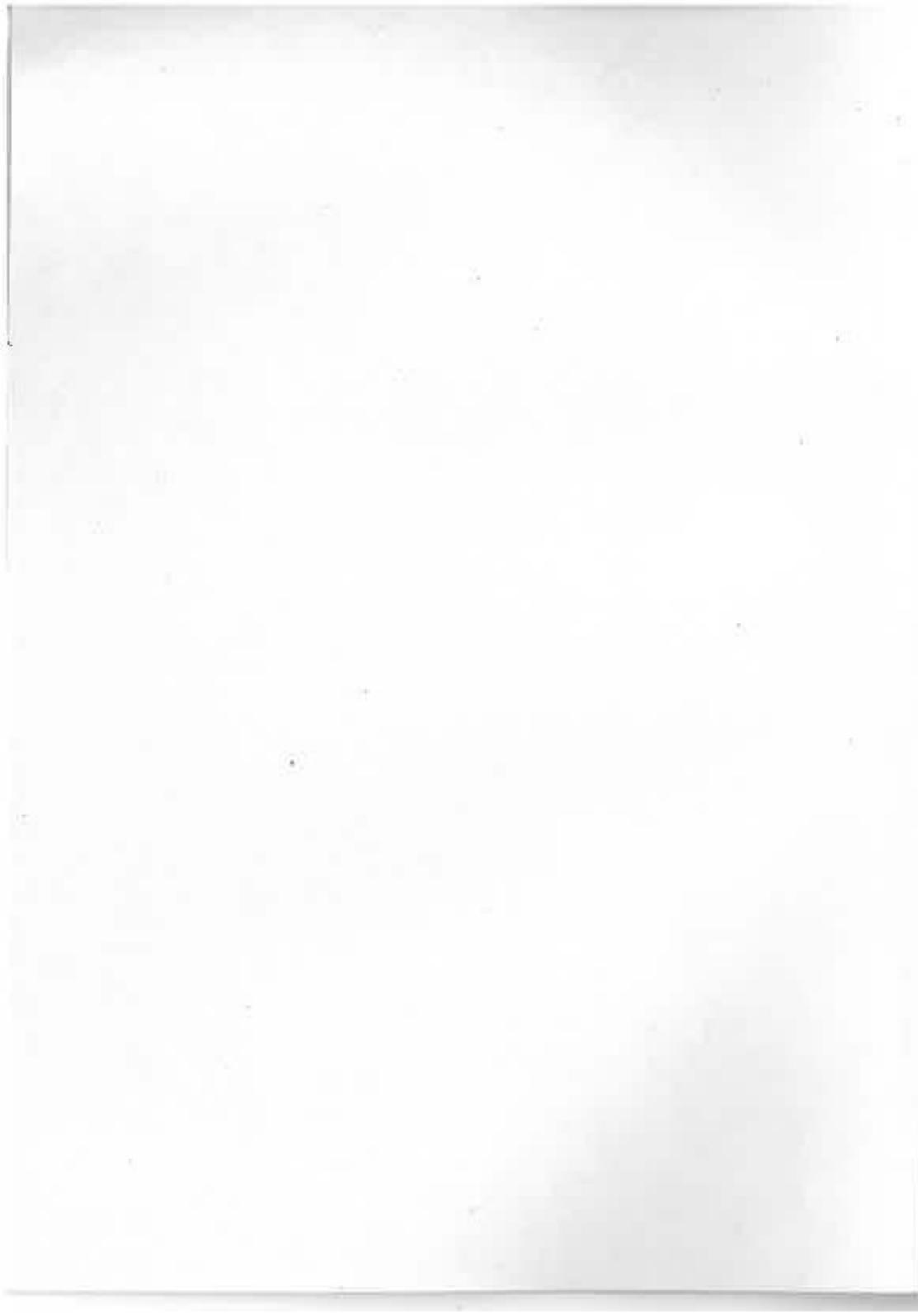


Internationale Gewässerschutzkommission  
für den Bodensee

Jahresbericht über den  
limnologischen Zustand des Bodensees

Nr. 1

Der limnologische Zustand des Freiwassers  
von Januar 1974 bis März 1975



Jber. Int. Gewässerschutz Komm. Bodensee: Limnol. Zust.  
Bodensee, 1 (1976), 1 - 44

---

INTERNATIONALE GEWÄSSERSCHUTZKOMMISSION FÜR DEN BODENSEE

JAHRESBERICHT ÜBER DEN LIMNOLOGISCHEN ZUSTAND DES BODENSEES

Nr. 1

DER LIMNOLOGISCHE ZUSTAND DES FREIWASSERS.

VON JANUAR 1974 BIS MÄRZ 1975

BERICHT DER ARBEITSGRUPPE "FREIWASSER" DER KOMMISSION

KARLSRUHE 1976

THE UNIVERSITY OF CHICAGO

DEPARTMENT OF CHEMISTRY

1951

RESEARCH REPORT

REPORT NO. 100

1951

## MITGLIEDER DER ARBEITSGRUPPE "FREIWASSER" DER INTERNATIONALEN GEMÄSSERSCHUTZKOMMISSION FÜR DEN BODENSEE:

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

### DURCHFÜHRUNG DER UNTERSUCHUNGEN:

Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EAWAG), Dübendorf,  
Abteilung Limnologie: Phytoplanktonuntersuchungen und  
hygienisch-bakteriologische Untersuchungen im Untersee,  
chemische Analytik und hygienisch-bakteriologische  
Untersuchungen der Oberseestationen Hagnau-Münsterlingen.  
Datenverarbeitung

Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Institut für  
Seenforschung und Fischereiwesen

Standort Konstanz: Terminfahrten und Messungen auf dem  
Obersee, Phytoplankton- und Zooplanktonuntersuchungen  
im Obersee und im Untersee

Standort Insel Reichenau: Terminfahrten und Messungen auf  
dem Untersee, chemische Analytik auf den Unterseestationen  
und der Oberseestation Fischbach-Uttwil

Standort Langenargen: Chemische Analytik der Oberseestation  
Langenargen-Arbon

Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg,  
Institut für Wasser- und Abfallwirtschaft, Karlsruhe:

Spezielle analytische Arbeiten: organischer Kohlenstoff im Obersee, Stationen Fischbach-Uttwil und Langenargen-Arbon, und im Untersee (Gnadensee und Zeller-See). Datenverarbeitung

Laboratorium des Zweckverbandes Bodensee-Wasserversorgung:

Terminfahrten und Messungen auf dem Überlinger See, chemische Analytik für die Oberseestation Überlingen.

BERICHTSENTWURF UND -EDITION:

Dr. Wolfgang Schmitz

## INHALT

	Seite	Abb.
EINLEITUNG	3	1
TEIL 1: BODENSEE-OBERSEE		
Witterung	5	2
Wasserstände	5	3
Thermik	6	4
Sauerstoff	7	5
Orthophosphat	8	6
Andere gelöste Phosphorverbindungen (ohne Orthophosphat)	8	
Nitrat	9	7
Kieselsäure	10	8
Anorganische Kohlenstoffverbindungen	11	9
Weitere Parameter des Kalk-Kohlensäure- Gleichgewichts	12	
Umsetzungen im Stickstoffhaushalt	13	10-11
Chemische Indikatoren von Phytoplankton- produktion	14	12-14
Phytoplanktonbiomasse	15	15-16
Quantitativ vorherrschende Ionen	17	
Gelöste organische Stoffe	18	
Schwermetallgehalte	18	
Hygienisch-bakteriologische Verhältnisse	19	
Vergleich des limnologischen Zustandes an ver- schiedenen Untersuchungsstationen im Obersee	20	17-18
TEIL 2: BODENSEE-UNTERSEE		
GNADENSEE		
Thermik	21	19
Sauerstoffverhältnisse	22	20
Orthosphosphat	21	21

	Seite	Abb.
Nitrat	24	22
Ammonium	24	23
Nitrit	25	24
Kieselsäure	26	25
Anorganischer Kohlenstoff und Kalk-Kohlen- säure-Gleichgewicht	26	26
Partikulärer Phosphor und Biomasse	28	27-28
RHEINSEE		
Thermik	29	29
Sauerstoff	30	30
Orthophosphat	31	31
Nitrat	32	32
Ammonium	33	33
Nitrit	34	34
Kieselsäure	35	35
Anorganischer Kohlenstoff und Kalk-Kohlen- säure-Gleichgewicht	36	36
Chemische Indikation von Phytoplankton- produktion	36	37,28
Weitere chemische Parameter	37	
ZELLER SEE	38	
BEZIEHUNGEN ZWISCHEN ZUSTANDSBILD DES OBERSEES UND DES UNTERSEES	41	
ZUSAMMENFASSUNG	44	
TABELLEN	45-50	
ABBILDUNGEN		

## E I N L E I T U N G

Die Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee beginnt hiermit eine aktuelle Berichterstattung über die Ergebnisse der regelmässigen limnologischen Freiwasseruntersuchungen des Bodensees, und zwar erstmalig für das Kalenderjahr 1974 und das Seejahr 1974 (April 1974 bis März 1975). Der Bericht wurde im Auftrag der Kommission von deren Arbeitsgruppe "Freiwasser" ausgearbeitet. Die Grundlage für den Bericht bildet das regelmässige Untersuchungsprogramm der Kommission, an dessen Durchführung die in der Liste der Bericht-erstatte aufgeführten Institute gemeinsam beteiligt waren.

Die Tabelle 1 gibt eine Übersicht über Örtlichkeiten, Wassertiefe und Zeitpunkt der Messungen oder Probenentnahme. Die Untersuchungsstationen sind in der Karte Abb. 1 eingetragen. Die Untersuchungsdaten wurden bei der EAWAG und der Landesstelle für Gewässerkunde und wasserwirtschaftliche Planung Baden-Württemberg auf EDV-Datenträger und in Tabellen archiviert. Im folgenden wird in Form von Isoplethen-Abbildungen die vertikale und zeitliche Verteilung der Konzentrationen verschiedener ausgewählter Parameter des Gütezustandes übersichtlich dargestellt. Neben Thermik und Sauerstoffzustand werden die Pflanzennährstoffe (Orthophosphat, Nitrat, Kieselsäure, Kohlensäure) behandelt, ferner die Verhältnisse des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtes und des Stickstoffkreislaufs sowie der Biomasseverteilung des Phytoplanktons. Für den Obersee beschränkt sich diese Darstellung 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.

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 1974 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 1974 wich in vieler Beziehung vom langjährigen Mittel erheblich ab (Abb. 2). Die Wintermonate (Januar bis März und Dezember 1974, Januar und Februar 1975) waren ausserordentlich warm mit Abweichungen von vielfach + 3<sup>o</sup>(C) von der langjährigen mittleren Lufttemperatur. Dabei war die Sonnenscheindauer im Januar bis März 1974 zum Teil sehr gering, von Dezember 1974 bis Februar 1975 jedoch über dem langjährigen Mittel. Im späten Frühjahr und in der ersten Sommerhälfte 1974 waren die Lufttemperaturen am Bodensee geringer als im langjährigen Mittel, und auch die Sonnenscheindauer erreichte nicht den langjährigen Mittelwert. Dies war auch in den Monaten August und September nicht der Fall, während die Lufttemperatur darüber lag. Vor Einsetzen des sehr warmen und sonnenscheinreichen Winters 1974/75 trat im Oktober sehr kühles und sonnenarmes Wetter ein. Stärkere Winde wurden häufiger nur in den Monaten Februar und von August bis Dezember 1974 registriert.

### WASSERSTÄNDE

Die Wasserstandsschwankungen in der Berichtsperiode ergaben sich aus den Aufzeichnungen des Pegels Konstanz. Die Abbildung 3 stellt die Ganglinien der Monatsmittelwerte dar. Im Ver-

gleich zu den langjährigen Monatsmitteln zeichneten sich die Seewasserstände durch unterdurchschnittliche Höhe im Frühjahr, Frñhsommer und Herbst 1974 und durch unterdurchschnittliche Werte im Winter 1974/75 aus. Die Wasserstände im Winter Anfang 1974 und im Hochsommer 1974 lagen dicht über dem langjährigen Mittel.

## THERMIK

In den ersten drei Monaten des Jahres 1974 herrschten nahezu homotherme Verhältnisse bei Temperaturen zwischen  $4,4$  und  $4,6^{\circ}$  (C) (Abb. 4). Anfang März besass das Bodenseewasser von der Oberfläche bis zu 250 m Tiefe eine Temperatur von  $4,4^{\circ}$ . Thermische Schichtungerscheinungen begannen im Monat April und führten zu einem schichtungsstabilen Metalimnion, dessen stärkster Gradient im Laufe des Sommers bei 15 bis 20 m Tiefe lag. Die Oberflächentemperaturen stiegen fortlaufend und überschritten zwischen Anfang Juli bis Mitte September  $18^{\circ}$ . Sie blieben damit geringer als in anderen sonnenscheinreicheren und sommerwärmeren Jahren. Im September und Oktober verminderten sich die Wassertemperaturen im Epilimnion. In grössere Tiefen des Sees greifende vertikale Zirkulationen setzten jedoch erst in der zweiten Novemberhälfte ein. Infolge des warmen Winterwetters ging die weitere Abkühlung des Wassers zwischen Oberfläche und ca. 100 m Tiefe nur langsam vonstatten. Der darunterliegende Wasserkörper blieb um mehrere Zehntel Grad kälter. Ein vollständiger Temperatúrausgleich wurde bis zum Beginn des Seejahres 1975 nicht mehr erzielt. Ende März lag die Temperatur von der Oberfläche bis 150 m Tiefe bei  $4,9^{\circ}$  und sank bis 250 m Tiefe auf  $4,6^{\circ}$ . Aufgrund dieses thermischen Schichtungsbildes war zu erwarten, dass die Wiederbelüftung des Tiefenwassers im Winter 1974/75 unvollkommen blieb.

## SAUERSTOFF

Die Verteilung der Sauerstoffgehalte im Wasser des Bodensees im zentralen Obersee über der grössten Tiefe zeigte im Jahre 1974 den aus den letzten Jahren gewohnten Verlauf (Abb. 5). Die Sauerstoffkonzentrationen zwischen Oberfläche und Tiefenwasser wurden zwischen Januar 1974 und März 1975 zu keinem Zeitpunkt völlig ausgeglichen. Durch Belüftung infolge Zirkulationsbewegungen stieg in den Wintermonaten Anfang 1974 der Sauerstoffgehalt im Tiefenwasser bis auf 8,6 mg/l im März 1974 an. Ab Mai trat jedoch bereits eine Abnahme der Sauerstoffgehalte im Tiefenwasser wieder ein, die sich bis zum September bis zu einem Minimum von 4,8 mg O<sub>2</sub>/l in 250 m Tiefe (39 % O<sub>2</sub>-Sättigung) fortsetzte. Der Sauerstoffgewinn des Tiefenwassers blieb im Winter 1974/75 gering. Bis Januar 1975 wurden in 250 m Tiefe 7,3 mg O<sub>2</sub>/l erreicht, die vorübergehend bis Anfang März sogar wieder auf 5,6 mg O<sub>2</sub>/l absanken. Anfang April 1975 wurden hier allerdings bereits wieder 7,6 mg O<sub>2</sub>/l gemessen. Bis zu einer Tiefe von 150 m blieb allerdings das Wasser in der gesamten Periode im allgemeinen sauerstoffreich (über ca. 9 mg O<sub>2</sub>/l). Eine Ausnahme dazu bildete der metalimnische Sauerstoffschwund, der im Juni einsetzte und im September mit 7,6 mg O<sub>2</sub>/l (70 % O<sub>2</sub>-Sättigung) in 20 m Tiefe das grösste Ausmass erreichte, eine Erscheinung, die auch in früheren Jahren regelmässig auftrat. Dem Auftreten des metalimnischen Sauerstoffdefizits gingen Übersättigungserscheinungen an der Wasseroberfläche oder zum Teil auch in grösseren Tiefen des Epilimnions voraus, die in den Monaten April und Juli besonders ausgeprägt waren. Hier wurden Sauerstoffkonzentrationen von 13,9 mg O<sub>2</sub>/l (126 % O<sub>2</sub>-Sättigung) erreicht. Im übrigen lagen die Sauerstoffkonzentrationen während des Jahres 1974 im Bereich zwischen 0 und 100 m Tiefe meist zwischen 10 bis 10,5 mg O<sub>2</sub>/l. In den Monaten Januar bis März 1975 erhöhten sie sich an der Oberfläche wieder über 11 mg O<sub>2</sub>/l (ca. 90 - 97 % O<sub>2</sub>-Sättigung).

## ORTHOPHOSPHAT

Orthophosphat ist der zur Zeit das Pflanzenwachstum im See begrenzende Nährstofffaktor. Über das ganze Jahr 1974 bis zum März 1975 bestanden Konzentrationsunterschiede des Orthophosphat-Gehaltes zwischen der Oberfläche und dem Tiefenwasser (Abb. 6). Gegen Ende des Seejahres 1974/75 lagen die  $\text{PO}_4\text{-P}$ -Konzentrationen zwischen der Oberfläche und 100 m Tiefe bei ca.  $65 \text{ mg/m}^3$  und stiegen bis 250 m Tiefe auf  $83 \text{ mg/m}^3$  an. In der Folgezeit kam es infolge Phytoplanktonentwicklung im Epilimnion zu einer fortgesetzten Abnahme des Orthophosphats, welches schliesslich im Wasser in den obersten 15 m im September 1974 überhaupt nicht mehr nachweisbar war. Umgekehrt kam es im Tiefenwasser gleichzeitig zu einer Anreicherung aus Orthophosphat, die sich über den Sommer hinaus weiter fortsetzte und in 250 m Tiefe Anfang November mit  $115 \text{ mg PO}_4\text{-P/m}^3$  ein Maximum erreichte. Auch im übrigen Hypolimnion stiegen während der Sommermonate die Orthophosphatgehalte um einige  $\text{mg/m}^3$  an. Zwischen Dezember 1974 und März 1975 betrug die  $\text{PO}_4\text{-P}$ -Konzentration etwa  $100 \text{ mg/m}^3$  in 250 m Tiefe. Im oberen Wasserkörper bis 150 m Tiefe glichen sich die Konzentrationsunterschiede nach Beginn der tiefergreifenden Zirkulationsvorgänge im November 1974 im Verlaufe des folgenden Winters weitgehend aus. Gegen Ende des Seejahres im März 1975 lagen in diesem Bereich die  $\text{PO}_4\text{-P}$ -Werte zwischen  $68$  und  $71 \text{ mg/m}^3$  und damit wiederum um mehrere  $\text{mg/m}^3$  höher als am Ende des vorausgegangenen Seejahres. Der Konzentrationsanstieg zwischen März 1974 und März 1975 in 250 m Tiefe lag in der Grössenordnung von  $10 \text{ mg/m}^3$ .

## ANDERE GELÖSTE PHOSPHORVERBINDUNGEN (OHNE ORTHOPHOSPHAT)

Im allgemeinen enthält das Wasser des Bodensee-Obersees im Membranfiltrat, d.h. in gelöster oder allenfalls kolloider Form, ausser dem Orthophosphat etwa  $10 \text{ mg/m}^3$  andersartige, nur durch chemischen Aufschluss in Orthophosphat überführbare Phosphor-

verbindungen. Es kann sich hierbei in erster Linie um organische Phosphorverbindungen oder um durch Säureaufschluss hydrolyisierbare Polyphosphate handeln, wie sie heute zum Beispiel durch Waschmittel in nicht unerheblichem Mass in die Gewässer gelangen. Im Hypolimnion stellten diese Verbindungen nur einen untergeordneten Teil des gelösten Gesamtphosphors dar. Im Epilimnion überwog zeitweise diese Komponente der gelösten Phosphorverbindungen, nämlich dann, wenn das Orthophosphat weitgehend durch Planktonproduktion aufgezehrt war. Zeitweise stiegen die Konzentrationen dieser Phosphorverbindungen im Epilimnion auch absolut gesehen an. Andererseits machte sich im Spätsommer auch beim Gehalt der gelösten, nicht als Orthophosphat vorliegenden Phosphorverbindungen eine epilimnische Auszehrung bemerkbar, und zwar in grösserem Masse erst dann, als  $\text{PO}_4\text{-P}$  nahezu vollständig aufgezehrt worden war. Als Nährstoffreserve für Phytoplanktonproduktion spielen also offensichtlich auch diese Phosphorverbindungen eine Rolle, sei es, dass sie, wenn auch weniger bevorzugt, von den Algen direkt verwertet werden oder aber, dass sie im Wasser durch allmähliche Hydrolyse in Orthophosphat überführt werden, das wiederum vom Phytoplankton sofort inkorporiert wird.

## NITRAT

Ebenfalls unausgeglichen zwischen Oberfläche und Tiefenwasser blieben die Konzentrationen von  $\text{NO}_3\text{-N}$  (Abb. 7). Sie lagen im Winter 1973/74 im Mittel bei etwa  $800 \text{ mg/m}^3$  und stellten damit eine sehr hohe Nährstoffreserve für Pflanzenwachstum dar. Als Folge der epilimnischen Phytoplanktonentwicklung sanken die Konzentrationen von  $\text{NO}_3\text{-N}$  oberhalb des Metalimnions ganz bedeutend ab, dennoch blieben erhebliche Restmengen im Epilimnion übrig. Das Minimum wurde zugleich mit dem  $\text{PO}_4\text{-P}$ -Minimum im September mit  $210 \text{ mg NO}_3\text{-N/m}^3$  erreicht. Ähnlich wie beim  $\text{PO}_4\text{-P}$  kam es während der Sommermonate im Hypolimnion zu einem Konzentrationsanstieg von  $\text{NO}_3$ , wobei in 200 bis 250 m Tiefe

900 mg/m<sup>3</sup> mehrfach erreicht wurden. Als Ursache dieser Anreicherung kann man Remineralisierungsprozesse an in die Tiefe abgesunkenen und abgestorbenen Planktonorganismen ansehen. Die Zirkulationsvorgänge des Winters 1974/75 vermochten die Konzentrationsunterschiede zwischen Oberfläche und Tiefenwasser nicht vollständig auszugleichen. Im März 1975 verblieb eine Differenz zwischen 780 mg/m<sup>3</sup> an der Oberfläche und 830 mg/m<sup>3</sup> in 250 m Tiefe. Die mittlere Konzentration von NO<sub>3</sub>-N der gesamten Wassersäule in Seemitte lag im März 1975 mit ca. 800 mg/m<sup>3</sup> in gleicher Höhe wie ein Jahr zuvor. Dieses Untersuchungsergebnis bestätigt wiederum, dass zur Zeit kein merklicher Anstieg von NO<sub>3</sub>-N im Bodensee-Obersee mehr eintritt und die Zufuhr dieses Nährstoffes sich offenbar mit den Verlusten bilanzmässig die Waage hält.

## KIESELSÄURE

Kieselsäure stellt für die wichtige Planktonalgengruppe der Diatomeen einen unentbehrlichen Nährstoff dar. Das Verteilungsbild der Konzentrationen von SiO<sub>2</sub> ist im Jahresverlauf den geschilderten Verteilungsverhältnissen von Orthophosphat und Nitrat sehr ähnlich (Abb. 9). Auch bei diesem Nährstoff bestand während des ganzen Zeitverlaufes von Januar 1974 bis März 1975 ein Konzentrationsgradient von der Oberfläche bis zur Tiefe. Im März 1974 lag die Konzentrationsdifferenz zwischen 2,9 mg/l an der Oberfläche und 3,6 mg/l in 250 m Tiefe. Infolge der epilimnischen Nährstoffauszehrung durch Diatomeenwachstum fielen die Konzentrationen während der Monate Juli bis September im Epilimnion unter 0,5 mg/l, im Minimum wurden im Juli 0,2 mg/l gemessen. Hand in Hand mit dieser oberflächlichen Auszehrung gingen Konzentrationszunahmen im Tiefenwasser, wobei im September und Oktober ein Maximum von 4,5 mg/l erreicht wurde. Die winterlichen Zirkulationsvorgänge glichen diese Differenzen zum Teil wieder aus. Die Konzentrationen an SiO<sub>2</sub> zeigten im März 1975 Werte von 2,9 mg/l an der Ober-

fläche und 3,7 mg/l in 250 m Tiefe und waren damit der Verteilung im März 1974 ganz ähnlich. Demzufolge waren die zyklischen Konzentrationsveränderungen von  $\text{SiO}_2$  im Verlaufe des Seejahres in der Gesamtbilanz ausgeglichen. Trotz Abnahme der Gesamtkonzentrationen von  $\text{SiO}_2$  im Laufe der Vegetationsperiode im Epilimnion auf ein Zehntel des ursprünglichen Wertes blieb eine gewisse Restreserve dieses Nährstoffes im Wasser erhalten und ist  $\text{SiO}_2$  vermutlich als Nährstofffaktor im Bodensee-Obersee nicht produktionsbegrenzend.

### ANORGANISCHE KOHLENSTOFFVERBINDUNGEN

Da bei der Photosynthese der Wasserpflanzen unter allen inkorporierten Nährstoffen mengenmässig der anorganische Kohlenstoff in irgendeiner (dissoziierten oder undissoziierten) Form der Kohlensäure aufgenommen wird, sind dementsprechend jahreszeitliche Unterschiede in der Konzentrationsverteilung von der Gesamtkohlensäure zu erwarten. Diese werden allerdings zum Teil dadurch ausgeglichen, dass es zu einem Austausch zwischen im Wasser gelöster und in der Luft vorhandener Kohlensäure kommt. Ferner kann als Folge der Aufzehrung der Kohlensäure durch Phytoplanktonentwicklung und damit verbundene Verschiebung des Kohlensäuregleichgewichts im Wasser sich zusätzlich der Gehalt an gelöstem anorganischen Gesamtkohlenstoff im Wasser durch Ausfällung von Kalziumkarbonat vermindern. Andererseits steigt durch Remineralisation von Biomasse die Konzentration der Gesamtkohlensäure teils direkt und zum Teil auch indirekt durch Wiederauflösung von ausgefälltem Kalziumkarbonat an. Diese Vorgänge spiegelten sich im Verteilungsbild der Gesamtkohlensäure deutlich wider (Abb. 9). Das Seejahr 1974 begann mit im Vertikalprofil nicht ganz ausgeglichenen Konzentrationen von 2,29 mmol/l an der Oberfläche und 2,50 mmol Gesamtkohlensäure/l in 250 m Tiefe. Die Abnahme im Epilimnion während der Produktionsperiode im Sommer 1974 führte schliesslich im September zu einem Konzentrationsminimum von

1,96 mmol/l im oberen Epilimnion. Die von April an zu beobachtende Zunahme der Gesamtkohlensäure im Tiefenwasser erreichte ebenfalls im September ein Maximum von 2,69 mmol/l. Während der Zirkulationsphase im Winter 1974/75 glichen sich diese Unterschiede zum Teil wieder aus. Im März 1975 lagen die Konzentrationen mit 2,45 mmol/l an der Oberfläche und 2,55 mmol/l im Tiefenwasser sehr dicht bei den Messwerten vom März des vorausgegangenen Jahres, d.h. die zyklischen Veränderungen der Gesamtkohlensäure im Verlaufe des Seejahres waren bilanzmässig ausgeglichen.

#### WEITERE PARAMETER DES KALK-KOHLensäURE-GLEICHGEWICHES

Im Untersuchungsprogramm wurden neben der Gesamtkohlensäure auch die freie Kohlensäure, die Alkalinität und der pH sowie die Konzentrationen von Kalzium gemessen. Auf eine Darstellung des zeitlich-räumlichen Verlaufes der Konzentrationen dieser Parameter im Isoplethenbild wurde verzichtet, da naturgemäss der Verlauf grundsätzlich dem der Gesamtkohlensäure-Isoplethen sehr ähnlich ist. Der Abnahme der Gesamtkohlensäure geht eine Zunahme des pH-Wertes sowie eine Abnahme der freien Kohlensäure, des Kalziumgehaltes und der Elektrolytleitfähigkeit parallel. Umgekehrt steigt mit zunehmender Gesamtkohlensäure der Gehalt an freier Kohlensäure, die Alkalinität, die Kalziumkonzentration und die Elektrolytleitfähigkeit, während der pH-Wert abnimmt. Die festgestellten Extremwerte lagen dabei im Epilimnion im September 1974 bei einem Gesamtkohlensäurewert von 1,96 mmol/l für die Alkalinität bei 2,00 mval/l, für die Kalzium-Konzentration bei 2,00 mval/l, für die Leitfähigkeit bei 227 Mikrosiemens  $\text{cm}^{-1}$ , für den pH bei 8,64 und für freie Kohlensäure unter der Grenze der analytischen Nachweisbarkeit. Im gleichen Monat betrug die Gesamtkohlensäure-Konzentration in 250 m Tiefe 2,69 mmol/l, die Alkalinität 2,53 mval/l, die Kalzium-Konzentration 2,52 mval/l, die Leitfähigkeit 282 Mikrosiemens  $\text{cm}^{-1}$ , der Gehalt an freier Kohlensäure 0,155 mval/l und der pH-Wert 7,53.

## UMSETZUNGEN IM STICKSTOFFHAUSHALT

Unter den anorganischen Stickstoffverbindungen im Bodensee-wasser dominiert das Nitrat-Ion. Ammonium-Ionen und Nitrit-Ionen waren, sofern sie überhaupt analytisch nachweisbar sind, demgegenüber nur in untergeordneten Konzentrationen im Seewasser zu finden (Abb. 10 und 11). Beim Ammonium dürfte es sich im allgemeinen um höchstens einige  $\text{mg/m}^3$   $\text{NH}_4\text{-N}$  handeln. Genaue Angaben lassen sich darüber nicht machen, weil die Empfindlichkeit der angewandten Untersuchungsmethode etwa bei  $10 \text{ mg NH}_4\text{-N/m}^3$  lag. Höhere Konzentrationen wurden lediglich im Epilimnion während der Monate April, Mai und Juni (Maximum  $80 \text{ mg/m}^3$ ) angetroffen. Diese Erscheinung kann regelmässig im Bodensee beobachtet werden. Es ist anzunehmen, dass es sich hierbei um das Produkt der Remineralisierung von Eiweissverbindungen aus abgestorbenem Planktonmaterial im Epilimnion handelt, was auf das Vorhandensein eines intensiven kurzgeschlossenen Nährstoffkreislaufs während der Sommerzeit im Epilimnion schliessen lässt. Wahrscheinlich können grössere Mengen an  $\text{NH}_4\text{-N}$  sich im Epilimnion während des Sommers nicht akkumulieren, und die im frühen Sommer beobachteten Werte mindern sich im Spätsommer deswegen wieder, weil das gebildete Ammonium der bakteriellen Oxidation zu Nitrat unterliegt. Dabei tritt als Zwischenstufe Nitrit auf, welches in der Tat mit dem Erscheinen höherer  $\text{NH}_4\text{-N}$ -Werte im Epilimnion ebenfalls in Konzentrationen von wenigen  $\text{mg/m}^3$  auftrat. Die Maxima der  $\text{NO}_2\text{-N}$ -Konzentrationen mit 16 bis  $17 \text{ mg/m}^3$  traten erst dann auf, als die Konzentration von  $\text{NH}_4\text{-N}$  wieder unter die Nachweisbarkeitsgrenze abgesunken war. Dies lässt darauf schliessen, dass zu diesem Zeitpunkt alles entstehende Ammonium sofort nitrifiziert wurde und deswegen nicht mehr nachzuweisen war. Die zu beobachtende Anreicherung von  $\text{NH}_4\text{-N}$  im Frühjahr ist so zu deuten, dass zu diesem Zeitpunkt die sich im allgemeinen - insbesondere auch bei niederen Wassertemperaturen - nur langsam entwickelnde Flora der nitrifizierenden Bakterien noch nicht in dem Masse wie im Verlaufe des Sommers aufgebaut hatte.

Das deutliche Auftreten von  $\text{NO}_2\text{-N}$  im Tiefenwasser bei 250 m während der Sommermonate deutet darauf hin, dass auch hier durch Remineralisation von Biomasse entstandenes Ammonium nitrifiziert wird.

## CHEMISCHE INDIKATION VON PHYTOPLANKTONPRODUKTION

Die Vermehrung von Phytoplankton und der dabei eintretende Aufbau von Biomasse führt zu Inkorporation von Nährstoffen und insbesondere zu einer Zunahme von organischem Kohlenstoff, organischem Stickstoff und Phosphor in der partikulären Planktonsubstanz. Infolgedessen ist zu erwarten, dass die Werte für partikulären organischen Kohlenstoff (POC), partikulären organischen Stickstoff (PON) und partikulären Phosphor (PP) die Phytoplanktonverteilung im See unmittelbar widerspiegeln. Die Konzentrationen an PP waren im Hypolimnion das ganze Jahr über sehr gering (1 bis 3 mg P/m<sup>3</sup>) (Abb. 12). Im Epilimnion traten im Seejahr 1974 vom Frühjahr an und den Sommer über höhere Konzentrationen bis maximal 55 mg/m<sup>3</sup> auf. Die Konzentrationsunterschiede zwischen Oberfläche und Tiefenwasser gliederten sich erst wieder in der Zirkulationsperiode des Winters 1974/75 aus. Eine geringfügige aber deutliche Zunahme von PP war während des Sommers 1974 auch im Tiefenwasser bei 250 m offensichtlich als Folge von Remineralisationsprozessen anzutreffen.

Entsprechend dem höheren Anteil von Stickstoffverbindungen bei der Inkorporation von Nährstoffen im Phytoplankton bot das Isoplethenbild von PON ein ähnliches Verteilungsbild (Abb. 13) wie das von PP, nur auf höherem Konzentrationsniveau. Die Anreicherung des PON im Epilimnion erreichte zur selben Zeit wie die des PP ein Maximum, nämlich im April 1974 mit einem Wert von 180 mg PON/m<sup>3</sup>. Die Konzentrationswerte im Epilimnion blieben gegenüber der Konzentration im Hypolimnion erhöht bis zum Einsetzen herbsterlicher Zirkulationsvorgänge.

Dabei nahmen die Konzentrationen von PON auch im Hypolimnion während der Sommermonate zu, offenbar als Folge des Absinkens von Phytoplankton oder davon abstammendem noch nicht vollständig remineralisierten Detritus.

Mit gewissen Einschränkungen kann man das in den Planktonzellen enthaltene Chlorophyll als Mass für die Phytoplanktonbiomasse verwenden. Aus Abbildung 14 ist ersichtlich, dass höhere Chlorophyllgehalte auf die oberflächlichen Wasserschichten beschränkt sind und hier auch nur während der wärmeren Jahreszeiten auftreten. Im Jahre 1974 wurden im April und im Juni Konzentrationen über  $4 \text{ mg/m}^3$  gemessen. Im Hypolimnion und im Winter auch im Epilimnion lagen die Konzentrationen meist unter  $0,1 \text{ mg/m}^3$ .

Lückenlose Bestimmungen über partikulären organischen Kohlenstoff liegen zur Zeit für den Bodensee noch nicht vor. Die Werte des Kaliumpermanganat-Verbrauches im unfiltrierten Wasser spiegeln den jahreszeitlichen Verlauf der Planktonbiomasse wider. Sie lagen in tieferem Wasser meist unter  $10 \text{ mg/l}$ . Im Oberflächenwasser waren Werte zwischen  $10 - 15 \text{ mg/l}$  im Sommer häufig. Das Maximum betrug im Oktober 1974 (nicht konform mit der Biomasse)  $24,6 \text{ mg/l}$ .

## PHYTOPLANKTONBIOMASSE

Die Untersuchung der Phytoplanktonbiozönose erfolgte anhand der entsprechend der Tabelle 1 entnommenen Wasserproben, die Analyse der Proben wurde an Mischproben der Tiefenstufe von  $0 - 20$  und von  $0 - 30 \text{ m}$  ausgeführt. Soweit möglich, wurden dabei die einzelnen Arten oder wenigstens Gattungen bestimmt und deren Zellzahl/l Wasserprobe ermittelt. Ausgehend von den durchschnittlichen Zellgrößen einzelner Arten wurde die Biomassekonzentration der gesamten Mischpopulation sowie zusätzlich die Biomassekonzentrationen einzelner Algengruppen als Frischgewicht errechnet.

Der jahreszeitliche Verlauf der durchschnittlichen Biomassekonzentration des Phytoplanktons in den obersten 30 m der Untersuchungsstation Hagnau-Münsterlingen<sup>+)</sup> ist in Abb. 15 dargestellt. Danach waren die Biomassekonzentrationen in den Wintermonaten niedrig und lagen in der Größenordnung von 0,01 bis 0,1 mg/l Planktonfrischgewicht. Eine merkliche Planktonzunahme setzte im April ein, die den ganzen Sommer über anhielt und erst im November 1974 stark absank. Während dieser Zeit traten erhebliche Konzentrationsschwankungen auf mit drei Gipfeln der Planktonentwicklung, einem Maximum Ende April mit etwa 1 mg/l, einem zweiten Maximum Mitte Juni mit etwa 0,9 mg/l und dem absoluten Jahresmaximum Mitte August mit über 1,8 mg/l Biomasse. Im Jahresmittel lag die Biomassekonzentration zwischen 0,6 und 0,7 mg/l.

An der gesamten Planktonbiomasse hatten verschiedene Algengruppen unterschiedlichen Anteil (Abb. 16). In merklichen Mengen waren das ganze Jahr über Cryptophyceen im Plankton vorhanden. Sie trugen in überwiegender Masse zu den erwähnten Planktonmaxima im April und Juni bei, wiesen jedoch auch im Mai und Oktober 1974 eine hohe Zelldichte auf. Ferner traten das Jahr über mit Ausnahme der Monate Januar bis März 1974 die Diatomeen in erheblichem Mass im Plankton auf. Sie dominierten in den Monaten Juli und September vor anderen Algengruppen. Dinoflagellaten waren ebenfalls im Frühjahrsplankton im April und Mai 1974 merklich vorhanden, im August stellten sie den Hauptanteil des Phytoplanktons. Ein Anzeichen für die Eutrophierung des Sees sind die den Sommer über im allgemeinen recht hohen Anteile an Chlorophyceen, die nur im Juli gegenüber anderen Gruppen ganz zurücktraten. Allerdings dominierten diese Algengruppen nie. Auf den Spätsommer beschränkt war das Auftreten der ebenfalls für eutrophe Zustände charakteristischen Cyanophyceen, die im August zu den dominierenden Planktonalgen gehörten.

---

+) Station Fischbach-Uttwill noch nicht ausgewertet

Der Ermittlung der Planktonbiomasse aus Zellzahlen und Zellvolumina einzelner Arten haftet naturgemäss eine gewisse Unsicherheit an. Andererseits lässt sich die Biomasse auch nicht eindeutig durch chemische Parameter, wie Chlorophyllgehalt oder partikulärer organischer Stickstoff im Wasser bestimmen, da deren Gewichtsanteile in der Biomasse schwanken können. In der Abb. 15 sind die Mittelwerte dieser chemischen Parameter in den oberen 30 m Wasserschicht den mittleren Biomassewerten gegenübergestellt. Tendenzmässig fallen höhere Werte der chemischen Charakteristika mit höheren Biomassewerten zusammen. Es ist aber ersichtlich, dass eine direkte Umrechnung von Chlorophyll oder partikulärem organischem Stickstoff auf Biomassekonzentrationen nicht verlässlich möglich ist. Das gleiche gilt auch für die errechnete Phytoplanktonbiomasse und Auftreten von partikulärem Gesamtphosphor im Wasser. Auch die Sichttiefe im Bodenseewasser folgt dem Jahresverlauf der Planktonproduktion (Abb. 15).

#### QUANTITATIV VORHERRSCHENDE IONEN

Abgesehen vom Kalzium und Hydrogenkarbonat bzw. Karbonat blieben die Konzentrationen der vorherrschenden Ionen im Wasser des Obersees im Jahresverlauf verhältnismässig konstant. Die für Magnesium gemessenen Konzentrationen schwankten zwischen 0,58 und 0,70 mval/l. Im September 1974 bestand eine Konzentrationsdifferenz von 0,58 mval/l an der Wasseroberfläche zu 0,72 mval/l in 250 m Tiefe. Verluste im Epilimnion stehen möglicherweise im Zusammenhang mit der Inkorporation in Biomasse dieses für die Pflanzenernährung wichtigen Ions oder auch mit Mitfällungen bei der biogenen Entkalkung des Wassers.

Die Kaliumkonzentrationen schwankten zwischen 0,9 und 2,2 mg/l, wobei die geringsten Kaliumgehalte im September 1974 zu beobachten waren, wahrscheinlich ebenfalls in Verbindung mit der

über die Produktionsperiode des Sommers 1974 erfolgten Aufzehrung durch Planktonalgen.

Nach wie vor geringe Konzentrationen wies im Bodensee das Natrium (Werte zwischen 3,3 und 4,2 mg/l) sowie das Chlorid (Werte zwischen 3,0 und 4,1 mg/l) auf. Das Sulfat nimmt einen höheren Anteil in der Ionenbilanz des Bodenseewassers ein. Die Sulfatkonzentrationen lagen vielfach zwischen 30 und 35 mg/l. Die Schwankungen bewegten sich maximal zwischen 27,0 und 38,3 mg/l. Im September 1974 wurde eine Konzentrationsdifferenz von 27 mg  $\text{SO}_4$ /l an der Wasseroberfläche und 34 mg/l in 250 m Tiefe beobachtet, möglicherweise wieder im Zusammenhang mit epilimnischer Auszehrung dieses für die Pflanzenernährung benötigten Ions.

#### GELÖSTE ORGANISCHE STOFFE

Messungen des in Lösung befindlichen organischen Kohlenstoffes an der Station Hagnau-Münsterlingen ergaben Werte zwischen 1,3 und 2,4 mg C/l. Die Konzentrationen an gelöstem, in organischer Bindung befindlichen Stickstoff lagen zumeist zwischen 200 und 300 mg N/m<sup>3</sup>, im Extrem bei 150 und 360 mg/m<sup>3</sup>.

#### SCHWERMETALLGEHALTE

Die Bestimmung der im Oberseewasser gelösten Schwermetalle (Station Hagnau-Münsterlingen) ergab, dass nur sehr geringe Mengen dieser Substanzen vorhanden waren. Für Eisen wurden Werte zwischen 3 und 24 mg/m<sup>3</sup>, für Mangan zwischen 1 und 21 mg/m<sup>3</sup>, für Cadmium zwischen 0,1 und 1 mg/m<sup>3</sup>, für Kupfer meist 0 bis 1 mg/m<sup>3</sup> neben einem Extremwert von 7 mg/m<sup>3</sup>, für Zink meist weniger als 10 mg/m<sup>3</sup> (Extreme 1 und 34 mg/m<sup>3</sup>), für Chrom Werte zwischen 0,2 und 1,0 mg/m<sup>3</sup> gemessen. Blei war meist nicht nachweisbar, einmal lag dessen Konzentration bei 1 mg/m<sup>3</sup>.

## HYGIENISCH-BAKTERIOLOGISCHE VERHÄLTNISSE

Im Wasser des Bodensee-Obersees wurden wechselnde Mengen von coliformen Keimen festgestellt. Die Schwankungen lagen zwischen 3 und 770 Keimen/100 ml an der Station Fischbach-Uttwil, zwischen 5 und 2100/100 ml an der Station Hagnau-Münsterlingen. Im allgemeinen traten die höchsten Werte zwischen 10 und 30 m Tiefe auf. An der Wasseroberfläche und im Epilimnion betrug die coliformen Keimzahlen meist weniger als 100/100 ml, zeitweise zwischen 200 und 400/100 ml. Im tiefen Hypolimnion lagen die Werte durchweg unter 100 Keimen/100 ml. Streptococcus fäcalis war in 100 ml meist nicht mehr nachweisbar. In einigen wenigen Fällen wurde 1 Keim Streptococcus fäcalis/100 ml festgestellt.

## VERGLEICH DES LIMNOLOGISCHEN ZUSTANDES AN VERSCHIEDENEN UNTERSUCHUNGSSTATIONEN IM OBERSEE

Die Untersuchungsdaten von korrespondierenden Tiefen und Terminen an den 4 Untersuchungsstationen Langenargen-Arbon, Fischbach-Uttwil, Hagnau-Münsterlingen und Überlingen weisen keine bedeutsamen Unterschiede auf, weshalb die graphischen Isoplethen-Darstellungen hier auf die Daten der zentralen Obersee-Station Fischbach-Uttwil beschränkt wurden. Die allgemeine simultane Übereinstimmung des Zustandsbildes ist aus den synoptischen Darstellungen der Sauerstoffverhältnisse und der Orthophosphatkonzentrationen in den Abb. 17 und 18 ersichtlich.

## 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 Bodensee-Untersees zeigten im Seejahr 1974 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, dem Seerhein, die einzelnen Teile des Untersees in ganz verschiedenem Masse erfasst und dass je nach dem Grade dieser Einwirkung die sommerliche Schichtungsstabilität im Untersee abgeschwächt wird. Im geringsten Masse ist dies im morphologisch nahezu abgeschlossenen Gnadensee der Fall. Am meisten wird durch den Rheinstrom der südliche Teil des Untersees, der sogenannte Rheinsee, beeinflusst. Der Zeller See nimmt eine Mittelstellung dazwischen ein. Die folgende Darstellung des Unterseeszustandes 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 1974 mit einer inversen Schichtung (Oberflächentemperatur 3°,

3,1<sup>o</sup> in 20 m Tiefe). Nahezu Homothermie herrschte im Februar und März im Temperaturbereich zwischen 3,6 und 4,0<sup>o</sup>. Die anschließende Erwärmung des Wassers erfasste in dem flachen See auch die tieferen Wassermassen. Etwa ab Mai entstand eine thermische Schichtung mit - allerdings nicht besonders scharf ausgeprägtem - metalimnischen Gradienten. Zunehmende Wassererwärmung führte im August zu einem Temperaturmaximum an der Wasseroberfläche von 22,1<sup>o</sup>. Bis zu diesem Zeitpunkt hatte sich das Wasser in 21 m Tiefe auf 8,7<sup>o</sup> erwärmt. Die Oberflächentemperaturen nahmen von diesem Zeitpunkt an wieder ab. Ab September setzten von der Oberfläche ausgehend und das Tiefenwasser allmählich immer stärker erfassende Zirkulationserscheinungen ein. Infolgedessen stiegen die Tiefenwassertemperaturen noch weiter an, bis sich Ende Oktober ein thermischer Ausgleich der gesamten Wassermasse bei 11<sup>o</sup> eingestellt hatte. In der Folgezeit blieb das Wasser homotherm und kühlte sich dabei bis Ende Januar auf 4,2<sup>o</sup> ab. Der Februar 1975 brachte eine schwach inverse Temperaturschichtung in den obersten 10 m, die im März mit einem homothermen Zustandsbild von 5,0<sup>o</sup> wieder verschwunden war.

## SAUERSTOFFVERHÄLTNISSE

Zu Anfang des Jahres 1974 wies der Gnadensee in allen Wasserschichten einen hohen Sauerstoffgehalt von etwa 12 mg/l (ca. 95 % O<sub>2</sub>-Sättigung) auf (Abb. 20). Im allgemeinen war dabei der Sauerstoffgehalt an der Oberfläche gegenüber dem im Tiefenwasser geringfügig erhöht. Mitte März besass der Gnadensee seinen höchsten Sauerstoffgehalt mit 13,1 mg O<sub>2</sub>/l (105 % O<sub>2</sub>-Sättigung) von der Oberfläche bis zum Seegrund. Die folgende Frühjahrs- und Sommerzeit war durch eine Abnahme des Sauerstoffs in allen Wasserschichten gekennzeichnet. Diese blieb an der Wasseroberfläche geringfügig. Nur kurzfristig im Juli wurden in den obersten 5 m Konzentrationen von 9 mg/l unterschritten (8,8 mg/l in 5 m Tiefe; 99 % O<sub>2</sub>-Sättigung). Die

Abnahme des Sauerstoffs in einer Tiefe von unter 5 m bis zum Seeboden bei 21 m während des Sommers war hingegen beträchtlich. In 21 m Tiefe wurde im Juli ein absoluter Sauerstoffschwund erreicht, der bis zum September die untersten Wasserschichten bis herauf zu 15 m erfasste. In 10 m Tiefe wurden zu diesem Zeitpunkt weniger als 1 mg Sauerstoff gemessen. Die um die Monatswende September/Oktober einsetzenden Zirkulationsbewegungen glichen Mitte Oktober den Sauerstoffgehalt zwischen Oberfläche und Tiefenwasser bei einer Konzentration von 8 bis 9 mg/l (80 - 84 % O<sub>2</sub>-Sättigung) vollständig aus. Anschliessend erfolgte eine kontinuierliche Sauerstoffanreicherung. Anfang des Jahres 1975 schloss sich der Sauerstoffzyklus mit einem ganz ähnlichen Zustandsbild wie ein Jahr zuvor. Das Seejahr endete im März mit Sauerstoffgehalten von 13 mg/l (107 % O<sub>2</sub>-Sättigung) an der Wasseroberfläche und 11,4 mg/l (98 % O<sub>2</sub>-Sättigung) in 20 m Tiefe.

## ORTHOPHOSPHAT

Mit Beginn des Jahres 1974 waren die Konzentrationsverhältnisse von PO<sub>4</sub>-P von der Oberfläche bis zur Tiefe nahezu ausgeglichen bei einer leichten Erhöhung der Werte mit zunehmender Wassertiefe (Abb. 21). Bis zum März sanken die Konzentrationen in allen Wasserschichten bis auf ca. 50 mg/m<sup>3</sup> ab. Die Konzentrationsabnahme in den obersten 10 m der Wassersäule setzte sich in der Folgezeit fort, während der Vegetationsperiode im August kam es hier zu einer vollständigen Aufzehrung des Orthophosphats. Umgekehrt setzte mit zunehmendem Sauerstoffschwund in der Wassertiefe eine Freisetzung von Orthophosphat ein, die im September zu einer Maximalkonzentration von 484 mg/m<sup>3</sup> über Grund führte und die darüberliegenden Wasserschichten bis hoch zu 10 m Wassertiefe nachhaltig mit PO<sub>4</sub>-P anreicherten. Ausgleich der Konzentrationsunterschiede trat im Monat Oktober durch Vollzirkulation mit etwa 90 mg/m<sup>3</sup> PO<sub>4</sub>-P ein. Der Winter 1974/75 war durch fortgesetzte Abnahme von PO<sub>4</sub>-P ohne merkli-

che Schichtungerscheinungen im Wasser gekennzeichnet. Mit etwa  $45 \text{ mg/m}^3 \text{ PO}_4\text{-P}$  im März und April 1975 lag der Orthophosphatgehalt des Seewassers etwas niedriger als gegen Ende des Seejahres 1973.

## NITRAT

Die zeitlich-räumliche Verteilung des Nitrats im Gnadensee verläuft im Prinzip ähnlich wie die des Orthophosphats (Abb. 22). Allerdings sind die Wintermonate durch eine Zunahme des Nitratgehaltes in allen Schichten gekennzeichnet. Die Ausgangssituation für das neue Seejahr im März 1974 zeigte Konzentrationen von  $880 \text{ mg/m}^3 \text{ NO}_3\text{-N}$ . Anders als im Obersee führte die Aufnahme des Nitrats im Epilimnion im Gnadensee kurzfristig zu vollständigem Verschwinden des Nitrats an der Wasseroberfläche im September 1974. Die Situation des Nitrats im Hypolimnion wird sehr stark durch den im Gnadensee während des Sommers einsetzenden Sauerstoffschwund gekennzeichnet, der zu einer Nitratreduktion führt. Bei vollständigem Sauerstoffschwund im Tiefenwasser war keinerlei Nitrat mehr nachweisbar. Zu Beginn der Vollzirkulation im Oktober 1974 war der Nitratgehalt mit  $180 \text{ mg/m}^3$  zunächst noch verhältnismässig gering. Er stieg dann fortgesetzt, um im Februar 1975 ein Maximum bei  $930 \text{ mg/m}^3$  ohne merkliche Schichtungerscheinungen zu erreichen. Bis zum März 1975 hatte sich der  $\text{NO}_3\text{-N}$ -Gehalt in allen Wasserschichten schon wieder um etwa  $150 \text{ mg/m}^3$  vermindert.

## AMMONIUM

Ein erheblicher Teil der Stickstoffreserve des Gnadensees lag in Form von  $\text{NH}_4\text{-N}$  vor (Abb. 23). Während der Wintermonate bestand keine merkliche Schichtung von Ammonium im Wasser. Zu Beginn des Jahres 1974 betrug der  $\text{NH}_4\text{-N}$ -Gehalt ca.  $170 \text{ mg/m}^3$ . In der Folgezeit machte sich eine fortlaufende Abnahme von

Ammonium bemerkbar, die offenbar weitgehend durch Nitrifikation, wie aus dem gleichzeitigen Ansteigen der Nitratwerte ersichtlich ist, zurückzuführen ist. Anfang März lagen die  $\text{NH}_4\text{-N}$ -Werte an der Nachweisbarkeitsgrenze bei 10 Mikrogramm/ $\text{m}^3$ . Während des Sommers trat im Epilimnion eine geringfügige Steigung von  $\text{NH}_4\text{-N}$  an der Wasseroberfläche bei etwas wechselnden Konzentrationen ein. Im Hypolimnion hingegen traten bei zunehmendem Sauerstoffschwund in Verbindung mit der bereits erwähnten Nitratreduktion steigende Mengen von  $\text{NH}_4\text{-N}$  auf, die im vollständig sauerstofffreien Wasser in jedem Fall Werte von  $1000 \text{ mg/m}^3$  erreichen. Das Maximum von  $\text{NH}_4\text{-N}$  wurde im September in 21 m Tiefe mit  $1810 \text{ mg/m}^3$  erreicht. Nach Ausgleich der Konzentrationen durch Vollzirkulation im Oktober lag der  $\text{NH}_4\text{-N}$ -Gehalt mit  $220 \text{ mg/m}^3$  im Herbst noch recht hoch. Ohne wesentliche vertikale Schichtung nahm der  $\text{NH}_4\text{-N}$ -Gehalt bis zum März 1975 kontinuierlich ab und erreichte zu diesem Zeitpunkt wieder wie im vergangenen Jahr in allen Wasserschichten die Nachweisbarkeitsgrenze.

## NITRIT

Infolge des lebhaften Umsatzes von Stickstoffverbindungen im Wasser des Gnadensees sowohl in Richtung auf Nitritifikation als auch auf Nitratreduktion tritt Nitrit als kurzlebiges Zwischenprodukt im Wasser des Gnadensees fast ständig in nachweisbaren Mengen auf (Abb. 24). Eine Ausnahme bildeten nur die Verhältnisse im sauerstofffreien Tiefenwasser, wo auch Nitrit ebenso wie Nitrat vollständig durch Reduktion verschwindet, sowie das Oberflächenwasser im September 1974. Im Hypolimnion stiegen vorübergehend im April sowie im Juni/Juli  $\text{NO}_2\text{-N}$ -Werte erheblich an (Maximum  $71 \text{ mg/m}^3$  in 15 m Tiefe im Juli). Offensichtlich handelt es sich hierbei um vorübergehendes Auftreten von Nitrit als Zwischenprodukt bei der Nitratreduktion.

## KIESELSÄURE

Die Verteilung der Kieselsäure im Wasser des Gnadensees (Abb. 25) entsprach über den Jahresverlauf 1974 derjenigen anderer Pflanzennährstoffe, die nur in geringem Masse im Wasser vorhanden sind. In den Wintermonaten bestanden keine vertikalen Konzentrationsunterschiede, jedoch kam es bis zum Frühjahr zu einem fortgesetzten Absinken der Konzentrationen von 2,1 mg SiO<sub>2</sub>/l im Januar 1974 auf 1,3 mg/l im März. Während die Aufzehrung von SiO<sub>2</sub> infolge lebhafter Entwicklung der Diatomeen während der Sommerzeit sich im Epilimnion fortsetzte und die Konzentrationen bis herab zu 0,1 mg/l minderte, vollzog sich umgekehrt im Tiefenwasser eine Anreicherung von SiO<sub>2</sub>, die im September zu einem Maximum von 3,7 mg/l in 21 m Tiefe reichte. Mit Eintreten der Vertikalzirkulation im Oktober erfolgte ein Ausgleich dieser Schichtung bei Konzentrationen von 1,2 bis 1,3 mg/l. Allmählich stieg dann bis Januar 1975 der SiO<sub>2</sub>-Gehalt auf 2,7 mg/l in allen Schichten an. In der Folgezeit minderte sich diese Konzentration wieder wie im vorangegangenen Jahr kontinuierlich in allen Tiefen und erreichte Ende März etwa den Vorjahreszustand von 1,3 mg/l.

## ANORGANISCHER KOHLENSTOFF UND KALK-KOHLensäURE-GLEICHGEWICHT

Infolge der pflanzlichen Photosynthese sind die Konzentrationen von Gesamtkohlensäure im Wasser des Gnadensees im Verlaufe des Jahres starken Schwankungen unterworfen (Abb. 26). Vertikal weitgehend ausgeglichenen Verhältnissen zu Anfang des Jahres 1974 mit Werten zwischen 2,41 und 2,45 mmol/l in den Monaten Februar und März 1974 folgte eine allmähliche Konzentrationsabnahme im Epilimnion, die ab Juni die Gesamtkohlensäure-Werte zwischen der Oberfläche und 5 m Tiefe auf weniger als 2 mmol/l absinken liess. Im Juni wurde mit 1,77 mmol/l an der Oberfläche ein Minimum erreicht, dem nach geringfügigem Anstieg im Juli mit 1,83 mmol/l an der Oberfläche im September

ein weiteres Minimum folgte. Auch in 10 m Tiefe waren die Konzentrationen während des Sommers zeitweise rückläufig. Von 15 m Tiefe an kehrten sich die Verhältnisse um, indem es im Hypolimnion zu stärkeren Anstiegen der Gesamtkohlensäure-Werte kam. Ein Maximum wurde im September mit 3,09 mmol/l in 21 m Tiefe und 2,72 mmol/l in 15 m Tiefe erreicht. Die Vertikalzirkulation im Oktober glich die Werte zwischen Oberfläche und Tiefe bei ca. 2,19 mmol/l wieder vollständig aus. Von da an blieb bis zum März 1975 das Wasser ohne wesentliche Konzentrationsunterschiede von der Oberfläche bis zum Seeboden bei gleichzeitigem ständigem Zugewinn von Gesamtkohlensäure, die im Februar mit 2,51 mmol/l ein Maximum erreichte. Bis März sanken die Werte geringfügig auf etwa 2,48 mmol/l ab und lagen damit unwesentlich über den Konzentrationen im März 1974. Diese zyklischen Erscheinungen spielten sich auch in derselben Weise im Stoffhaushalt der anderen Komponenten des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtes ab. Zum Zeitpunkt der extremen vertikalen Unterschiede im September bestanden zwischen Wasseroberfläche und Wasser in 21 m Tiefe die folgenden Verhältnisse:

Leitfähigkeit Mikrosiemens $\text{cm}^{-1}$	pH	freie Kohlensäure mval/l	Alkalinität mval/l	Kalzium mval/l
219	8,92	0,000	1,91	1,88
304	7,39	0,252	2,84	2,56

Daraus wird deutlich, dass die Abnahme von Gesamtkohlensäure teils durch Inkorporation in Phytoplankton, teils durch Ausfällung von Kalziumkarbonat zustande gekommen war. Nach Eintritt der Vertikalzirkulation im Oktober glichen sich die vertikalen Unterschiede der Leitfähigkeit, des pH, der freien Kohlensäure, der Alkalinität und des Kalziums ebenfalls aus. Während der Wintermonate trat eine weitere Zunahme von Gesamtkohlensäure durch wiederaufgelöstes Kalziumkarbonat auf. Der Gehalt an freier Kohlensäure erfuhr dabei eine Abnahme und

die pH-Werte stiegen wieder an, wie die folgenden Analysenergebnisse erkennen lassen:

Leitfähigkeit	Mikrosiemens $\text{cm}^{-1}$	pH	freie		
			Kohlensäure mval/l	Alkalinität mval/l	Kalzium mval/l
11.11.74	263	8,18	0,032	2,32	2,26
4. 3.75	289	8,67	0,000	2,46	2,52

### PARTIKULÄRER PHOSPHOR UND BIOMASSE

Die Planktonuntersuchungen des Untersees liegen noch nicht ausgewertet vor, so dass Anhaltspunkte über die Phytoplanktonentwicklung im Augenblick nur aufgrund von chemischen Werten erzielt werden können. Für den Gnadensee liegen zur Orientierung nur die Zahlen für partikulären Phosphor (PP) vor. Im Durchschnitt sind die Werte für PP im Gnadensee höher als im Obersee in Tiefen von 0 bis 20 m (Abb. 27). Sie sanken nur in den Wintermonaten im Gnadensee auf etwas weniger als  $10 \text{ mg/m}^3$  ab und zeigten während des Frühjahrs bis Juni 1974 keine wesentlichen vertikalen Unterschiede. Im März deuteten Werte von durchschnittlich  $33 \text{ mg/m}^3$  auf eine besonders hohe Phytoplanktonbiomasse oder biologische Phosphorinkorporation. Eine weitere Anhäufung von PP an der Oberfläche war im August und September 1974 zu beobachten. Auffällig waren Anhäufungen von PP im Hypolimnion im bodennahen Bereich, wo zwischen Juli und September ebenfalls etwa  $35 \text{ mg/m}^3$  erreicht wurden. Nach einem Konzentrationsminimum im Dezember bei etwa  $6 \text{ mg/m}^3$  trat im Laufe des Winters eine allmähliche Zunahme wieder ein, wobei im März 1975, ähnlich wie im selben Monat des vorangegangenen Jahres ein Maximum wie etwa  $30 \text{ mg/m}^3$  erreicht wurde.

Die Chlorophyllkonzentrationen (a+b+c) erreichten im Gnadensee ihren Höchststand im März 1974 mit  $40 \text{ mg/m}^3$  (Abb. 28). Während der Sommermonate waren etwa  $10 - 12 \text{ mg/m}^3$  Chlorophyll vorhanden, im Winter etwa  $6 - 8 \text{ mg/m}^3$ . Im März 1975 wurde mit  $26 \text{ mg/m}^3$  ein neues Maximum erreicht.

## R H E I N S E E

### THERMIK

Infolge des Einflusses des Rheinstromes erfolgten im Rheinsee auch während der warmen Jahreszeit bis in das tiefere Wasser hinein turbulente Zirkulationen, so dass sich thermische Schichtungen weniger stabil und mit geringerem Gradienten als in den stärker abgeschlossenen Teilen des Untersees ausbilden konnten (Abb. 29). In den ersten drei Monaten des Jahres 1974 zeigte der Rheinsee nahezu homotherme Verhältnisse (im Gegensatz zur inversen Schichtung des Gnadensees). Infolge der warmen Witterung stieg dabei von Januar bis März die mittlere Temperatur von  $4,0$  auf  $4,3$  ° an. Im Zuge der sommerlichen Aufwärmung erwärmte sich die Oberfläche des Rheinsees fortlaufend bis auf  $19,5$  ° Anfang September und lag damit deutlich unter der sommerlichen maximalen Oberflächentemperatur des Gnadensees ( $22,1$  °). Diese Erwärmung setzte sich ebenfalls im tieferen Wasser fort, und zwar am kräftigsten in den obersten 10 m. In 10 m Tiefe wurde Anfang September  $18,8$  ° erreicht. In der darunterliegenden Wasserschicht von 10 bis 30 m betrug der Gradient der Temperatur etwa  $2$  °/m. Zwischen 30 und 45 m betrug die Temperaturdifferenz während des Sommers nicht mehr als  $1$  °. Das Wasser in 45 m Tiefe hatte Anfang September am Ende der Stagnationsperiode eine Temperatur von  $7,4$  °, d.h. im Laufe des Jahres war hier eine Erwärmung um  $3,4$  ° erzielt worden. Die weitere

Erwärmung des Tiefenwassers auf  $9,1^{\circ}$  Anfang Oktober stand schon im Zusammenhang mit der einsetzenden Vollzirkulation. Diese hatte bis November die ganze Wassermasse des Seerheins vertikal erfasst, so dass ein Temperatúrausgleich bei  $6,9^{\circ}$  zustandekam. Homothermie und Abkühlung auf  $4^{\circ}$  zeichnete die folgende Zeit bis Januar 1975 aus. Auch bis zum Ende des Seejahres bis zum März 1975 blieb das Wasser weitgehend homotherm bei leichtem Wärmegewinn ( $4,3^{\circ}$ ).

## SAUERSTOFF

An den Sauerstoffverhältnissen des Rheinsees ist ersichtlich, dass dieser Seeteil des Untersees deutlich eutroph ist, wengleich weniger extrem als der Gnadensee und Zeller See (Abb. 30). Während der Monate Januar bis März 1974 waren die Sauerstoffgehalte zwischen Oberfläche und Tiefenwasser weitgehend ausgeglichen und lagen bei etwa  $11 \text{ mg/l}$  (ca.  $90\%$   $\text{O}_2$ -Sättigung). Mit Eintritt der sommerlichen Schichtung nahmen die Sauerstoffgehalte im Rheinsee im Tiefenwasser ab. In  $45 \text{ m}$  verblieb dabei bis Anfang September ein Restsauerstoffgehalt von  $1,7 \text{ mg/l}$  ( $15\%$   $\text{O}_2$ -Sättigung). Zu diesem Zeitpunkt hatte die Sauerstoffzehrung jedoch auch die darüberliegenden Wasserschichten bereits kräftig erfasst. So betrug der Sauerstoffgehalt in  $15 \text{ m}$  Tiefe zu diesem Zeitpunkt nur noch  $5,3$  und in  $10 \text{ m}$  Tiefe  $8,4 \text{ mg/l}$  ( $56\%$   $\text{O}_2$ -Sättigung). Weniger als  $8 \text{ mg/l}$  wurden im Mai und Juni erst unter  $25 \text{ m}$ , im Juli und August erst unter  $15 \text{ m}$  registriert. In den oberflächennahen Schichten von  $0$  bis  $5 \text{ m}$  zeigten sich im Verlaufe des Sommers fortlaufend Übersättigungsverhältnisse, im Juni wurde an der Oberfläche ein Wert von  $12,5 \text{ mg Sauerstoff/l}$  ( $138\%$   $\text{O}_2$ -Sättigung) gemessen. Zirkulationsbewegungen im Oktober erhöhten den Sauerstoffgehalt im Tiefenwasser wieder. Ende Oktober wurde bei  $10,1 \text{ mg O}_2/\text{l}$  ein vollständiger Konzentrationsausgleich erzielt. Der Winter 1974/75 war durch weitgehend vertikal ausgeglichene Sauerstoffkonzentrationen ge-

kennzeichnet bei allmählicher Anreicherung der Sauerstoffkonzentration auf im Mittel  $11,4 \text{ mg O}_2/\text{l}$  (ca. 92 %  $\text{O}_2$ -Sättigung) im Februar, die bis Ende März geringfügig absank. Ende März 1975 wurde damit etwa das Zustandsbild von März 1974 wieder erreicht.

## ORTHOPHOSPHAT

Während der Monate Januar bis März 1974 traten auch in Berlinen keine wesentlichen vertikalen Konzentrationsunterschiede im  $\text{PO}_4\text{-P}$ -Gehalt des Wassers auf (Abb. 31). Im Januar waren die Orthophosphatgehalte dabei mit  $69 \text{ mg PO}_4\text{-P/l}$  etwas geringer als vergleichsweise im Gnadensee mit  $84 \text{ mg/l}$ . Auch im Rheinsee war wie im Gnadensee im Februar und März eine ständige Abnahme des  $\text{PO}_4\text{-P}$ -Gehaltes in allen Wasserschichten zu beobachten. Im März lagen die Konzentrationen zwischen 10 und 30 m bei  $50 \text{ mg/m}^3$ . Darüber war bereits eine stärkere Orthophosphatauszehung ( $40 \text{ mg/m}^3$  an der Oberfläche) zu verzeichnen, während im Tiefenwasser die Konzentrationsabnahme weniger weit gediehen war ( $59 \text{ mg/m}^3$  in 45 m Tiefe). Diese Konzentrationsabnahme, die sich durch Aufzehrung durch Phytoplankton erklären lässt, setzte sich in den obersten 20 m im Verlaufe des ganzen Sommers fort. An der Wasseroberfläche sowie Anfang September bis 10 m wurde dabei das gesamte Orthophosphat aufgezehrt oder es blieben die Restkonzentrationen nachweisbaren Orthophosphates jedenfalls sehr gering. Unter 20 m Tiefe wurde keine wesentliche Orthophosphatabnahme mehr beobachtet. Im Gegenteil stiegen hier, und zwar zunehmend mit der Tiefe, die Orthophosphat-Konzentrationen während des Sommers fortgesetzt an. Die Verteilung des Orthosphosphats im Tiefenwasser entsprach weitgehend der Abnahme der Sauerstoffgehalte und stand mit dieser in ursächlichem Zusammenhang. Der Höchstwert an Orthophosphat wurde mit  $192 \text{ mg/m}^3$  Anfang September in 45 m Tiefe gemessen.

Dabei blieb die Orthophosphatkonzentration im Rheinsee erheblich niedriger als im Tiefenwasser des völlig sauerstofffreien Gnadensees.

## NITRAT

Die Verteilung des Nitrats im Rheinsee zeigte während der Wintermonate bis zum Frühjahr keine wesentlichen Konzentrationsunterschiede in der Vertikalen (Abb. 32). Im Januar 1974 lag die Nitratkonzentration mit  $810 \text{ mg/m}^3$  um  $50 \text{ mg/m}^3$  höher als vergleichsweise im Gnadensee. Im Tiefenwasser von 40 bis 45 m bestand ähnlich wie im Gnadensee eine leichte Anreicherung. Der Höchstbetrag der Nitratwerte wurde im Februar 1975 bei einem mittleren Gehalt von  $870 \text{ mg/m}^3$  erreicht. Ab März traten in der gesamten Wassermasse Nitrat-zehrungen auf, und zwar am stärksten in den obersten 10 m. Jedoch wurde im Gegensatz zum Gnadensee der Nitratgehalt niemals vollständig aufgezehrt. Anfang September verblieben an der Wasseroberfläche  $90 \text{ mg/m}^3$ . In 45 m war bis zu diesem Zeitpunkt der Nitratgehalt auf  $500 \text{ mg/m}^3$  zurückgegangen. Die höchsten Nitratkonzentrationen am Ausgang der Stagnationszeit wiesen die Wassermassen von 20 bis 40 m Tiefe auf, ein Anzeichen dafür, dass in der grössten Tiefe verbunden mit Sauerstoffschwund offenbar besonders starke Nitratreduktion vorstatten ging. Diese wird man zum Teil auch für die Nitratverluste während der Sommerzeit in den mittleren Wasserschichten des Rheinsees verantwortlich machen müssen. Die Zirkulationserscheinungen glichen ab Oktober die Konzentrationsverhältnisse in der Vertikalen wieder weitgehend aus, wobei zunächst ein niedriges Nitrat-Konzentrationsniveau von etwa  $400 \text{ mg/m}^3$  erreicht wird. Im Verlaufe des Herbstes und Winters 1974/75 erhöhten sich die Nitratgehalte mit zeitweiligen Unterbrechungen und einigen Unregelmässigkeiten in der vertikalen Konzentrationsverteilung - zum Beispiel bemerkenswerte Anreicherungen im Tiefenwasser im Februar. Ende März

1975 am Beginn des neuen Seejahres lagen mit Konzentrationen von etwa  $850 \text{ mg/m}^3$  und schwachem Gradienten von der Oberfläche bis zum Tiefenwasser ( $820$  bis  $860 \text{ mg/m}^3$ ) wieder ganz ähnliche Verhältnisse wie im vorausgegangenen Jahr vor.

## AMMONIUM

Auch im Ammoniumgehalt zeigte das Wasser des Rheinsees vom Herbst bis zum Frühjahr weitgehend vertikal ausgeglichene Konzentrationen, während der Sommerzeit jedoch grössere Unterschiede von der Oberfläche zur Tiefe (Abb. 33). Diese waren jedoch bei weitem nicht so extrem wie im Gnadensee, sondern näherten sich vielmehr der Grössenordnung, wie sie im Obersee beobachtet werden. Im Januar 1974 betrug die  $\text{NH}_4\text{-N}$ -Konzentration im Rheinsee im Mittel etwa  $70 \text{ mg/m}^3$ , desgleichen im Februar 1974, also erheblich weniger als im Gnadensee. Bis zum März trat eine Abnahme des Ammonium-Gehaltes wahrscheinlich infolge von Ammoniumnitrifikation in allen Wasserschichten ein. Die Restmenge von  $30 \text{ mg/m}^3$  war jedoch wesentlich niedriger als im Gnadensee ( $10 \text{ mg/m}^3$ ). Die anschliessend im Frühjahr zu beobachtende Zunahme in allen Wasserschichten entsprach dem Erscheinungsbild im Gnadensee, ebenso die darauffolgende Konzentrationsabnahme im Epilimnion. Die Abnahme bis Anfang September ging hier bis an die Grenze der Nachweisbarkeit ( $10 \text{ mg/m}^3$ ). Die Konzentrationsabnahmen im tieferen Wasser bis zu  $45 \text{ m}$  verliefen bis August 1974 gleichsinnig. Erst ab Anfang September waren im Tiefenwasser, offenbar ausgehend vom Seeboden, höhere Konzentrationen zu beobachten, im Maximum bis  $150 \text{ mg/m}^3$  in  $45 \text{ m}$  Tiefe Anfang September. Dies ist weniger als ein Zehntel des im Gnadensee in der grössten Tiefe am Ende der Stagnationsperiode beobachteten  $\text{NH}_4\text{-N}$ -Wertes. Diese offenbar auf Nitratreduktion zurückzuführenden Zunahmen waren vom Seegrund bis hinauf zu einer Tiefe von  $20 \text{ m}$  zu beobachten. Die Vollzirkulationserscheinungen im Oktober führten zu einem weit-

gehenden Konzentrationsausgleich zwischen Oberfläche und Seegrund bei gleichzeitiger Erhöhung der  $\text{NH}_4\text{-N}$ -Werte in allen Wasserschichten. Deren Ursache dürfte angesichts der zu diesem Zeitpunkt bereits hohen Sauerstoffkonzentrationen nicht in der Nitratreduktion sondern in Remineralisierungserscheinungen an abgestorbenem Phytoplankton zu suchen sein. Das Ammonium verschwand in den folgenden Monaten bis Dezember 1974 vollständig, war jedoch im Januar, Februar 1975 in den gleichen Grössenordnungen wie im vorangegangenen Jahr wieder nachweisbar. Die Konzentrationen zwischen 40 und 80  $\text{mg NH}_4\text{-N/m}^3$  im März 1975 waren deutlich höher als im März 1974 mit im Mittel 30  $\text{mg/m}^3$ . Die Ammoniumkonzentrationen während der Wintermonate werden offenbar durch Umsatzraten der Remineralisierung von Biomasse wie auch der biologischen Ammonium-Nitrifikation bestimmt.

## NITRIT

Nitrit ist im Wasser des Rheinsees in allen Schichten zu allen Zeiten nachzuweisen (Abb. 34), ein Anzeichen dafür, dass fortgesetzt mikrobiologische Umsetzungen im Stickstoffhaushalt, sei es als Ammonium-Nitrifikation, sei es als Nitratreduktion, ablaufen. Überwiegend lagen die Konzentrationen dabei im Bereich von 5 bis 15  $\text{mg/m}^3$ . Grössere Anreicherungen bis zu maximal 85  $\text{mg/m}^3$  Anfang Oktober in 45 m Tiefe waren nur in tieferen Schichten ab 30 m vom Hochsommer bis zum Ende der Stagnationsperiode zu beobachten. Bei den hier herrschenden verhältnismässig geringen Sauerstoffkonzentrationen dürfte es sich beim Auftreten des Nitrits offenbar um das Zwischenprodukt der Nitratreduktion handeln. Eine solche Erhöhung im Tiefenwasser war auch im Gnadensee zu beobachten, als die Sauerstoffgehalte dort eine vergleichbare Konzentration angenommen hatten (Juni/Juli). Ein vollständiges Verschwinden von Nitrit im Tiefenwasser wie im Gnadensee trat im Rheinsee nicht ein, offenbar im Zusammenhang mit der hier nicht vollständigen Sauerstoffaufzehrung des Tiefenwassers.

## KIESELSÄURE

Die vertikale Verteilung der Kieselsäure im Rheinsee zeigte das gewohnte Bild für einen Stoff, der als Pflanzennährstoff nur in verhältnismässig geringer Konzentration zur Verfügung steht (Abb. 35). Infolgedessen waren während der Vollzirkulationsperiode die Konzentrationsverhältnisse vollständig oder weitgehend ausgeglichen, während der sommerlichen Stagnationsperiode kam es in den obersten Wasserschichten zu einer deutlich bemerkbaren Konzentrationsabnahme, nicht jedoch im tieferen Wasser, wo die Phytoplanktonproduktion keine Rolle spielt. Im Rheinsee blieben im Januar bis März 1974 die Kieselsäurekonzentrationen mit etwa 2,6 mg/l die ganze Zeit über annähernd konstant, während sich zum Beispiel im Gnadensee zur gleichen Zeit fortlaufend bereits Verluste an  $\text{SiO}_2$  wahrscheinlich durch Inkorporation an Phytoplankton bemerkbar machten. Im Rheinsee gleichen sich offenbar solche Verluste durch die Reserve im grösseren Tiefenwasserkörper sowie durch den aus dem Obersee kommenden Rheinstrom aus. Erhebliche Abnahmen auch in grösseren und mittleren Tiefen wurden erstmals im Mai registriert. In der folgenden Sommerzeit wurde ein Konzentrationsgradient von der Oberfläche bis zum Seeboden aufrechterhalten. Nur an der Wasseroberfläche erreichte die Konzentration an  $\text{SiO}_2$  mit 0,2 mg/l eine Grössenordnung wie im Epilimnion des Gnadensees. Umgekehrt sind Anreicherungen im Tiefenwasser im Rheinsee unbedeutend gegenüber der im untersten Hypolimnion des Gnadensees festgestellten Zunahme. Dies steht offenbar mit der im Gnadensee zu beobachtenden stärkeren Abnahme des pH-Wertes über Grund im Zusammenhang. Nach Eintritt der Vollzirkulation glichen sich die Konzentrationsverhältnisse im Rheinsee wieder aus. Das bereits im Oktober erreichte Konzentrationsniveau von 2,2 mg/l lag jedoch wesentlich höher als im Gnadensee. Konzentrationssteigerungen traten bis zum Januar in der gesamten Wassermasse auf etwa 3 mg/l ein. Die anschliessende Abnahme auf 2,7 mg/l bis Ende März blieb gering. Damit war auch

etwa dieselbe Konzentration an  $\text{SiO}_2$  wie im März des vorangegangenen Jahres wieder erreicht worden.

## ANORGANISCHER KOHLENSTOFF UND KALK-KOHLensäURE-GLEICHGEWICHT

Auch für die jahreszeitlichen Veränderungen und vertikalen Unterschiede der Komponenten des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtes und für Gesamtkohlensäure gilt für den Rheinsee, dass die Unterschiede im Jahresverlauf weniger extrem sind als im Gnadensee (Abb. 36). Im Februar 1974 bestanden praktisch keine vertikalen Unterschiede, und die  $\text{TCO}_2$ -Konzentration betrug 2,36 mmol/l. Die Abnahme im Epilimnion zwischen Juni und September belief sich ganz ähnlich wie im Gnadensee auf Werte von 2,00 mmol/l oder darunter. Das Minimum von 1,88 mmol/l im September war weniger extrem als im Gnadensee (1,77 mmol/l im Juni und 1,83 mmol/l im September). Die hypolimnische Anreicherung erreichte ein Maximum von nur 2,45 mmol/l bei 22 m Tiefe im September (gegenüber 3,09 mmol/l im Gnadensee). Dem Konzentrationsausgleich während des Oktobers bei 2,26 mmol/l folgte im Rheinsee ähnlich wie im Gnadensee eine alsbaldige Zunahme, die im Februar bei etwa 2,50 mmol/l ihren Höhepunkt erreicht hatte. Die chemischen Unterschiede zwischen Oberfläche und Tiefenwasser (44 m) waren im Rheinsee weniger extrem als im Gnadensee, und zwar betragen sie bei der Leitfähigkeit 235/265 Mikrosiemens  $\text{cm}^{-1}$ , beim pH 8,50/7,70, bei der freien Kohlensäure 0,000/0,098 mmol/l, bei der Alkalinität 2,04/2,27 mval/l und beim Kalzium 2,04/2,24 mval/l.

## CHEMISCHE INDIKATION VON PHYTOPLANKTONPRODUKTION

Da eine Auswertung der Phytoplanktonuntersuchungen des Rheinsees noch nicht vorliegt, mögen die Werte für partikulären Phosphor (PP) einen Anhaltspunkt für die Biomasseverteilung geben. Die PP-Werte im Rheinsee waren den im Gnadensee gemessenen

Konzentrationen sehr ähnlich mit geringen Werten im Winter und Anreicherungen in allen Wasserschichten in den übrigen Jahreszeiten (Abb. 37). Im Vergleich mit den Werten des Obersees in den gleichen Tiefen deuten sie auf höheres Produktionsniveau auch des Rheinsees hin. Das Maximum von PP im Epilimnion des Rheinsees lag sogar noch wesentlich höher (57 mg PP/m<sup>3</sup> an der Wasseroberfläche Anfang September) als vergleichsweise im Gnadensee. Im Jahresverlauf traten mehrere epilimnische Maxima auf, jedoch nicht gleichzeitig mit den Maxima im Gnadensee. Im Rheinsee war PP im Juni/Juli 1974 höher als in den Monaten zuvor, was im Gnadensee nicht zu beobachten war. Hingegen waren im Gegensatz zum Gnadensee die PP-Werte im März nicht besonders extrem. Die Maxima im September fielen in beiden Seeteilen zusammen. Gewisse Anreicherungen von PP im Tiefenwasser über Grund gegen Ende der Stagnationsperiode konnten im Rheinsee in ähnlicher Weise wie im Gnadensee beobachtet werden. Es sei jedoch nochmals betont, dass Schlussfolgerungen aus den PP-Konzentrationen auf Planktonbiomasseverteilung nur bedingt zulässig sind.

Im Rheinsee wurde das Maximum der Chlorophyllkonzentration im April 1974 bei 41 mg/m<sup>3</sup> beobachtet (Abb. 28). Die Konzentrationen entsprachen sonst etwa denjenigen des Gnadensees. Im Sommer 1974 wurde allerdings im Rheinsee ein wesentlich höheres Konzentrationsmaximum gemessen (20 mg/m<sup>3</sup>).

#### WEITERE CHEMISCHE PARAMETER

Die Untersuchungen im Rheinsee (zum Teil auch am Gnadensee und Zeller See) lassen erkennen, dass der Untersee für einige andere chemische Parameter keine besonders erheblichen Abweichungen von der Situation im Obersee aufweist. Dies trifft z.B. für die Konzentrationen an Chlorid, Sulfat, Magnesium, Natrium, Kalium und den Kaliumpermanganatverbrauch zu. Die Werte für Natrium und Chlorid sind gegenüber dem Obersee um

etwa 1 mg, die für Natrium ungefähr 0,5 mg/l erhöht, was mit der Abwassereinleitung der Stadt Konstanz in den Seerhein in Verbindung stehen dürfte.

Wegen der zeitweise geringen Sauerstoffgehalte im Tiefenwasser ist im Bodensee-Untersee mit der Anreicherung von gelösten Schwermetallen im Hypolimnion durch Rücklösung aus den Sedimenten zu rechnen. Auf dem Höhepunkt des Sauerstoffschwundes im September 1974 war eine solche Anreicherung deutlich für Eisen und Mangan festzustellen. Die Konzentrationen betragen maximal  $49 \text{ mg Fe/m}^3$  und  $50 \text{ mg Mn/m}^3$  in 45 m Tiefe. Anreicherungen an den Schwermetallen Cadmium, Kupfer, Zink, Blei und Chrom über die im Bodensee-Obersee beobachtete Grössenordnung wurden zu diesem Zeitpunkt nicht festgestellt. Während der vorangegangenen Sommerzeit wurden allerdings in einigen Fällen, insbesondere bodennah, vergleichsweise etwas höhere Konzentrationen an Schwermetallen wie im Oberseewasser gemessen, zum Beispiel Maxima von Zink mit  $67 \text{ mg/m}^3$ , von Blei mit  $4 \text{ mg/m}^3$ , von Chrom mit  $3,5 \text{ mg/m}^3$  und von Kupfer mit  $10 \text{ mg/m}^3$ .

## Z E L L E R S E E

Das thermische und chemische Verhalten des Zeller Sees ähnelt sehr stark dem des Gnadensees.

Der Wärmegewinn des Zeller Sees war während des Sommers 1974 grösser als im Gnadensee. Im August wurde ein Temperaturmaximum von  $22,3^\circ$  an der Seeoberfläche erreicht. In 15 m Tiefe betrug die Temperatur  $15,7^\circ$  (gegenüber  $11,0^\circ$  im Gnadensee), in 20 m Tiefe  $11,9^\circ$  (gegenüber  $8,7^\circ$  in 21 m Tiefe des Gnadensees). Dementsprechend ergibt sich auch ein etwas höheres Temperaturniveau bei Beginn der Vollzirkulationsperiode im Oktober ( $11,6^\circ$  Wasseroberfläche,  $10,7^\circ$  23 m Tiefe) als im Gnadensee.

Während der Zirkulationsperioden bestanden im Sauerstoffgehalt des Zeller Sees keine wesentlichen Unterschiede zum Gnadensee. In der Stagnationsperiode war das Ausmass des Sauerstoffschwundes im Hypolimnion geringer als im Gnadensee. Der Bereich totalen Sauerstoffschwundes beschränkte sich auf Tiefen unter 20 m und auf den Zeitraum von August bis Anfang Oktober. Oberflächliche Übersättigungserscheinungen traten hingegen im Zeller See in stärkerer Masse auf als im Gnadensee. Sauerstoffkonzentrationen von über 14 mg/l wurden Ende Juni (165 % O<sub>2</sub>-Sättigung) und im September (171 % O<sub>2</sub>-Sättigung) im Zeller See erreicht. Ein weitgehender Konzentrationsausgleich des Sauerstoffs und eine Wiederbelüftung des Tiefenwassers durch Vollzirkulation trat im Zeller See ebenso wie im Gnadensee Anfang Oktober ein.

Die Situation der anderen chemischen Parameter entsprach weitgehend dieser grundsätzlichen Schichtungssituation. Nitrat und Nitrit waren im sauerstofffreien Tiefenwasser während der Stagnationsperiode nicht vorhanden. Auch war Nitrit an der Wasseroberfläche wie im Gnadensee bis zum September 1974 vollständig aufgezehrt worden. Das Konzentrationsniveau an Nitrat-N war am Beginn des Seejahres im Zeller See mit etwa 1150 mg/m<sup>3</sup> wesentlich höher als im Gnadensee. Es ist zu vermuten, dass im Gnadensee wegen der stärkeren Sauerstoffaufzehrung Verluste an Stickstoffverbindungen im Wasser durch Denitrifikation eintreten und das Wasser im Zyklus des Stickstoffkreislaufes im Gnadensee daher weniger anorganische Stickstoffverbindungen enthält als im Zeller See. Auffallend waren die zeitweise auch im Winter auftretenden hohen Nitratkonzentrationen in den bodennahen Wasserschichten des Zeller Sees vermutlich als Folge der Oxidation von Ammonium im Tiefenwasser, was im Gnadensee nicht beobachtet werden konnte. Die zunehmende Anreicherung des Hypolimnion mit Ammonium während der Stagnationszeit, die im Zeller See im anaeroben Bereich ähnlich wie im Gnadensee zu Konzentrationsanreicherungen von über 1500 mg/m<sup>3</sup> Ammonium führte, blieb nämlich im

Gegensatz zum Gnadensee auch nach Einsetzen der Vollzirkulation im Zeller See unter 20 m noch längere Zeit erhalten und dürfte daher auch die Quelle dieser winterlichen Nitratanreicherung im Tiefenwasser sein. Im Laufe der Winterszeit gleichen sich diese extremen Konzentrationsunterschiede weitgehend aus und es kam zu einem Absinken der  $\text{NH}_4\text{-N}$ -Werte. Im bodennahen Tiefenwasser blieb jedoch eine Anreicherung selbst bis zum Monat März noch erhalten. Zu dieser Zeit war im Zeller See bis zu 20 m (im Gnadensee in allen Tiefen) Ammonium bis zur Nachweisbarkeitsgrenze von  $10 \text{ mg/m}^3$  verschwunden. In 24 m wurden jedoch noch  $90 \text{ mg/m}^3$  gemessen.

Die Orthophosphatkonzentrationen im Zeller See lagen im Januar 1974 mit  $84 \text{ mg/m}^3$  im gleichen Niveau wie im Gnadensee. Bis Anfang März 1974 waren die Phosphate im Gnadensee etwas stärker aufgezehrt als im Zeller See ( $63 \text{ mg/m}^3$ ). Auch die Verluste im oberflächennahen Wasser an Orthophosphat blieben im Zeller See etwas hinter denen des Gnadensees zurück und Orthophosphat blieb ständig nachweisbar, wenn auch im Julinur mit der sehr geringen Konzentration von  $2 \text{ mg/m}^3$ . Orthophosphatanreicherungen im Tiefenwasser traten während der Stagnationszeit ebenfalls im Zeller See auf. Die Konzentrationen erreichten mit  $464 \text{ mg/m}^3$  im September in 24 m Tiefe fast das gleiche Ausmass wie zur selben Zeit im Gnadensee in 21 m. Die anschliessende Vollzirkulation führte auch im Zeller See zu einem weitgehenden Konzentrationsausgleich und mit dem Gnadensee identischem Konzentrationsniveau von  $74 \text{ mg/m}^3$  im Dezember 1974. Bei vertikal homochemischen Verhältnissen während der Wintermonate Anfang 1975 wurde im März 1975 wieder das gleiche  $\text{PO}_4\text{-P}$ -Niveau erreicht wie im vorausgegangenen Jahr, nämlich bei  $63 \text{ mg/m}^3 \text{ PO}_4\text{-P}$ , was im Vergleich zum Gnadensee bedeutet, dass die Orthophosphataufzehrung im ersten Vierteljahr 1975 auch im Zeller See wieder geringer war als im Gnadensee.

Hinsichtlich der Kieselsäure zeigte sich in der Vertikalverteilung ein dem Gnadensee sehr ähnliches Bild, das insbesondere in der Sommerzeit durch den starken Konzentrationsrückgang in oberflächlichen Wasserschichten, die im Zeller See bis Mitte Juli allerdings auch noch in 15 m deutlich spürbar blieb, gekennzeichnet war, ebenfalls durch einen Konzentrationsanstieg im Bereich des sauerstofffreien Tiefenwassers. Das Konzentrationsniveau war ähnlich wie beim Phosphat während der Zirkulationsperiode im Zeller See deutlich höher als im Gnadensee. Wie im Gnadensee traten auch im Zeller See während der ersten drei Monate des Jahres 1975 Konzentrationsminderungen in allen Wasserschichten ein. Das Ende März 1975 erreichte Niveau von 2,7 mg/l  $\text{SiO}_2$  war deutlich höher als das von 1,6 mg/l im Gnadensee. In der Verteilung des partikulären Phosphors, die weitgehend durch die Inkorporation von Orthophosphat im Phytoplankton gegeben ist, wies der Zeller See recht ähnliche Verhältnisse zum Gnadensee auf, zum Beispiel in den hohen Werten von über  $30 \text{ mg/m}^3$  im März oder auch den oberflächlichen Anreicherungen im August und September. Zwischenzeitliche Minima wie Ende 1974 oder Mitte Juli 1974 waren ebenfalls zeitidentisch im Auftreten in Zeller See und Gnadensee. Im Zeller See war allerdings eine Konzentrationsanreicherung im Februar festzustellen, die nicht in dem Masse im Gnadensee auftrat. Erhöhte Werte in bodennahen Schichten in der zweiten Sommerhälfte lagen ebenfalls im Zeller See vor. Die Vollzirkulation im Oktober führte auch hier zur Aufhebung der vertikalen Unterschiede, und in der Verringerung der Konzentrationen von PP im Dezember und im Januar 1974/75 waren beide Seeteile ebenfalls wieder identisch.

Die Chlorophyllkonzentrationen lagen im Zeller See meist im Bereich der für den Gnadensee festgestellten Werte, im Sommer mitunter wesentlich höher (Abb. 28).

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

Nach den Untersuchungsergebnissen besitzt der Untersee trotz der räumlichen Nähe zum Obersee und der Tatsache des unmittelbaren Einstromes von Oberseewasser durch den Seerhein einen selbständigen Charakter und ein weitgehend eigenes limnologisches Regime. Die Eigenständigkeit ist vor allem durch die vom Frühjahr bis zum Herbst dauernde Schichtungssituation gegeben, die im Untersee zu einem drastischen Absinken des Sauerstoffgehaltes im Hypolimnion stellenweise bis zum völligen Sauerstoffschwund und damit andersgearteten Verhältnissen in den chemischen Kreisläufen führt. Ein Ausgleich der chemischen Verhältnisse ist daher allenfalls im Zustand der Vollzirkulation des Wassers beider Seeteile zu erwarten. Diese tritt im Untersee sehr rasch, nämlich noch im Herbst, ein, während der vertikale Konzentrationsausgleich im Wasser des Obersees mitunter, wenn überhaupt, erst zum Frühjahr hin erfolgt. Ein Vergleich der chemischen Verhältnisse zu Anfang des Jahres an den Untersuchungsstationen Hagnau-Münsterlingen im Obersee und Berlingen im Untersee zeigt, dass z.B. Orthophosphat zu Beginn des Jahres 1974 im Untersee in höherer Konzentration als im Obersee vorlag, während beim Nitrat die Verhältnisse umgekehrt waren. Ein Konzentrationsausgleich zwischen Obersee und Untersee war für Orthophosphat im Februar 1974 bei etwa  $67 \text{ mg/m}^3$  und ebenfalls für Nitrat bei  $870 \text{ mg/m}^3$  festzustellen. Danach verminderten sich die Konzentrationen dieser Nährstoffe im Untersee schnell gegenüber dem Obersee. Zu diesem Zeitpunkt lag jedoch der Gehalt des Unterseewassers an  $\text{TCO}_2$  (um ca.  $0,1 \text{ mval/l}$ ), an Kalzium (um ca.  $0,15 \text{ mval/l}$ ), an freier  $\text{CO}_2$  (um  $0,025 \text{ mval/l}$ ) und  $\text{SiO}_2$  (um  $0,7 \text{ mg/l}$ ) deutlich niedriger, während zum Beispiel die Konzentrationen an  $\text{NH}_4\text{-N}$  (um ca.  $60 \text{ mg/m}^3$ ),  $\text{NO}_2\text{-N}$  (um  $8 \text{ mg/m}^3$ ) und pH-Wert ( $8,5$  gegenüber  $7,8$ )

deutlich höher waren. Die Eigenständigkeit des Untersees überformt mithin das hydrochemische Bild des aus dem Obersee abströmenden Wassers das ganze Jahr über sehr stark.

## ZUSAMMENFASSUNG

Die Ergebnisse der Freiwasseruntersuchungen im Zeitraum von Januar 1974 bis März 1975 lassen erkennen, dass sich die Zustandsänderung des ursprünglich oligotrophen Bodensee-Obersees weiter in Richtung auf den eutrophen Gewässertyp hin bewegt hat. Dies wird durch die Konzentrationserhöhung von Orthophosphat im Freiwasser von durchschnittlich etwa  $5 \text{ mg P/m}^3$  im Laufe des Seejahres 1974/75 (auf etwa  $70 \text{ mg/m}^3$ ) angezeigt. Die Phytoplanktonentwicklung war zeitweise beträchtlich (Höchstwert der Biomasse  $1,8 \text{ mg/l}$ ). Infolgedessen wurde das Orthophosphat zeitweise bis auf weniger als  $0,5 \text{ mg P/m}^3$  aufgezehrt. Phosphor ist daher nach wie vor als produktionsbegrenzender Faktor für Phytoplanktonentwicklung im Bodensee-Obersee anzusehen.

Infolge der Planktonentwicklung kam es zu Sauerstoffübersättigungen im Epilimnion bis zu 126 %. Durch mikrobiellen Abbau der Biomasse wurde der Sauerstoffhaushalt des Sees beträchtlich belastet. Sauerstoffminima im Metalimnion und Aufzehrung des Sauerstoffs im tiefen Hypolimnion bis zu 39 % des Sättigungswertes ( $4,8 \text{ mg O}_2/\text{l}$ ) waren die Folge.

Die Wiederbelüftung des Tiefenwassers im Winter 1974/75 blieb unvollkommen. Die Vorbelastung des Sauerstoffhaushaltes für das folgende Seejahr war im März und April 1975 grösser als im Frühjahr zuvor.

Vom Standpunkt des Gewässerschutzes muss die Zustandsentwicklung des Obersees in der Berichtsperiode als ungünstig angesehen werden.

Der Untersee zeigte in dieser Zeit ein typisches Zustandsbild eutropher Seen mit zeitweise vollständigem Sauerstoffschwund im Tiefenwasser im Gnadensee und Zeller See und mit geringem Sauerstoffrestgehalt im Hypolimnion des Rheinsees. Auch im

Untersee ist Phosphor als produktionsbegrenzender Faktor anzusehen und im Epilimnion zeitweise bis unter die Nachweisbarkeitsgrenze aufgezehrt. Phosphorverbindungen aus dem Seeboden wurden in erheblichem Masse zum Zeitpunkt des vollständigen Sauerstoffschwundes freigesetzt und führten zu Konzentrationsanreicherungen im Hypolimnion bis zu etwa 500 mg P/m<sup>3</sup>. Anreicherungstendenzen an Nährstoffen zwischen dem Frühjahr 1974 und Frühjahr 1975 waren nicht erkennbar. Die Wiederbelüftung des Tiefenwassers im Winter 1974/75 war vollständig.

Tabelle 1 (1)

Normal-Tiefenserien an den Stationen

Fischbach-Uttwil: 0, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 150, 200,  
250 m

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

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

Überlingen: 0, 10, 30, 50, 100, 115, 125, 135, 143 m

Tabelle 1 (2)

UNTERSUCHUNGSTERMINE JANUAR 1974 BIS MÄRZ 1975

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

UNTERSEE-STATION			OBERSEE-STATION		
7. 1.1974	G	Z	9. 1.1974		Ü
16. 1.		R	16. 1.		L
6. 2.	G		22. 1.	F H	
11. 2.		R	12. 2.		L
14. 2.		Z	18. 2.		Ü
4. 3.	G	Z	19. 2.	F H	
11. 3.		R	12. 3.		L
2. 5.	G	Z	19. 3.	F H	Ü
6. 5.		R	3. 4.		L
27. 5.	G	Z	23. 4.	F H	Ü
29. 5.		R	7. 5.		L
24. 6.		R	14. 5.	F H	
26. 6.	G	Z	29. 5.		Ü
11. 7.		R	11. 6.	H	
15. 7.	G	Z	12. 6.		L
12. 8.		R	18. 6.	F	
19. 8.	G	Z	25. 6.		Ü
2. 9.		R	9. 7.	F H	
16. 9.	G	Z	15. 7.		L
1.10.		R	23. 7.		Ü
14.10.	G	Z	6. 8.		L
30.10.		R	13. 8.	F H	
11.11.	G	Z	28. 8.		Ü
27.11.		R	10. 9.	F H	
4.12.	G	Z	12. 9.		L
16.12.		R	25. 9.		Ü

9. 1.1975	G	Z		8.10.	F	H		
20. 1.			R	14.10.			L	
27. 1.	G	Z		30.10.				Ü
17. 2.	G	Z		5.11.	F	H		
24. 2.			R	12.11.			L	
20. 3.	G	Z		27.11.				Ü
23. 3.			R	3.12.	F	H		
				10.12.			L	Ü
				7. 1.1975	F	H		
				9. 1.			L	
				29. 1.				Ü
				4. 2.	F	H		
				12. 2.			L	
				26. 2.				Ü
				4. 3.	F	H		
				12. 3.			L	
				20. 3.				Ü

Tabelle 1 (3)

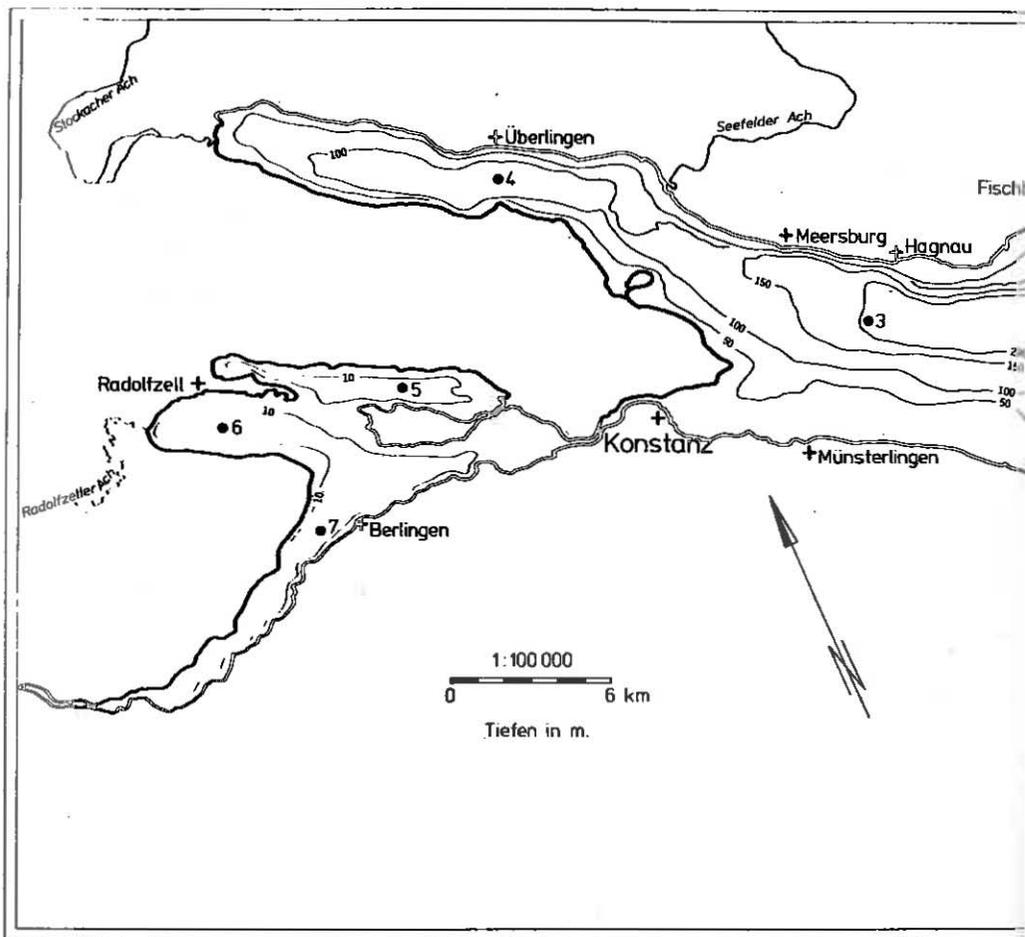
Liste der bestimmten Inhaltsstoffe für die Untersuchungsstationen Fischbach-Uttwil (F), Hagnau-Münsterlingen (H), Überlingen (Ü), Langenargen-Arbon (L), Gnadensee (G), Zeller See (Z) und Berlingen (B)

Temperatur in Grad Celsius	F	H	Ü	L	G	Z	B
Leitfähigkeit in Mikrosiemens bei 20°C (umgerechnet mit Korrekturtabelle Bodensee	F	H	Ü		G	Z	B
pH (Aktivität)	F	H	Ü		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 <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub>	F	H		L	G	Z	B
o-Phosphat-Phosphor in mg/m <sup>3</sup>	F	H	Ü	L	G	Z	B
Total Phosphor im Filtrat (nach Aufschluss) in mg/m <sup>3</sup>	F	H	Ü	L	G	Z	B
Totaler Phosphor im Rohwasser (nach Aufschluss) in mg/m <sup>3</sup>	F	H		L	G	Z	B
partikulärer Phosphor (P-TOT - P-FIL)	F	H		L	G	Z	B
hydrolysierbarer Phosphor (berechnet (P-FIL - PO <sub>4</sub> -P)	F	H	Ü	L	G	Z	B

Ammonium-Stickstoff in $\text{mg/m}^3$	F	H	L	G	Z	B	
Nitrit-Stickstoff in $\text{mg/m}^3$	F	H	L	G	Z	B	
Nitrat-Stickstoff in $\text{mg/m}^3$	F	H	Ü	L	G	Z	B
Kjeldahl-Stickstoff im Filtrat in $\text{mg/m}^3$	F	H	L	G	Z	B	
Kjeldahl-Stickstoff im Rohwasser in $\text{mg/m}^3$			L				
partikulärer Stickstoff direkt (Stickstoff in $\text{mg/m}^3$ auf dem Filter			L				
"organischer Stickstoff" berechnet (im Filtrat (N-KJF - $\text{NH}_4\text{-N}$ ) in $\text{mg/m}^3$	F	H	L	G	Z	B	
Chlorophyll (a) nach Goltermann in $\text{mg/m}^3$	F	H		G	Z	B	
Phaeophytin nach Goltermann in $\text{mg/m}^3$	F	H		G	Z	B	
Coliforme Keime auf ENDO-Agar LES bei $37^\circ\text{C}$ Keime/100ml	F	H					
Streptokokken auf m-Enterococcus Agar Keime/100ml	F	H					
Chlorid-Ion in $\text{mg/l}$	F	H	L	G	Z	B	
Sulfat-Ion in $\text{mg/l}$	F	H	L	G	Z	B	
Fe in $\text{mg/m}^3$		H	L	G	Z	B	
Mn in $\text{mg/l}$		H	L			B	
Cd in $\text{mg/m}^3$		H					
Cu in $\text{mg/m}^3$		H					
Zn in $\text{mg/m}^3$		H					
Pb in $\text{mg/m}^3$		H					
Cr in $\text{mg/m}^3$		H					
Na in $\text{g/m}^3$		H	L				
K in $\text{g/m}^3$		H	L				

total organischer Kohlenstoff im Filtrat in $\text{g/m}^3$	F	H	Ü				
total organischer Kohlenstoff im Rohwasser in $\text{g/m}^3$	F						
$\text{KMnO}_4$ -verbrauch in $\text{mg/l}$	F			L			
Chemischer Sauerstoffbedarf in $\text{mg O}_2/\text{l}$			Ü		G	Z	B
Trübung			Ü				
Extinktion bei 240 nm	F		Ü	L	G	Z	B





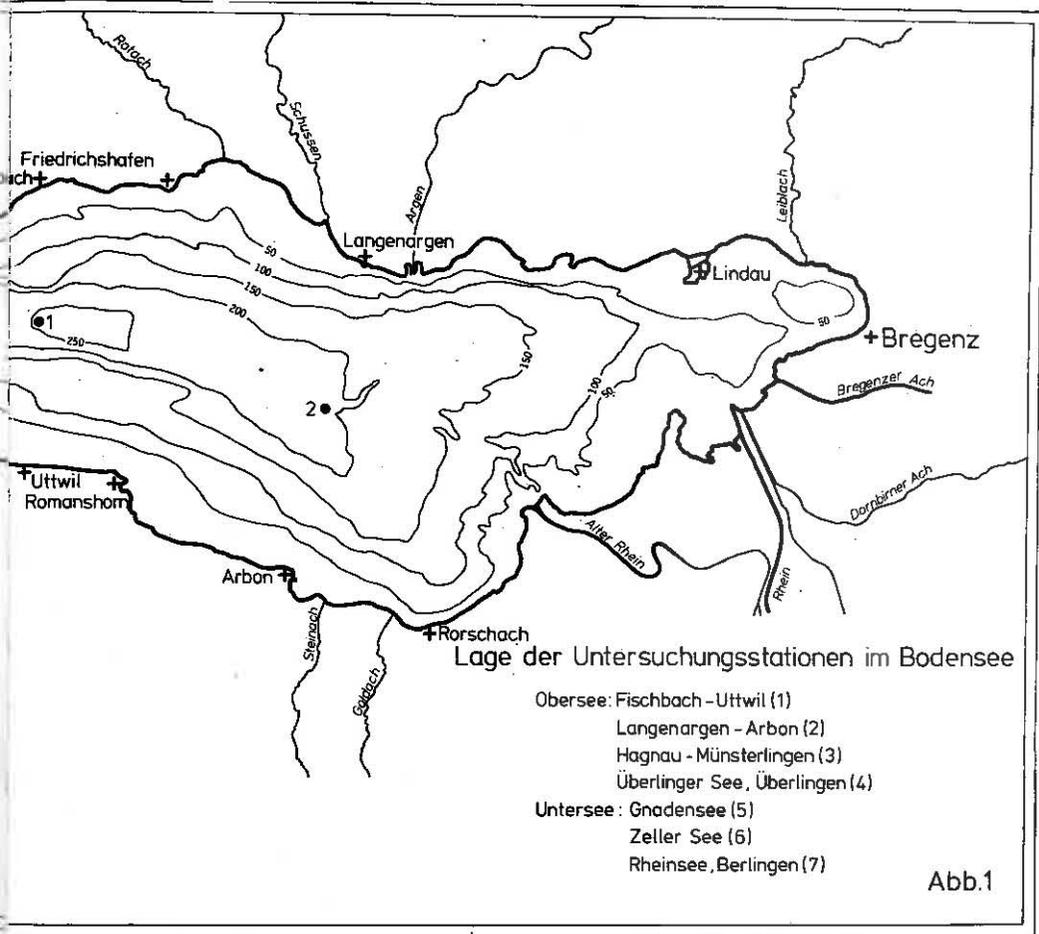
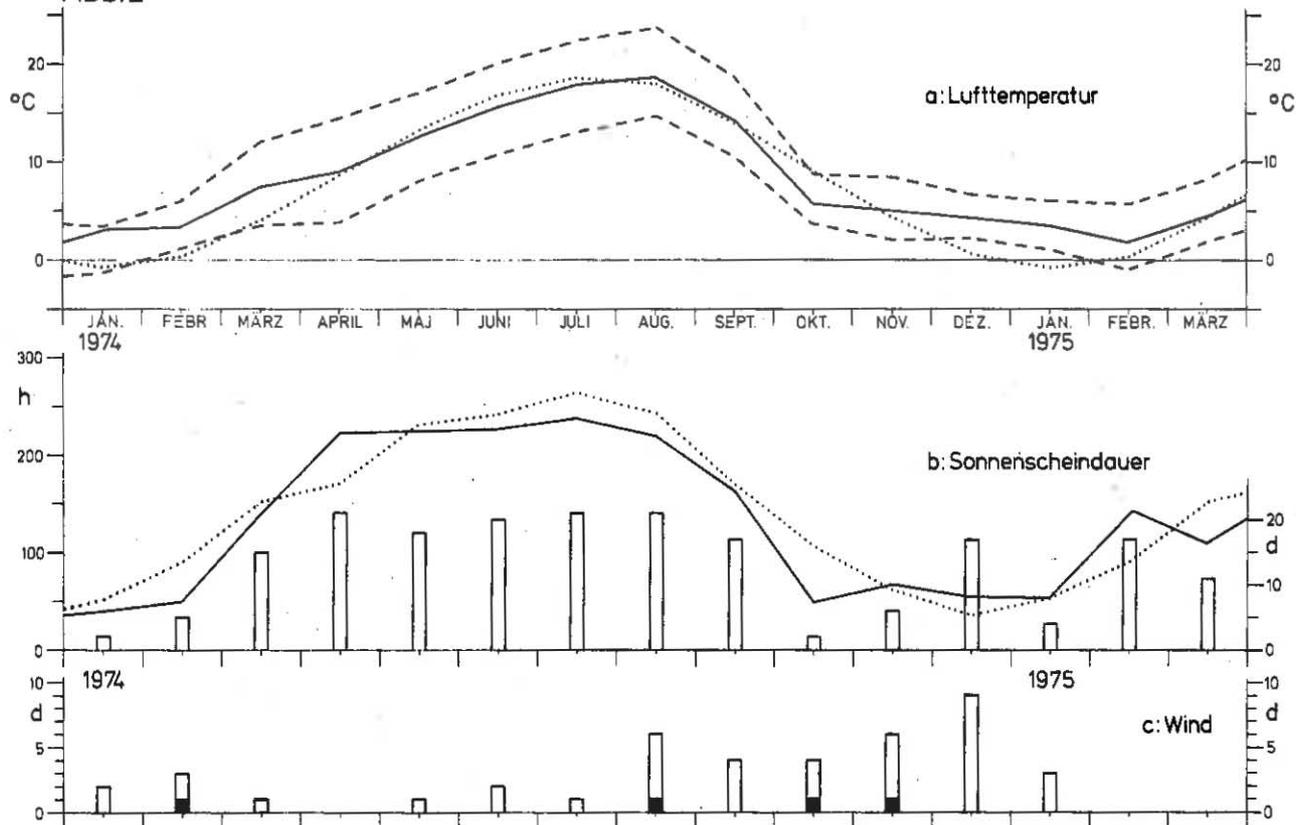


Abb.1

Abb.2



Monatliche Klimadaten der Wetterstation Friedrichshafen 1974/1975

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

Abb.3

Wasserstand am Pegel Konstanz 1974 / 1975

— mittlerer monatl. Wasserstand

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

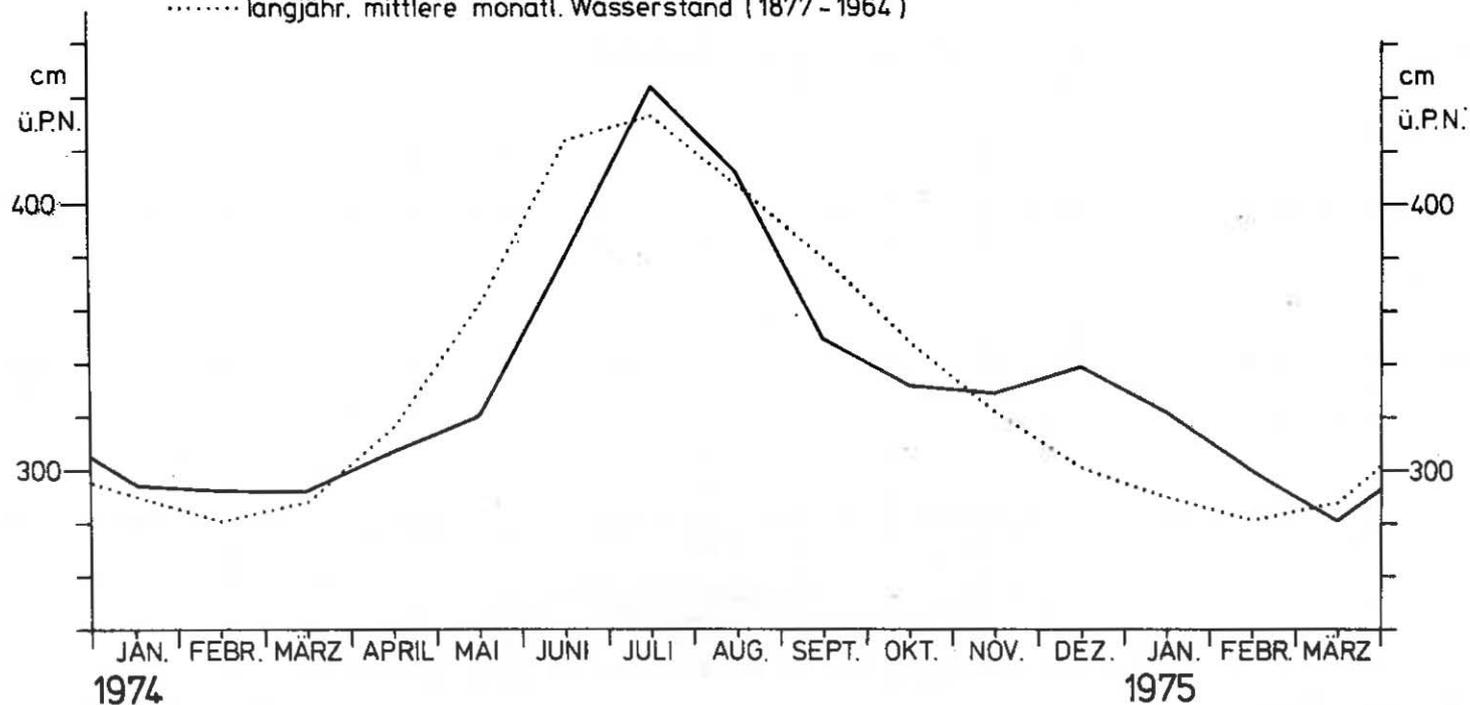


Abb.4

Fischbach - Uttwil

Temperatur °C

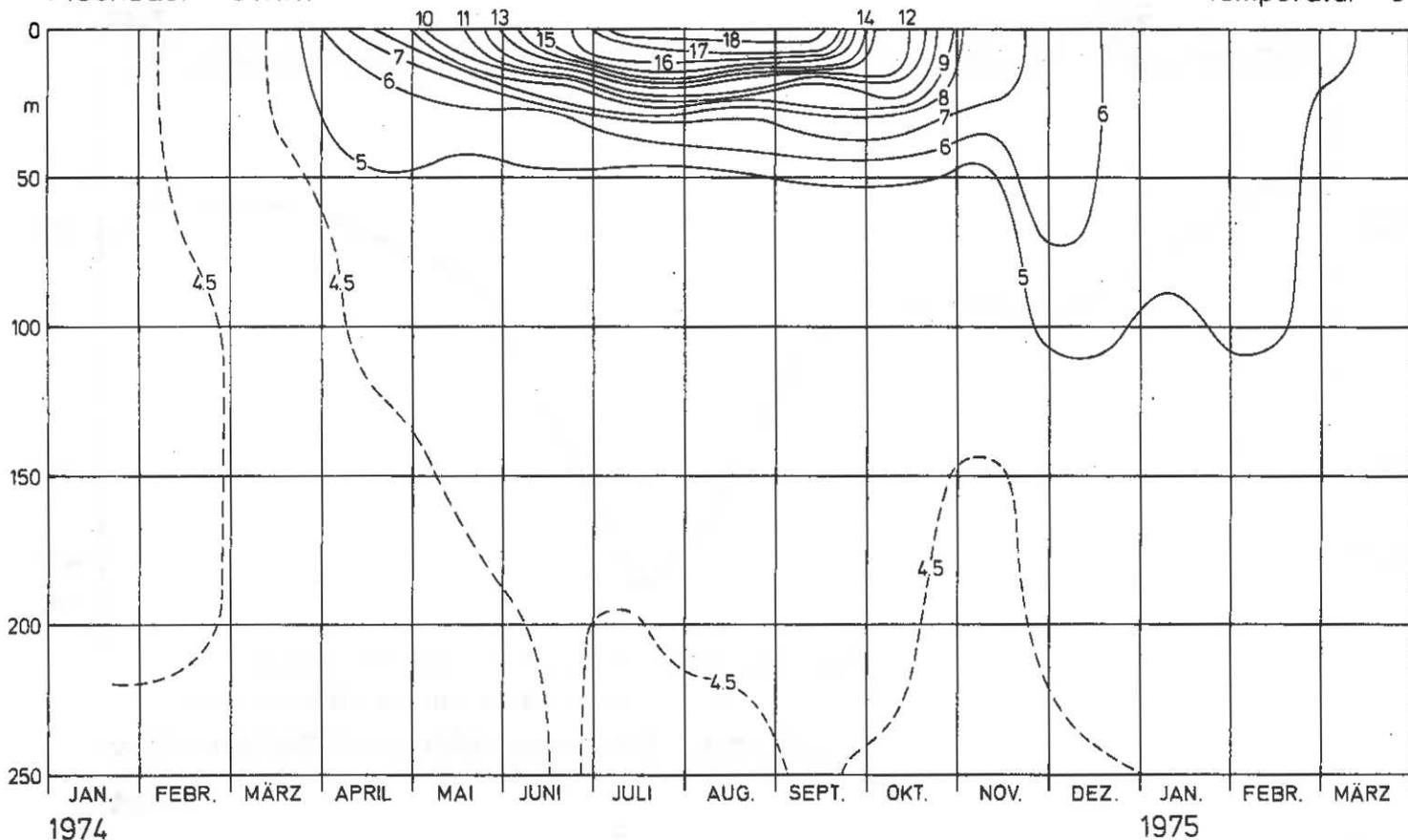


Abb.5

Fischbach - Uttwil

O<sub>2</sub> mg / l

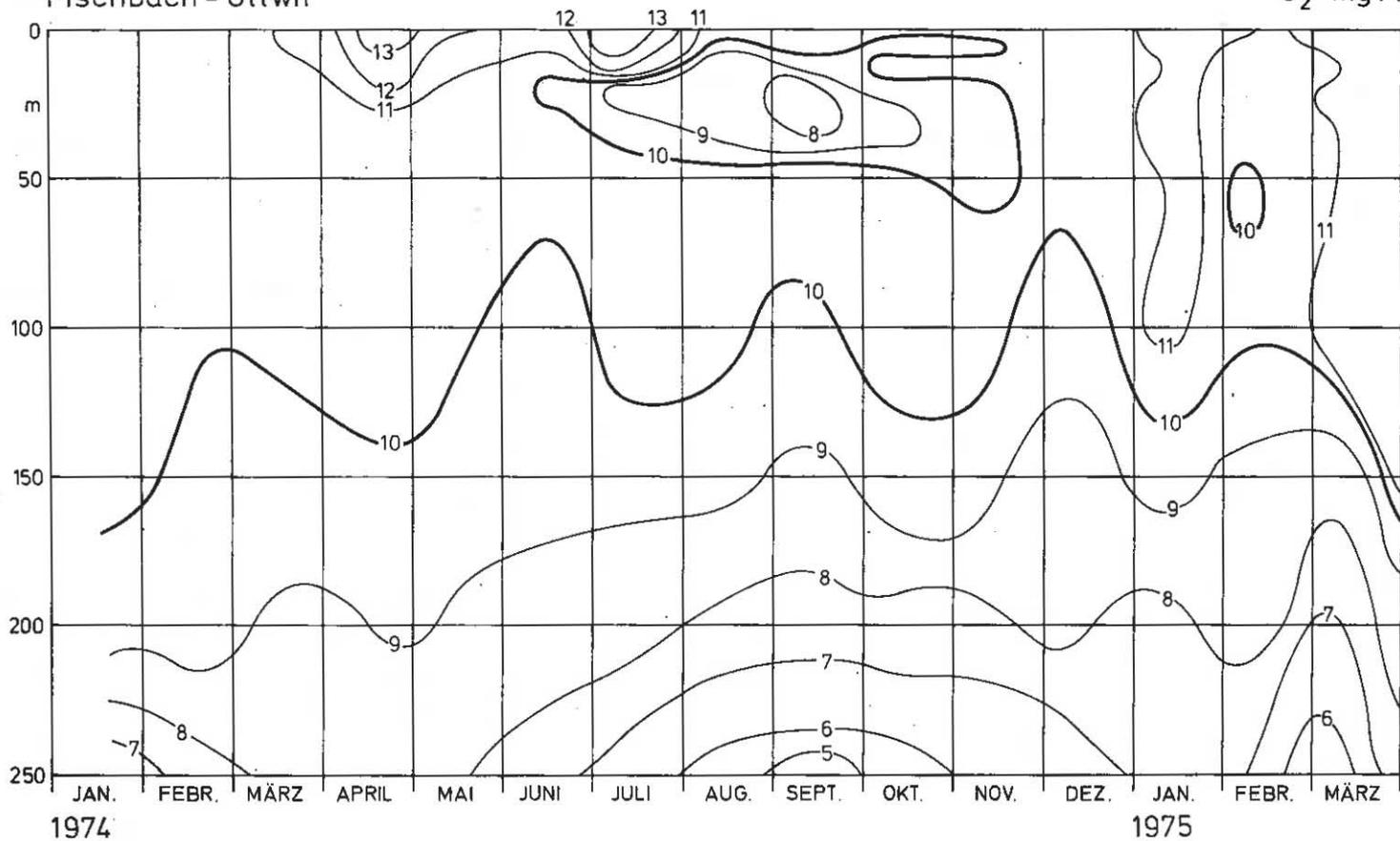


Abb.6

Fischbach - Uttwil

PO<sub>4</sub>-P mg/m<sup>3</sup>

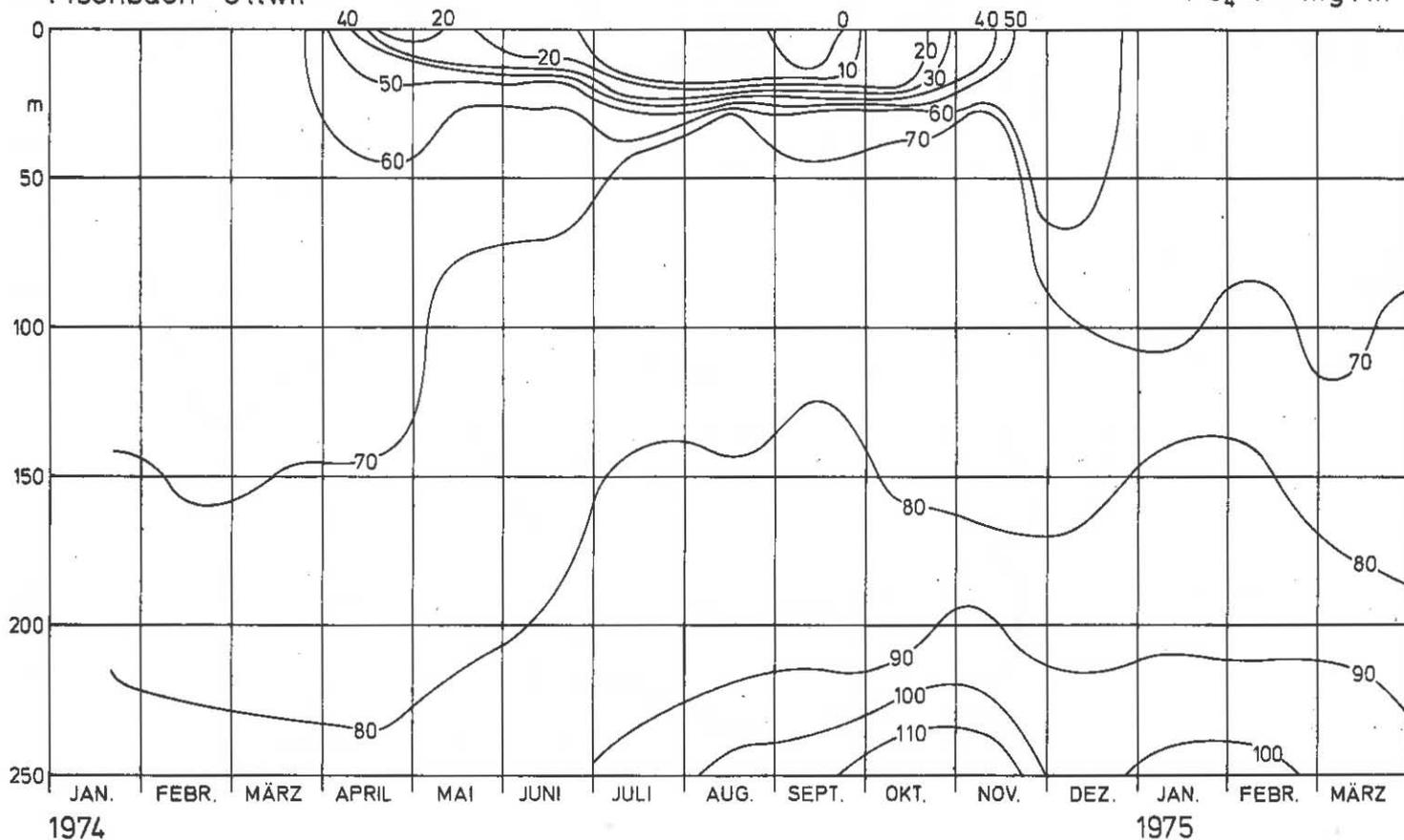


Abb.7

Fischbach - Uttwil

NO<sub>3</sub>-N mg/m<sup>3</sup>

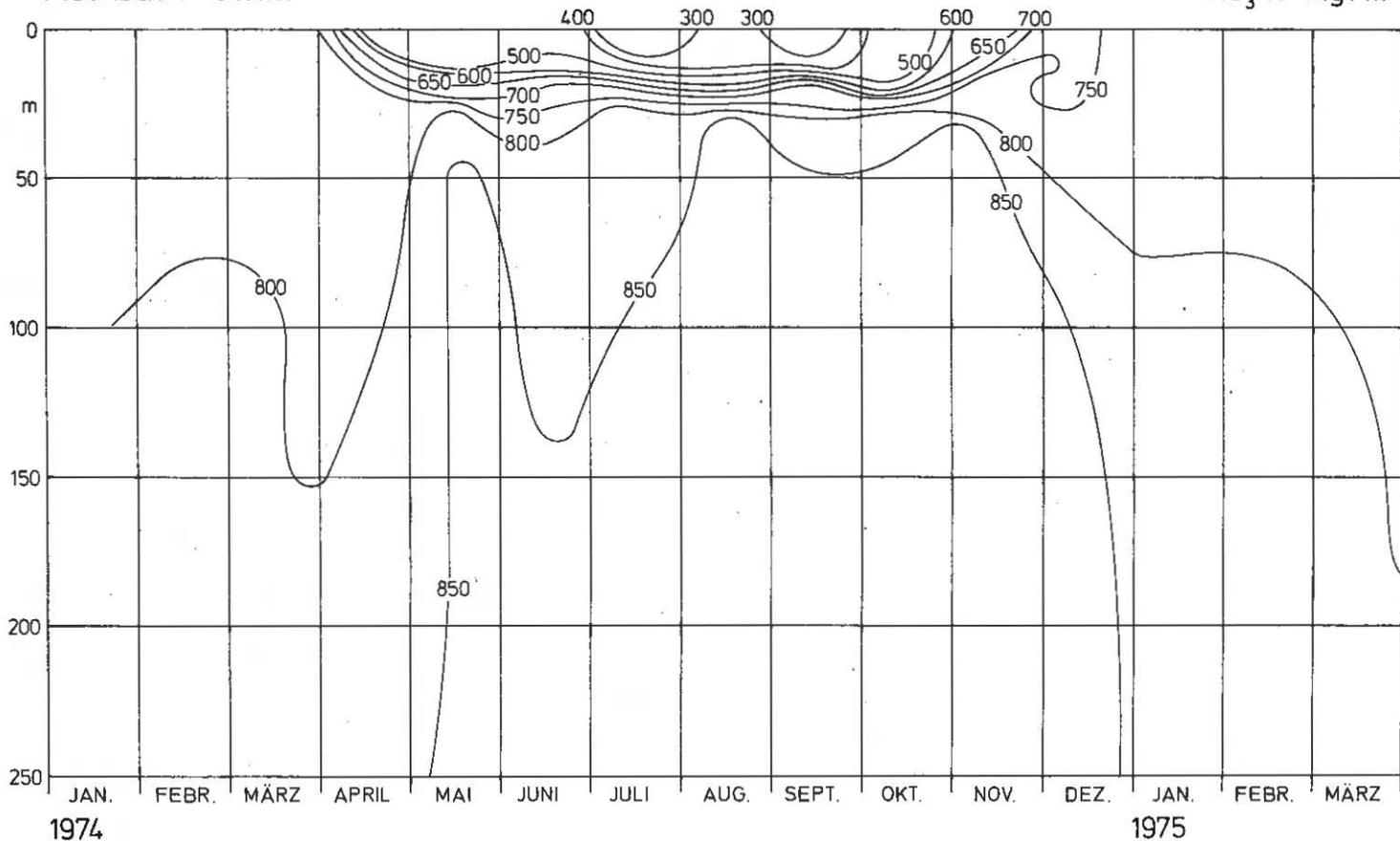


Abb. 8

Fischbach - Uttwil

SiO<sub>2</sub> mg / l

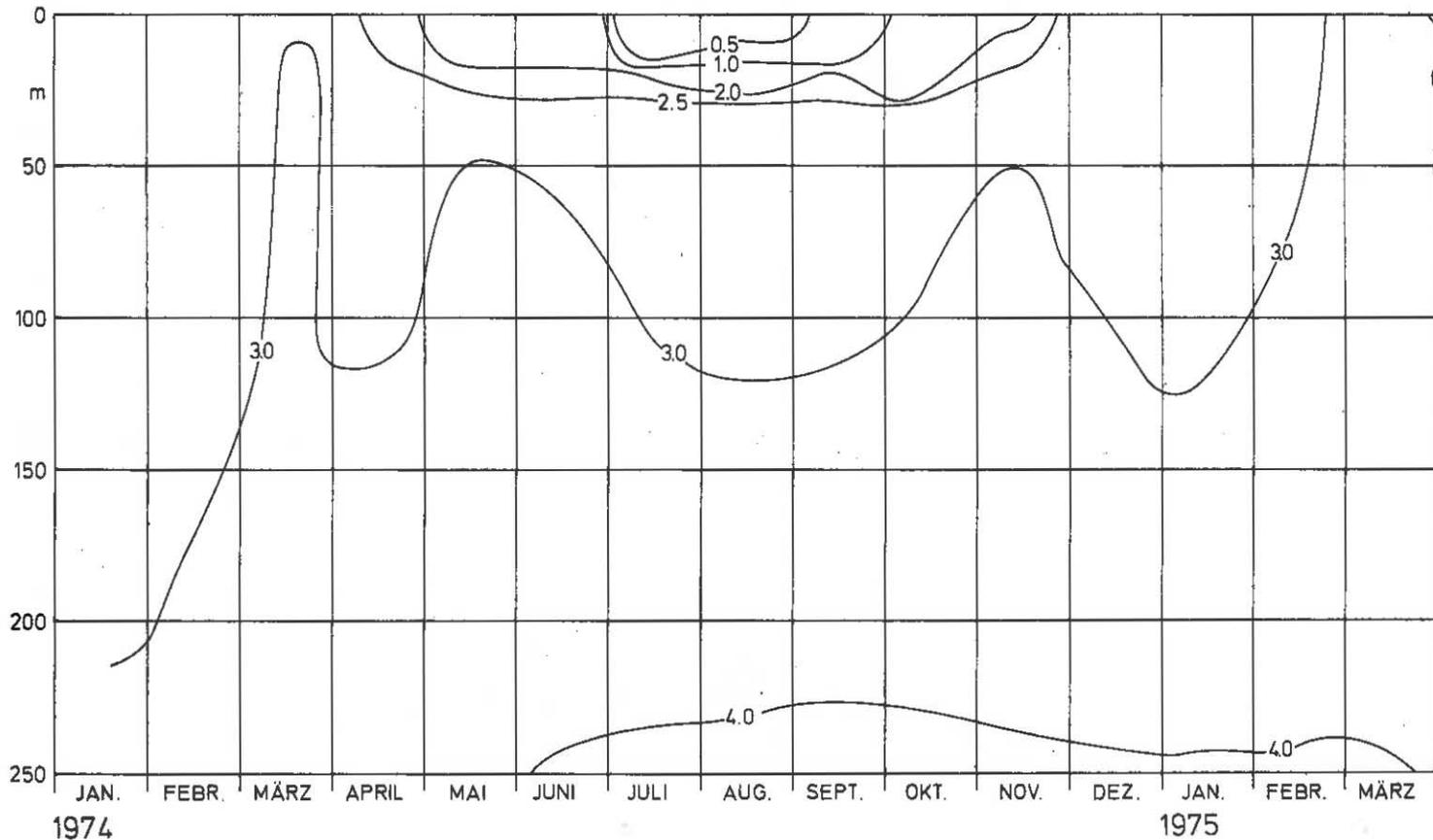


Abb.9

Fischbach - Uttwil

anorg.C mmol/l

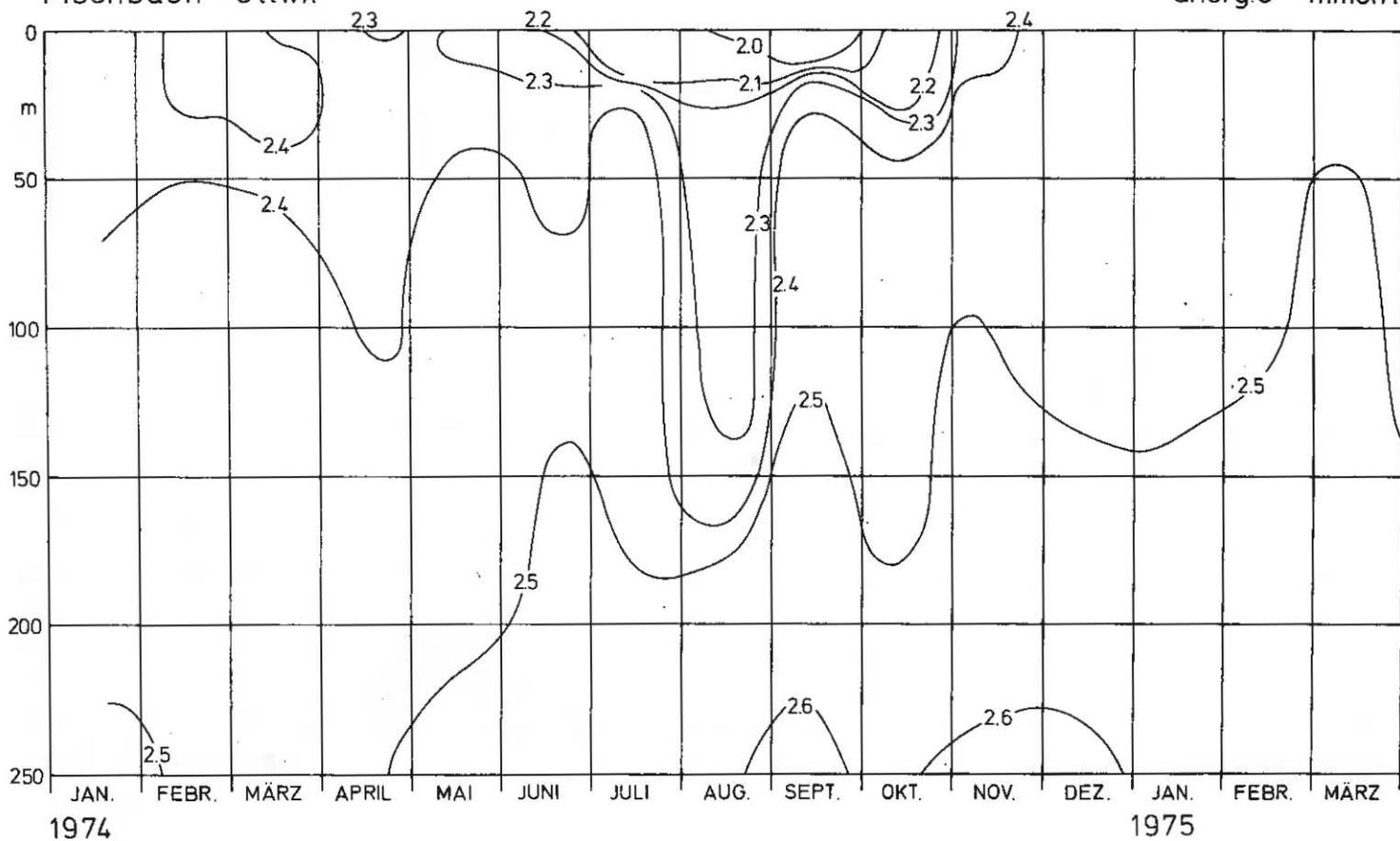
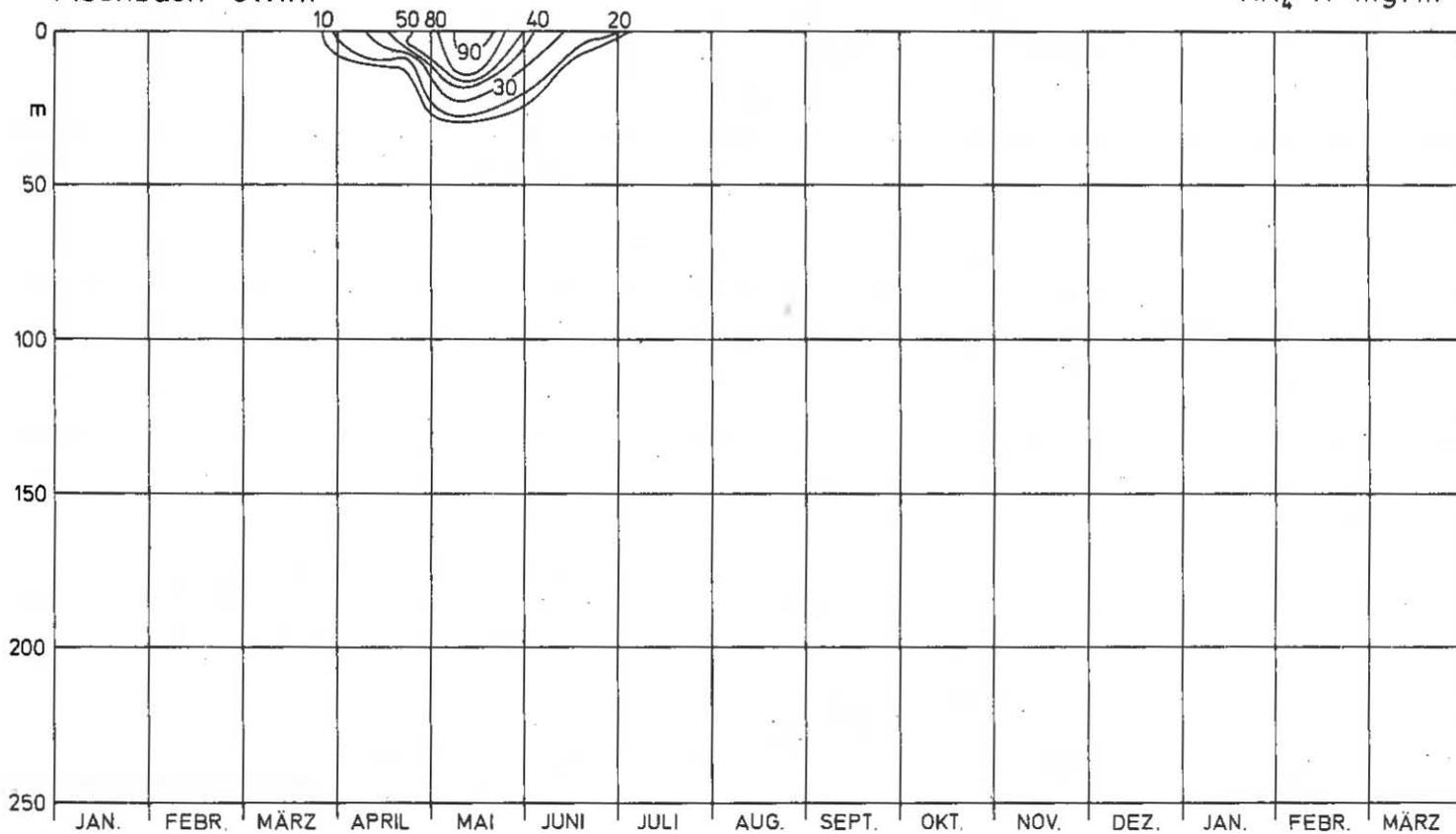


Abb.10

Fischbach - Uttwil

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



1974

1975

Abb.11

Fischbach - Uttwil

NO<sub>2</sub>-N mg/m<sup>3</sup>

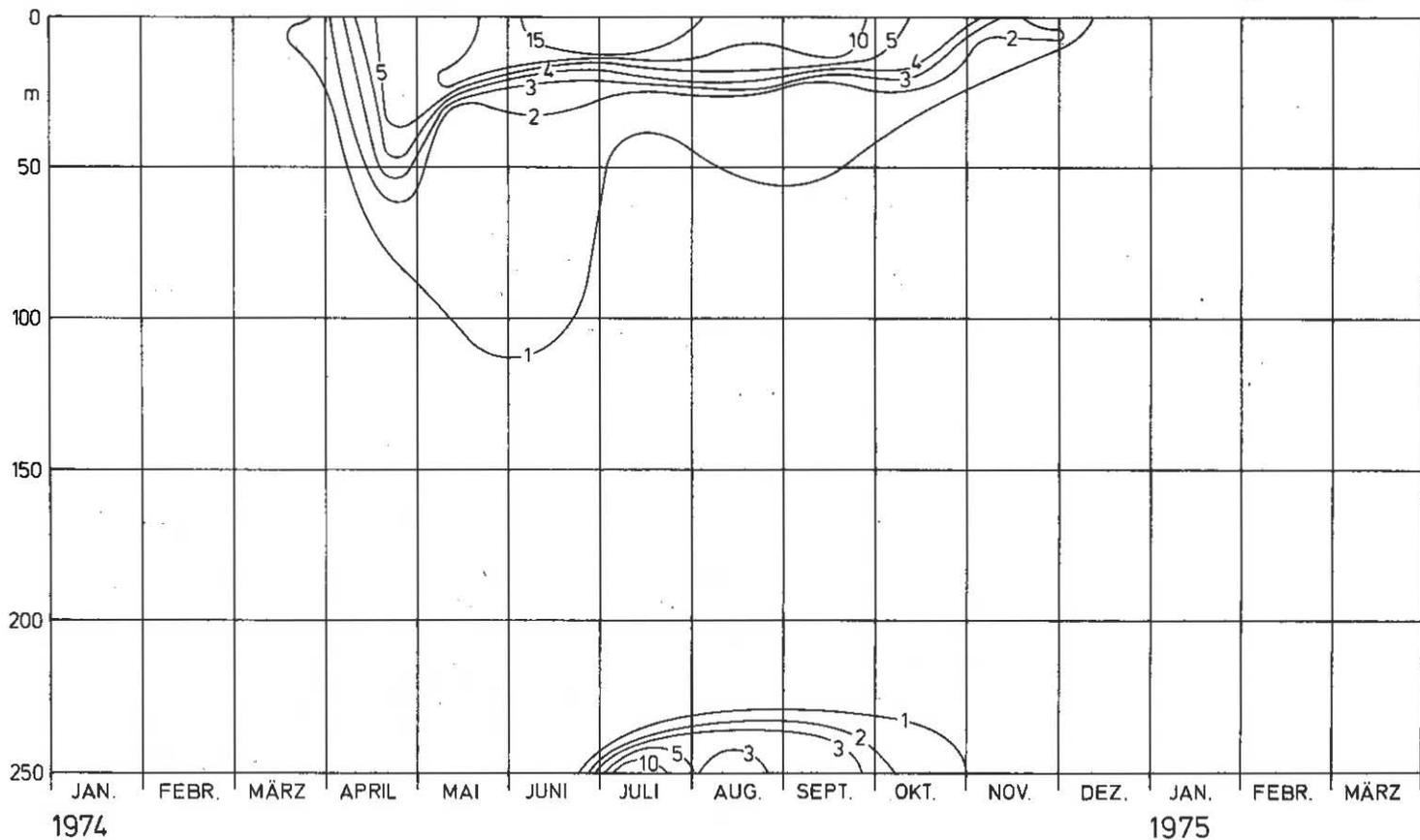


Abb.12

Fischbach - Uttwil

Part.-P  $\text{mg}/\text{m}^3$

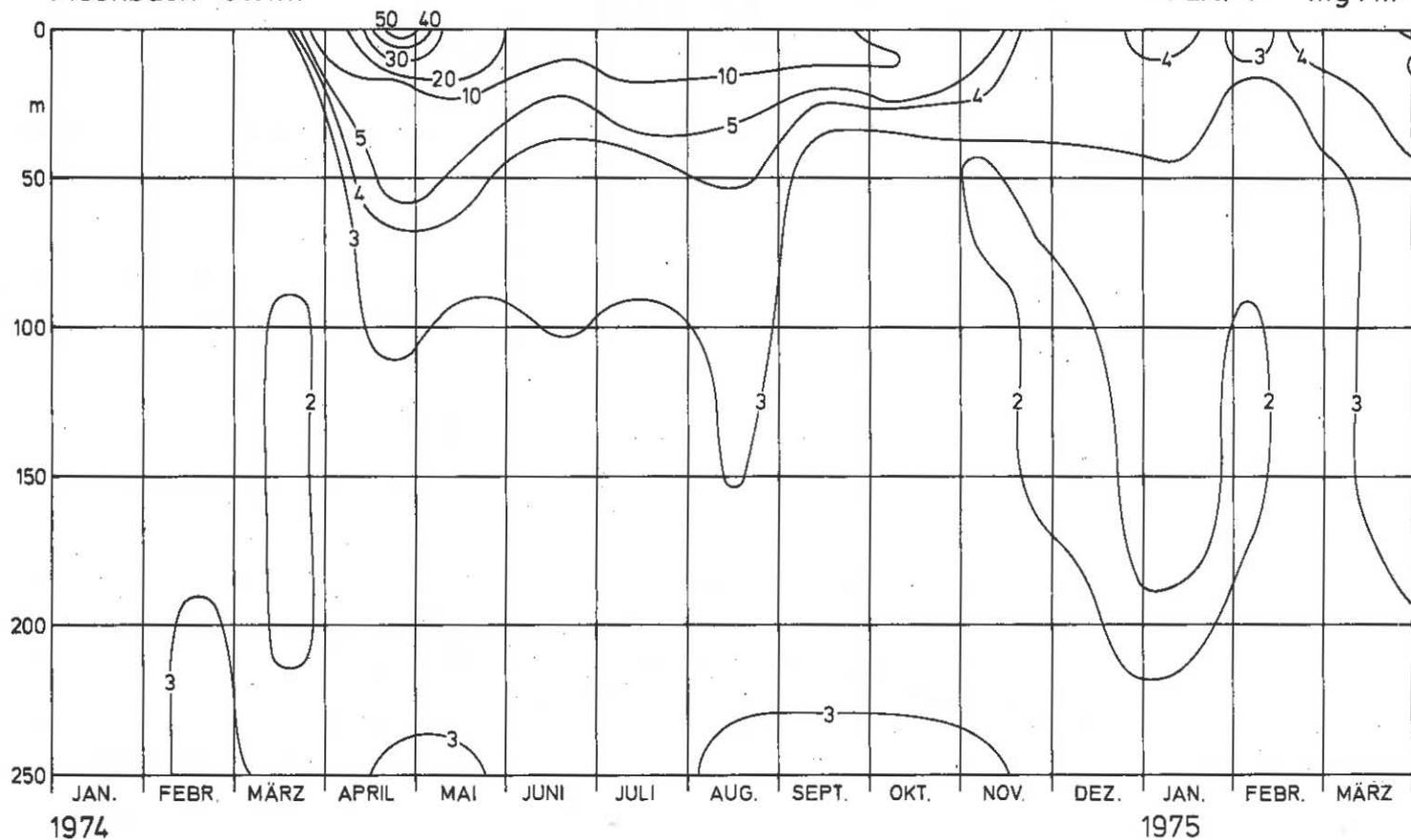
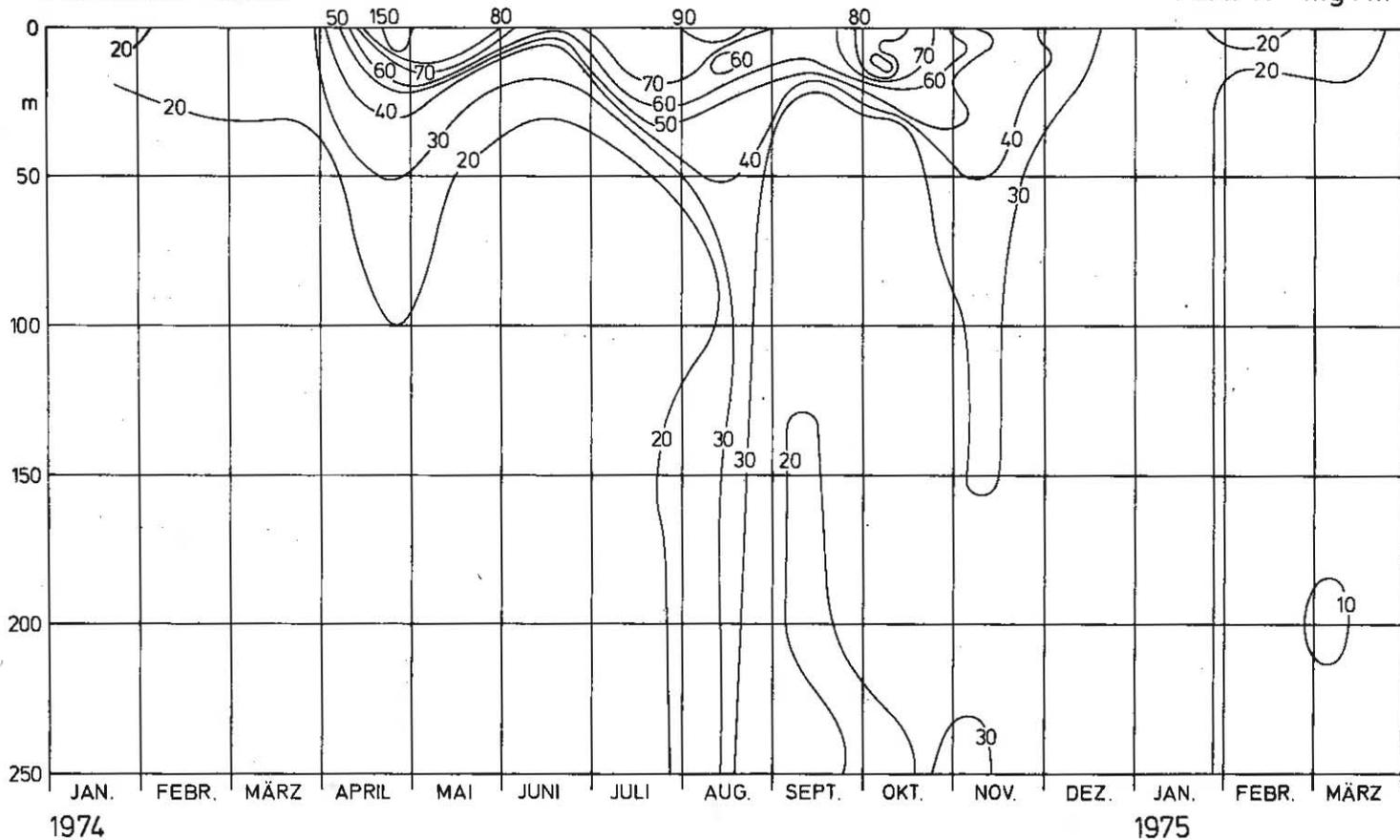


Abb.13

Fischbach - Uttwil

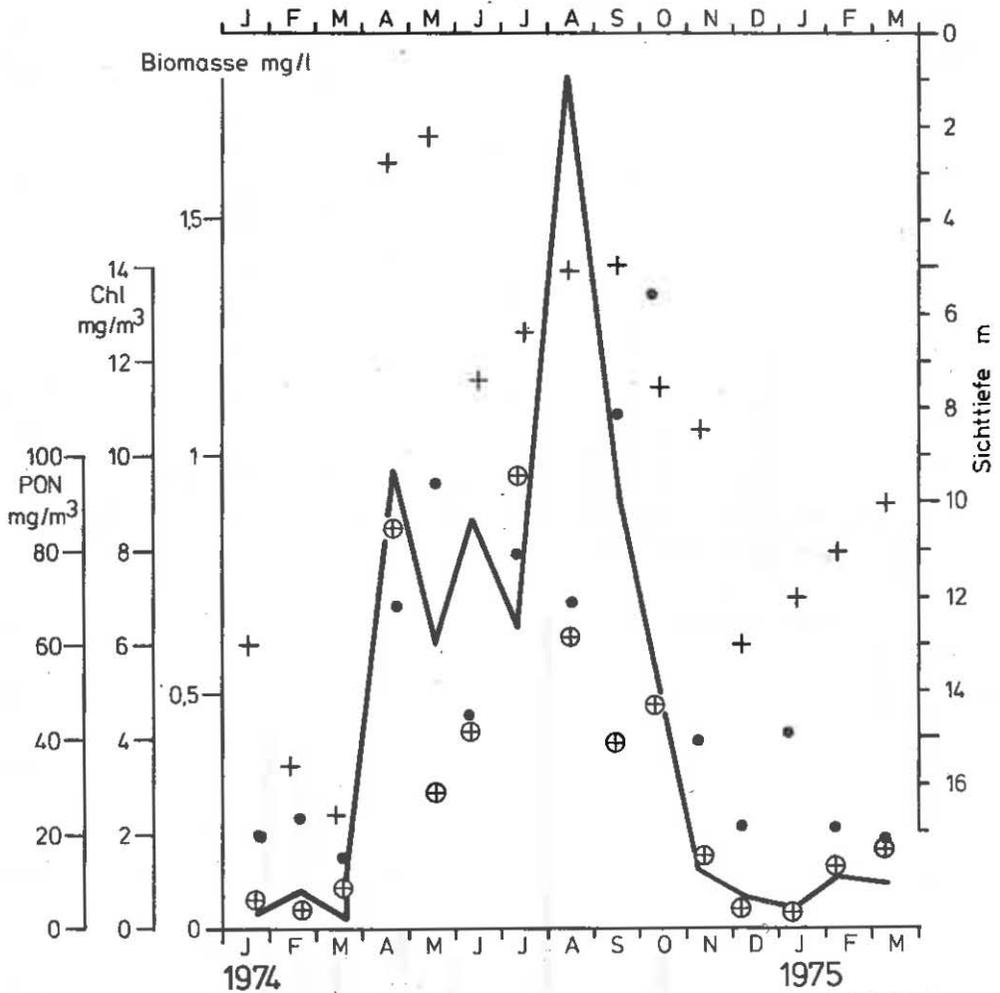
Part.-N  $\text{mg}/\text{m}^3$





# Abb.15

## Entwicklung der Planktonbiomasse



Station Hagnau - Münsterlingen 1974/1975  
(Mittelung von 0-30 m Tiefe)

- Part.org.N mg/m<sup>3</sup>
- Biomasse mg/l (Phytoplankton)
- ⊕⊕⊕ Chlorophyll mg/m<sup>3</sup>
- +++ Sichttiefe m

Hagnau-Münsterlingen

Abb.16

Phytoplankton-Biomasse

Mittlere Konzentration in der Schicht von 0-20 m Tiefe

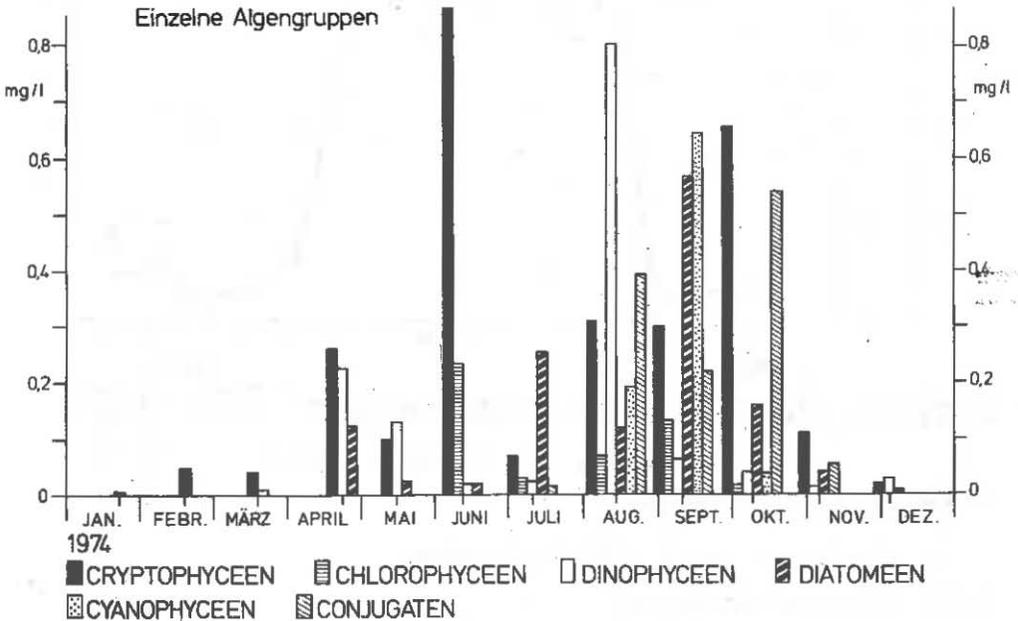
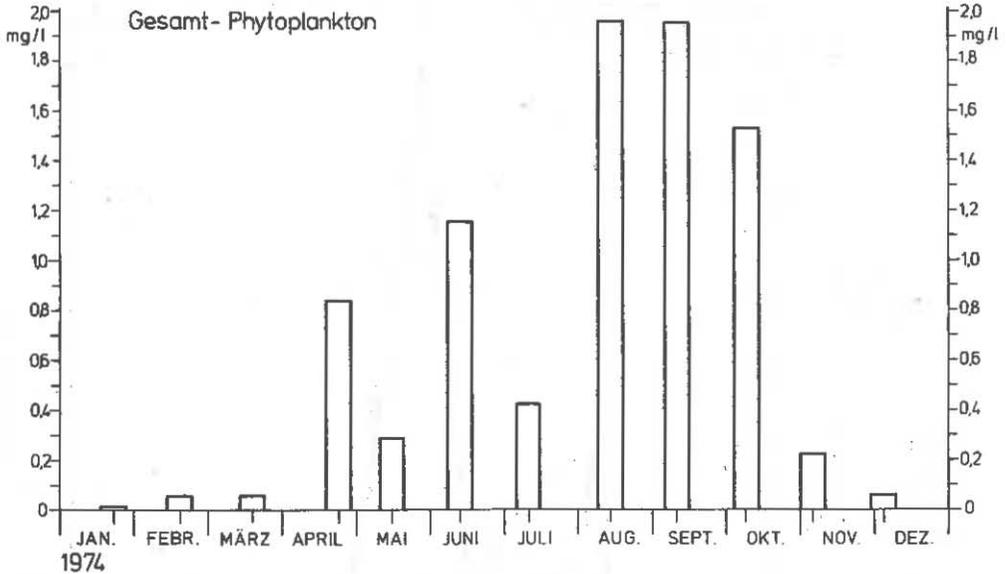
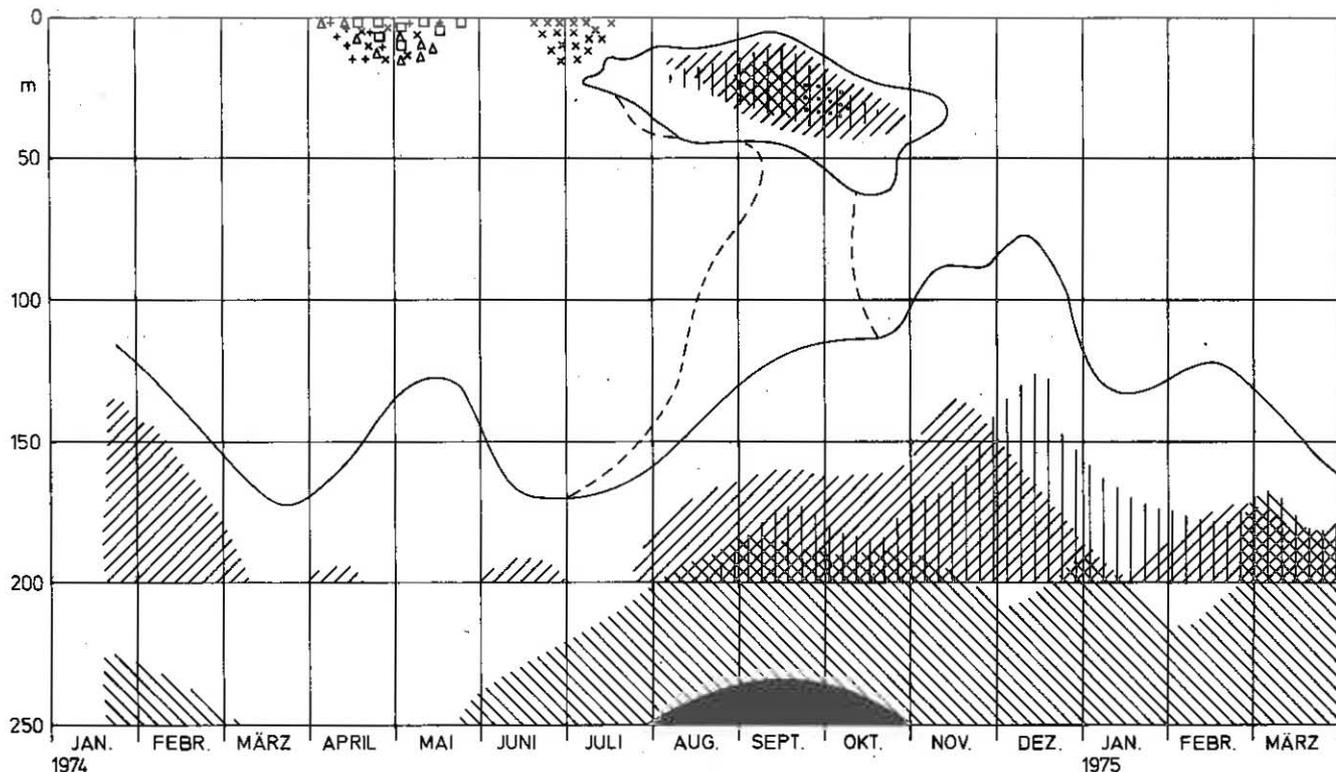


Abb.17

Bodensee - Obersee

Synoptische Übersicht über den Sauerstoffgehalt

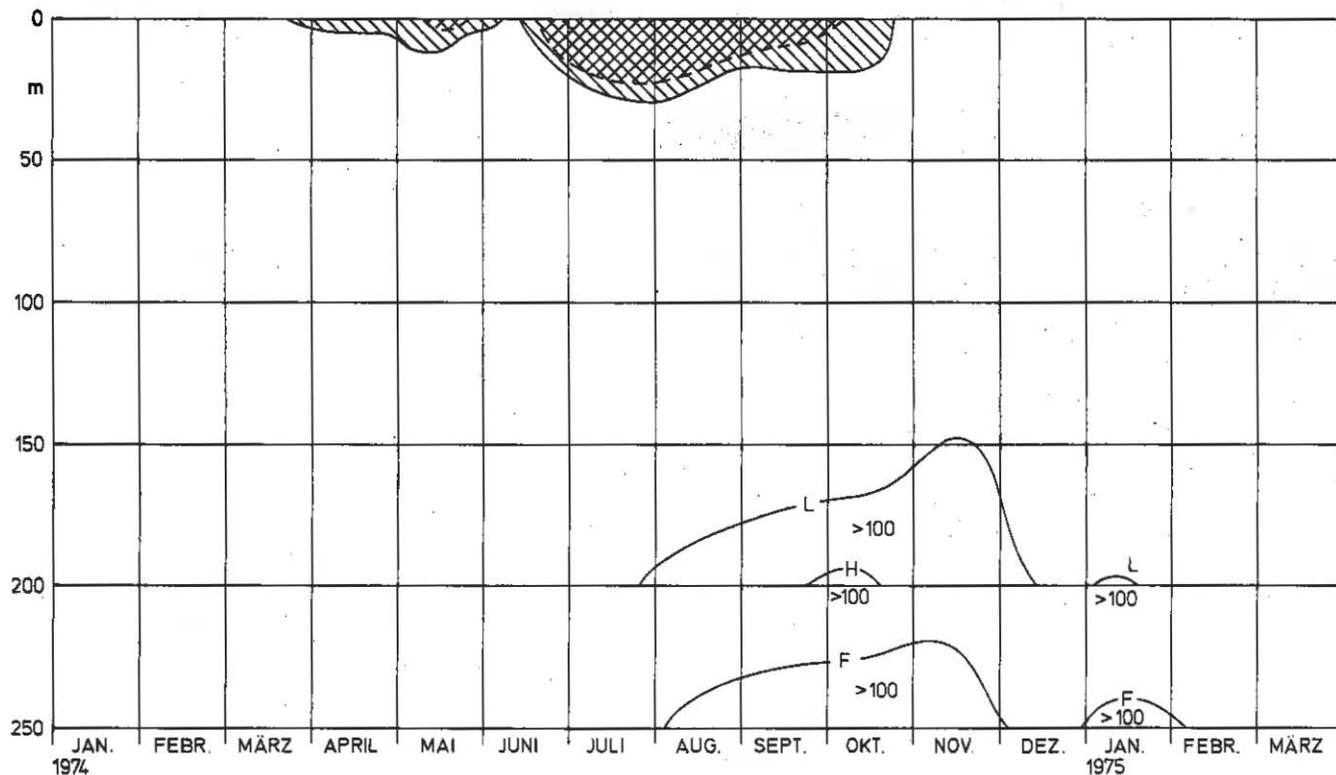


Sauerstoffgehalt		<8 mg/l	>12 mg/l	< 6 mg/l
Station:	Fischbach - Uttwil	////	+++++	■
	Langenargen - Arbon	////	△△△△	
	Hagnau - Münsterlingen		□□□□	
	Überlingen	•••••	xxxxxx	

Bereich, in dem der Sauerstoffgehalt an mindestens einer Untersuchungsstation kleiner als 9 mg/l ist:  
 — ohne Station Überlinger See,  
 - - - mit Station Überlinger See.

Abb.18  
Bodensee - Obersee

Synoptische Übersicht über die Aufzehrung und  
Akkumulation des Phosphates



Untersuchungsstationen:  
Langenargen - Arbon (L),  
Fischbach - Uttwil (F),  
Hagnau - Münsterlingen (H),  
Überlingen.

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



Abb.20

Gnadensee

O<sub>2</sub> mg / l

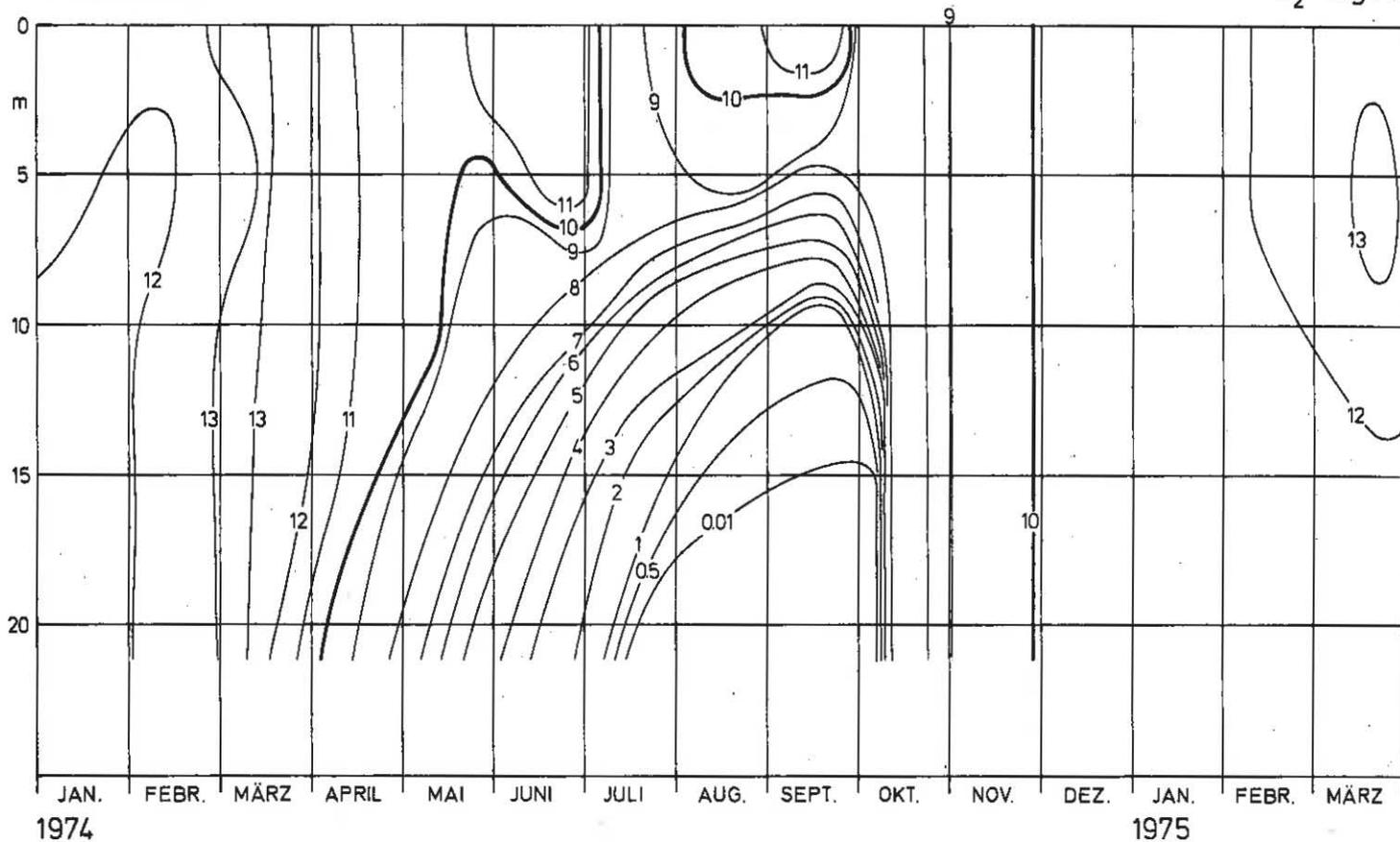


Abb.21

Gnadensee

PO<sub>4</sub>-P mg/m<sup>3</sup>

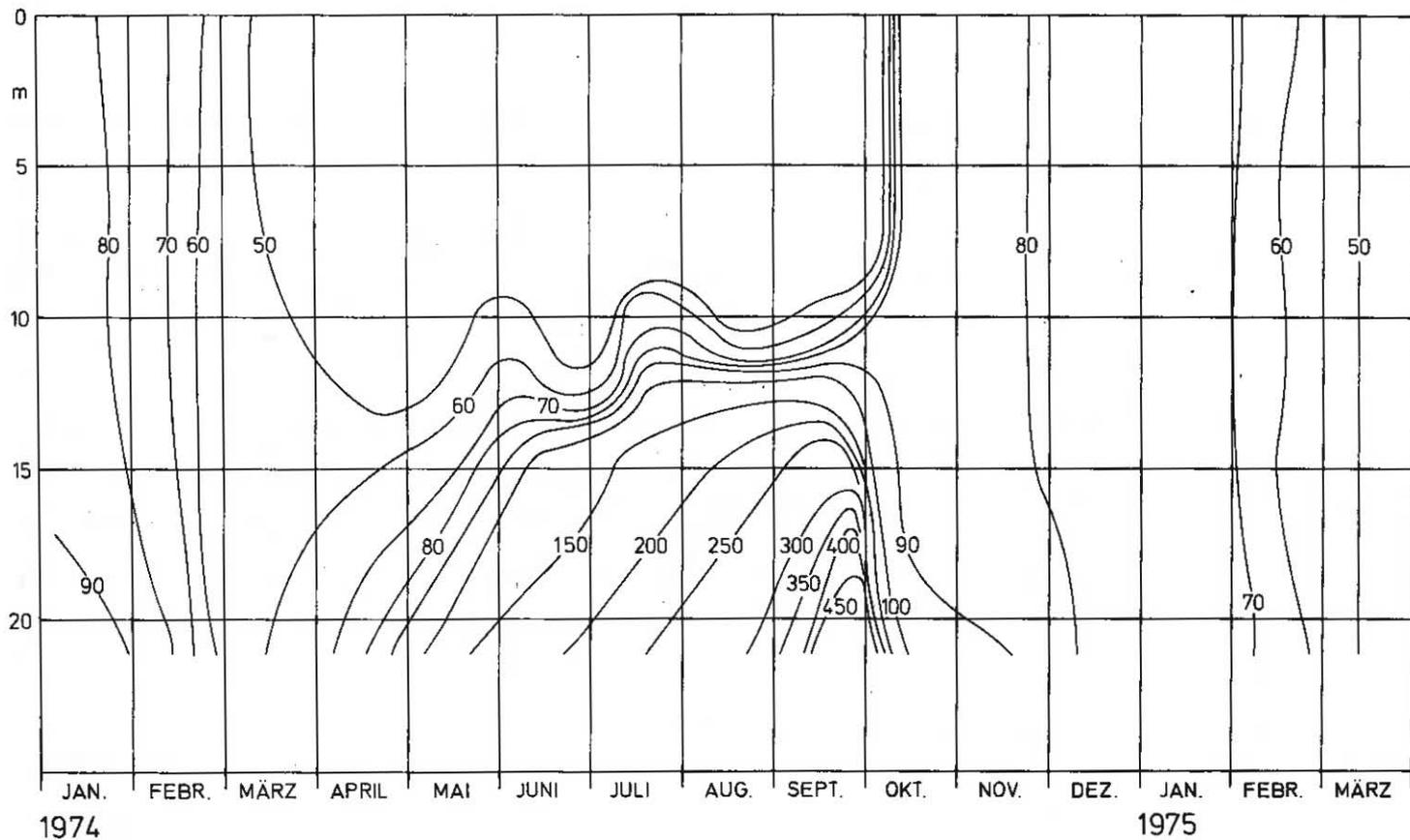


Abb.22

Gnadensee

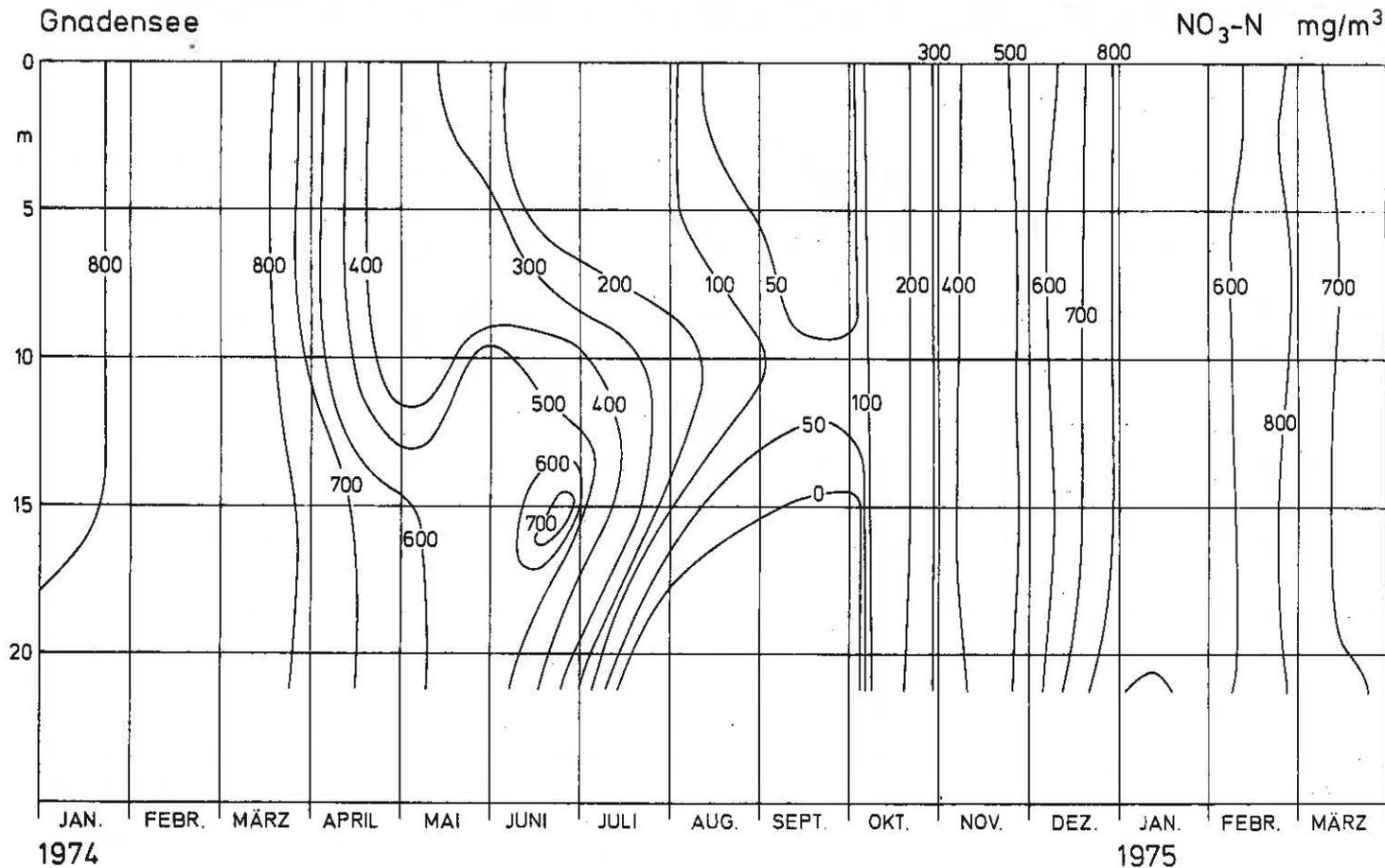


Abb.23

Gnadensee

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

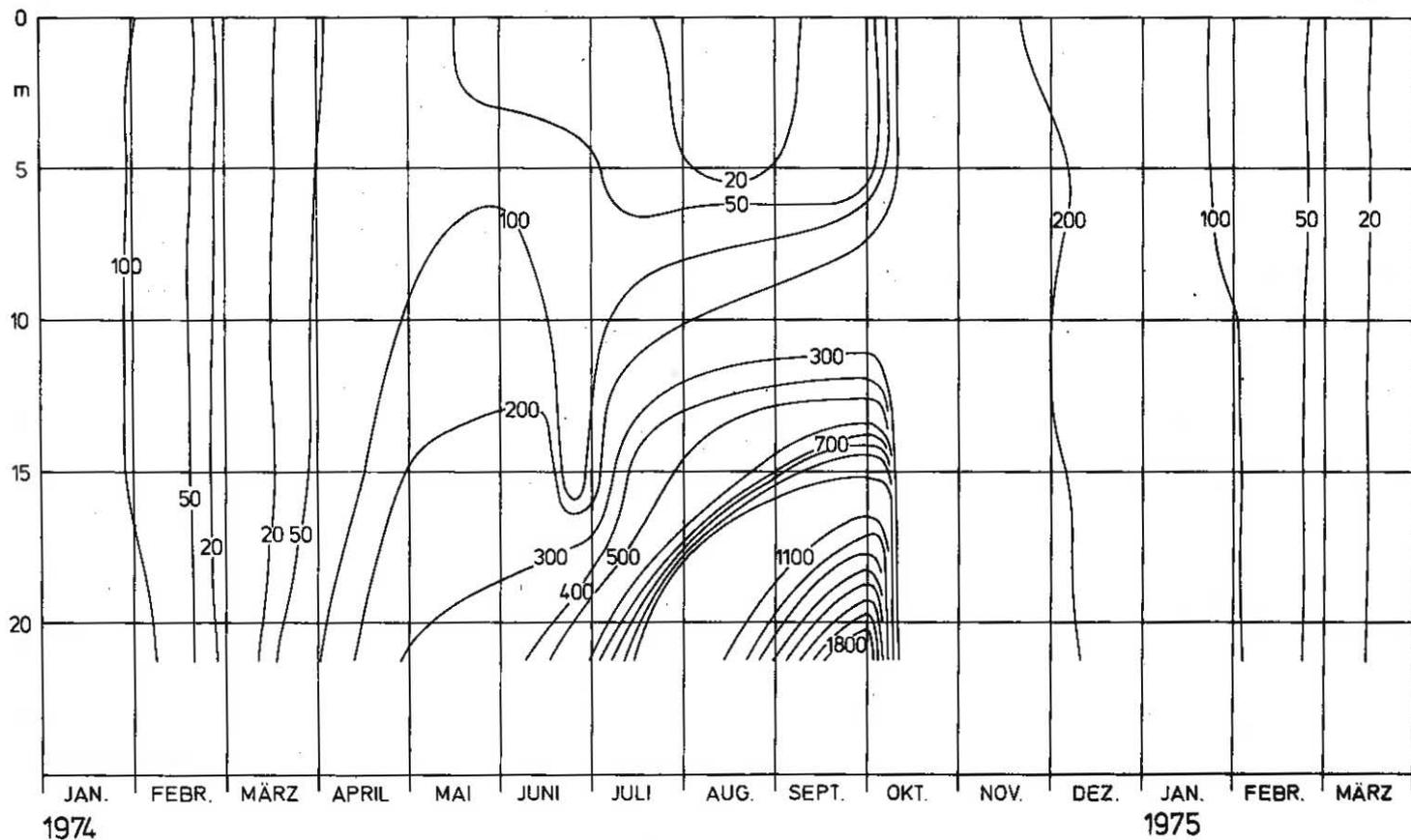


Abb. 24

Gnadensee

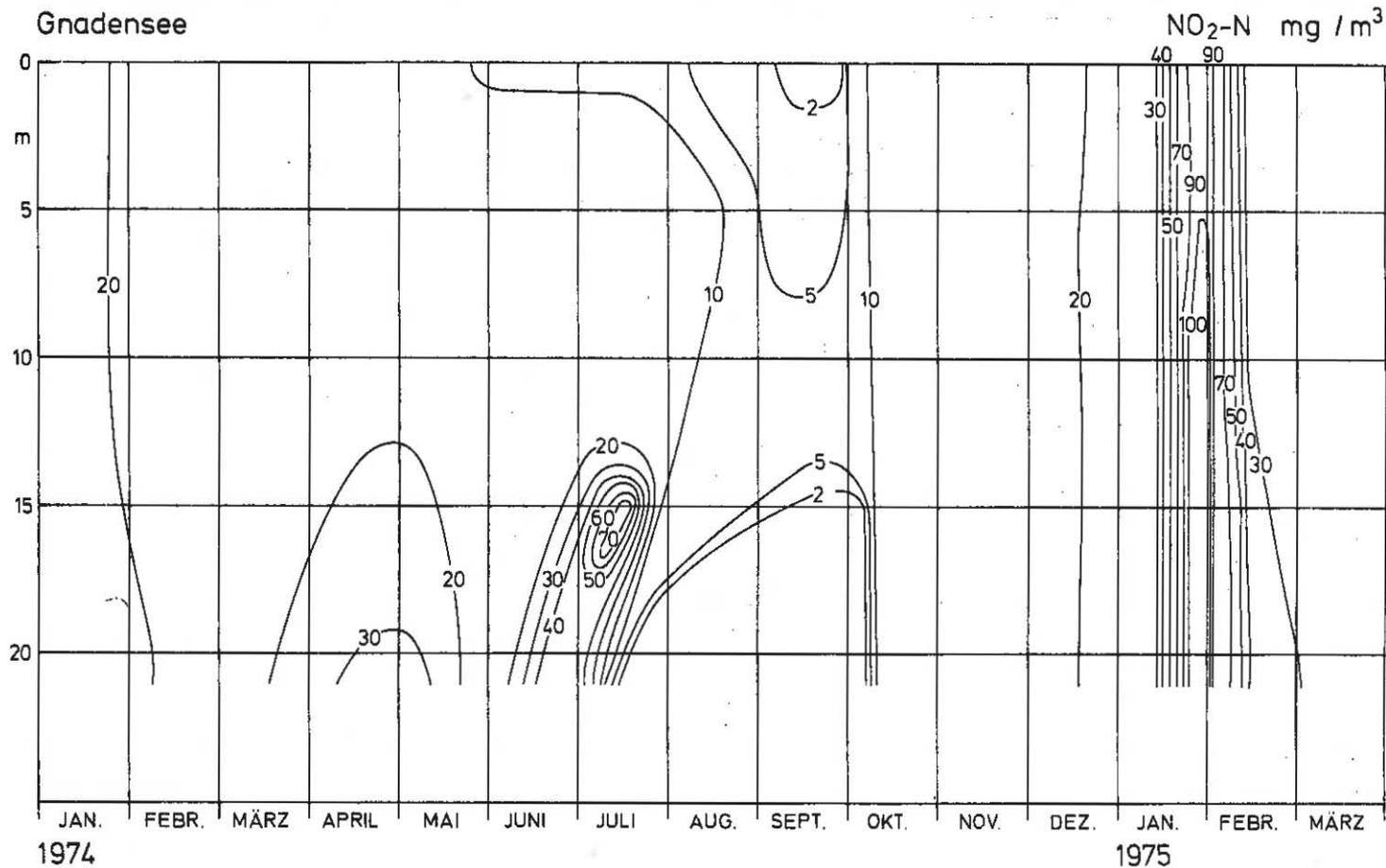


Abb.25

Gnadensee

SiO<sub>2</sub> mg/l

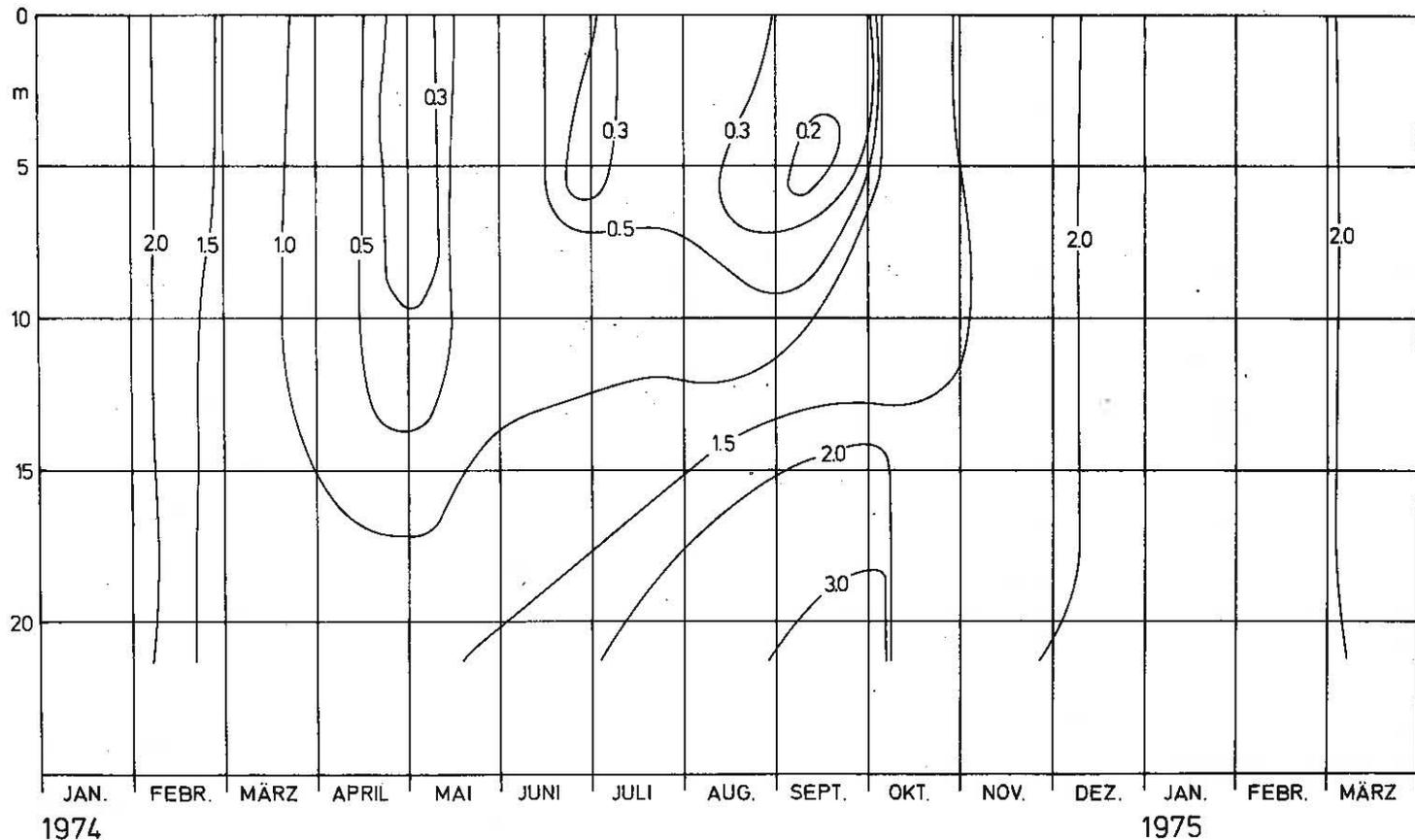


Abb.26

Gnadensee

anorg.C mmol/l

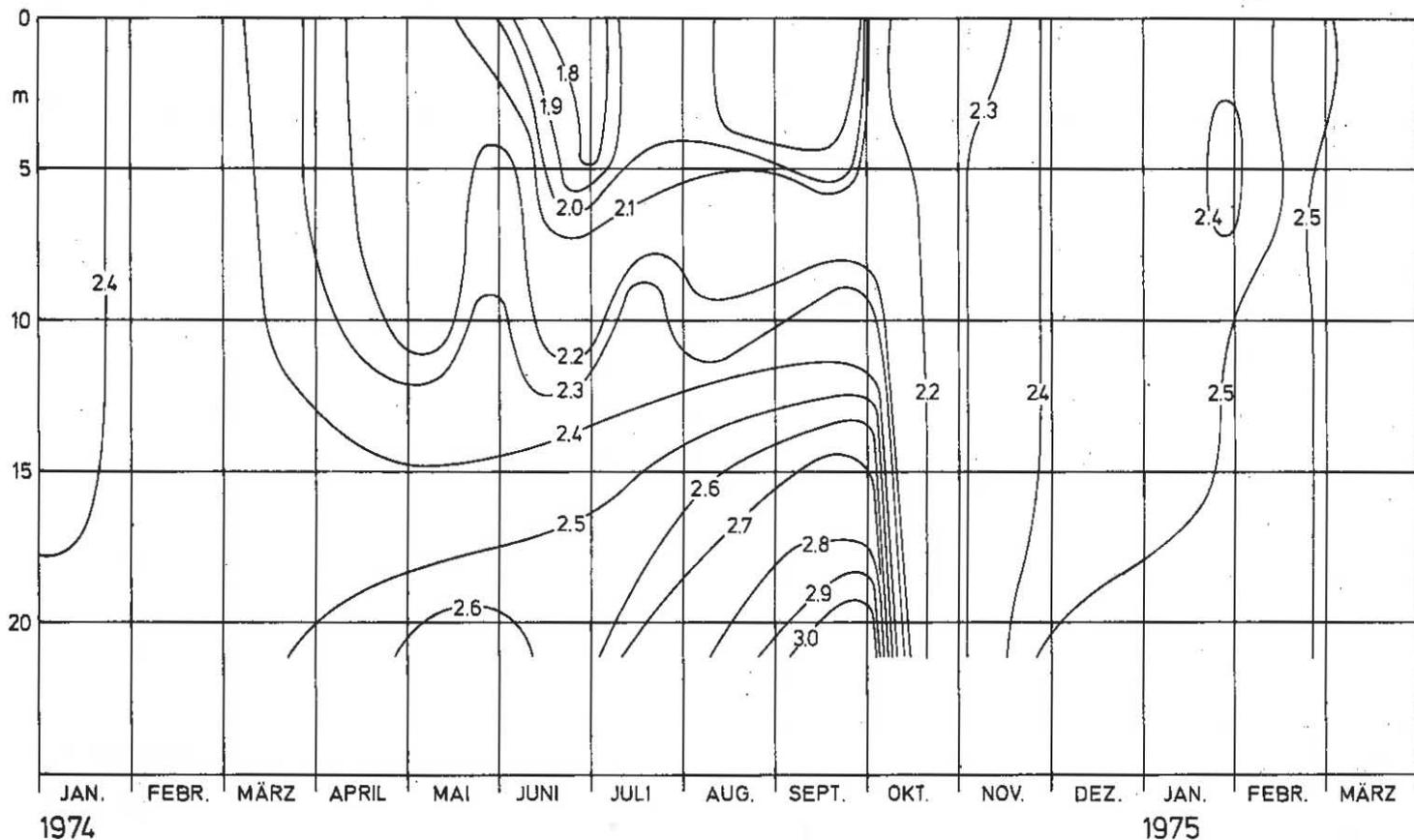
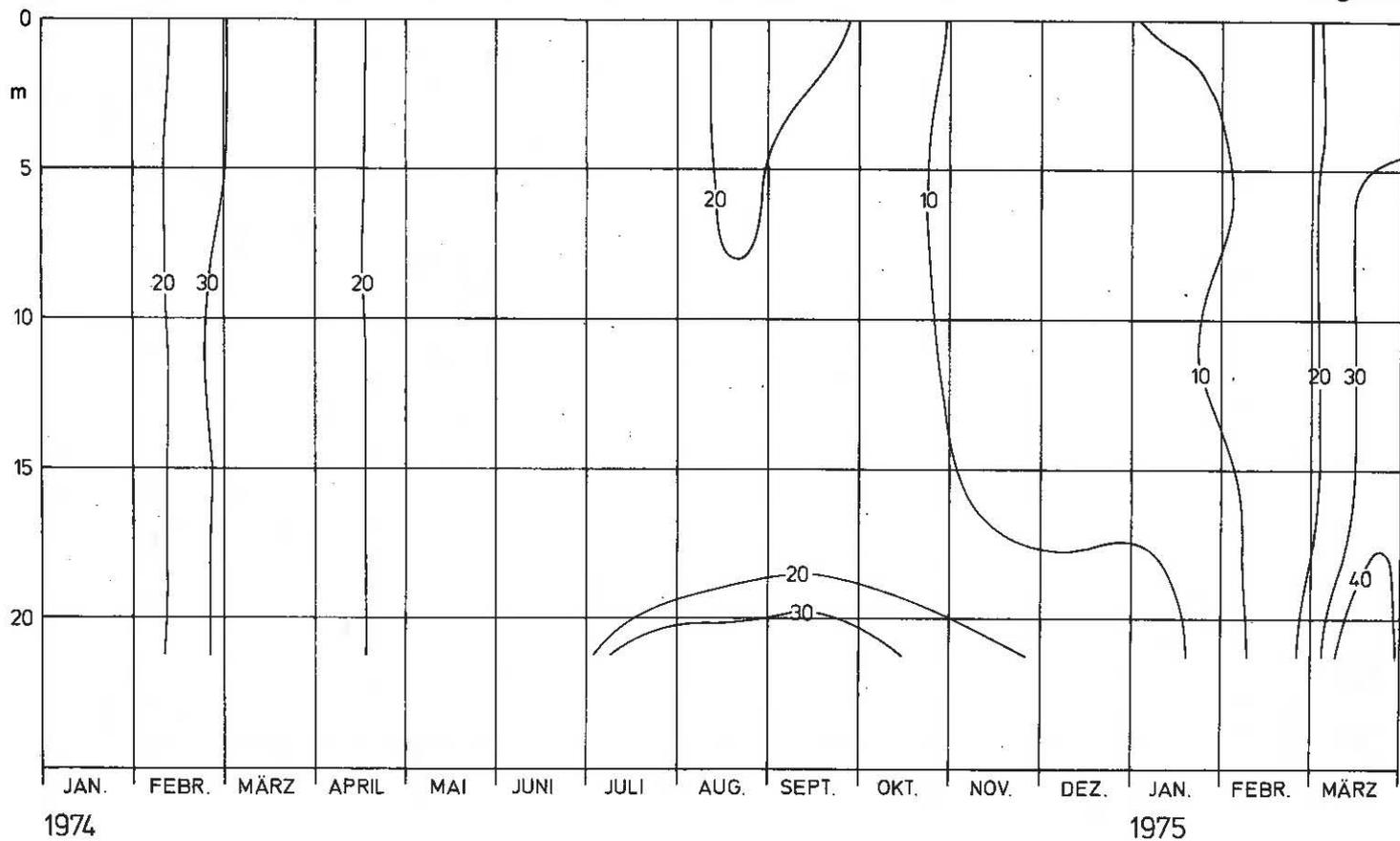


Abb. 27

Gnadensee

Part.-P mg/m<sup>3</sup>



# Abb.28

## Untersee Chlorophyll

Mittlere Konzentration in der Schicht von 0-10 m Tiefe

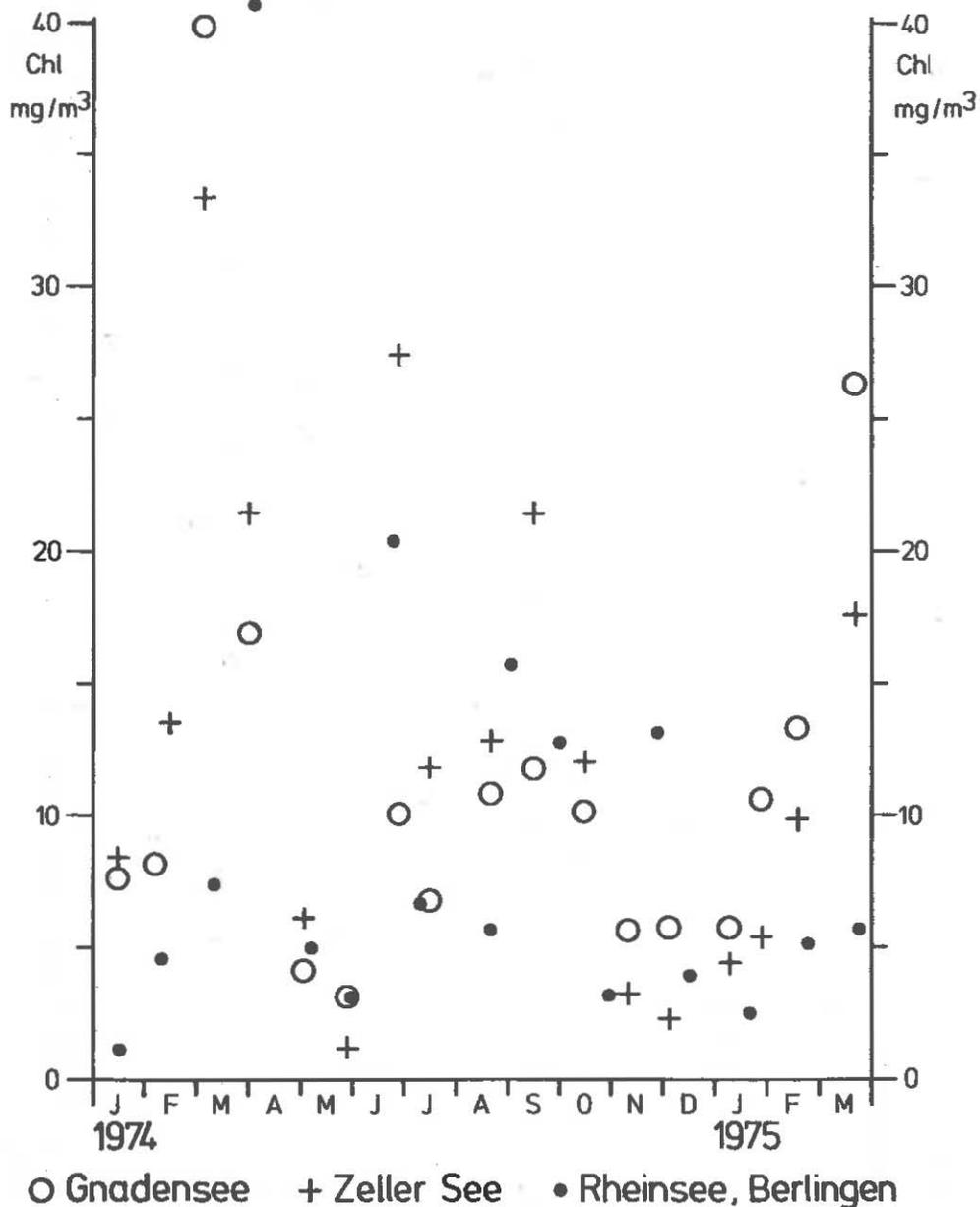




Abb.30

Untersee Berlingen

O<sub>2</sub> mg/l

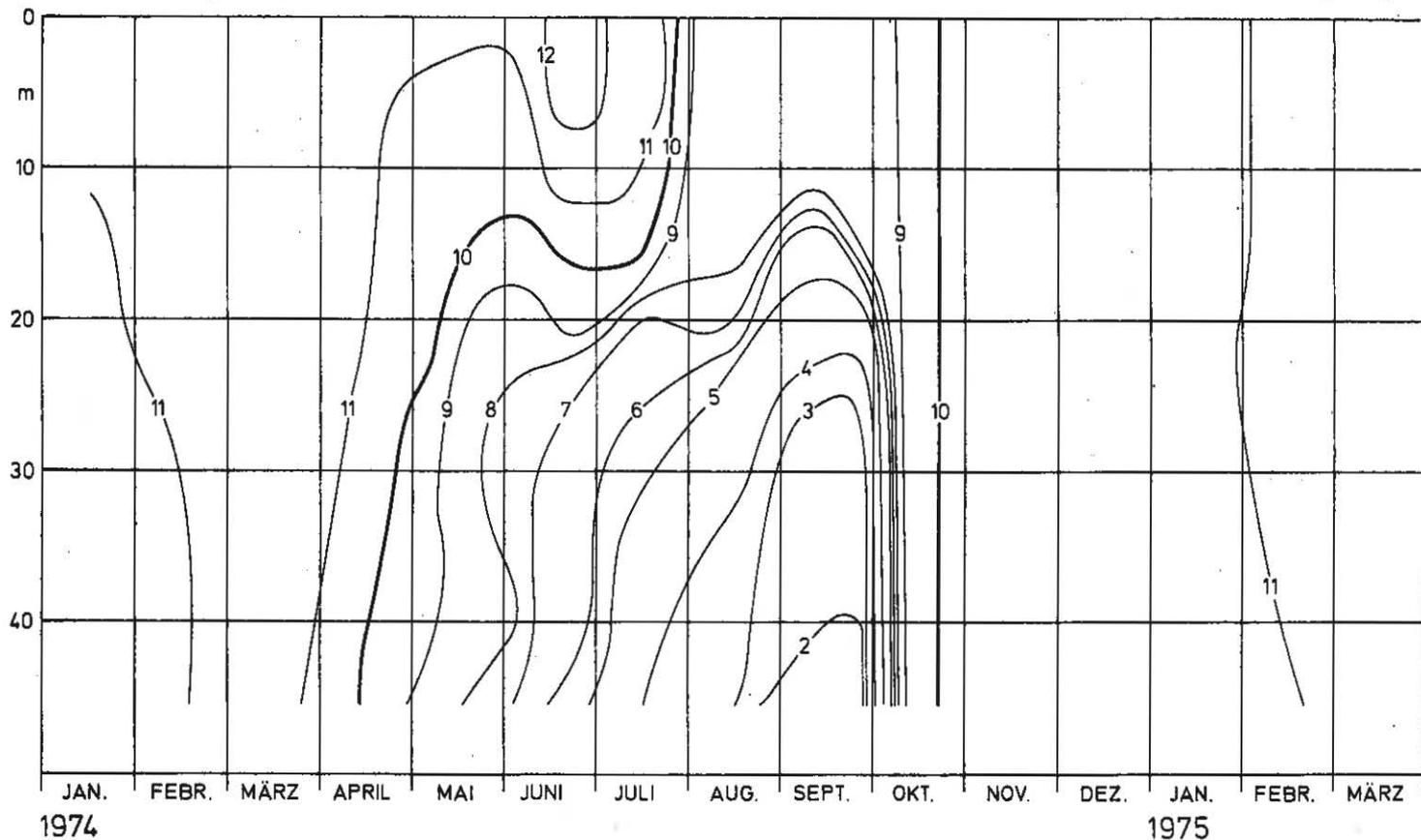


Abb.31

Untersee Berlingen

PO<sub>4</sub>-P mg/m<sup>3</sup>

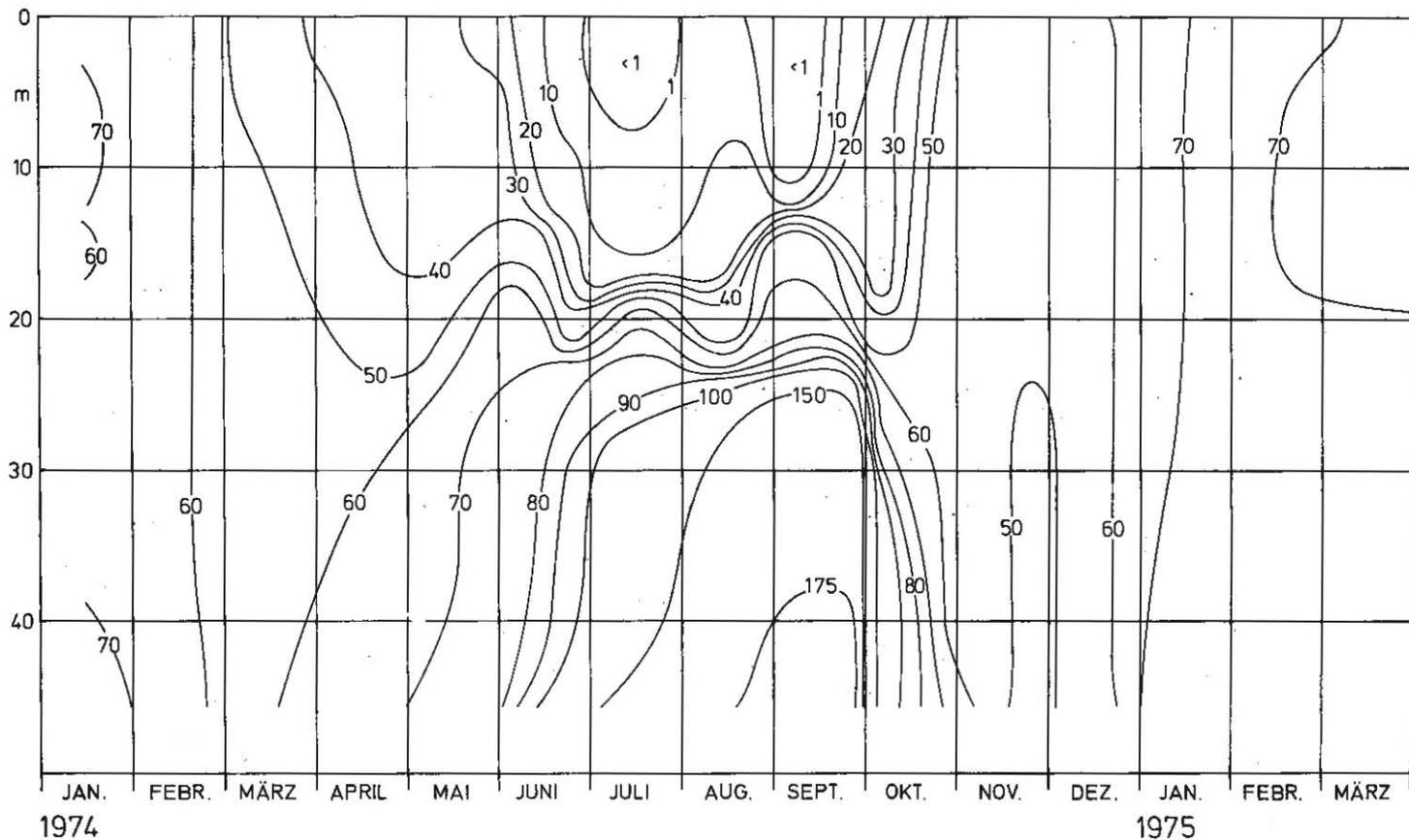


Abb.32

Untersee Berlingen

NO<sub>3</sub>-N mg / m<sup>3</sup>

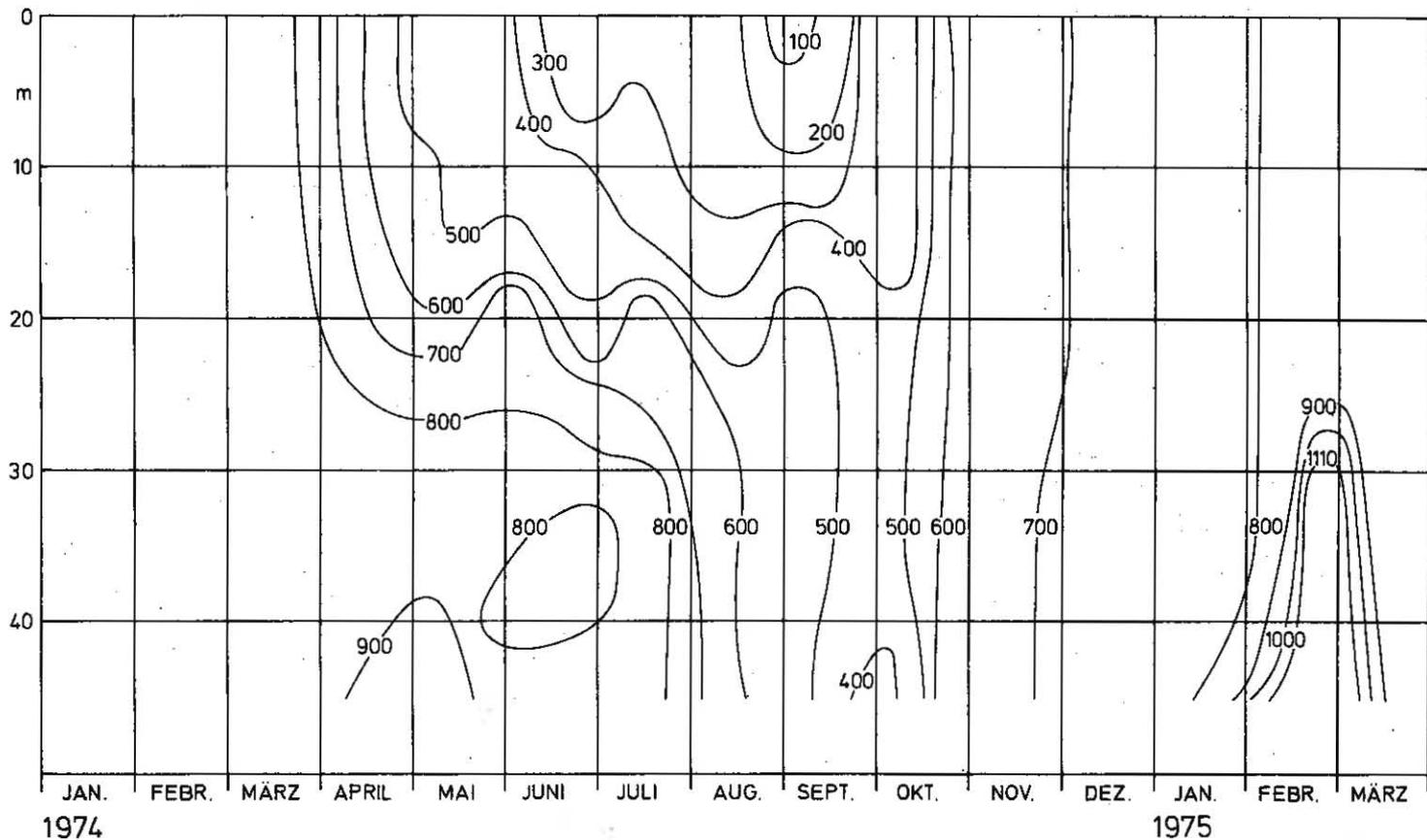


Abb.33

Untersee Berlingen

NH<sub>4</sub>-N mg/m<sup>3</sup>

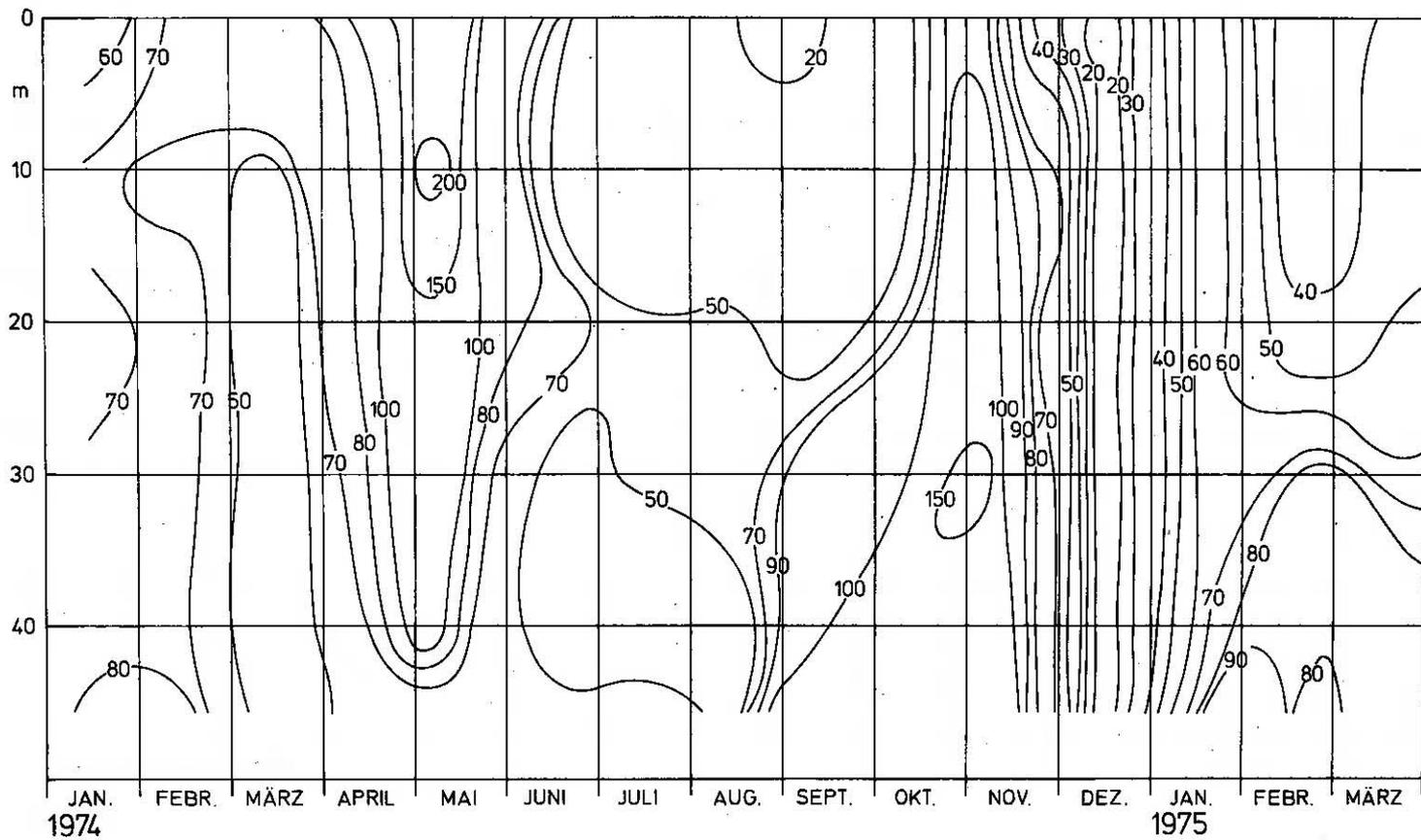


Abb.34

Untersee Berlingen

NO<sub>2</sub>-N mg / m<sup>3</sup>

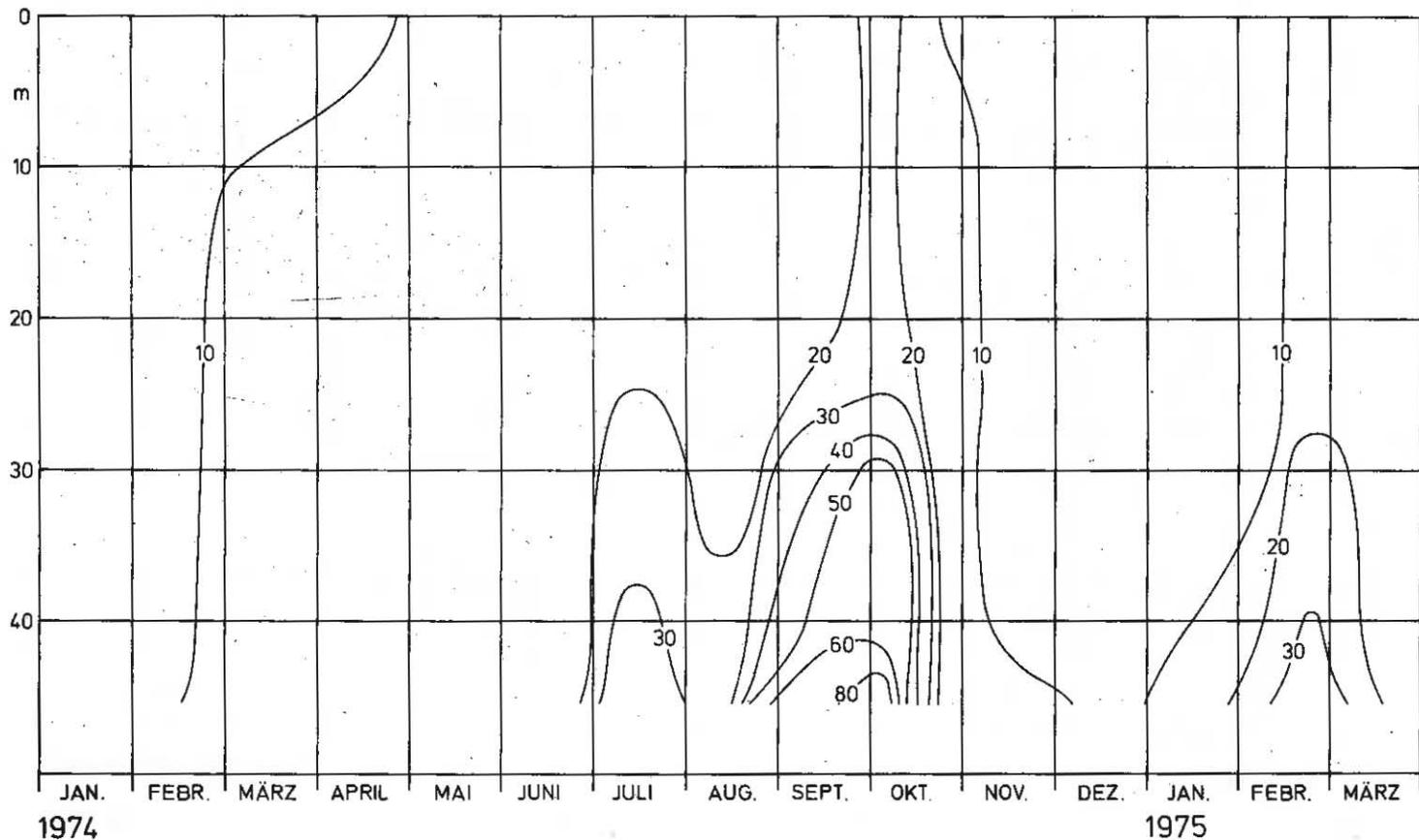


Abb.35

Untersee Berlingen

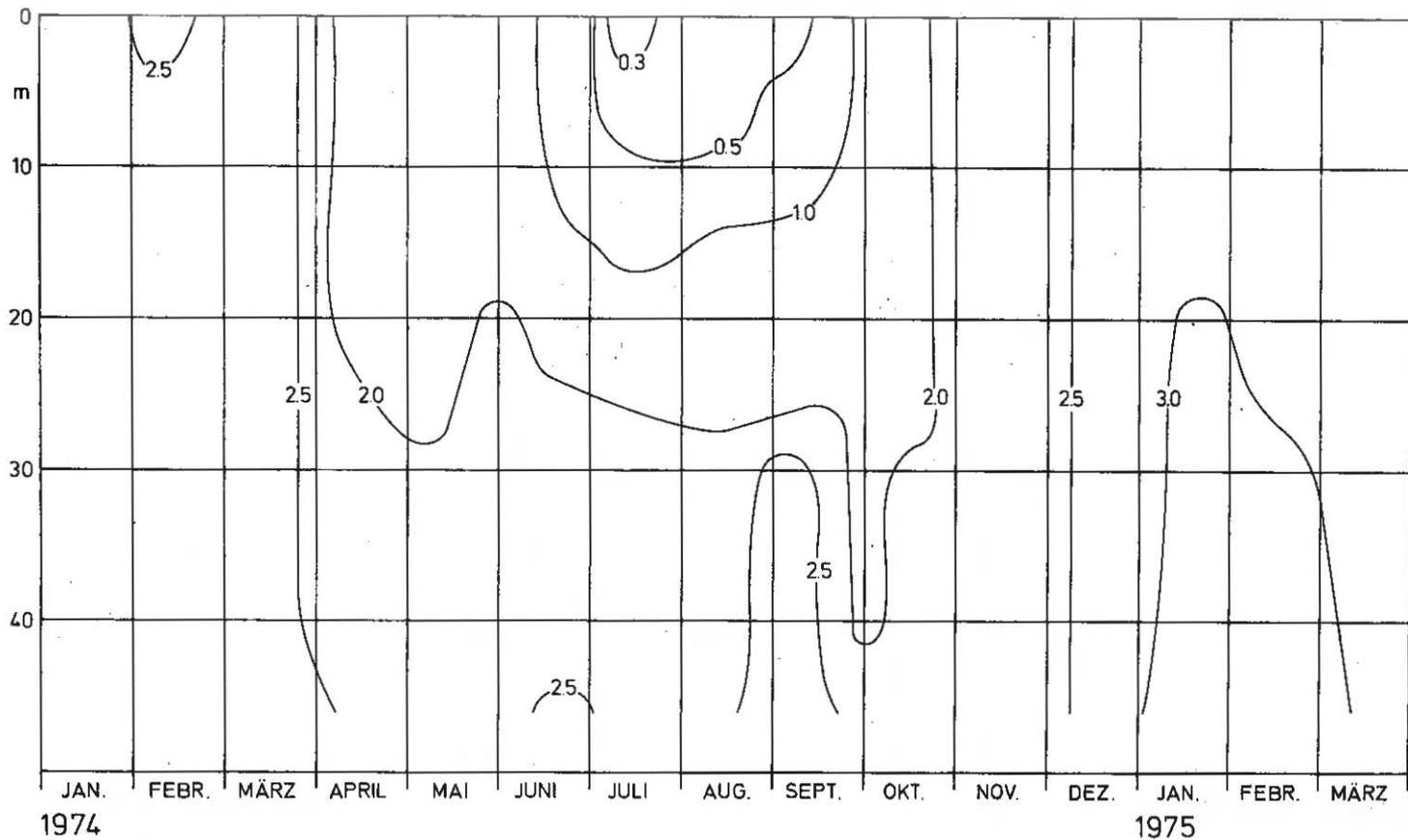
SiO<sub>2</sub> mg / l

Abb.36

Untersee Berlingen

anorg.C mmol/l

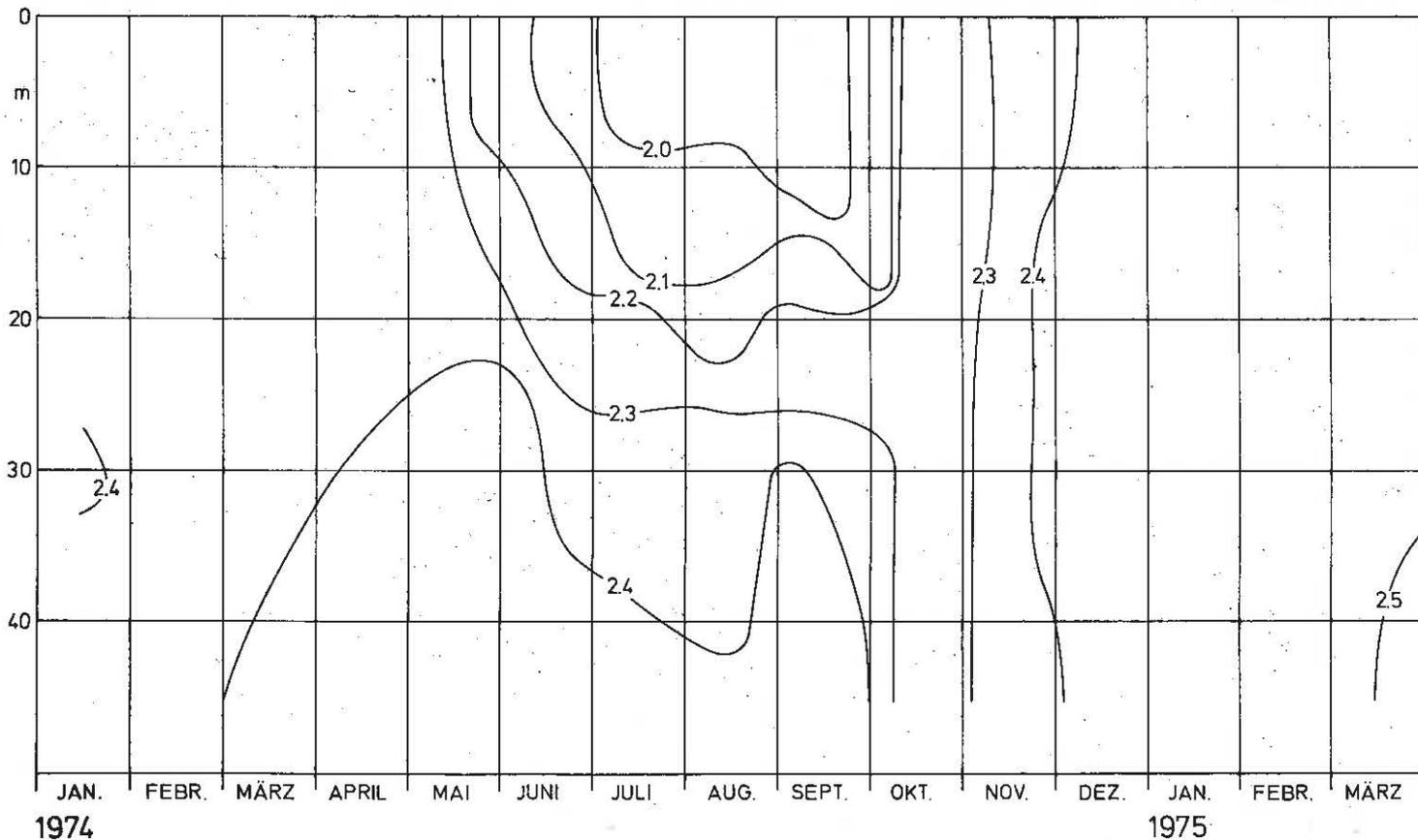
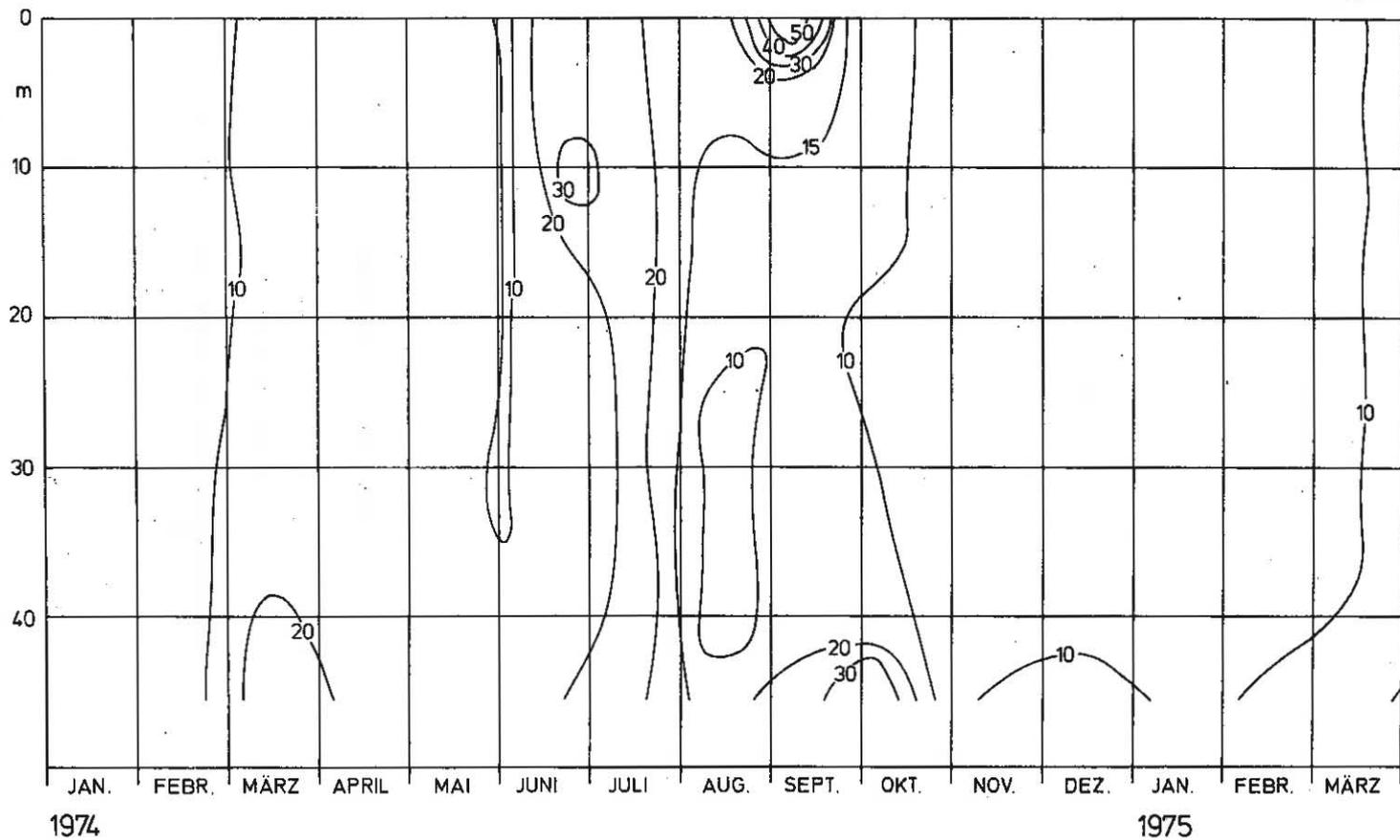


Abb.37

Untersee Berlingen

Part.-P  $\text{mg/m}^3$



**FLAX - DRUCK, Th.A.Fluxmeier**

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

**Bahnhofstraße 40, 7504 Weingarten, Telefon 07244/8052**