

Internationale Gewässerschutzkommission
für den Bodensee

Jahresbericht über den
limnologischen Zustand des Bodensees

Nr. 3

Der limnologische Zustand des Freiwassers
von Januar 1976 bis März 1977

Internationale Gewässerschutzkommission
für den Bodensee

Jahresbericht über den
limnologischen Zustand des Bodensees

Nr. 3

Der limnologische Zustand des Freiwassers
von Januar 1976 bis März 1977

Bearbeiter: W. Schmitz

- 1978 -

VORWORT

Die internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee veröffentlicht hiermit den aktuellen Jahresbericht über die Ergebnisse der regelmässigen limnologischen Freiwasseruntersuchungen des Bodensees für das Kalenderjahr 1976 und das Seejahr 1976 (April 1976 bis März 1977). Der Bericht wurde von der Arbeitsgruppe "Freiwasseruntersuchungen" der Kommissionssachverständigen ausgearbeitet. Mitglieder dieser Arbeitsgruppe sind:

Prof. Dr. Heinz Ambühl, Dübendorf
Dipl. Sc.nat. Heinrich Bühler, Dübendorf
Dr. Hans-Rudolf Bürgi, Dübendorf
Dr. Ulrich Einsle, Konstanz
Dr. Heinz Grimm, Bregenz
Dr. Hubert Lehn, Konstanz
Dr. Hanno Rossknecht, Langenargen
Dr. Wolfgang Schmitz, Karlsruhe, Koordinator
Dr. Roland Schröder, Insel Reichenau
Dr. Gustav Wagner, Langenargen

Die Grundlage für den Bericht bildet das regelmässige Untersuchungsprogramm der Kommission, an dessen Durchführung die nachstehend genannten Institute gemeinsam beteiligt waren.

Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EAWAG), Dübendorf,
Abteilung Limnologie: Datenverarbeitung

Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg,
Institut für Seenforschung und Fischereiwesen, Langenargen, Konstanz und Insel Reichenau:

Terminfahrten und Messungen, Untersuchungen des
Chemismus, des Phyto- und Zooplanktons im Obersee
und Untersee

Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg,
Institut für Wasser- und Abfallwirtschaft, Karlsruhe:
Spezielle analytische Arbeiten: organischer Koh-
lenstoff in Obersee und Untersee

Arbeitsgemeinschaft Wasserwerke Bodensee-Rhein (AWBR)
durch das Engler-Bunte-Institut, Bereich Wasserchemie,
der Universität Karlsruhe:

Physikalisch-chemische Untersuchungen des Überlin-
ger Sees an der Probenahmestelle zwischen Überlin-
gen und Wallhausen.

INHALT	Seite	Abb.
EINLEITUNG	3	1
TEIL 1: BODENSEE-OBERSEE		
Witterung	5	2
Wasserstände	6	3
Thermik	6	4
Sauerstoff	7	5
Orthosphosphat	8	6
Andere gelöste Phosphorverbindungen	9	
Phosphorbilanz	10	7
Nitrat	12	8
Ammonium	12	9
Nitrit	14	10
Kieselsäure	14	11
Anorganische Kohlenstoffverbindungen	15	12
Weitere Parameter des Kalk-Kohlensäure- Gleichgewichts	16	12
Chemische Indikation der Phytoplankton- produktion	17	13,14,15
Phytoplanktonbiomasse	18	16
Quantitativ vorherrschende Ionen	19	
Schwermetallgehalte	20	
Vergleich des limnologischen Zustandes an verschiedenen Untersuchungs- stationen im Obersee	20	17,18
TEIL 2: BODENSEE-UNTERSEE		
GNADENSEE		
Thermik	22	19
Sauerstoffverhältnisse	24	20

	Seite	Abb.
Orthosphosphat	25	21
Nitrat	26	22
Ammonium	27	23
Nitrit	28	24
Kieselsäure	29	25
Anorganischer Kohlenstoff und Kalk- Kohlensäure-Gleichgewicht	30	26
Phytoplanktonbiomasse und chemische Biomasseindikatoren	32	27, 28

RHEINSEE

Thermik	33	29
Sauerstoff	34	30
Orthosphosphat	35	31
Nitrat	36	32
Ammonium	37	33
Nitrit	38	34
Kieselsäure	39	35
Anorganischer Kohlenstoff und Kalk- Kohlensäure-Gleichgewicht	40	36
Phytoplanktonbiomasse und chemische Biomasseindikatoren	41	37

ZELLER SEE	42	
------------	----	--

ZUSAMMENFASSUNG	44	
-----------------	----	--

TABELLEN

ABBILDUNGEN

E I N L E I T U N G

Die Tabelle 1 gibt eine Übersicht über Örtlichkeiten, Wassertiefe und Zeitpunkt der Messungen oder Probenentnahmen. Die Untersuchungsstationen sind in der Karte Abb. 1 eingetragen. Die Untersuchungsdaten wurden bei der Eidgenössischen Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz und der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Institut für Wasser- und Abfallwirtschaft, 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 (Orthophosphat, Nitrat, Silikat, Kohlensäure) behandelt, ferner die Verhältnisse des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtes und des Stickstoffkreislaufs sowie der Biomasseverteilung des Phytoplanktons. Für den Bodensee-Obersee beschränken sich diese Darstellungen hauptsächlich auf die zentrale Untersuchungsstation Fischbach-Uttwil, da sich das Zustandsbild an den anderen Meßstationen sehr ähnlich gestaltet. Die Situation an den verschiedenen Obersee-Untersuchungsstationen wird vergleichend nur anhand einiger ausgewählter Parameter dargestellt. 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 Beurteilung zu. Dies

ist beim Vergleich der Situation aufeinanderfolgender Jahre 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.

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 1976 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 1976 zeigte zum Teil erhebliche Abweichungen vom langjährigen Mittel (Abb. 2). Die Wintermonate Januar und Februar 1976 und ebenfalls Januar bis März 1977 waren überdurchschnittlich warm mit Abweichungen von den langjährigen Monatsmitteln der Lufttemperatur um mehrere Grad (C). In der Zeit von Ende Februar bis Mitte Mai 1976 bewegten sich die Lufttemperaturen weitgehend im Bereich der langjährigen Mittel. Mitte Mai bis Mitte Juli war die Witterung gegenüber dem langjährigen Mittel deutlich wärmer, von Mitte Juli bis Ende September 1976 sowie im Dezember 1976 deutlich kälter. In den Herbstmonaten Oktober und November 1976 gab es positive Abweichungen vom langjährigen Mittel um etwa 1°C.

Die Einstrahlungsverhältnisse, gemessen als Sonnenscheindauer, waren in den Monaten März bis Juni 1976 weit überdurchschnittlich. In den übrigen Monaten des Jahres 1976 und in den Monaten Januar bis März 1977 lagen die Werte mehr oder weniger unter dem langjährigen Mittel mit Ausnahme der Monate Oktober bis Dezember 1976, in denen keine wesentlichen Abweichungen zu verzeichnen waren.

Das recht häufige Auftreten starker Winde im Januar 1976 sowie im September, November und Dezember des gleichen Jahres brachte beträchtliche Zirkulations- und Wiederbelüftungserscheinungen und damit verbundene Folgewirkungen im Chemismus im See zustande. Besonders im Untersee wirkten sich die starken Winde im September 1976 in dieser Weise aus.

WASSERSTÄNDE

Die Wasserstandsschwankungen in der Berichtsperiode ergeben sich aus den Aufzeichnungen des Pegels Konstanz. Die Abbildung 3 stellt die Ganglinien der Monatsmittelwerte dar. Im Vergleich zu den langjährigen Monatsmitteln zeichneten sich die Seewasserstände während des ganzen Jahres 1976 durch bisweilen weit unter dem Durchschnitt liegende Werte aus. Die negativen Abweichungen waren in den Sommermonaten Juni bis September 1976 besonders hoch. In den Monaten Februar und März 1977 ergaben sich wieder etwas höhere Wasserstände als im langjährigen Mittel.

THERMIK

Im Februar 1976 hatte sich die Temperatur des im Januar noch deutlich thermisch geschichteten Wassers bei etwa $4,6^{\circ}\text{C}$ in der gesamten Wassermasse des Sees ausgeglichen (Abb. 4). Die Temperaturen sanken anschliessend noch um einige Zehntel Grad ab. Mit Beginn des Frühjahrs 1976 hatte sich im Hypolimnion eine Temperatur von $4,4^{\circ}$ eingestellt, während im oberflächennahen Bereich ab Ende März bereits ein deutlicher Temperaturanstieg zu verzeichnen war. Schon im Monat April wurden 9° an der Wasseroberfläche überschritten. Ab Mitte Mai baute sich eine stabile thermische Schichtung auf, die im Hochsommer

den stärksten Gradienten zwischen 5 und 15 m Tiefe erreichte. Die thermische Schichtung blieb stabil. Bis Mitte Oktober sank die Sprungschicht allmählich bis auf etwa 20 m Tiefe ab. Das Oberflächenwasser erwärmte sich ab Mai kontinuierlich. 10° an der Wasseroberfläche wurden von Mitte Mai bis Anfang November überschritten, 15° von Anfang Juni bis in die erste Hälfte des Oktobers, 20° von Mitte Juni bis Mitte August. Im Juli war das Oberflächenwasser besonders warm und erreichte in der zweiten Hälfte des Monats 24,0°. Von da an setzte ein stetiges Absinken der Oberflächenwassertemperaturen ein, zugleich mit einer Vergrößerung der epilimnischen Wasserschicht mit ausgeglichener Temperatur in immer grössere Tiefen. Im Dezember 1976 wurde Homothermie bis 40 m Tiefe bei 6,6° erreicht. Der Wärmegewinn des Tiefenwassers war den ganzen Sommer 1976 über gering. Die Wassertemperaturen im mittleren oder tiefen Hypolimnion stiegen auf etwa 4,5° an. In den untersten 50 m der Wassermassen blieb die Ausgangstemperatur des Frühjahres 1976 auch während der Sommermonate bis gegen Ende des Jahres bei 4,4° erhalten. Weitere Abkühlungen und Vertikalzirkulationsbewegungen während des Winters 1976/77 führten im Februar wieder zu einem weitgehend homothermen Zustand der gesamten Wassermasse bei etwa 4,4°. Anschliessend trat bereits im März schon wieder eine leichte Erwärmung des Seewassers ein. Aufgrund der thermischen Situation war hinsichtlich der winterlichen Wiederbelüftung des Seewassers eine recht günstige Ausgangslage für das Seejahr 1977 zu erwarten.

SAUERSTOFF

Die Verteilung der Sauerstoffgehalte im Obersee über der grössten Tiefe zeigte im Jahre 1976 den gewohnten typischen Verlauf mit sommerlichem hypolimnischen Sauerstoffdefizit, Übersättigungserscheinungen in den obersten Wasserschichten

im Frühjahr und einem metalimnischen Sauerstoffdefizit während der Sommermonate (Abb. 5). Wie nach dem homothermen Zustandsbild im März 1976 zu erwarten war, war der Sauerstoffgehalt von der Oberfläche bis zur Tiefe bei relativ hohen Konzentrationen von 10,5 bis 11 mg O₂/l nahezu homogen. Übersättigungserscheinungen in den oberen Wasserschichten in den Monaten April und Mai 1976 führten zu maximalen Sauerstoffkonzentrationen von etwa 14 mg O₂/l an der Wasseroberfläche. Die Sauerstoffzehrung im tiefen Hypolimnion setzte bereits im April ein und führte schliesslich im Oktober in 250 m Tiefe zu einem Konzentrationsminimum von 3,4 mg O₂/l. Von diesem Zeitpunkt an stiegen auch über Grund die Sauerstoffkonzentrationen wieder an. Das regelmässig während der Sommerzeit auftretende metalimnische Sauerstoffminimum erreichte im Jahre 1976 im August und September Tiefstwerte von 6,8 mg O₂/l. Infolge der herbstlichen Vertikalzirkulation stiegen die Sauerstoffgehalte von der Oberfläche bis 150 m Tiefe im November wieder auf über 10 mg O₂/l an. Bis März 1977 erreichte die 10 mg Isoplete eine Tiefe von fast 200 m und auch im tieferen Wasser fielen die Konzentrationen lediglich bis 9,8 mg O₂/l ab. Die Sauerstoffkonzentrationen in den obersten 50 m waren indessen auf Werte zwischen 11 und 12 mg O₂/l angestiegen. Damit hatte der See zu Beginn des Seejahres 1977 in seinen Sauerstoffverhältnissen wiederum eine günstige Ausgangssituation erreicht.

ORTHOPHOSPHAT

Als für das Pflanzenwachstum im See begrenzender Nährstofffaktor verdienen das Orthophosphat und dessen Konzentrationsveränderungen besondere Aufmerksamkeit. Die Konzentrationsunterschiede zwischen Oberfläche und Tiefe

des Sees, die noch im Januar 1976 bestanden ($69 \text{ mg PO}_4\text{-P/m}^3$ an der Oberfläche und $121 \text{ mg PO}_4\text{-P/m}^3$ in 250 m), gleichen sich gegen Ende des Winters durch Zirkulationerscheinungen im März 1976 nahezu vollständig bei etwa $75 \text{ mg PO}_4\text{-P/m}^3$ aus (Abb. 6). In der Folgezeit ergab sich eine fortgesetzte Verminderung der Konzentration im Epilimnion, die sich in gewissem Umfange auch noch ins Metalimnion fortsetzte, und die sich durch Inkorporation dieses Nährstoffes in die Phytoplanktonpopulationen, zum Teil auch durch Mitfällung bei der biogenen Kalziumkarbonatfällung erklärt. Wie in den Sommern der vorangegangenen Jahre betrug die Restkonzentrationen an Orthophosphat im Epilimnion zeitweise weniger als $1 \text{ mg PO}_4\text{-P/m}^3$. Im tiefen Hypolimnion begann ein allmählicher Konzentrationsanstieg bereits im Monat Mai, der sich in den folgenden Monaten auch im übrigen Hypolimnion bemerkbar machte. In den Monaten Oktober und November überschritten die $\text{PO}_4\text{-P}$ -Konzentrationen in 250 m Tiefe wie im Vorjahr 140 mg/m^3 . Ab Oktober 1976 nahmen auch im Epilimnion die $\text{PO}_4\text{-P}$ -Gehalte wieder zu, und während des Winters wurden die Unterschiede zwischen Epilimnion und Hypolimnion geringer. Ein Ausgleich wurde bis März 1977 nicht erzielt. In den obersten 50 m lagen zu diesem Zeitpunkt die Konzentrationen zwischen 66 und $80 \text{ mg PO}_4\text{-P/m}^3$, zwischen 50 und 250 m betrug die Konzentrationen 80 bis $86 \text{ mg PO}_4\text{-P/m}^3$. Insgesamt gesehen errechnet sich aus den Werten der Station Fischbach-Uttwil ein Gehalt an Orthophosphat im See von 3.858 t für März 1977 und liegt damit in der Grössenordnung der vorhergehenden Jahre.

ANDERE GELÖSTE PHOSPHORVERBINDUNGEN

Wie auch in früheren Zeiten, so traten neben Orthophosphat im Wasser des Obersees während des Jahres 1976 nahezu stän-

dig 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 während des Seejahres 1976 zwischen etwa 50 mg P/m^3 und Werten unter der Nachweisbarkeitsgrenze von 1 mg P/m^3 . Im Mittel lagen die Konzentrationen wie früher bei etwa 10 mg P/m^3 .

PHOSPHORBILANZ

Das Ausmass der Eutrophierung des Obersees hängt in erster Linie von der Konzentration gelöster Phosphorverbindungen ab, wobei das Orthophosphat die Hauptrolle spielt. Ein relativ geringer Teil des Phosphors ist in biologisches Material inkorporiert und erscheint somit analytisch als Phosphor in partikulärer Form. Der Gehalt des Phosphors im Obersee ergibt sich als Bilanz des aus Zuflüssen in den See gelangenden und des im Seerhein abfließenden Phosphors sowie aus dem Betrag des Phosphors, der auf den Seeboden sedimentiert und der Phosphormenge, die aus dem Seeboden wieder in das Seewasser freigesetzt wird. Die Abbildung 7 gibt eine Übersicht über die Schwankungen der jeweils im gesamten See vorhandenen Phosphormenge, aufgeschlüsselt nach Orthophosphat, sonstigen gelösten Phosphorverbindungen und partikulärem Phosphor. Die in Abbildung 7 angegebenen Phosphormengen wurden aus den Analysergebnissen der Untersuchungsstation Fischbach-Uttwil unter Berücksichtigung der Volumina der einzelnen Wasserschichten errechnet. Bei der Beurteilung der Werte muss neben den Fehlermöglichkeiten, die durch diese generalisierende Berechnung gegeben sind, auch mit der wahrscheinlichen Fehlergrösse in der analytischen Bestimmung

von etwa 5 % gerechnet werden, so dass die im Verlaufe der Zeitspanne Januar 1976 bis März 1977 erkennbaren Schwankungen nicht überbewertet werden dürfen. Die Konzentration der gesamten Phosphorverbindungen gelöst und partikulär lagen im Seejahr 1976 im Mittel bei 85 mg P/m^3 . Im Rahmen der analytisch bedingten Unsicherheiten wird man die Werte für März 1976 und März 1977 als annähernd gleich betrachten können. Da zu diesem Zeitpunkt die Menge des inkorporierten Phosphors sehr gering war, gilt diese Feststellung auch für die Gesamtmengen an gelösten Phosphorverbindungen im Wasser. Diese bestanden im März 1977 fast ausschliesslich aus Orthophosphat, während im März 1976 sich dabei ein deutlicher Anteil aus anderen gelösten Phosphorverbindungen ergab. Die Konzentrationen an partikulär gebundenem Phosphor lagen vielfach bei etwa 2 mg P/m^3 , teilweise jedoch erheblich niedriger. Nur während der Frühjahrs- und Sommermonate 1976 waren deutlich höhere Mengen partikulären Phosphors, im Maximum im Mai etwa 10 mg P/m^3 , anzutreffen. Berechnet man die Phosphorinhalte oder die mittleren Phosphorkonzentrationen des Obersees aus den Analysenmittelwerten der Untersuchungsstationen Fischbach-Uttwil, Langenargen-Arbon und Überlingen, so ergibt sich für März 1976 ein Inhalt von 4035 t für gelöste Phosphorverbindungen und 3640 t für Orthophosphat gegenüber dem Monat März 1977 mit 4190 t gelöster Phosphorverbindungen und 3750 t Orthophosphat, d.h. nur ein verhältnismässig geringer Anstieg, der angesichts der Messungen und Unsicherheiten im Berechnungsverfahren nicht real zu sein braucht. Man kann aus diesen Werten ableiten, dass sich der früher beobachtete erhebliche Anstieg im Phosphorgehalt des Sees von Jahr zu Jahr zumindest ganz erheblich abgeschwächt hat.

NITRAT

An der Verteilung des Nitrates im Wasser des Obersees hat sich während des Seejahres 1976 gegenüber dem Vorjahr nichts Grundsätzliches geändert (Abb. 8). Verhältnismässig ausgeglichene Konzentrationsverhältnisse im Vertikalprofil des Sees herrschten jeweils Anfang des Jahres 1976 und 1977. Im Februar 1976 wurden Werte zwischen 770 und 830 mg $\text{NO}_3\text{-N/m}^3$, im Februar 1977 Konzentrationen zwischen 900 und 820 mg $\text{NO}_3\text{-N/m}^3$ gemessen. Wie auch bereits in den Vorjahren beobachtet, sanken während der Stagnationszeit die Nitratwerte im Epilimnion infolge Aufnahme durch Phytoplankton beträchtlich ab. Im Mai 1976 wurde an der Wasseroberfläche ein Nitrat-Minimum von 220 mg $\text{NO}_3\text{-N/m}^3$ und nach einer gewissen Anreicherung dieses Nährstoffes in der Folgezeit im August ein erneutes Minimum von 240 mg $\text{NO}_3\text{-N/m}^3$ gemessen. Im März und im Mai 1976 ergriff die Nitratzehrung auch tiefere Wasserschichten. Die Abnahme der Konzentrationswerte im Epilimnion lag in der Grössenordnung des Vorjahres. Im Tiefenwasser lagen die Nitratwerte während des grössten Teiles des Jahres 1976 wie im Vorjahr über 800 mg $\text{NO}_3\text{-N/m}^3$. Gegen Ende des Jahres 1976 wurden in grösseren Tiefen stellenweise mehr als 900 mg $\text{NO}_3\text{-N/m}^3$ festgestellt. Der weitgehende Konzentrationsausgleich durch Vertikalzirkulation während des Winters 1976/77 erzielte im Februar 1977 ein höheres Niveau als im vorangegangenen Jahr. Im März 1977 wurde nochmals im Hypolimnion unter 100 m eine Konzentrationszunahme bis zu maximal 1090 mg $\text{NO}_3\text{-N/m}^3$ beobachtet.

AMMONIUM

Neben Nitrat spielen andere anorganische Stickstoffverbindungen im Wasser des Obersees nur eine untergeordnete

Rolle. Die Ammoniumkonzentrationen (Abb. 9) lagen früher den grössten Teil des Jahres unter der Nachweisbarkeitsgrenze ($10 \text{ mg NH}_4\text{-N/m}^3$). Darüber hinausgehende Konzentrationen wurden lediglich im Sommer zu Zeiten starker Planktonentwicklung im Epilimnion (1974 über $90 \text{ mg NH}_4\text{-N/m}^3$) und in der grössten Tiefe beobachtet. Gegen Ende des Jahres 1975 wurden Konzentrationen in Oberflächennähe von über $120 \text{ mg NH}_4\text{-N/m}^3$ beobachtet und auch deutliche, wenn auch geringere Konzentrationserhöhungen bis zum Seeboden. Während des ganzen Jahres 1976 wurden im Wasser des Obersees oft höhere Ammoniumkonzentrationen gemessen als in früheren Zeiten. Wie schon im Vorjahr wurden die Höchstwerte im Sommer in Oberflächennähe ermittelt. Im Juli ergab sich ein Maximum von $150 \text{ mg NH}_4\text{-N/m}^3$ in 5 m Tiefe. Auch sonst wurden zwischen Mai und September in Oberflächennähe $100 \text{ mg NH}_4\text{-N/m}^3$ häufig überschritten. Ebenfalls wie im Vorjahr traten im tiefen Hypolimnion im Hochsommer verhältnismässig hohe Konzentrationen, nämlich bis zu $100 \text{ mg NH}_4\text{-N/m}^3$, auf. Im Winter 1976/77 trat insgesamt gesehen eine Abnahme der Ammoniumkonzentrationen wieder ein, jedoch lag das Konzentrationsniveau, besonders in Oberflächennähe, in den Monaten Januar bis März 1977 ähnlich wie in den ersten Monaten des Jahres 1976 verhältnismässig hoch im Vergleich zu den Ammoniumwerten in den vorangegangenen Jahren. Insgesamt gesehen erscheint die Verteilung der Ammoniumkonzentrationen verhältnismässig unregelmässig, und es ergibt sich ein unruhiges Isoplethenbild. Es ist anzunehmen, dass dies darauf zurückzuführen ist, dass Ammonium bei der Zersetzung partikulärer Biomasse entsteht, deren Verfrachtung durch Sedimentations- und Turbulenzerscheinungen selbst recht ungleichmässig ist und leicht zu derartig unterschiedlichen Verteilungen des Ammoniums führen kann.

NITRIT

Das Auftreten von Nitrit im Jahreszyklus des Freiwassers des Obersees hängt mit den Konzentrationsverhältnissen von Ammonium zusammen, da Nitrit ein Zwischenprodukt der bakteriellen Oxidation von Ammonium zu Nitrat darstellt. Das Verteilungsbild des Nitrits entsprach dem gewohnten Verlauf (Abb. 10). Erhöhte Konzentrationen (im Maximum 25 mg $\text{NO}_2\text{-N/m}^3$) traten 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 zeitweise 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 traten zeitweise während des Winters im tiefen Hypolimnion gelegentliche Konzentrationserhöhungen auf. In der übrigen Zeit des Jahres lagen die Werte für Nitrit häufig unter der Nachweisbarkeitsgrenze (kleiner als 1 mg $\text{NO}_2\text{-N/m}^3$). Während des Monats Juni 1976 traten von der Oberfläche bis zur grössten Tiefe in gewissem Umfang Zunahmen des NO_2 -Gehaltes ein. Die Konzentrationszunahmen auf 7 mg $\text{NO}_2\text{-N/m}^3$ in 250 m Tiefe in diesem Monat traten etwa 4 Wochen später auf als die Konzentrationsmaxima von 25 mg $\text{NO}_2\text{-N/m}^3$ im Metalimnion. Möglicherweise steht diese Erscheinung im Zusammenhang mit dem Absinken und der Degradation von Phytoplankton aus den oberflächlichen Schichten in die Seetiefe.

KIESELSÄURE

Wesentliche Veränderungen des Verhaltens der Kieselsäure im Nährstoffkreislauf des Obersees gegenüber der Zustands-

entwicklung des Vorjahres waren auch im Jahre 1976 bis zu Beginn des Seejahres 1977 nicht zu verzeichnen (Abb. 11). Auch bei der Kieselsäure lag das gleiche wie 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, nachgewiesen ist. Die Ausgangskonzentrationen lagen im Januar 1976 bei etwa $4 \text{ mg SiO}_2/\text{l}$. Die Konzentrationen im Epilimnion sanken im Laufe des Sommers erheblich. Im August wurde in 5 m Tiefe ein Minimum von $0,2 \text{ mg SiO}_2/\text{l}$ erreicht. Umgekehrt nahmen die Konzentrationen im Tiefenwasser den Sommer über zu und erreichten im tiefen Hypolimnion zwischen August und Dezember wie im Vorjahr Werte von über 5 mg/l . Ein Maximum von $5,6 \text{ mg SiO}_2/\text{l}$ wurde in 250 m Tiefe im Oktober gemessen. Die epilimnischen Konzentrationen nahmen vom Herbst an und den Winter über zu, die Konzentrationen im Tiefenwasser hingegen ab. Die Konzentrationen im März lagen mit Schwankungen von $3,3$ bis $4,9 \text{ mg SiO}_2/\text{l}$ im Schnitt etwa um 1 mg höher als im gleichen Monat des vorangegangenen Jahres.

ANORGANISCHE KOHLENSTOFFVERBINDUNGEN

Die Verteilung der Kohlensäure oder deren Dissoziationsprodukte im Obersee während eines Jahres spiegelt den Verlauf der pflanzlichen Photosynthese wieder (Abb. 12). Das zyklische Verhalten der Totalkohlensäure (TCO_2) als Ausdruck für die Gesamtheit aller anorganischen Kohlenstoffverbindungen im Wasser ähnelt im Obersee der bereits beschriebenen Dynamik der übrigen Pflanzennährstoffe. Im Laufe des Jahres 1976 sank die Konzentration der Gesamtkohlensäure im Epilimnion insbesondere im oberflächennahen Bereich bis August von etwa $2,4 \text{ mmol/l}$ auf $1,81 \text{ mmol/l}$

im August ab, während die Konzentrationen im Hypolimnion anstiegen und dabei in 250 m Tiefe im November ein Maximum von 2,71 mmol/l erreichte. Bis zum Frühjahr 1977 hatten sich die Konzentrationsverhältnisse in der gesamten Wassermasse bei etwa 2,5 mmol Gesamtkohlensäure/l wieder weitgehend ausgeglichen und entsprachen dabei etwa wieder dem Zustand am Beginn des Seejahres.

WEITERE PARAMETER DES KALK-KOHLensäURE-GLEICHGEWICHTES

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 waren im Seejahr 1976 nicht wesentlich anders als im vorausgegangenen Jahr. Der niedrigste Kalzium-Gehalt wurde im Juli an der Oberfläche und in 5 m Tiefe mit 1,91 mval/l gemessen. Der höchste Wert trat in 250 m Tiefe mit 2,57 mval Ca/l auf. Der Tiefstwert der Alkalinität wurde im August mit 1,88 mval/l an der Wasseroberfläche und die höchsten Werte der Alkalinität zwischen Juli und August in 250 m Tiefe mit 2,58 mval/l gemessen. Dementsprechend betragen die pH-Werte im August 8,86 an der Wasseroberfläche und 7,60 in 250 m Tiefe. Die Leitfähigkeit, die in erster Linie durch Kalziumionen und Dissoziationsprodukte der Kohlensäure bestimmt wird, wiesen ebenfalls im August 1976 die grössten Unterschiede zwischen Oberfläche und 250 m Tiefe auf, nämlich $242 \mu\text{S cm}^{-1}$ gegenüber $302 \mu\text{S cm}^{-1}$.

CHEMISCHE INDIKATION DER PHYTOPLANKTONPRODUKTION

Infolge der Inkorporation von Nährstoffen während der Vermehrungsphase des Phytoplanktons ist zu erwarten, dass an Schwebstoff gebundener organischer Kohlenstoff, organischer Stickstoff und organischer Phosphor in der Masse eine Zu- oder Abnahme erfahren, wie sich die Planktonbiocoenose ändert (Abb. 16a). In grossen Zügen zeigte sich auch während des Jahres 1976 von Beginn des Frühjahrs an im Epilimnion des Obersees eine Zunahme des Gehaltes an partikulär gebundenem Phosphor (Abb. 13). Das Konzentrationsmaximum in 5 m Tiefe im Mai 1976 betrug dabei 41 mg P/m^3 . Vom Ausgang des Sommers an nahmen die epilimnischen Werte fortlaufend ab. Im Januar 1977 wurde bei etwa 1 bis 2 mg P-part/m^3 wieder ein Minimum erreicht. In den Monaten April und Mai bis Juni 1976 machten sich Konzentrationserhöhungen in gewissem Umfange von der Oberfläche ausgehend auch bis in das tiefe Hypolimnion hinunter bemerkbar. Durchgängig wurde eine geringfügige Konzentrationserhöhung von der Oberfläche bis in grössere Wassertiefen auch wieder im März 1977 beobachtet.

Ganz ähnlich verhält es sich mit der jahreszeitlichen Verteilung von partikulärem Stickstoff in verschiedenen Tiefen des Obersees (Abb. 14). Die Konzentrationen stiegen in oberflächennahen Schichten mit Beginn des Frühjahrs allmählich an und erreichten im Mai 1976 in 0 bis 5 m Tiefe Konzentrationen von 300 mg N/m^3 . Anschliessend erfuhren auch die Werte in grösseren Tiefen einen gewissen Anstieg. Die Werte im oberflächennahen Wasser blieben bis in den Oktober hinein vielfach über 100 mg N/m^3 und reduzierten sich dann während des Winters ganz erheblich. Im Februar betrug der Gehalt an partikulärem Stickstoff von der Oberfläche bis zur grössten Wassertiefe etwa $10 \text{ bis } 20 \text{ mg/m}^3$.

Die Verteilung des Chlorophylls (a + b + c) im Wasser des Obersees (Abb. 15) verlief im Seejahr 1976 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 0 bis 5 m Tiefe zu beobachten waren. Insgesamt gesehen war der Chlorophyllgehalt im Jahre 1976 etwas höher als im vorangegangenen Jahr. Werte von über 10 mg/m^3 traten in der Zeit von April bis Juni und von Mitte Juli bis Ende Oktober auf, und zwar bis hinab in Tiefen von 10 m. Der absolute Höchstwert wurde mit 29 mg/m^3 gegen Ende Mai an der Wasseroberfläche ermittelt. Der Monat Mai weist überhaupt die höchsten Werte innerhalb des Epilimnions auf. Ein späterer Schwerpunkt der Chlorophyllkonzentration bei etwa 15 mg/m^3 lag im Oktober. Die Werte im Hypolimnion überschritten selten Konzentrationen von 1 mg/m^3 .

PHYTOPLANKTONBIOMASSE

Die Phytoplanktonbiomasse wurde als Rechengewicht (Frischgewicht) aufgrund der Artenbestimmung und Zählung der Planktonzellen unter Verwendung eines konstanten Faktors der jeweiligen durchschnittlichen Zellgrößen einzelner Arten ermittelt. Die Primärproduktion im Obersee war auch im Seejahr 1976 während der Frühjahrs- und Sommerzeit sehr hoch (Abb. 16 b). Ein erstes Produktionsmaximum trat im Mai mit 49 g/m^2 Phytoplanktonbiomasse ein. Das anschliessend zu beobachtende Absinken der Phytoplanktonkonzentrationen ist eine Auswirkung der Konsumleistung des Zooplanktons. Im Juli und August entwickelte sich das Phytoplankton erneut stark und erreichte dabei die absolut höchste beobachtete Biomassegrösse des Seejahres mit

60 g/m² im August. In der Folgezeit nahm die Phytoplanktonbiomasse kontinuierlich ab, bis im Januar das niedrige Winterniveau von weniger als 2 g/m² wieder erreicht wurde.

Die stärksten Konzentrationsansammlungen des Phytoplanktons lagen im allgemeinen im oberflächennahen Bereich des Wassers. Im Mai 1976 wurden 5,3 mg Frischgewicht/l und im August 4,6 mg/l in 5 m Tiefe gemessen. Im Juli ergab sich ein Höchstwert für das Phytoplankton in 15 m Tiefe (1,9 mg/l), also im Metalimnion, der im ursächlichen Zusammenhang mit der im Spätsommer beobachteten metalimnischen Sauerstoffzehrung steht.

Die Phytoplanktonentwicklung vollzog sich hauptsächlich in den Algengruppen der Diatomeen, der Cyanophyceen, Dinophyceen, Conjugaten, Chlorophyceen und Kryptophyceen, in geringem Masse auch der Chrysophyceen und in sonstigen Algengruppen.

Das Frühjahrsmaximum war vorwiegend durch die massenhafte Entwicklung von Diatomeen, in zweiter Linie von Krypto- und Dinophyceen bestimmt; während der Phase des geringeren sommerlichen Planktondichte-Niveaus im Juli waren die Chlorophyceen dominierend. Zum spätsommerlichen Maximum trugen im Juli die Dinophyceen und im August die Cyanophyceen und im August und September die Conjugaten vorwiegend bei. Dieser Wechsel der Anteile verschiedener Algengruppen im Jahresverlauf entspricht dem üblichen Bild im Obersee.

QUANTITATIV VORHERRSCHENDE IONEN

Die Konzentrationen der vorherrschenden Ionen im Wasser des Obersees wichen auch im Jahre 1976/77 nicht von den

zuvor beobachteten Grössen ab. Über die Kalziumkonzentrationen wurde bereits bei der Diskussion des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtes berichtet. Die Magnesiumkonzentrationen schwankten zwischen 0,51 und 0,88 mval/l, die Natriumgehalte schwankten zwischen 3,7 und 4,8 mg/l, das Kalium zwischen 1,1 und 1,5 mg/l, Chlorid zwischen 2,6 und 5,8 mg/l und Sulfat zwischen 35,2 und 42,2 mg/l. Im Spätsommer traten wie bisher Konzentrationsunterschiede des Magnesiums zwischen Wasseroberfläche und Seegrund auf (0,51 gegen 0,67 mval/l).

SCHWERMETALLGEHALTE

Die Konzentrationen an partikulärem Eisen und Mangan zeigten im Jahre 1976 einen noch grösseren Schwankungsbereich als im Vorjahr. (Fälschlich wurde im Jahresbericht Nr.2, Seite 11, vom gelösten Eisen und Mangan gesprochen. Die Angaben beziehen sich auf partikuläres Eisen und Mangan.) Werte für gelöstes Eisen wurden zwischen 0 und 148 mg/m³ und für gelöstes Mangan zwischen 0 und 195 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.

VERGLEICH DES LIMNOLOGISCHEN ZUSTANDES AN VERSCHIEDENEN UNTERSUCHUNGSSTATIONEN IM OBERSEE

Die Untersuchungsdaten von korrespondierenden Tiefen und Terminen an den drei Untersuchungsstationen Langenargen-Arbon, Fischbach-Uttwil und Überlingen weisen keine bedeutsamen Unterschiede auf, weshalb die graphischen Iso-

pleten-Darstellungen hier auf die Daten der zentralen Obersee-Station Fischbach-Uttwil beschränkt werden. 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 in früheren Jahren 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 am wenigsten im Überlinger See. Dabei war die Freisetzung von Orthophosphat im tiefen Hypolimnion der Station Langenargen-Arbon umfangreicher als im vorausgegangenen Jahr. An der Station Fischbach-Uttwil entsprach sie den Verhältnissen des Vorjahres.

Der Vergleich der Sauerstoffsituation des Seejahres 1976 mit dem vorangegangenen Jahr zeigt, dass die Ausbreitung extrem niedriger Konzentrationsbereiche im Seejahr 1976 geringer war als im Vorjahr.

TEIL 2 : B O D E N S E E - U N T E R S E E

Die thermischen, chemischen und biologischen Verhältnisse des Untersees zeigten im Seejahr 1976 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 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 1976 mit einer deutlich ausgeprägten inversen Schichtung im Februar (Oberflächentemperatur $1,9^{\circ}$, Temperatur

in 19 m Tiefe $3,6^{\circ}$). Im März wurde Homothermie 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 grösseren 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 bis 10 m Tiefe. Von hier ab nahm die Wassertemperatur zur Tiefe hin nahezu kontinuierlich ab. Die zunehmende Erwärmung des Oberflächenwassers führte im Juli zu einem Temperaturmaximum von $25,2^{\circ}$. Bis zu diesem Zeitpunkt hatte sich das Tiefenwasser auf $7,6^{\circ}$ erwärmt. Die spätsommerliche und herbstliche von der Wasseroberfläche ausgehende Vertikalzirkulation erfasste allmählich immer grössere Tiefen. Das Temperaturmaximum im Tiefenwasser wurde im November bei $9,7^{\circ}$ etwa einen Monat vor Einsetzen der totalen Vertikalzirkulation, die bei $7,0^{\circ}$ auftrat, beobachtet. Die Monate November, Dezember und Januar waren durch eine ständige Abkühlung der gesamten Wassermassen gekennzeichnet. Nur in Bodennähe blieb eine Schicht etwas wärmeren Wassers erhalten. Die fortgesetzte Abkühlung erfasste alle Wasserschichten, zeigte jedoch Ende Januar weiterhin eine gewisse Inversion (Oberflächentemperaturen $2,1^{\circ}$, Temperaturen in 20 m Tiefe $2,7^{\circ}$). Im Februar stellte sich bei etwa $3,0^{\circ}$ ein homothermer Zustand durch alle Wasserschichten ein. Anschliessend trat allmählich Erwärmung bis in die grösste Tiefe auf bei einem ganz schwachen Gradienten der Wassertemperatur. Mitte März betrug die Oberflächentemperatur $7,4^{\circ}$, die Temperatur in 20 m Tiefe $5,4^{\circ}$. Das thermische Verhalten des Gnadensees entsprach während des Seejahres 1976 damit grundsätzlich dem Verhalten des Vorjahres, jedoch unterblieb im Winter 1976/77 die im Jahr zuvor beobachtete stärkere inverse Schichtung.

SAUERSTOFFVERHÄLTNISSE

Die Ausgangssituation zu Beginn des Jahres 1976 war im Gnadensee durch eine homogene Sauerstoffkonzentration in der gesamten Wassermasse bei 12 mg O₂/l gekennzeichnet (Abb. 20). Während der restlichen Wintermonate bis in den März 1976 steigerte sich der Sauerstoffgehalt infolge Planktonphotosynthese in nahezu allen Tiefen auf Werte bis zu 17 und 18 mg/l. Bis April hatten die Sauerstoffwerte wieder auf 12 bis 13 mg O₂/l abgenommen. Sie stiegen dann oberflächennah im Verlaufe des Mai nochmals an und erreichten ein Maximum von 15,2 mg O₂/l. Die Sauerstoffwerte nahmen in der Folgezeit fortgesetzt ab, und zwar in der Tiefe schneller als an der Wasseroberfläche. Anfang Juli wurden 10 mg O₂/l an der Wasseroberfläche unterschritten. Zu diesem Zeitpunkt war der Sauerstoffgehalt in 20 m Tiefe bereits unter 0,3 mg O₂/l gefallen. In der Zeit von Mitte Juli bis Anfang November war in dieser Tiefe überhaupt kein Sauerstoff mehr nachzuweisen. Die Zone mit Sauerstoffgehalten von weniger als 1 mg/l erstreckte sich Ende Juli auf etwa 7,5 m über Grund. Im Laufe des September kam es, ausgehend von der Wasseroberfläche, zu einer teilweisen Wiederbelüftung auch tieferer Wasserschichten, so dass die 1 mg-Isoplete dicht in die Seebodennähe absank. Im Oktober verschlechterten sich die Sauerstoffverhältnisse wieder. Kurzfristig war der See bis zu 5 m über Seegrund sauerstofffrei. Im November trat dann allerdings sehr rasch eine Wiederbelüftung ein, so dass der Sauerstoffgehalt am Seeboden von 0 mg O₂/l Anfang November auf 9,1 mg/l gegen Ende desselben Monats anstieg. Im Dezember 1976 wurde in der gesamten Wassermasse eine Konzentration von 10 mg/l erreicht. Die Konzentrationen stiegen im Verlaufe des Winters weiter an und erreichten im Februar in allen Schichten etwa 12 mg O₂/l. Im März waren bereits erneut Übersättigungen mit einem Maximum von 16,8 mg O₂/l an der Wasseroberflä-

che sowie auch weitere Konzentrationsanstiege in 10 bis 15 m Tiefe zu verzeichnen. Abgesehen vom Einbruch stärker sauerstoffhaltigen Wassers in die Tiefe im Monat September und der geringeren Ausdehnung der Zone völlig sauerstofffreien Wassers im Jahre 1976 entsprach das Sauerstoffregime des Gnadensees dem gewohnten Bild.

ORTHOPHOSPHAT

Der Gnadensee zeigte 1976/77 im Prinzip das gleiche Verteilungsbild wie im Jahr zuvor mit ausgeglichenen Konzentrationen während der winterlichen Zirkulationsperioden und einem ausgeprägten Schichtungsbild während der sommerlichen Stagnationszeit (Abb. 21). Das im März 1976 beobachtete Konzentrationsniveau lag bei etwa $40 \text{ mg PO}_4\text{-P/m}^3$ und damit unter dem Niveau des Vorjahres. Die anschließende Aufzehrung des Orthophosphats in der Wassermasse der obersten 10 m führte, wie in den Vorjahren, zeitweise zu einem Absinken der Konzentrationen unter die Nachweisbarkeitsgrenze, so z.B. an der Wasseroberfläche im Mai und im Juli/August 1976 und in 5 m Wassertiefe in der zweiten Hälfte Juli und im August des Jahres. Die Akkumulation von Orthophosphat in der Nähe des Seebodens, offenbar in Verbindung mit Rücklösungserscheinungen bei Abwesenheit von Sauerstoff, erreichte vor Einsetzen der Totalzirkulation wiederum einen Höhepunkt mit ähnlichen Werten wie in den vorangegangenen Jahren (Maximum $440 \text{ mg PO}_4\text{-P/m}^3$ im September 1976). Im September war entsprechend dem Einbruch sauerstoffreichereren Wassers auch ein Absinken der $\text{PO}_4\text{-P}$ -Konzentrationen bis in die Tiefe von 15 m zu verzeichnen. Nach einem spürbaren Absinken der PO_4 -Konzentrationen in 20 m Tiefe im Oktober stellte sich hier im November die Jahreshöchstkonzentration von $570 \text{ mg PO}_4\text{-P/m}^3$ ein. Anschliessend setzte bei eintretender

Vollzirkulation gegen Ende des Monats eine drastische Verringerung der PO_4 -Konzentrationen ein, so dass Anfang Dezember 1976 ein homochemischer Zustand bei etwa $115 \text{ mg PO}_4\text{-P/m}^3$ erreicht war. In der Folgezeit verringerte sich der PO_4 -Gehalt des Wassers fortgesetzt und erreichte bis Ende März bei nahezu gleichmässiger Verteilung in allen Wasserschichten ein Niveau von 35 mg/m^3 und somit etwa wieder die Werte des vorangegangenen Jahres.

NITRAT

Die Nitratgehalte im Gnadensee zeigten ebenfalls wieder das ausgeprägte Verteilungsverhalten der Pflanzennährstoffe mit vertikal homochemischem Zustand während der Zirkulationsperioden und deutlichen Schichtungserscheinungen (Abb. 22) während der Sommermonate. Das Konzentrationsniveau von Nitrat betrug im Februar 1976 ohne erkennbare Schichtung etwa $800 \text{ mg NO}_3\text{-N/m}^3$. In den Frühjahrsmonaten trat allgemein und zunächst auch ohne ausgeprägte Schichtung eine Konzentrationsabnahme ein, die an der Oberfläche schon etwas schneller verlief als in der grössten Tiefe. Die Nitratzehrungsgeschwindigkeit vergrösserte sich dann im April und Mai in den oberflächennahen Schichten erheblich. Nach einem vorübergehenden Anstieg im Juni wurde das Nitrat zwischen Oberfläche und 5 m Wassertiefe im August und September unter die Nachweisbarkeitsgrenze aufgezehrt. Diese in der Produktionsschicht ablaufende Zehrung war damit erheblich grösser als im vorausgegangenen Jahr, wo Nitrat zu keinem Zeitpunkt vollständig aufgezehrt wurde. Dies entsprach jedoch wieder den Verhältnissen des Jahres 1974. Im sauerstoffarmen oder sauerstofffreien Tiefenwasser trat im Jahre 1976 ebenso wie in den vorausgegangenen Jahren infolge Nitratreduktion ein vollständiger Nitratschwund

ein. Während der Monate Juli bis Anfang November war kein Nitrat in 20 m Tiefe nachzuweisen, im Oktober bis zu 5 m über Grund. Bei Eintritt der Vollzirkulation setzte gegen Ende November sehr rasch ein Ausgleich der Nitratkonzentration auf einer Niveauhöhe von etwa 350 mg/m^3 ein, dem anschliessend wieder eine Zunahme der Nitratgehalte in allen Wasserschichten folgte. Diese verlief in der Tiefe etwas schneller als an der Oberfläche. Mitte März 1977 war ein Konzentrationsniveau von $660 \text{ mg NO}_3\text{-N/m}^3$ an der Wasseroberfläche gegen 780 mg/m^3 in 20 m Tiefe erreicht und damit die Grössenordnung des gleichen Monats im Vorjahr. Die fortgesetzte Nitratzunahme während der Wintermonate hängt mit der Nitrifikation von Ammonium zusammen. Das Verhalten des Sees in seinem Nitratzyklus entspricht daher den Verhältnissen der Vorjahre.

AMMONIUM

Auch das Zustandsbild der Ammoniumkonzentrationen im Wasser des Gnadensees war während der Wintermonate durch weitgehend ausgeglichene Verhältnisse und während der Sommerzeit durch ausgeprägte Schichtungserscheinungen bestimmt (Abb. 23). Mitte März 1976 waren die NH_4 -Konzentrationen im Wasser des Gnadensees bis zur Nachweisbarkeitsgrenze ($10 \text{ mg NH}_4\text{-N/m}^3$) abgesunken. Eine Erhöhung der Konzentrationen trat vornehmlich während der folgenden Monate im Tiefenwasser durch Nitratreduktion bei Sauerstoffmangel auf. Dabei trat eine noch höhere maximale Konzentration als im vorausgegangenen Jahr im September in der grössten Tiefe mit $2500 \text{ mg NH}_4\text{-N/m}^3$ auf. Nach einer Verminderung auf 1860 mg/m^3 kam es im Oktober zu einem erneuten Maximum von 2740 mg/m^3 . Desgleichen nahmen die Ammoniumkonzentrationen in allen Wasserschichten unter 5 m im Laufe des Sommers allmählich zu. Im Bereich

des Epilimnions bis zu einer Tiefe von 5 m blieben jedoch von Mai bis September die NH_4 -Konzentrationen an der Nachweisbarkeitsgrenze von $10 \text{ mg NH}_4\text{-N/m}^3$. Eine allmähliche Erhöhung trat erst im Oktober ein, offensichtlich durch Zirkulationsbewegungen. Mit Einsetzen der Vollzirkulation wurde diese Zunahme im Laufe des November sehr beträchtlich. Im Dezember 1976 konnte ein Konzentrationsausgleich auf einem Niveau von über $500 \text{ mg NH}_4\text{-N/m}^3$ beobachtet werden. Im Verlaufe der Wintermonate Anfang 1977 nahmen die Konzentrationen von Ammonium fortgesetzt ab und pendelten sich gegen Ende März auf einen Wert von etwa $80 \text{ mg NH}_4\text{-N/m}^3$ ein. Während der ganzen Wintermonate bestanden keine merklichen Konzentrationsunterschiede zwischen den einzelnen Tiefen.

NITRIT

Das Verteilungsbild des Nitrits (Abb. 24) ist auch im Gnadensee dadurch bestimmt, dass es sich hierbei nur um ein kurzlebiges Zwischenprodukt der 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 Nitratgehalte im Wasser im Bereich von 10 bis 15 m Tiefe auftraten. Das gleiche Erscheinungsbild war in den vorausgegangenen Seejahren zu beobachten. Im Gegensatz zum Seejahr 1975 waren die Nitritkonzentrationen von Beginn des Jahres an relativ klein und lagen in der Grössenordnung von 10 bis $15 \text{ mg NO}_2\text{-N/m}^3$. Eine Verminderung der Nitritgehalte trat während der Sommerzeit ebenfalls im oberflächennahen Wasser ein, in einer Zeit, als auch hier die Ammoniumwerte

unter die Nachweisbarkeitsgrenze abgesunken waren. In den mittleren Wasserschichten erhöhten sich während der Sommermonate die Nitritwerte auf $51 \text{ mg NO}_2\text{-N/m}^3$ im Juli in 10 m Tiefe und $61 \text{ mg NO}_2\text{-N/m}^3$ im August in 15 m Tiefe. Nach Einsetzen der Vollzirkulation im November kam es auch im Tiefenwasser wieder zu Erhöhungen der Nitritgehalte. Infolge des Einsetzens der Nitrifikation wurde nunmehr ein Konzentrationsniveau von etwa $40 \text{ mg NO}_2\text{-N/m}^3$ erreicht. Die Konzentrationen sanken dann in allen Schichten im weiteren Verlauf des Winters ab und erreichten Ende März bei vertikal ziemlich ausgeglichenen Verhältnissen ein Konzentrationsniveau von etwa $9 \text{ mg NO}_2\text{-N/m}^3$. In den oberflächennahen Schichten verschwand das Nitrit nie vollständig unter die Nachweisbarkeitsgrenze. Dies entsprach auch den Verhältnissen des Vorjahres. 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 der Schichtungserscheinungen zu einer Abnahme der Kieselsäuregehalte in der gesamten Wassermasse während der Monate Februar und März des Jahres. Die Abnahme im März 1976 war besonders stark, wobei die Kieselsäurekonzentrationen bis unter die Nachweisbarkeitsgrenze ($0,1 \text{ mg SiO}_2/\text{l}$) absanken. Nach einem leichten Anstieg im April sanken die Werte im Mai bis in 15 m Tiefe wieder bis an die Nachweisbarkeitsgrenze. Auch später blieben die Kon-

zentrationenwerte in den Schichten bis 5 m Tiefe den ganzen Sommer über gering. Sie lagen dabei vielfach über $0,5 \text{ mg SiO}_2/\text{l}$ und sanken jedoch nie unter die Nachweisbarkeitsgrenze ab, was dem Verhalten des Sees in den Vorjahren entspricht. Ebenso wie in den vorhergehenden Jahren entwickelte sich im Tiefenwasser vom Frühjahr an eine allmähliche Konzentrationserhöhung an Kieselsäure wohl als Folge der Auflösung der Schalen abgestorbener Kieselalgen, wobei Anfang November ein Konzentrationsmaximum von $6,0 \text{ mg SiO}_2/\text{l}$ in 20 m Tiefe beobachtet wurde. Das Kieselsäuremaximum lag damit 1976 fast doppelt so hoch wie im vorangegangenen Sommer. Die Vollzirkulation gegen Ende des Jahres glich die Konzentrationsverhältnisse bei einem Niveau von $2 \text{ mg SiO}_2/\text{l}$ wieder aus. Die Kieselsäuregehalte stiegen bis Februar auf ein homochemisches Niveau von $2,5 \text{ mg SiO}_2/\text{l}$ an. In der Folgezeit im März sanken sie, wobei die Hauptzehrung durch Phytoplankton in Oberflächennähe eintrat, jedoch blieb SiO_2 zu diesem Zeitpunkt mit $0,2 \text{ mg SiO}_2/\text{l}$ hier noch nachweisbar. In 20 m Tiefe betrug die Konzentration $1,5 \text{ mg SiO}_2/\text{l}$.

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 1976 dem Verteilungsbild der vorausgegangenen Jahre ähnlich (Abb. 26). Das anfängliche ausgeglichene Konzentrationsniveau von TCO_2 lag im März bei $2,5 \text{ mmol/l}$ etwa ebenso hoch wie in den vorausgegangenen Jahren. Die Abnahme der Gesamtkohlensäure infolge Photosynthese der Planktonalgen in Oberflächennähe führte zu einem Konzentrationsminimum von $1,57 \text{ mmol/l}$ im August 1976 (gegenüber $1,93 \text{ mmol/l}$ 1975). Die Akkumulation der Gesamtkohlensäure über dem Seeboden erreichte im August 1976 ein erstes Maximum mit

3,02 mmol TCO₂/l und damit fast dieselbe Höhe wie im Vorjahr. Im September verminderte sich der TCO₂-Gehalt infolge der erwähnten Teilzirkulationen auch in der Nähe des Seebodens wieder, stieg dann aber anschliessend bis zum Erreichen des absoluten Jahresmaximums (3,65 mmol TCO₂/l) an. Allmähliche Anstiege im oberflächennahen Bereich waren bereits ab September zu bemerken, die zu einem homochemischen Zustand bis zu einer Tiefe von etwa 10 m führten. Bei Einsetzen der Vollzirkulation Ende November wurde ein gleichmässiges Konzentrationsniveau von etwa 2,43 mmol TCO₂/l erreicht. Den ganzen Winter über blieben die Verhältnisse vertikal nahezu vollständig ausgeglichen und das Konzentrationsniveau im Bereich zwischen 2,4 und 2,5 mmol TCO₂/l. Dieses Niveau entsprach der Ausgangslage zu Beginn des Seejahres 1976.

Konzentrationsschwankungen der übrigen am Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht beteiligten Komponenten stellten sich ganz entsprechend dem bei der Gesamtkohlensäure beobachteten Verteilungsverhalten ein. So bestanden im Gnadensee im Juli 1976 zwischen der Wasseroberfläche und dem Wasser in 20 m Tiefe die folgenden Konzentrationsunterschiede:

Tiefe	Leitfähigkeit Mikrosiemens cm ⁻¹	pH	freie Kohlensäure mval/l	Alkalinität mval/l	Kalzium mval/l
0 m	179	8,72	0,000	1,72	1,48
20 m	264	7,39	0,218	2,45	2,34

Die beobachteten Differenzen waren damit im Juli 1976 von ähnlicher Grössenordnung wie im September 1975, allerdings auf einem absolut etwas niedrigeren Niveau. Die Konzentrationswerte des Kalziums weisen darauf hin, dass ein Teil der Abnahme der Gesamtkohlensäure auf die Ausfällung von

Kalziumkarbonat aus oberflächennahen Wasserschichten zurückzuführen ist. Mit Eintritt der Vertikalzirkulation gleichen sich allmählich die Konzentrationsunterschiede aller Komponenten des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichts wieder aus, so lagen die Differenzen zwischen Oberflächenwasser und Wasser aus 20 m Tiefe am 29.11.1976 bei folgenden Werten:

Tiefe	Leitfähigkeit Mikrosiemens cm ⁻¹	pH	freie Kohlensäure mval/l	Alkalinität mval/l	Kalzium mval/l
0 m	257	7,83	0,068	2,34	2,42
20 m	265	7,87	0,070	2,38	2,38

PHYTOPLANKTONBIOMASSE UND CHEMISCHE BIOMASSEINDIKATOREN

Eine Übersicht über die Phytoplanktonbiomasse im Untersee während des Jahres 1976 liefert die Untersuchung der Chlorophyllgehalte im Gnadensee, Zeller See und Rheinsee (Abb. 27).

Der Zyklus der Konzentrationsveränderungen von partikulärem Phosphor (Abb. 28), der bis zu einem gewissen Grad die Phytoplanktonentwicklung widerspiegelt, war im Gnadensee im Jahre 1976 ähnlich wie im Jahr zuvor. Es traten niedrigere Werte unter 10 mg P/m³ lediglich während der Wintermonate und auch noch im Spätherbst 1976 auf, besonders hohe Werte ohne vertikale Schichtung während der Frühjahrszeit. Zeitweise Anreicherungen im Hypolimnion über Grund im Sommer entstanden wahrscheinlich durch Mitfällung bei der biogenen Entkalkung. Dabei war die Anreicherung im Juli 1976 mit einem Maximum von 86 mg

part-P/m³ wesentlich höher als im vorangegangenen Jahr. Die Konzentrationszunahme gegen Ausgang des Winters war jedoch bei einem Niveau von etwa 35 mg part-P/m³ wesentlich niedriger als im Jahr zuvor.

R H E I N S E E

THERMIK

Infolge des Einflusses des Rheinstromes stellten sich gewöhnlich im Rheinsee auch während der warmen Jahreszeit bis in das tiefere Wasser hinein turbulente Zirkulationen ein, 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 geringere Oberflächentemperaturen im Rheinsee erreicht als im Gnadensee und Zeller See. So betragen im Jahre 1976 die Oberflächentemperaturen im Rheinsee im Maximum 23,9°, im Gnadensee 25,2° (Abb. 29). Das gesamte Temperaturniveau lag jedoch wesentlich höher als im vorangegangenen Jahr (Maximum 21,2° im Rheinsee). Im Bereich um 20 m Tiefe sind die Temperaturen im Rheinsee während des Sommers in der Regel um mehrere Grade höher als in der gleichen Tiefe des Gnadensees. Im Sommer 1976 betragen diese Unterschiede jedoch nur wenige Zehntel Grad. Im Wasserkörper unter 40 m Tiefe stiegen die Temperaturen während der Sommermonate wie gewöhnlich nicht wesentlich über 8° an. Dieses Temperaturniveau wurde überhaupt erst im September erreicht und blieb bis zum Einsetzen der Vollzirkulation Ende November in dieser Wassertiefe erhalten. Damit herrschten am Seeboden des Rheinsees etwa die gleichen Temperaturverhältnisse wie über Grund des wesentlich flacheren Gnadensees. Die Aus-

gangstemperatur des Wassers vor Eintritt der Schichtungserscheinungen im März 1976 lag bei 4° und damit unter dem sonst üblichen Niveau. Der Temperatúrausgleich nach Eintritt der Herbstzirkulation 1976 trat bei ca. 9° Ende November ein. Durch fortgesetzte Abkühlung wurde während des Winters bis Januar ein Temperaturniveau von $3,5^{\circ}$ erreicht. In der Folgezeit bis Anfang März erwärmte sich das Wasser in der gesamten Schicht wiederum leicht bis auf 5° . Von diesem Zeitpunkt an stellte sich ein geringerer Temperaturgradient zwischen Oberfläche und Tiefenwasser ein, der Ende März eine Differenz zwischen $7,0$ und $5,8^{\circ}$ erreichte. Im Gegensatz zum Gnadensee stellte sich während der Winterzeit wie gewöhnlich keine inverse Temperaturschichtung im Rheinsee ein.

SAUERSTOFF

Bei vertikal nahezu ausgeglichenen Sauerstoffkonzentrationen von etwa $11 \text{ mg O}_2/\text{l}$ im Januar 1976, die etwa bis März anhielten, entwickelten sich die Sauerstoffverhältnisse in den oberen Wasserschichten ähnlich wie im vorausgegangenen Jahr (Abb. 30). Im April und damit etwas früher als im vorangegangenen Jahr trat ein Konzentrationsmaximum von $15,6 \text{ mg O}_2/\text{l}$ ein. Nach Absinken dieser Werte entstand dort im Juli ein zweites weniger hohes Maximum mit $12,6 \text{ mg O}_2/\text{l}$. Der Sauerstoffschwund im Tiefenwasser des Rheinsees setzte etwa ab Ende April ein und erreichte im Oktober in 43 m Tiefe ein Minimum von $0,16 \text{ mg O}_2/\text{l}$, das dem Wert von $0,37 \text{ mg O}_2/\text{l}$ des Oktobers 1975 sehr nahe kam. Am Ausgang des Sommers war der Sauerstoff in 16 m Höhe über Grund bis auf 1 mg und in 26 m über Grund bis auf $2 \text{ mg O}_2/\text{l}$ aufgezehrt. Mit einsetzenden Zirkulationsbewegungen trat eine Anreicherung an Sauerstoff zur Tiefe hin ein. Ein Ausgleich stellte sich erst nach Einsetzen der Vollzirkulation im Dezember

auf einem Niveau von etwa 10 mg O₂/l ein. Während des Winters erfolgte eine weitere Anreicherung mit Sauerstoff in allen Schichten. Im Februar wurde ein Konzentrationsniveau von 11,2 mg O₂/l erreicht. Im März konnten bereits wieder oberflächennahe Sauerstoffanreicherungen sowie andererseits ein Absinken der Werte über Grund beobachtet werden.

ORTHOPHOSPHAT

Im Seejahr 1976 folgte die Verteilung des Orthophosphats im Rheinsee wiederum dem gewohnten Schema und erwies sich als weniger divergierend als im Gnadensee (Abb. 31). Das Ausgangsniveau im Februar 1976 lag bei etwa 75 mg PO₄-P/m³. Es entsprach damit den Konzentrationen im Februar 1975. Ab März 1976 nahmen die Konzentrationen besonders stark in den oberflächennahen Wasserschichten, vorübergehend jedoch auch bis zum Seegrund hinab ab. Die fortgesetzte Aufnahme von Orthophosphat durch Phytoplankton führte schliesslich im Juli und August im Wasser von der Oberfläche bis zu 5 oder 10 m Tiefe zu Konzentrationen unter der Nachweisbarkeitsgrenze (weniger als 1 mg PO₄-P/m³). Dies entsprach auch der Situation im Gnadensee zum gleichen Zeitpunkt. Der ab September einsetzende Anstieg der Orthophosphatkonzentrationen in den oberen Wasserschichten verstärkte sich wie im Gnadensee bis zum Ende des Jahres 1976, wo es schliesslich zu einem nahezu vollständigen Ausgleich der Konzentrationsunterschiede von der Wasseroberfläche bis zum Seegrund kam. Im Rheinsee wurde im Dezember 1976 eine homochemische Konzentration von 75 mg PO₄-P/m³ gegenüber einer solchen von 115 mg/m³ im Gnadensee erreicht. Um die Jahreswende wurden im Rheinsee Konzentrationen von etwa 80 mg PO₄-P/m³ in allen Wasserschichten beobachtet. Im März 1977 war bereits wieder eine deutliche Abnahme von Orthophosphat

in Wasserschichten bis zu 20 m Tiefe zu beobachten, während gleichzeitig die Konzentrationen im darunterliegenden Wasser bis auf etwas weniger als $90 \text{ mg PO}_4\text{-P/m}^3$ angestiegen waren. Gleichzeitig mit der Zunahme von Orthosphosphat im Tiefenwasser des Gnadensees im Sommer 1976 stiegen auch die Orthophosphatkonzentrationen im Rheinsee ausgehend vom Seeboden und allmählich immer höhere Wasserschichten einbeziehend an. Wie auch früher schon beobachtet, wurden dabei weniger hohe Konzentrationen als im Gnadensee erreicht. Das Maximum des Orthophosphates wurde mit $263 \text{ mg PO}_4\text{-P/m}^3$ im September 1976 in 46 m Tiefe festgestellt. Die Orthophosphatanreicherungen im Tiefenwasser machten sich während der Sommermonate bis hinauf in eine Tiefe von 20 m mit Werten von über $100 \text{ mg PO}_4\text{-P/m}^3$ deutlich bemerkbar. Eine gewisse Verringerung der Konzentrationen auch in grösseren Tiefen setzte ähnlich wie im Gnadensee noch im September 1976 ein. Die anschliessend zu beobachtende Konzentrationserhöhung im Oktober und November 1976 blieb im Tiefenwasser des Rheinsees jedoch gering im Vergleich zu den zu diesem Zeitpunkt beobachteten Konzentrationserhöhungen im Gnadensee. Das nach Ausgleich aller vertikalen Konzentrationsunterschiede bis Februar 1977 erreichte Niveau von etwa $75 \text{ mg PO}_4\text{-P/m}^3$ entsprach den Verhältnissen im Februar 1975 und zeigt, dass die Schwankungen der Orthophosphatgehalte im Rheinsee zur Zeit um eine gleichbleibende Mittellage pendeln.

NITRAT

Die Verteilungsverhältnisse des Nitrats im Rheinsee wichen im Seejahr 1976 ebenfalls im grossen und ganzen nicht vom Bild der vorangegangenen Jahre ab (Abb. 32). Das Ausgangsniveau der Konzentrationen lag im März vertikal weitgehend ausgeglichen bei etwa $900 \text{ mg NO}_3\text{-N/m}^3$.

Es verringerte sich an der Oberfläche im Laufe des Sommers auf verhältnismässig geringe Werte, wobei das verbleibende Minimum mit $50 \text{ mg NO}_3\text{-N/m}^3$ niedriger als im Jahre 1975 ($120 \text{ mg NO}_3\text{-N/m}^3$) und im Jahre 1974 (90 mg/m^3) war. Die Abnahme des Nitrats im Tiefenwasser im Zusammenhang mit der Verringerung des Sauerstoffgehaltes war bei der starken Sauerstoffzehrung in Bodennähe noch deutlicher als im Jahre zuvor. Im Oktober waren nur noch $110 \text{ mg NO}_3\text{-N/m}^3$ in 46 m Tiefe vorhanden (Minimum 1974: 380 mg/m^3 , 1975: 250 mg/m^3). Ähnlich wie im vorausgegangenen Jahr traten verhältnismässig hohe Konzentrationen von einer Tiefe zwischen 15 m und dem Seegrund während des Monats Juli auf. Der Ausgleich der vertikalen Konzentrationsunterschiede erfolgte Ende November 1976 auf einem Niveau von etwa $500 \text{ mg NO}_3\text{-N/m}^3$. Die Konzentrationen steigerten sich in der gesamten Wassermasse in den Folgemonaten wegen Ammoniakoxidation bis Ende Februar auf ein Niveau von $840 \text{ mg NO}_3\text{-N/m}^3$ an der Oberfläche und 900 mg/m^3 in 46 m Tiefe. Anschliessend trat im Bereich bis 20 m Tiefe eine geringe Konzentrationsabnahme ein, während über dem Seegrund Werte bis $1150 \text{ mg NO}_3\text{-N/m}^3$ gemessen wurden. Eine derart ausgeprägte Anreicherung war am Ende des Seejahres 1975 nicht zu beobachten gewesen.

AMMONIUM

Die relativ hohen, vertikal ausgeglichenen Konzentrationen von Ammonium im Rheinsee zu Beginn des Jahres 1976 verringerten sich bis März auf Werte unter $100 \text{ mg NH}_4\text{-N/m}^3$ (Abb. 33). In der Folgezeit sanken die Ammoniumwerte in den Wasserschichten bis 20 m Tiefe im Rheinsee weitgehend unter die Nachweisbarkeitsgrenze ($10 \text{ mg NH}_4\text{-N/m}^3$) ab. Eine Unterbrechung trat lediglich im Juli ein, als relativ hohe Konzentrationen zwischen der Wasseroberfläche

und dem Seegrund gemessen wurden. Zuvor waren bereits im Tiefenwasser die NH_4 -Werte angestiegen und hatten über Grund im April ein Maximum von 350 mg/m^3 erreicht. Möglicherweise sind die hohen Ammoniumwerte zu diesem Zeitpunkt die Folge der Degradation von abgestorbenem Phytoplankton. Die Konzentrationswerte im Juli lagen in der gesamten Wassermasse unter der Nachweisbarkeitsgrenze. Am Ende dieses Monats begann über Grund im Zusammenhang mit der starken Sauerstoffzehrung eine Zunahme der Ammoniumwerte, die schliesslich zu einem Maximum von 680 mg/m^3 in 46 m Tiefe im Oktober führten. Jedoch traten im Laufe des Sommers Anreicherungen der Ammoniumkonzentrationen, wenn auch in geringerer Masse, bis an die Wasseroberfläche hinauf ein. Nach Einsetzen der Vollzirkulation lag das Konzentrationsniveau in der gesamten Wassermasse bei $210 \text{ mg NH}_4\text{-N/m}^3$. Die Zunahme der Konzentrationen in Oberflächennähe im Herbst 1976 dürfte im Zusammenhang mit der Einbeziehung tieferer Wassermassen durch die Vertikalzirkulation stehen. Das Ausmass der Ammonium-Anreicherung im Herbst 1976 in mittleren oder grossen Tiefen war grösser als im Jahr zuvor und entsprach auch der etwas stärkeren Sauerstoffzehrung des Jahres 1976. Im Verlaufe des Winters sanken die Ammoniumkonzentrationen bis Ende Januar auf etwa 100 mg/m^3 . Im März war bereits wieder eine deutliche Schichtung mit Konzentrationen von $50 \text{ mg NH}_4\text{-N/m}^3$ in Oberflächennähe und Konzentrationen über 200 mg/m^3 in 46 m Tiefe eingetreten.

NITRIT

Wie schon in den Vorjahren war der Schwankungsbereich der Nitritkonzentrationen im Rheinsee recht erheblich (Abb. 34). Während der Wintermonate sowohl Anfang 1976 als auch

während des Winters 1976/77 blieben die Nitritgehalte im Rheinsee durchweg niedrig, d.h. unter 10, bisweilen auch unter $5 \text{ mg NO}_2\text{-N/m}^3$. Doch war Nitrit während des ganzen Zeitraumes fortgesetzt nachzuweisen. Nitritanreicherungen traten vom Seeboden ausgehend in mehreren Schüben, wobei sie zeitweise sich hinauf bis zu Tiefen von unter 20 m auswirkten, auf. Eine erste Anreicherungsphase war im Juni, eine spätere in den Monaten September/Oktober erkennbar. Dies entsprach mit einer gewissen zeitlichen Verschiebung der ersten Anreicherungsphase auch den Verhältnissen der Vorjahre. Wie ebenfalls schon früher beobachtet, kam am Ende des Seejahres 1976/77 eine geringfügige Anreicherung des Nitrits in den unteren Wasserschichten zustande. Der Vergleich mit dem Auftreten von Ammonium im Rheinsee zeigt, wie auch bereits in früheren Jahren, dass Nitrit verstärkt immer dann auftritt, wenn sich die Ammoniumkonzentration stark erhöht hatte. Aus diesem Grunde wird man das Erscheinen des Nitrits mit der bakteriellen Nitratreduktion oder auch der Ammoniumnitrifikation in Verbindung bringen können. Die Maxima der Nitritkonzentrationen waren etwas geringer als im Jahr zuvor, nämlich $86 \text{ mg NO}_2\text{-N/m}^3$ im September 1976 (gegenüber 111 mg/m^3 im Oktober 1975) und $30 \text{ mg NO}_2\text{-N/m}^3$ im Juni 1976.

KIESELSÄURE

Die Verteilung der Kieselsäure im Rheinsee entsprach im Seejahr 1976 dem gewohnten Bild (Abb. 35). Im März bestand eine gleichmässige vertikale Verteilung der Kieselsäure auf einem Niveau von $3 \text{ mg SiO}_2\text{/l}$, was ein wenig höher als im gleichen Monat des Vorjahres war. Eine Verringerung der Kieselsäurekonzentrationen durch Auszehrung machte sich zunächst in allen Schichten ab April 1976 in zunehmendem Masse an der Oberfläche bemerkbar. Wiederum

liessen sich, wie schon in den Vorjahren, zwei Zehrungsperioden mit Maximum der Auszehrung im Mai und August beobachten. Die Kieselsäure blieb auch in diesen Perioden stets nachweisbar. Das stärkste Absinken wurde im August 1976 beobachtet (Minimum $0,2 \text{ mg SiO}_2/\text{l}$). Es entsprach den Verhältnissen des vorangegangenen Jahres. Die auch in den vorausgegangenen Jahren beobachteten Akkumulationsvorgänge waren im Seejahr 1976 deutlicher ausgeprägt als im Vorjahr und überstiegen über Grund mit $4,0 \text{ mg SiO}_2/\text{l}$ sogar die in den früheren Jahren beobachteten Beträge im Gnadensee. Die Ursache dürfte im Zusammenhang stehen mit der ungünstigen Sauerstoffbilanz des Rheinsees im Jahre 1976 und der damit verbundenen Akkumulation von freier Kohlensäure und stärkeren pH-Absenkungen. Nach Ausgleich der Konzentrationen durch die vertikale Totalzirkulation stellten sich durchgängig Konzentrationen von $2,5 \text{ mg SiO}_2$ ein. In den ersten Monaten des Jahres 1977 ergab sich ein allmählicher Anstieg der SiO_2 -Konzentrationen, jedoch war Ende März, wie bei anderen chemischen Komponenten, bereits wiederum eine Schichtung mit $2,2 \text{ mg SiO}_2/\text{l}$ an der Oberfläche und $3,2 \text{ mg/l}$ in 46 m Tiefe erreicht.

ANORGANISCHER KOHLENSTOFF UND KALK-KOHLensäURE-GLEICHGEWICHT

Die jahreszeitlichen vertikalen Unterschiede der Komponenten des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtes und der TCO_2 waren im Rheinsee weniger extrem als im Gnadensee. Jedoch war das Ausmass der Divergenzen im Jahre 1976 ähnlich wie im vorangegangenen Jahr verhältnismässig hoch (Abb. 36). Das Ausgangsniveau von TCO_2 betrug im März 1976 $2,5 \text{ mmol/l}$.

Ab April verminderten sich die Werte in oberflächennahen Bereichen durch Inkorporation in Phytoplankton auf $1,68 \text{ mmol TCO}_2/\text{l}$ im Juli 1976. Demgegenüber betrug die Minima 1975 $1,84$ und 1974 $1,88 \text{ mmol/l}$. Umgekehrt

reicherte sich TCO_2 im Tiefenwasser im Rheinsee 1976 auf 2,86 mmol TCO_2/l an, während die Anreicherungen in den Jahren 1975 und 1974 geringer waren (2,71 und 2,45 mmol TCO_2/l). Entsprechend den Divergenzen der Gesamtkohlensäure zwischen oberflächennahem und Tiefenwasser ergaben sich auch im Seejahr 1976 erhebliche vertikale Konzentrationsunterschiede bei anderen Kennwerten des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtes. Die beobachteten Extremwerte für Wasser von der Oberfläche und Wasser in 46 m Tiefe im Rheinsee waren folgende (im August 1976):

Tiefe	Leitfähigkeit Mikrosiemens cm^{-1}	pH	freie Kohlensäure mval/l	Alkalinität mval/l	Kalzium mval/l
0 m	220	8,40	0,01	1,82	1,92
46 m	274	7,34	0,24	2,40	2,48

PHYTOPLANKTONBIOMASSE UND CHEMISCHE BIOMASSEINDIKATOREN

Das Bild der jahreszeitlichen und vertikalen Verteilung von partikulärem, d.h. vornehmlich im Phytoplankton inkorporiertem Phosphor im Rheinsee (Abb. 37) entspricht weitgehend den Verhältnissen im Gnadensee (Abb. 28). Im Sommer 1976 traten im Epilimnion wiederum zwei Maxima auf, eines im späten Frühjahr und ein weniger stark ausgeprägtes im Juli/August. Die zeitweisen Erhöhungen des partikulären Phosphorgehaltes im bodennahen Wasser des Rheinsees dürften mit Ausfällungserscheinungen des Kalziumkarbonates und des Eisenhydroxids in Verbindung stehen.

Aus den Werten für Chlorophyll (a + b + c) kann man folgern, dass im Seejahr 1976/77 im Rheinsee fast stets weniger Phytoplankton auftrat als im Gnadensee. Im Jahres-

durchschnitt betrug die mittlere Chlorophyllkonzentration in 0 bis 20 m im Rheinsee 10 mg/m^3 gegenüber 16 mg/m^3 im Gnadensee (Abb. 27). Das Jahresmaximum 1976 im Rheinsee betrug 31 mg/m^3 gegenüber 65 mg/m^3 im Gnadensee. Nur im Mai 1976 übertraf die Chlorophyllmenge im Rheinsee von 31 mg/m^3 diejenige des Gnadensees.

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 1976 geringfügig niedrigere Oberflächentemperaturen (Maximum im Juli $24,5^\circ$), dafür kam der Wärmegewinn im Zeller See dem tieferen Wasser stärker zugute. Im Juli betrug die Wassertemperatur in 15 m Tiefe $10,6^\circ$ gegenüber $9,2^\circ$ im Gnadensee.

Während der Zirkulationsperioden bestanden im Sauerstoffgehalt des Zeller Sees keine wesentlichen Unterschiede zum Gnadensee. Während der Stagnationsperiode war das Ausmass des Sauerstoffschwundes im Hypolimnion geringer als im Gnadensee. Im November wurden im Zeller See in 23 m Tiefe $0,0 \text{ mg O}_2/\text{l}$ gemessen. In 20 m Tiefe betrug der Sauerstoffgehalt noch $2,43 \text{ mg O}_2/\text{l}$. Im Gnadensee war zu diesem Zeitpunkt sowohl in 20 als auch in 15 m Tiefe kein Sauerstoff mehr nachzuweisen. In 10 m Tiefe lag der Sauerstoffgehalt mit über 7 mg etwa im gleichen Bereich wie im Zeller See in 15 m Tiefe. Die Wiederbelüftung setzte in beiden Seen erst spät, nämlich im November, ein. Die Sauerstoffübersättigung im Epilimnion lag im Frühjahr und Sommer im Zeller See in ähnlicher Grössenordnung wie im Gnadensee. Die maximalen Übersättigungswerte betrugen in beiden Seen etwa 160 %.

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, merklich aufgezehrt. Anders als in den früheren Jahren verlief die Orthophosphatzehrung bis zur Nachweisbarkeitsgrenze. Das gleiche traf zeitweise für Kieselsäure zu. Im März 1976 war der Nährstoffvorrat im Zeller See wie in den früheren Jahren grösser als im Gnadensee. Auch für den März 1977 traf das zu, wie die folgende Tabelle erkennen lässt:

Mittlere Nährstoffkonzentrationen im Zeller See und Gnadensee im März 1976 und 1977

	$PO_4\text{-P}$	$NO_3\text{-N}$	$NH_4\text{-N}$	mg/m ³
Zeller See März 1976	47	1110	10	
Zeller See März 1977	88	1250	101	
Gnadensee März 1976	37	710	10	
Gnadensee März 1977	58	728	78	

Der Vergleich der Zahlenwerte ergibt, dass die Veränderungen der mittleren Konzentrationen zwischen März 1976 und 1977 beim Nitrat relativ gering waren, während Orthophosphat und Ammonium zum Teil wesentlich zugenommen haben.

Die Phytoplanktonkonzentrationen im Zeller See lagen, gemessen als Chlorophyll, fast stets in nahezu gleicher Höhe wie im Gnadensee und damit höher als im Rheinsee (Abb. 27).

ZUSAMMENFASSUNG

Die Ergebnisse der Freiwasseruntersuchungen im Zeitraum vom Januar 1976 bis März 1977 lassen erkennen, dass die Entwicklung des ursprünglich oligotrophen B o d e n - s e e - O b e r s e e s sich während dieser Zeitspanne nicht deutlich weiter in Richtung auf den eutrophen Gewässertyp fortgesetzt hat. Am Ausgang der Seejahre 1975 und 1976 waren die Gesamtmengen des gelösten Phosphors im See bei etwa 4000 t und einer mittleren Konzentration von etwa 80 mg P/m^3 etwa auf gleicher Höhe. Die Phytoplanktonentwicklung war zeitweise beträchtlich. Infolgedessen wurde das Orthophosphat zeitweise bis auf weniger als 1 mg P/m^3 aufgezehrt. Phosphor ist daher nach wie vor als produktionsbegrenzender Faktor für Phytoplankton-Entwicklung im 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 139 %. Durch mikrobiellen Abbau der Biomasse wurde der Sauerstoffhaushalt des Sees beträchtlich belastet. Sauerstoffminima im Metalimnion und Aufzehrung des Sauerstoffs im tiefen Hypolimnion bis zu 28 % des Sättigungswertes ($3,4 \text{ mg O}_2/\text{l}$) waren die Folge. Damit lagen die im Extrem beobachteten Sauerstoffübersättigungen im Jahre 1976 niedriger als 1975. Die Sauerstoffminima im tiefen Hypolimnion waren 1976 niedriger als 1975.

Die Wiederbelüftung des Tiefenwassers im Winter 1976/77 war zwar nicht ganz vollständig; trotzdem lagen im Monat März 1977 die Sauerstoffkonzentrationen bis zu 200 m Tie-

fe zwischen 10 und 12 mg O_2/l , und auch darunter wurden 10 mg O_2/l fast erreicht. Die Sauerstoffsituation war damit zu Beginn des Seejahres 1977 recht günstig.

Vom Standpunkt des Gewässerschutzes muss der Zustand des Obersees in der Berichtsperiode noch weiterhin als ungünstig angesehen werden, jedoch scheinen die ungünstigen Zustandsveränderungen besonders hinsichtlich der Anreicherung mit Phosphorverbindungen zu einem gewissen Stillstand zu kommen, was als erstes Anzeichen für die Wirksamkeit der von den Staaten des Einzugsgebietes des Bodensees getroffenen Gewässerschutzmassnahmen gewertet werden kann.

Der B o d e n s e e - U n t e r s e e zeigte im Seejahr 1976 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 Sauerstoffgehalt im Hypolimnion des Rheinsees (im Minimum 0,45 mg O_2/l). 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 des Gnadensees bis über 570 mg PO_4-P/m^3 . Aber auch im Rheinsee wurden im Maximum 263 mg PO_4-P/m^3 durch Freisetzung aus dem Sediment erzielt. Im Gnadensee und Zeller See waren die Konzentrationsniveaus von Nährstoffen im Frühjahr 1977 etwas höher als zur selben Zeit 1976, etwas weniger ausgeprägt beim Nitrat und sehr deutlich beim Orthophosphat. Auch wurden relativ hohe Ammoniumwerte am Ende des Seejahres 1976 gegenüber dem vorausgegangenen Jahr gemessen. In allen

drei Seeteilen traten an der Wasseroberfläche während des Seejahres 1976 hohe Sauerstoffübersättigungen durch Phytoplanktonproduktion auf, nämlich im Rheinsee mit einem Maximum im Juli von 157 ‰ des Sauerstoffgehaltes und im Gnadensee und Zeller See mit einem Maximum im Mai von 164 und 157 ‰.

Tabelle 1 (1)

Normal-Tiefenserien an den Stationen

Fischbach-Uttwil: Für chemische Untersuchungen:

0, 5, 10, 15, 20, 30, 50, 100, 150, 200,
230, 250 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

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,
190, 200 m

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

Gnadensee: 0, 5, 10, 15, 20 m

Zeller See: 0, 5, 10, 15, 20, 22 m

Rheinsee: 0, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 44 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).

UNTERSEE-STATION			OBERSEE-STATION		
7. 1. 1976		R	7. 1.1976	H	
12. 1.	G Z		13. 1.	F L	
2. 2.		R	26. 1.	FS	
9. 2.	G Z		28. 1.		Ü
8. 3.		R	3. 2.	H	
17. 3.	G Z		10. 2.	F L	
5. 4.		R	18. 2.	FS	Ü
12. 4.	G Z		9. 3.	F H L	
3. 5.		R	24. 3.	FS	Ü
10. 5.	G Z		30. 3.	H	
2. 6.		R	7. 4.	F L	
9. 6.	G Z		14. 4.		Ü
30. 6.		R	21. 4.	FS	
7. 7.	G Z		27. 4.	H	
20. 7.		R	4. 5.	F L	
21. 7.	G Z		12. 5.	FS	
16. 8.		R	19. 5.		Ü
18. 8.	G Z		24. 5.	F L	
6. 9.		R	25. 5.	H	
13. 9.	G Z		14. 6.	FS	
13.10.	G Z		22. 6.	F L	
18.10.		R	23. 6.		Ü

4.11. 1976	G	Z		14. 7. 1976	FS		
8.11.			R	19. 7.	F	L	
29.11.	G	Z		28. 7.			Ü
6.12.			R	16. 8.	F	L	
27.12.	G	Z		24. 8.			Ü
3. 1. 1977			R	30. 8.	FS		
24. 1.		Z		13. 9.	F	L	
31. 1.	G		R	28. 9.			Ü
14. 2.	G	Z		29. 9.	FS		
28. 2.			R	11.10.	F	L	
14. 3.	G	Z		25.10.	FS		Ü
28. 3.			R	8.11.	F	L	
4. 4.	G	Z		23.11.			Ü
25. 4.			R	24.11.	FS		
2. 5.	G	Z		6.12.	F	L	
25. 5.			R	14.12.			Ü
31. 5.	G	Z		20.12.	FS		
13. 6.	G	Z		11. 1.1977	F	L	
22. 6.			R	19. 1.			Ü
4. 7.			R	26. 1.	FS		
6. 7.	G	Z		8. 2.	F	L	
8. 8.			R	23. 2.	FS		
9. 8.	G	Z		28. 2.			Ü
31. 8.			R	8. 3.	F	L	
25.10.			R	10. 3.			Ü
2.11.	G	Z		23. 3.	FS		
				5. 4.	F	L	
				10. 5.	F	L	
				7. 6.	F	L	
				5. 7.	F		

Tabelle 1 (3)

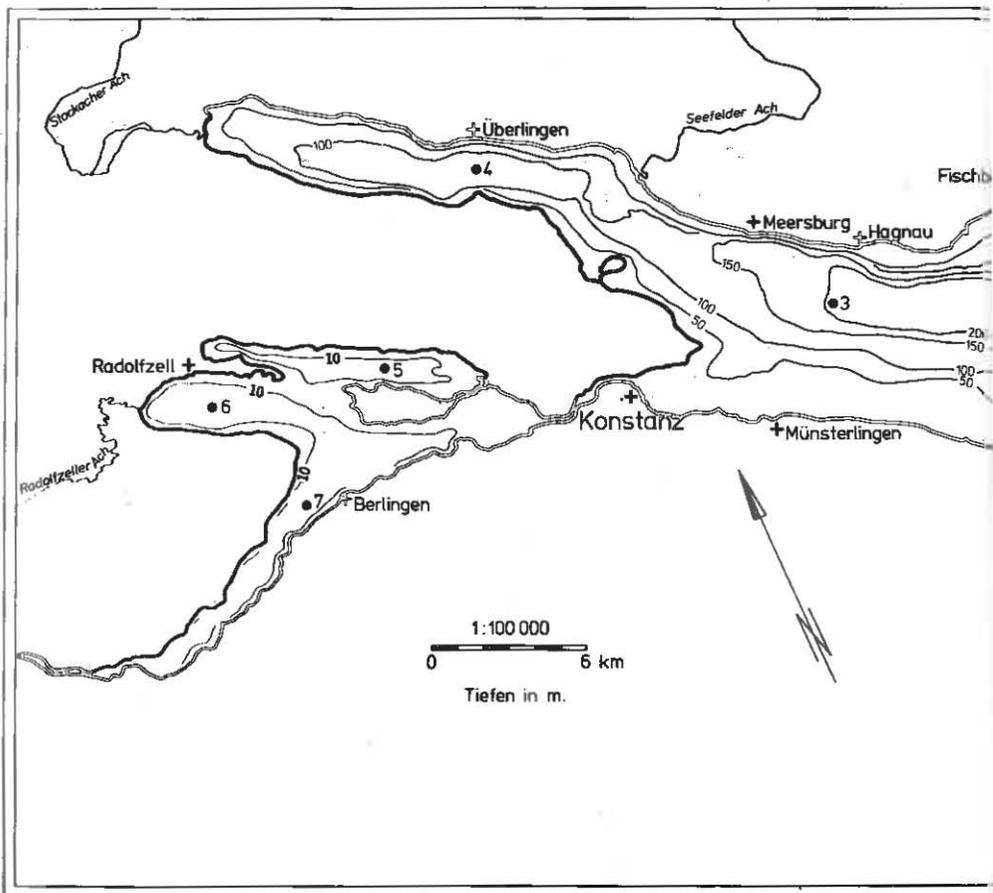
Liste der bestimmten Inhaltsstoffe für die Untersuchungsstationen Fischbach-Uttwil (F), Hagnau-Münsterlingen (H), Überlingen (Ü), Langenargen-Arbon (L), Gnadensee (G), Zeller See (Z) und Berlingen (B)

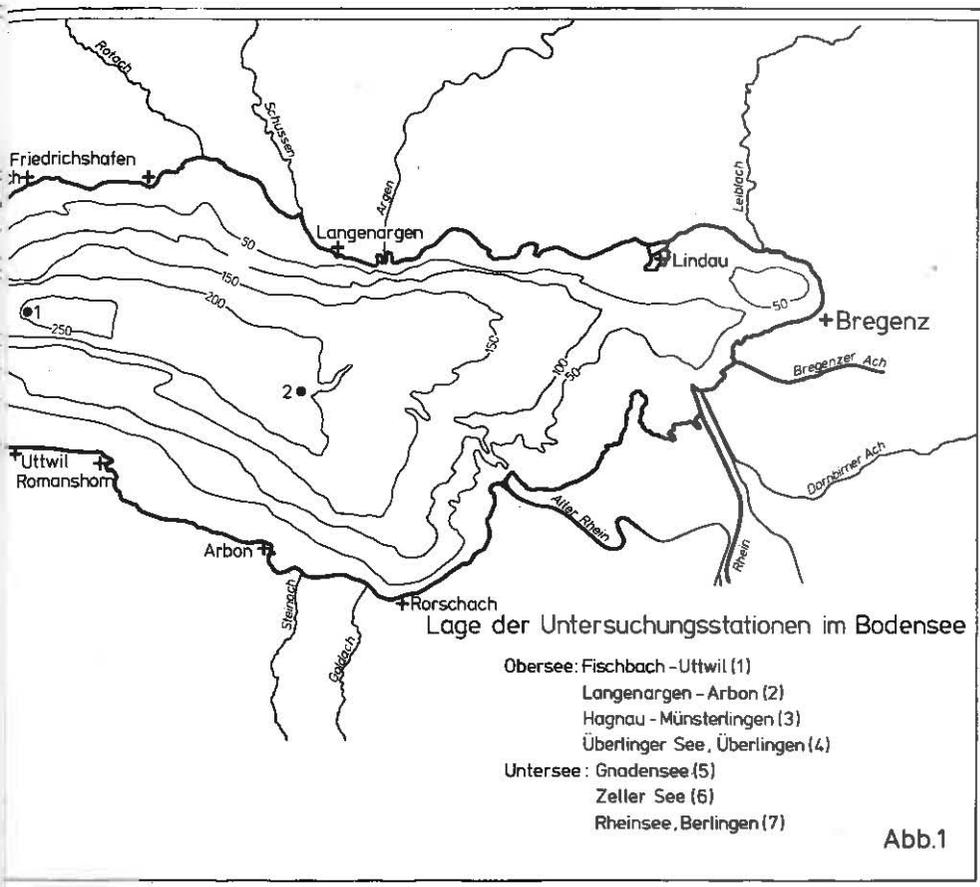
Temperatur in Grad Celsius	F	H	Ü	L	G	Z	B
Leitfähigkeit in Mikrosiemens bei 20°C (umgerechnet mit Korrekturtabelle Bodensee)	F	H	Ü	L	G	Z	B
pH-Aktivität	F	H	Ü	L	G	Z	B
Sauerstoffkonzentration in mg/l	F	H	Ü	L	G	Z	B
Sauerstoffsättigung in % (bei mittleren Oberflächen- luftdruck)	F	H	Ü	L	G	Z	B
freies CO ₂ in mval/l		H	Ü		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
Gesamthärte in mval/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
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	
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	Ü	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 ¹⁾	H	L				
partikulärer Stickstoff direkt (Stickstoff in mg/m ³ auf dem Filter)	F ¹⁾	H	L				
"organischer Stickstoff" berechnet im Filtrat (N-KJF - NH ₄ -N) in mg/m ³	F ¹⁾		L	G	Z	B	
Chlorophyll (a + b + c) nach Goltermann in mg/m ³	F	H ³⁾					
Phaeophytin nach Goltermann in mg/m ³	F	H ³⁾					
Coliforme Keime auf ENDO-Agar LES bei 37°C Keime/100ml	F ²⁾	H					
Streptokokken auf m-Enterococcus Agar Keime/100 ml	F ²⁾	H					
Chlorid-Ion in mg/l	F	H ⁴⁾	L	G		B	
Sulfat-Ion in mg/l	F	H ⁴⁾	L	G		B	
Fe part. in mg/m ³	F		L				
Mn part. in mg/l	F		L				
Cd in mg/m ³							
Cu in mg/m ³							
Zn in mg/m ³							
Pb in mg/m ³							
Cr in mg/m ³							
Na in g/m ³	F		L				
K in g/m ³	F		L				

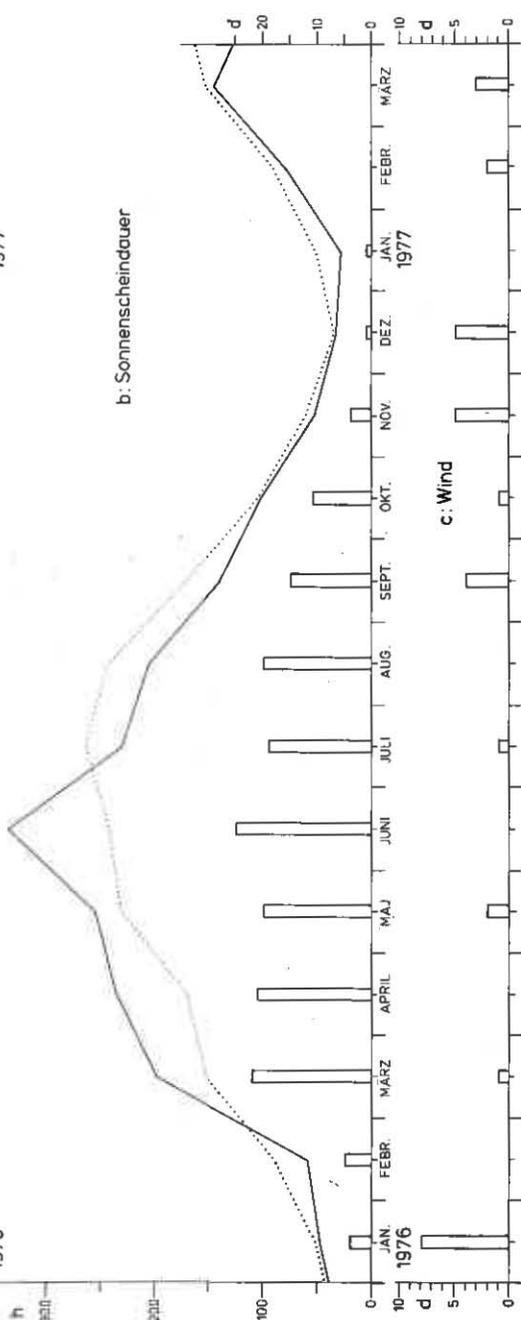
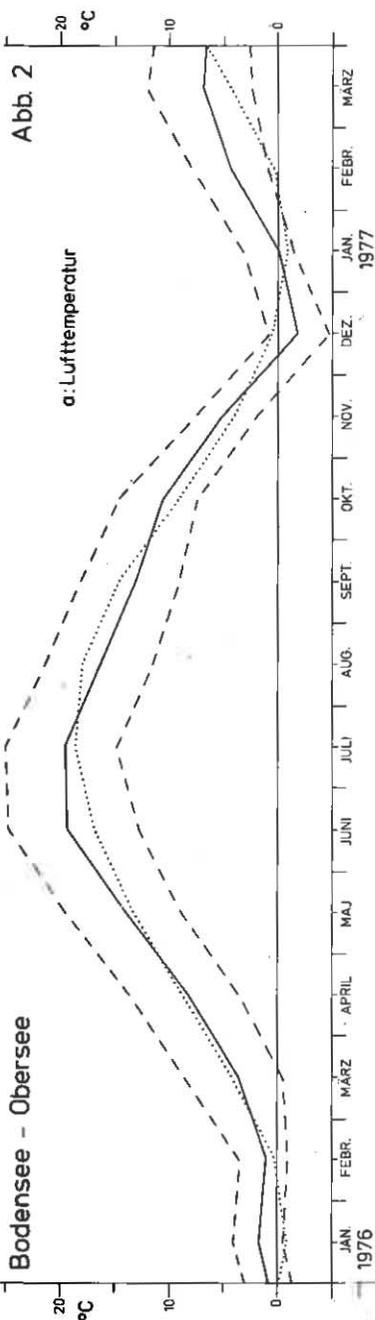
organischer Kohlenstoff im Filtrat in g/m^3	F	H	U	G	B
total organischer Kohlenstoff im Rohwasser in g/m^3	F			G	B
KMnO_4 -verbrauch in mg/l	F			L	
Chemischer Sauerstoffbe- darf in $\text{mg O}_2/\text{l}$			U	G	B
Trübung			U		
Extinktion bei 240 nm	F		U ⁵⁾	L	

- 1) ausser 16.8.76
- 2) nur bis Februar 76
- 3) nur bis 27.4.76
- 4) nur bis 7.1.76
- 5) bei 254 nm





Bodensee - Obersee

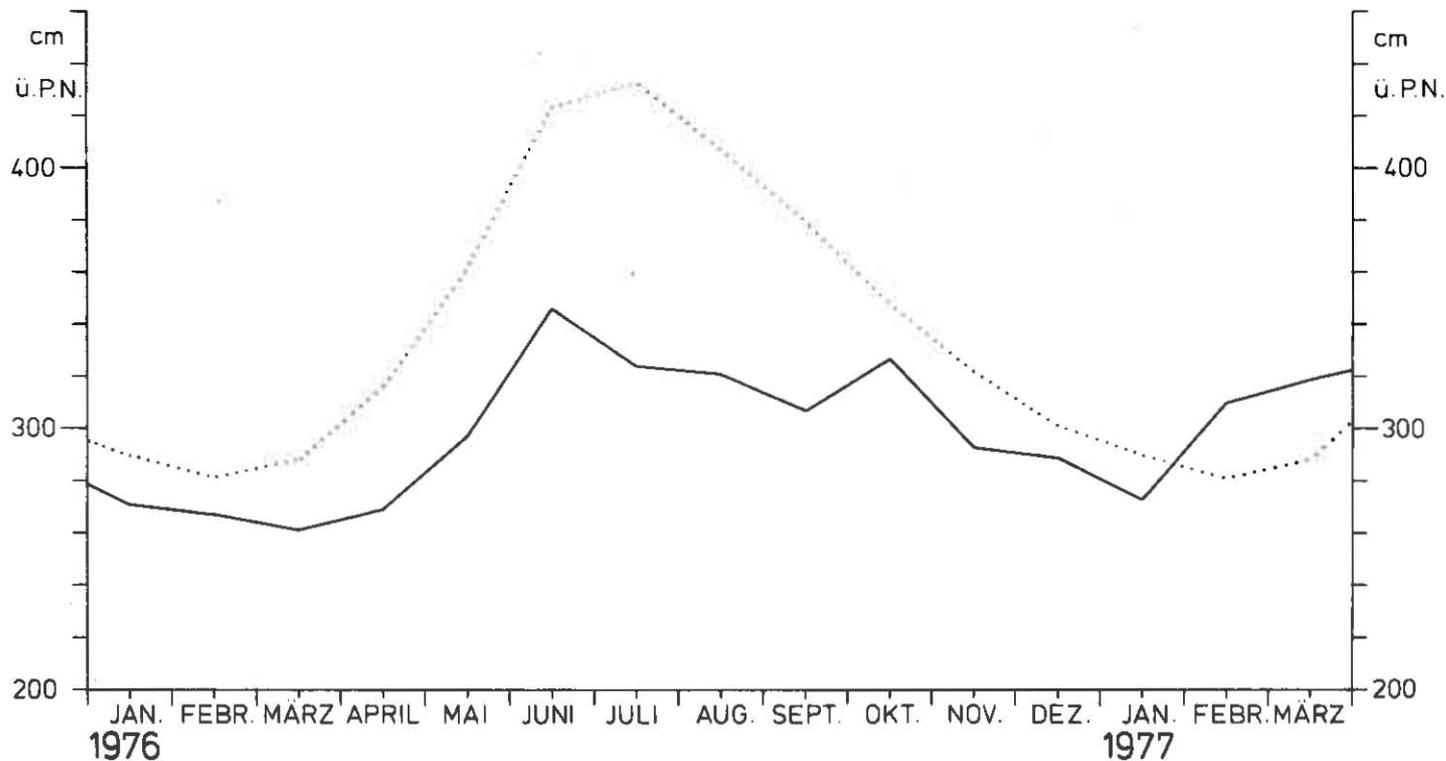


Monatliche Klimadaten der Wetterstation Friedrichshafen 1976/1977

- a: — Monatsmitteltemperatur
 Tagesmittel (der täglichen Temperatursumme)
 - - - - - langjährige Monatsmitteltemperatur (1931-1960)
 - · - · - · Tagesmittel (der täglichen Temperatursumme) (1931-1960)
- b: — Monatsmitteltemperatur
 Tagesmittel (der täglichen Temperatursumme)
 - - - - - langjährige Monatsmitteltemperatur (1931-1960)
 - · - · - · Tagesmittel (der täglichen Temperatursumme) (1931-1960)
- c: □ Tage im Monat, an denen mindestens ein 10 - min - Mittel 6 bis 8 Bf beträgt

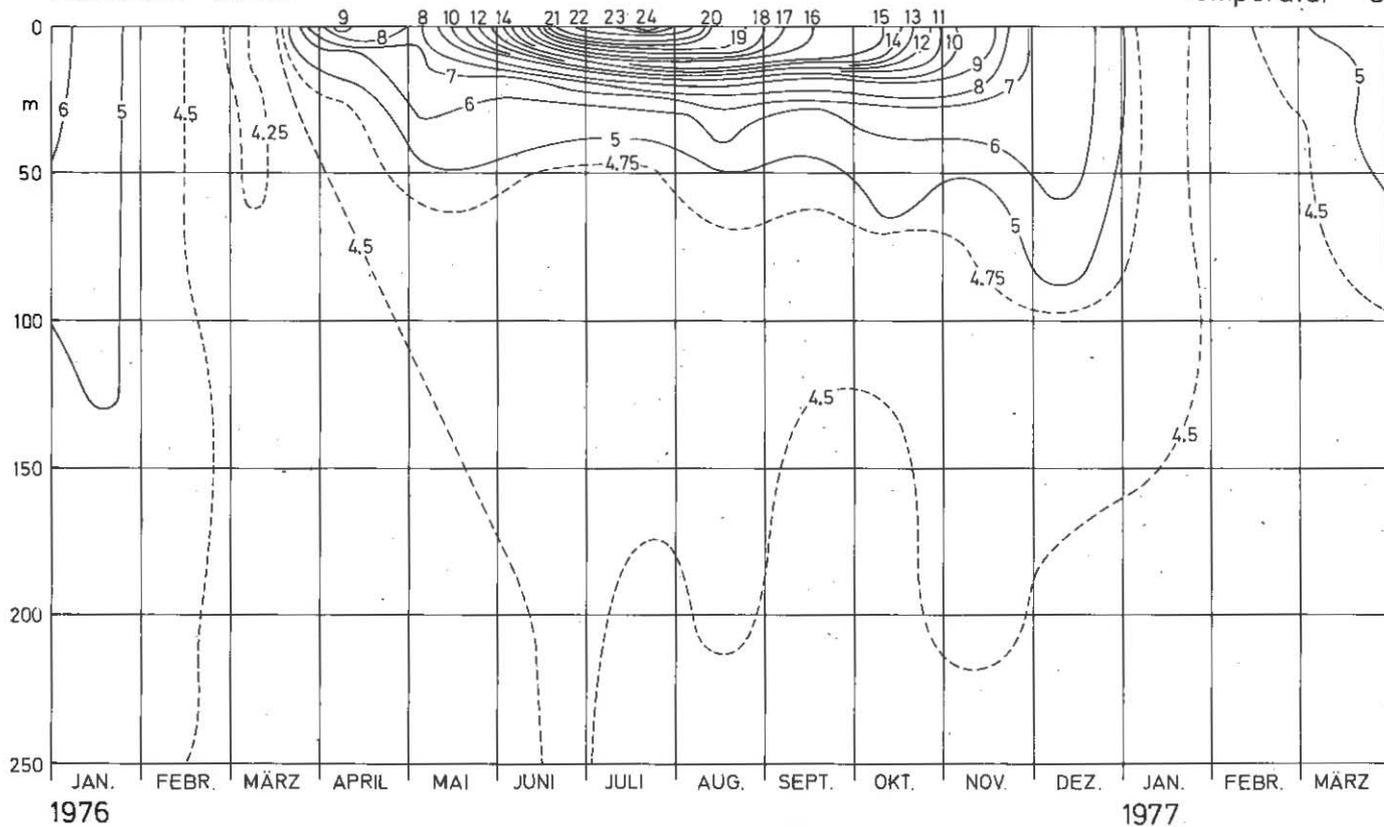
Wasserstand am Pegel Konstanz 1976/1977

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



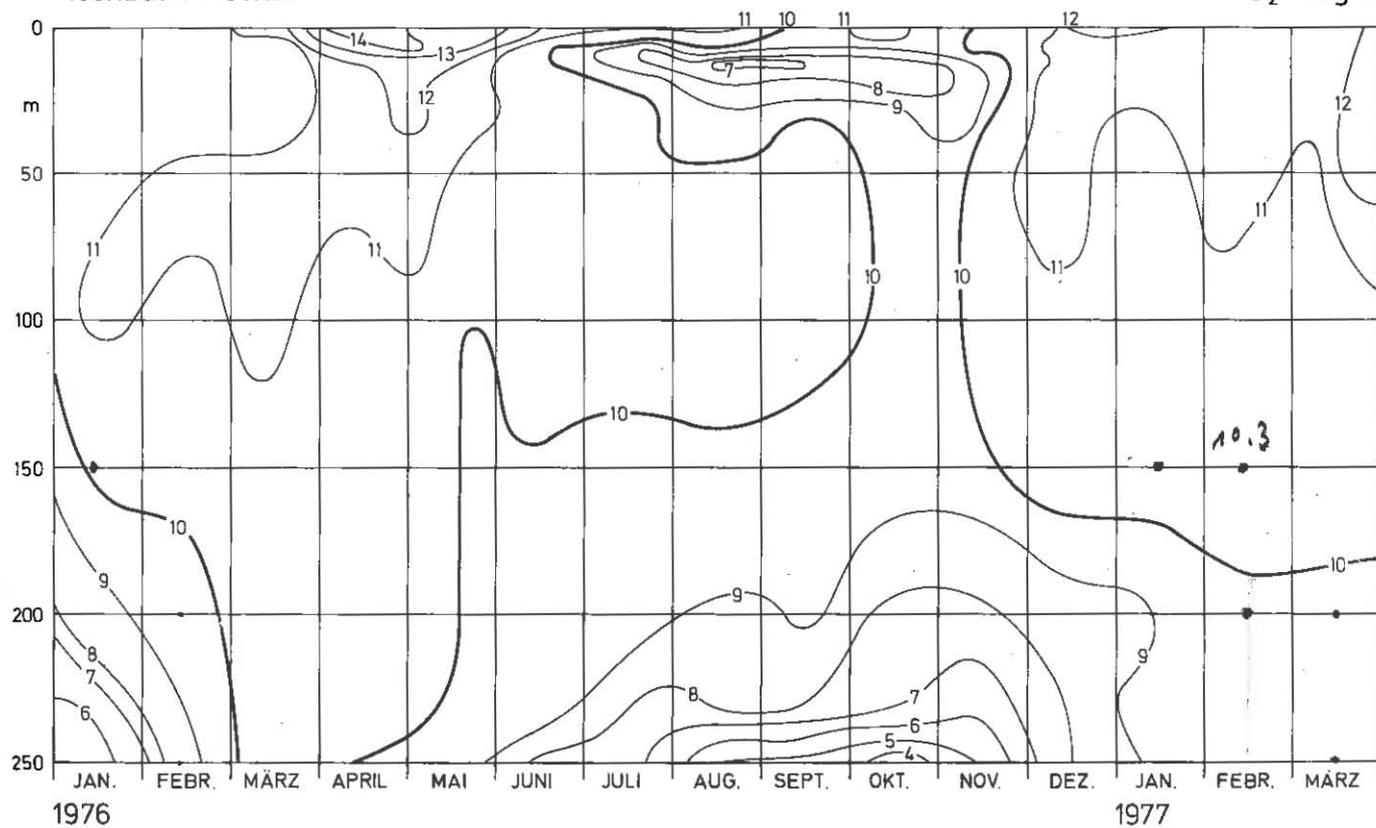
Bodensee - Obersee
Fischbach - Uttwil

Abb. 4
Temperatur °C



Bodensee - Obersee
Fischbach - Uttwil

Abb. 5
O₂ mg/l



Bodensee - Obersee
Fischbach - Uttwil

Abb. 6
 $\text{PO}_4\text{-P}$ mg/m^3

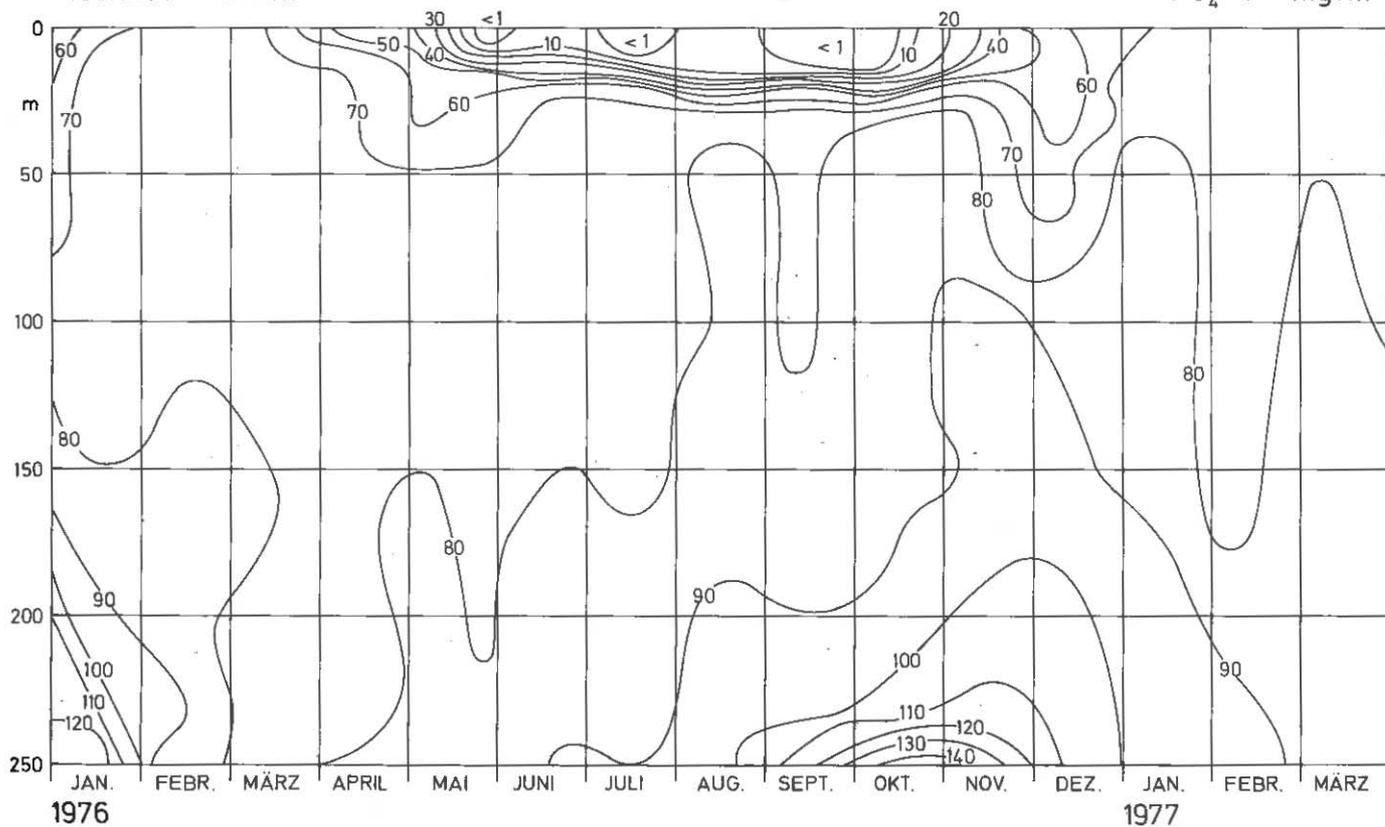
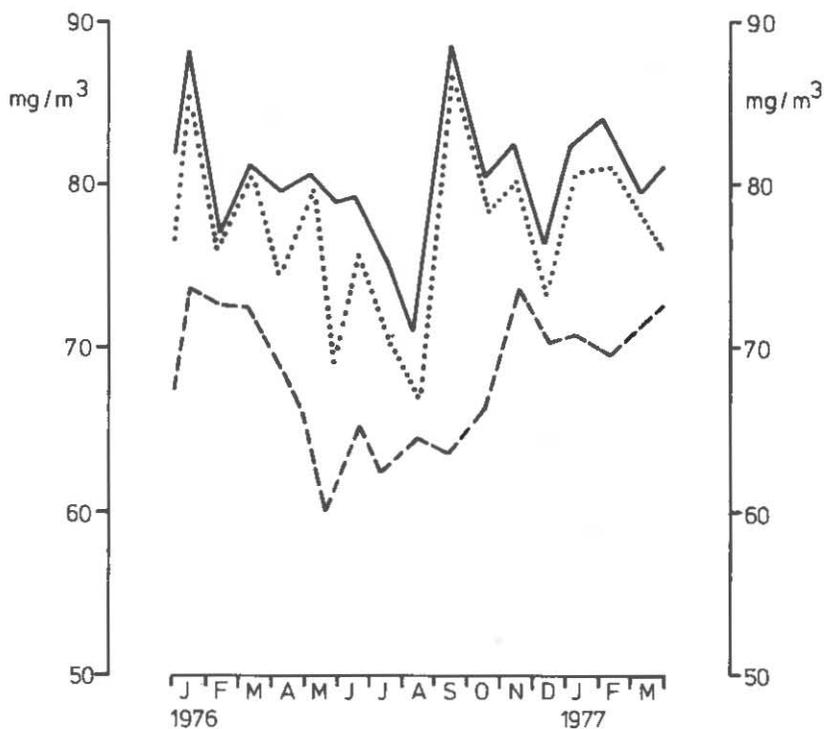


Abb. 7

Phosphorverbindungen im Bodensee-Obersee



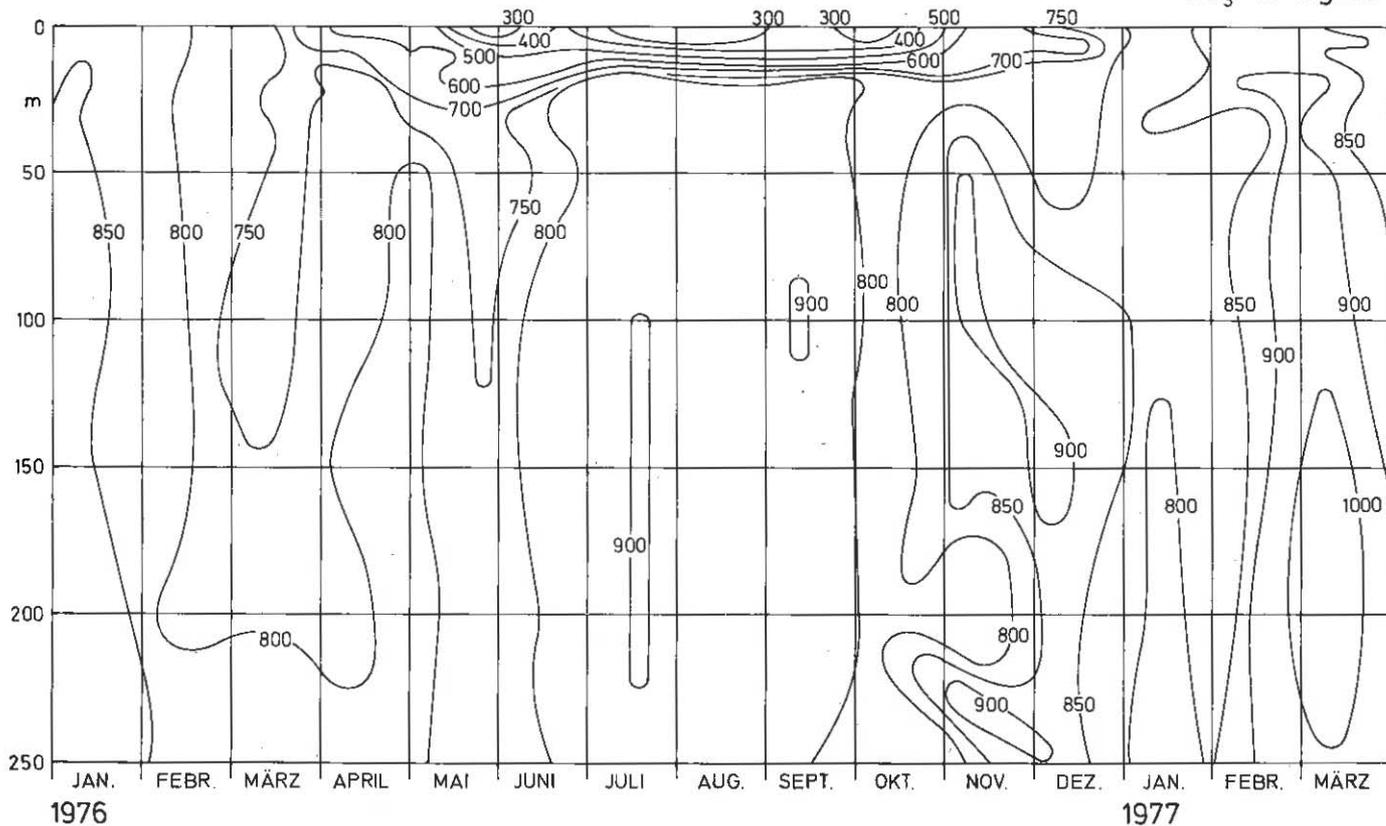
Station Fischbach - Uttwil 1976 / 1977

(Mittlere Konzentration 0 - 250m Tiefe)

— P total P gelöst ---- PO₄-P

Bodensee - Obersee
Fischbach - Uttwil

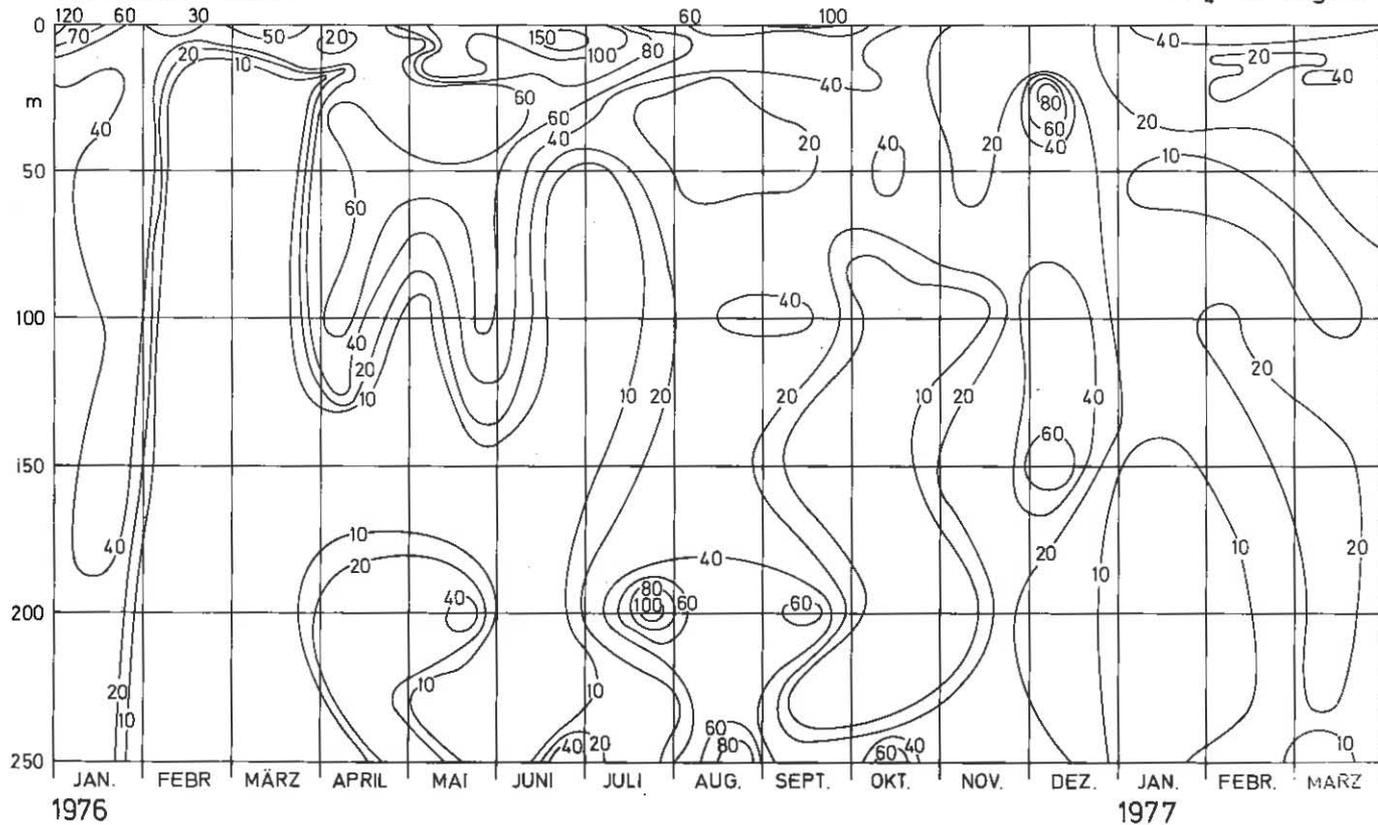
Abb. 8
NO₃-N mg/m³



Bodensee - Obersee
Fischbach - Uttwil

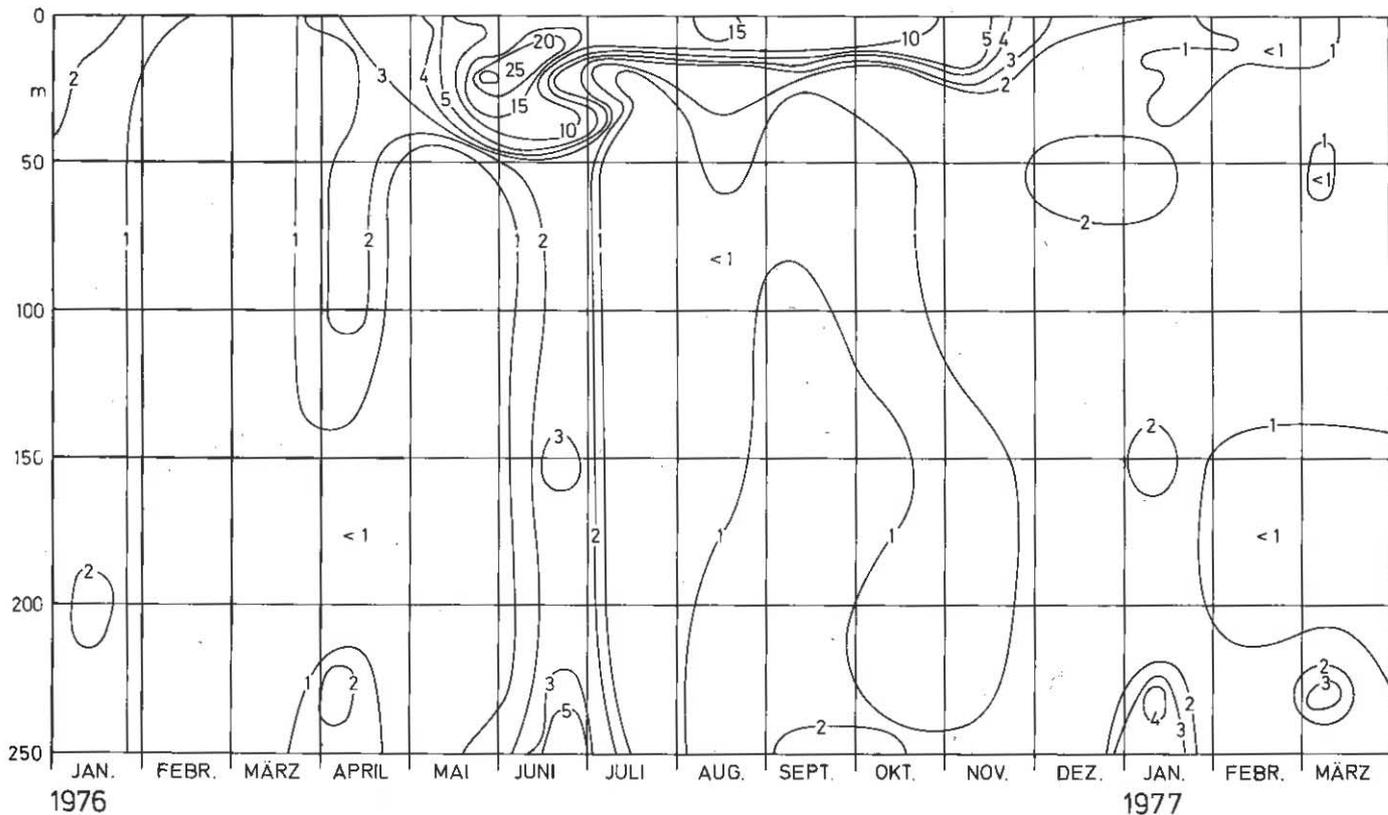
Abb. 9

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



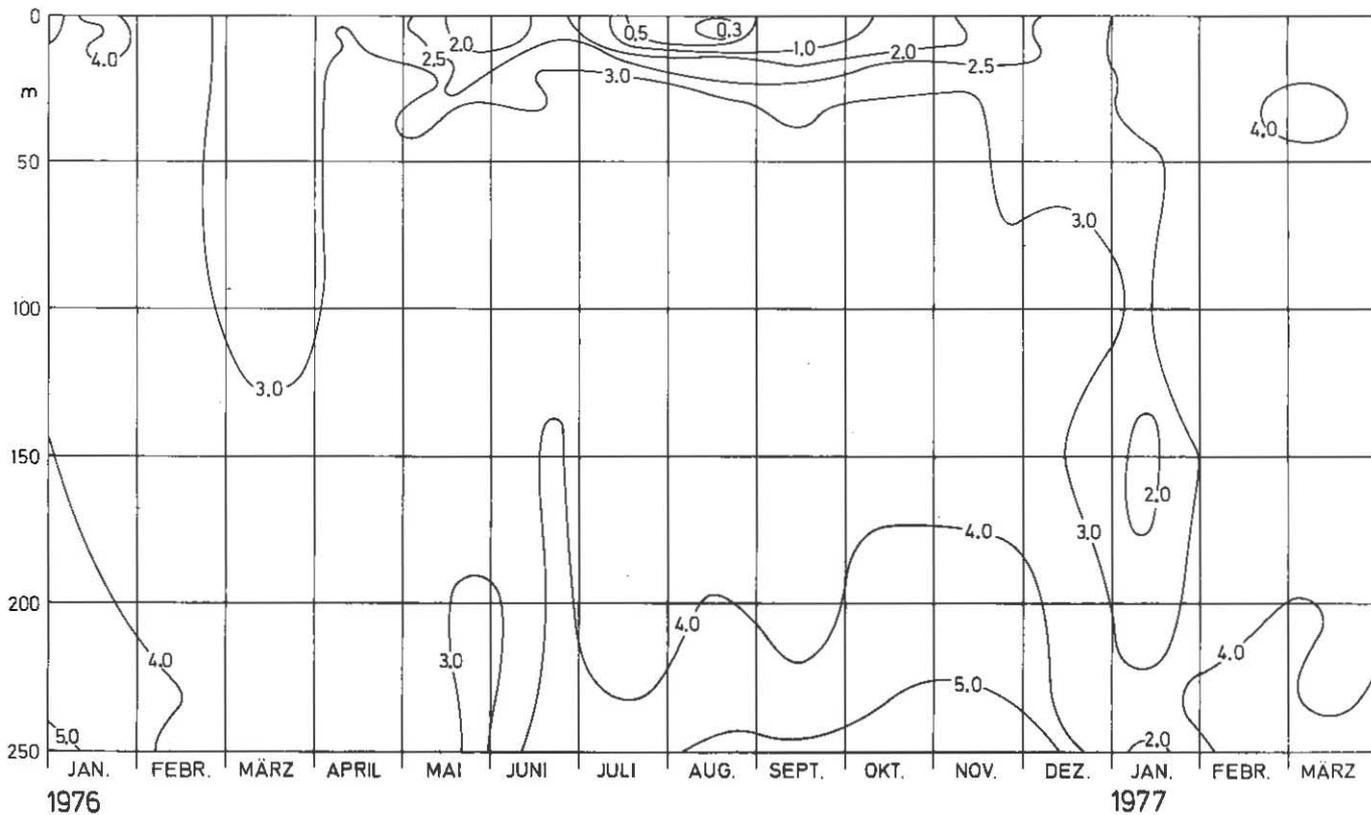
Bodensee - Obersee
Fischbach - Uttwil

Abb. 10
NO₂-N mg/m³



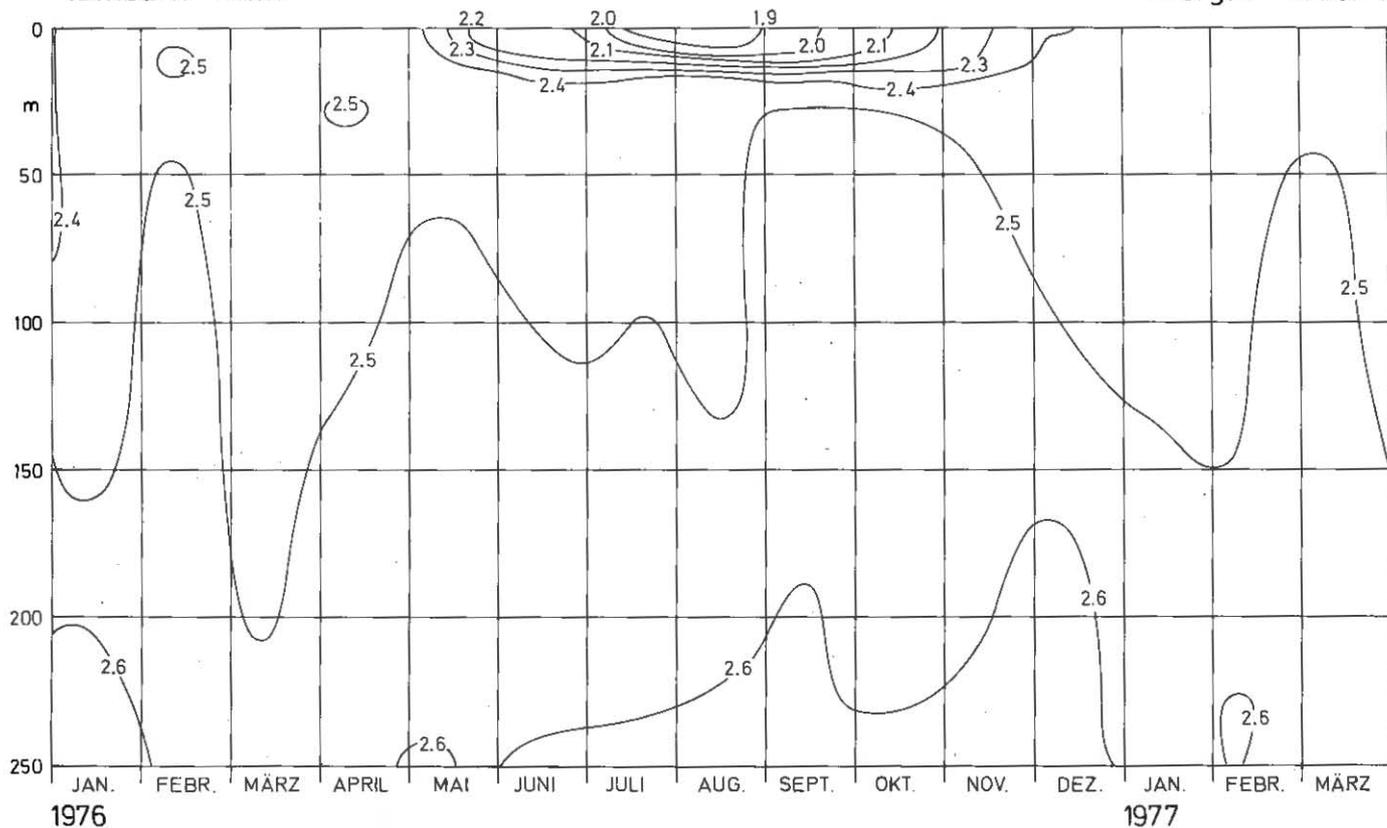
Bodensee - Obersee
Fischbach - Uttwil

Abb. 11
SiO₂ mg/l



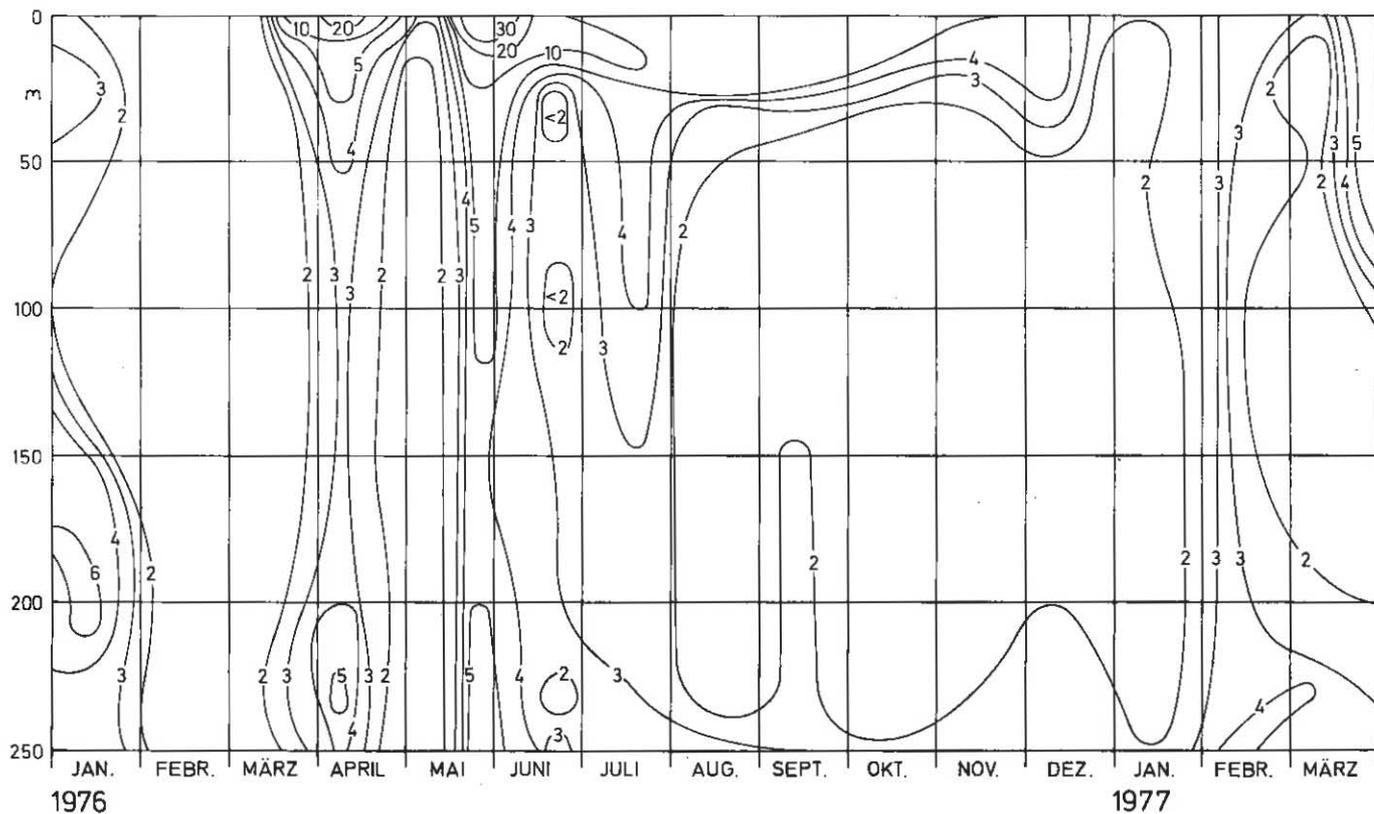
Bodensee - Obersee
Fischbach - Uttwil

Abb. 12
anorg.C mmol / l



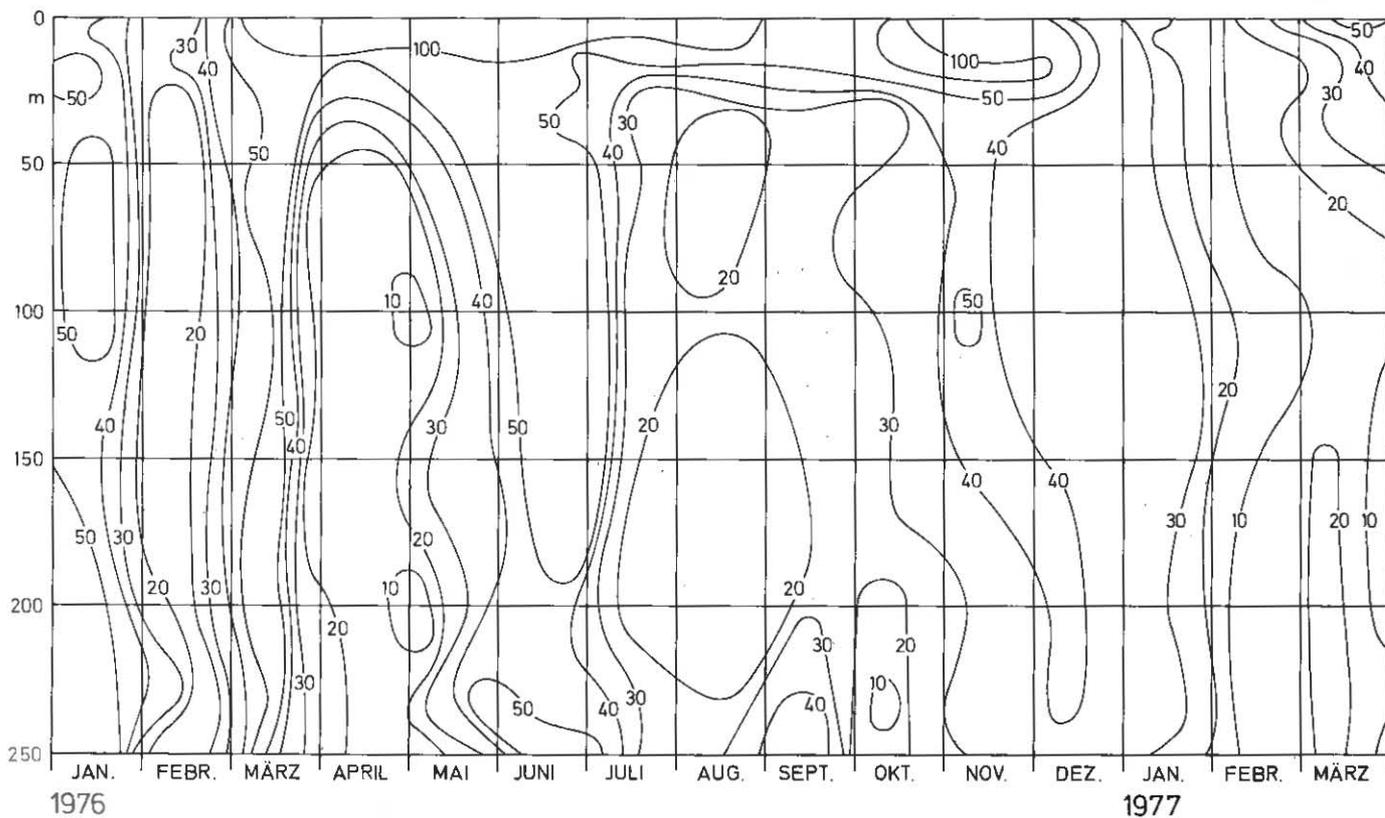
Bodensee - Obersee
Fischbach - Uttwil

Abb. 13
Part. -P mg/m^3



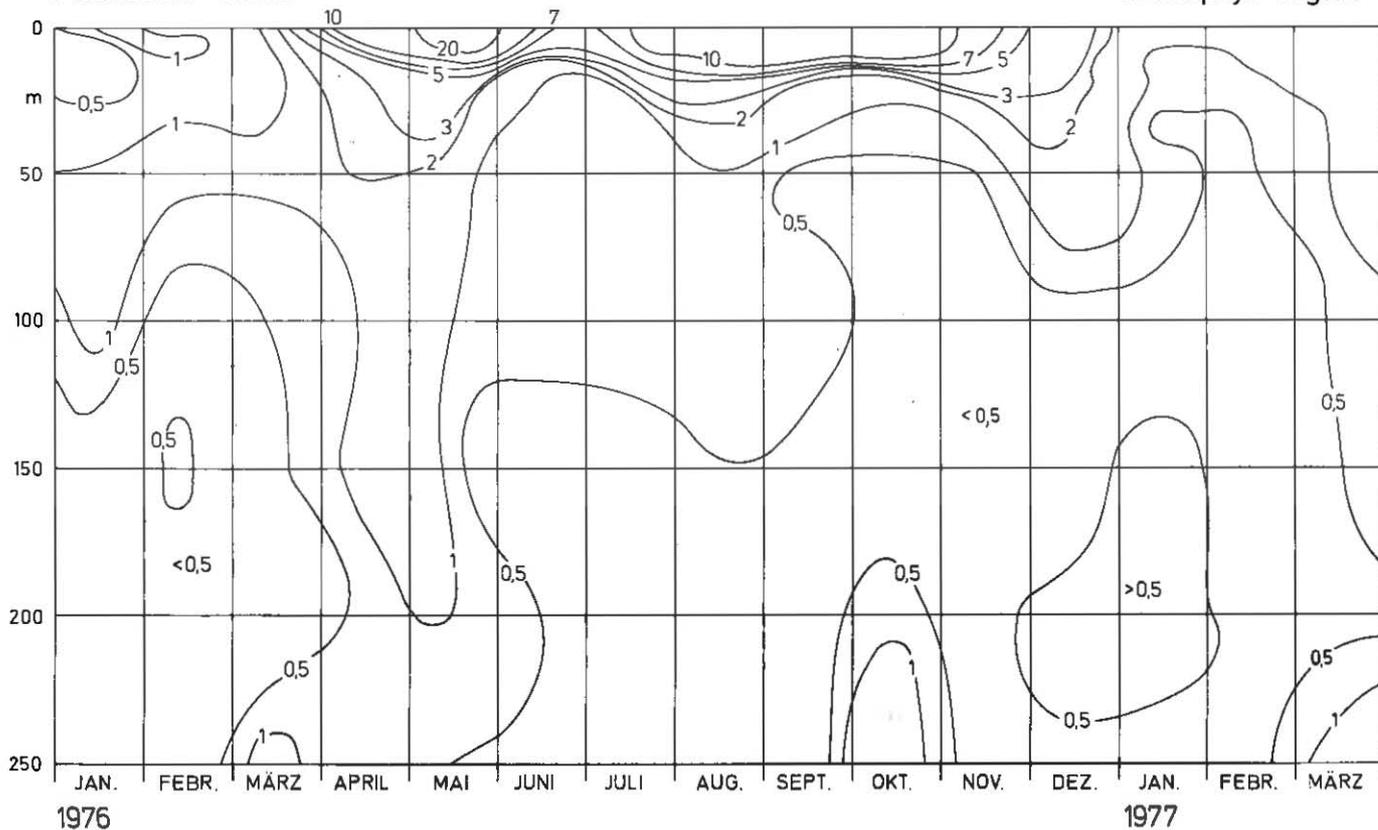
Bodensee - Obersee
Fischbach - Uttwil

Abb. 14
Part.- N mg/m^3

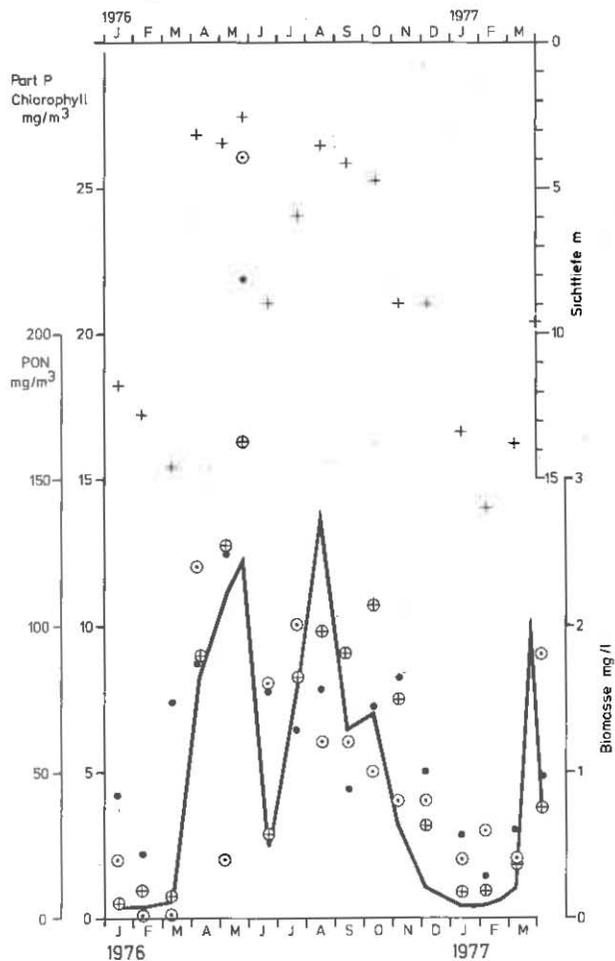


Bodensee - Obersee
Fischbach - Uttwil

Abb. 15
Chlorophyll mg/m^3



Entwicklung der Planktonbiomasse



Station Fischbach - Uttwil 1976 / 1977
(Mittelung von 0 - 20 m Tiefe)

- ⊙⊙⊙ Part.P mg/m³
- Part.org. N mg/m³
- ⊕⊕⊕ Chlorophyll mg/m³
- +++ Sichttiefe m
- Biomasse mg/l

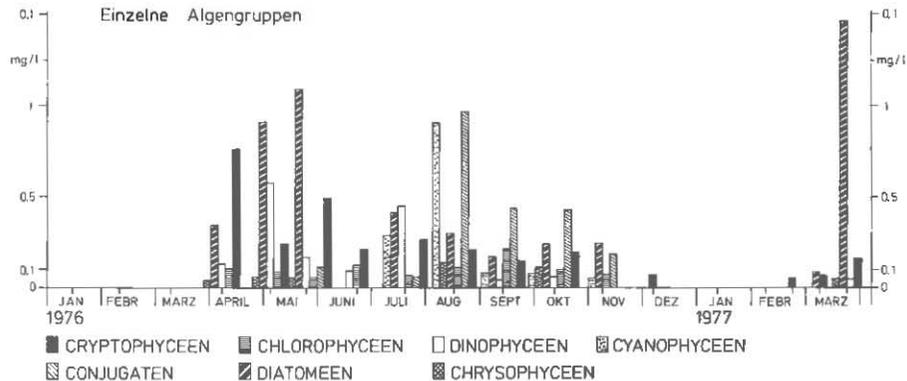
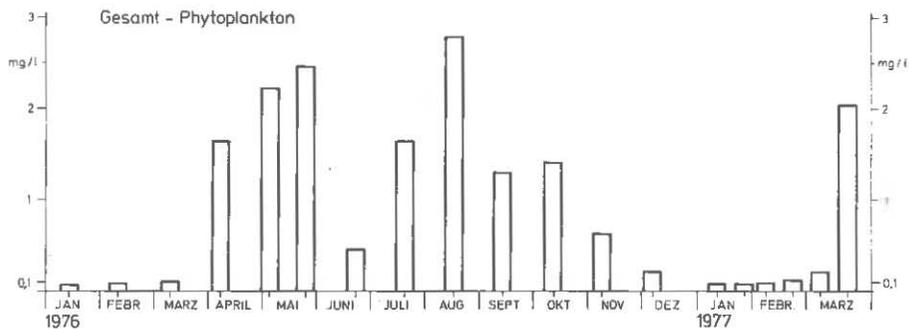
Bodensee - Obersee

Abb. 16 b

Fischbach - Uttwil

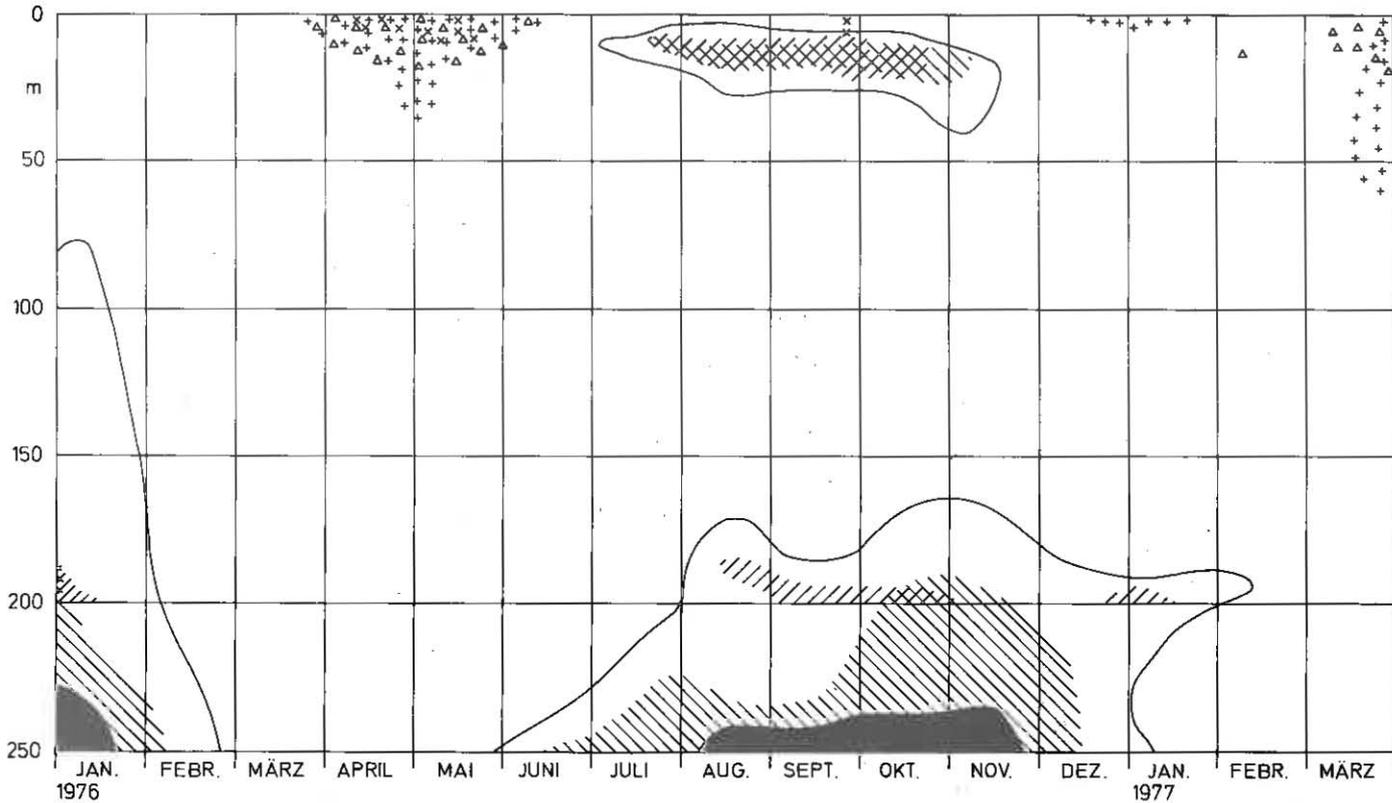
Phytoplankton - Biomasse

Mittlere Konzentration in der Schicht von 0-20m Tiefe



Bodensee - Obersee

Synoptische Übersicht über den Sauerstoffgehalt

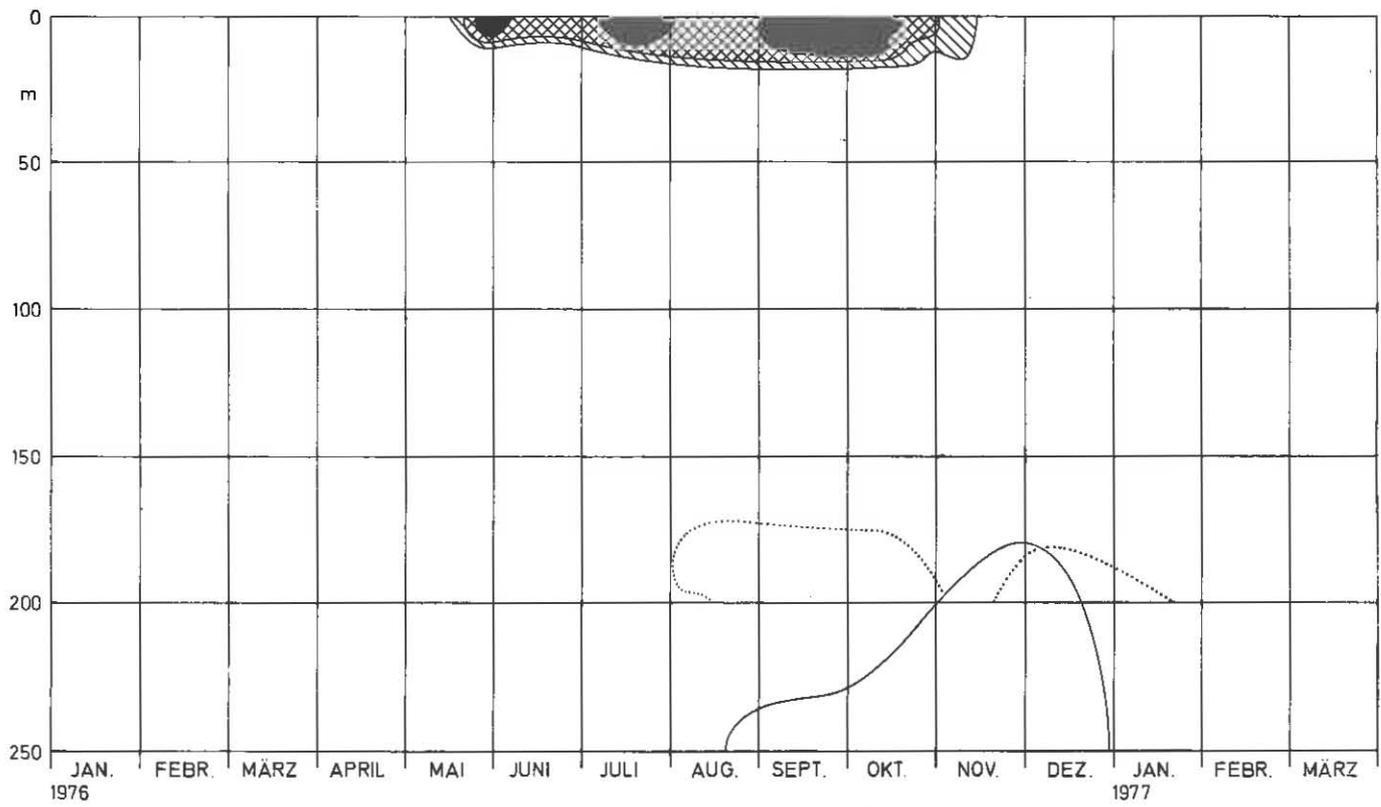


Sauerstoffgehalt	<6 mg/l	<8 mg/l	>12 mg/l
Station: Fischbach - Uttwil	■	▨	⊠
Langenargen - Arbon		▨	⊠
Überlingen			x

Bereich, in dem der Sauerstoffgehalt an mindestens einer Untersuchungsstation kleiner als 9 mg/l ist: —

Synoptische Übersicht über die Aufzehrung und
 Akkumulation des Phosphates Abb. 18

Bodensee - Obersee

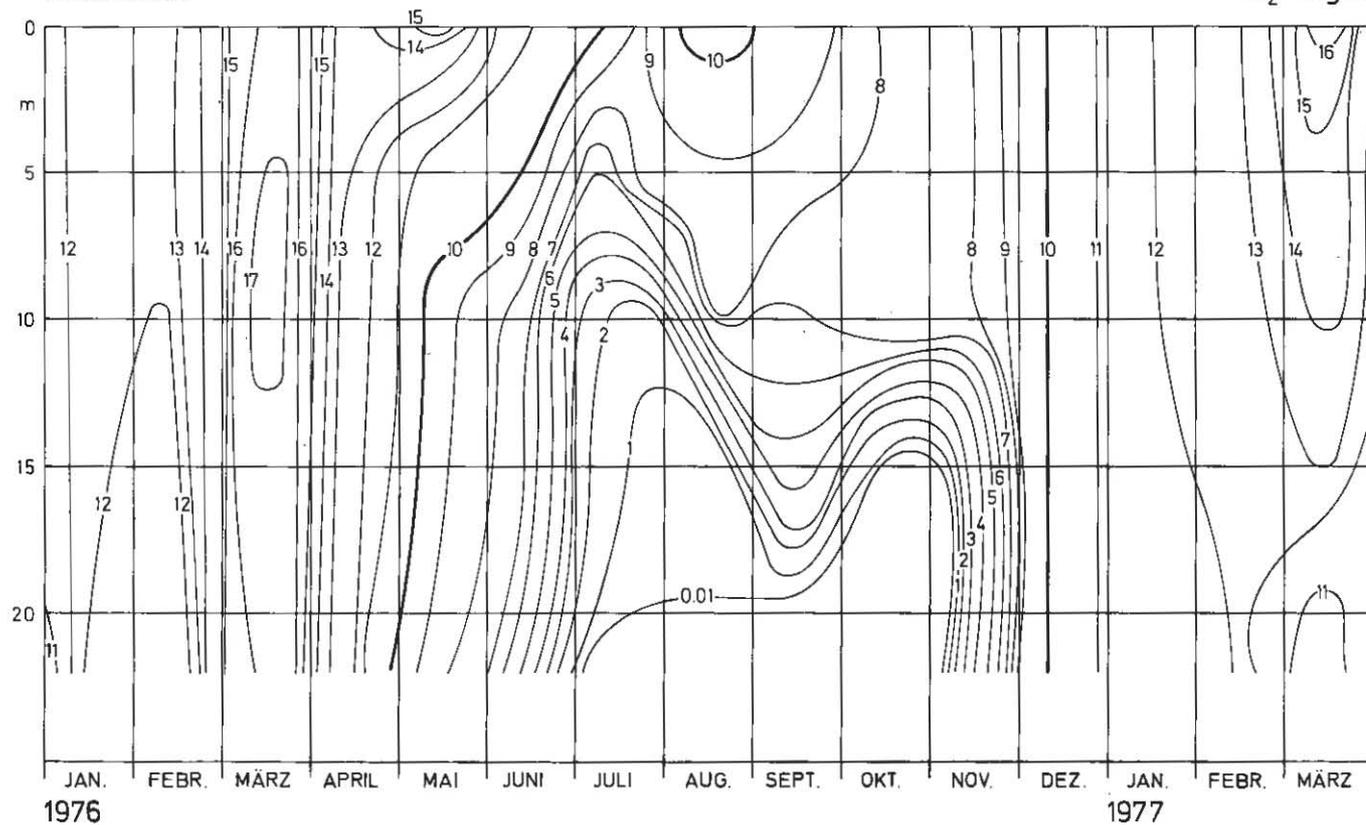


Untersuchungsstationen :
 Langenargen - Arbon (L)
 Fischbach - Uttwil (F)
 und Überlingen

Bereich, in dem der Phosphatgehalt an mindestens einer
 Untersuchungsstation kleiner als $1 \text{ mg } PO_4 - P / \text{m}^3$ (■)
 bzw. kleiner als $10 \text{ mg } PO_4 - P$ (xxxx) und kleiner
 als $20 \text{ mg } PO_4 - P / \text{m}^3$ (\\) ist. Phosphatgehalt $PO_4 - P$ größer
 als $100 \text{ mg} / \text{m}^3$ an den Untersuchungsstationen : L (.....), F (—)

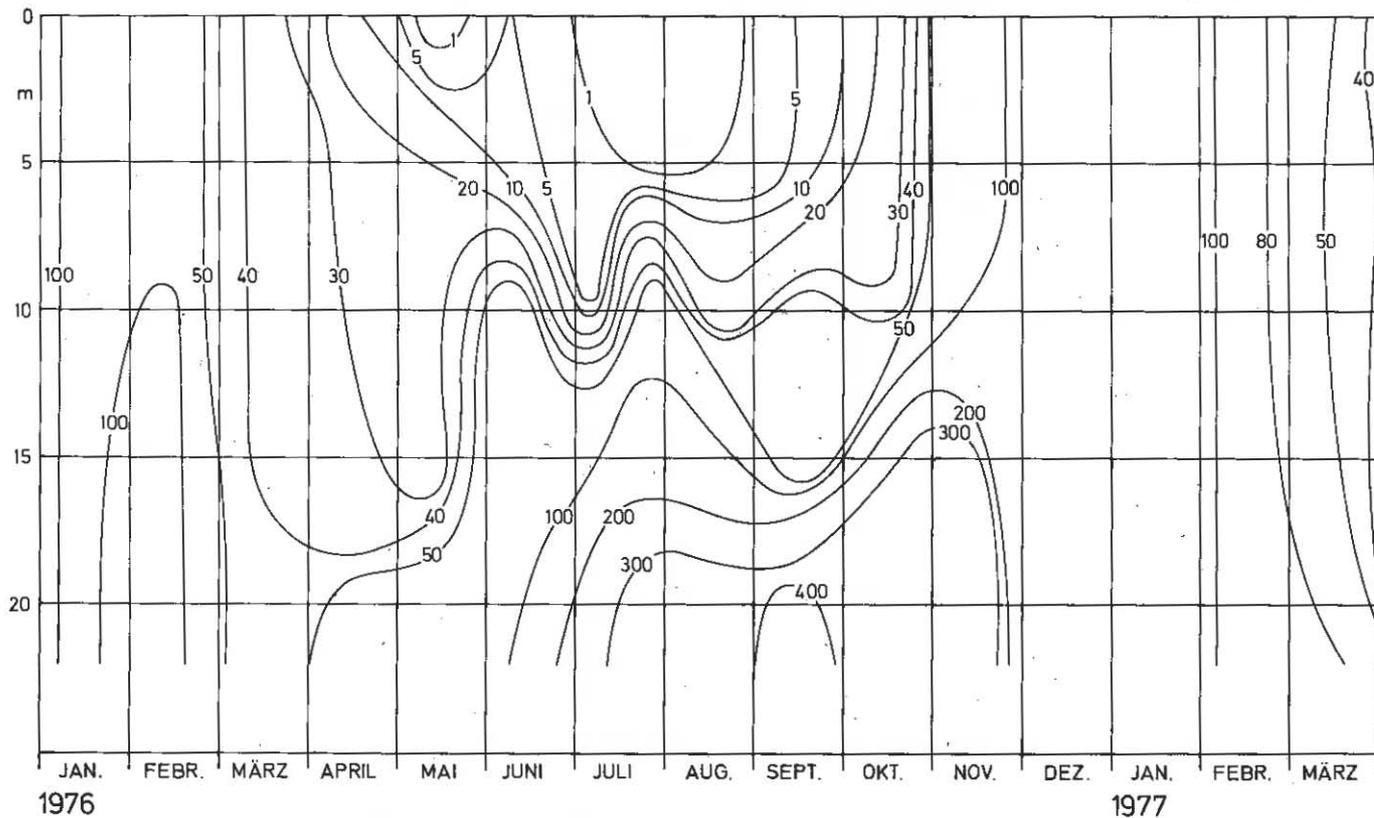
Bodensee - Untersee
Gnadensee

Abb. 20
O₂ mg/l



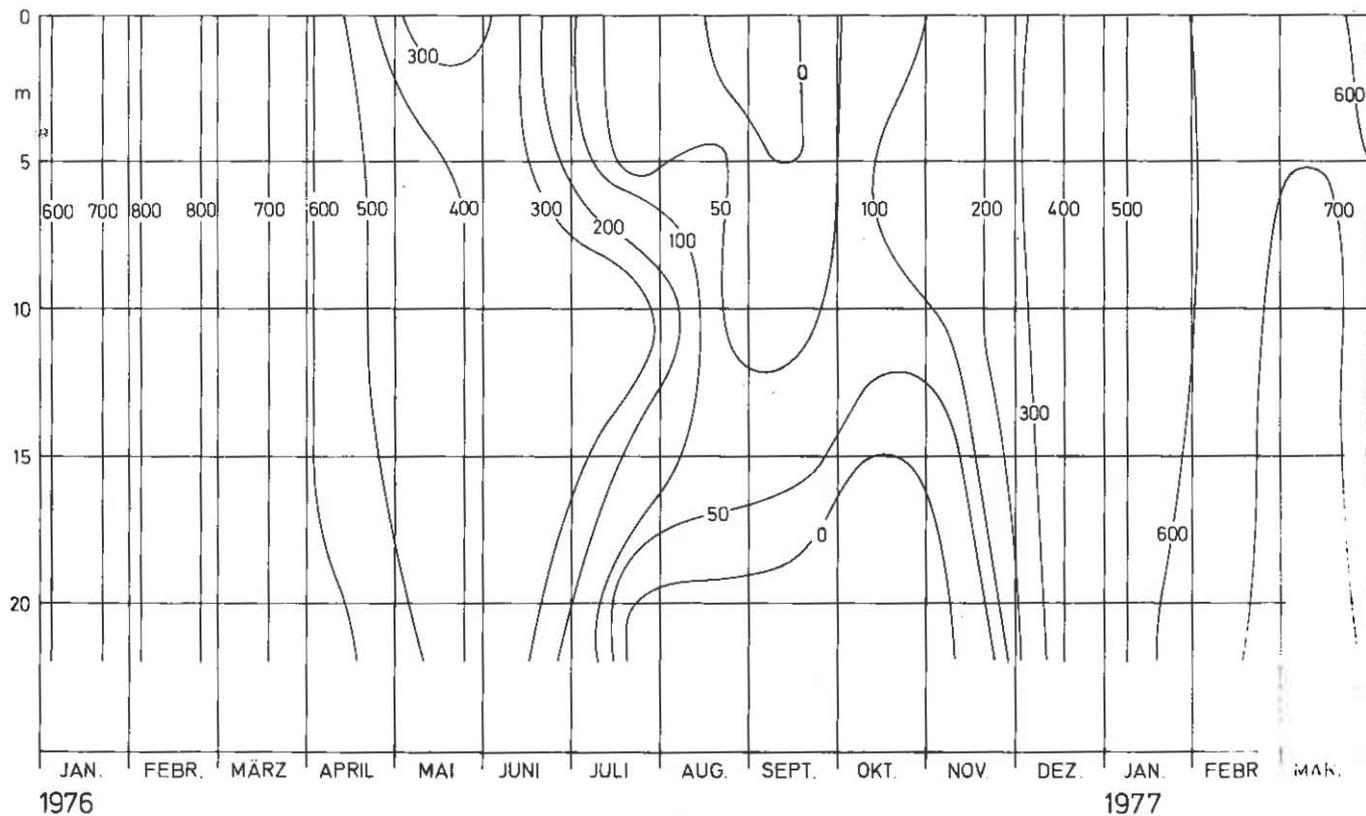
Bodensee - Untersee
Gnadensee

Abb. 21
 $\text{PO}_4\text{-P}$ mg/m^3



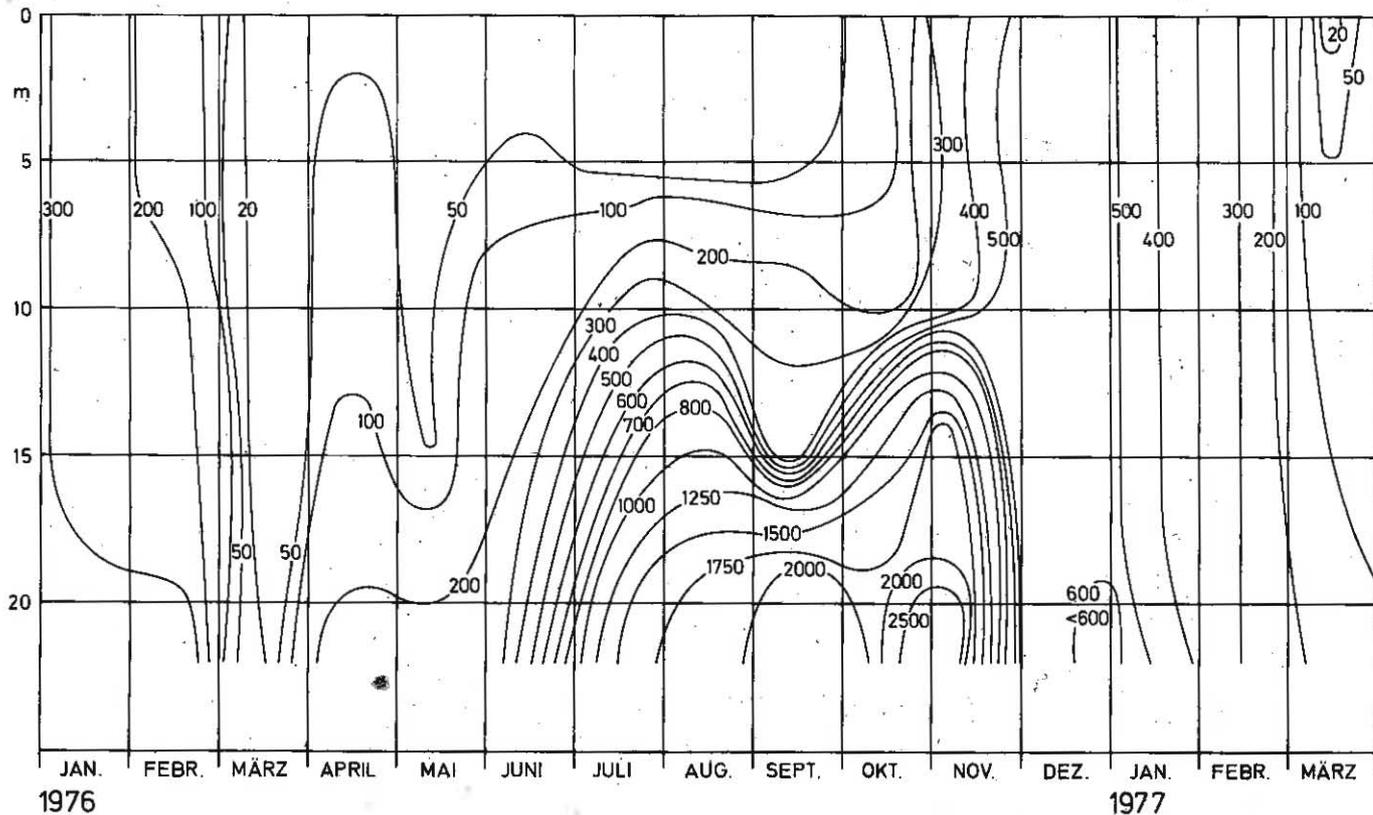
Bodensee - Untersee
Gnadensee

Abb. 22
 $\text{NO}_3\text{-N}$ mg/m^3



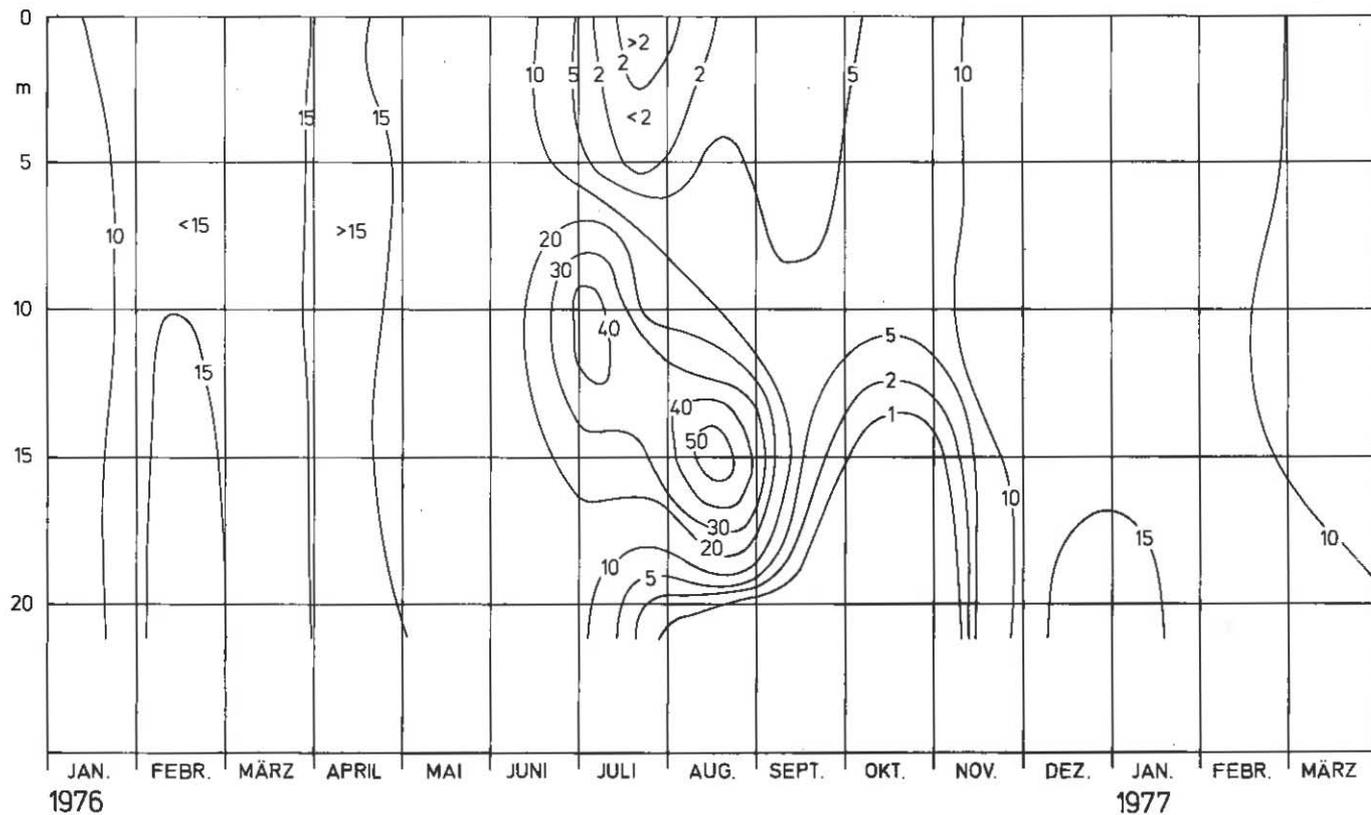
Bodensee - Untersee
Gnadensee

Abb. 23
 $\text{NH}_4\text{-N}$ mg / m^3



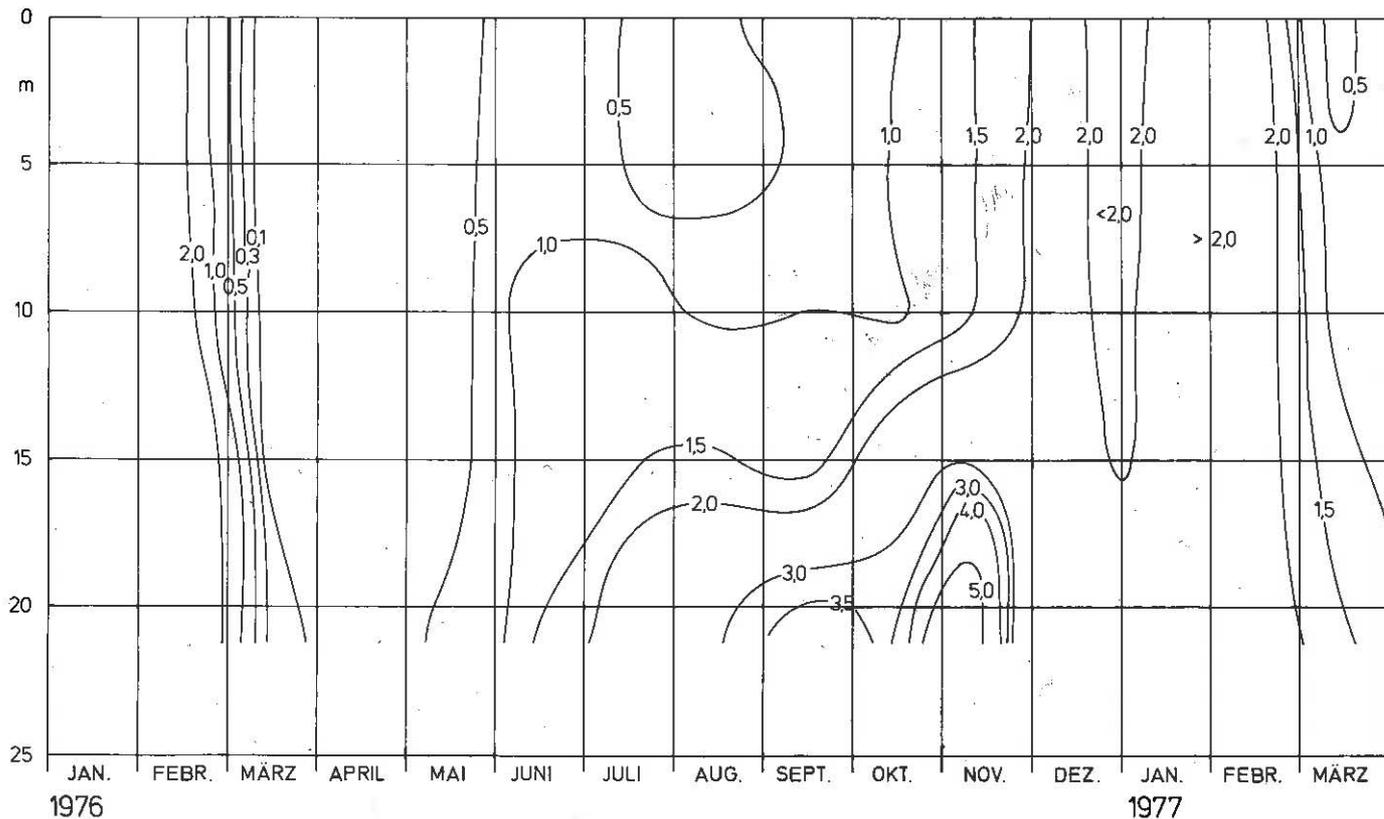
Bodensee - Untersee
Gnadensee

Abb. 24
NO₂-N mg/m³



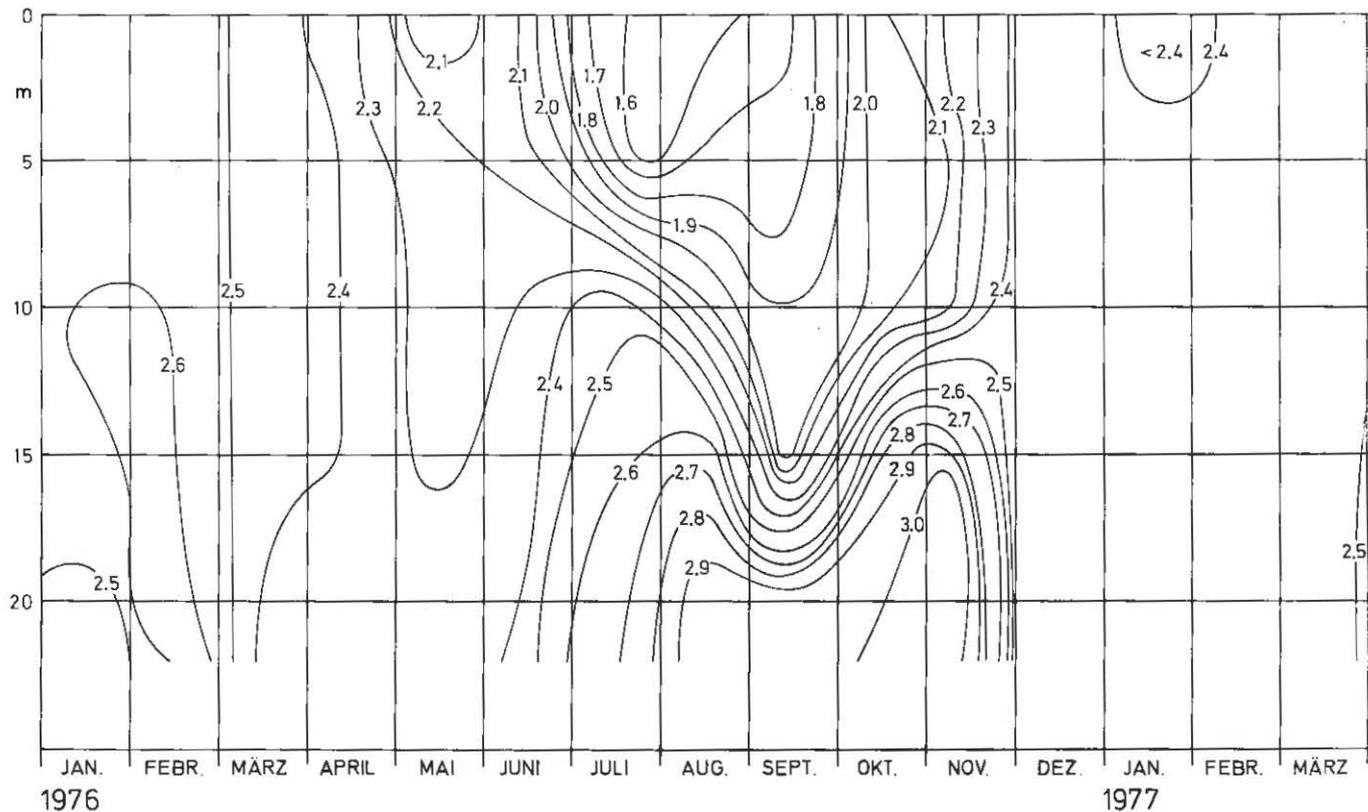
Bodensee - Untersee
Gnadensee

Abb. 25
SiO₂ mg/l



Bodensee - Untersee
Gnadensee

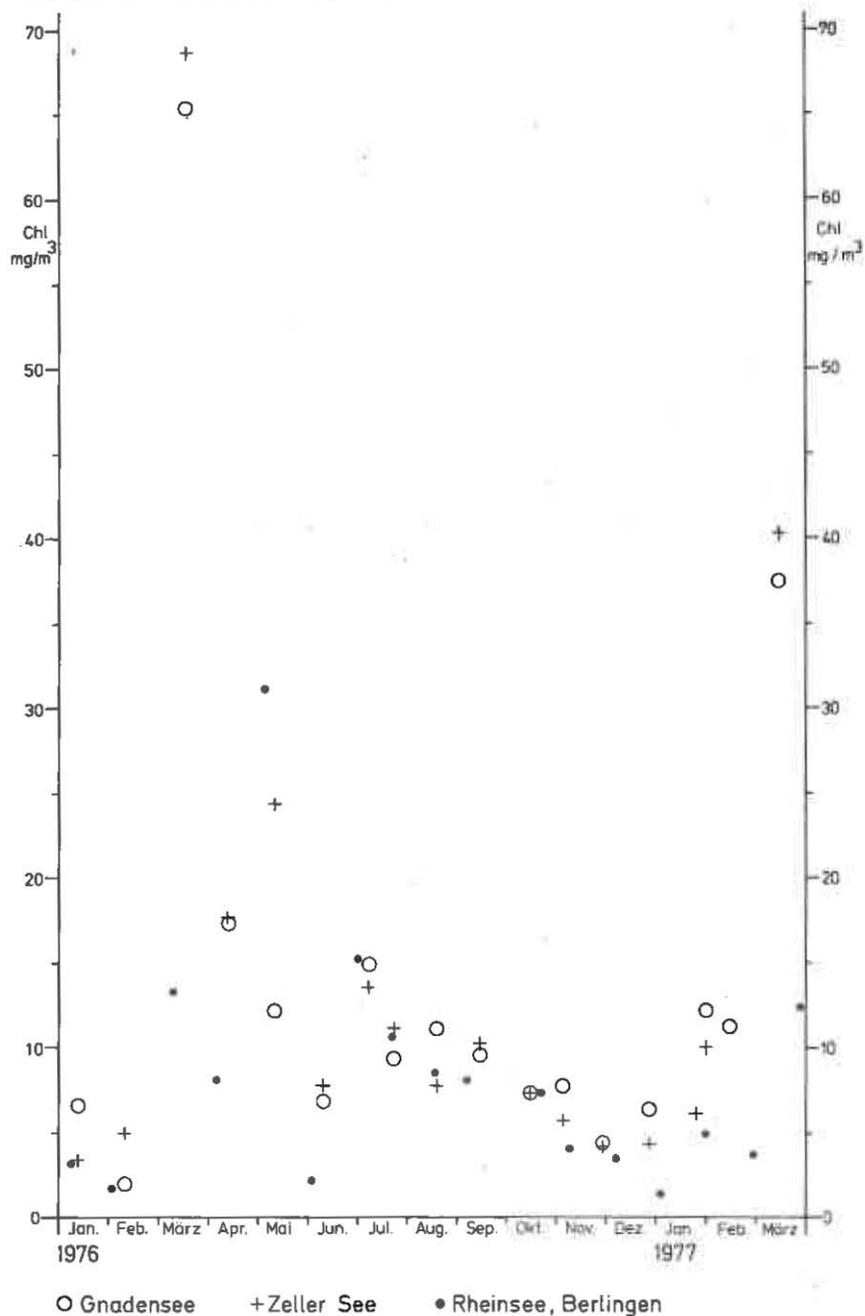
Abb. 26
anorg. C mmol/l



Untersee Chlorophyll

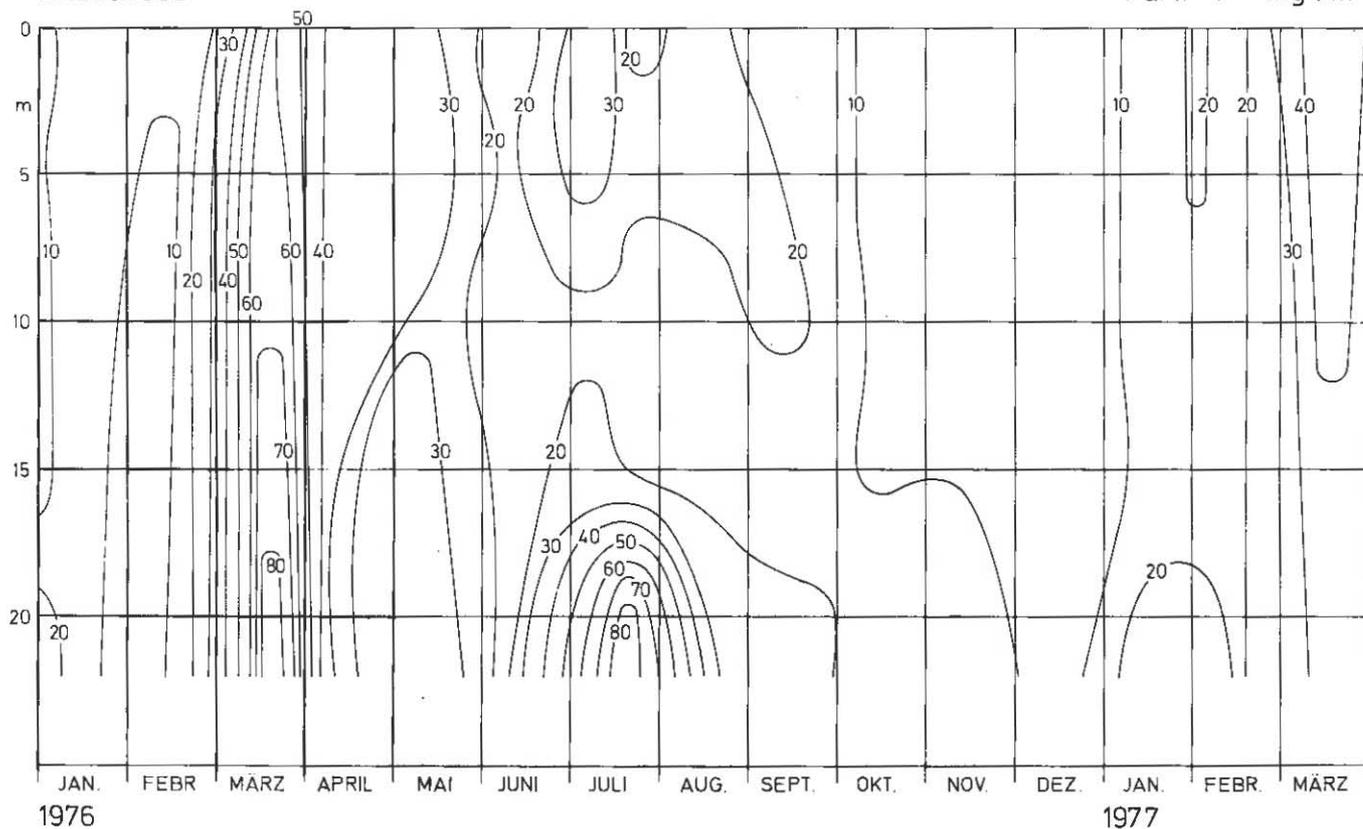
Abb. 27

Mittlere Konzentration in der Schicht von 0 - 20 m Tiefe



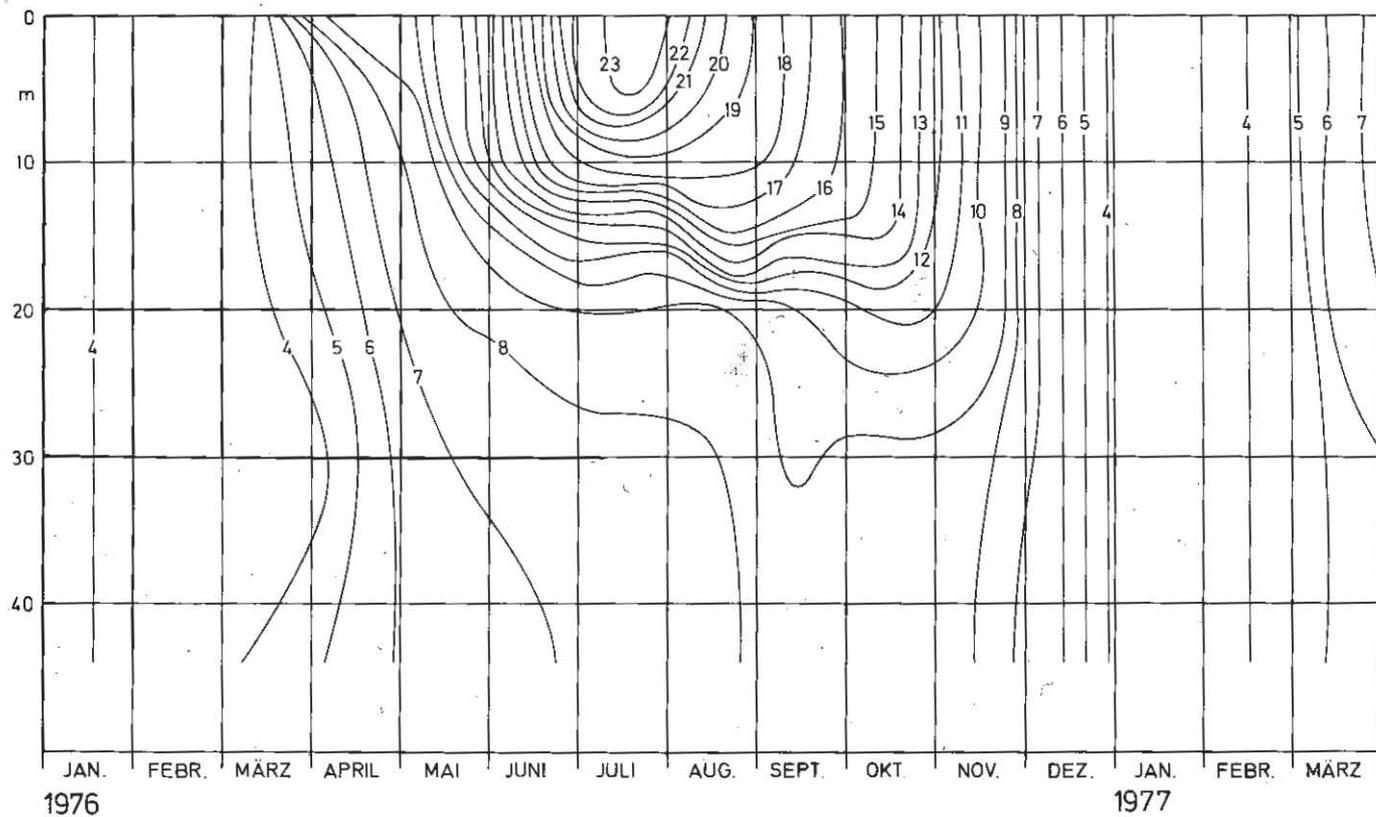
Bodensee - Untersee
Gnadensee

Abb. 28
Part. - P mg / m^3



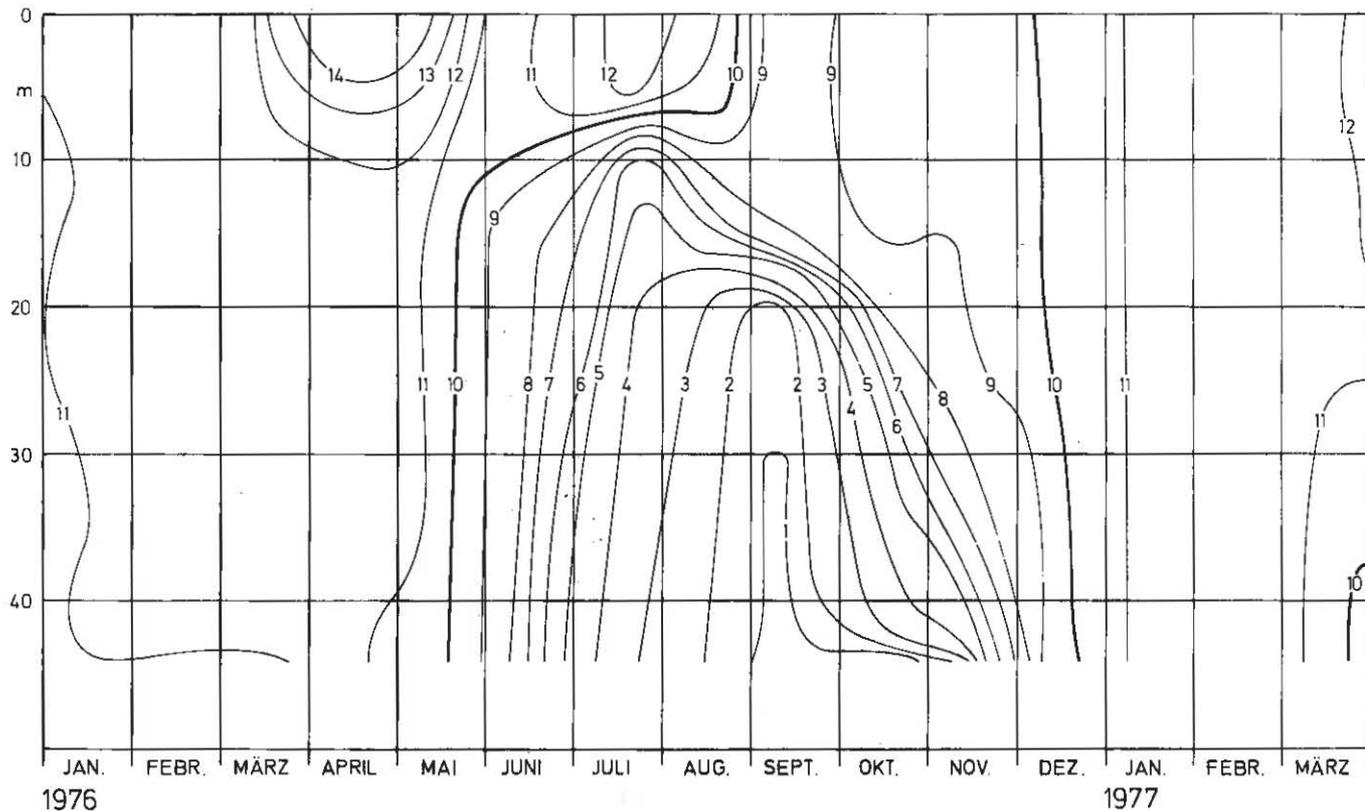
Bodensee - Untersee
Berlingen

Abb. 29
Temperatur °C



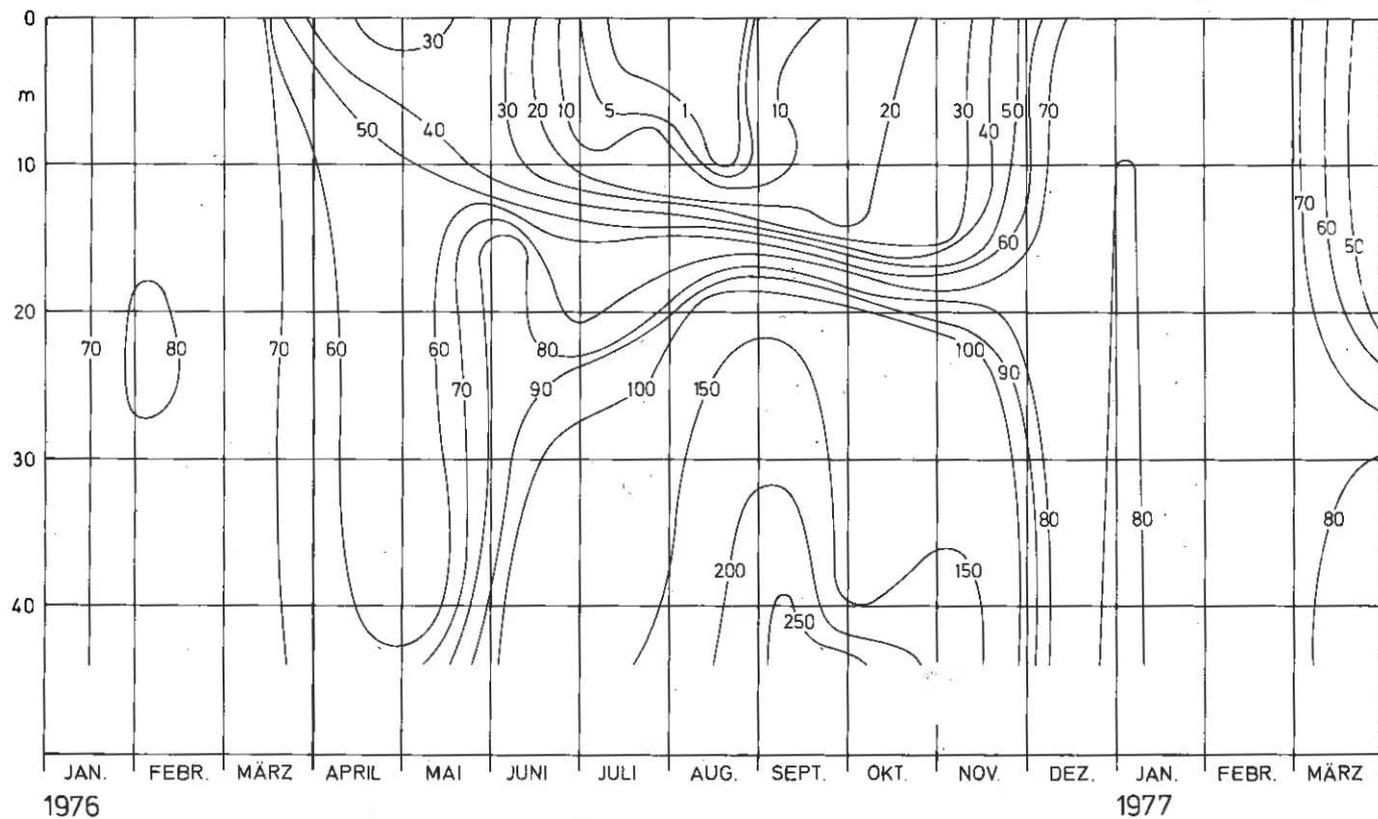
Bodensee - Untersee
Berlingen

Abb. 30
O₂ mg / l



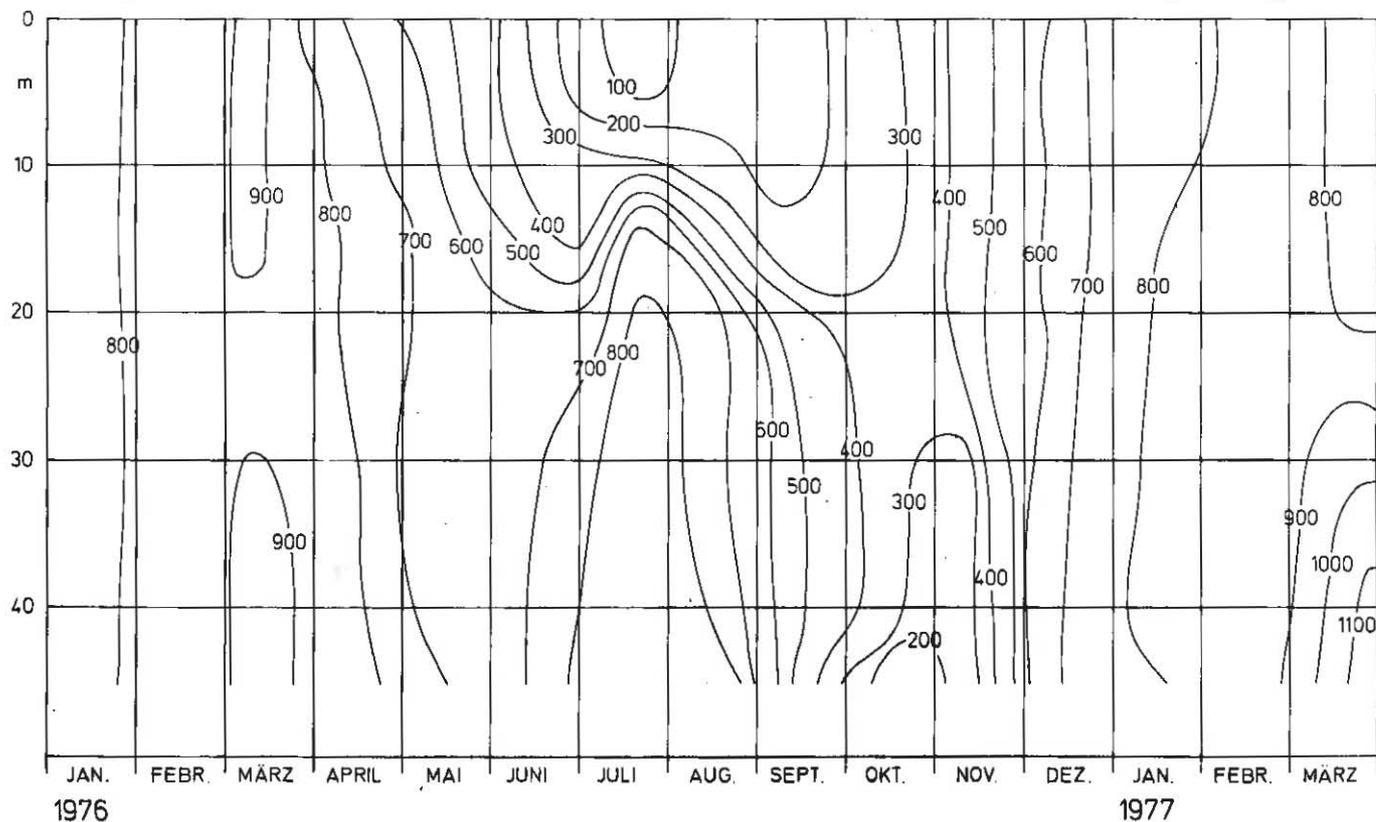
Bodensee - Untersee
Berlingen

Abb. 31
 $\text{PO}_4 - \text{P}$ mg / m³



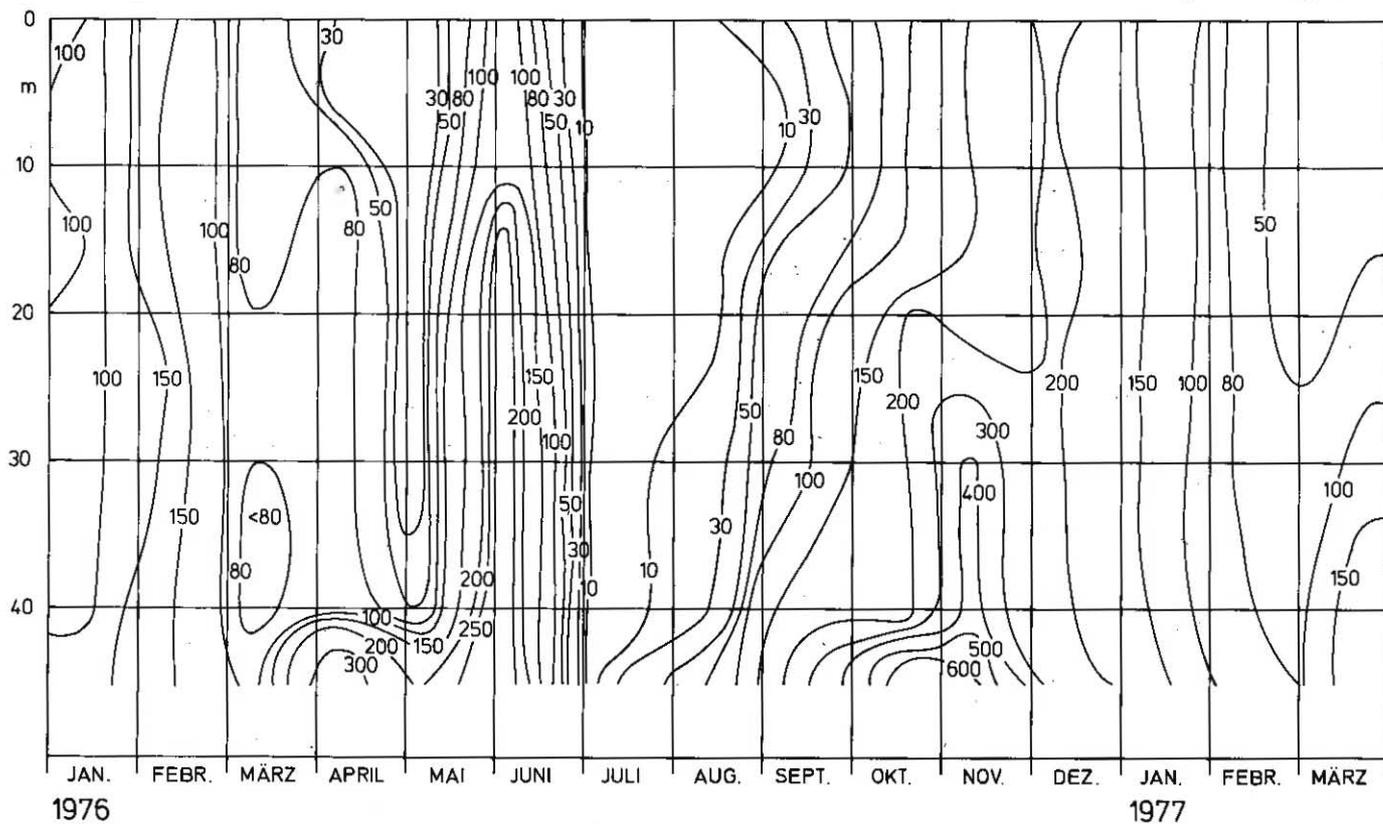
Bodensee - Untersee
Berlingen

Abb. 32
 $\text{NO}_3\text{-N mg/m}^3$



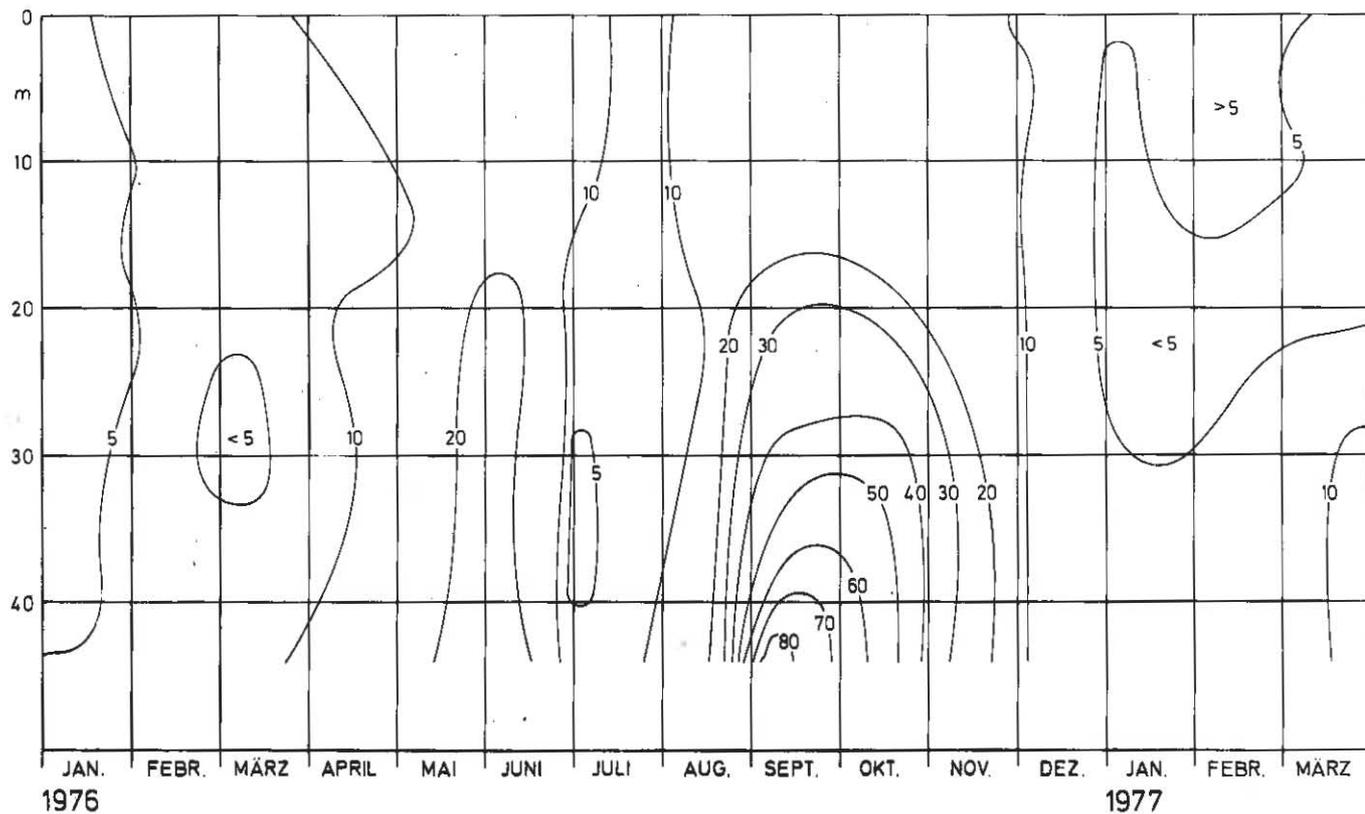
Bodensee - Untersee
Berlingen

Abb. 33
 $\text{NH}_4\text{-N}$ mg/m^3



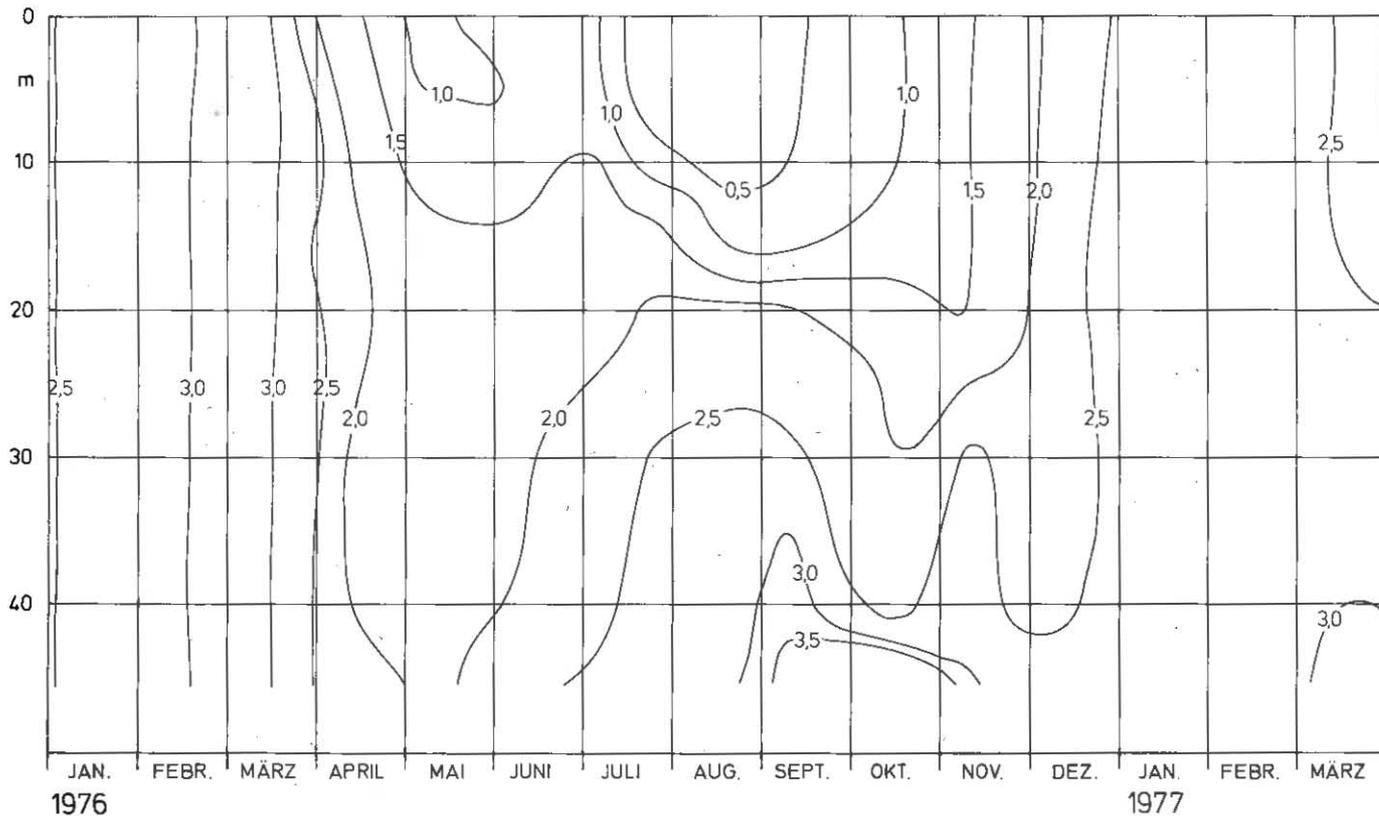
Bodensee - Untersee
Berlingen

Abb. 34
 $\text{NO}_2 - \text{N}$ mg / m^3



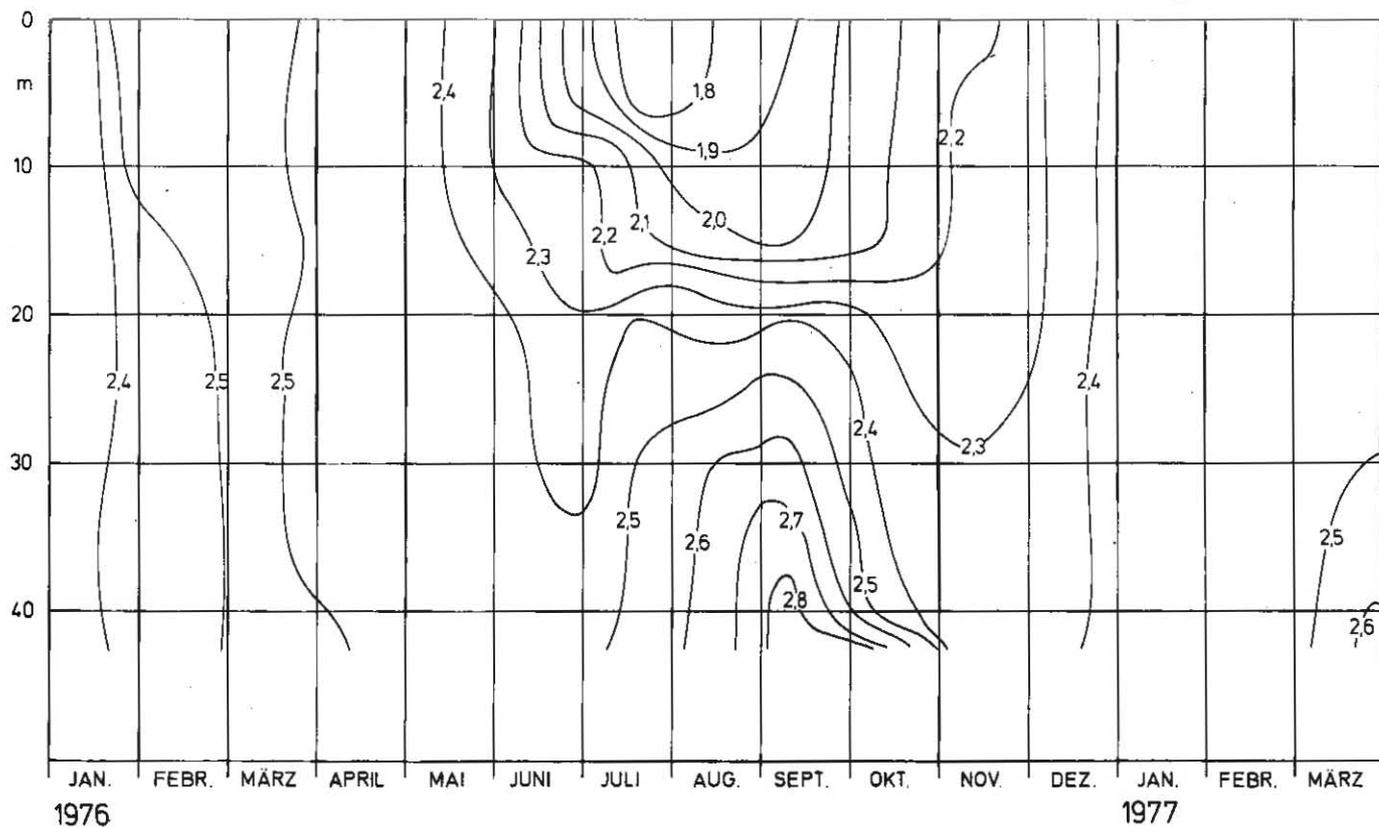
Bodensee - Untersee
Berlingen

Abb. 35
SiO₂ mg/l



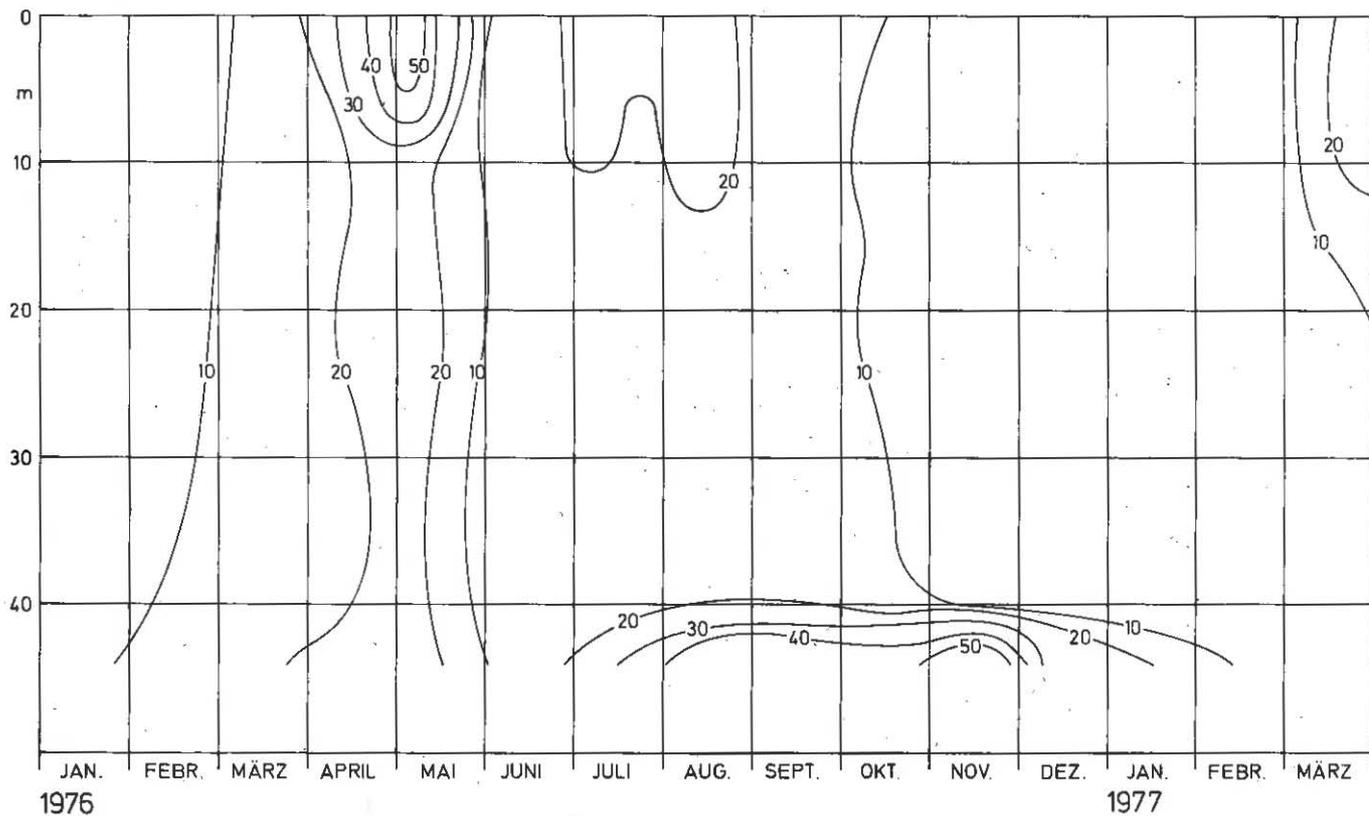
Bodensee - Untersee
Berlingen

Abb. 36
anorg. C mmol/l



Bodensee - Untersee
Berlingen

Abb. 37
Part.-P mg/m^3





FLAX - DRUCK

Th. A. Flaxmeier

**Offset-Druck · Reprotechnik · Techn. Grafik · Schreibsatz
- Folienkaschierungen -**

Bahnhofstraße 40 · 7504 Weingarten · Telefon 07244/8052