboden im Rheinsee etwa die gleichen Temperaturverhältnisse wie in dem wesentlich flacheren Gnadensee. Das Ausgangsniveau der Wassertemperaturen vor Eintritt der Schichtungserscheinungen im März 1975 lag bei 5° auf dem üblichen Niveau. Ein Temperatúrausgleich nach Eintritt der Herbstzirkulation 1975 trat bei ca 8° Ende November ein. Durch fortgesetzte Abkühlung wurde während des Winters bis Februar 1976 ein Niveau von etwa $3,5^{\circ}$ erreicht, dem bis März ein leichter Temperaturniveaustieg bis in die Nähe von 4° folgte. Infolge der erwähnten turbulenten Strömungen kam es wie gewöhnlich während des Winters nicht zu einer inversen Temperaturschichtung im Rheinsee.

SAUERSTOFF

Bei etwa gleichem Ausgangsniveau gleichmässig verteilter Sauerstoffkonzentrationen im Vertikalprofil bei etwa 11 mg O_2/l (93 % O_2 -Sättigung) vor Beginn des Seejahres 1975 entwickelten sich die Sauerstoffverhältnisse im Rheinsee während der Sommermonate 1975 etwas extremer als im vorangegangenen Jahr (Abb. 30). Im Bereich der oberflächennahen Produktionszone entwickelten sich höhere Sauerstoffübersättigungen, wobei sich deutlich zwei zeitliche Schwerpunkte der biologischen Sauerstoffproduktion abzeichneten mit einem Konzentrationsmaximum von 15,4 mg O_2/l (171 % O_2 -Sättigung)

an der Wasseroberfläche im Mai und einem solchen von 13,2 mg O_2/l (156 % O_2 -Sättigung) im Juli. Vergleichsweise gab es im Sommer 1974 nur ein Maximum im Juni, bei dem 13,0 mg O_2/l nicht einmal erreicht wurden. Analog diesem höheren Produktionsniveau an der Wasseroberfläche ergab sich im Tiefenwasser unter 40 m eine stärkere Sauerstoffabnahme als im Jahr zuvor, wobei das im Oktober beobachtete Minimum von 0,37 mg O_2/l (3 % O_2 -Sättigung) anzeigt, dass im tiefsten Wasser die vorhandene Sauerstoffreserve nahezu vollständig aufgebraucht war. Im Jahre 1974 war ein Rest Sauerstoff von 1,7 mg O_2/l (15 % O_2 -Sättigung) am Ende der Stagnationsperiode noch vorhanden. Im Sauerstoffhaushalt zeigte sich der Rheinsee damit während des Seejahres 1975 stärker belastet als zuvor. Durch kräftige Wiederbelüftung während des Winters 1975/76 wurde ein Niveau von ca 11,5 mg O_2/l bis in 40 m Tiefe bereits gegen Ende Januar 1976 wieder erreicht.

ORTHOPHOSPHAT

Im Seejahr 1975 folgte die Verteilung des Orthophosphats im Rheinsee wiederum dem gewohnten Schema und erwies sich als weniger divergierend als im Gnadensee (Abb. 31). Dem Ausgangsniveau bei etwa 75 mg PO_4-P/m^3 Anfang Februar 1975, das deutlich höher als im vorangegangenen Jahr (ca 65 mg/ m^3) war, folgte in der oberflächennahen Produktionszone eine allmähliche Abnahme der Konzentrationen, die sich im Monat Mai rapide verstärkte, so dass zu diesem Zeitpunkt die Konzentrationen an der Wasseroberfläche unter die Nachweisbarkeitsgrenze (1 mg PO_4-P/m^3) abfielen, was der Situation im Gnadensee vollständig entsprach, desgleichen die im Rheinsee zu beobachtenden geringfügigen Erhöhungen auf über 10 mg PO_4-P/m^3 im Juli, denen eine erneute vollständige Aufzehrung im Spätsommer folgte. Diese war jedoch im Rheinsee anhaltender als im Gnadensee und wurde erst durch

Eintritt der Vertikalzirkulation im Oktober unterbrochen. Auch erreichte das Absinken des Orthophosphats im Rheinsee die Nachweisbarkeitsgrenze noch in Tiefen von 5 m, bei denen im Gnadensee bereits höhere Konzentrationen vorlagen. Vermutlich kommt im Gnadensee ein gewisser Nachschub von Orthophosphat aus dem Tiefenwasser wegen des geringeren Abstandes der Wasseroberfläche vom Seeboden leichter zustande als im tieferen Rheinsee. Etwas später als die starken Auszehrungserscheinungen des Orthophosphats im Epilimnion traten wie gewöhnlich auch im Rheinsee Orthophosphat-Akkumulationen in tieferen Wasserschichten auf. Sie erreichten während des Sommers 1975 gegenüber dem Vorjahr ein deutlich höheres Niveau mit höheren Maxima ($281 \text{ mg PO}_4\text{-P/m}^3$ im November 1975 gegenüber $192 \text{ mg PO}_4\text{-P/m}^3$ im September 1974) und beeinflussten auch seebodenfernere Wassermassen in stärkerem Masse als im Jahr zuvor. So wurden 1975 $200 \text{ mg PO}_4\text{-P/m}^3$ im Oktober in einer Wassertiefe von 30 m im Rheinsee noch überschritten, während 1974 hier im Maximum nur 164 mg/m^3 erreicht wurden. Der Konzentrationsausgleich durch Vertikalzirkulation trat wie im Vorjahr im Dezember bei einem Niveau von weniger als 60 mg/m^3 ein. Bis zum Frühjahr ergab sich in der gesamten Wassermasse eine Konzentrationserhöhung auf ein Niveau von mehr als $70 \text{ mg PO}_4\text{-P/m}^3$ vermutlich im Zusammenhang mit dem Zustrom von Wasser aus dem Obersee, so dass für das Seejahr 1976 etwa das gleiche Ausgangsniveau der Orthophosphatkonzentrationen erreicht war wie im Jahr zuvor.

NITRAT

Die Verteilungsverhältnisse des Nitrats im Rheinsee wichen im Seejahr 1975 ebenfalls im grossen und ganzen nicht vom Bild des vorangegangenen Jahres ab (Abb. 32). Das Ausgangsniveau der Konzentrationen lag im März vertikal ausgeglichen wiederum bei $840 \text{ mg NO}_3\text{-N/m}^3$. Es verringerte sich an der

Oberfläche im Laufe des Sommers auf verhältnismässig geringe Werte, wobei das verbleibende Minimum 1975 mit $120 \text{ mg NO}_3\text{-N/m}^3$ jedoch höher war als mit 90 mg/m^3 im Jahre 1974. Die Abnahme des Nitrates im Tiefenwasser im Zusammenhang mit der Verringerung des Sauerstoffgehaltes war wegen der stärkeren Sauerstoffzehrung 1975 in Bodennähe wie zu erwarten höher als im Jahr zuvor. Anfang November waren nur noch $250 \text{ mg NO}_3\text{-N/m}^3$ in 45 m Tiefe vorhanden (Minimum 1974: 380 mg/m^3). Auffällig gegenüber dem Vorjahreszustand waren wiederholt auftretende Konzentrationsspitzen im Tiefenwasser sowie ein einmalig beobachteter Höchstwert an der Wasseroberfläche im April. Der Ausgleich der vertikalen Konzentrationsunterschiede erfolgte im November 1975 auf einem Niveau von $600 \text{ mg NO}_3\text{-N/m}^3$. Die Konzentrationen steigerten sich in der gesamten Wassermasse in den Folgemonaten, wahrscheinlich im Gefolge der Ammoniakoxidation auf ein Niveau von über $800 \text{ mg NO}_3\text{-N/m}^3$ im Februar 1976, das bis zum März noch grösser wurde. Die Konzentrationsverhältnisse zu Beginn des Seejahres 1976 entsprachen damit annähernd der Situation im vorangegangenen Jahr.

AMMONIUM

Ein ziemlich bewegtes Bild zeigten die Konzentrationsveränderungen des Ammoniums im Wasser des Rheinsees während des Seejahres 1975 (Abb. 33). Verhältnismässig geringen Konzentrationen im Bereich der oberen Hälfte des Wasserkörpers in den ersten Monaten des Jahres 1975 folgte zum Frühjahr hin hier eine gewisse Zunahme der Konzentrationen, die sich alsbald, und hier wesentlich verstärkt im tieferen Wasser, fortsetzte. Die sehr erheblichen Konzentrationszunahmen im unteren Teil der Wassermassen im späten Frühjahr und Frühsommer lassen vermuten, dass es sich nicht nur um Remineralisierungsprodukte des abgestorbenen Phytoplanktons handelt, sondern dass zum erheblichen Teil die

Reduktion von Nitrat für das Auftreten von Ammonium verantwortlich ist. Im Epilimnion sowie auch im Tiefenwasser nahmen die Ammoniumkonzentrationen während des Hochsommers allgemein wieder ab, erst im Spätsommer kam es zu einer allgemeinen Zunahme, die im Bereich des Tiefenwassers unter den Verhältnissen des Sauerstoffmangels sehr ausgeprägt wurde und zu ungewöhnlich hohen Konzentrationsmaxima ($470 \text{ mg NH}_4\text{-N/m}^3$) führte. Die Zunahme der Konzentrationen in Oberflächennähe im Herbst 1975 dürfte im Zusammenhang mit der Einbeziehung tieferer Wassermassen durch die Vertikalzirkulation stehen. Das Konzentrationsniveau blieb auch nach Ausgleich der vertikalen Unterschiede im Winter 1975/76 im allgemeinen sehr hoch (über 150 mg/m^3). Erst im März wurden $100 \text{ mg NH}_4\text{-N/m}^3$ im Wasser des Rheinsees generell wieder unterschritten. Das verstärkte Auftreten von Ammonium im Wasser des Rheinsees entspricht der ungünstigeren Bilanz des Sauerstoffhaushaltes des Rheinsees im Seejahr 1975.

NITRIT

Wie aus dem bewegteren und extremeren Ablauf der Veränderungen der Ammoniumkonzentrationen im Rheinsee während des Seejahres 1975 zu erwarten war, spiegelt sich diese Situation auch wieder bei der Verteilung und Veränderung der Konzentrationen des Nitrits im Wasser (Abb. 34). Während der Wintermonate sowohl Anfang 1975 als auch während des Winters 1975/76 blieben die Nitritgehalte im Rheinsee durchweg niedrig, d.h. unter $10 \text{ mg NO}_2\text{-N/m}^3$. Doch war Nitrit während des ganzen Zeitraumes fortgesetzt nachzuweisen. Nitritanreicherungen traten vom Seeboden ausgehend in mehreren Schüben auf, wobei sie zeitweise sich hinauf bis zu Tiefen von unter 10 oder unter 20 m auswirkten. Bereits im Jahre 1974 waren zwei Phasen solcher Anreicherungen, nämlich im Juli und im September/Oktober, erkennbar, die durch verstärktes Auftreten des Nitrits im Juni sowie von

September bis November im Seejahr 1975 ihre Entsprechung fanden. Zusätzliche vom Seeboden ausgehende Konzentrationsanreicherungen waren auch im Februar 1975 zu beobachten. Der Vergleich mit dem Auftreten von Ammonium im Rheinsee zeigt, dass Nitrit verstärkt immer dann auftritt, wenn sich die Ammoniumkonzentrationen stark erhöht hatten. Aus diesem Grunde wird man das Erscheinen des Nitrits mit der bakteriellen Nitratreduktion in Verbindung bringen können. Entsprechend den wesentlich höheren Ammoniumwerten des Seejahres 1975 waren auch die im Jahre 1975 beobachteten Nitritmaxima wesentlich höher als im Jahr zuvor, nämlich $111 \text{ mg NO}_2\text{-N/m}^3$ im Oktober 1975 (gegenüber 85 mg/m^3 1974) und $106 \text{ mg NO}_2\text{-N/m}^3$ im Juni (gegenüber 33 mg/m^3 1974).

KIESELSÄURE

Die Verteilung der Kieselsäure im Rheinsee entsprach im Seejahr 1975 dem gewohnten Bild (Abb. 35). Im März bestand eine gleichmässige vertikale Verteilung der Kieselsäure auf einem Niveau von $2,7 \text{ mg SiO}_2/\text{l}$, was der Situation im gleichen Monat des Vorjahres etwa entsprach. Verringerung der Kieselsäurekonzentrationen durch Auszehrung machten sich vorwiegend an der Oberfläche, in geringerem Masse jedoch auch noch in grösseren Tiefen bis zu 30 m, in der Folgezeit bemerkbar. Dabei lassen sich zwei Zehrungsperioden, die eine mit dem Maximum der Auszehrung im Mai, die zweite mit dem Maximum der Auszehrung im August, beobachten. Die Kieselsäure blieb auch in diesen Perioden stets nachweisbar. Im Mai wurde an der Wasseroberfläche ein Minimum von $0,5 \text{ mg SiO}_2/\text{l}$ und im August ein solches von $0,2 \text{ mg/l}$ erreicht, was auch dem Ausmass der Aufzehrung dieses Nährstoffes im Jahre 1974 entsprach. Die auch 1974 beobachteten Akkumulationsvorgänge erwiesen sich im Seejahr 1975 jedoch als deutlich stärker als im Vorjahr und erreichten mit einem Maximum von $3,6 \text{ mg SiO}_2/\text{l}$ fast die im

Gnadensee beobachteten Beträge (3,7 mg/l). Die Ursache dürfte ebenfalls mit der ungünstigeren Bilanz des Sauerstoffhaushaltes und der damit verbundenen Akkumulation von freier Kohlensäure und stärkeren Absenkungen des pH im Seejahr 1975 im Zusammenhang stehen. Nach Ausgleich der Konzentrationen durch die vertikale Totalzirkulation wurde ein durchgängiges Konzentrationsniveau von 2,2 mg SiO_2 erreicht. In den ersten Monaten des Jahres 1976 ergab sich eine durchgängige, allmähliche Anreicherung des Wassers mit SiO_2 , so dass im März ein gegenüber dem Vorjahr deutlich erhöhtes Konzentrationsniveau von 3,4 mg SiO_2/l vorlag, vermutlich im Zusammenhang mit dem Zustrom vom Wasser des Obersees.

ANORGANISCHER KOHLENSTOFF UND KALK-KOHLensäURE-GLEICHGEWICHT

Auch für die jahreszeitlichen Veränderungen und vertikalen Unterschiede der Komponenten des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtes und für TCO_2 gilt für den Rheinsee, dass die Unterschiede im Jahresverlauf weniger extrem sind als im Gnadensee. Obwohl dies grundsätzlich auch für das Seejahr 1975 gilt, so war wie nach den Sauerstoffverhältnissen zu erwarten war, das Ausmass der Divergenzen in diesem Jahr grösser als im vorangegangenen (Abb. 36). Bei etwas höherem Ausgangsniveau an TCO_2 von 2,5 mmol/l im März 1975 (1974: 2,35) verminderten sich die Werte in oberflächennahen Bereichen durch Inkorporation in Phytoplankton bei der Photosynthese auf das Extrem 1,84 mmol/l im September 1975 (Minimum 1974: 1,88 mmol/l). Umgekehrt beliefen sich die Anreicherungen von TCO_2 im Tiefenwasser im Rheinsee 1975 auf 2,71 mmol gegenüber 2,45 mmol/l 1974. Dementsprechend lagen die Extremwerte für freie Kohlensäure im Tiefenwasser des Rheinsees im August 1975 bei 0,248 mmol/l (Oberfläche 0,000), der Alkalinität bei 2,46 mval/l (Oberfläche 1,98) und beim Kalzium 2,50 mval/l (Oberfläche

1,92) und beim pH 7,30 (Oberfläche 8,84). Sie waren also auch erheblich extremer als im Seejahr 1974.

PHYTOPLANKTONBIOMASSE UND CHEMISCHE BIOMASSEINDIKATOREN

Das Bild der jahreszeitlichen und vertikalen Verteilung von partikulärem Phosphor im Rheinsee (Abb. 37) entspricht weitgehend den Verhältnissen im Gnadensee (Abb. 27). Im Sommer 1975 traten im Epilimnion zwei Maxima auf, eines im späten Frühjahr und eines im Juli, die sich auch in den Werten des Chlorophyll (Abb. 28) widerspiegeln. Die zeitweisen Erhöhungen des partikulären Phosphorgehaltes im bodennahen Wasser des Rheinsees dürften ebenfalls mit Ausfällungserscheinungen des Kalziumkarbonats und des Eisenhydroxydes in Verbindung stehen.

Z E L L E R S E E

Das thermische und chemische Verhalten des Zeller Sees ähnelt stark dem des Gnadensees. Gegenüber dem Gnadensee zeigte der Zeller See während des Sommers 1975 geringere Oberflächentemperaturen (Maximum im Juli $20,1^{\circ}$), dafür kam der Wärmegewinn im Zeller See dem tieferen Wasser stärker zugute. Im Juli betrug die Wassertemperatur in 15 m Tiefe $15,0^{\circ}$ gegenüber $9,4^{\circ}$ im Gnadensee. Die etwas höhere Temperatur im Zeller See zu Beginn der Vollzirkulation ($11,3^{\circ}$) gegenüber dem Gnadensee ($10,0^{\circ}$) zeigt an, dass der Wärmegewinn in diesem Teil des Sees eher ein wenig höher war.

Während der Zirkulationsperioden bestanden im Sauerstoffgehalt des Zeller Sees keine wesentlichen Unterschiede zum Gnadensee. In der Stagnationsperiode war das Ausmass

des Sauerstoffschwundes im Hypolimnion geringer als im Gnadensee. Im August waren im Zeller See in 20 m Tiefe noch 1,8 mg O_2 /l, in 24 m jedoch kein Sauerstoff mehr nachzuweisen, im September war der Sauerstoffgehalt auch in 20 m Tiefe unter die Nachweisbarkeitsgrenze gesunken. Mitte Oktober war bereits bis in die grösste Tiefe des Zeller Sees eine kräftige Wiederbelüftung eingetreten. Die Sauerstoffübersättigung in dem Epilimnion lag im Frühjahr und Sommer im Zeller See in ähnlicher Grössenordnung wie im Gnadensee. Sauerstoffkonzentrationen von über 14 mg/l wurden im Mai (142 % O_2 -Sättigung) gemessen. Übersättigungswerte an Sauerstoff wurden bis hinab zu 10 m Tiefe noch bis Ende Juli ständig beobachtet. Die Wiederbelüftung und der Ausgleich der Sauerstoffkonzentrationen durch Vollzirkulation trat im Zeller See ebenso wie im Gnadensee im Oktober ein. Die Wiederbelüftung erfolgte jedoch wesentlich rapider.

Die Situation der anderen chemischen Parameter entsprach weitgehend dieser grundsätzlichen Schichtungssituation. Nitrat und Nitrit waren am Ende der Stagnationsperiode im sauerstofffreien Tiefenwasser nicht vorhanden. In den oberflächennahen Wasserschichten wurden Pflanzennährstoffe, wie Orthophosphat, Nitrat und Kieselsäure, zwar merklich aufgezehrt, die verbleibenden Konzentrationen fielen jedoch niemals unter die Nachweisbarkeitsgrenze dieser Stoffe. Zu Beginn des Seejahres 1975 war der Nährstoffvorrat im Zeller See grösser als im Gnadensee. Die mittleren Gehalte an Orthophosphat lagen zu diesem Zeitpunkt bei 75 mg PO_4 -P/m³ (gegenüber 47 im Gnadensee), die Nitratgehalte mit 1100 mg NO_3 -N/m³ (gegenüber 780 im Gnadensee) und die Ammoniumgehalte bei 90 mg NH_4 -N/m³. Im März 1976 lagen zwar die Orthophosphat- und Ammoniumwerte im Zeller See im gleichen Konzentrationsbereich wie im Gnadensee, die Nitratgehalte waren mit 1000 mg NO_3 -N/m³ jedoch wiederum wesentlich höher als im Gnadensee. Offenbar liegt zur Zeit

die Nährstoffreserve an Nitrat im Zeller See vor Beginn der Vegetationsperiode ständig um etwa 25 % höher als im Gnadensee.

BEZIEHUNGEN ZWISCHEN ZUSTANDS- BILD DES OBERSEES UND DES UNTER- SEES

Die Eigenständigkeit des limnologischen Regimes des Untersees, welche das chemische Zustandsbild des aus dem Obersee abfließenden Wassers überformt (vergl. Bericht über die Freiwasserzone 1974/75), bestehen nach wie vor.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Ergebnisse der Freiwasseruntersuchungen im Zeitraum vom Januar 1975 bis März 1976 lassen erkennen, dass sich die Tendenz der Zustandsentwicklung des ursprünglich oligotrophen Bodensee-Obersees weiter in Richtung auf den eutrophen Gewässertyp fortgesetzt hat. Dies wird durch die Konzentrationserhöhung von Orthophosphat im Freiwasser um etwa 5 mg P/m^3 im Laufe des Seejahres 1975/76 (auf etwa 75 mg/m^3) angezeigt. Die Phytoplanktonentwicklung war zeitweise beträchtlich (Höchstwert der Biomasse $1,37 \text{ mg/l}$ Rechengewicht). Infolgedessen wurde das Orthophosphat zeitweise bis auf weniger als $0,5 \text{ mg P/m}^3$ aufgezehrt. Phosphor ist daher nach wie vor als produktionsbegrenzender Faktor für Phytoplankton-Entwicklung im Bodensee-Obersee anzusehen. Das Planktonproduktionsniveau war weiterhin hoch und lag im Schwankungsbereich der letzten Jahre. Letzteres gilt auch für die Folgewirkungen der Planktonproduktion auf Sauerstoffzehrung und -übersättigung.

Infolge der starken Phytoplanktonentwicklung kam es zu Sauerstoffübersättigungen im Epilimnion bis zu 148 %. Durch mikrobiellen Abbau der Biomasse wurde der Sauerstoffhaushalt des Sees beträchtlich belastet. Sauerstoffminima im Metalimnion und Aufzehrung des Sauerstoffs im tiefen Hypolimnion bis zu 37 % des Sättigungswertes ($4,6 \text{ mg O}_2/\text{l}$) waren die Folge. Damit lagen die im Extrem beobachteten Sauerstoffübersättigungen im Jahre 1975 höher als 1974. Die Sauerstoffminima im tiefen Hypolimnion waren im Jahre 1975 und 1974 nahezu identisch niedrig.

Die Wiederbelüftung des Tiefenwassers im Winter 1975/76 war kräftig, die Sauerstoffgehalte des Sees lagen zu Beginn des neuen Seejahres 1976 in der gesamten Wassermasse im Bereich von $10 - 11 \text{ mg O}_2/\text{l}$. Die Sauerstoffsituation war damit wesentlich günstiger als zu Beginn des Seejahres 1975.

Vom Standpunkt des Gewässerschutzes muss der Zustand des Obersees in der Berichtsperiode noch weiterhin als ungünstig angesehen werden, wobei zu berücksichtigen ist, dass die von den Anliegerstaaten getroffenen Massnahmen noch nicht voll wirksam geworden sind.

Der Untersee zeigte im Seejahr 1975 wieder das typische Zustandsbild eutropher Seen mit zeitweise vollständigem Sauerstoffschwund im Tiefenwasser im Gnadensee und Zeller See und mit in diesem Jahr ebenfalls sehr geringem Sauerstoffrestgehalt im Hypolimnion des Rheinsees. Auch im Untersee ist Phosphor als produktionsbegrenzender Faktor anzusehen und wird im Epilimnion zeitweise bis unter die Nachweisbarkeitsgrenze aufgezehrt. Phosphorverbindungen aus dem Seeboden wurden in erheblichem Masse zum Zeitpunkt des vollständigen Sauerstoffschwundes freigesetzt und führten zu Konzentrationsanreicherungen im Hypolimnion bis über 400 mg P/m^3 . Auffällig war im Gnadensee das ausserordentlich hohe Konzentrationsniveau von Orthophosphat ($110 \text{ mg PO}_4\text{-P/m}^3$) und von Ammonium ($400 \text{ mg NH}_4\text{-N/m}^3$) nach Eintritt der Vollzirkulation im Gnadensee 1976 mit wesentlich höheren Werten als ein Jahr zuvor. Die Wiederbelüftung des Tiefenwassers im Winter 1975/76 war in allen Teilen des Untersees vollständig. Im Rheinsee zeichnete sich das Zustandsbild durch ausserordentlich hohe Übersättigungen (171 %) im Mai und Juli ab sowie auch durch eine besonders hohe Sauerstoffabnahme in den grössten Tiefen (auf $0,37 \text{ mg O}_2/\text{l}$) und auf eine ungewöhnlich hohe Zunahme des Orthophosphats im Tiefenwasser in diesem Zusammenhang aus.

Tabelle 1 (1)

Normal-Tiefenserien an den Stationen

Fischbach-Uttwil: Für chemische Untersuchungen:

0, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 150, 200, 250 m,
ab September 1975: zusätzlich 15 und 230 m

Für Temperaturmessungen:

0 - 50 m in 1 m Abstand,
ferner 75, 100, 150, 200, 230, 240 und 250 m

Für Sauerstoffmessungen:

0, 5, 10, 15, 20, 30, 50, 75, 100, 150,
200, 230, 240, 250 m
im Jahre 1975 auch 2.5, 7.5, 40 m

Hagnau-Münsterlingen: 0, 2.5, 5, 7.5, 10, 15, 20, 30, 50,
75, 100, 150, 180, 200 m

Langenargen-Arbon: 0, 5, 10, 15, 20, 30, 50, 100, 150, 185,
195 m

Überlingen: 0, 0.5, 5, 10, 30, 50, 100, 135, 143 m

Tabelle 1 (2)

UNTERSUCHUNGSTERMINE JANUAR 1975 BIS MÄRZ 1976

an den Stationen Fischbach-Uttwil (F), Hagnau-Münsterlingen (H), Langenargen-Arbon (L), Überlingen (Ü), Gnadensee (G), Zeller See (Z) und Rheinsee (R).

Sonderprogramm Temperatur und Sauerstoff an Station Fischbach-Uttwil (FS). Bakteriologische Untersuchungen an Station Fischbach-Uttwil (FB)

UNTERSEE-STATION				OBERSEE-STATION			
9. 1. 1975	G	Z		7.1.1975	F	H	
20. 1.			R	9.1.			L
27. 1.	G	Z		21.1.	FS		
17. 2.	G	Z		29.1.			Ü
24. 2.			R	4.2.	F	H	
20. 3.	G	Z		12.2.			L
23. 3.			R	19.2.	FS		
14. 4.	G	Z		26.2.			Ü
21. 4.			R	4.3.	F	H	
12. 5.	G	Z		12.3.			L
20. 5.			R	19.3.	FS		
9. 6.	G	Z		20.3.			Ü
18. 6.			R	1.4.	F	H	
9. 7.	G	Z		15.4.	FS		L
14. 7.			R	23.4.			Ü
21. 7.	G	Z		29.4.	F	H	
21. 8.			R	13.5.			L
27. 8.		Z		14.5.	FS		
28. 8.	G			27.5.	F	H	
8. 9.			R	28.5.			Ü
15. 9.	G	Z		10.6.	FS		L
6.10.			R	24.6.	F	H	
13.10.	G	Z		25.6.			Ü

3.11.1975		R	8. 7.1975		L
10.11.	G	Z	9. 7.	FS	
1.12.		R	22. 7.	F	H U
8.12.	G	Z	1. 8.	FS	
7. 1.1976		R	12. 8.		L
12. 1.	G	Z	13. 8.	F	H U
2. 2.		R	26. 8.		
3. 2.	G	Z	4. 9.	FS	
8. 3.		R	10. 9.	F	L
17. 3.	G	Z	16. 9.		H
			14.10.	FB	H L
			16.10.		L
			23.10.	F	
			28.10.	FS	
			11.11.	FB	H L
			12.11.	F	L U
			20.11.		
			26.11.	FS	
			9.12.	FB	H L
			11.12.	F	L U
			16.12.		
			7. 1.1976	FB	H L
			13. 1.	F	L U
			28. 1.		
			3. 2.	F	H L
			10. 2.	F	L U
			18. 2.	FS	
			9. 3.	F	H L
			24. 3.	FS	U

Tabelle 1 (3)

Liste der bestimmten Inhaltsstoffe für die Untersuchungsstationen Fischbach-Uttwil (F), Hagnau-Münsterlingen (H), Überlingen (Ü), Langenargen-Arbon (L), Gnadensee (G), Zeller See (Z) und Berlingen (B)

Temperatur in Grad Celsius	F	H	Ü	L	G	Z	B
Leitfähigkeit in Mikrosiemens bei 20°C (umgerechnet mit Korrekturtabelle Bodensee)	F	H	Ü	L	G	Z	B
pH (Aktivität)	F	H	Ü	L	G	Z	B
Sauerstoffkonzentration in mg/l	F	H	Ü	L	G	Z	B
Sauerstoffsättigung in % (bei mittleren Oberflächen- luftdruck)	F	H	Ü	L	G	Z	B
freies CO ₂ in mval/l	F ^{o)}	H			G	Z	B
Säurebindungsvermögen (Alka- linität) in mval/l	F	H	Ü	L	G	Z	B
Total anorganischer Kohlen- stoff (berechnet aus SBV und pH) mmol/l	F	H		L	G	Z	B
Calcium in mval/l	F	H	Ü	L	G	Z	B
Magnesium (Differenz zwischen GH und Ca) in mval/l	F	H		L	G	Z	B
Silikat in mg/l SiO ₂	F	H		L	G	Z	B
o-Phosphat-Phosphor in mg/m ³	F	H	Ü	L	G	Z	B
Total Phosphor im Filtrat (nach Aufschluss) in mg/m ³	F	H	Ü	L	G	Z	B
Totaler Phosphor im Rohwasser (nach Aufschluss) in mg/m ³	F	H		L	G	Z	B
partikulärer Phosphor (P-TOT - P-FIL)	F	H		L	G	Z	B
hydrolysierbarer Phosphor (berechnet (P-FIL - PO ₄ -P))	F	H		L	G	Z	B
Gesamthärte in mval/l	F	H		L	G	Z	B

Ammonium-Stickstoff in mg/m ³	F	H	L	G	Z	B	
Nitrit-Stickstoff in mg/m ³	F	H	L	G	Z	B	
Nitrat-Stickstoff in mg/m ³	F	H	U	L	G	Z	B
Kjeldahl-Stickstoff im Filtrat in mg/m ³	F ¹⁾		L	G	Z	B	
Kjeldahl Stickstoff im Rohwasser in mg/m ³	F ²⁾	H	L				
partikulärer Stickstoff direkt (Stickstoff in mg/m ³ auf dem Filter	F	H	L				
"organischer Stickstoff" berechnet (im Filtrat) (N-KJF - NH ₄ -N) in mg/m ³	F		L	G	Z	B	
Chlorophyll (a) nach Goltermann in mg/m ³	F	H		G	Z	B	
Phaeophytin nach Goltermann in mg/m ³		H					
Coliforme Keime auf ENDO-Agar LES bei 37°C Keime/100ml	F	H					
Streptokokken auf m-Enterococcus Agar Keime/100ml	F	H					
Chlorid-Ion in mg/l	F		L	G	Z	B	
Sulfat-Ion in mg/l	F		L	G	Z	B	
Fe in mg/m ³	F ³⁾	H ⁵⁾	L	G ³⁾	Z ³⁾	B ⁶⁾	
Mn in mg/l	F ²⁾	H ⁵⁾	L			B ⁷⁾	
Cd in mg/m ³		H ⁵⁾				B ⁷⁾	
Cu in mg/m ³		H ⁵⁾				B ⁷⁾	
Zn in mg/m ³		H ⁵⁾				B ⁷⁾	
Pb in mg/m ³		H ⁵⁾				B ⁷⁾	
Cr in mg/m ³		H ⁵⁾				B ⁷⁾	
Na in g/m ³	F ⁴⁾	H ⁵⁾	L			B ⁷⁾	
K in g/m ³	F ⁴⁾	H ⁵⁾	L			B ⁷⁾	

total organischer Kohlen-	H	U ⁹⁾			B ⁸⁾
stoff im Filtrat in g/m ³					
total organischer Kohlen-					
stoff im Rohwasser in g/m ³					
KMnO ₄ -verbrauch in mg/l	F ²⁾				
Chemischer Sauerstoffbe-		U ⁹⁾	G	Z	B
darf in mg O ₂ /l					
Trübung					
Extinktion bei 240 nm		U ¹⁰⁾	L	G	Z B

o) bis November 1975

1) ab Februar 1975

2) ab September 1975

3) ab Juli 1975

4) ab Oktober 1975

5) bis September 1975

6) April bis Juni 1975 fehlen

7) bis März 1975

8) ab Februar 1976

9) in zentrifugierter Probe

10) bei 254 nm

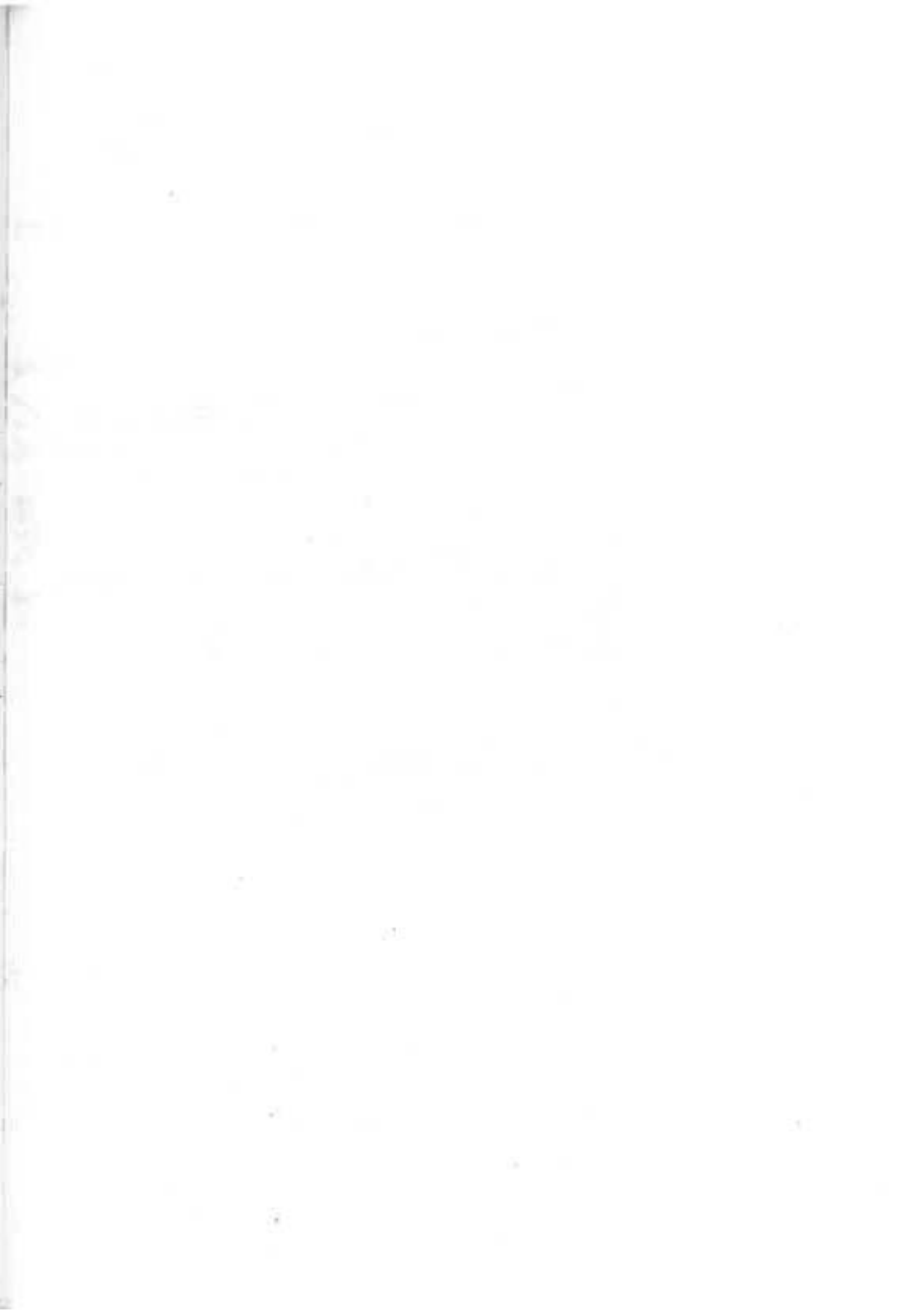
AUSKUNFTE

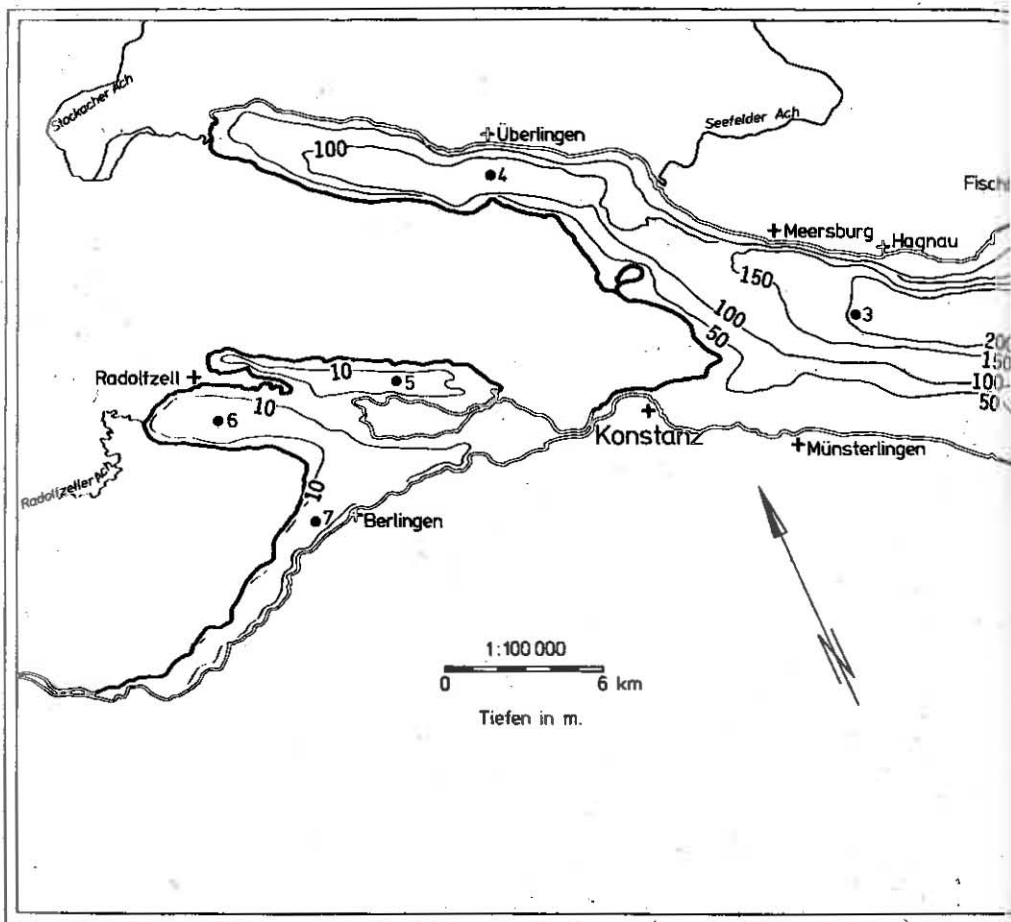
Baden-Württemberg: Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Umweltschutz
7 Stuttgart 1
Postfach

Bayern: Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft
8 München 1
Abhofach

Österreich: Amt der Vorarlberger Landesregierung
A 6901 Bregenz
Montfortstr. 4

Schweiz: Eidgenössisches Amt für Umweltschutz
CH 3003 Bern
Monbijoustr. 8





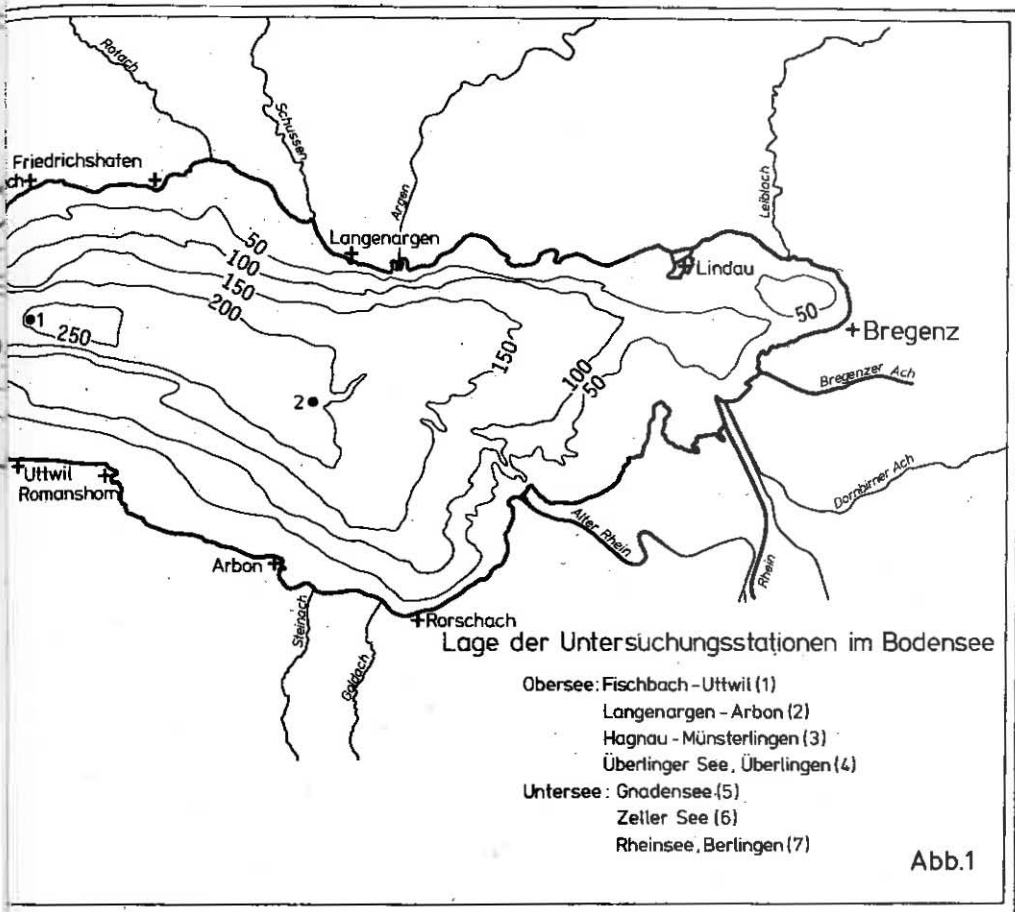
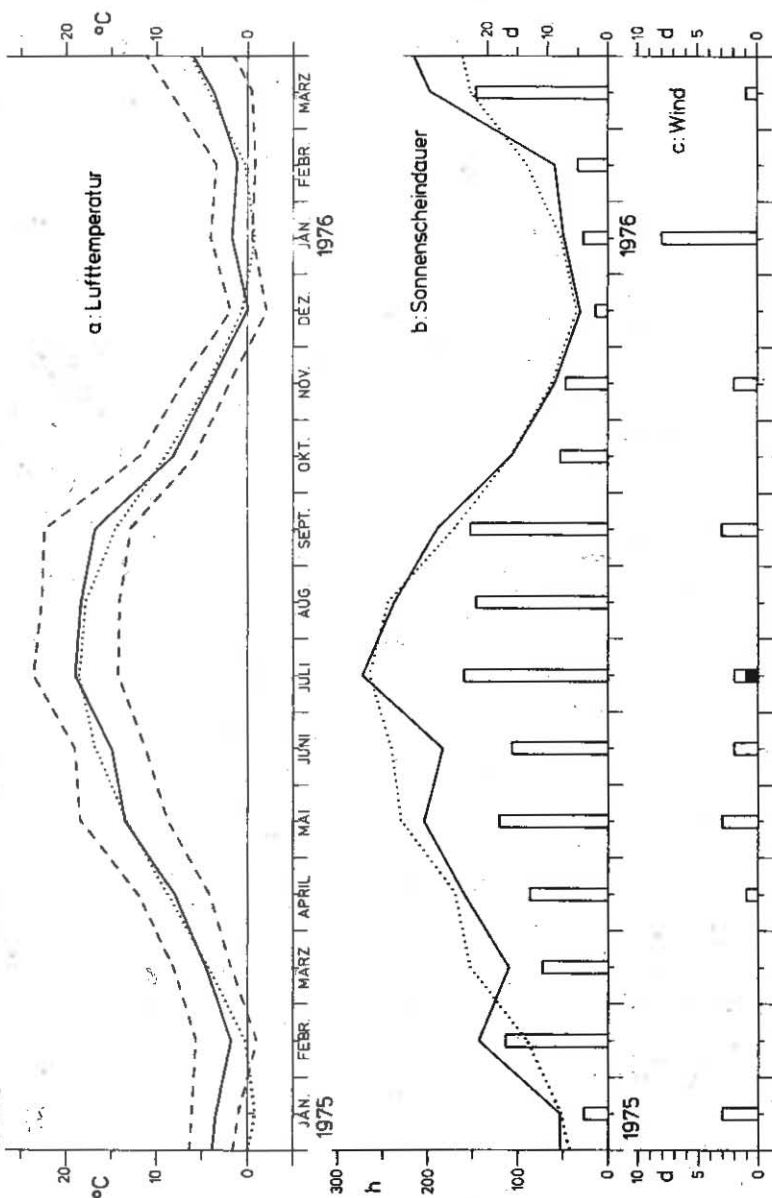


Abb. 2



Monatliche Klimadaten der Wetterstation Friedriehshafen 1975 / 1976

- Monatsmitteltemperatur
 - - - - - Monatsmittel der täglichen Temperaturextrema
 langjährige Monatsmitteltemperatur (1931 - 1960)
 □ bzw. ■ Tage im Monat an denen mindestens ein 10 - min - Mittel 6 bzw. 8 Bf oder mehr beträgt
 — monatliche Sonnenscheindauer in h
 langjährige monatliche Sonnenscheindauer in h (1901 - 1950)
 □ Tage im Monat mit mindestens 5 h Sonnenschein

Abb. 3

Wasserstand am Pegel Konstanz 1975/76

— mittlerer monatl. Wasserstand
- - - langjähr. mittlerer monatl. Wasserstand (1877-1964)

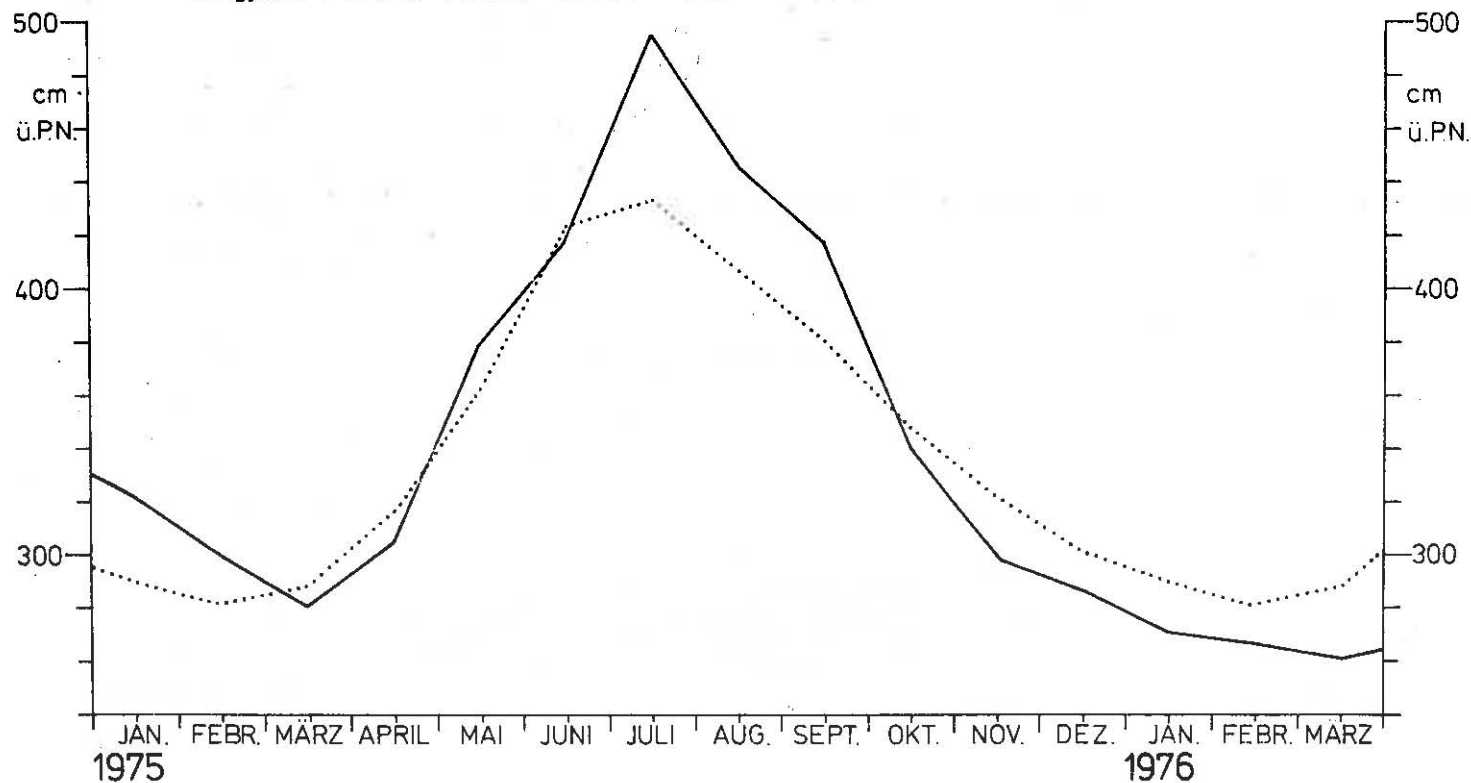


Abb. 4

Fischbach - Uttwil

Temperatur °C

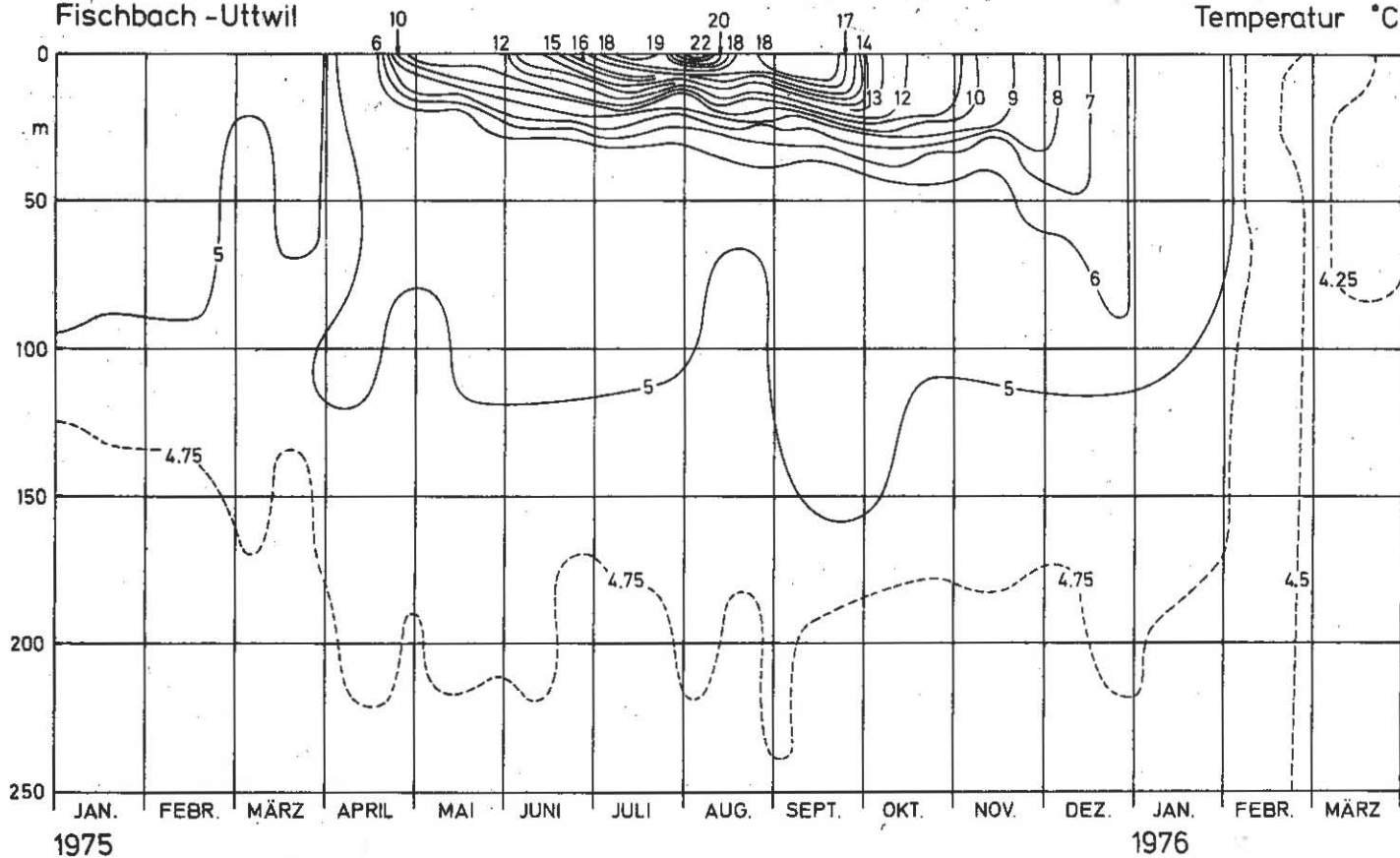


Abb. 5

Fischbach - Uttwil

O₂ mg/l

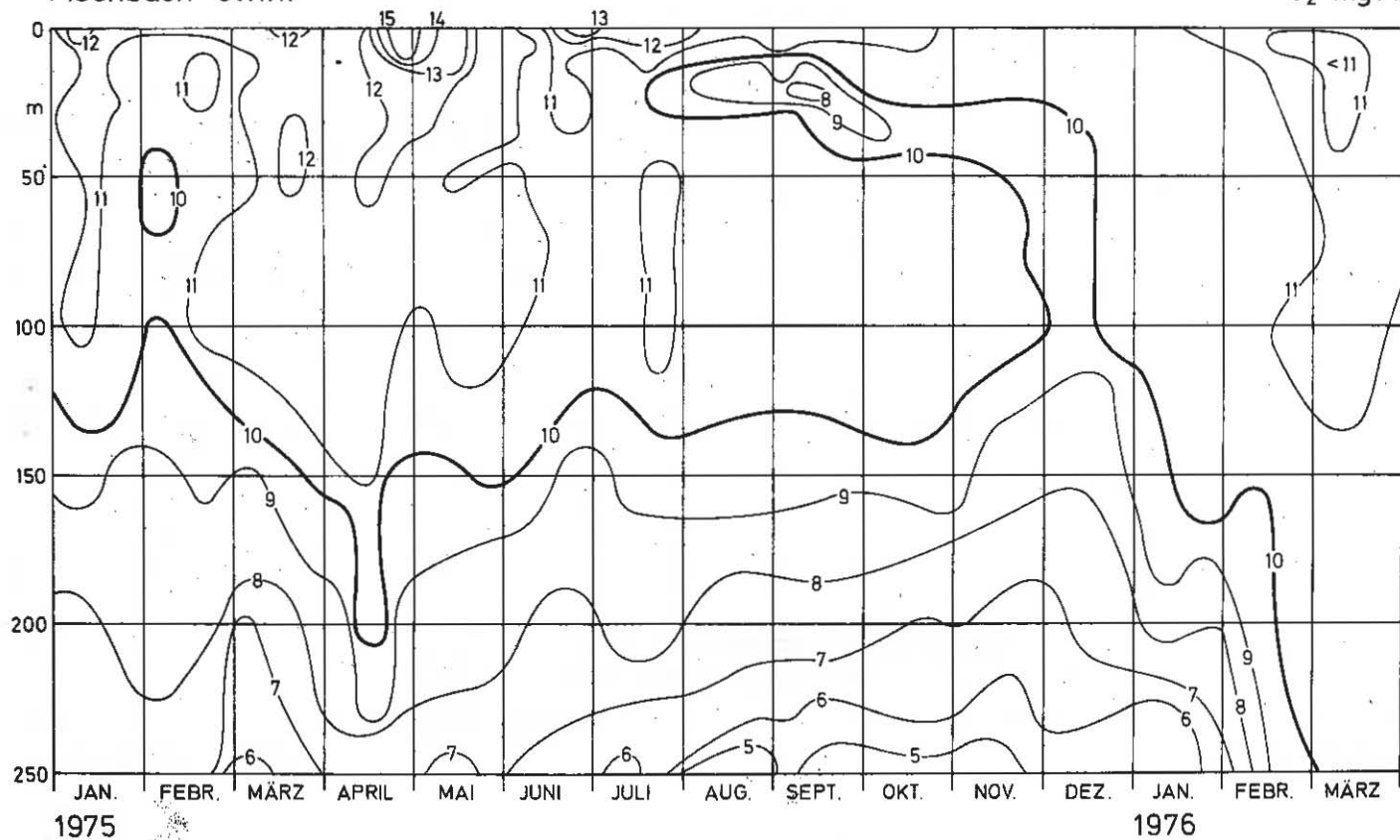


Abb. 6

Fischbach - Uttwil

$\text{PO}_4\text{-P mg/m}^3$

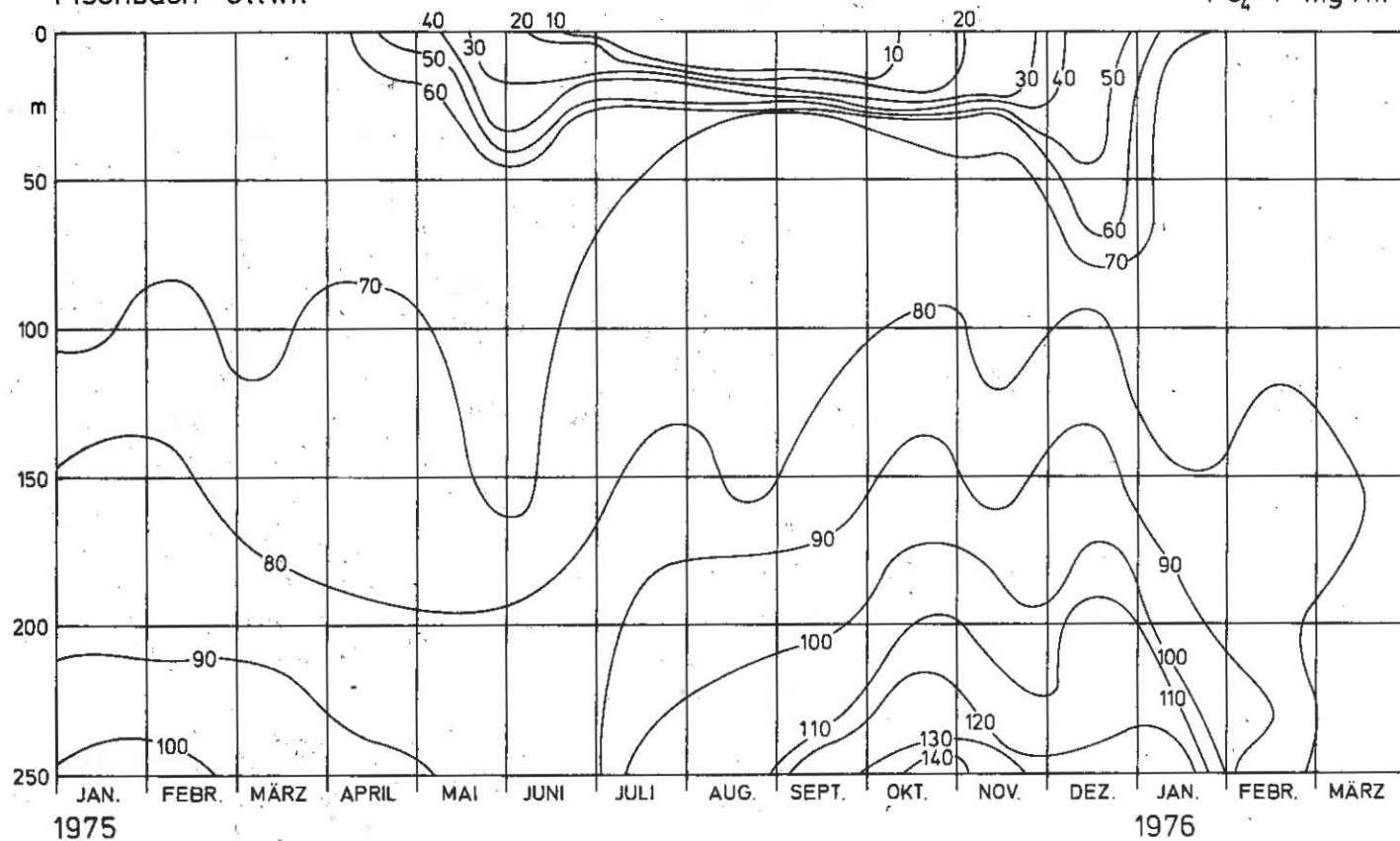


Abb. 7

Fischbach - Uttwil

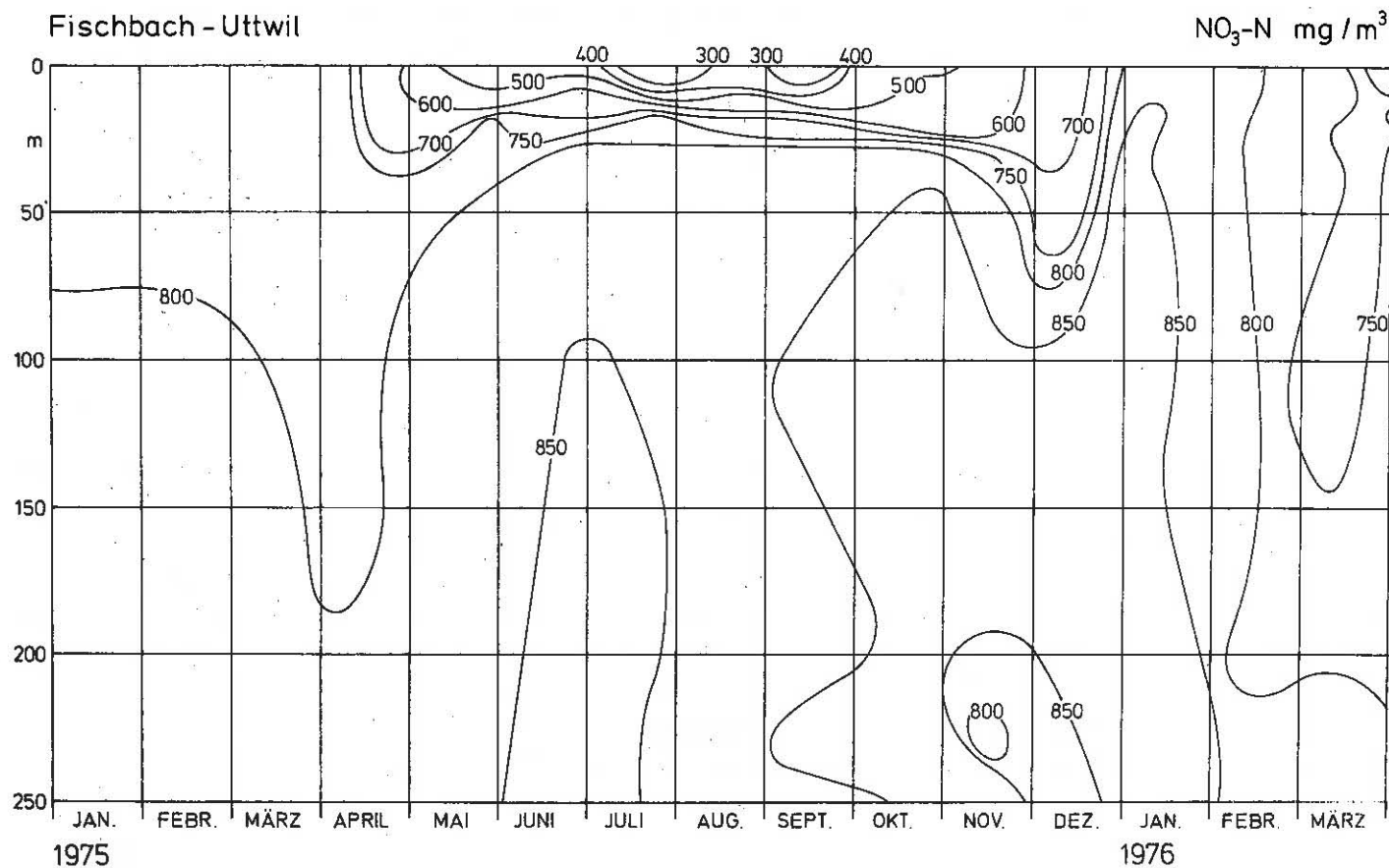


Abb. 8

Fischbach-Uttwil

SiO₂ mg / l

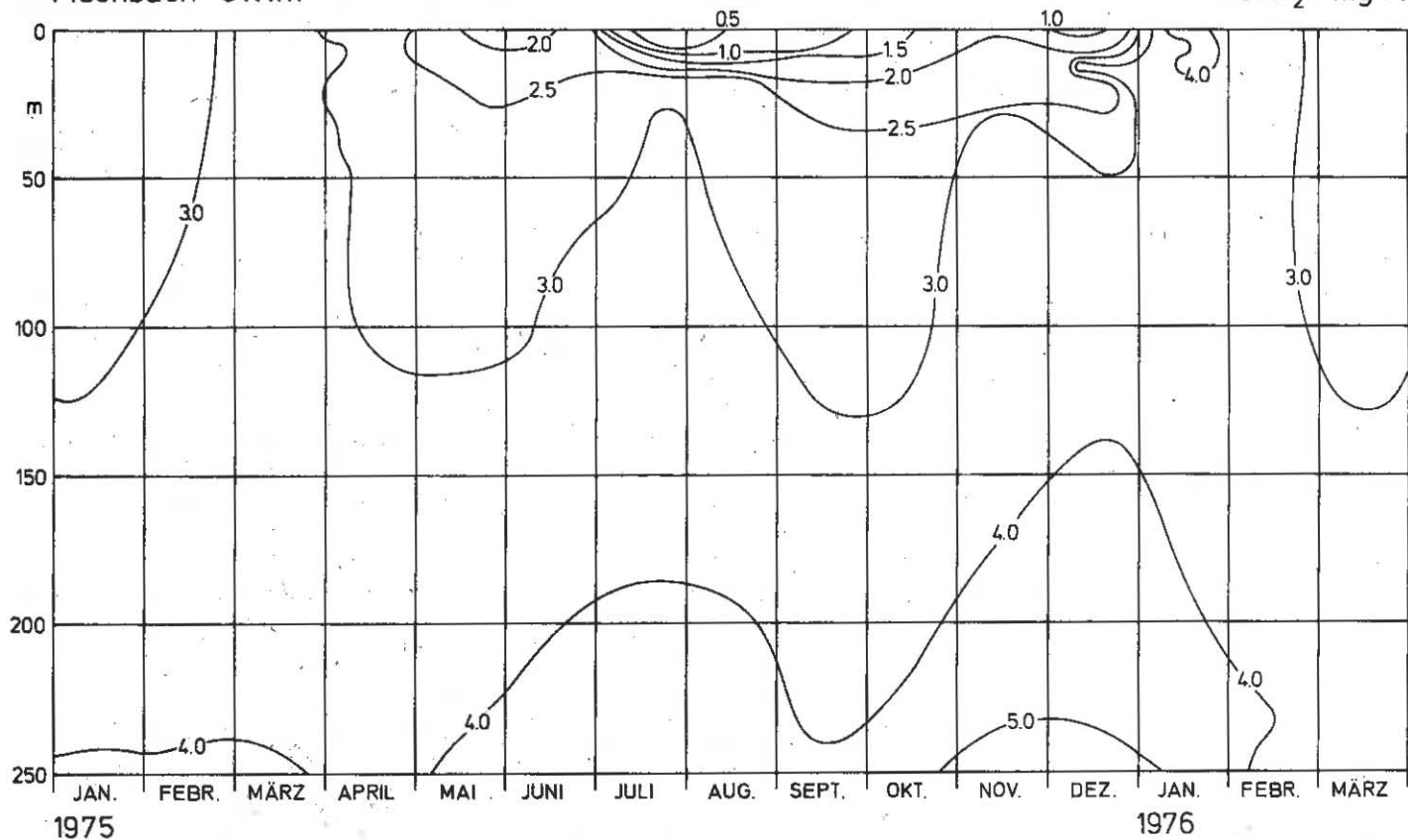


Abb. 9

Fischbach - Uttwil

anorg. C mmol / l

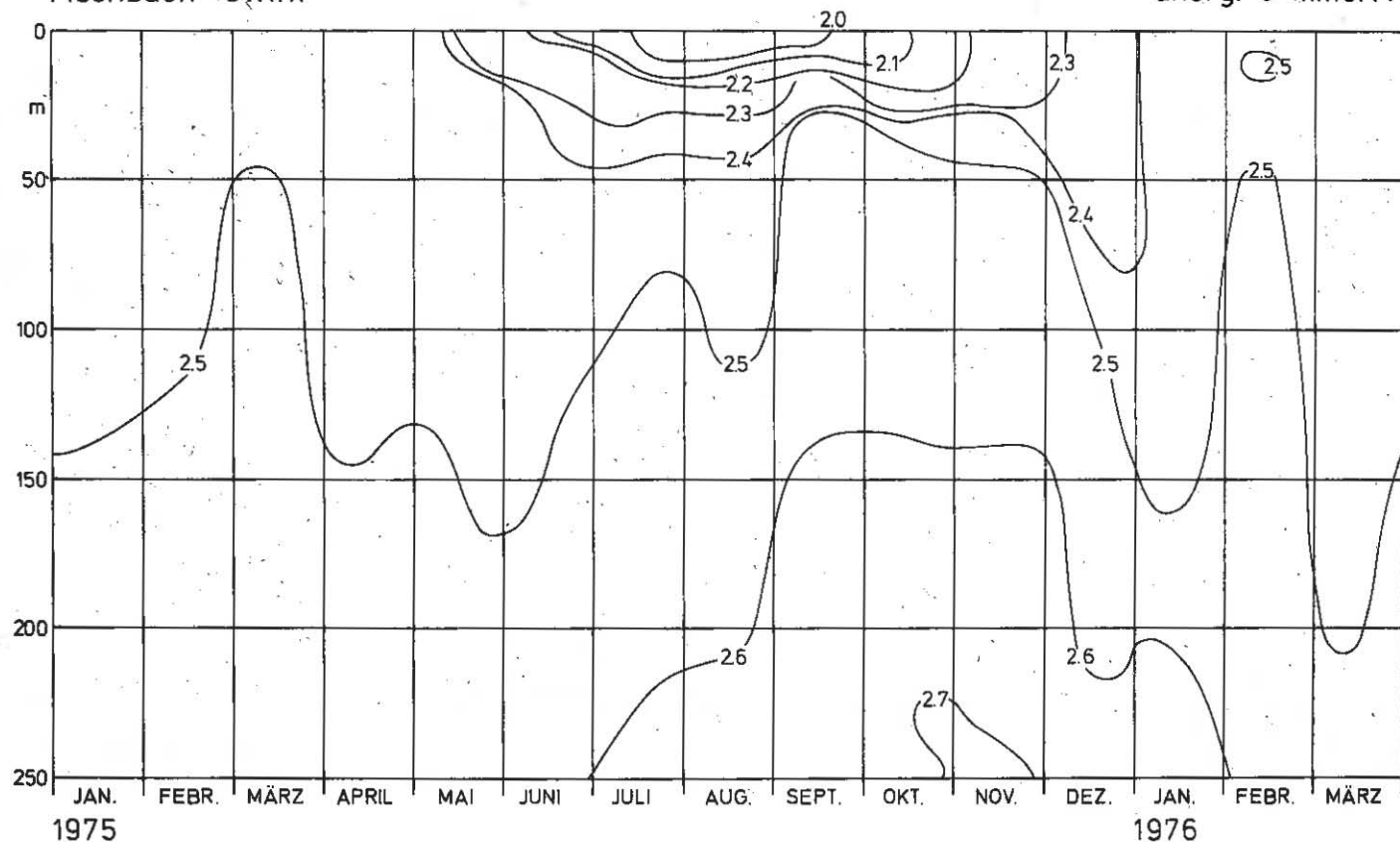


Abb.10

Fischbach-Uttwil

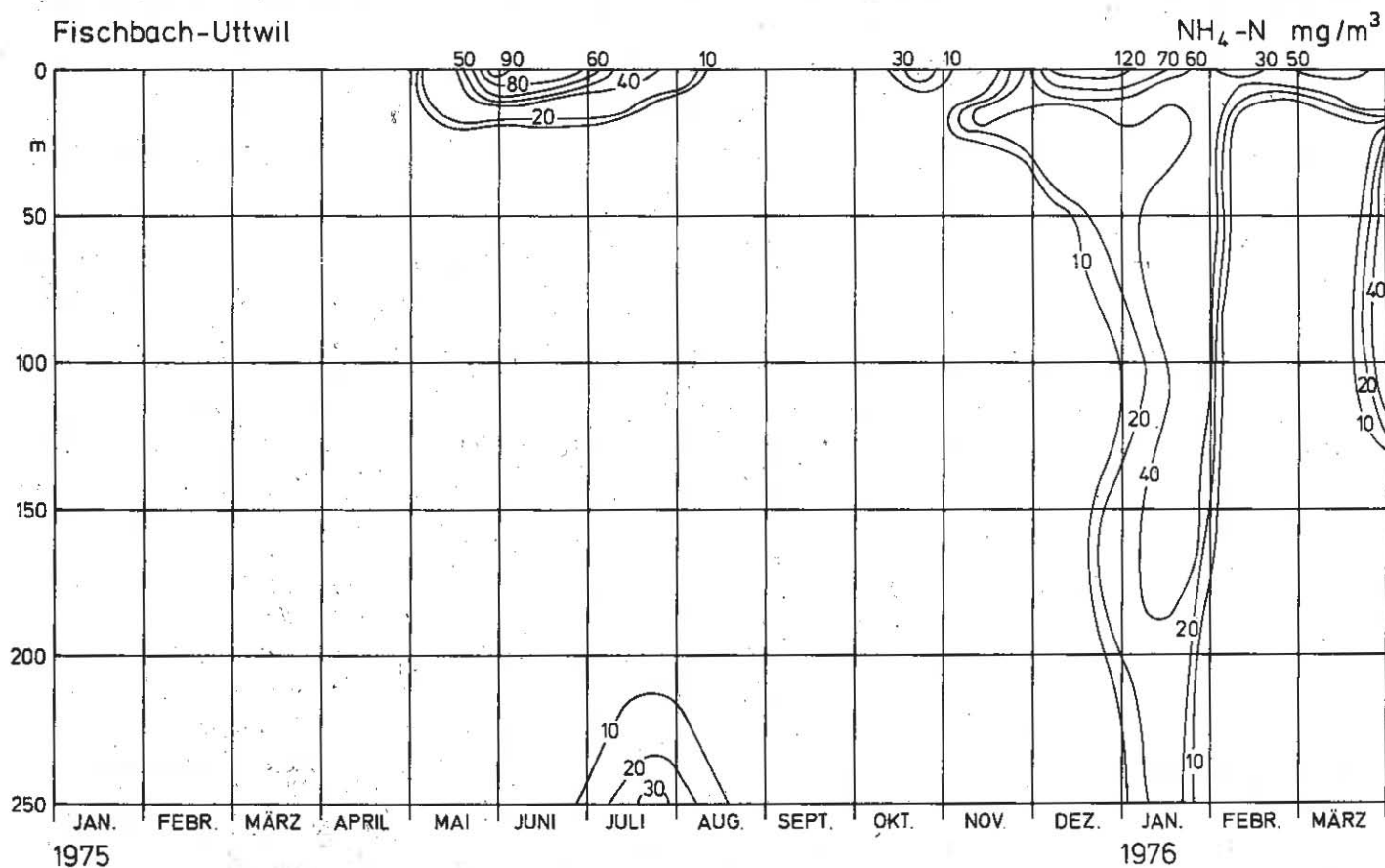


Abb. 11

Fischbach - Uttwil

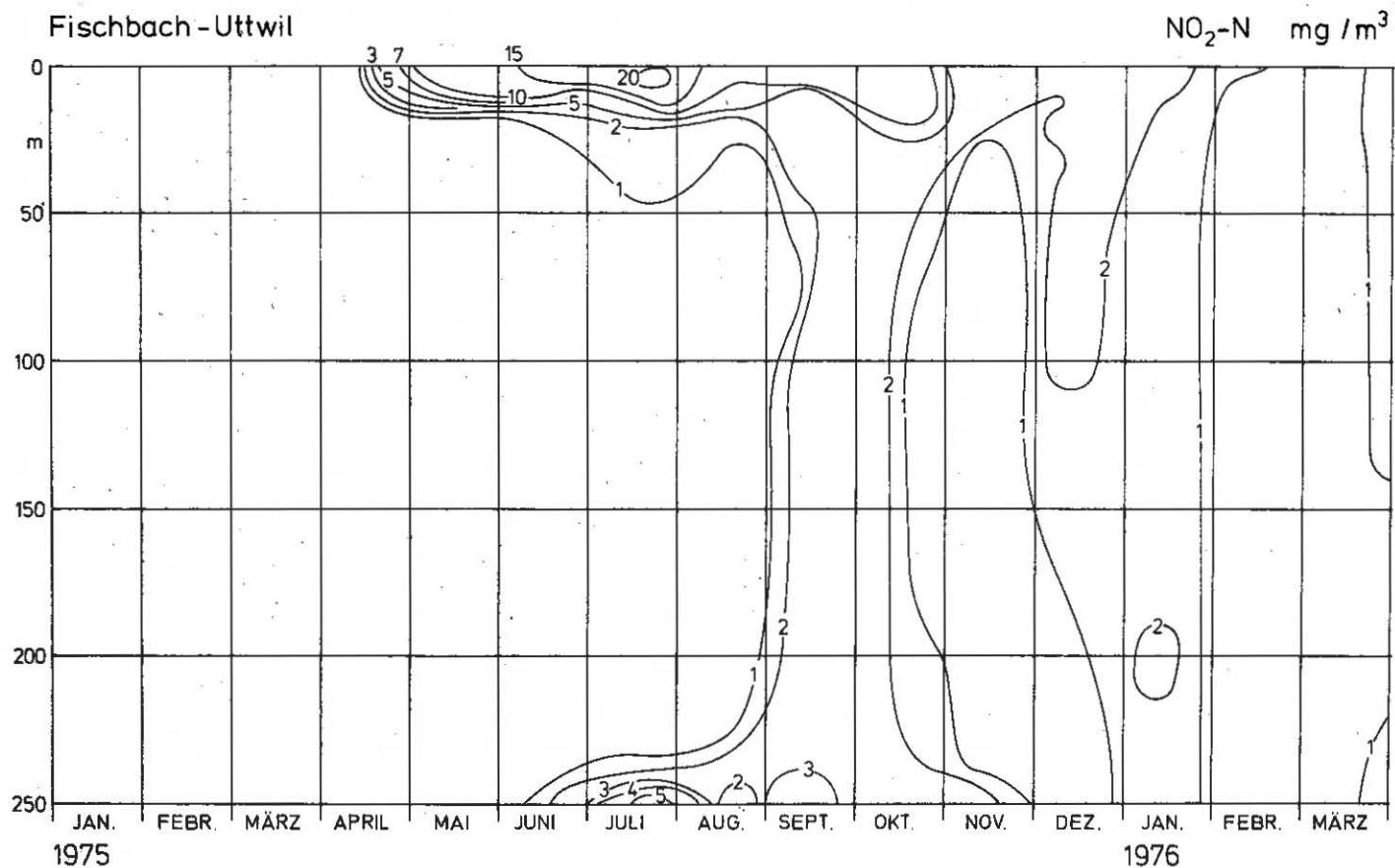


Abb.12

Fischbach-Uttwil

Part.-P mg / m³

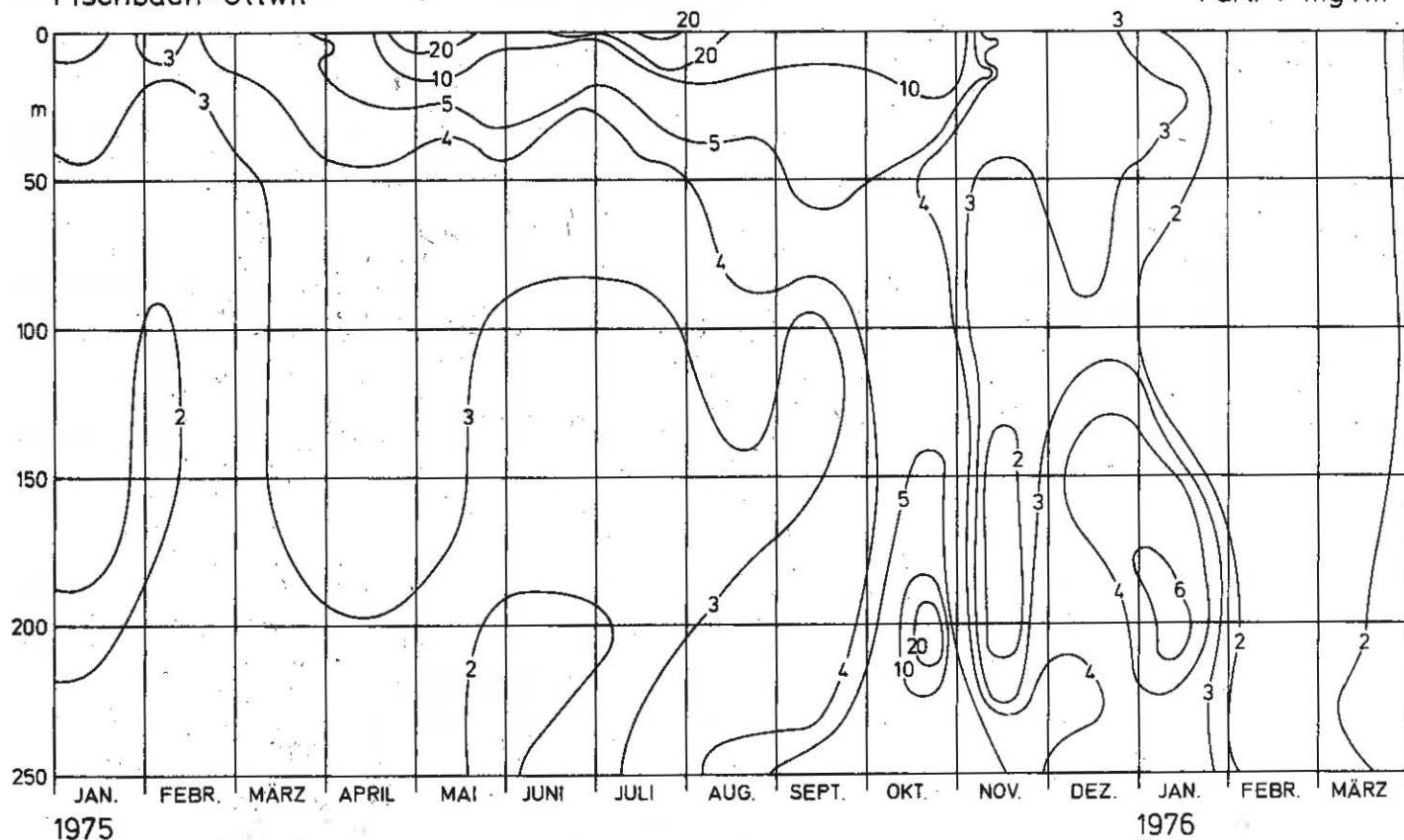


Abb.13

Fischbach - Uttwil

Part. - N mg/m^3

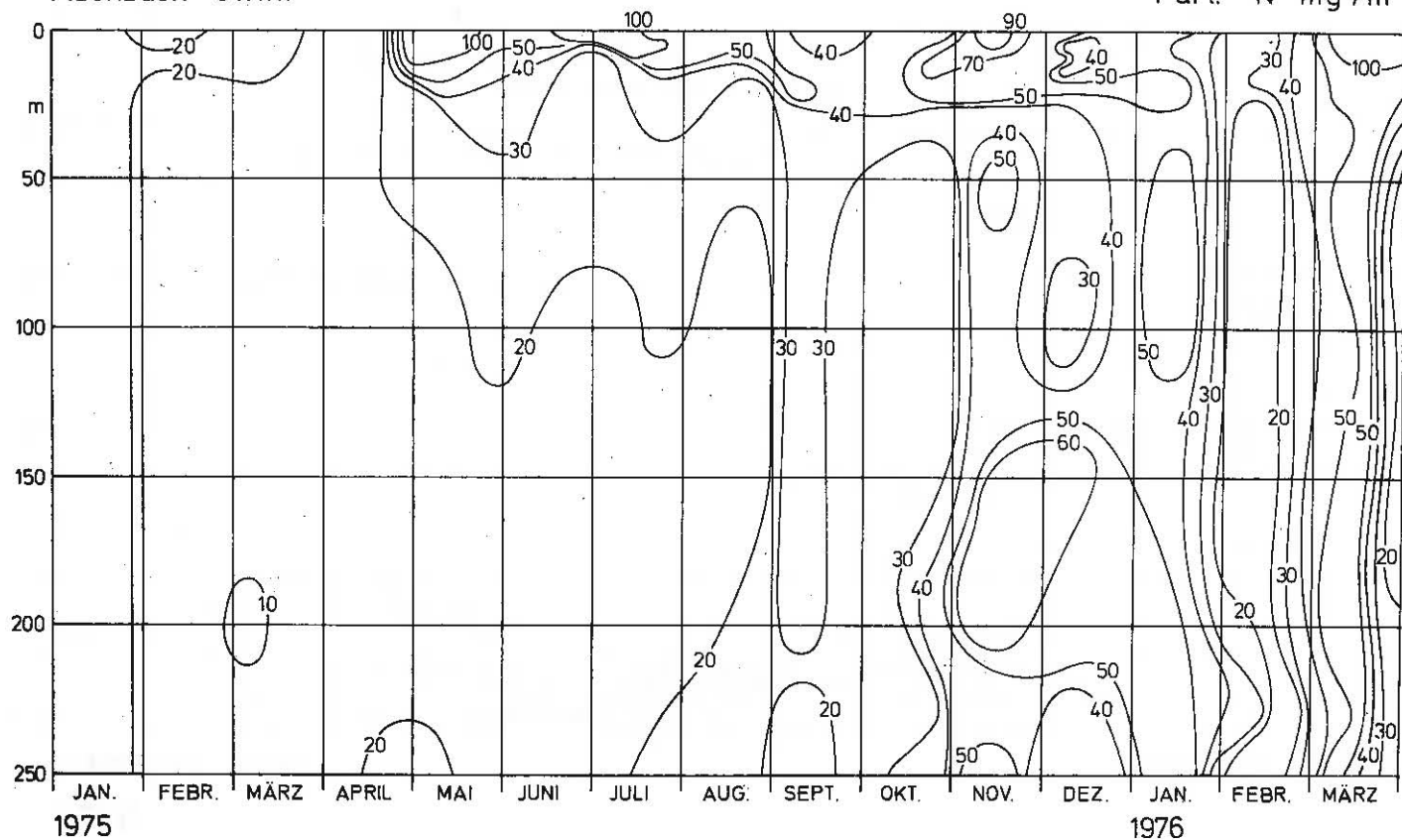


Abb.14

Fischbach - Uttwil

Chlorophyll mg / m^3

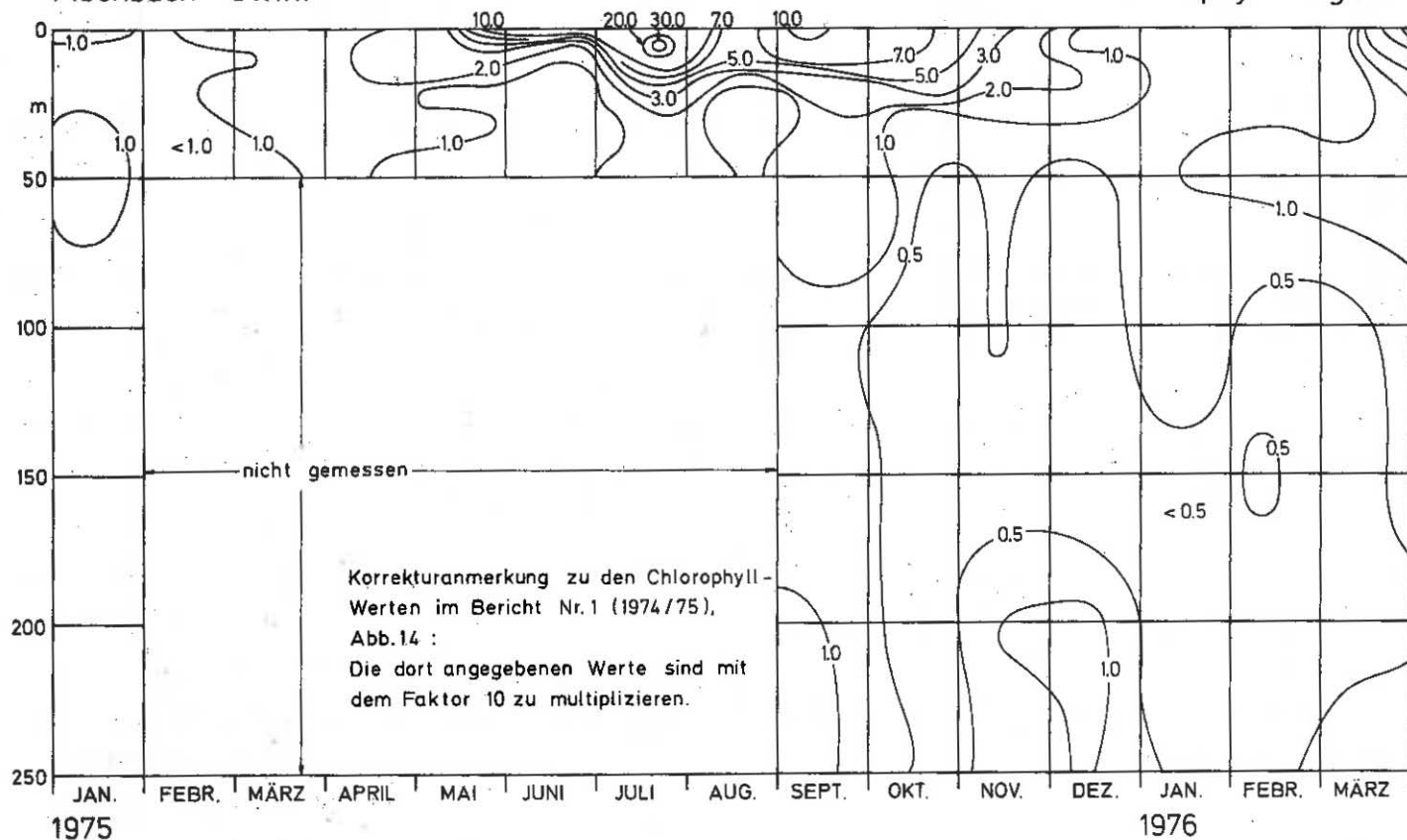
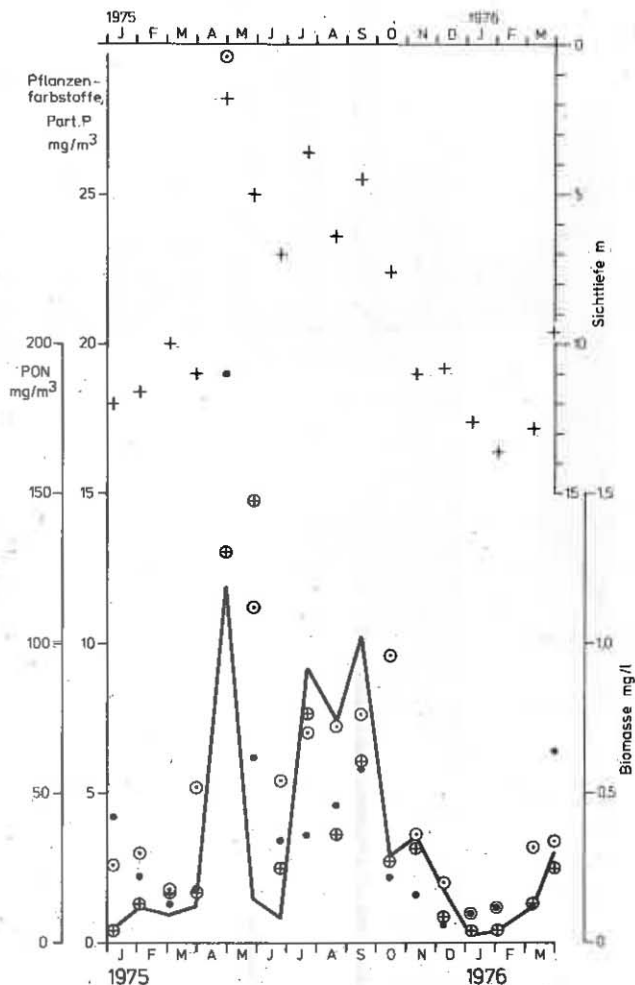


Abb.15

Entwicklung der Planktonbiomasse



Station Hagnau - Münsterlingen 1975/1976

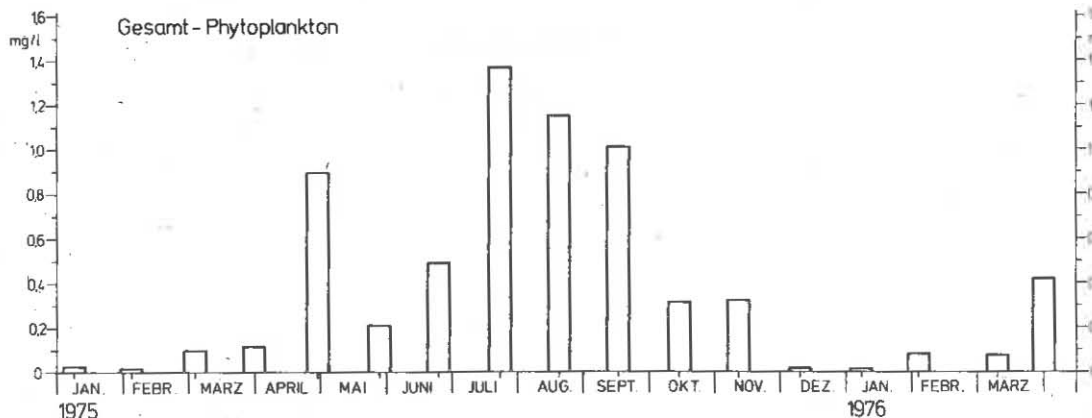
(Mittelung von 0 - 30 m Tiefe)

- ○ ○ Part.P mg/m³
- ● ● Part.org.N mg/m³
- ⊕ ⊕ ⊕ Pflanzenfarbstoffe mg/m³ (Chlorophyll + Phaeophytin)
- +++ Sichttiefe m
- Biomasse mg/l (Phytoplankton)

Hagnau-Münsterlingen Abb. 16 Phytoplankton-Biomasse

Mittlere Konzentration in der Schicht von 0 - 20 m Tiefe

Gesamt-Phytoplankton



Einzelne Algengruppen

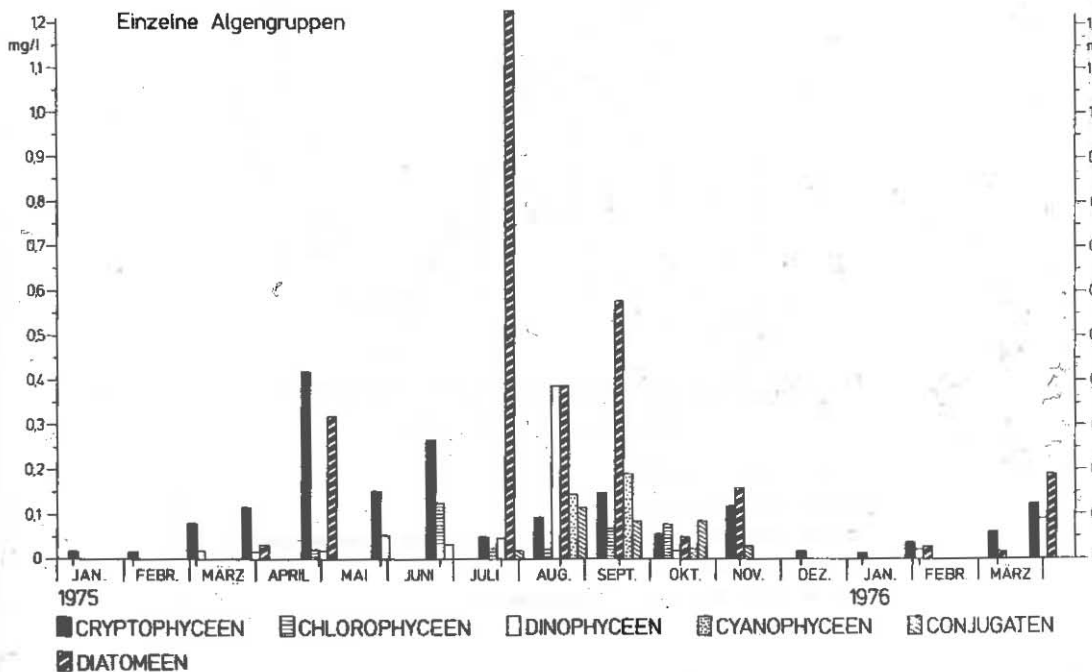
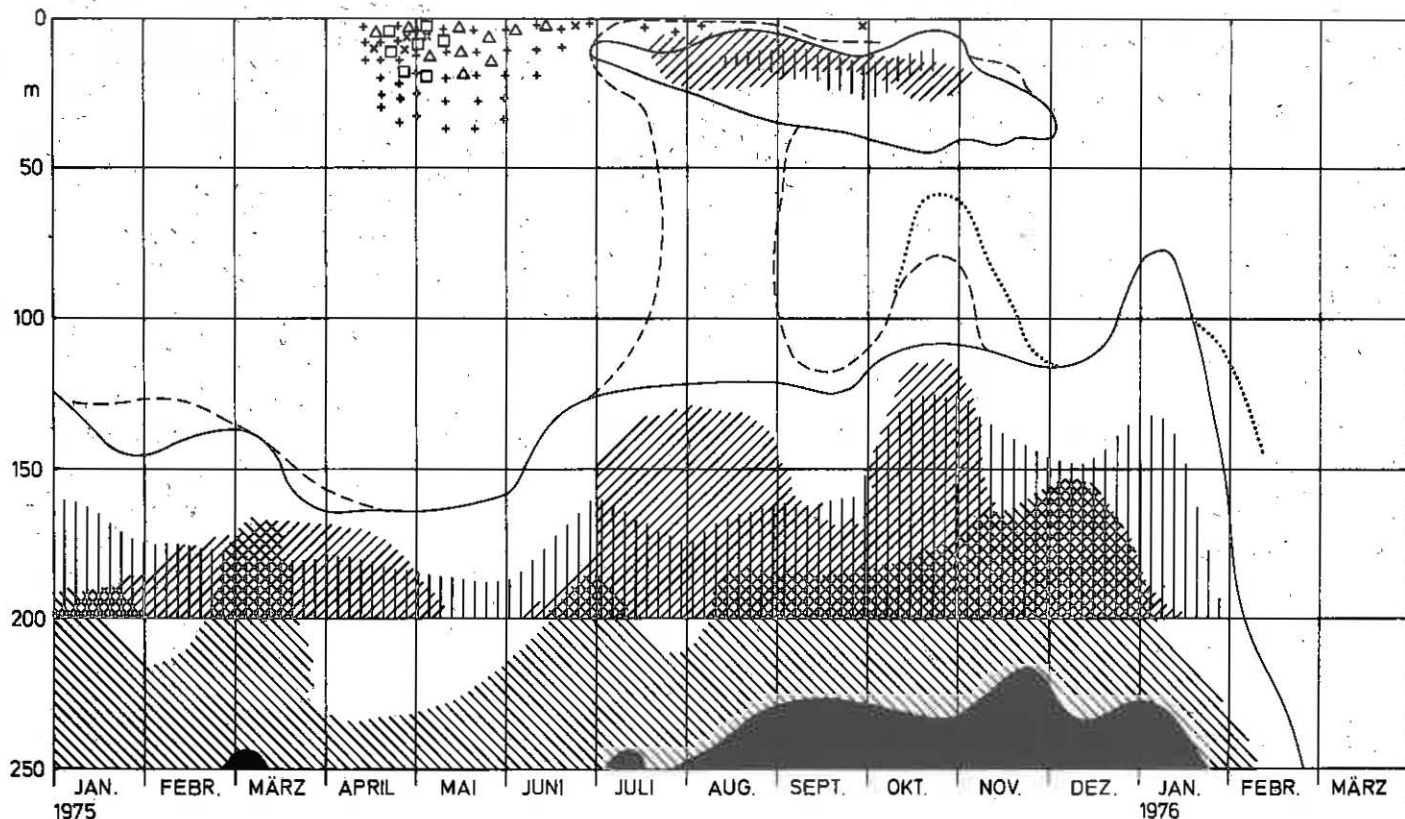


Abb.17

Bodensee - Obersee

Synoptische Übersicht über den Sauerstoffgehalt



Sauerstoffgehalt

<6 mg/l

<8 mg/l

>12 mg/l

Station

Fischbach - Uttwil
 Langenargen - Arbon
 Hagnau - Münsterlingen
 Überlingen

■■■■■

//////

+++++

//////

△△△△

|||||

□□□□

xxxxxx

Bereich, in dem der Sauerstoffgehalt an mindestens einer

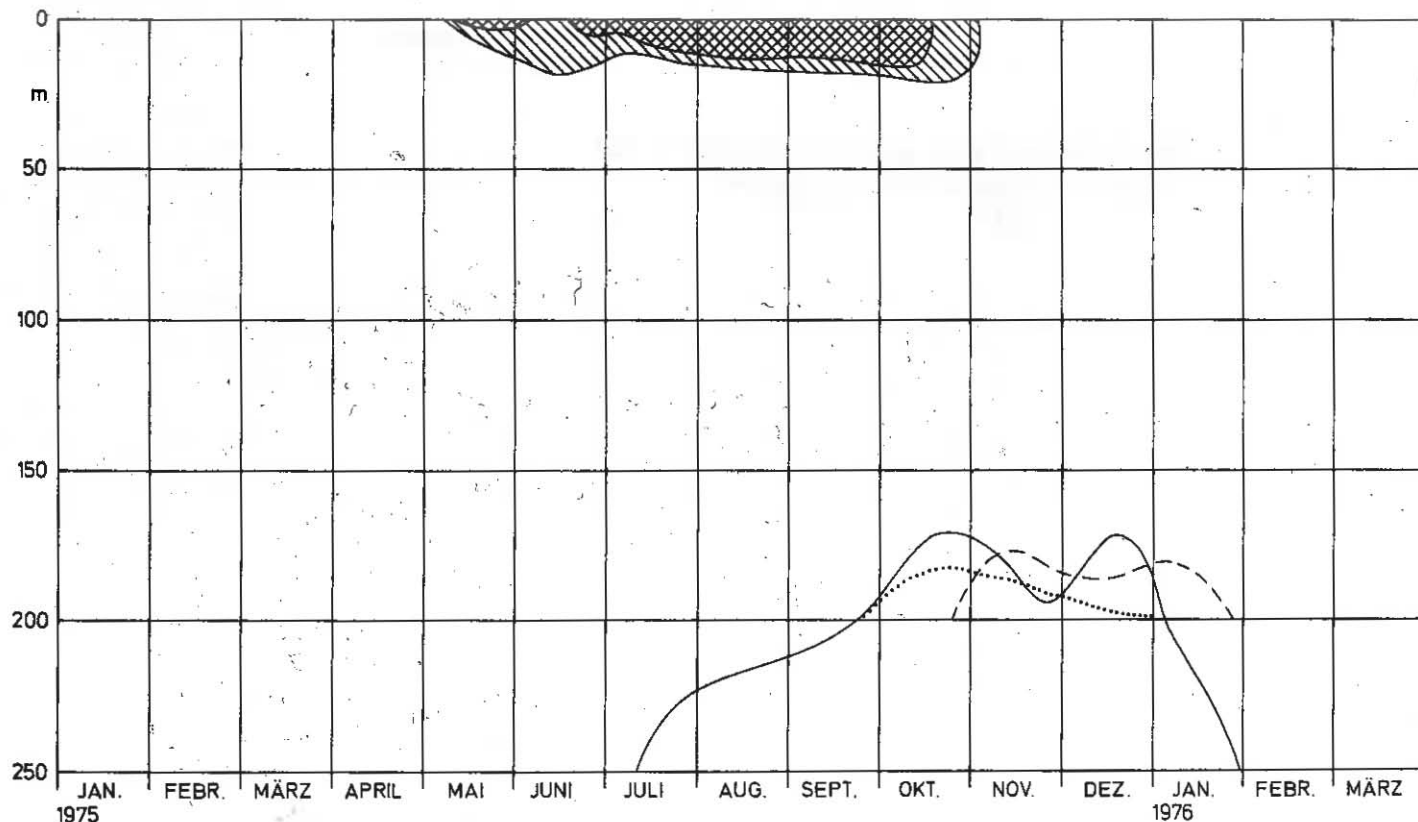
Untersuchungsstation kleiner als 9 mg/l ist: ———

mit Station Langenargen - Arbon - - - - -

mit Station Langenargen - Arbon und Überlinger See - - - - -

Abb.18

Bodensee - Obersee

Synoptische Übersicht über die Aufzehrung und
Akkumulation des Phosphates

Untersuchungsstationen:

Langenargen - Arbon (L),

Fischbach - Uttwil (F),

Hagnau - Münsterlingen (H),

Überlingen

Bereich, in dem der Phosphatgehalt an mindestens einer
Untersuchungsstation kleiner als $10 \text{ mg PO}_4\text{-P/m}^3$ (xxxxx)
bzw. kleiner als $20 \text{ mg PO}_4\text{-P/m}^3$ (~~~~~) ist.
Phosphatgehalt $\text{PO}_4\text{-P}$ größer als 100 mg/m^3
an den Untersuchungsstationen: L (.....) F (—) H (---)

Abb. 19

Gnadensee

Temperatur °C

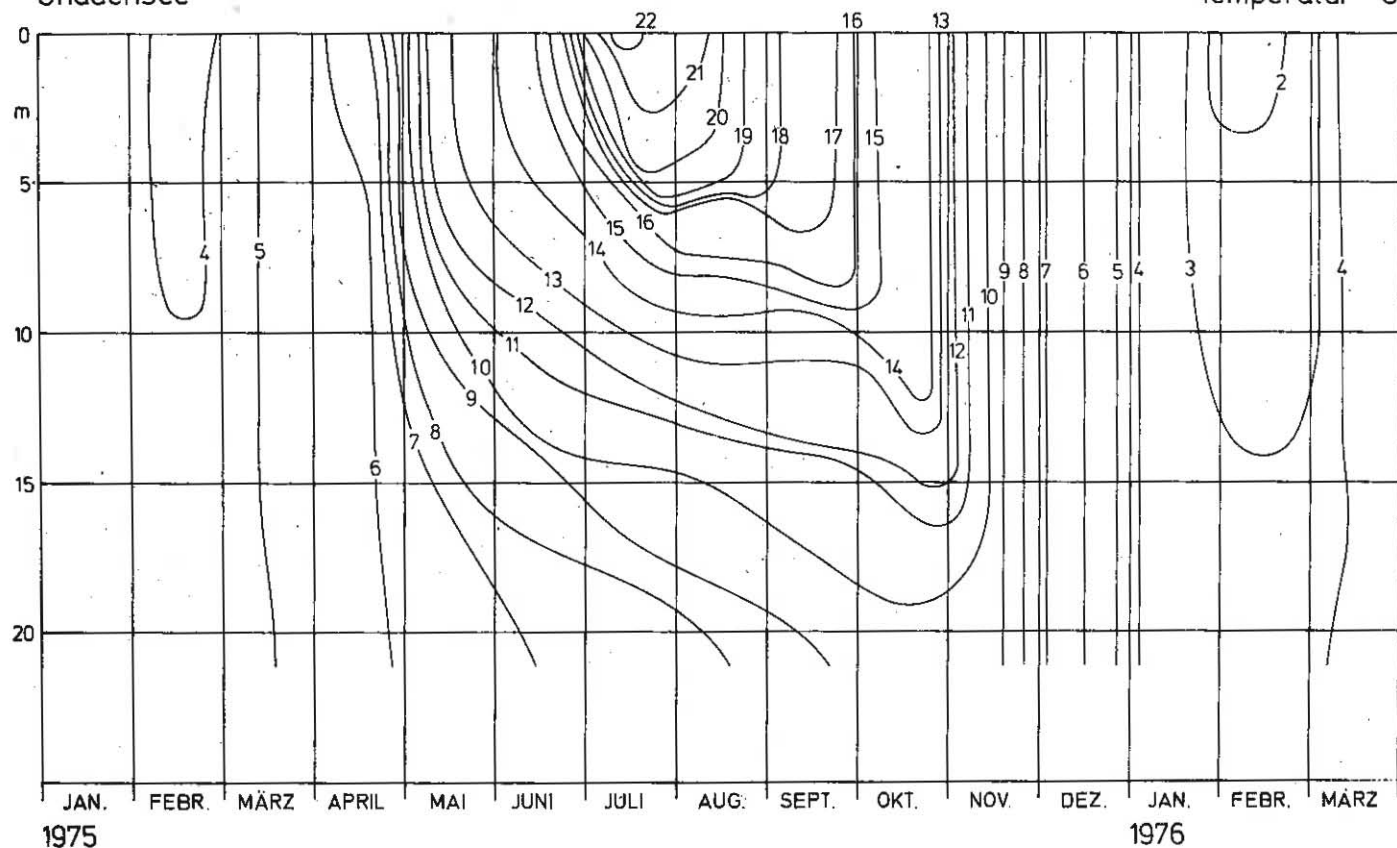


Abb. 20

Gnadensee

O₂ mg/l

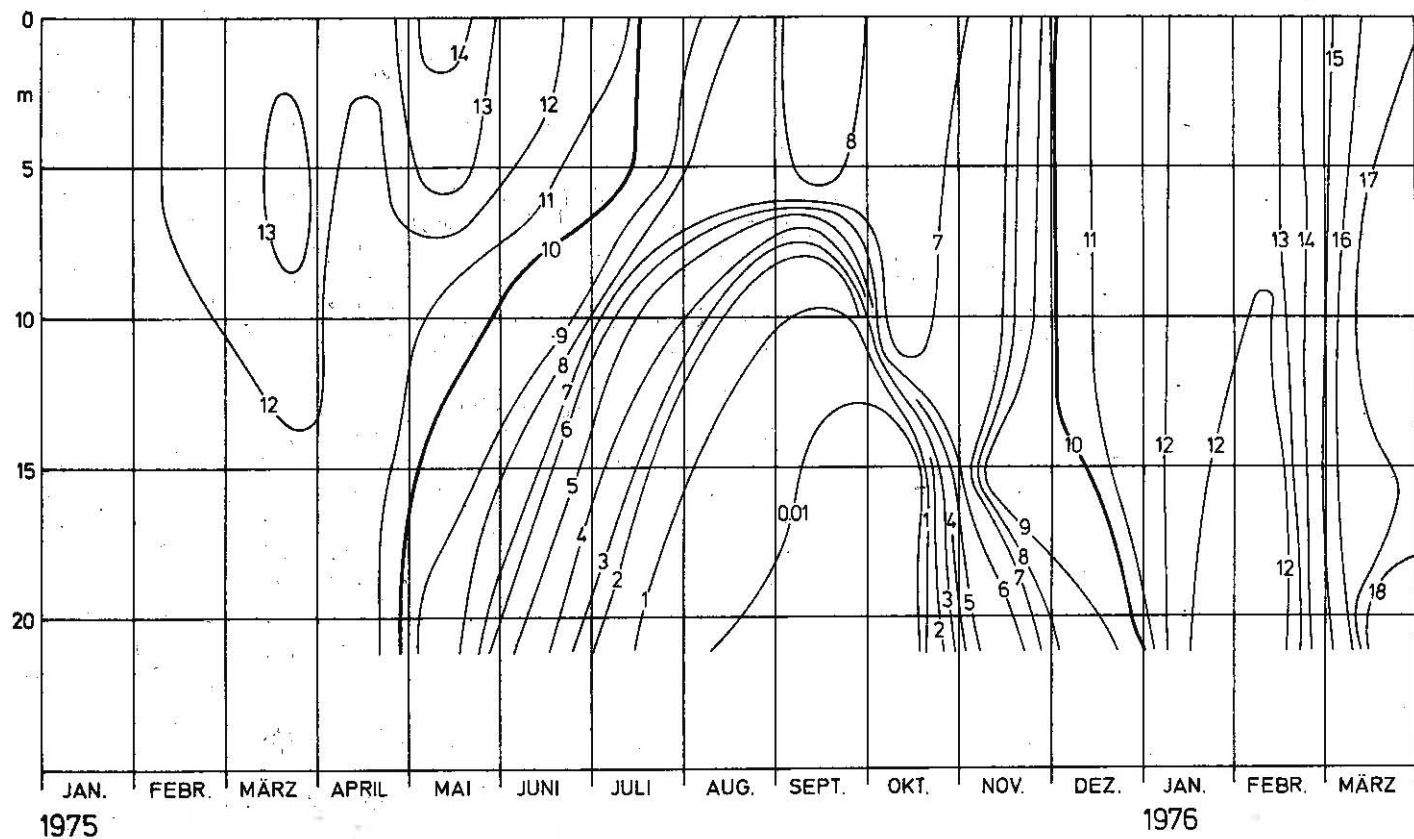


Abb.21

Gnadensee

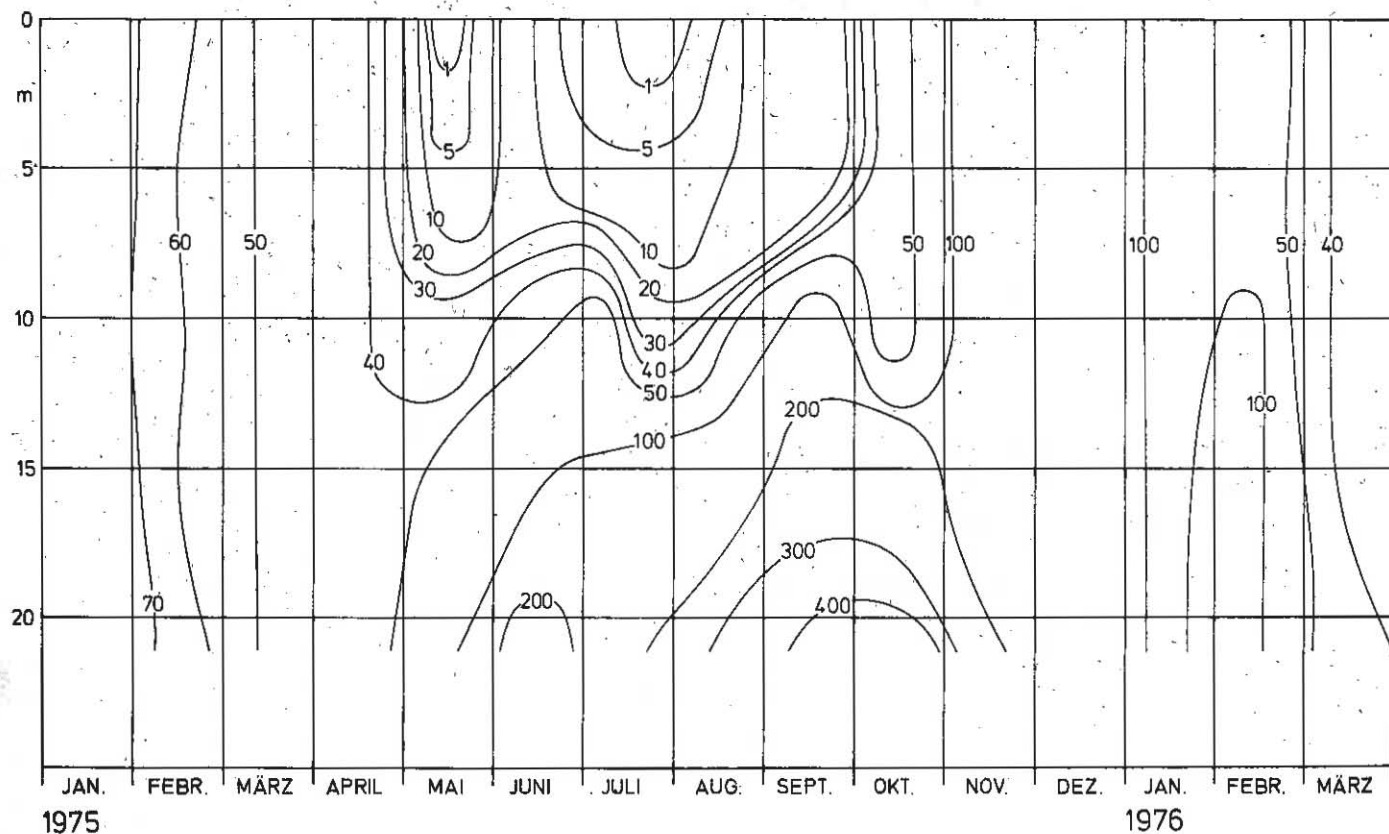
 $\text{PO}_4\text{-P}$ mg / m³

Abb. 22

Gnadensee

NO₃-N mg/m³

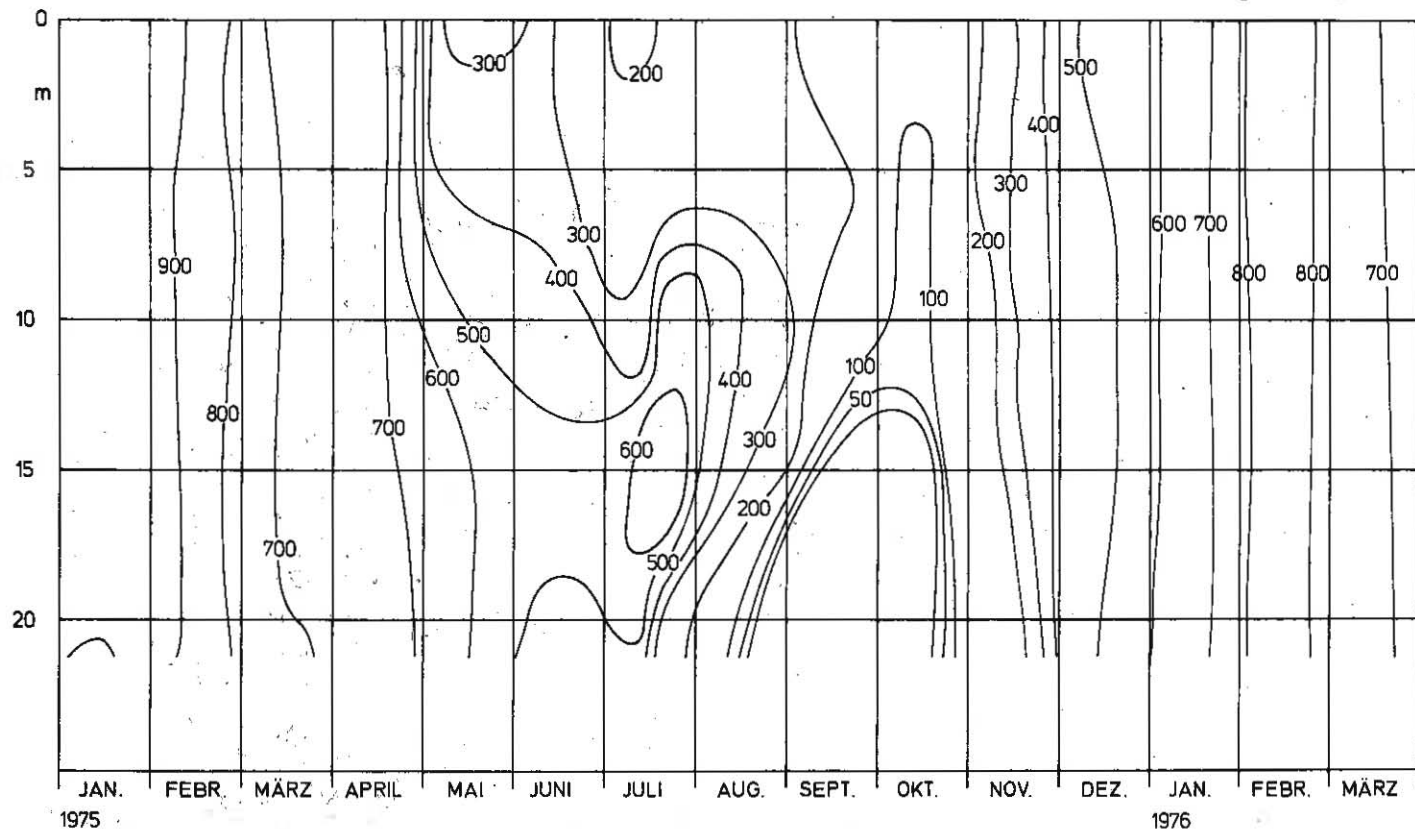


Abb. 23

Gnadensee

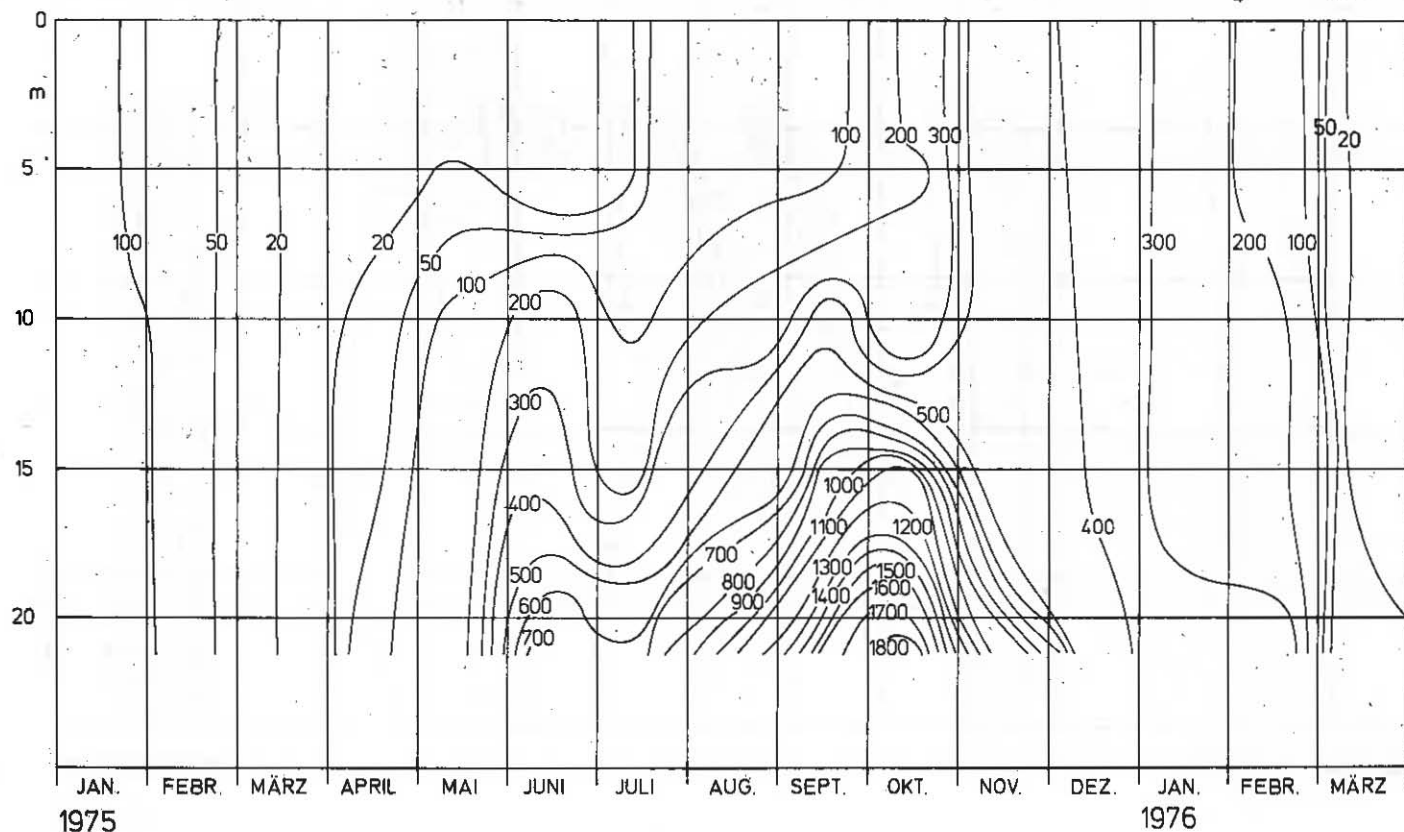
 $\text{NH}_4\text{-N}$ mg/m³

Abb. 24

Gnadensee

NO₂-N mg / m³

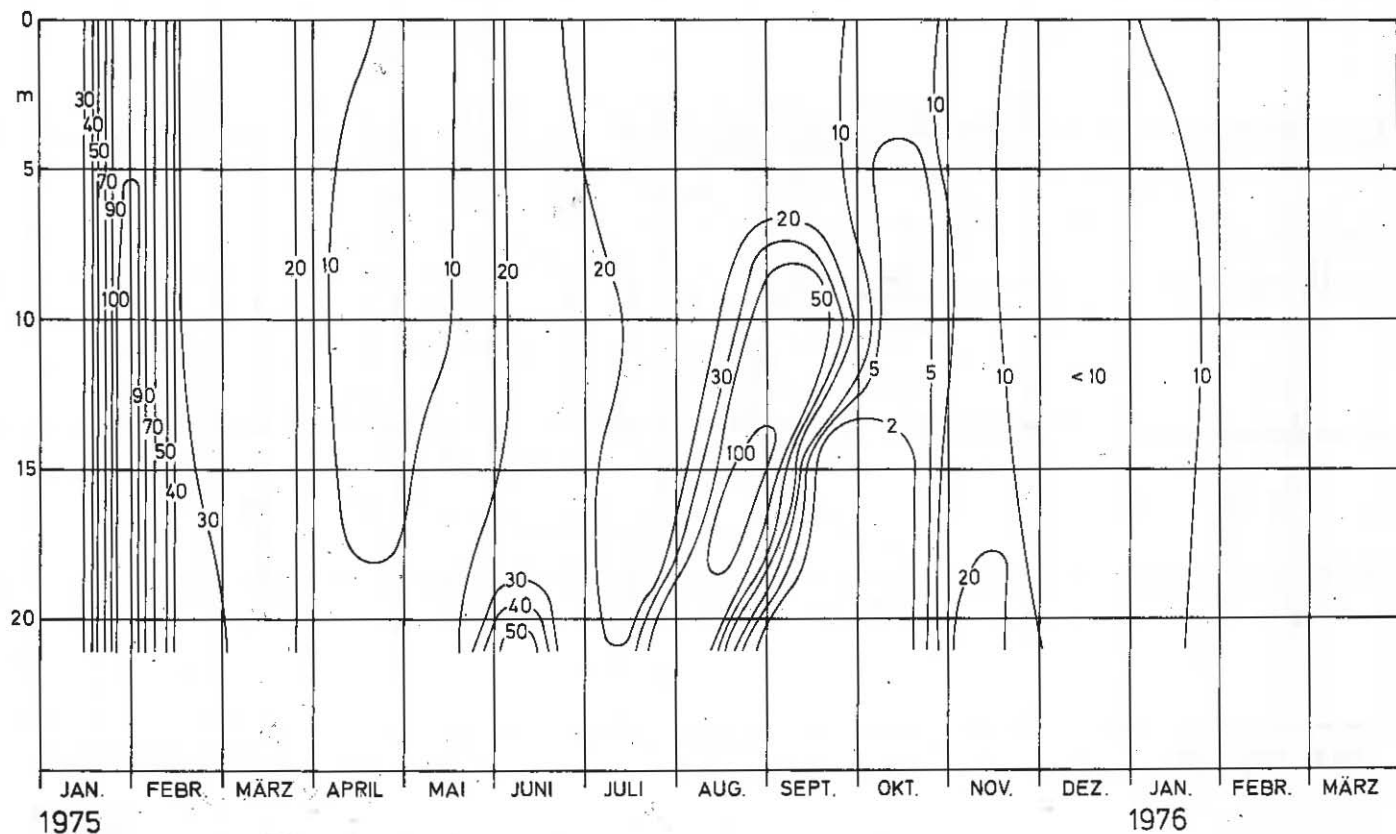


Abb. 25

Gnadensee

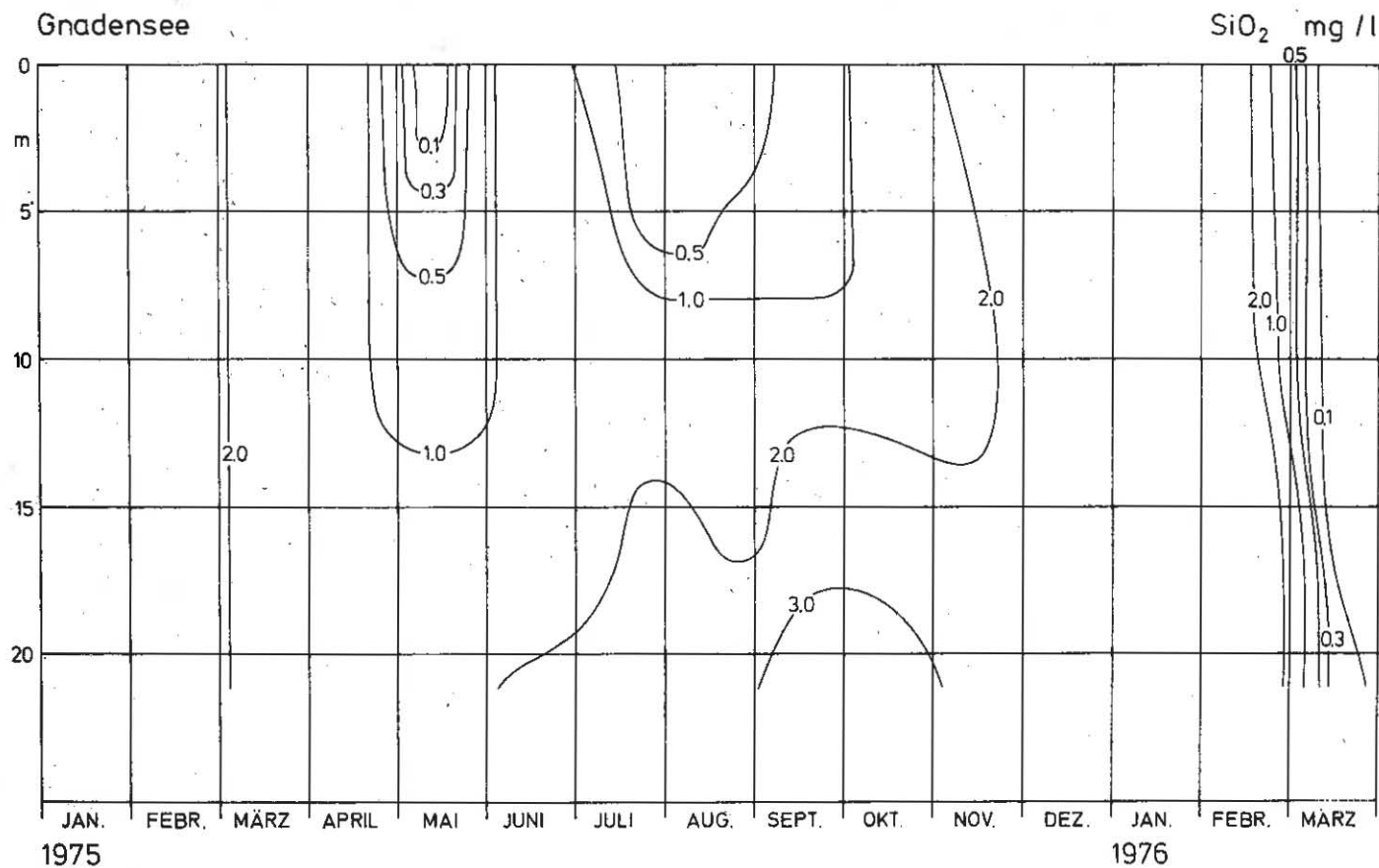


Abb.26

Gnadensee

anorg. C. mmol / l

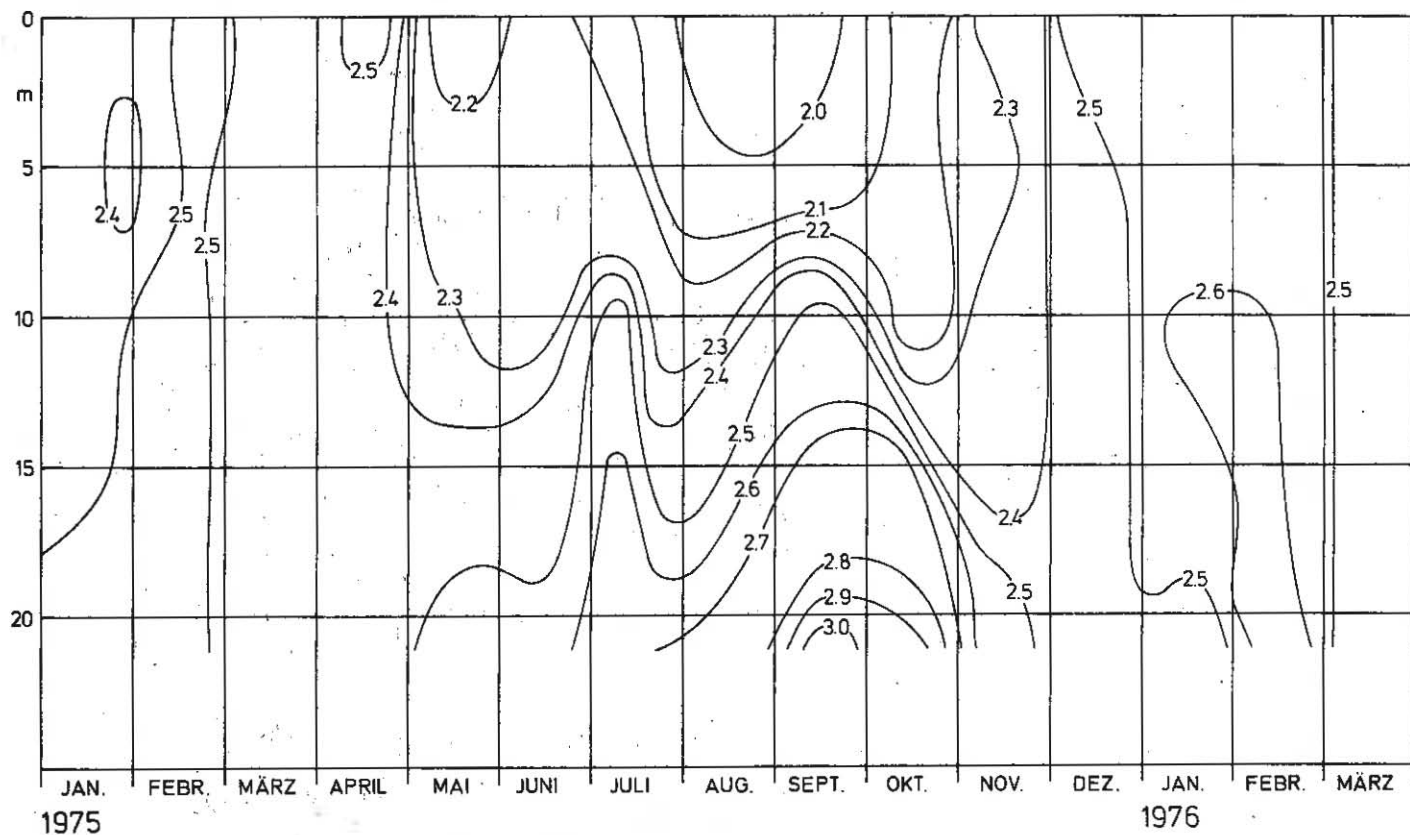
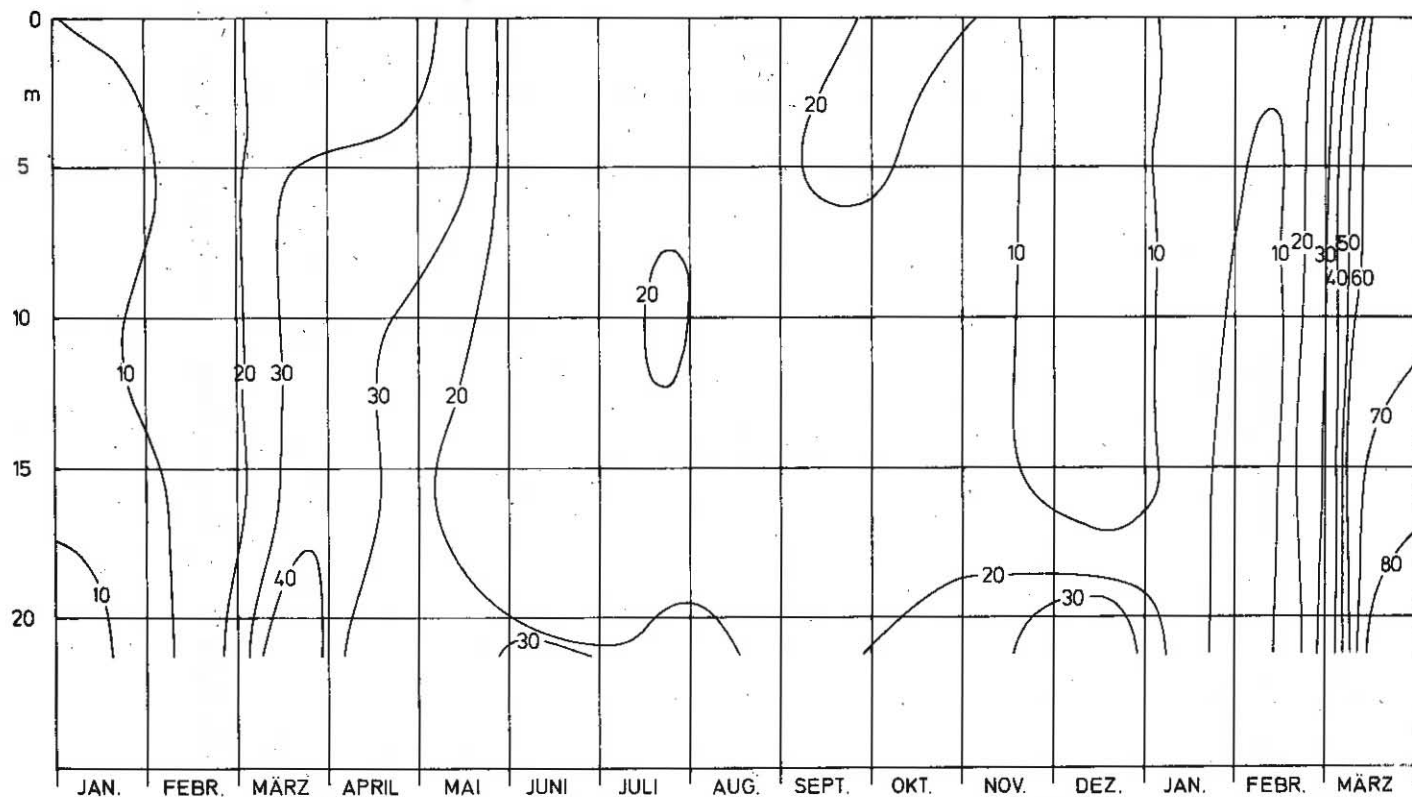


Abb. 27

Gnadensee

Part.-P mg/m^3 

1975

1976

Abb. 28

Untersee Chlorophyll

Mittlere Konzentration in der Schicht von 0 - 10 m Tiefe

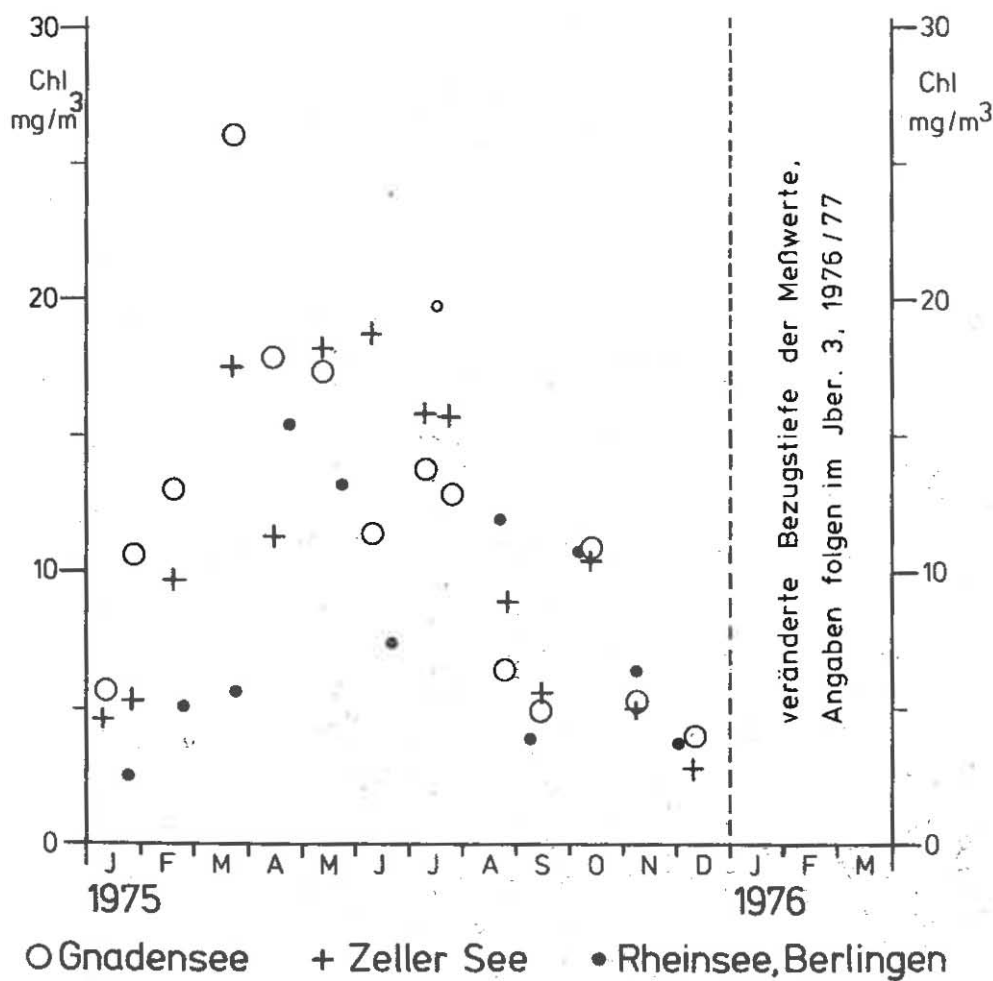
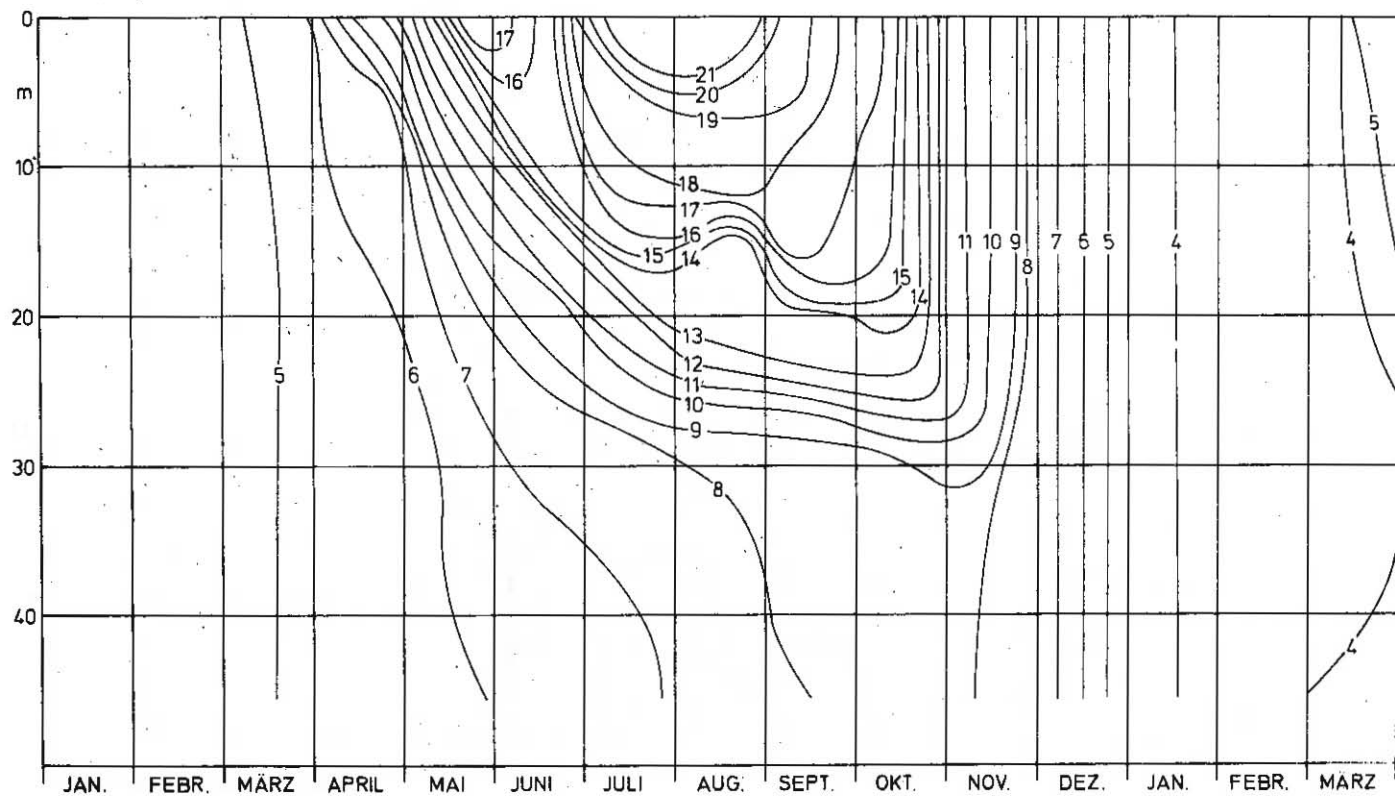


Abb. 29

Untersee Berlingen

Temperatur °C



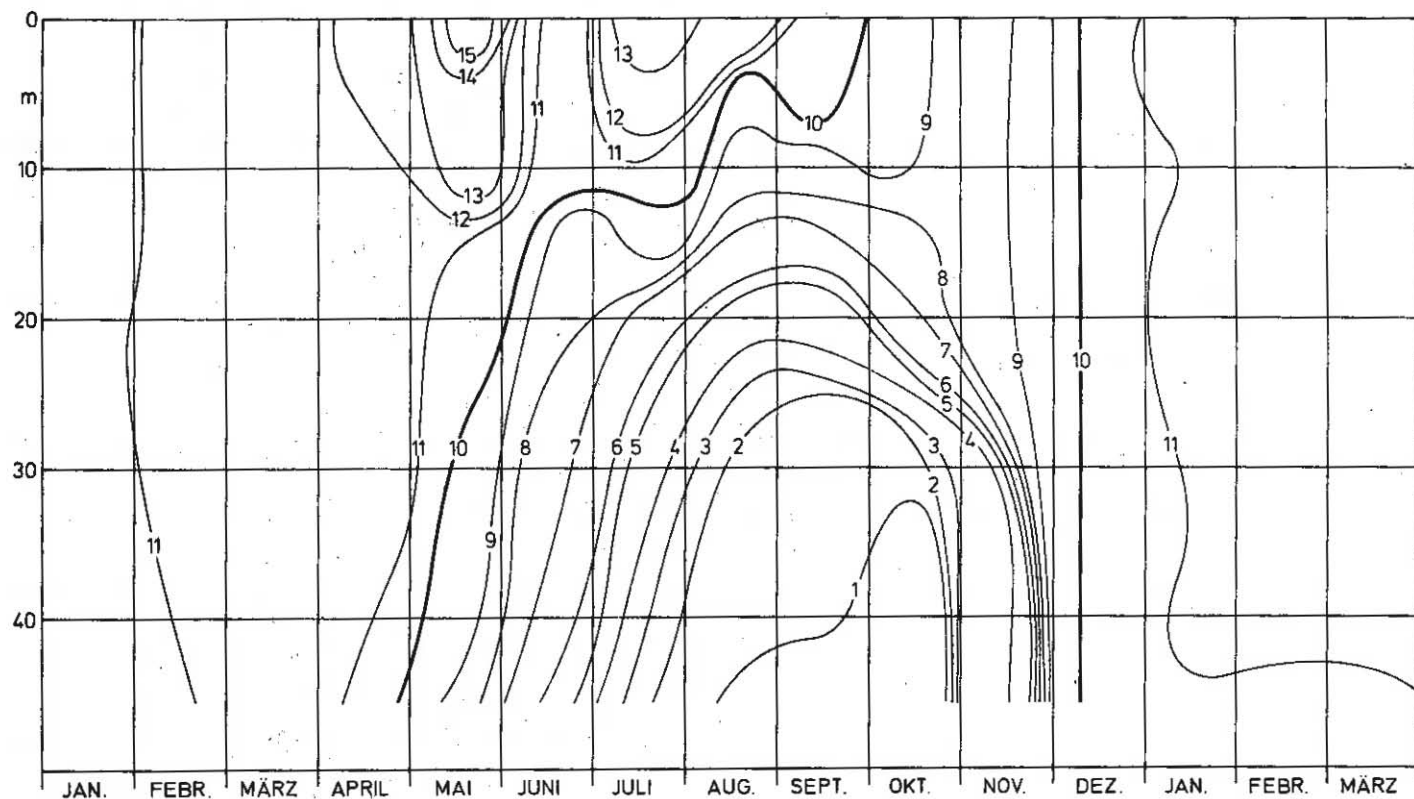
1975

1976

Abb. 30

Untersee Berlingen

O₂ mg/l



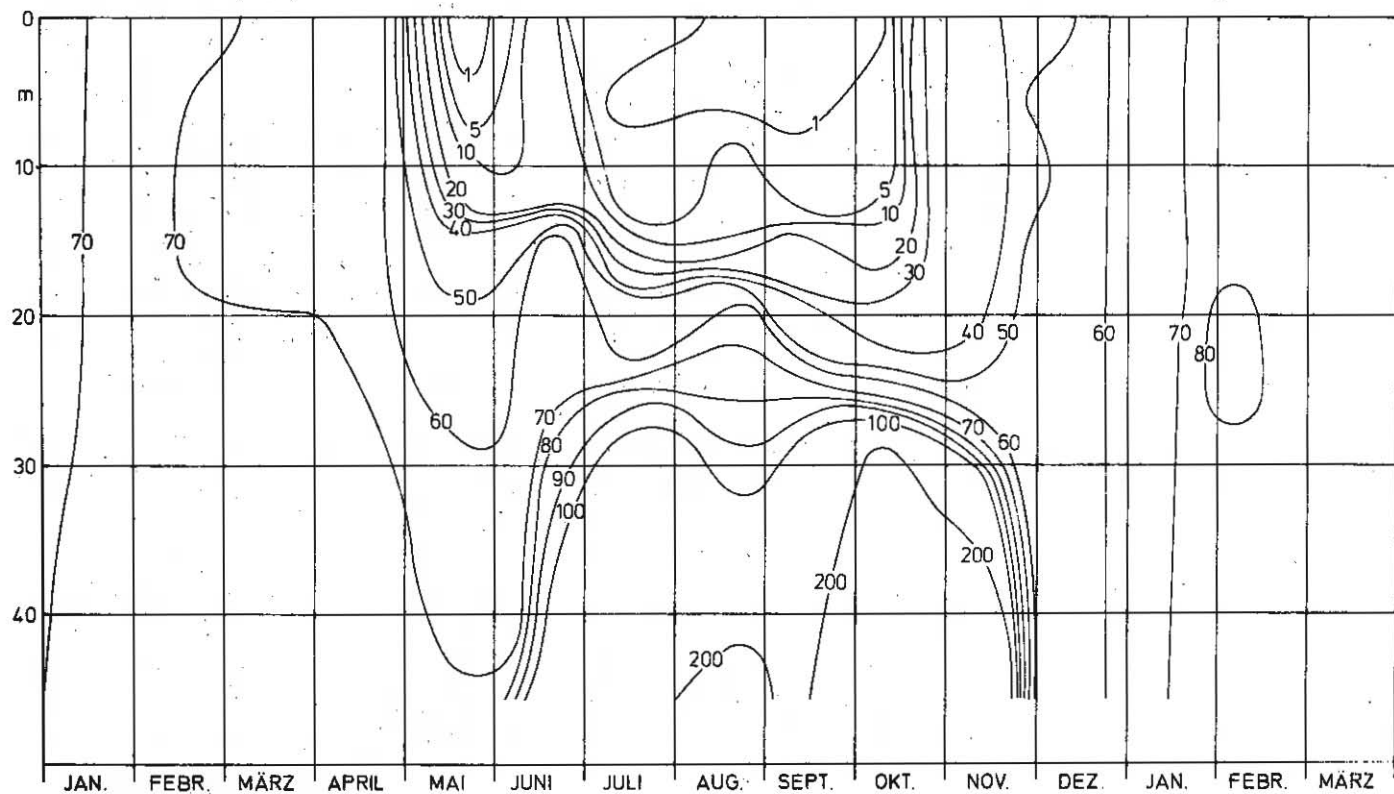
1975

1976

Abb.31

Untersee Berlingen

$\text{PO}_4\text{-P}$ mg/m^3



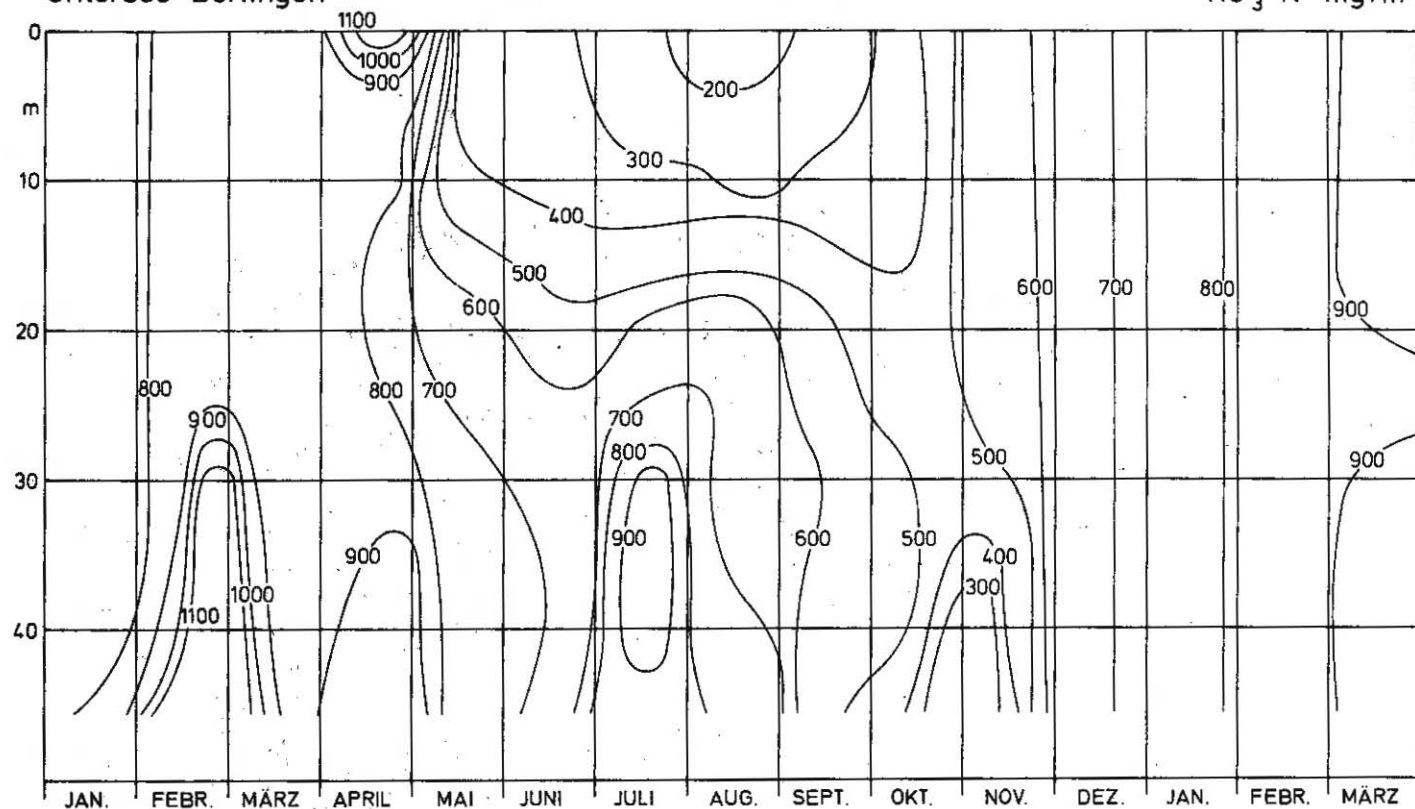
1975

1976

Abb. 32

Untersee Berlingen

$\text{NO}_3\text{-N}$ mg/m³



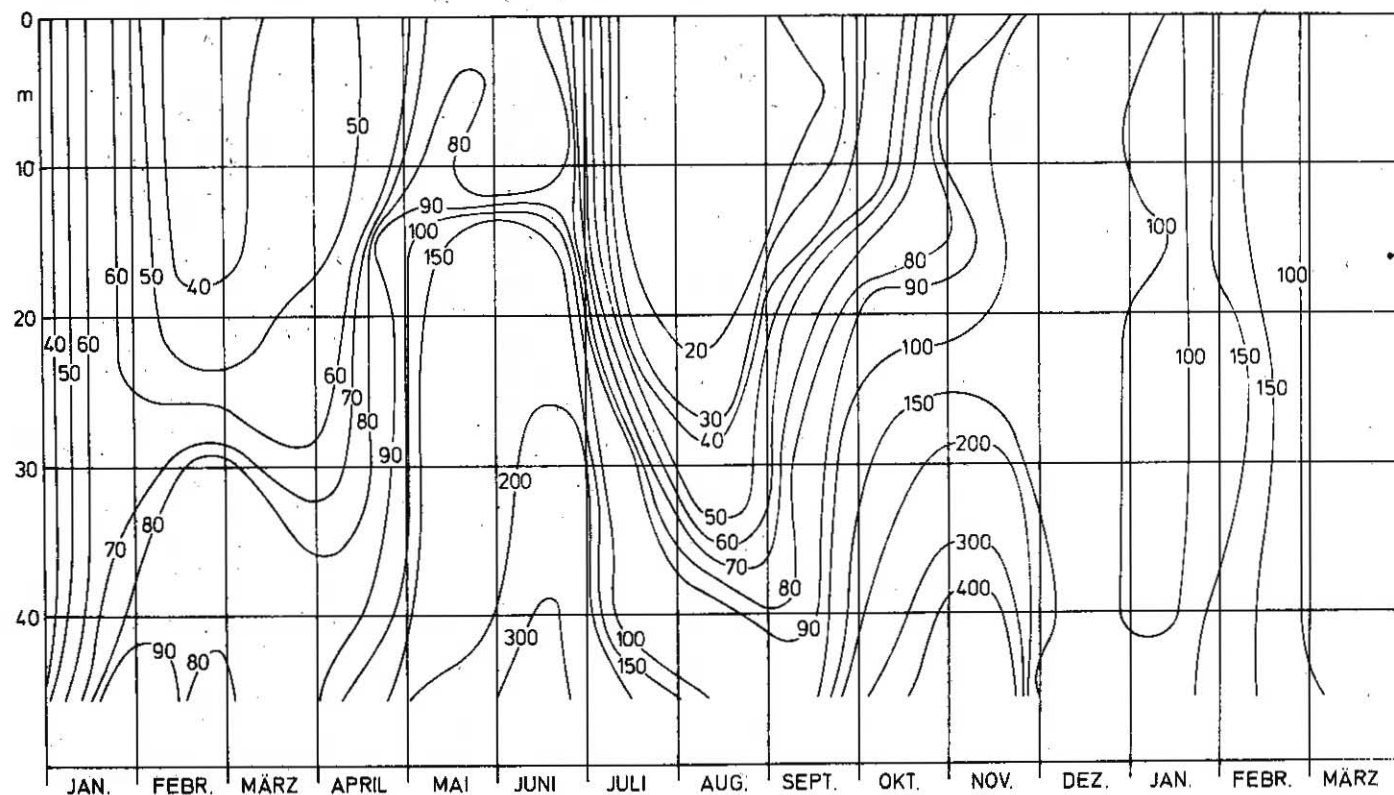
1975

1976

Abb.33

Untersee Berlingen

$\text{NH}_4\text{-N}$ mg/m^3



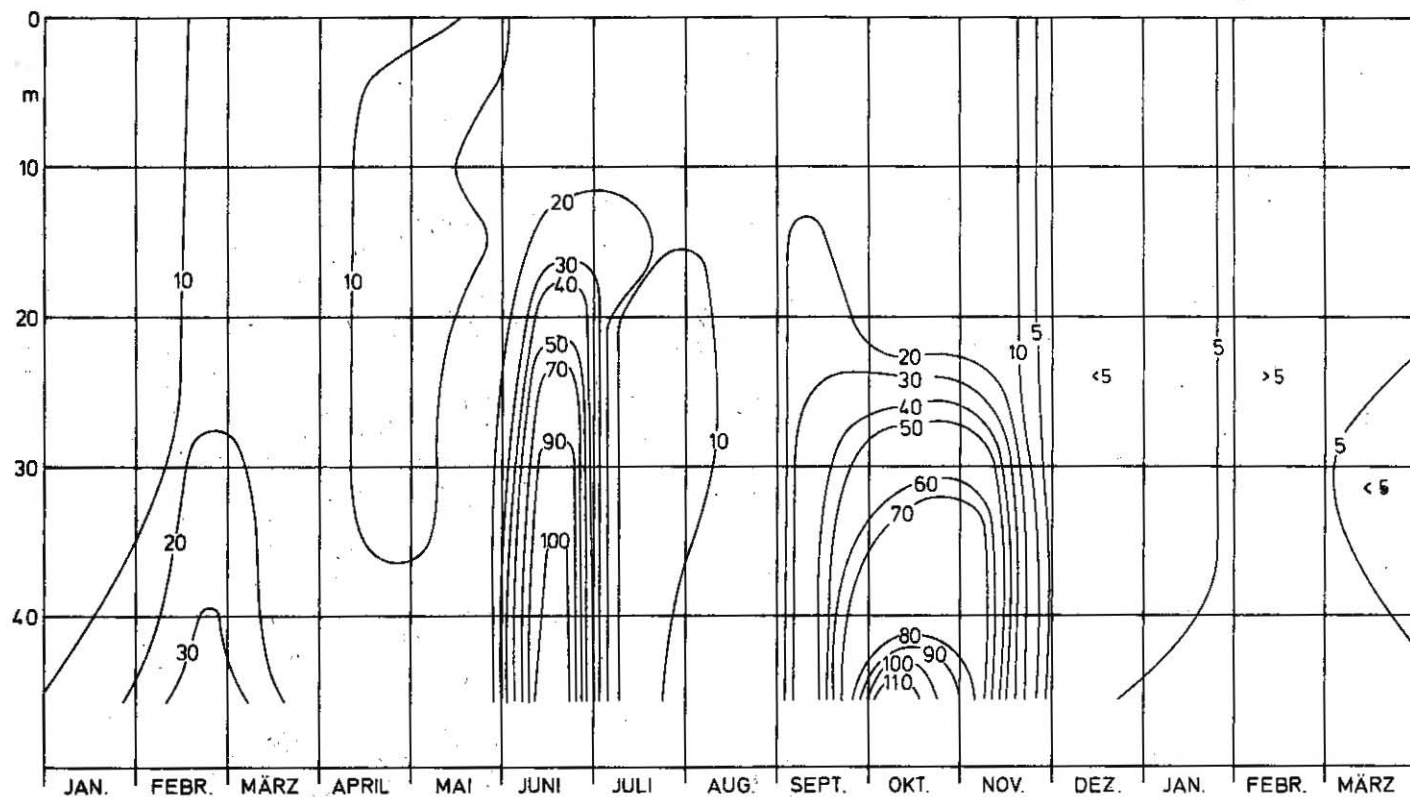
1975

1976

Abb.34

Untersee Berlingen

NO₂-N mg/m³



1975

1976

Abb. 35

Untersee Berlingen

SiO₂ mg/l

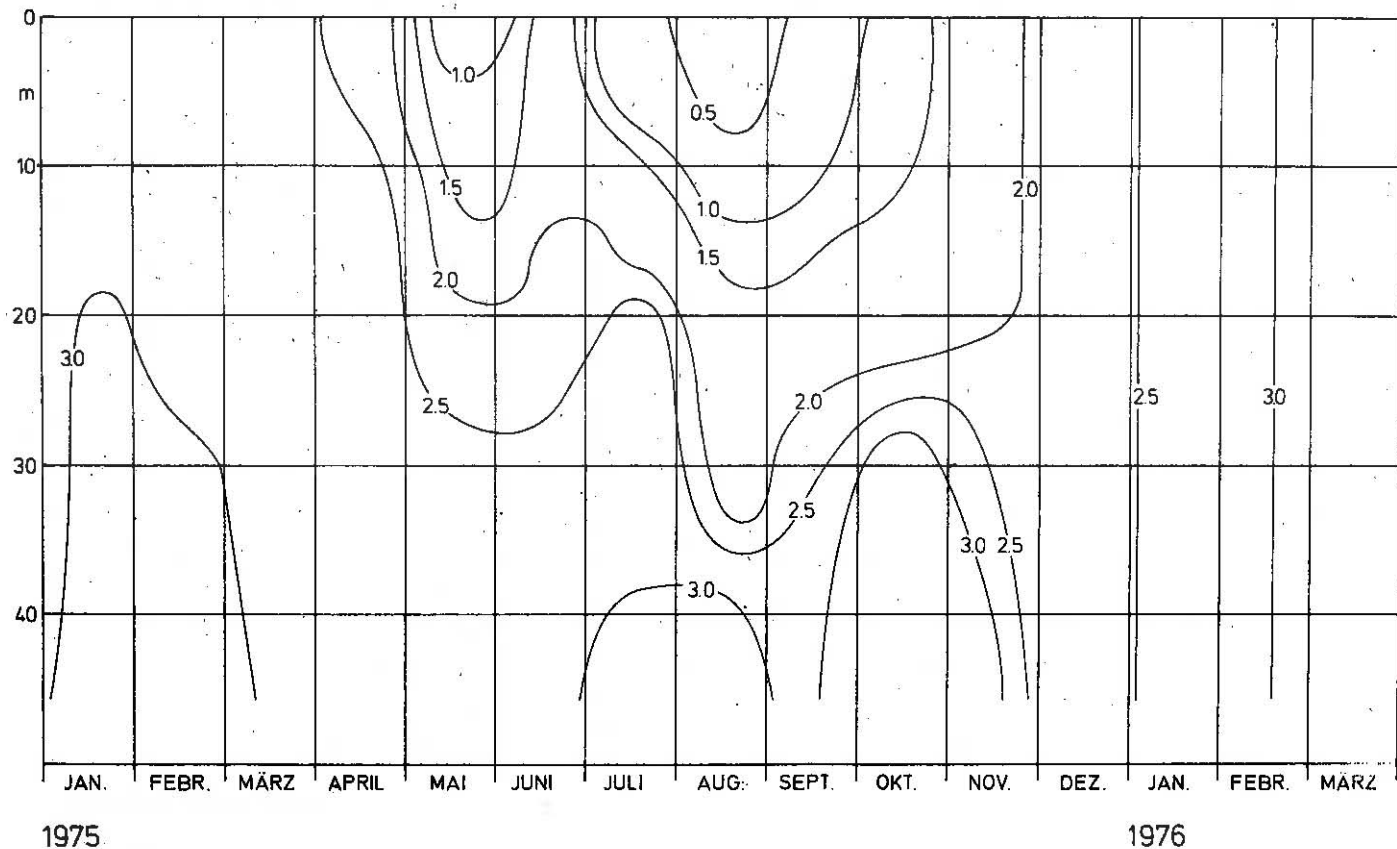
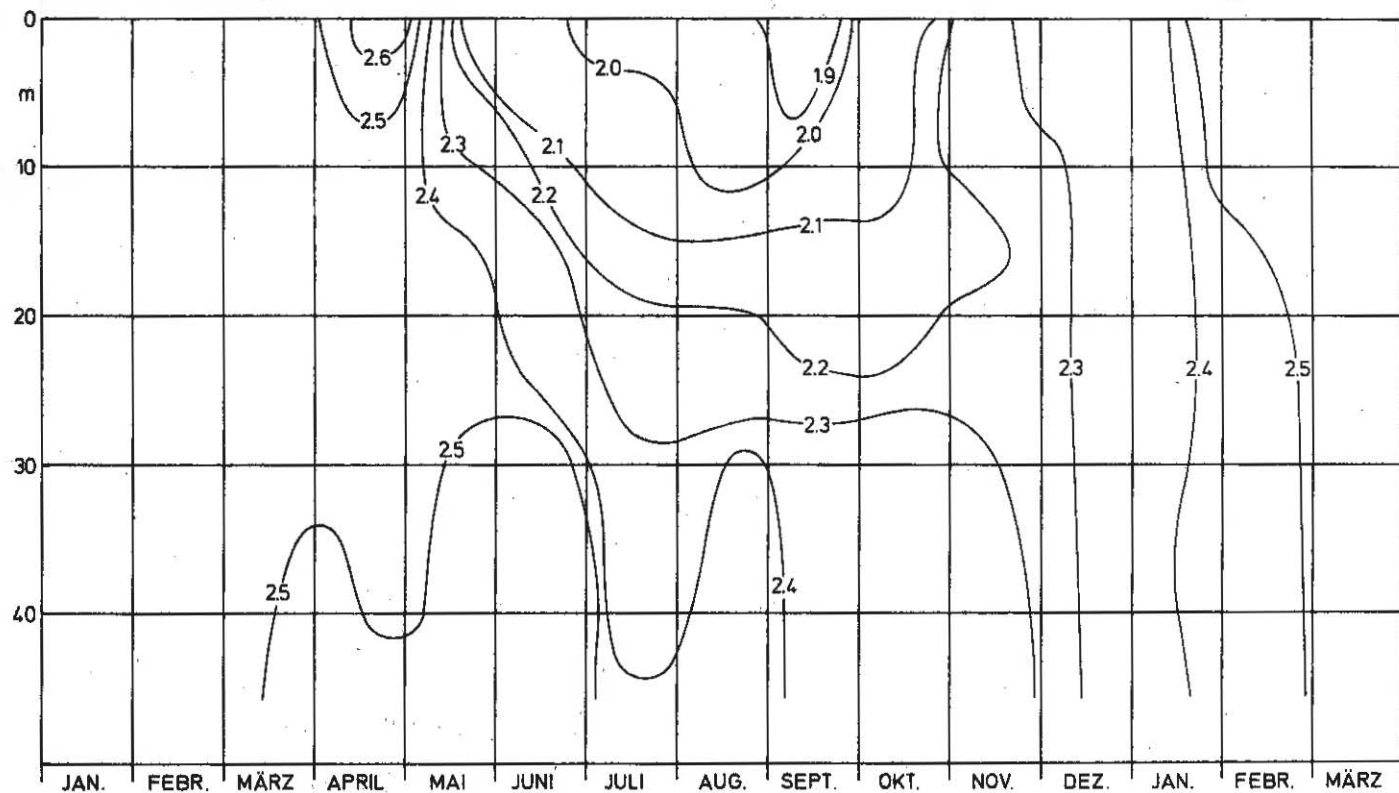


Abb. 36

Untersee Berlingen

anorg. C mmol/l

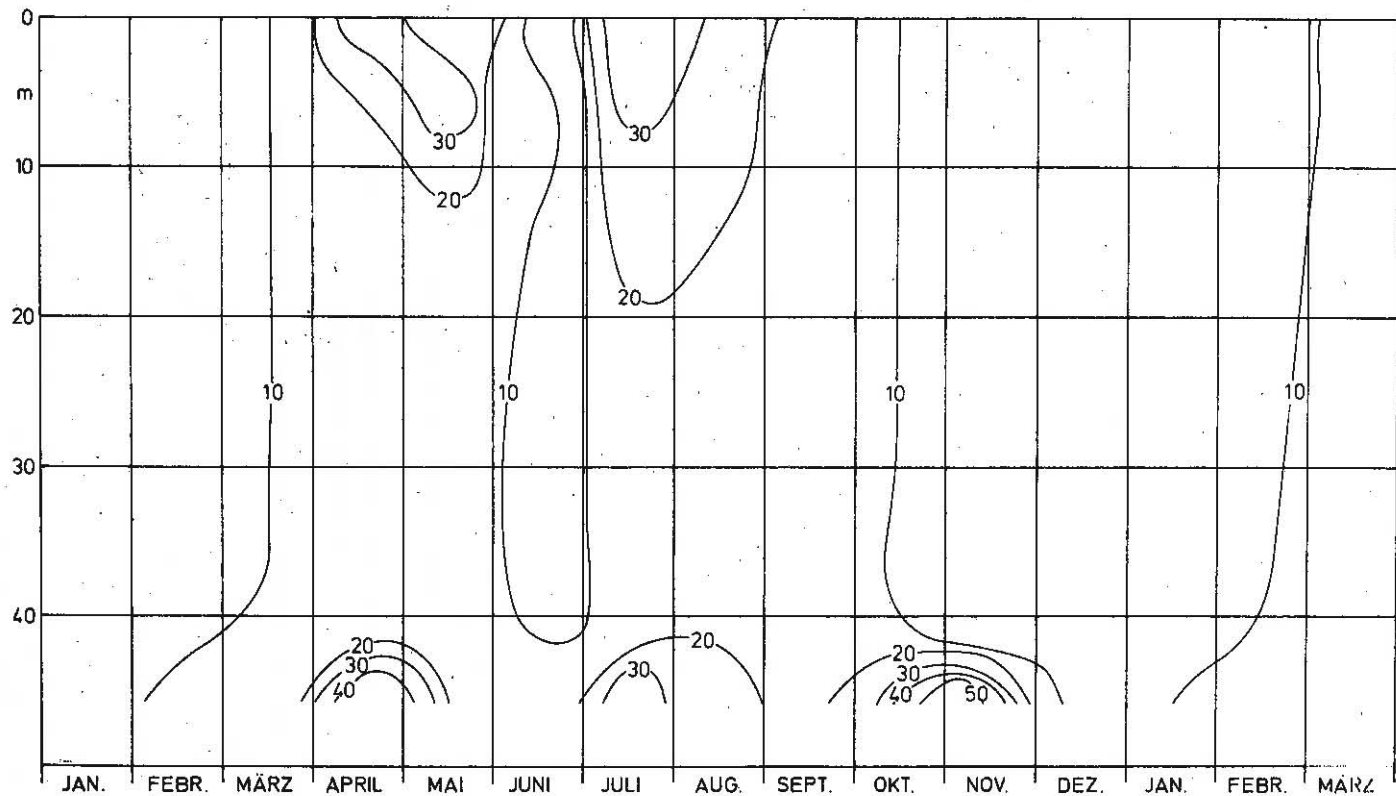


1975

1976

Abb.37

Untersee Berlingen

Part.-P mg/m^3 

1975

1976

FLAX - DRUCK, Th.A.Flaxmeier

**Offset-Druck, Repro-Technik, Techn.Grafik, Schreibsatz
- Folienkaschierungen -**

Bahnhofstraße 40, 7504 Weingarten, Telefon 07244/8052