

Internationale Gewässerschutzkommission
für den
Bodensee

LIMNOLOGISCHER ZUSTAND DES BODENSEES

Nr. 15

Jahresbericht Januar 1987 bis März 1988

- Freiwasser, radioaktive Belastung -

ISSN 1011-1271

Internationale Gewässerschutzkommission
für den
Bodensee

LIMNOLOGISCHER ZUSTAND DES BODENSEES

Nr. 15

Jahresbericht Januar 1987 bis März 1988
– Freiwasser, radioaktive Belastung –

Bearbeiter: H. Müller

– 1989 –

VORWORT

Der vorliegende Bericht der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB) enthält die Ergebnisse der regelmäßigen limnologischen Freiwasseruntersuchungen des Bodensees im Jahr 1987/88. Die allgemeinen Grundlagen und limnologischen Zusammenhänge, die zum Verständnis dieses Berichtes notwendig sind, wurden im Bericht Nr. 9: Limnologischer Zustand des Bodensees - Grundlagen (Stand 1984) dargestellt.

Am Bericht haben mitgearbeitet:

Dr. Heinrich Bühner, Dübendorf
Dr. Hans-Rudolf Bürgi, Dübendorf
Dr. Ulrich Einsle, Konstanz
Dipl. phil. nat. Urs Engler, St. Gallen
Dr. Hans Güde, Langenargen
Dr. Reiner Kümmerlin, Langenargen
Dr. Helmut Müller, Langenargen (Koordination)
Dr. Henno Roßknecht, Langenargen
Dr. Christian Steinberg, München
Dr. Benno Wagner, Bregenz

Die Grundlage für den Bericht bildet das Untersuchungsprogramm der Kommission, an dessen Durchführung die folgenden Institute mitgewirkt haben:

Vorarlberger Umweltschutzanstalt in Bregenz:
Untersuchungen des Chemismus in der Bregenzer Bucht

Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EAWAG), Dübendorf, Fachabteilung Hydrobiologie/Limnologie:
Datenverarbeitung

Amt für Umweltschutz und Wasserwirtschaft des Kantons Thurgau, Frauenfeld:

Terminfahrten, Messungen und Untersuchungen des Chemismus und des Phytoplanktons im Untersee-Rheinsee.

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

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

Physikalisch-chemische Untersuchungen des Überlinger Sees an der Probenahmestelle zwischen Überlingen und Wallhausen wurden von der Arbeitsgemeinschaft Wasserwerke Bodensee-Rhein (AWBR) und vom Engler-Bunte-Institut, Bereich Wasserchemie, der Universität Karlsruhe durchgeführt. Die Ergebnisse werden jeweils in den AWBR-Jahresberichten veröffentlicht und sind daher hier nicht enthalten.

INHALT

	Seite	Abb.	Tab.
Einleitung	5	1	1
Zustandsbeschreibung für das Seejahr 1987/88 (Obersee und Untersee)	6		
Langfristige Entwicklung von			
Phosphor (Obersee)		2A	
Stickstoff (Obersee)		2C	
Chlorid (Obersee)		2C	
Sauerstoff (Obersee)		2B	
Phytoplankton (Obersee)		3	
Zooplankton (Obersee)		4	
Phytoplankton (Untersee: Zellersee)		5	
Obersee:			
Abbildungen und Tabellen			
Witterung	6		
Wasserstände	7		
Thermik	8, 9		2
Sauerstoff	10, 11		2
Orthophosphat	12, 15, 23		2
Andere Phosphorverbindungen	13, 14, 15, 23, 24		2
Nährstoffinhalt	15, 23		2
Nitrat	16, 23		2
Nitrit	17, 23		2
Ammonium	18, 23		2
Stickstoff partikulär	19, 24		2
Silikat	20, 23		
Anorganische Kohlenstoffverbindungen und Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht	21, 22, 23		2
Eisen und Mangan	25		2
Gelöste organische Stoffe			2
Weitere Stoffdaten			2
Phytoplankton	26 - 28		2
Zooplankton	29 - 31		
Bakterienplankton	32		

Untersee:	Zellersee		Rheinsee	
Abbildungen und Tabellen	Abb.	Tab.	Abb.	Tab.
Thermik	33,34	4	53,54	5
Sauerstoff	35,36	4	55,56	5
Orthophosphat	37,40,45,46	4	57,60,65,66,	5
Andere Phosphor- verbindungen	38,39,40,45	4	58,59,60,65	5
Nährstoffinhalt	40,45,	4	60,65	5
Nitrat	40,41,45,46,	4	60,61,65,66,	5
Nitrit	42	4	62	5
Ammonium	40,43,45,46,	4	60,63,65,66	5
Silikat	44,45,46,	4	64,65,66,	5
Anorganische Kohlen- stoffverbindungen und Kalk-Kohlensäure- Gleichgewicht	47,48,	4	67,68	5
Eisen	46,49	4	66,69	5
Gelöste organische Stoffe		4		5
Weitere Stoffdaten		4		5
Phytoplankton	50-52,71	4	70,71	5

**Vergleich des limnologischen
Zustandes an verschiedenen
Untersuchungsstationen im**

Obersee	Tab. 3
Untersee	Tab. 6

Anhang

Zur weiteren Entwicklung der Radioaktivität im Bodensee nach dem Unfall
Tschernobyl.

Auskünfte

EINLEITUNG

Der Bericht zum Seejahr 1987/88 enthält eine kurze Beschreibung des aktuellen Seezustandes, ergänzt durch langfristige Entwicklungskurven der wichtigsten Größen, die von Jahr zu Jahr fortgeschrieben werden.

Die dann folgenden Abbildungen und Tabellen geben eine Übersicht über Örtlichkeiten, Wassertiefe und Zeitpunkt der Probenahme und Messungen sowie über die Klimabedingungen, Thermik, chemische und biologische Verhältnisse im Freiwasser. Für den Bodensee-Obersee beschränken sich diese Darstellungen hauptsächlich auf die zentrale Untersuchungsstation Fischbach-Uttwil. Aus den Ergebnissen dieser Untersuchungsstelle wurden auch die Stoffinhalte des Obersees unter Verwendung der in Tabelle 1 des Berichtes Nr. 9 (grüner Bericht) mitgeteilten Seevolumenta berechnet. Quervergleiche zwischen verschiedenen Obersee-Untersuchungsstationen werden nur für einige ausgewählte Parameter durchgeführt.

Für den Bodensee-Untersee werden die Zustände im Zellersee und Rheinsee ausführlich, die im Zellersee nur kurz behandelt. Für die Tabellen wurden charakteristische Summenwerte, z. B. der Stoffinhalt des ganzen Sees, eines Seeteils oder bestimmter Wasserschichten sowie Konzentrationsmaxima und -minima in der Oberflächenschicht oder über dem Seeboden ausgewählt.

Die Datentabellen mit den gesamten Meßwerten für den Freiwasserbereich (Physik, Chemie, Phytoplankton) wurden nach Archivierung auf Datenträgern bei der Eidgenössischen Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EAWAG) und der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Institut für Seenforschung und Fischereiwesen, den damit direkt befaßten Stellen zugestellt.

Das jeweilige limnologische Zustandsbild des Freiwassers wird stark durch die Witterungserscheinungen geprägt. Zustandsänderungen von Jahr zu Jahr dürfen daher nicht von vornherein als Ausdruck einer Entwicklungstendenz interpretiert werden. Dazu sind längere Zeitreihen in Form von Trendkurven notwendig. Dies ist beim Vergleich der Verhältnisse aufeinanderfolgender Jahre zu beachten.

ZUSTANDSBESCHREIBUNG FÜR DAS SEEJAHR 1987/88

B o d e n s e e - O b e r s e e :

Der Zustand hat sich im Seejahr 1987/88 bezüglich der Phosphorkonzentration weiter verbessert. Der Gesamtphosphorgehalt im Freiwasser ist aber immer noch zu hoch. Der Gehalt an anorganischem Stickstoff - im wesentlichen als Nitrat - hat deutlich zugenommen. Die weitere Entwicklung des Stickstoffgehaltes sollte daher in Zukunft aufmerksam verfolgt werden. Die Sauerstoffsituation entsprach 1987 insgesamt etwa der des Vorjahres. Die Wiederbelüftung des Tiefenwassers im Frühjahr 1988 war jedoch - insbesondere über Grund - wegen der unvollständigen Frühjahrszirkulation unzureichend. Die Phytoplanktonentwicklung zeigte eine leichte Abnahme der Biomasse im Vergleich zum Vorjahr. Insgesamt zeichnet sich bei der jahreszeitlichen Phytoplanktonentwicklung ein Trend zu nährstoffärmeren Verhältnissen ab. Beim Zooplankton ergaben sich kaum Änderungen im Vergleich zum Vorjahr.

Als herausragendes hydrologisches Ereignis ist das extreme Hochwasser des Alpenrheins vom 18. bis 20. Juli 1987 zu erwähnen. Der Wasserstand des Bodensee-Obersees stieg vom 18. auf 19. 7. von 487 auf 515 cm und bis 20.7.1987 auf 530 cm. Daraus und aus zusätzlichen Zuflußdaten kann abgeschätzt werden, daß allein über den Alpenrhein bereits am ersten Tag zwischen 1 und 2 Mio Tonnen an Schwebstoffen in den See gelangt sind. Die Summe aus beiden Tagen entspricht etwa der Hälfte des Eintrags an Schwebstoffen in einem mittleren Abflußjahr. Die resultierende Dichte des Rheinwassers war mit $1,003 \text{ g/cm}^3$ so groß, daß der Vorstoß des Rheinwassers im wesentlichen in das untere Hypolimnion erfolgt sein muß. Als Folge war in der unteren Hälfte des Hypolimnions eine deutliche Temperaturerhöhung zu beobachten.

Die **Phosphorkonzentration** hat seit dem letzten Berichtsjahr erheblich abgenommen. Die Konzentration des Gesamtphosphors im Rohwasser betrug im Frühjahr 1988 während der Monate Februar bis April im Mittel 47 mg/m^3 (1987: $58,3 \text{ mg/m}^3$; Abb. 2A). Im Epilimnion wirkte Phosphat 1987 während des Sommers weiterhin als am stärksten wachstumslimitierender Düngestoff für das Phytoplankton. Orthophosphat-P wurde von Anfang Juli bis Anfang November in begrenzten Tiefenbereichen der Produktionszone bis auf 1 mg/m^3 und darunter aufgezehrt (1986 nur im August und Oktober). Trotz der stetigen weiteren Abnahme des Phosphors liegt seine mittlere Konzentration jedoch immer noch so hoch, daß bei entsprechenden Witterungsverhältnissen eine deutliche Steigerung der Algenproduktion und damit eine erhöhte Belastung des Sauerstoffhaushalts im Tiefenwasser des Sees ermöglicht würde.

Der **anorganische Stickstoff** (N aus $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{NH}_4^+$) mit Nitrat als Hauptkomponente hat 1987 gegenüber dem Vorjahr deutlich zugenommen und erstmals den Wert von 1 g/m^3 überschritten (Abb. 2C). Der weiteren Entwicklung der Konzentration des anorganischen Stickstoffs sollte daher besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden.

Chlorid als Anzeiger vielfältiger Salzbelastung hat 1987 im Jahresmittel ebenfalls deutlich zugenommen und den bisherigen Maximalwert von $5 \text{ mgCl}^-/\text{l}$ überschritten (Abb. 2C).

Die **Sauerstoffsituation** des Sees entsprach 1987 insgesamt der des Vorjahres. Die Wiederbelüftung des Tiefenwassers wurde jedoch durch die unvollständige Zirkulation im Frühjahr 1988 beeinträchtigt.

Die niederste Sauerstoffkonzentration entsprach 1987 sowohl im Metalimnion mit $7,1 \text{ mg/l}$ als auch im Hypolimnion (1 m über Grund) mit $6,4 \text{ mg/l}$ etwa den Vorjahreswerten von $7,9$ bzw. $5,6 \text{ mg/l}$ (Abb. B). Die Zeit des größten Sauerstoffdefizits über Grund lag im November und damit etwas früher als im Vorjahr. Die Wiederbelüftung des Sees bei der Frühjahrszirkulation 1988 erbrachte zwar im März und April einen mittleren Gesamtgehalt des Sees von etwa 519.000 t Sauerstoff (1987: 504.000 t). Die Zirkulation war jedoch unzureichend, so daß das Sauerstoffdefizit über Grund nur teilweise aufgefüllt wurde. Im April 1988 lag daher die Sauerstoffkonzentration 1 m über Grund mit $7,3 \text{ mg/l}$ (1987: $9,1 \text{ mg/l}$) für diese Jahreszeit relativ niedrig. Die seit einigen Jahren beobachtete Verlängerung der Periode geringerer Sauerstoffkonzentrationen über Grund über den Jahreswechsel hinaus hat sich somit auch 1987/88 eingestellt. Der günstige Frühjahrswert von 1984 mit 547.000 t Gesamtgehalt wurde auch 1988 nicht wieder erreicht.

Das **Phytoplankton** erreichte 1987 im Jahresmittel eine Biomasse von $18,8 \text{ g/m}^2$ (0 - 20 m Tiefe) und lag damit unter dem Vorjahreswert ($24,7 \text{ g/m}^2$). Daran war vor allem die Frühjahrs- und Herbstentwicklung mit Maximalwerten von 87 bzw. 22 g/m^2 beteiligt. Das Sommermaximum fiel dagegen - evtl. durch das starke Hochwasser beeinträchtigt - mit einem Maximum von 43 g/m^2 relativ niedrig aus.

Unter den einzelnen Algengruppen bildeten die Diatomeen und Cryptophyceen dabei wie im Vorjahr die Hauptmenge. Die Diatomeen waren im Frühjahr vor allem durch *Stephanodiscus astraea* und verschiedene *Synedra*-Arten, im Sommer durch *Asterionella formosa* und *Fragilaria crotonensis* vertreten. Die letztgenannte Art trat auch im Spätherbst und Winter in den Vordergrund. Auffallend war Anfang September eine starke Entwicklung von kleinen chlorococcalen Grünalgen, vor allem von *Chlorella*- und *Choricystis*-Arten. Die Cryptophyceen zeigten

wiederum im Frühjahr und Herbst eine stärkere Entwicklung. Anders als in den Vorjahren traten sie jedoch im Winter zugunsten der Kieselalge *Fragilaria crotonensis* zurück.

Die Blaualgen waren wie im Vorjahr von untergeordneter Bedeutung. Insgesamt zeichnet sich nunmehr im Zug der stetig abnehmenden Phosphorzufuhr auch in der jahreszeitlichen Abfolge der wichtigen Planktonarten eine Entwicklung zu nährstoffärmeren Verhältnissen ab.

Beim **Crustaceenplankton** hat sich im zentralen Seebereich an der Zusammensetzung der Arten im Vergleich zum Vorjahr keine Änderung ergeben. Die seit langem festgestellten Änderungen in der qualitativen Zusammensetzung bestanden demnach auch 1987 fort. Eine Rückentwicklung zu den früheren Verhältnissen hin ist bisher nicht erkennbar.

Die **Bakterien** - bestimmt durch Direktzählung - begannen im Vergleich zu den Vorjahren bedeutend eher mit der Frühjahrsentwicklung und erreichten in der Produktionszone (0 - 20 m Tiefe) schon Ende April ein erstes Maximum mit knapp 10^7 Zellen pro ml. Ein zweites Frühjahrsmaximum mit über 10^7 Zellen/ml wurde Mitte Mai beobachtet. Der sonst stets beobachtete Abfall Ende Juni war nur sehr schwach ausgeprägt und von einem darauf folgenden kontinuierlichen Anstieg bis zur zweiten Junihälfte gefolgt. Von Juli bis September schwankten dann die Werte zwischen 6 und 10×10^6 Zellen/ml. Danach sanken die Bakterien-dichten bis zum Januar kontinuierlich bis auf das Grundniveau im Bereich von 10^6 Zellen/ml ab, auf dem sie sich im Tiefenwasserbereich das ganze Jahr über bewegt hatten.

B o d e n s e e - U n t e r s e e :

Die **Phosphorkonzentration** - bestimmt als Gesamtphosphor im Rohwasser - lag 1987 im Rheinsee im Jahresmittel (volumengewichtet) mit 50 mg/m^3 in der Schwankungsbreite der beiden Vorjahre. Im Zellersee lag sie mit 62 mg/m^3 höher als im Rheinsee, hat aber im Vergleich zu den Vorjahren weiter abgenommen.

Der Inhalt an **anorganischem Stickstoff** (N aus $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{NO}_2^- + \text{NH}_4^+$) mit Nitrat als Hauptkomponente hat in beiden Seeteilen zugenommen.

Die **Sauerstoffsituation**, beurteilt nach den Sauerstoffkonzentrationen in Seebodennähe, war 1987 insgesamt etwas ungünstiger als im Vorjahr. Im Zellersee war im Oktober und November ein totaler Sauerstoffschwund in Seebodennähe zu verzeichnen (1986 nur im Oktober). Seit 1984 haben sich die Verhältnisse jedoch deutlich verbessert. Im Rheinsee lagen die Sauerstoffkonzentrationen in

Seebodennähe im Herbst wie in den Vorjahren relativ nieder, ohne daß jedoch ein völliger Sauerstoffschwund eintrat.

Beim **Phytoplankton** im Zellersee lag das Jahresmittel der Biomasse mit knapp 37 g/m^2 (0 - 20 m Tiefe) höher als im Vorjahr (32 g/m^2). Die Frühjahrsentwicklung erreichte den höchsten Biomasse-Wert Anfang Mai mit 116 g/m^2 . Dominiert waren *Stephanodiscus astraea*, *Synedra acus* mit weiteren *Synedra*-Arten und Cryptophyceen. Nach dem Klarwasserstadium Ende Juni entwickelte sich die Sommerpopulation, die Anfang August ein Maximum von 33 g/m^2 erreichte. Bestandsbildend waren hauptsächlich die Kieselalgen *Asterionella formosa*, *Stephanodiscus binderanus* sowie die Grünalge *Mougeotia thylespora* und Cryptophyceen.

Die herbstliche Algenentwicklung erreichte Ende Oktober ein Maximum von 34 g/m^2 . Zunächst hatten die kettenbildenden Blaualgen *Anabaena flos-aquae* und *Anabaena planctonica* sowie die Grünalge *Pandorina morum* einen wesentlichen Bestandsanteil. Später traten jedoch *Mougeotica thylespora* und *Stephanodiscus binderanus* in den Vordergrund. Cryptophyceen waren durchgehend bis in den Winter mit einem beträchtlichen Anteil vertreten.

Im Winter erreichte die Kieselalge *Fragilaria crotonensis* wie im Obersee einen erheblichen Anteil an der Gesamtbiomasse.

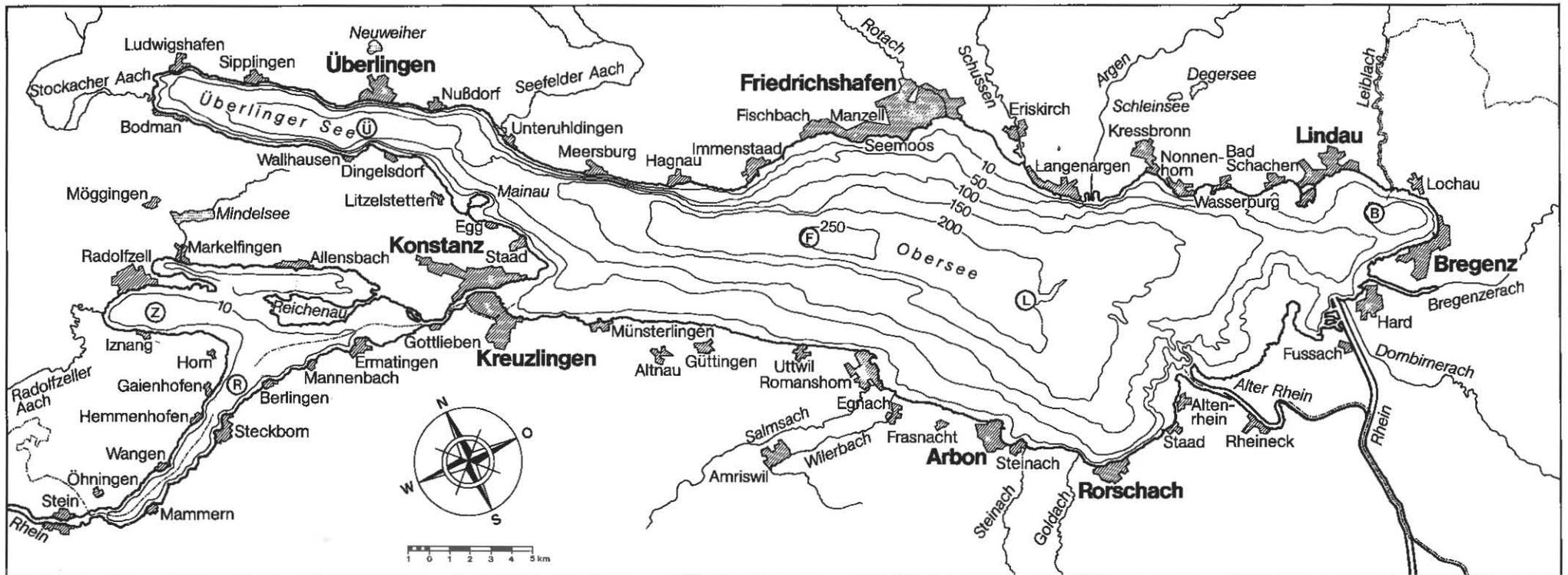


Abb. 1: Der Bodensee mit Lage der Untersuchungsstellen

a) Freiwasser:

- Obersee: Fischbach-Uttwil (F)
- Langenargen-Arbon (L)
- Bregenzer Bucht (B)
- Überlinger See (Ü)
- Untersee: Zellersee (Z)
- Rheinsee (R)

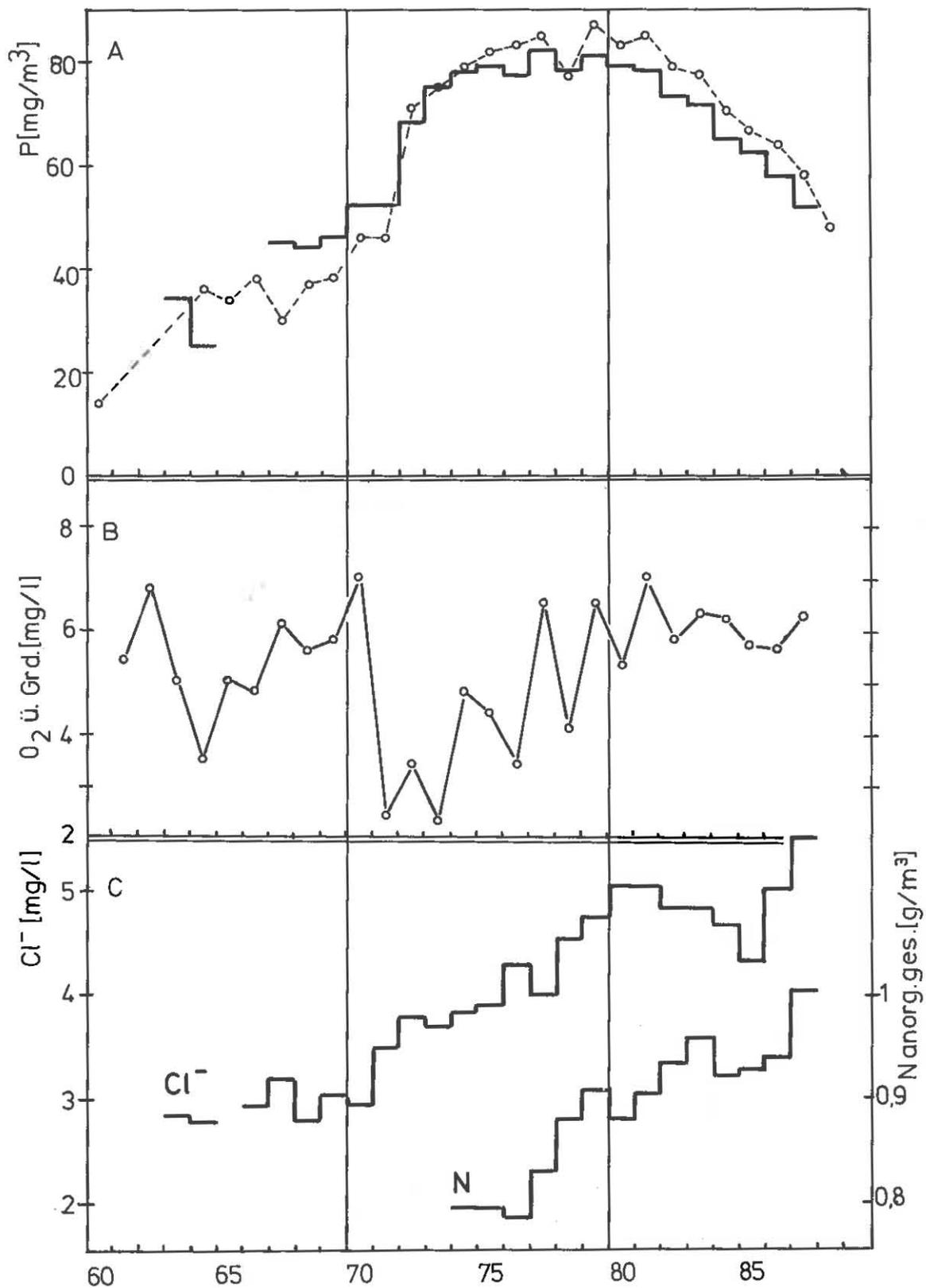
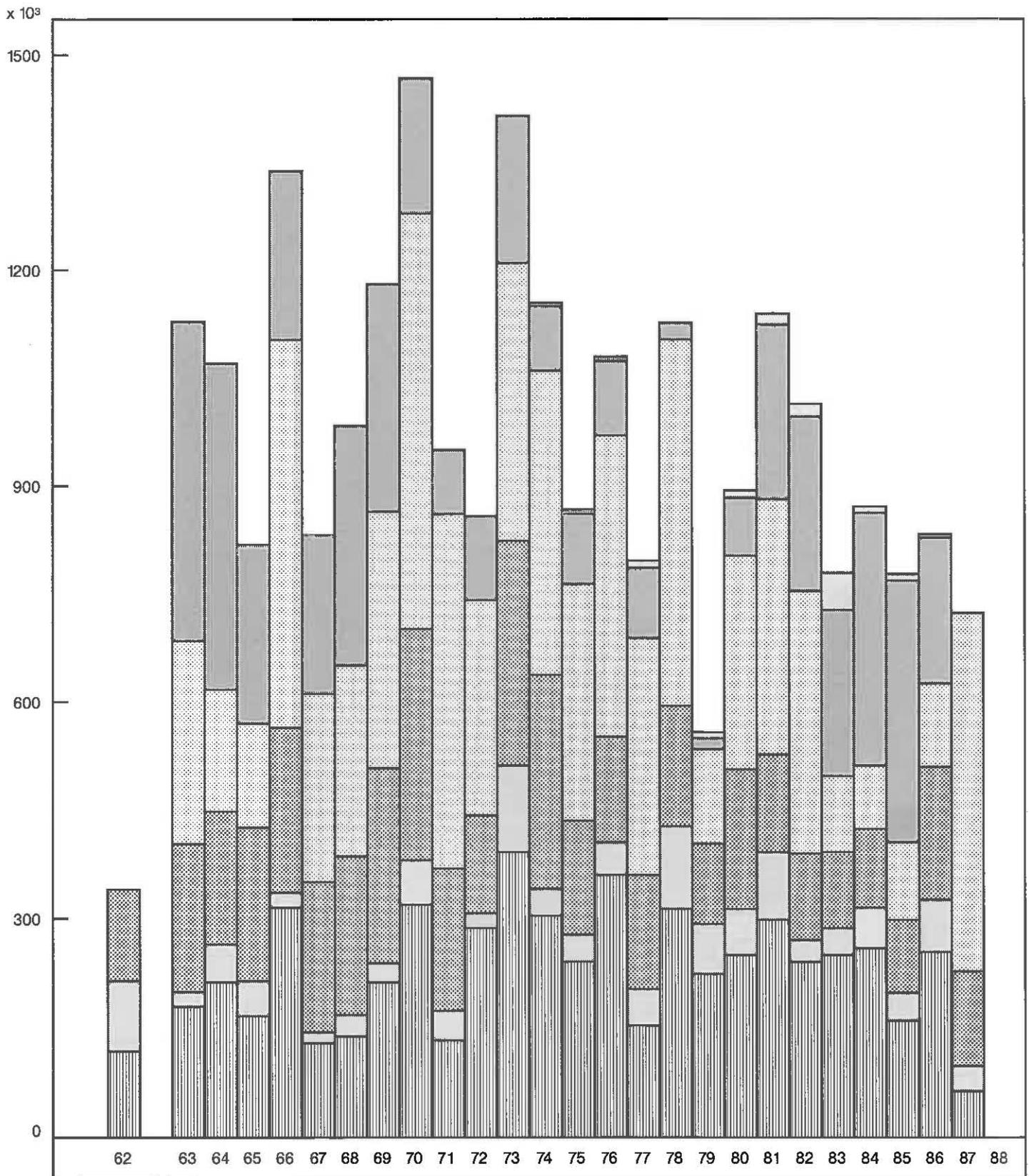


Abb. 2: Bodensee - Obersee, Fischbach-Uttwil:
Langfristige Entwicklung der Phosphor-, Sauerstoff-,
Stickstoff-, und Chloridkonzentration.

- A. — : Gesamtphosphor im Rohwasser, Jahresmittel,
volumengewicht
- - - : Gesamtphosphor im Rohwasser, Konzentration während
der Vollzirkulation
- B. Sauerstoffkonzentration, Minimalwerte 1 m über Grund
- C. Cl⁻: Chlorid, Jahresmittel volumengewichtet
N: Stickstoff aus $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{NH}_4^+$, Jahresmittel,
volumengewichtet.

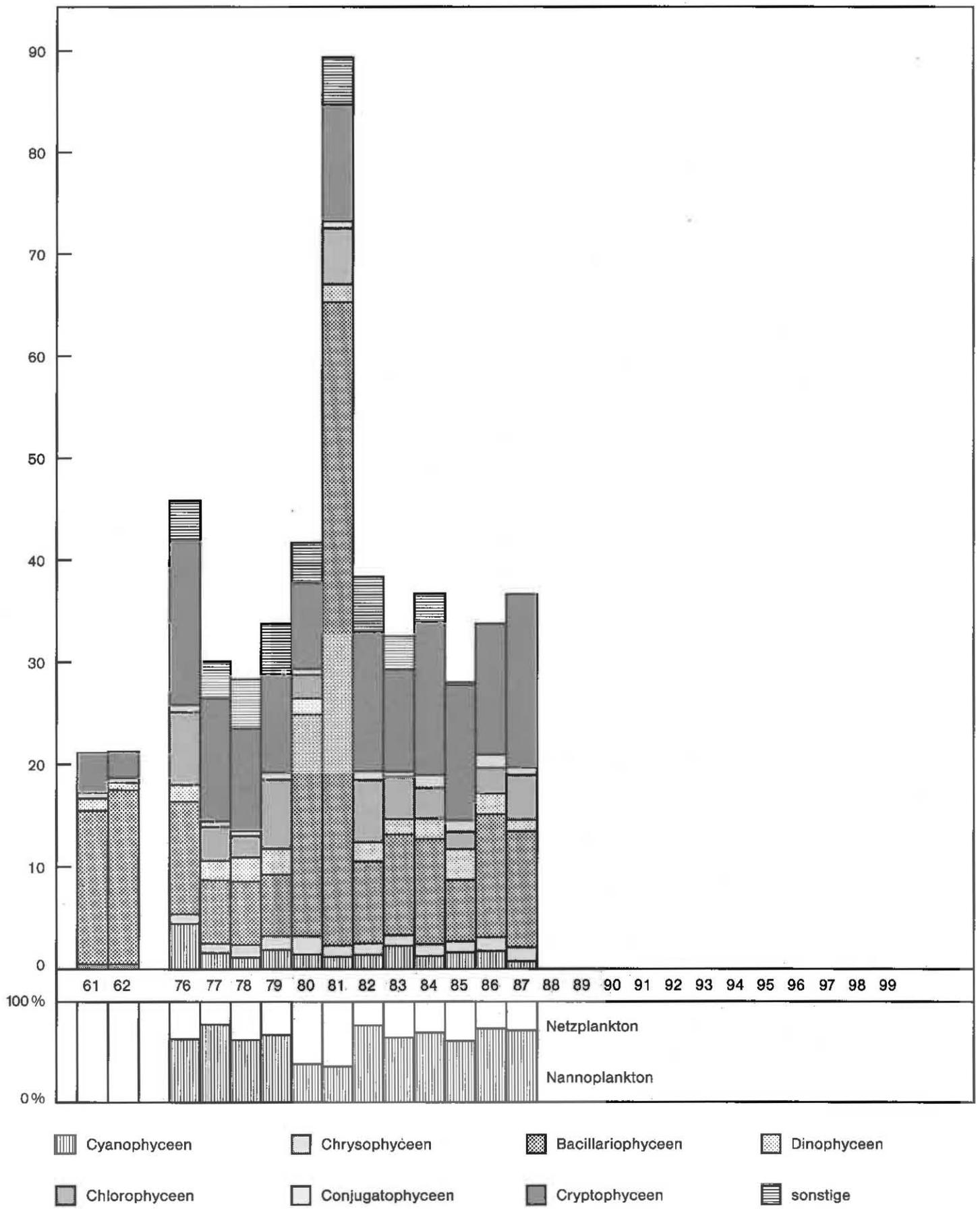
Abb. 4
Bodensee – Obersee, Fischbach-Uttwil:
Langfristige Entwicklung des Crustaceenplanktons,
Jahresmittelwerte (Tiere/m²)



- | | | |
|---|---|--|
|  Daphnia |  übrige Cladoceren |  Eudiaptomus |
|  Cyclops ssp.* |  Mesocyclops |  Acanthocyclops |

(* die Copepoden Cyclops abyssorum, C. vicinus, Mesocyclops und Acanthocyclops wurden 1987 nicht getrennt erfaßt)

Abb. 5
Bodensee – Untersee, Zellersee:
Langfristige Entwicklung des Phytoplanktons,
Biomassen in g/m² (0–20 m Tiefe) im Jahresmittel



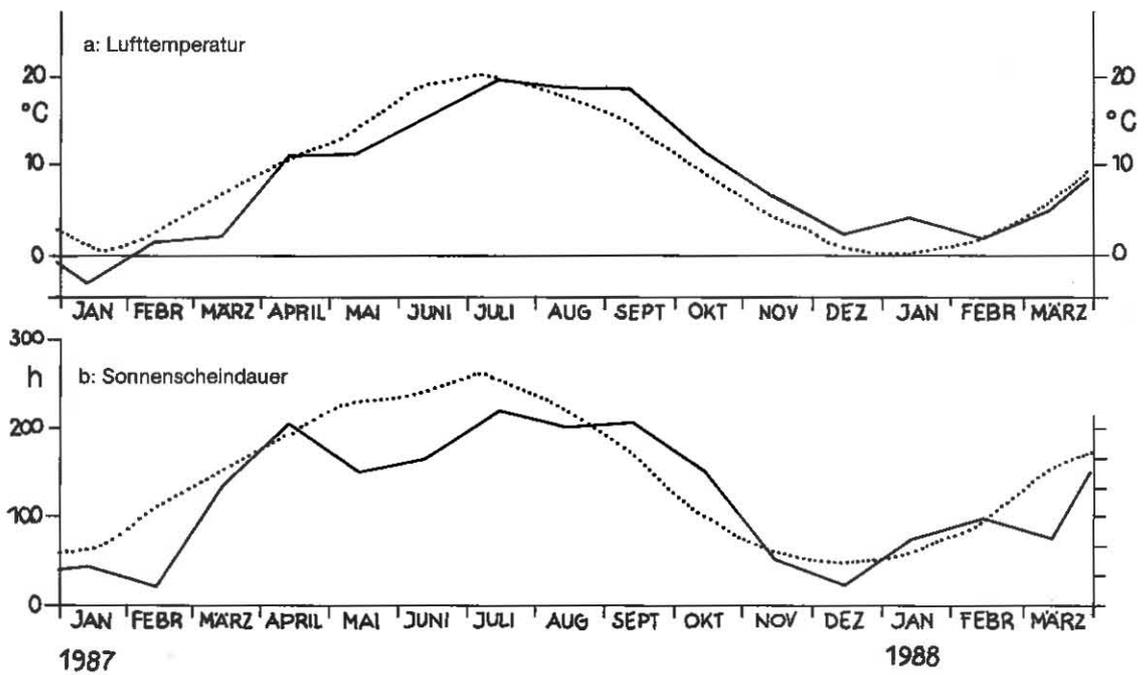


Abb. 6: Bodensee – Obersee:
 Monatliche Klimadaten der Wetterwarte Konstanz*)
 a. — Monatsmitteltemperatur
 langjährige Monatsmitteltemperatur (1931–1960)
 b. — monatliche Sonnenscheindauer in h
 langjährige monatliche Sonnenscheindauer in h (1951–1970)
 *) Die Wetterstation Friedrichshafen wurde aufgelöst

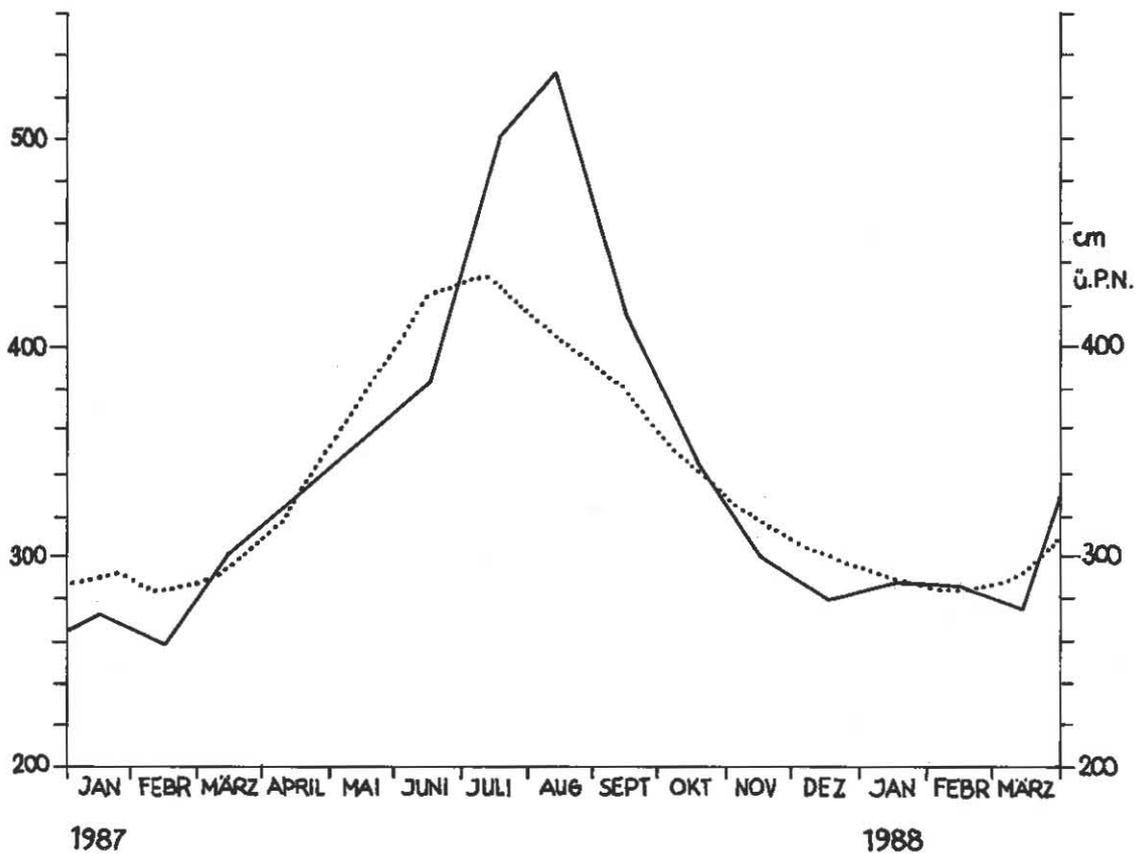


Abb. 7: Bodensee – Obersee:
 Wasserstand am Pegel Konstanz
 — mittlerer monatlicher Wasserstand
 langjähriger monatlicher Wasserstand (1877–1964)

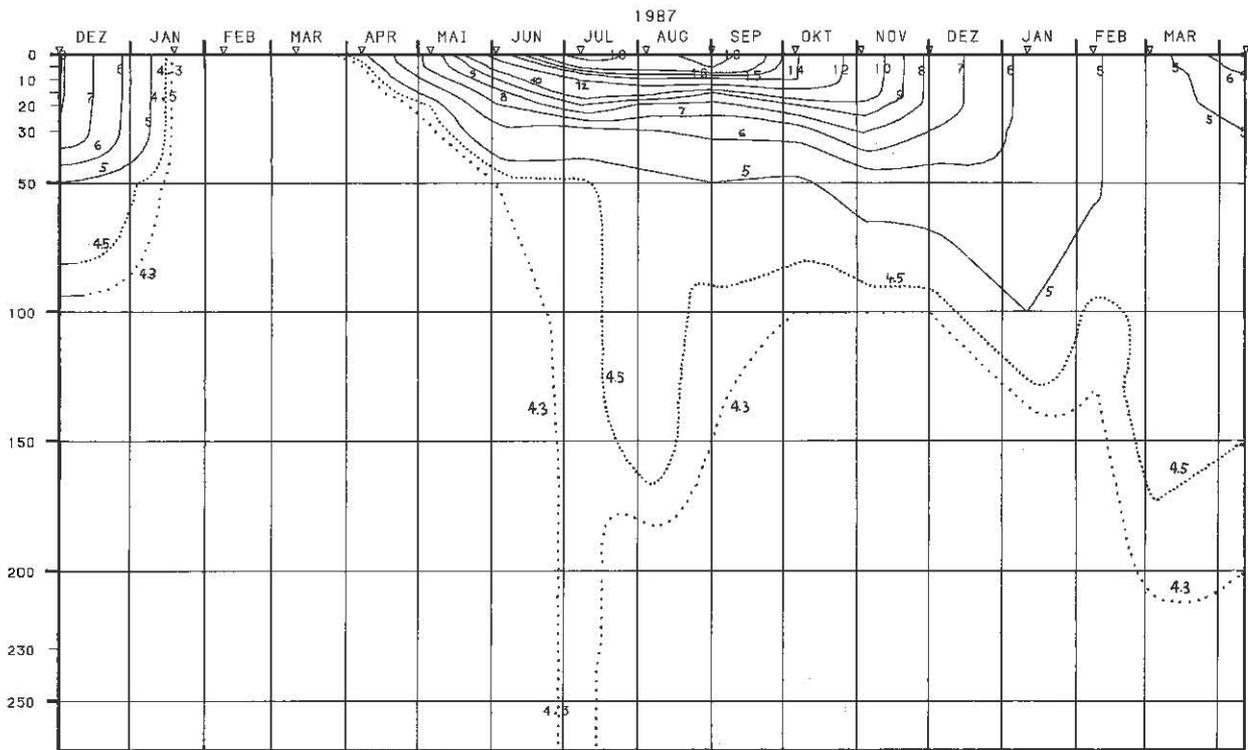


Abb. 8: Bodensee – Obersee, Fischbach-Uttwil:
Temperatur °C

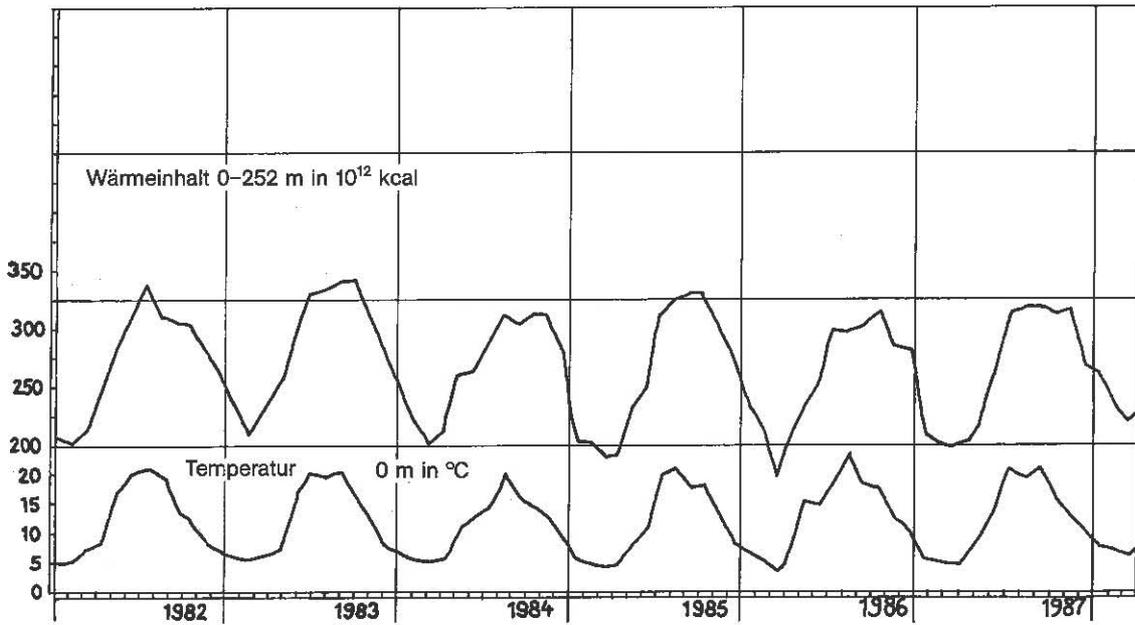


Abb. 9: Bodensee – Obersee:
Thermik

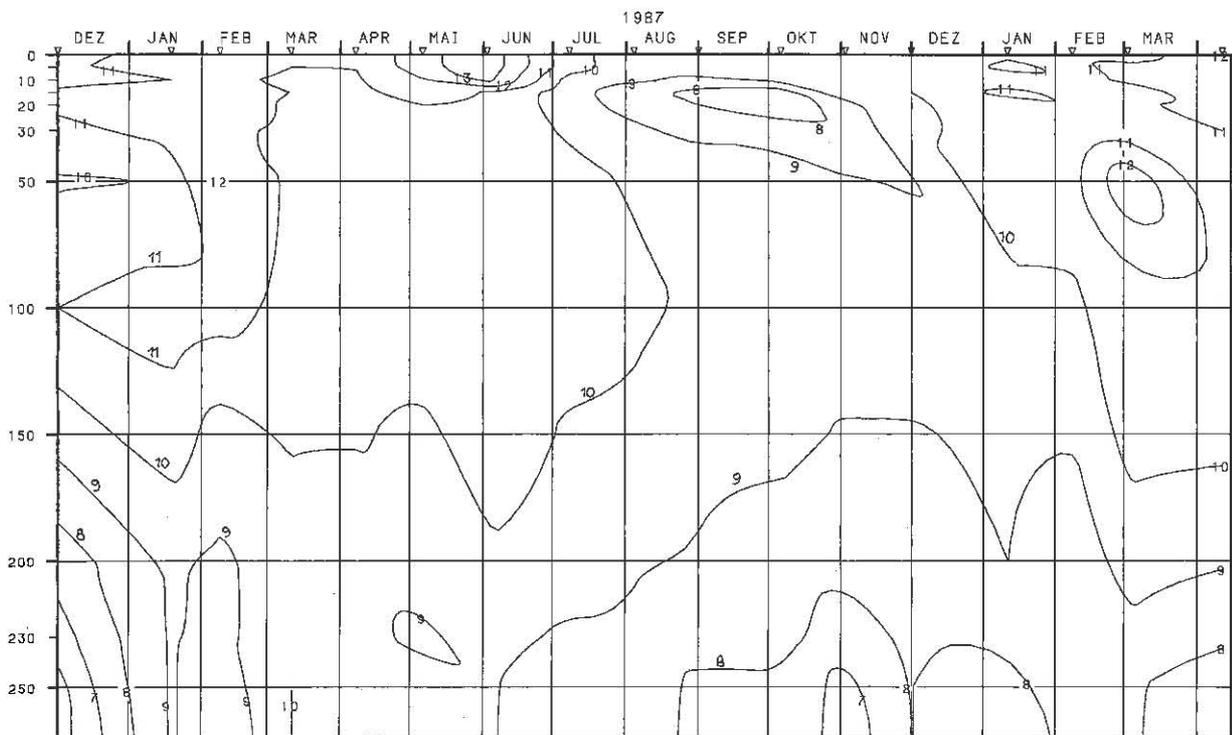


Abb. 10: Bodensee – Obersee, Fischbach-Uttwil:
Sauerstoff (mg/l)

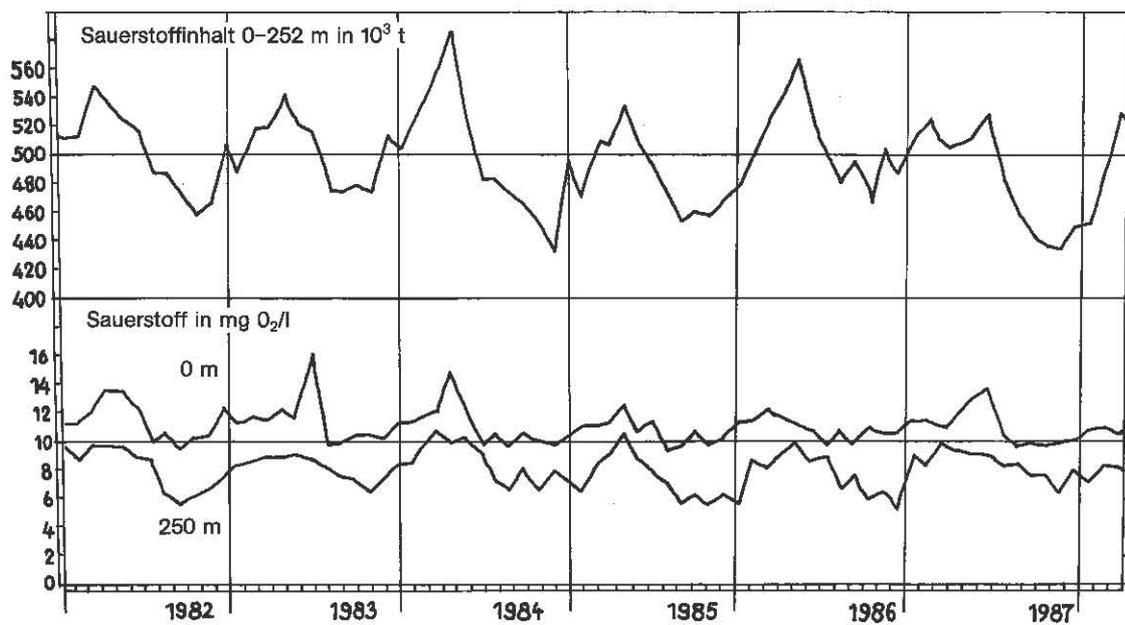


Abb. 11: Bodensee – Obersee:
Sauerstoffinhalt 0-252 m und Sauerstoffkonzentration 0 bis 250 m Tiefe

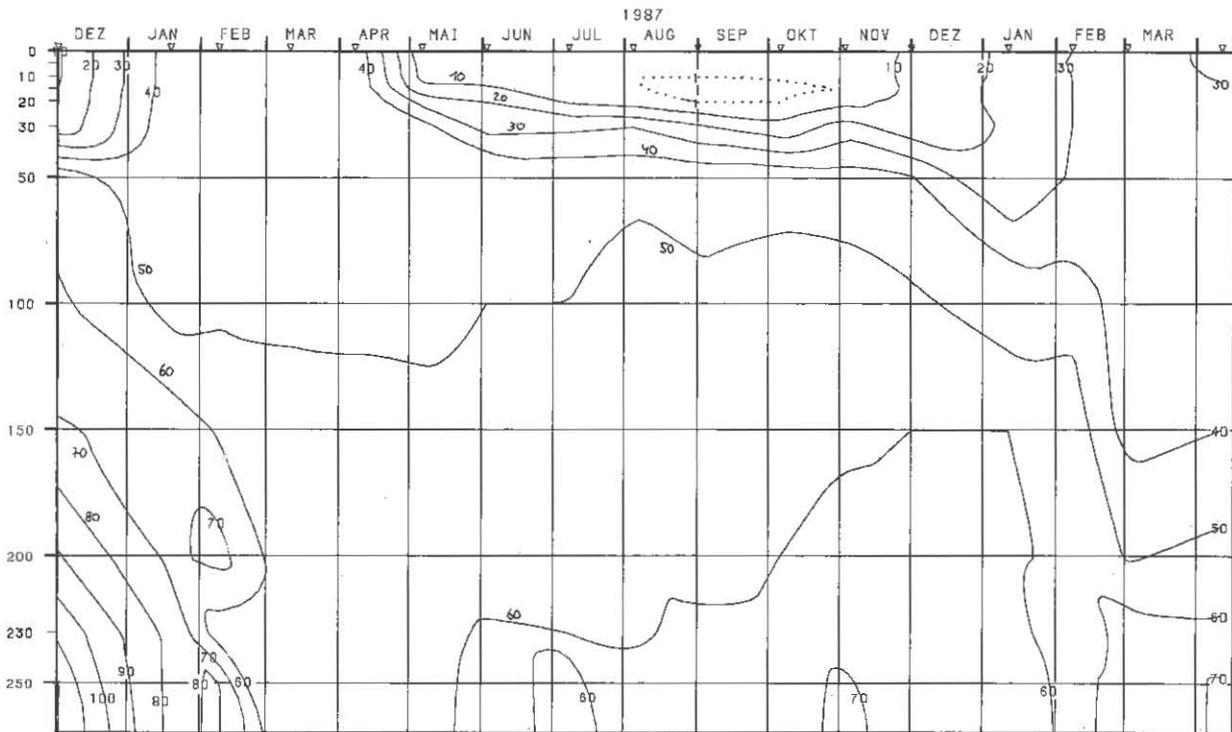


Abb. 12: Bodensee - Obersee, Fischbach-Uttwil:
Orthophosphat - Phosphor (mg/m³)

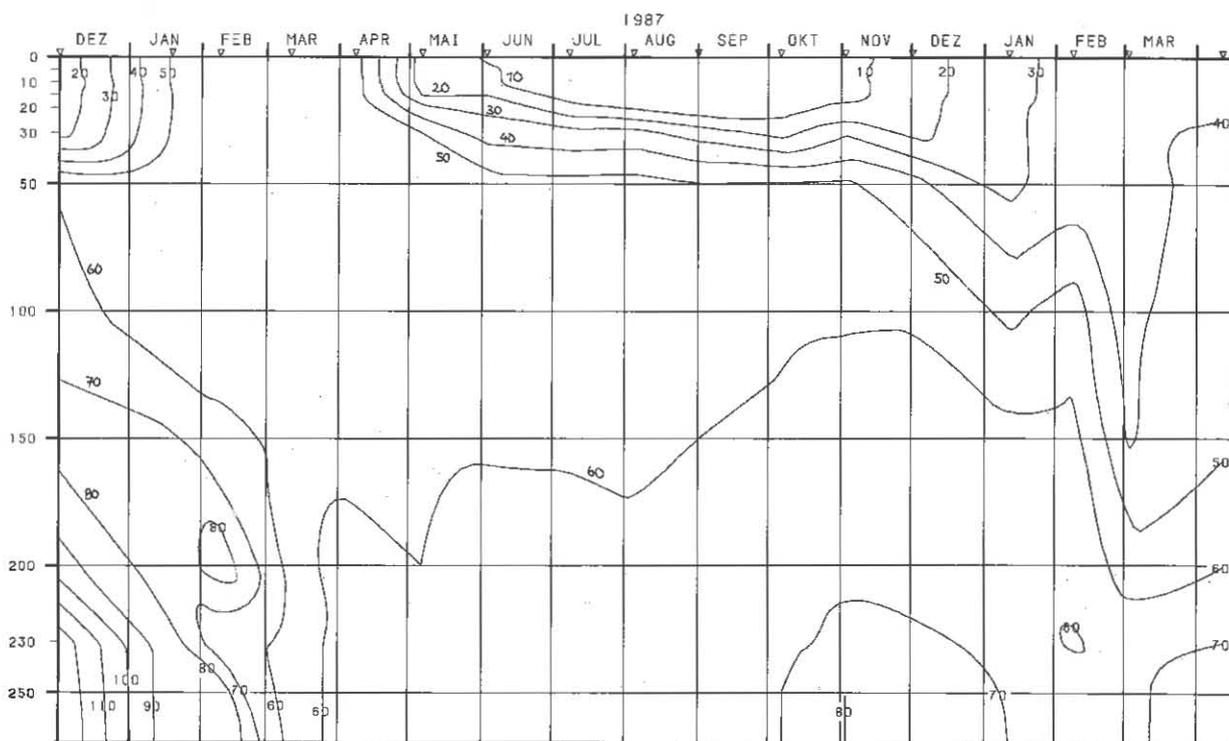


Abb. 13: Bodensee - Obersee, Fischbach-Uttwil:
Gesamter gelöster Phosphor (mg/m³)

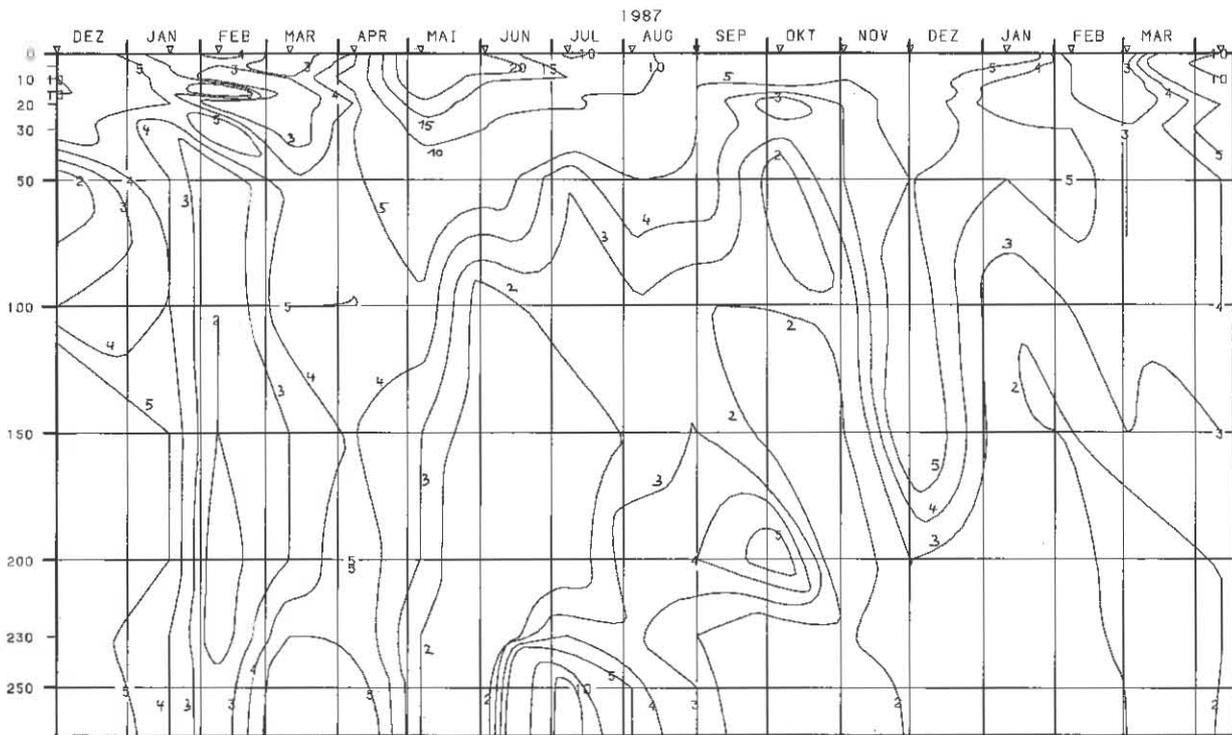


Abb. 14: Bodensee – Obersee, Fischbach-Uttwil:
Partikulärer Phosphor (mg/m^3)

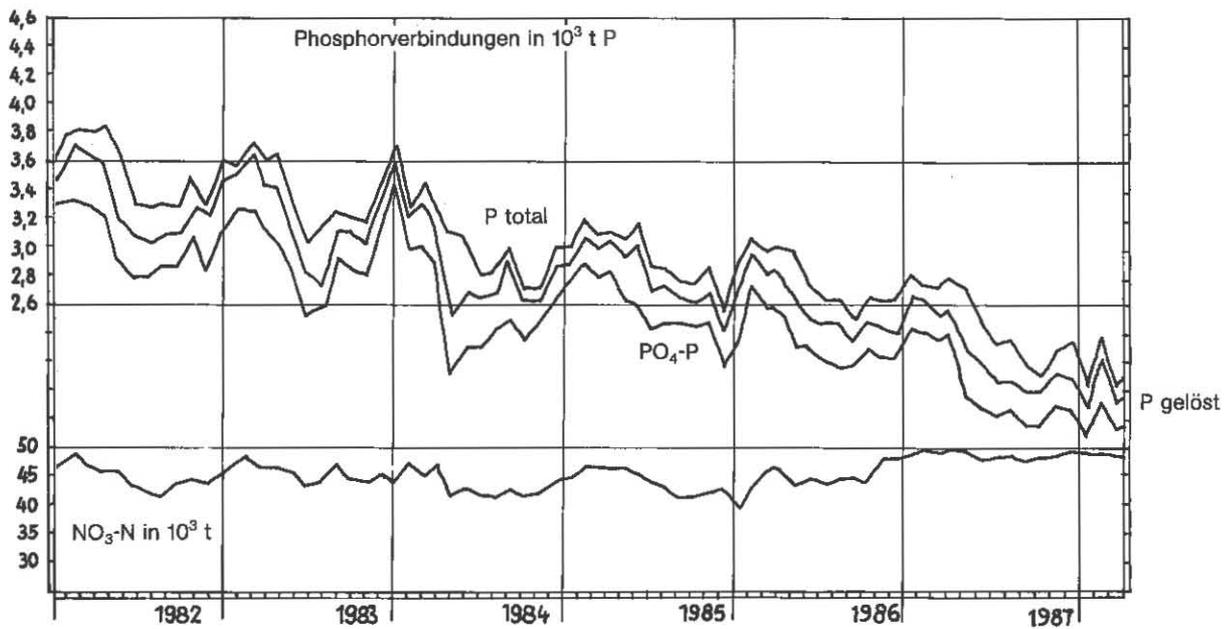


Abb. 15: Bodensee – Obersee:
Nährstoffinhalt (P, $\text{NO}_3\text{-N}$) 0–250 m Tiefe

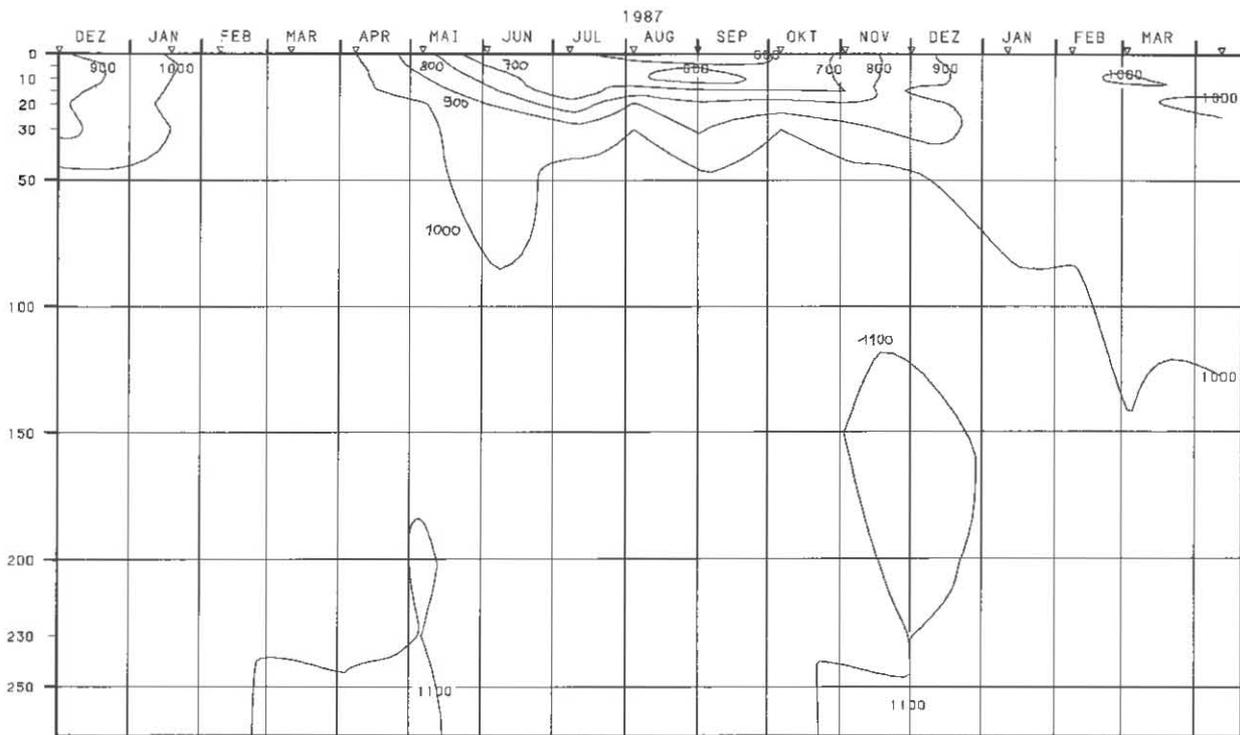


Abb. 16: Bodensee – Obersee, Fischbach-Uttwil:
Nitrat – Stickstoff (mg/m³)

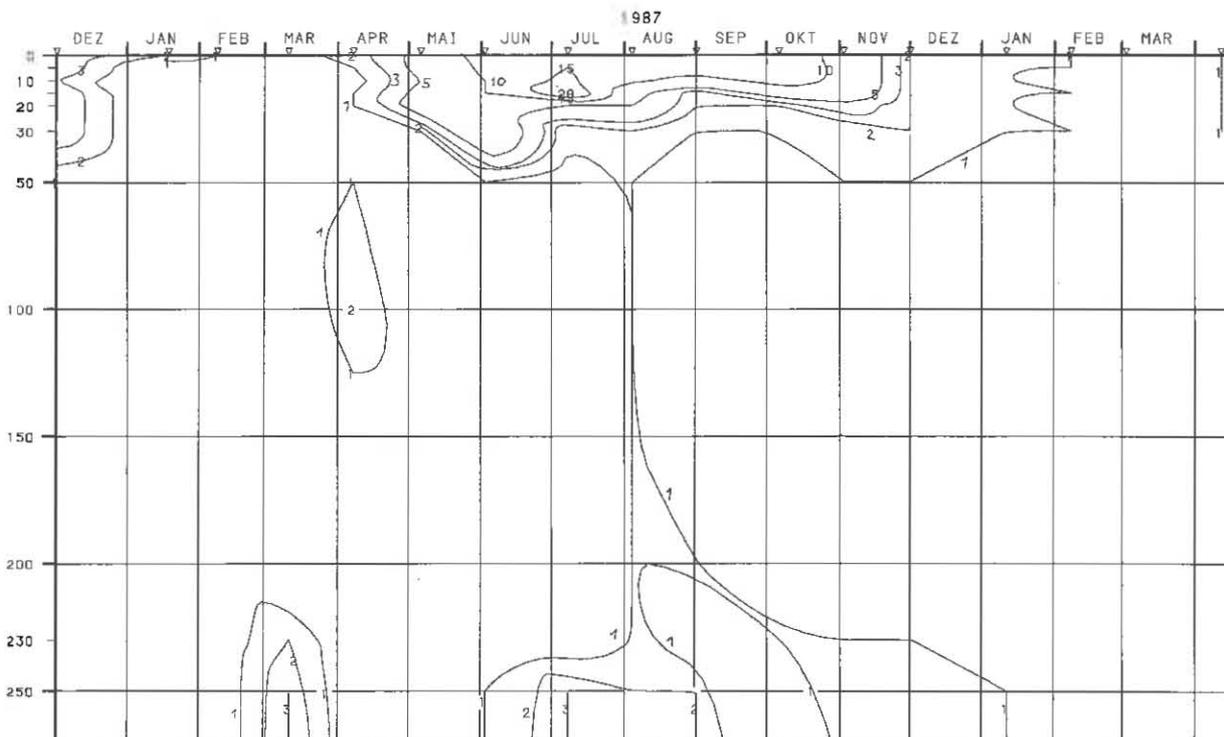


Abb. 17: Bodensee – Obersee, Fischbach-Uttwil:
Nitrit – Stickstoff (mg/m³)

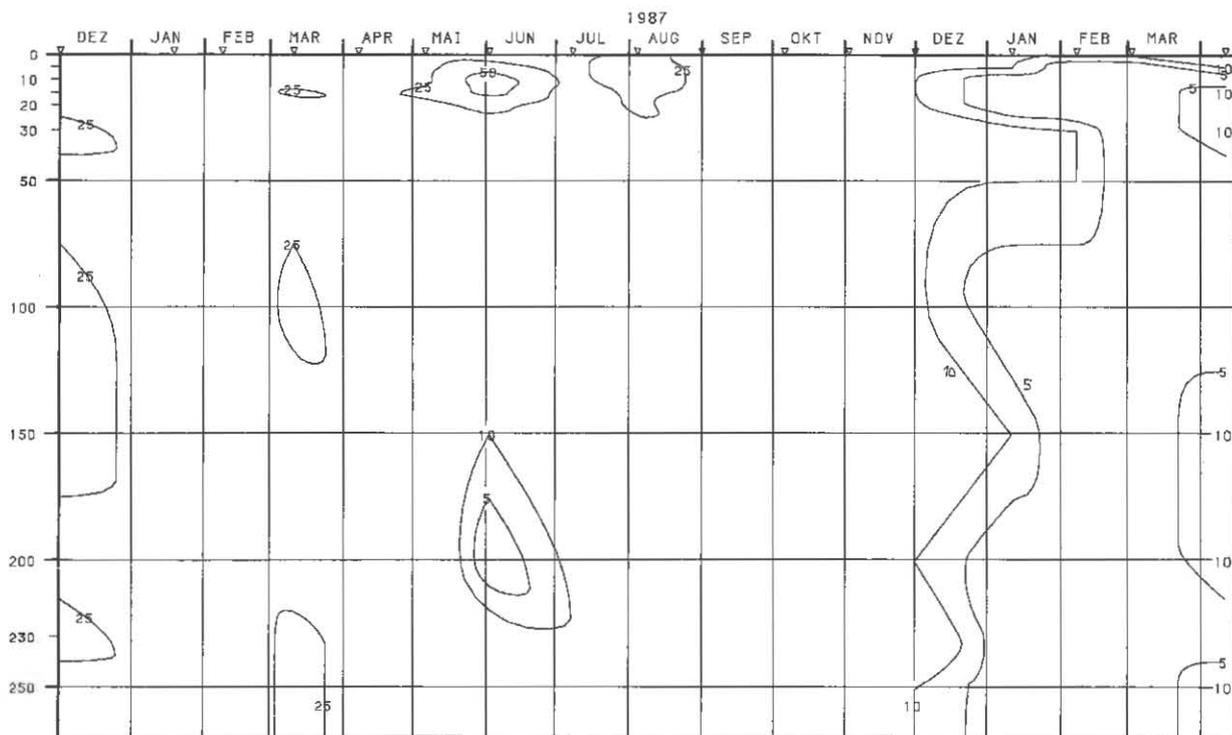


Abb. 18: Bodensee – Obersee, Fischbach-Uttwil:
Ammonium – Stickstoff (mg/m^3)

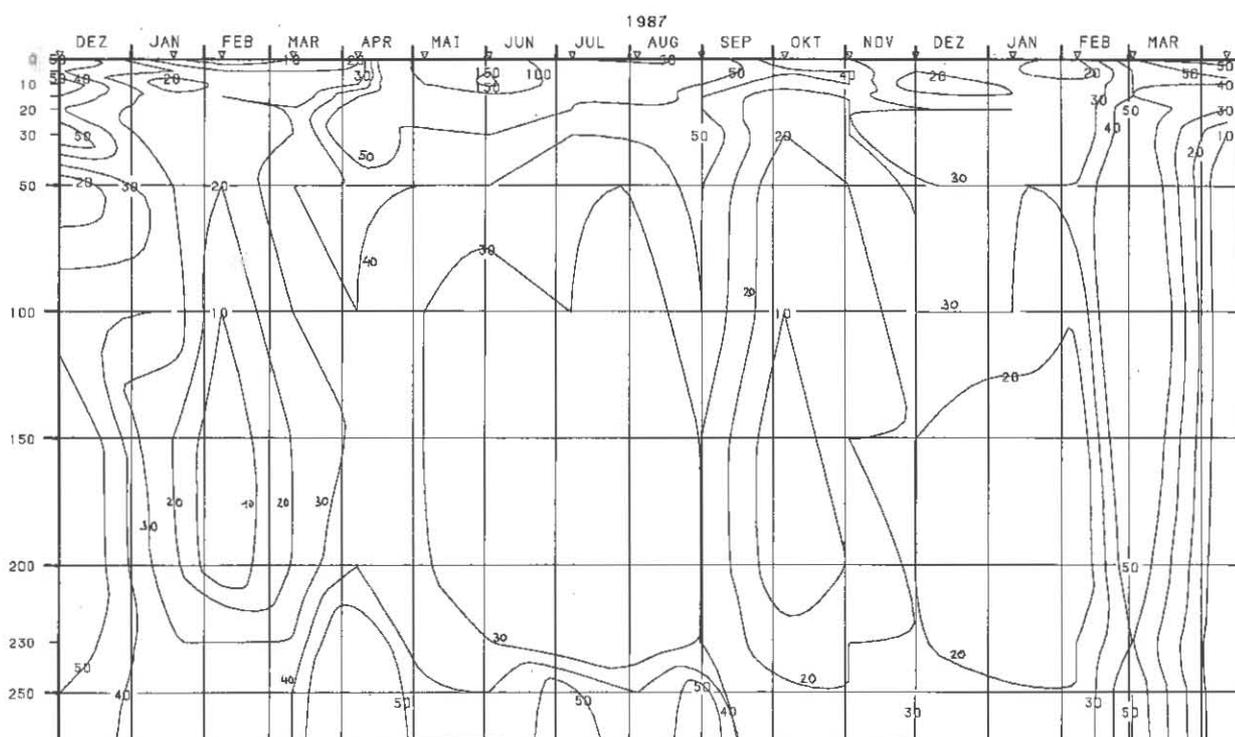


Abb. 19: Bodensee – Obersee, Fischbach-Uttwil:
Partikulärer Stickstoff (mg/m^3)

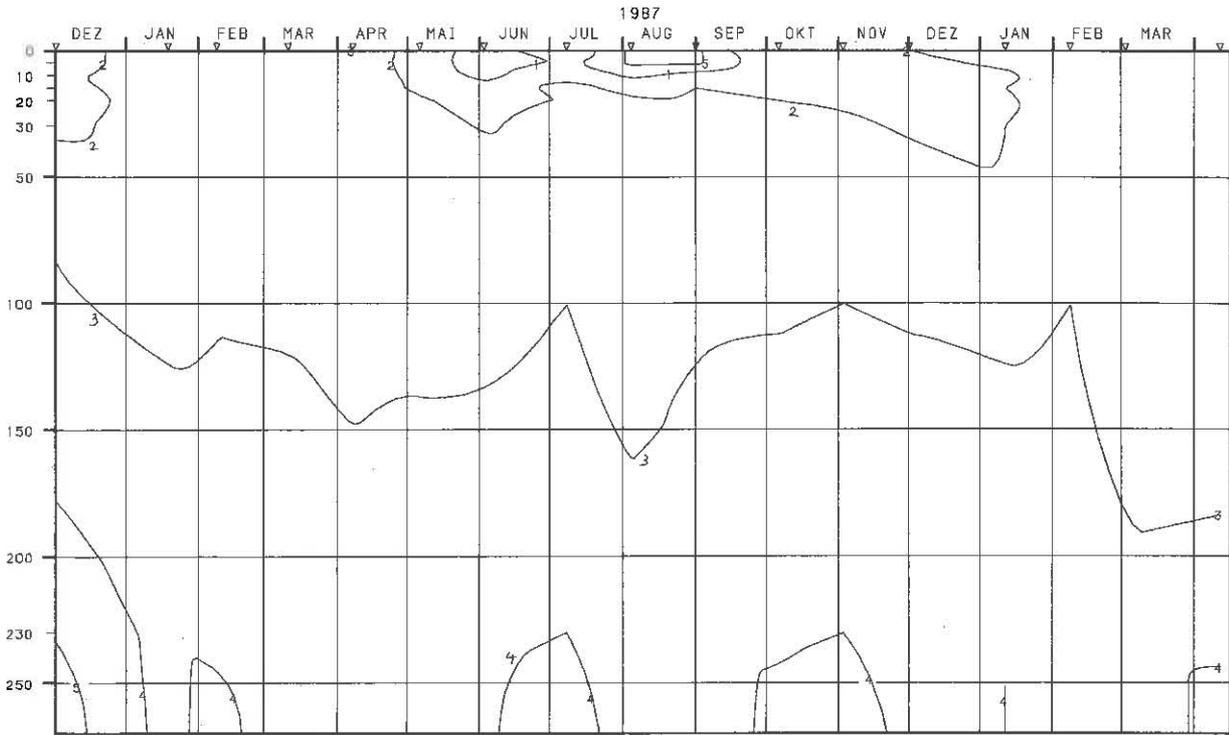


Abb. 20: Bodensee – Obersee, Fischbach-Uttwil:
Silikat (mg/l)

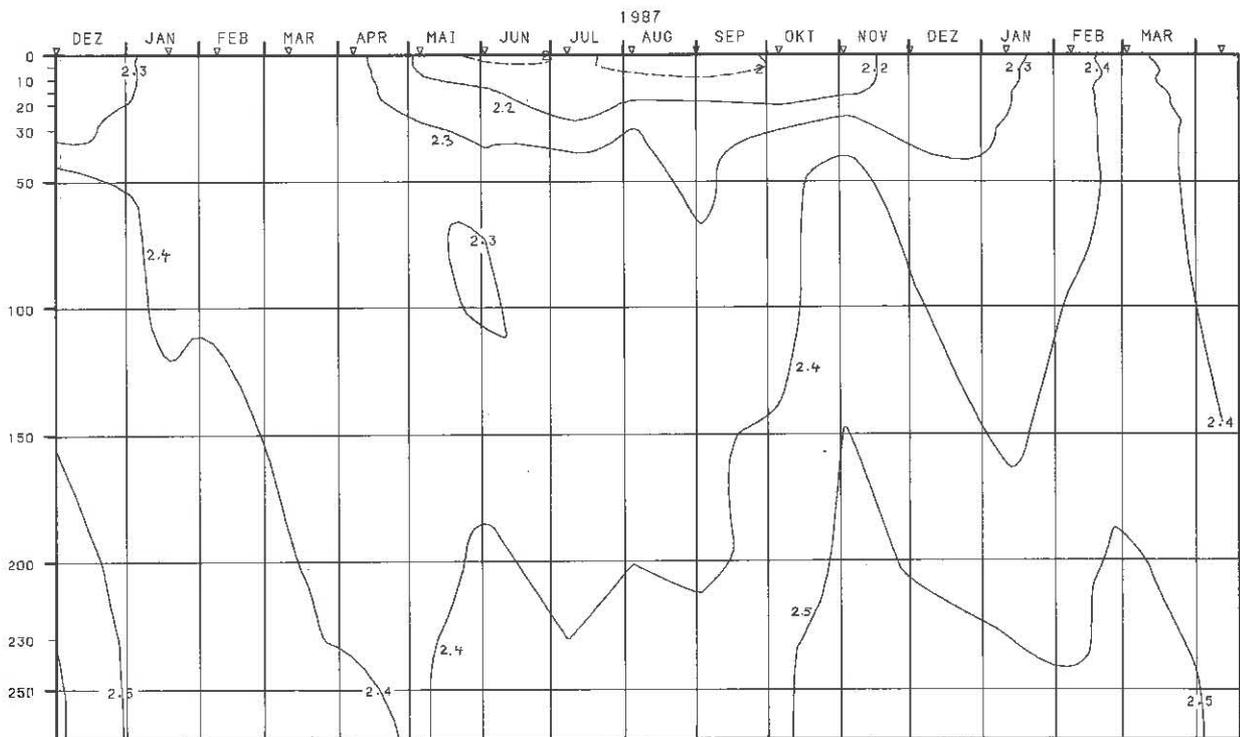


Abb. 21: Bodensee – Obersee, Fischbach-Uttwil:
Anorganischer Kohlenstoff (mmol/l)

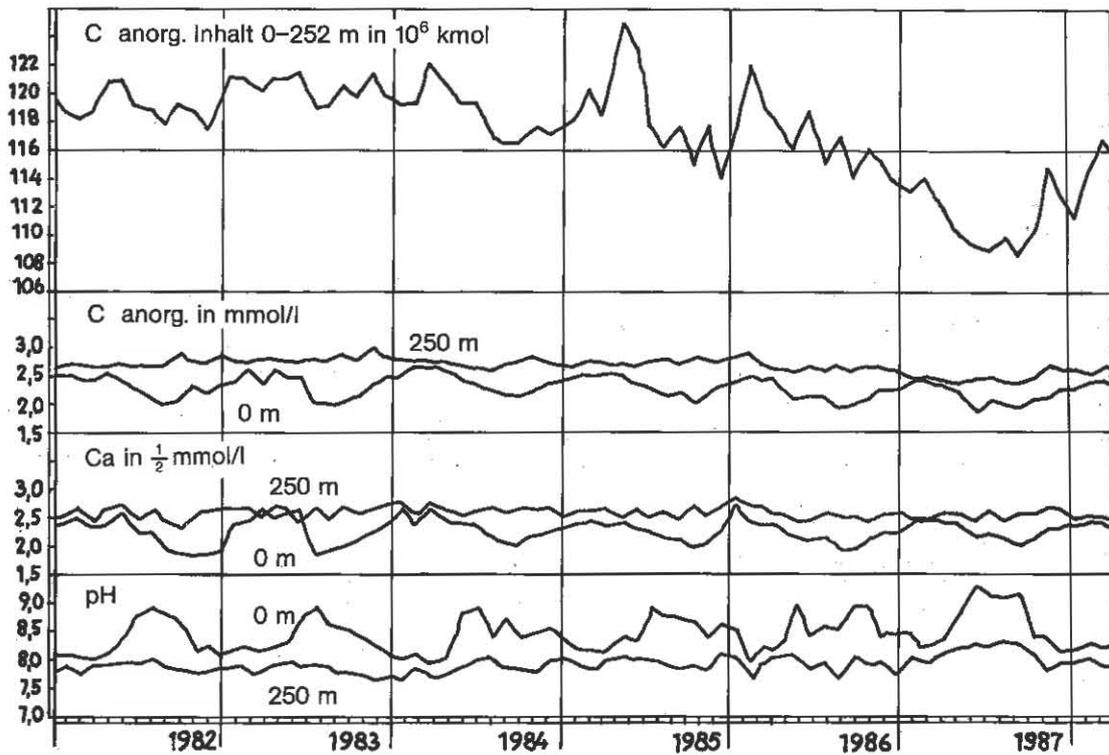


Abb. 22: Bodensee – Obersee:
Anorganischer Kohlenstoff, Inhalt 0–252 m Tiefe
Konzentrationen von anorg. Kohlenstoff, Calcium; pH-Wert

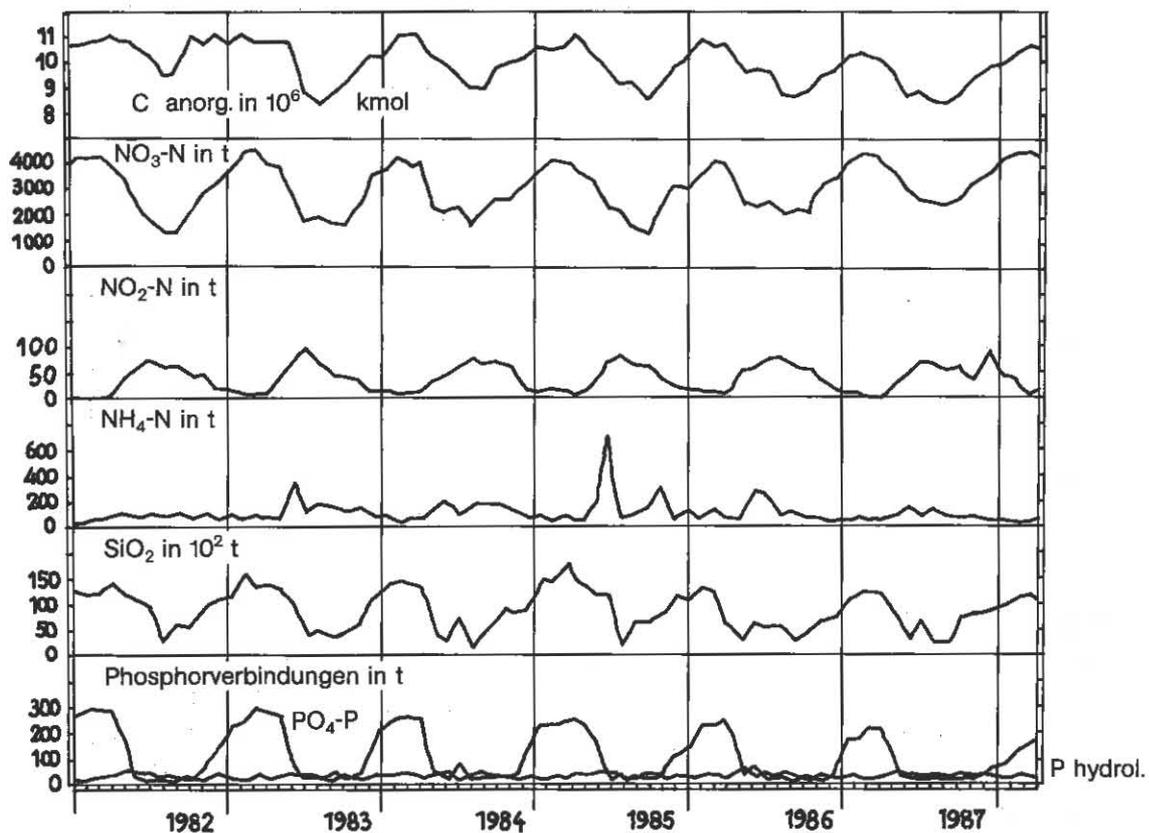


Abb. 23: Bodensee – Obersee:
Nährstoffinhalt (Phosphor, Stickstoff, Silikat,
anorg. Kohlenstoff) im Epilimnion 0–10 m Tiefe

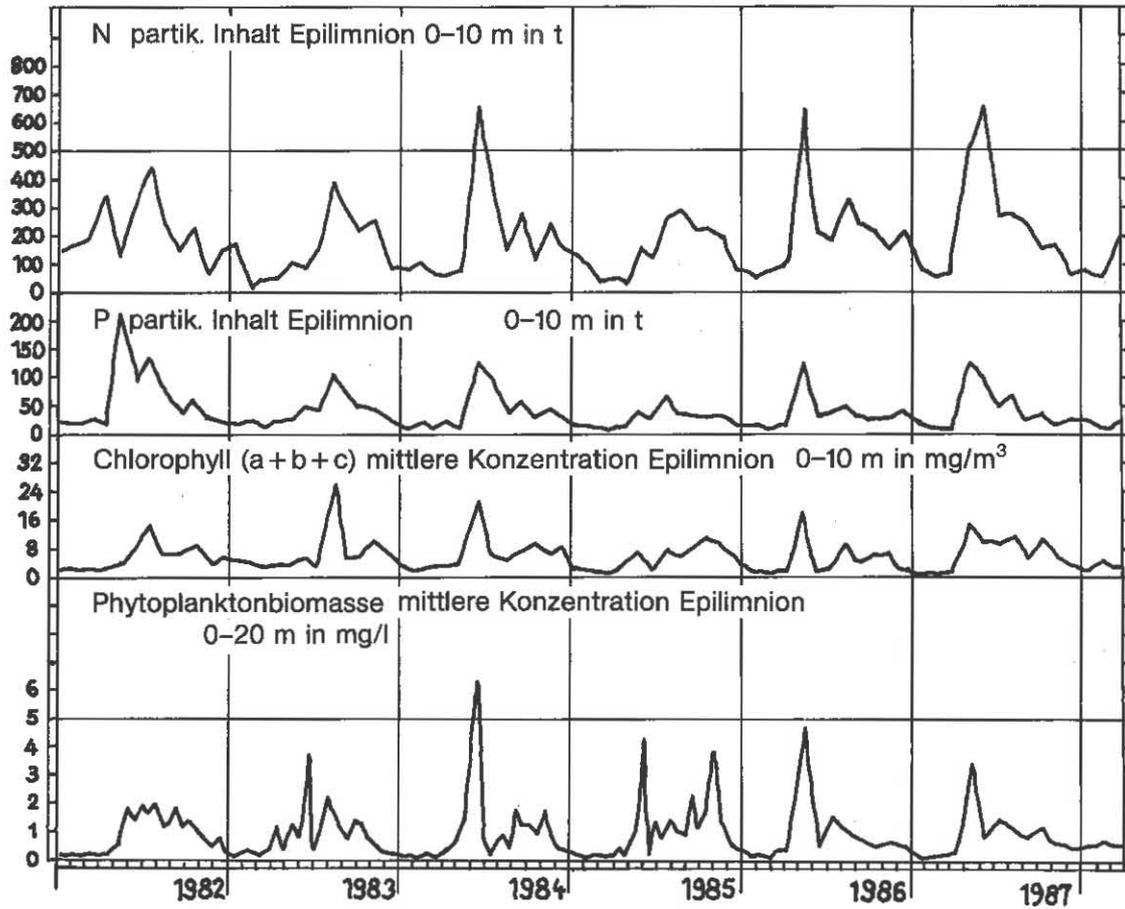


Abb. 24: Bodensee – Obersee:
Chemische Biomasseindikatoren und Algenbiomasse

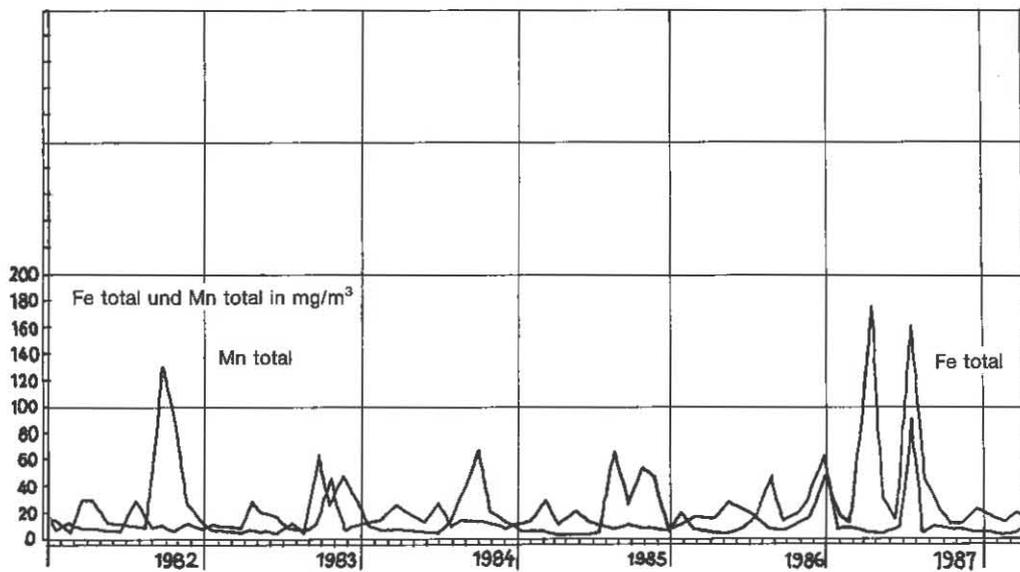


Abb. 25: Bodensee – Obersee, Fischbach-Uttwil:
Konzentrationen von Eisen total und Mangan total in 250 m Tiefe

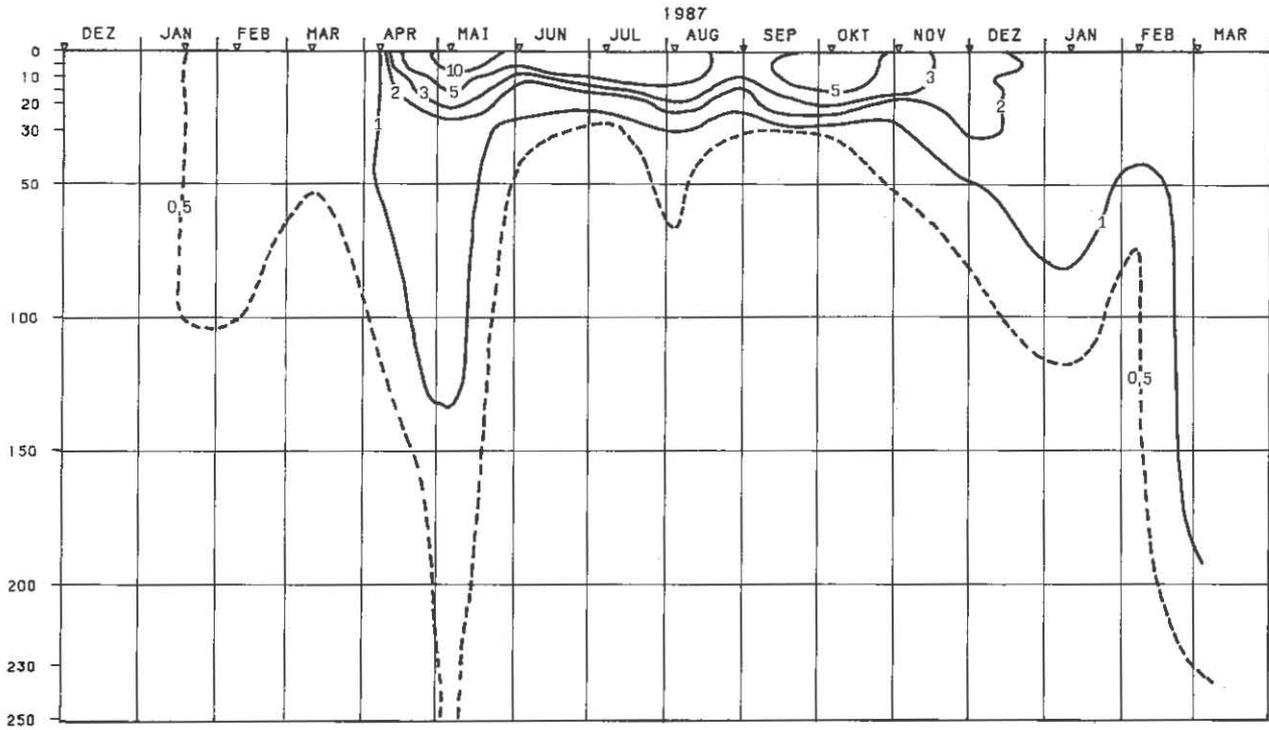
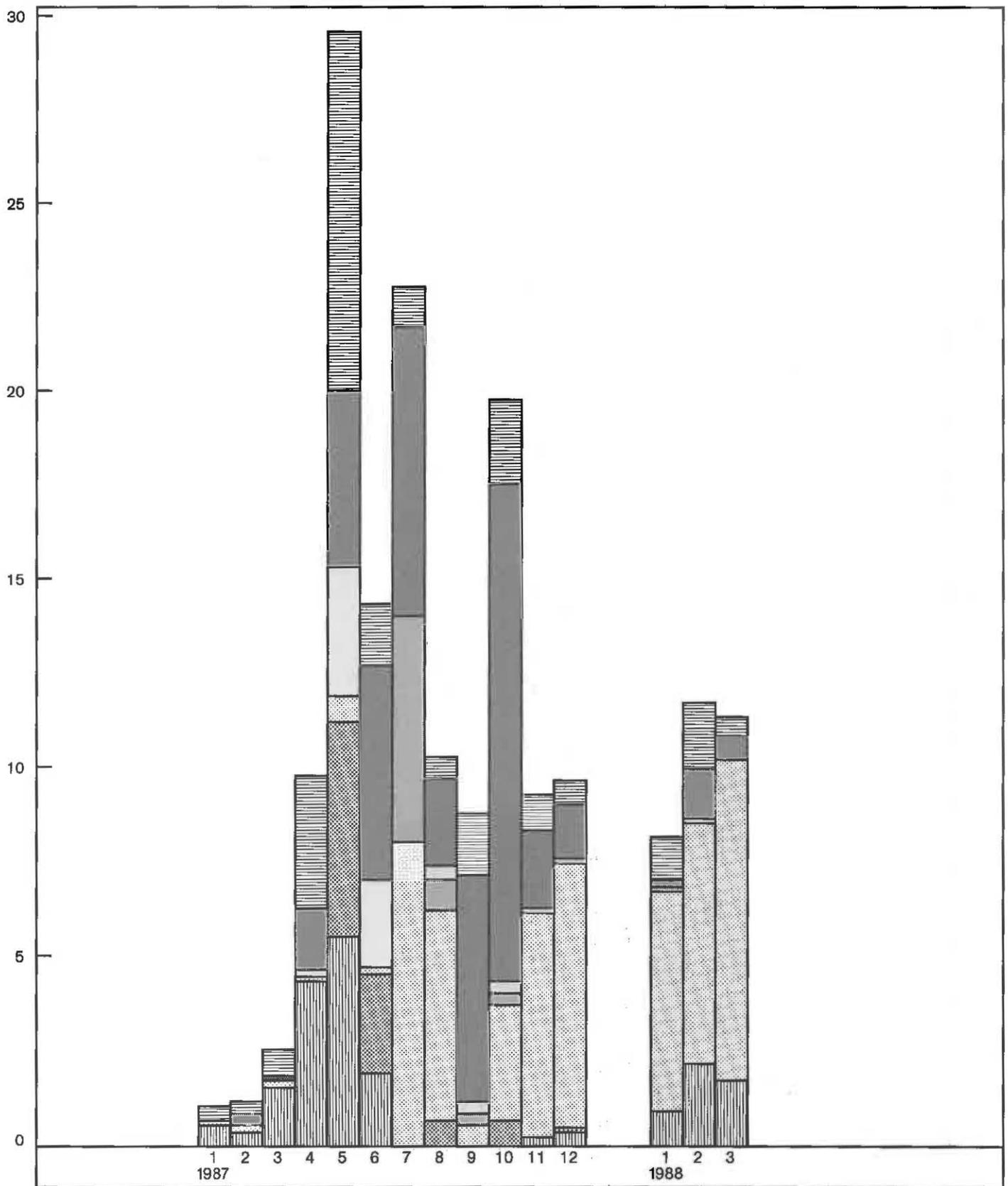


Abb. 26: Bodensee – Obersee, Fischbach-Uttwil:
Chlorophyll a (mg/m³)

Abb. 28

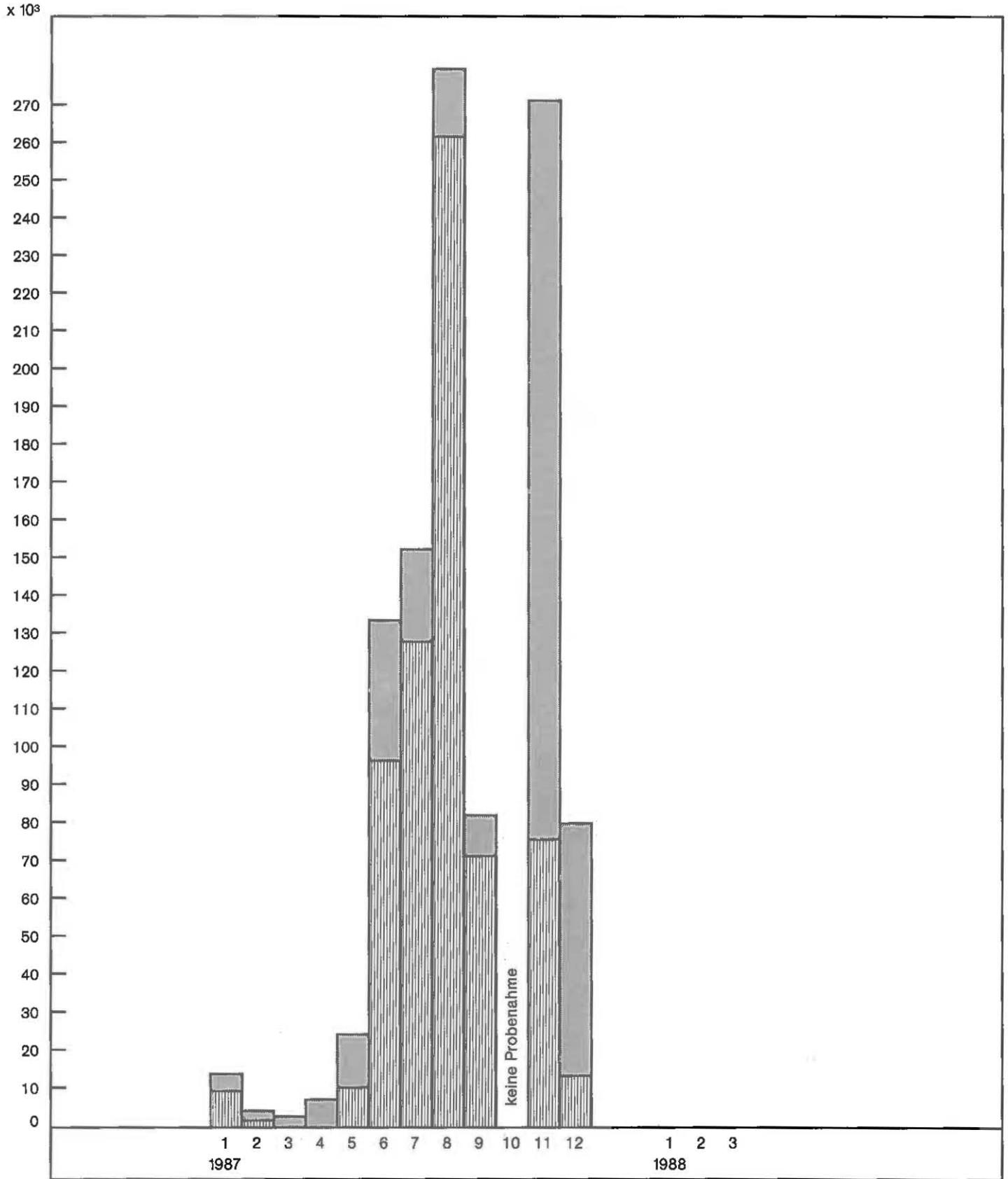
Bodensee – Obersee, Fischbach-Uttwil:

**Entwicklung des Phytoplanktons, Biomassen der Hauptarten in g/m² (0–20 m Tiefe)
Monatsmittel 1987/88**



- | | | | |
|------------------------|------------------|------------------------|-----------------------|
| Stephanodiscus astraea | Synedra ssp. | Fragilaria crotonensis | Ceratium hirundinella |
| Gymnodinium helveticum | Cryptomonas ssp. | Rhodomonas ssp. | |

Abb. 29
Bodensee – Obersee, Fischbach-Uttwil:
Entwicklung der Cladoceren,
Monatsmittel 1987 (Tiere/m²)



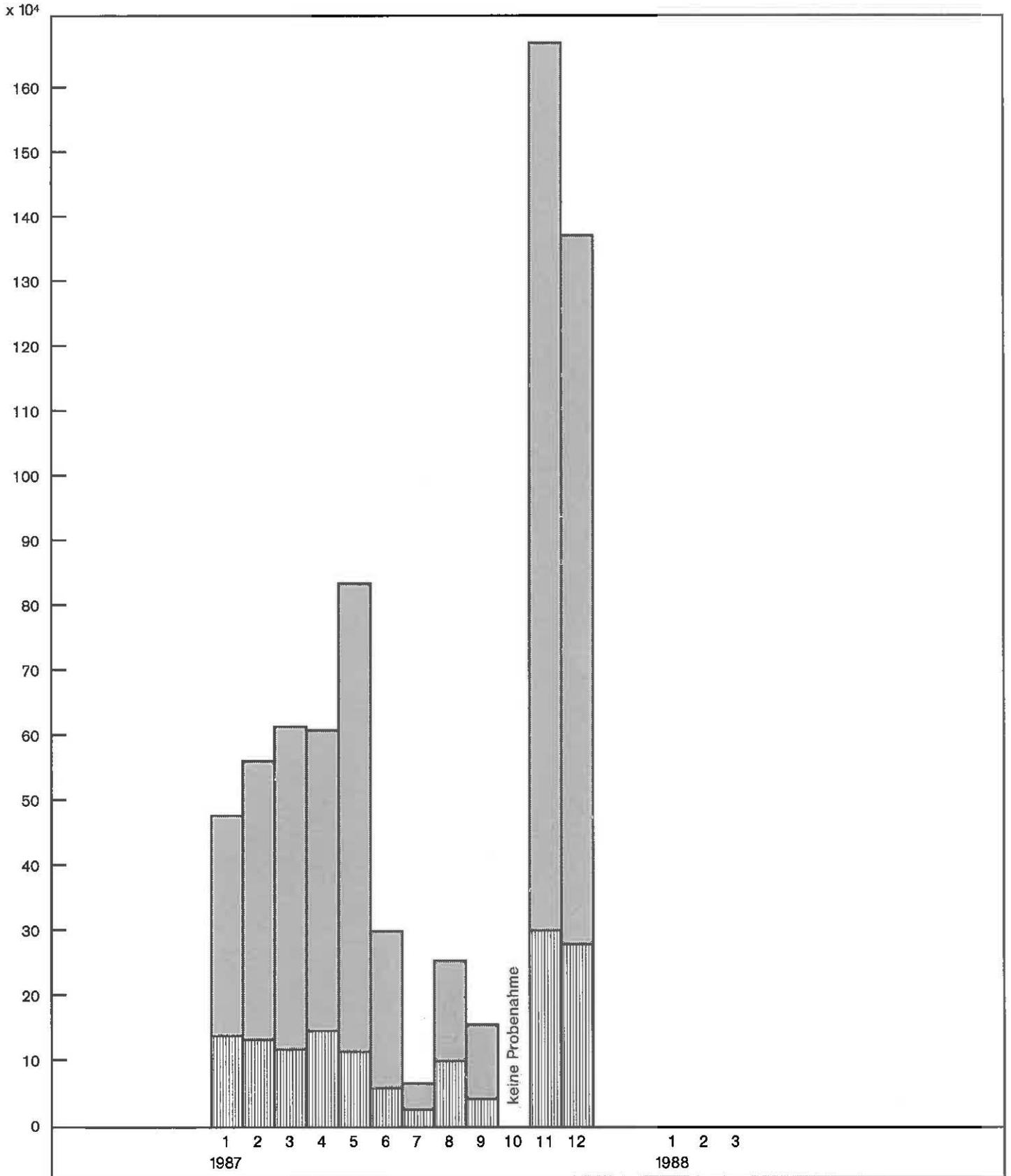
 Daphnia

 übrige Cladoceren

Abb. 30

Bodensee – Obersee, Fischbach-Uttwil:

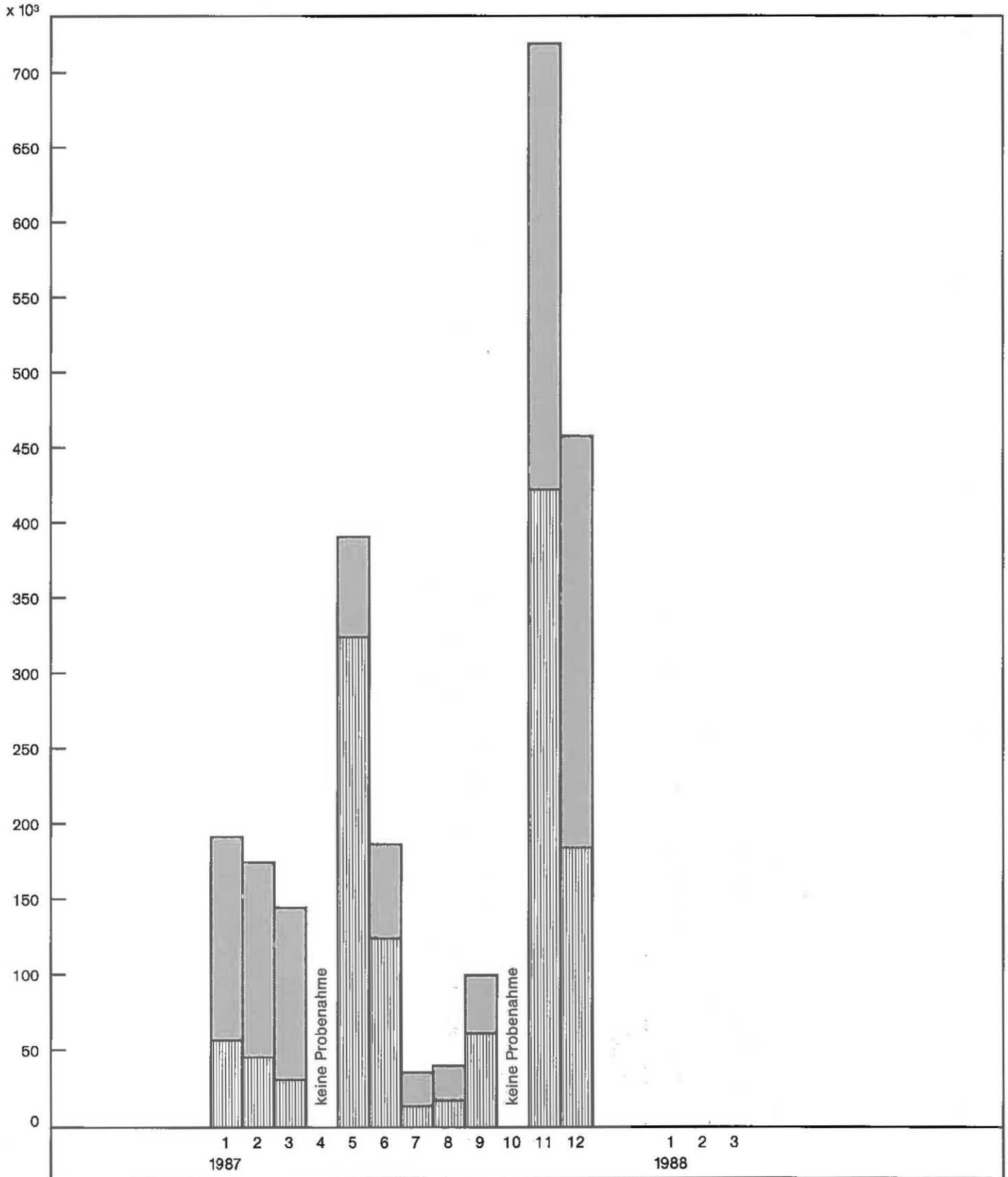
Entwicklung der Copepoden: adulte Tiere und Copepodide ohne Nauplien,
Monatsmittel 1987 (Tiere/m²)



 Mesocyclops

 Cyclops abyssorum
C. vicinus
Mesocyclops
Acanthocyclops

Abb. 31
Bodensee – Obersee, Fischbach-Uttwil:
Entwicklung der Copepoden: Filtrierende Copepoden
Monatsmittel 1987 (Tiere/m²)

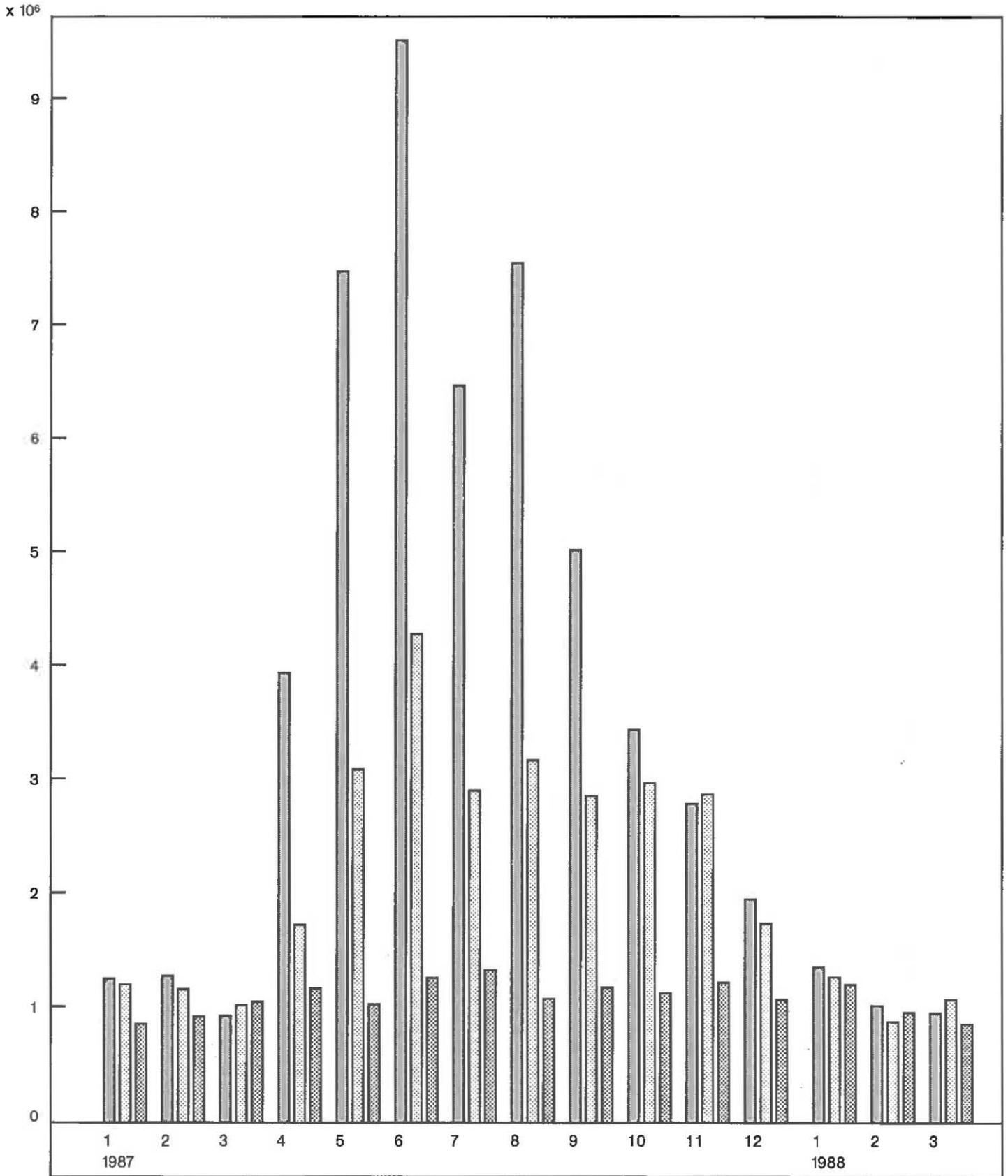


 1. bis 3. Copepodidstadien aller Cyclops-Arten
  Eudiaptomus Adulte und Copepodide

Abb. 32

Bodensee – Obersee, Langenargen – Arbon:

Entwicklung des Bakterienplanktons, Gesamtkeimzahlen (Direktzählung Zellen/ml)
in verschiedenen Tiefenstufen · Monatsmittel 1987/88



0 - 10 m Tiefe

10 - 30 m Tiefe

30 - 200 m Tiefe

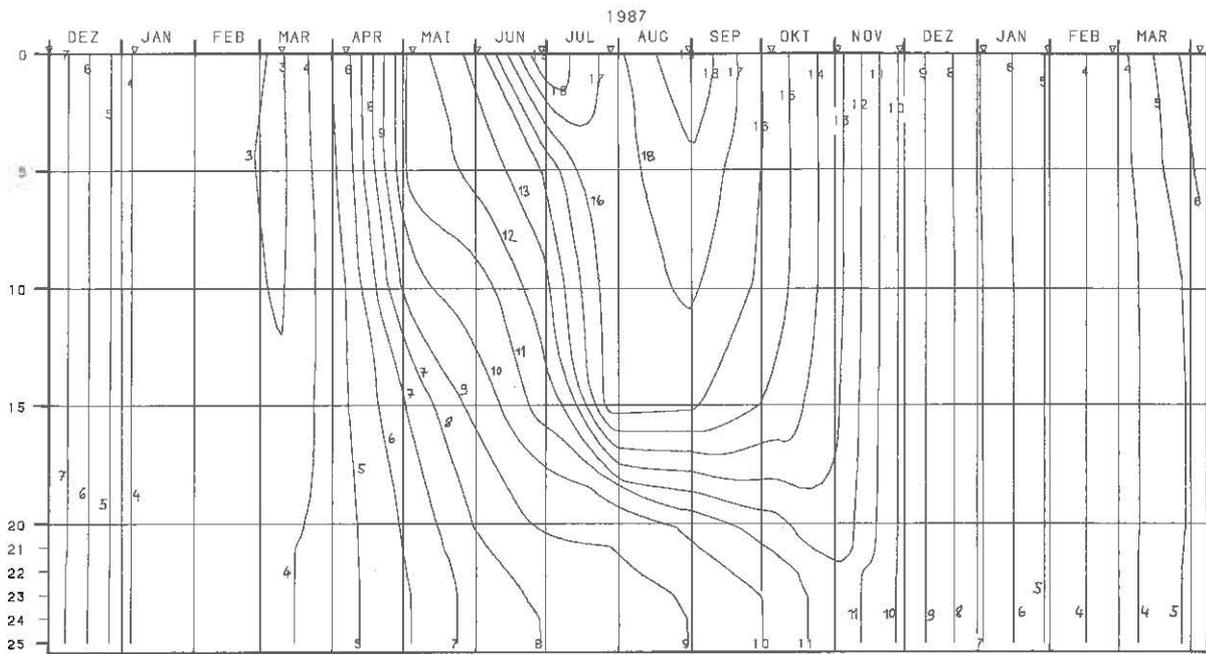


Abb. 33: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Temperatur °C

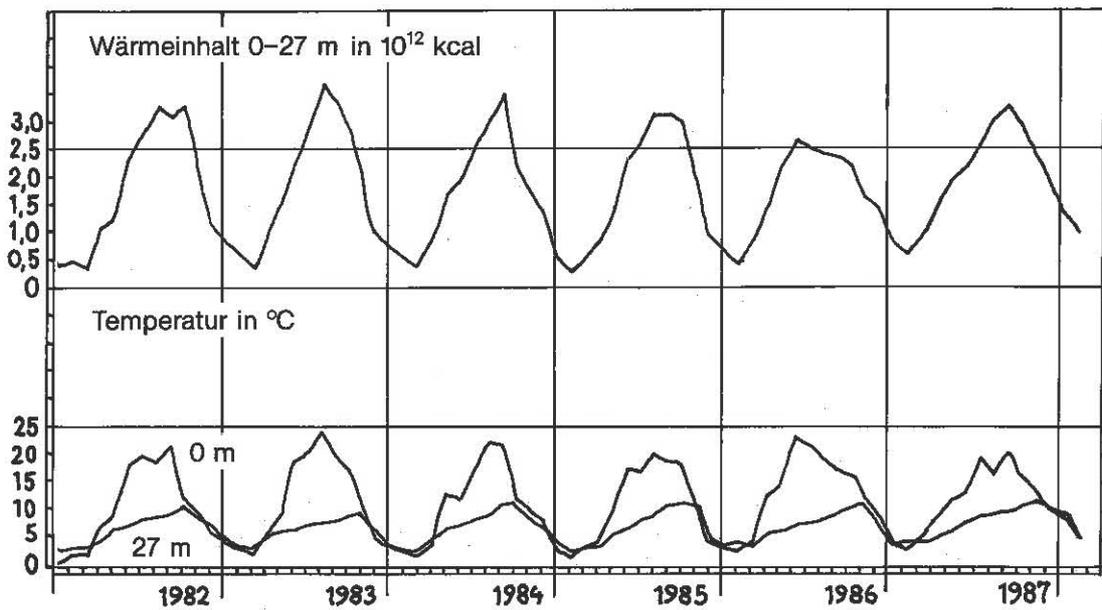


Abb. 34: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Thermik

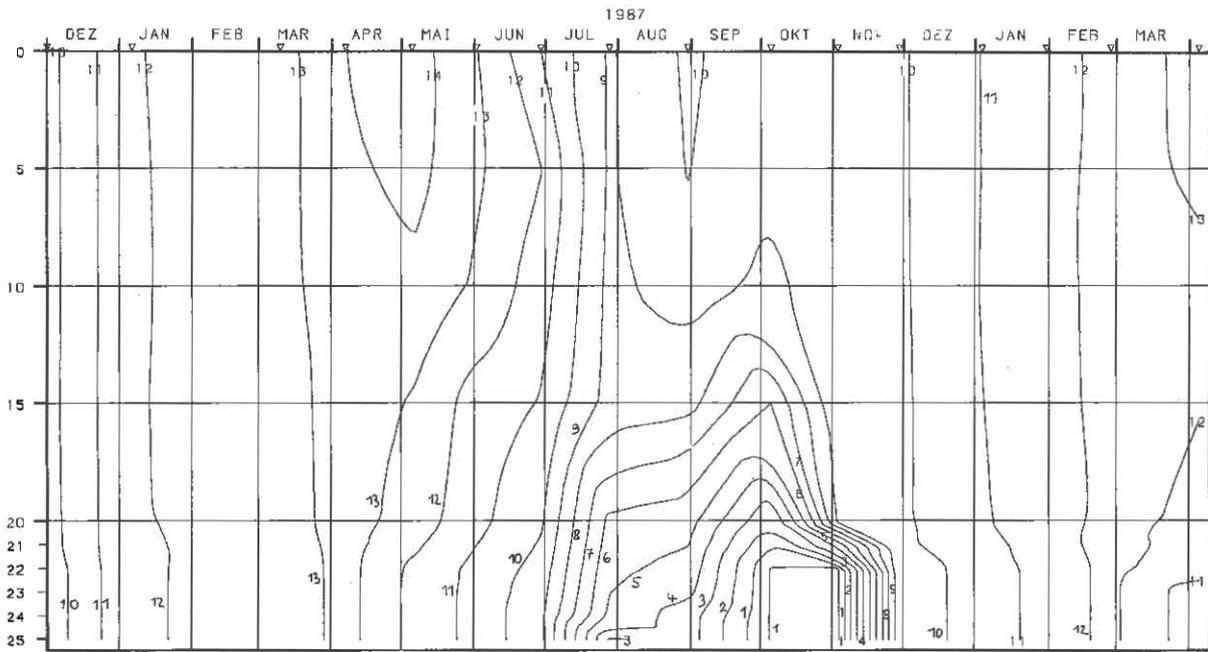


Abb. 35: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Sauerstoff (mg/l)

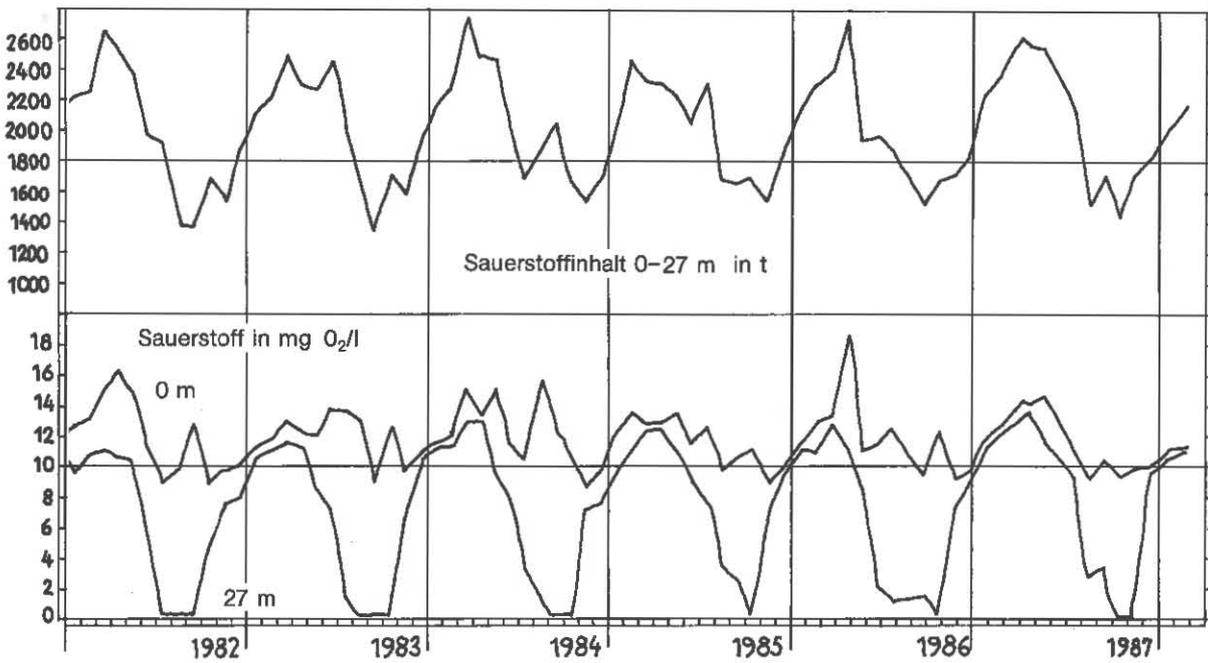


Abb. 36: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Sauerstoffinhalt 0-27 m Tiefe und Sauerstoffkonzentration in 0 und 27 m Tiefe

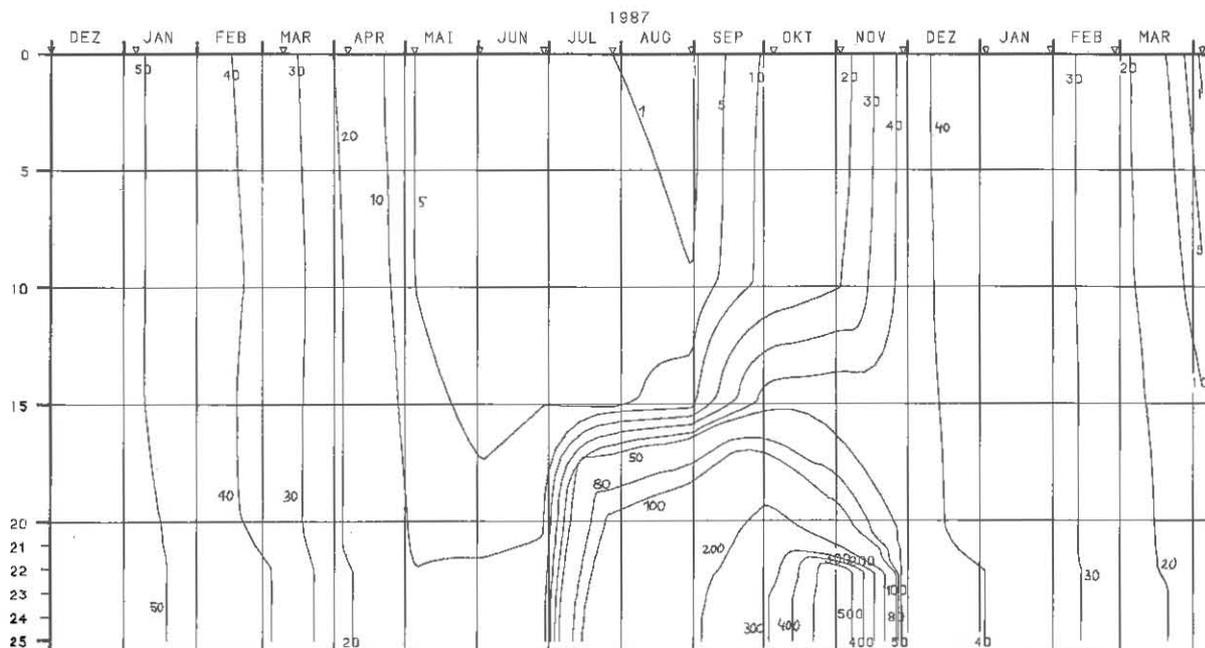


Abb. 37: Bodensee – Untersee, Zellersee:
 Orthophosphat – Phosphor (mg/m^3)

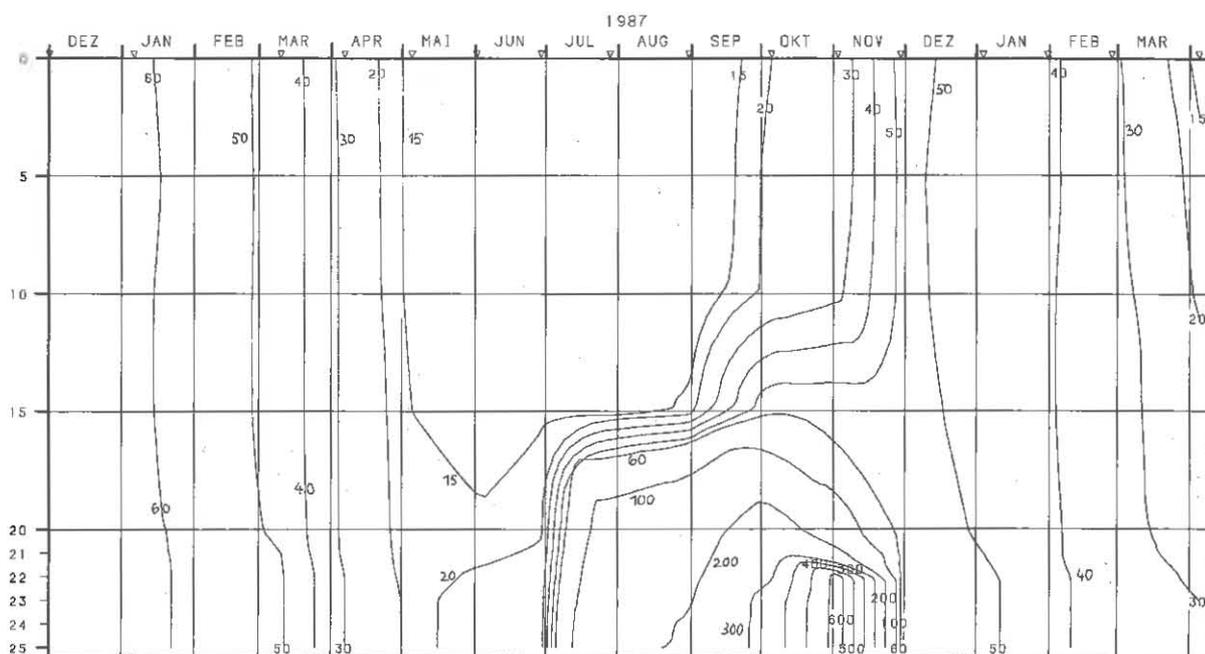


Abb. 38: Bodensee – Untersee, Zellersee:
 Gesamter gelöster Phosphor (mg/m^3)

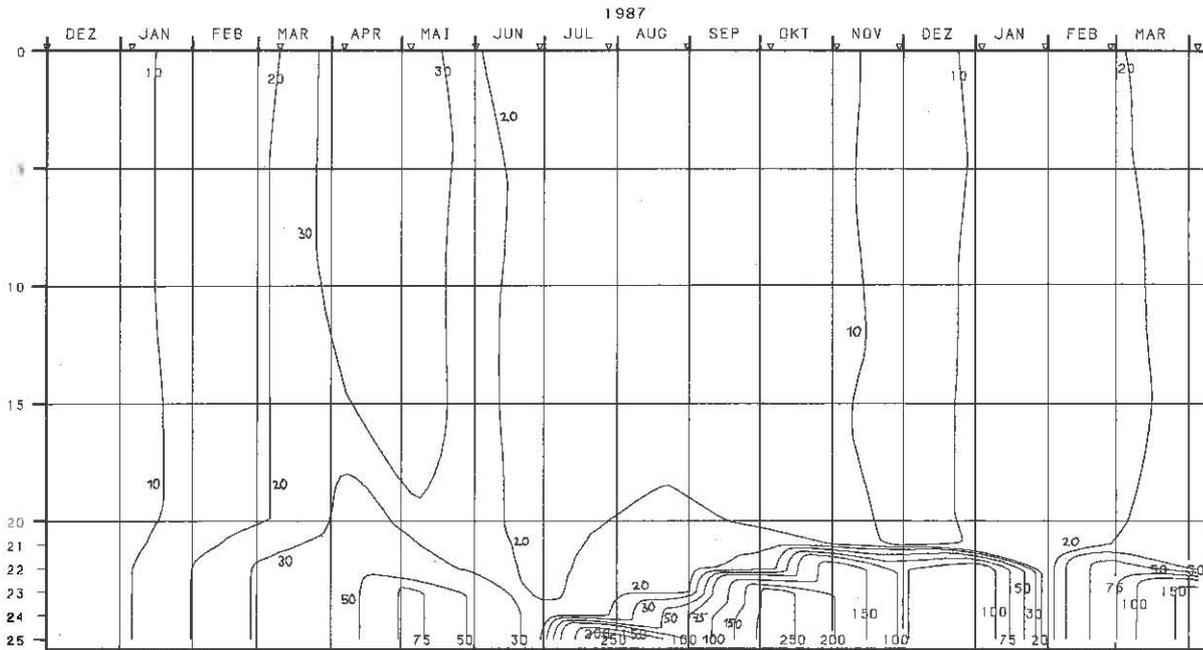


Abb. 39: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Partikulärer Phosphor (mg/m^3)

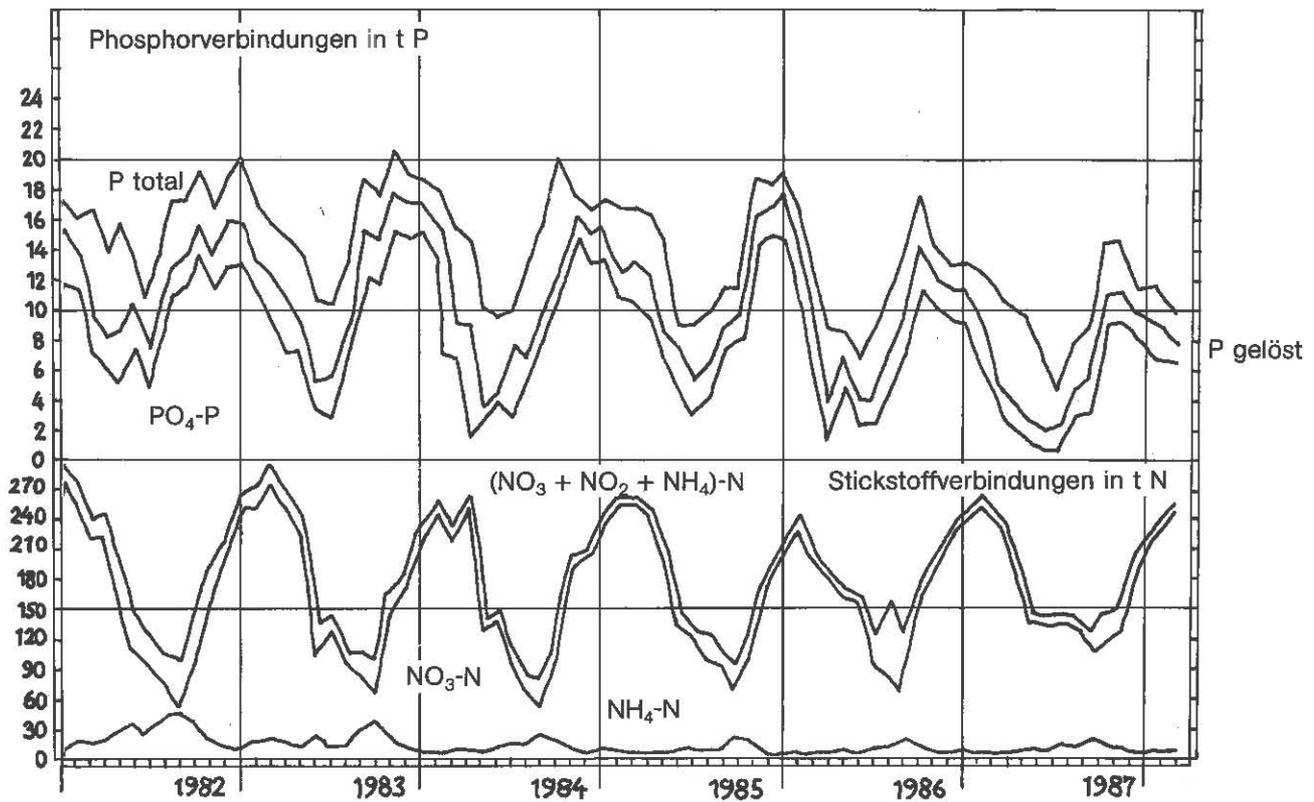


Abb. 40: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Nährstoffinhalt 0–27 m Tiefe

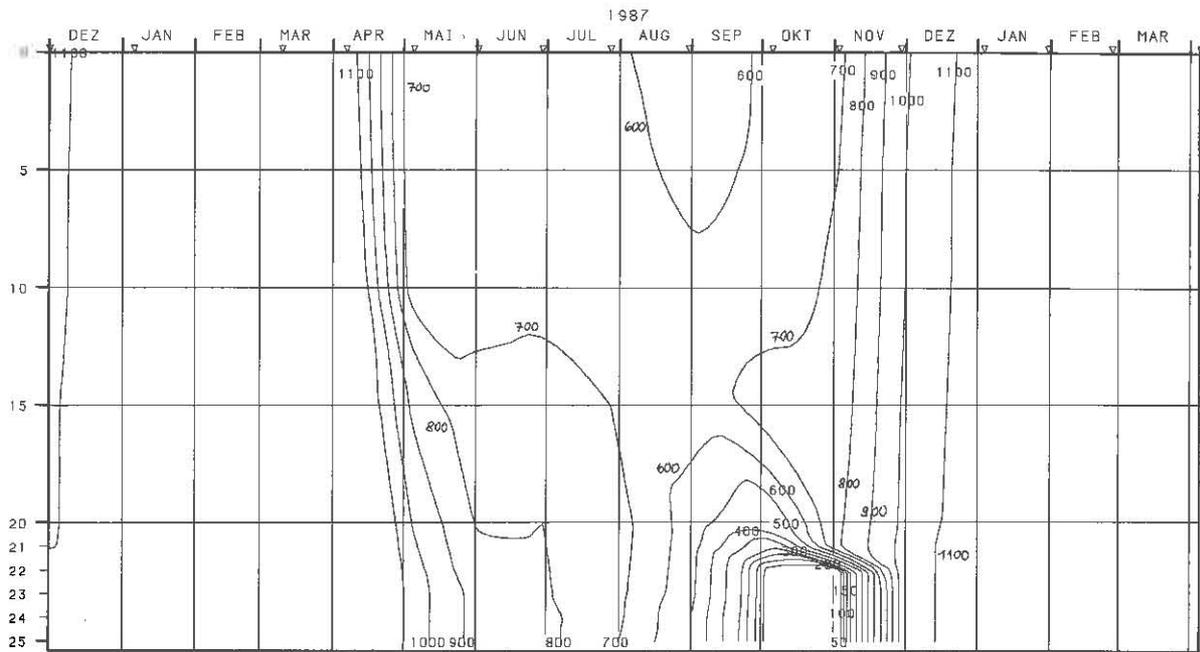


Abb. 41: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Nitrat – Stickstoff (mg/m^3)

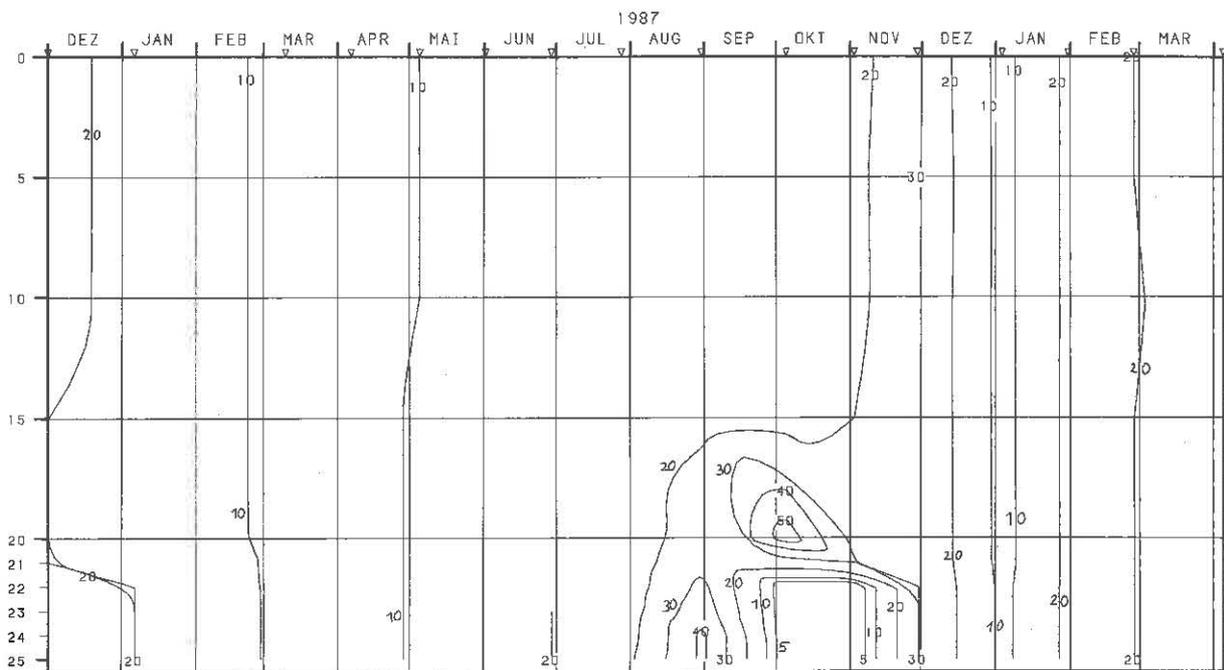


Abb. 42: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Nitrit – Stickstoff (mg/m^3)

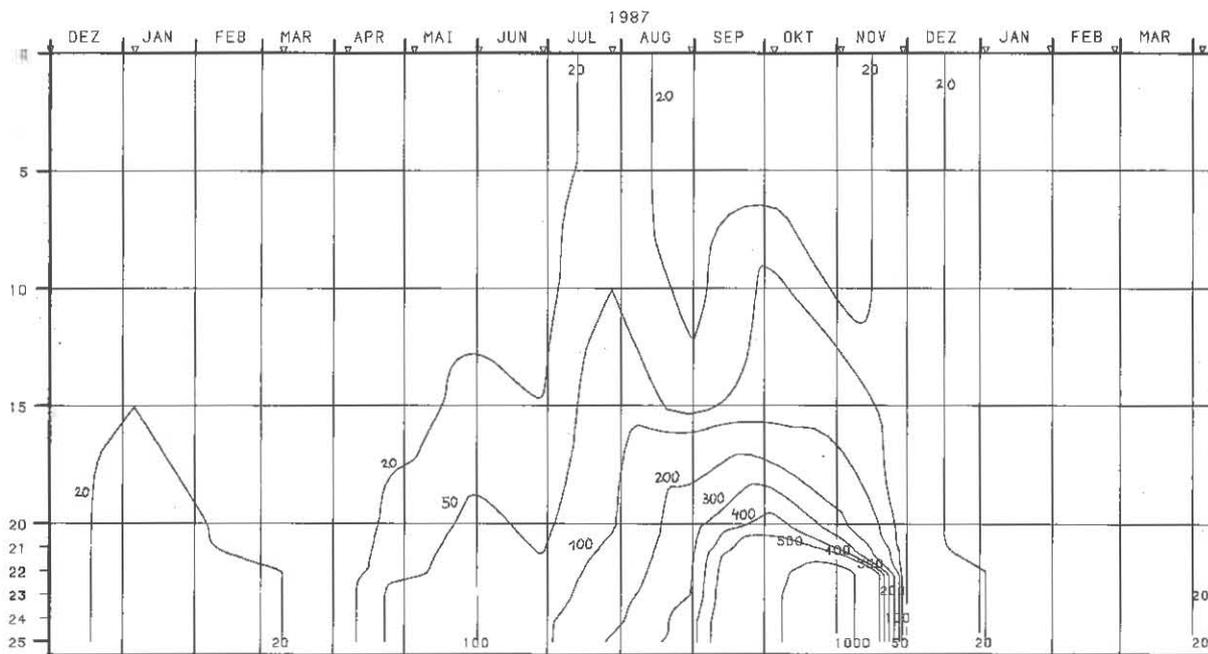


Abb. 43: Bodensee - Untersee, Zellersee:
Ammonium - Stickstoff (mg/m^3)

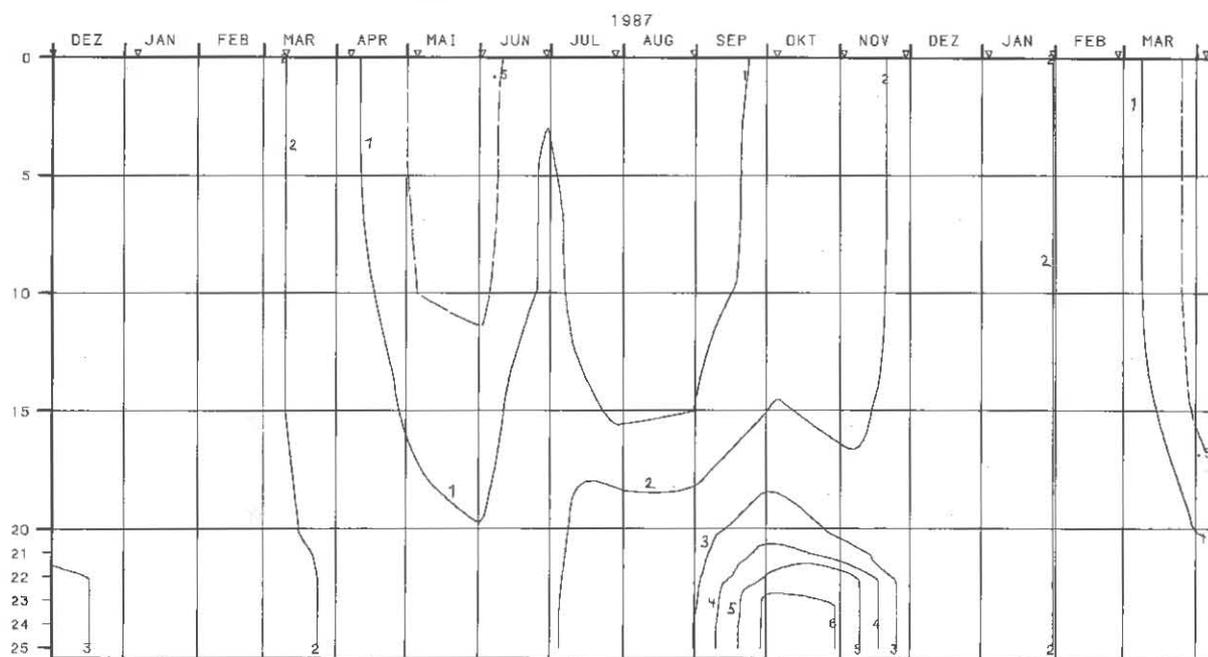


Abb. 44: Bodensee - Untersee, Zellersee:
Silikat (mg/l)

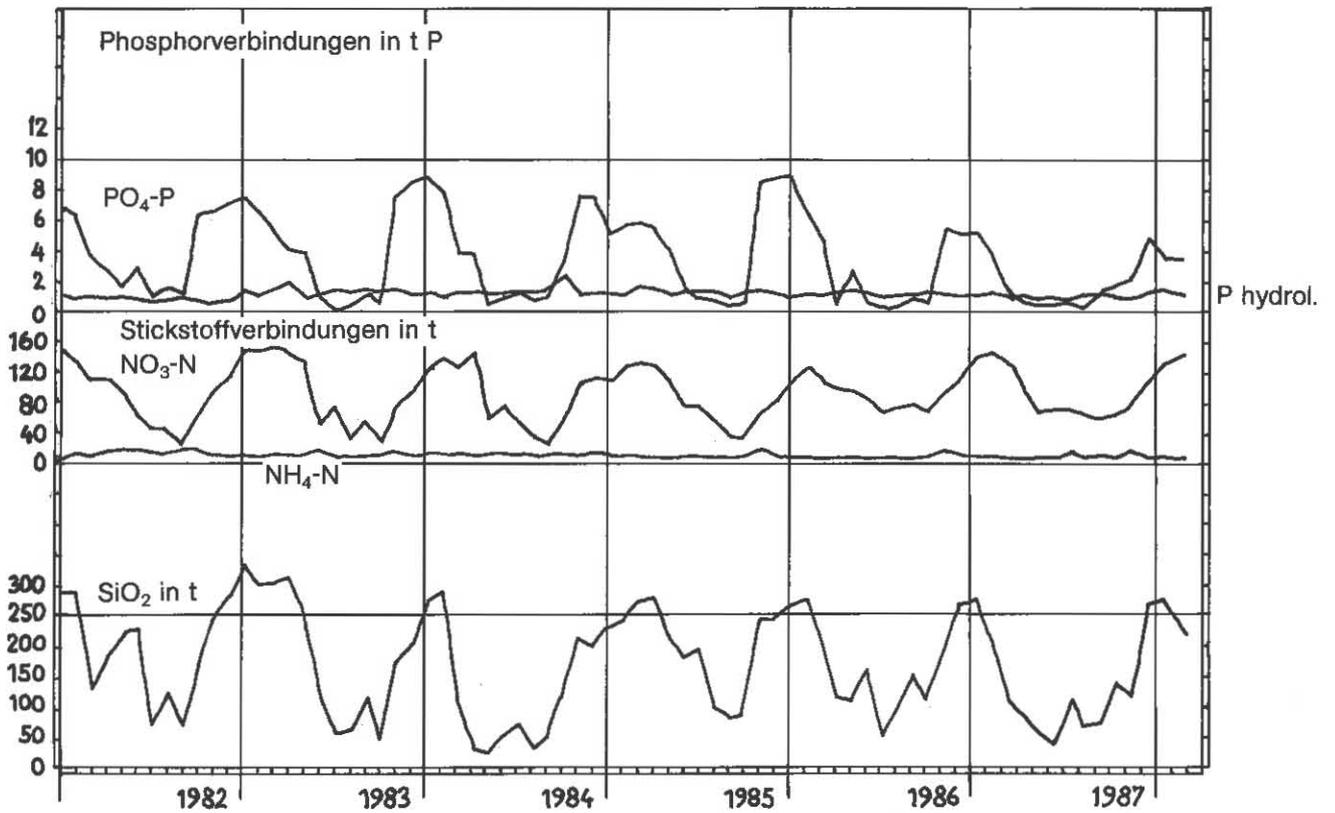


Abb. 45: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Nährstoffinhalt im Epilimnion 0–10 m Tiefe

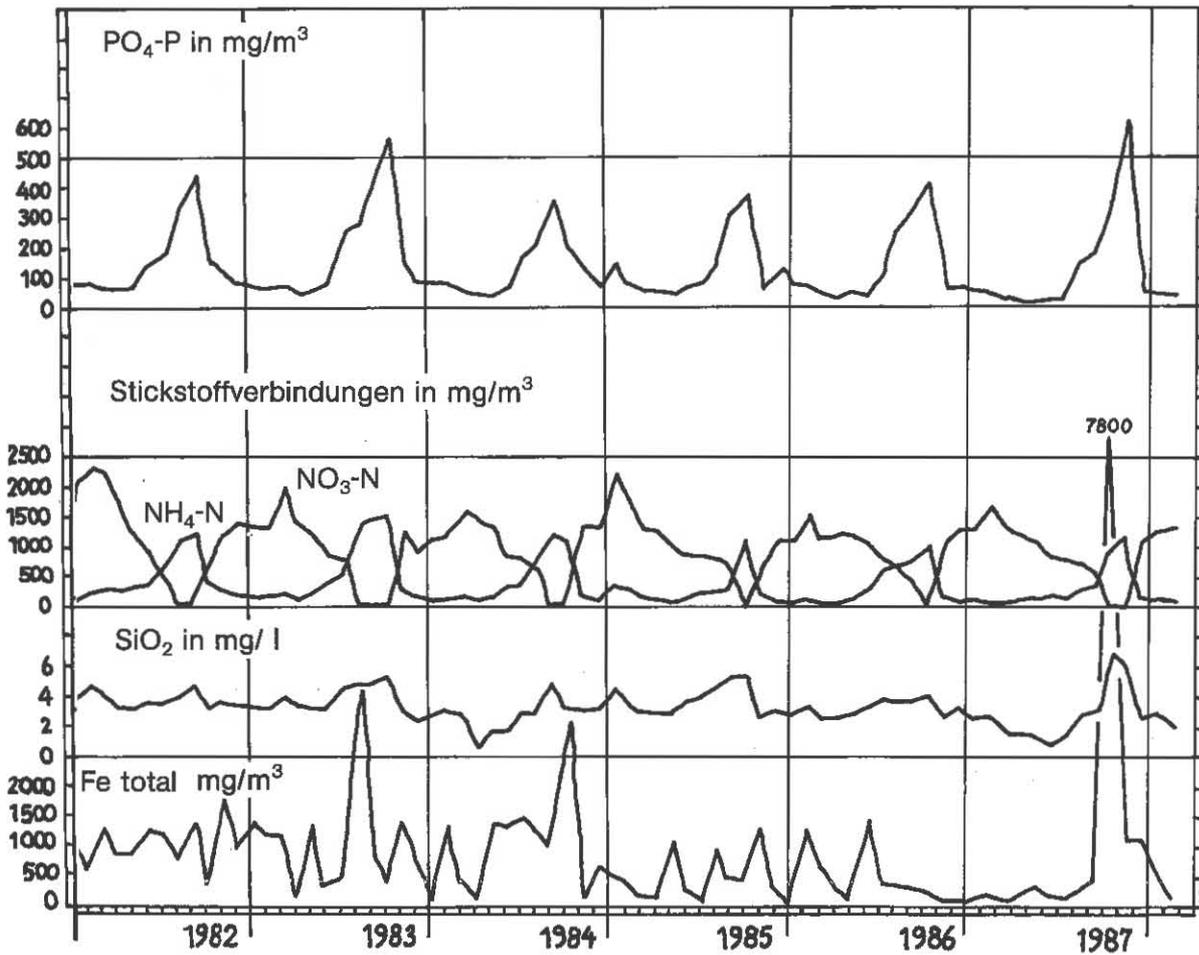


Abb. 46: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Nährstoffkonzentration in 24 m Tiefe

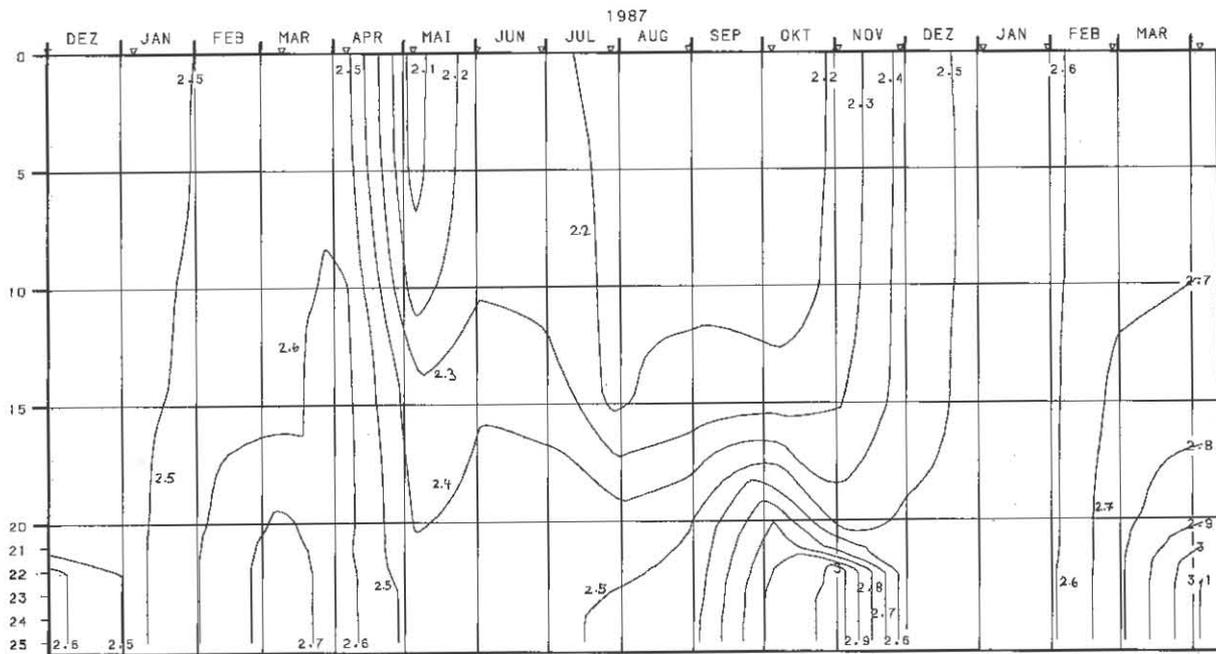


Abb. 47: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Anorganischer Kohlenstoff (mmol/l)

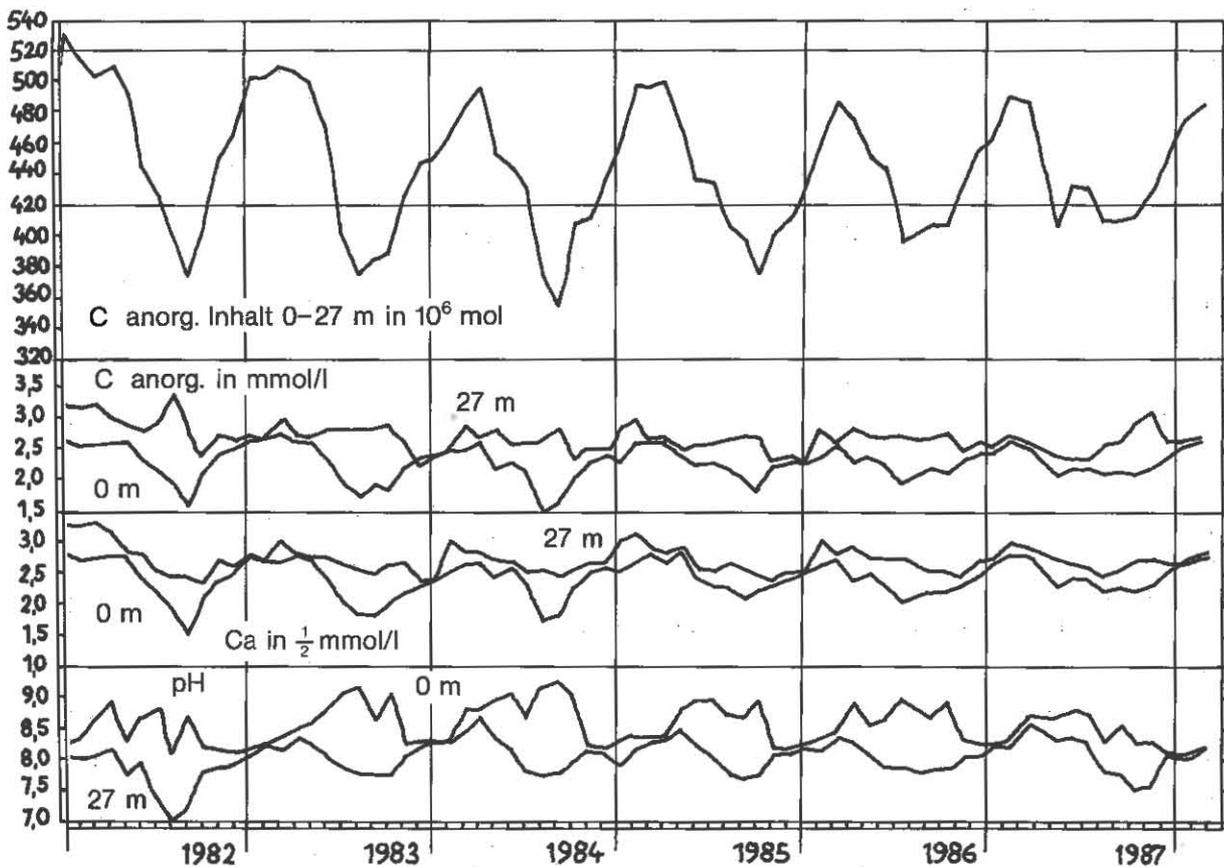


Abb. 48: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Anorganischer Kohlenstoff, Inhalt 0-27 m Tiefe
Konzentrationen von anorg. Kohlenstoff, Calcium,
pH-Wert

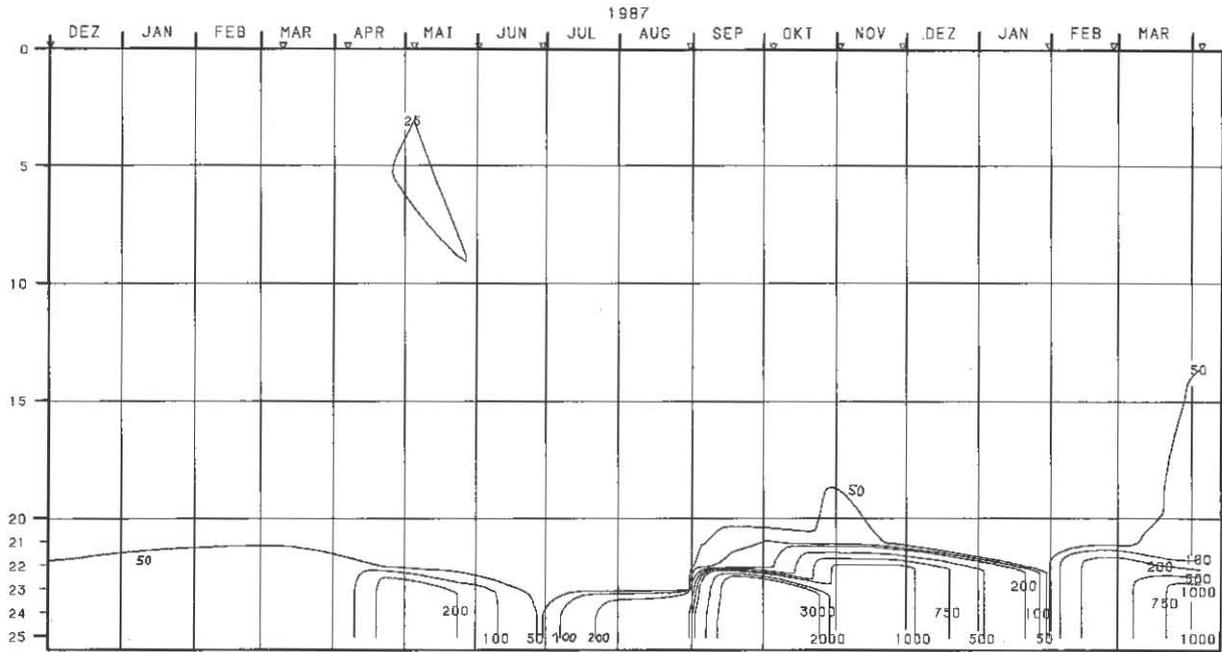


Abb. 49: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Konzentration von Eisen total (mg/m^3)

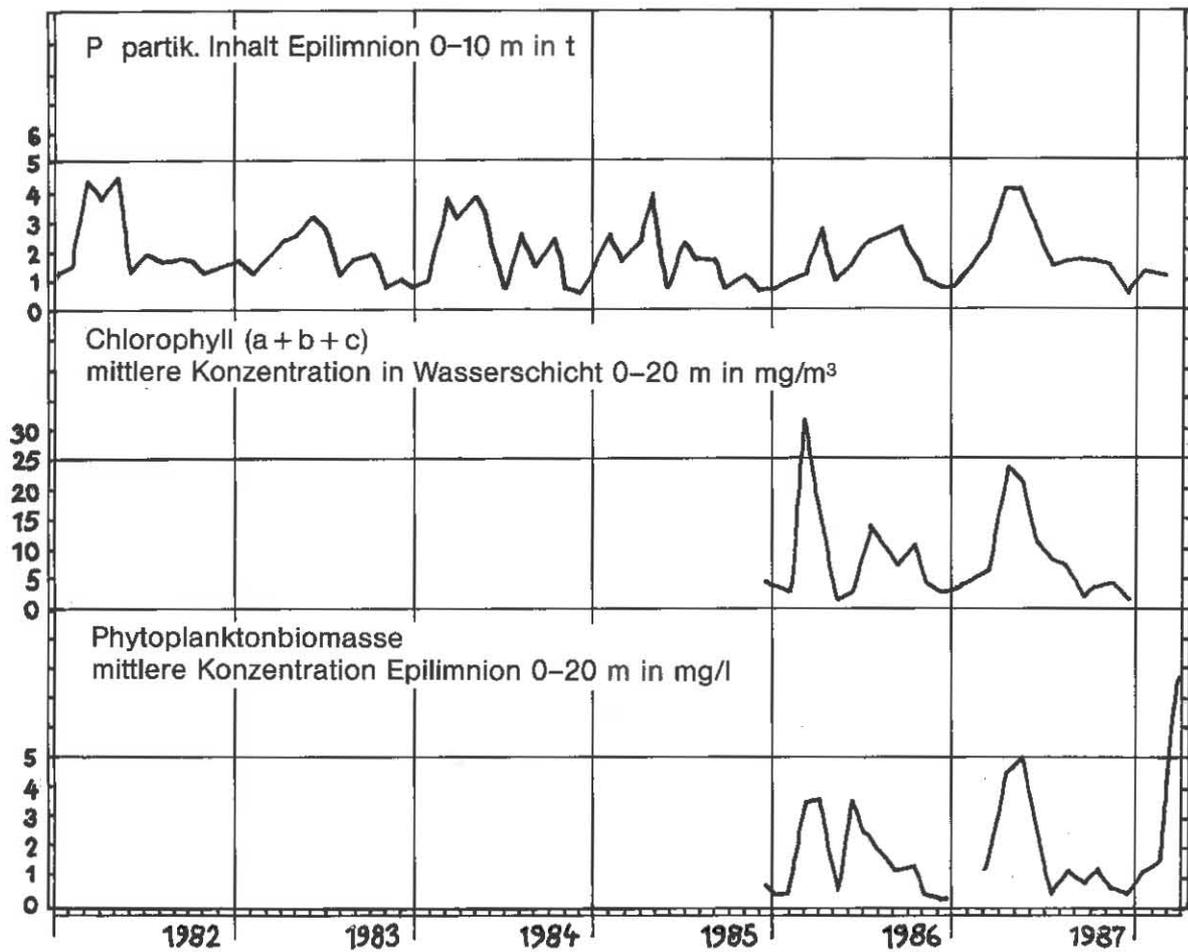


Abb. 50: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Chemische Biomassenindikatoren und Algenbiomasse

Abb. 51

Bodensee – Untersee, Zellersee:

Entwicklung des Phytoplanktons, Biomassen in g/m² (0–20 m Tiefe)

Monatsmittel 1987/88

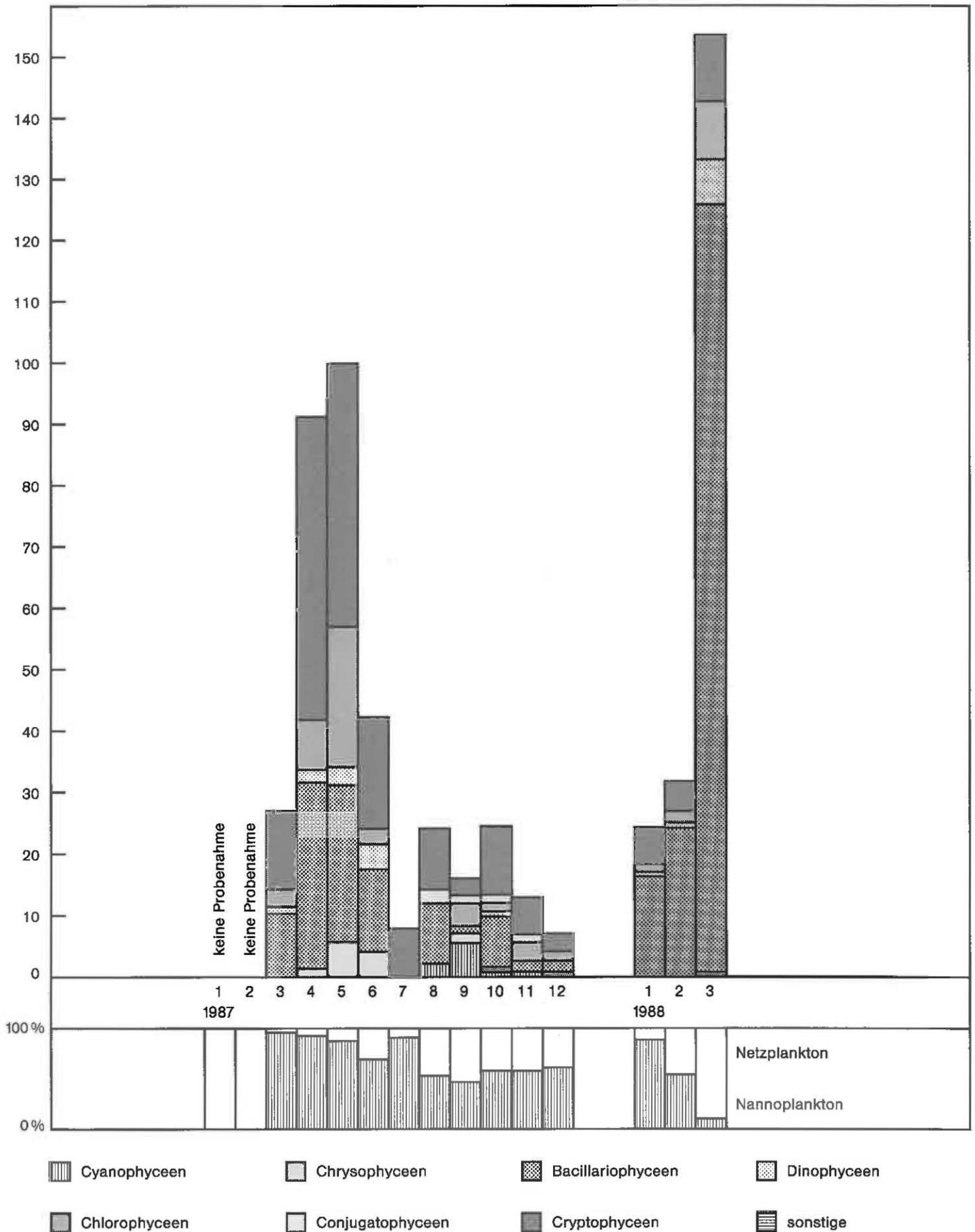
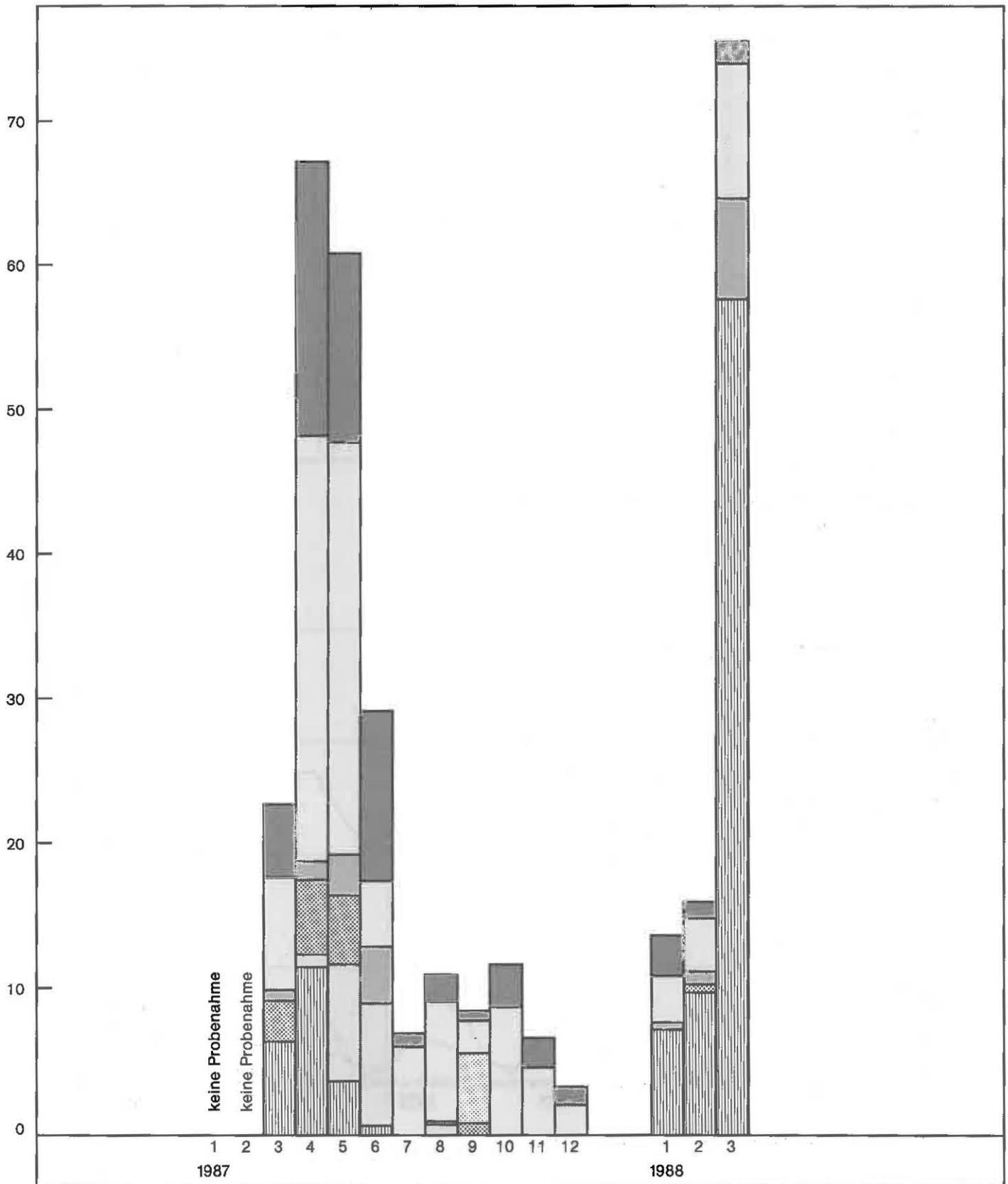


Abb. 52

Bodensee – Untersee, Zellersee:

Entwicklung des Phytoplanktons, Biomassen der Hauptarten in g/m² (0–20 m Tiefe)

Monatsmittel 1987/88



- -
- Stephanodiscus astraea
 Synedra ssp.
 Chlamydomonas ssp.
 Anabaena planctonica
- Gymnodinium helveticum
 Cryptomonas ssp.
 Rhodomonas ssp.

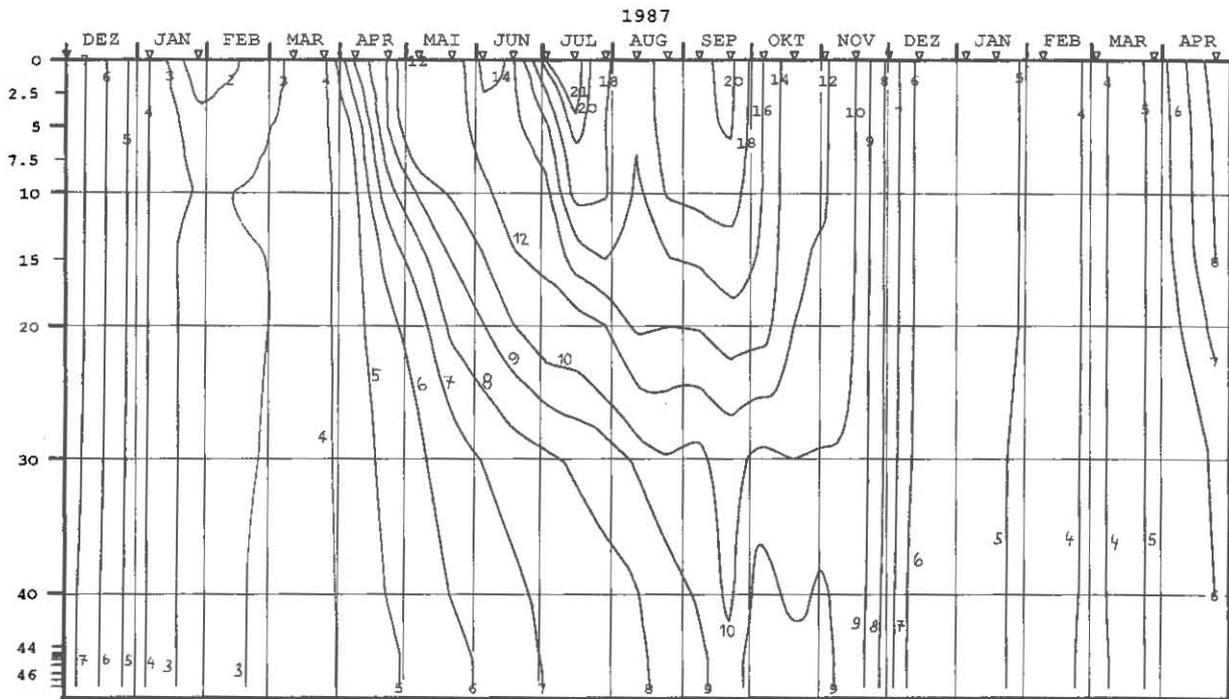


Abb. 53: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Temperatur °C

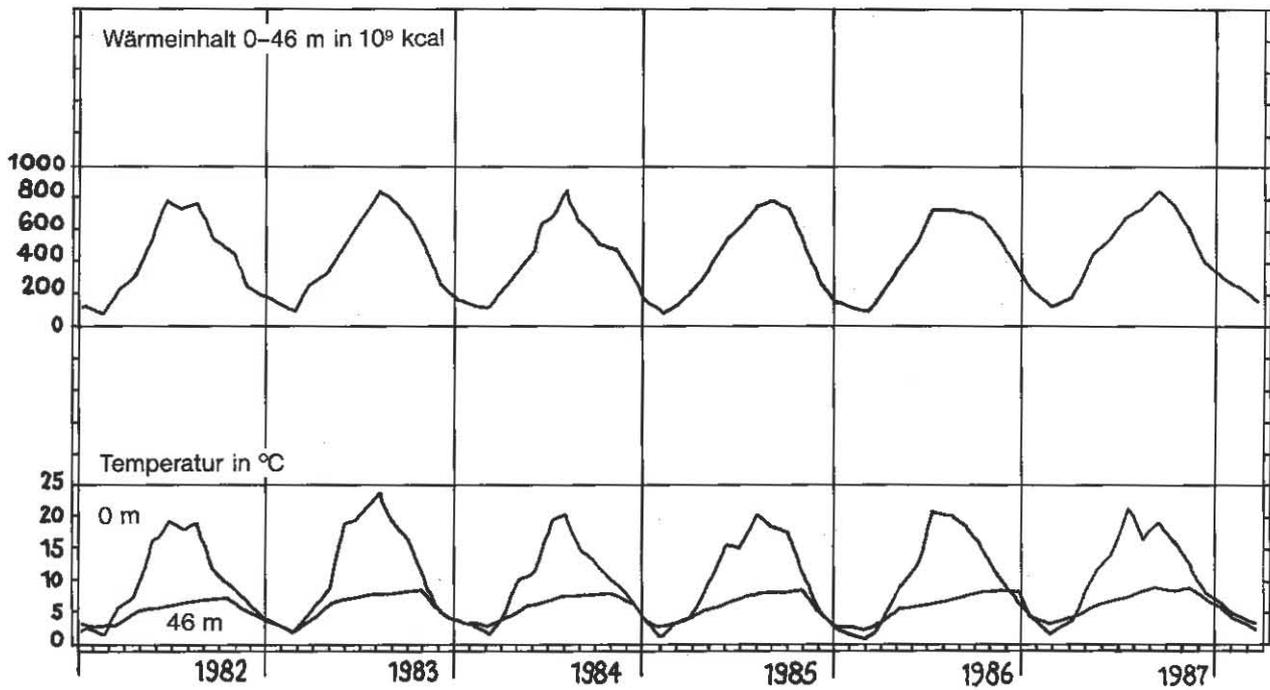


Abb. 54: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Thermik

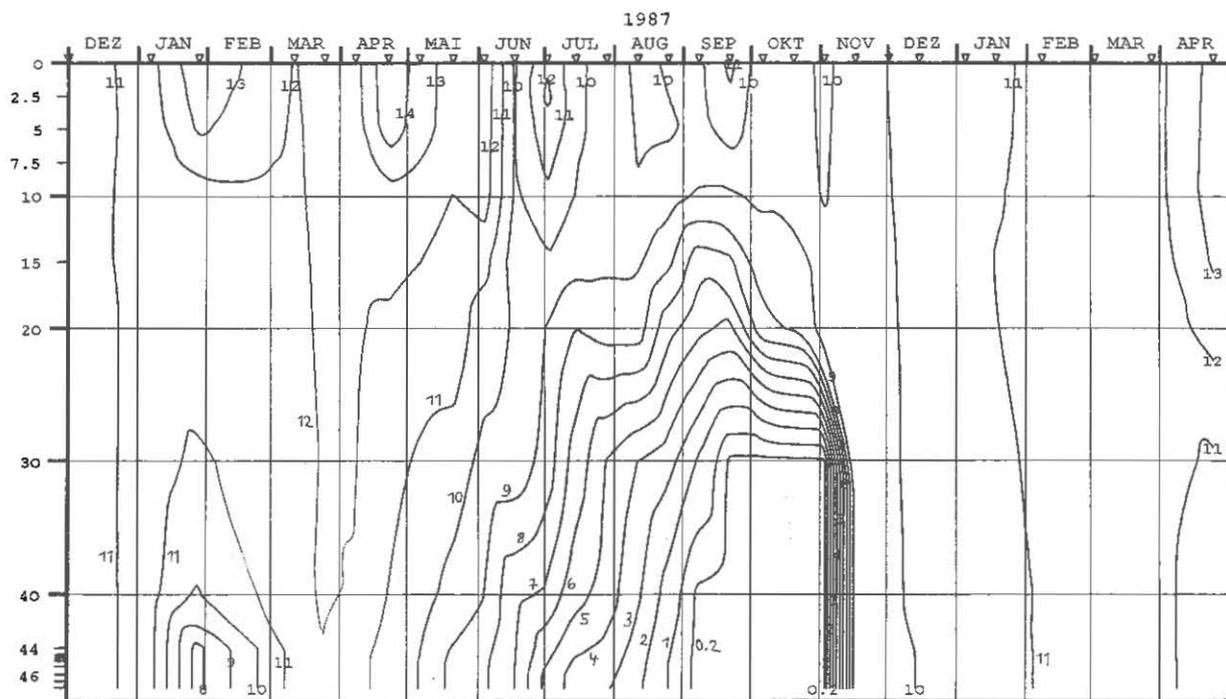


Abb. 55: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Sauerstoff (mg/l)

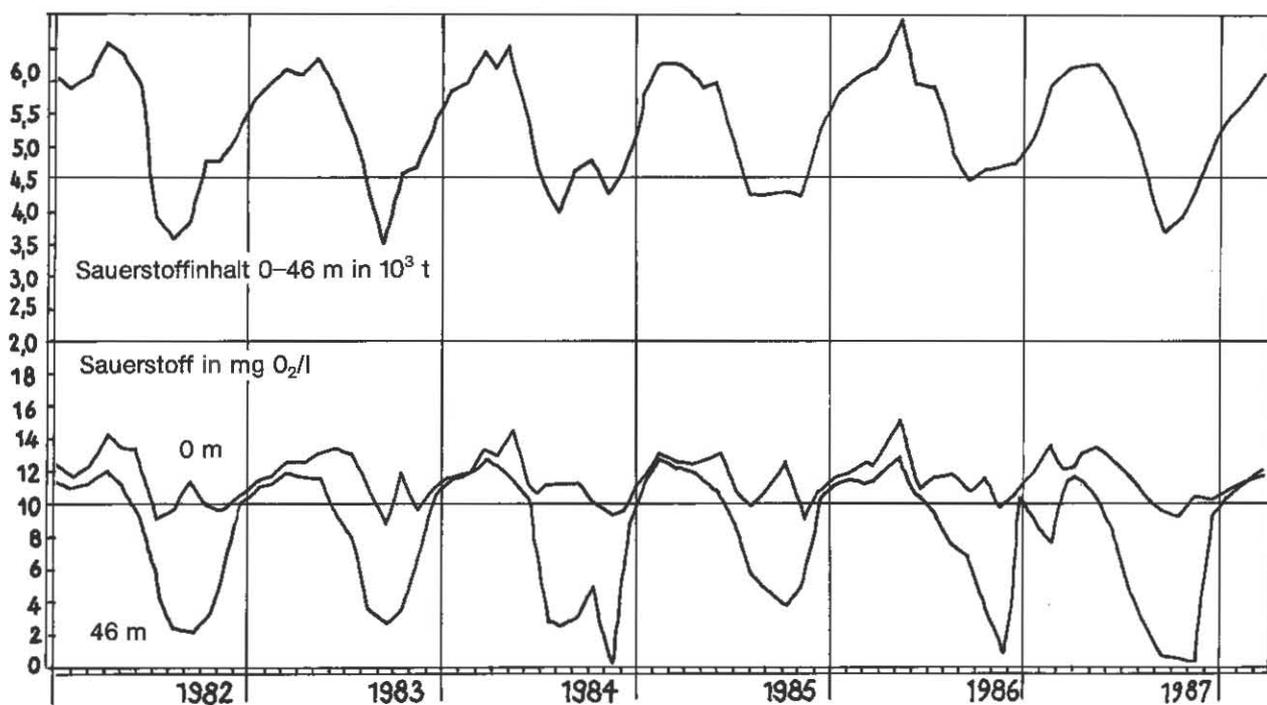


Abb. 56: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Sauerstoffinhalt 0-46 m Tiefe und Sauerstoffkonzentration in 0 und 46 m Tiefe

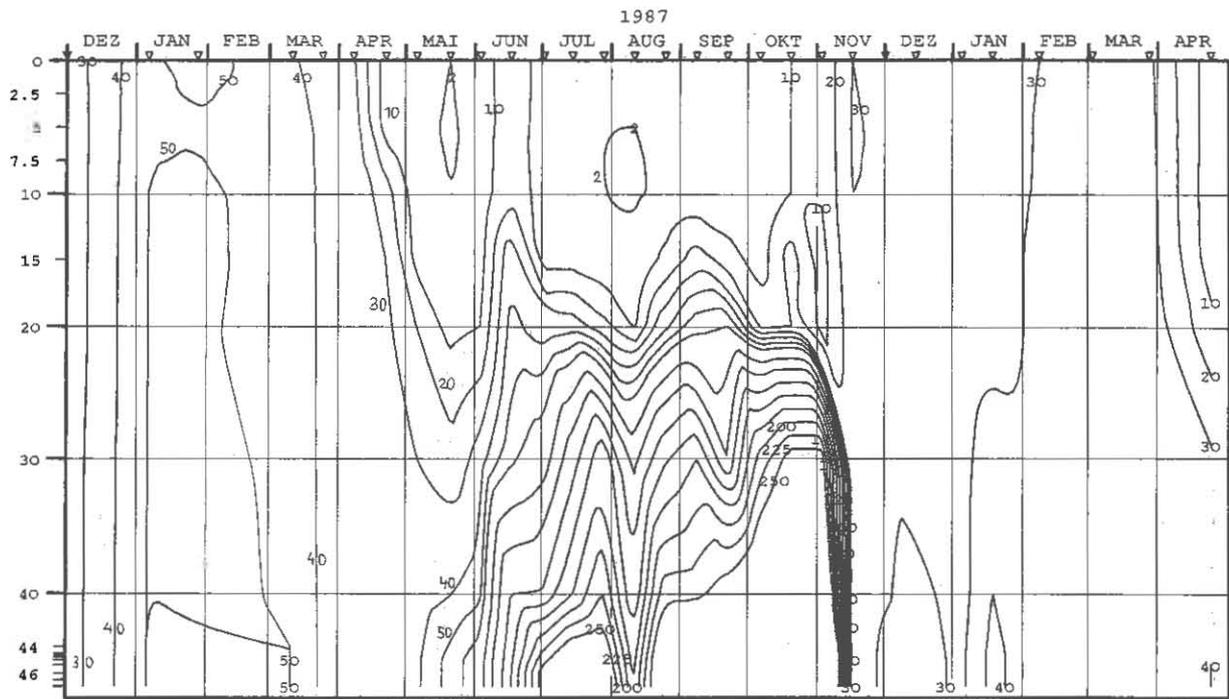


Abb. 57: Bodensee - Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Orthophosphat - Phosphor (mg/m^3)

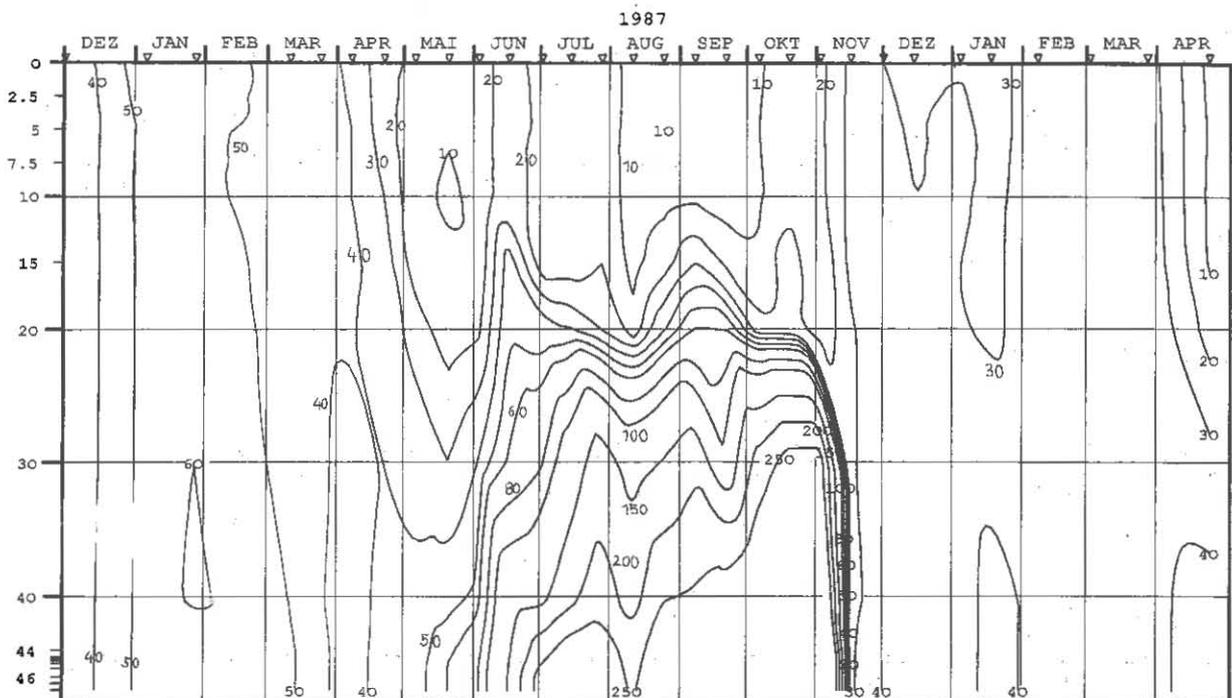


Abb. 58: Bodensee - Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Gesamter gelöster Phosphor (mg/m^3)

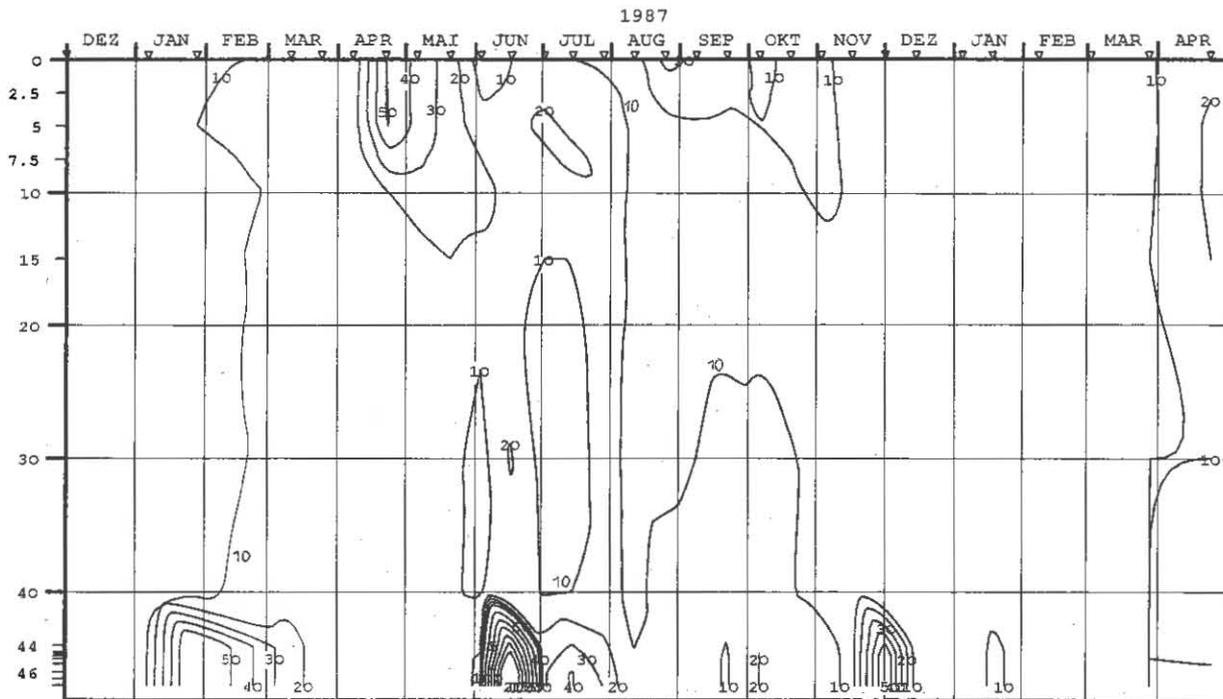


Abb. 59: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Partikulärer Phosphor (mg/m^3)

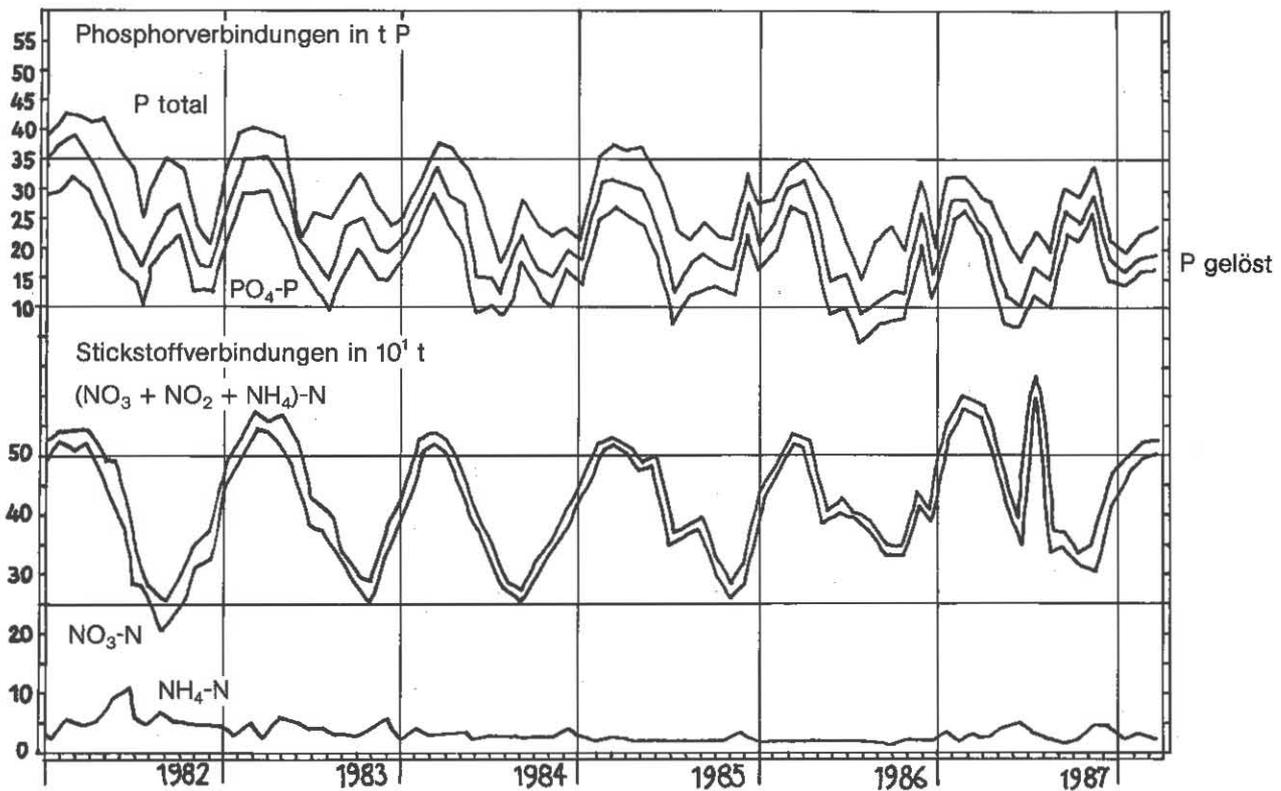


Abb. 60: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Nährstoffinhalt 0–46 m Tiefe

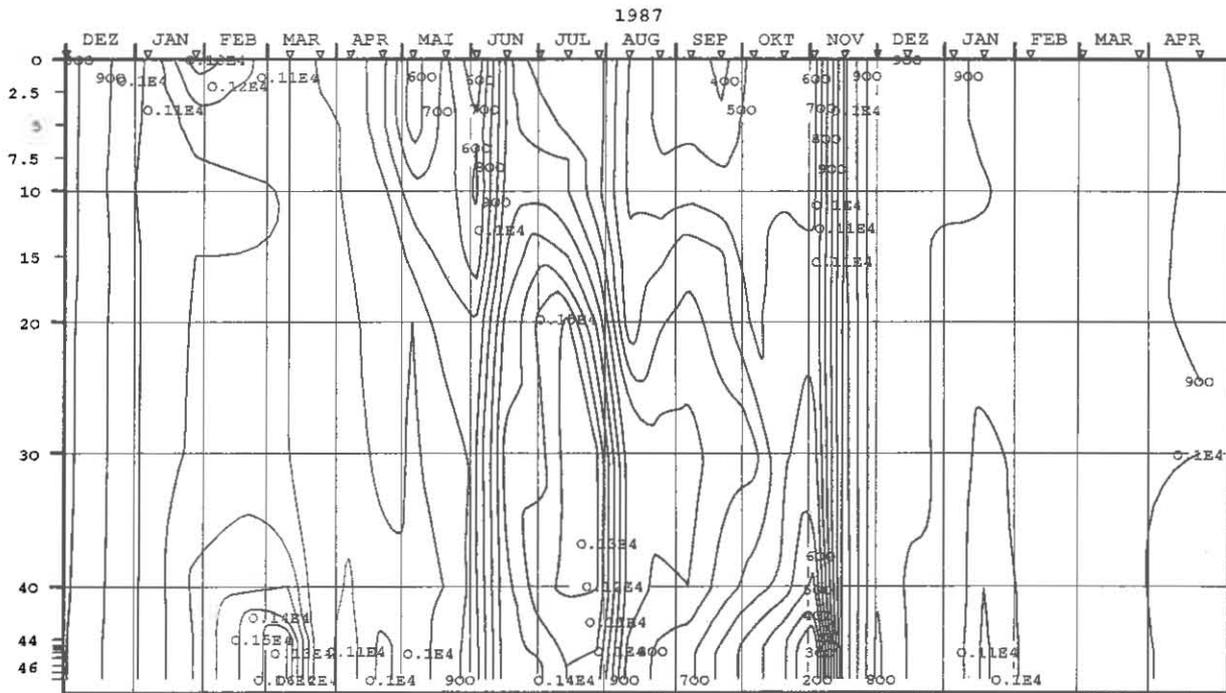


Abb. 61: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Nitrat – Stickstoff (mg/m³)

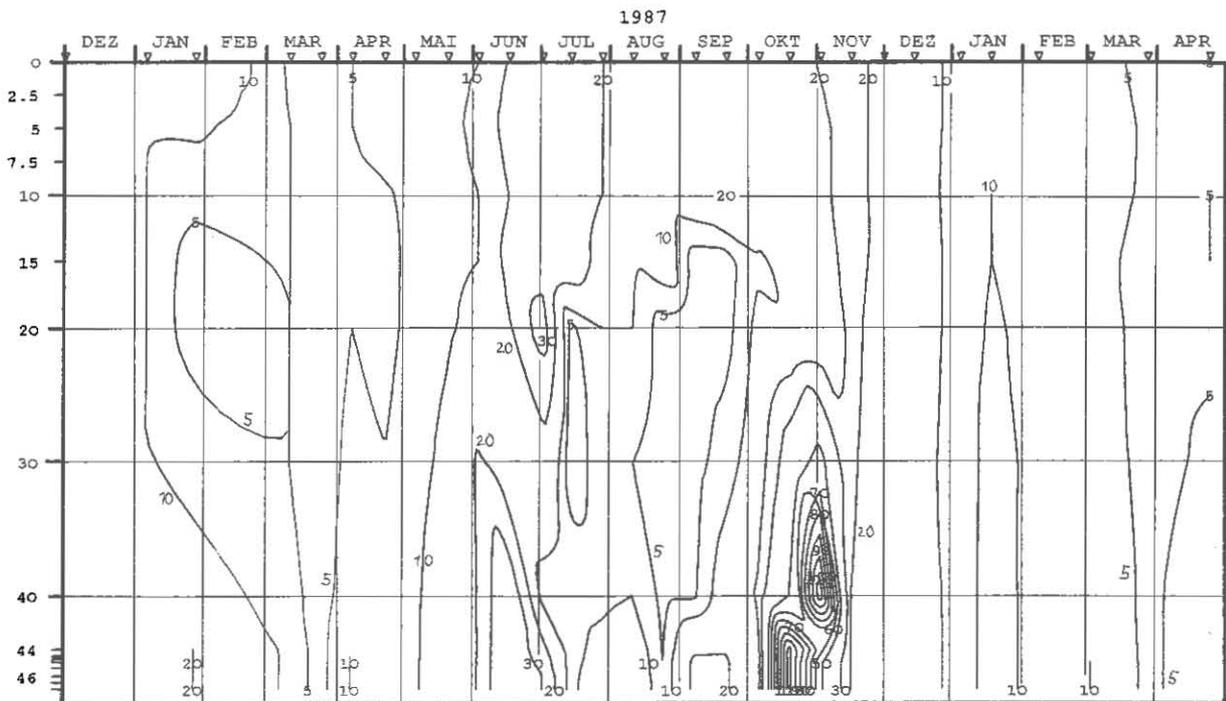


Abb. 62: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Nitrit – Stickstoff (mg/m³)

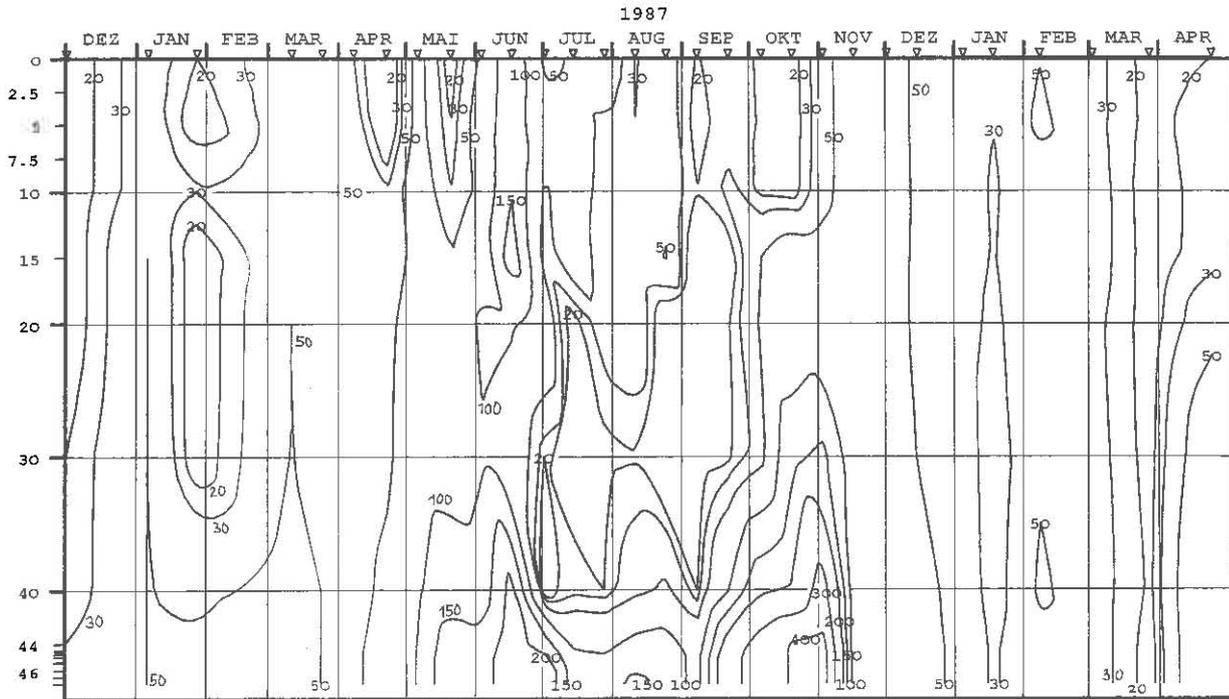


Abb. 63: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Ammonium – Stickstoff (mg/m^3)

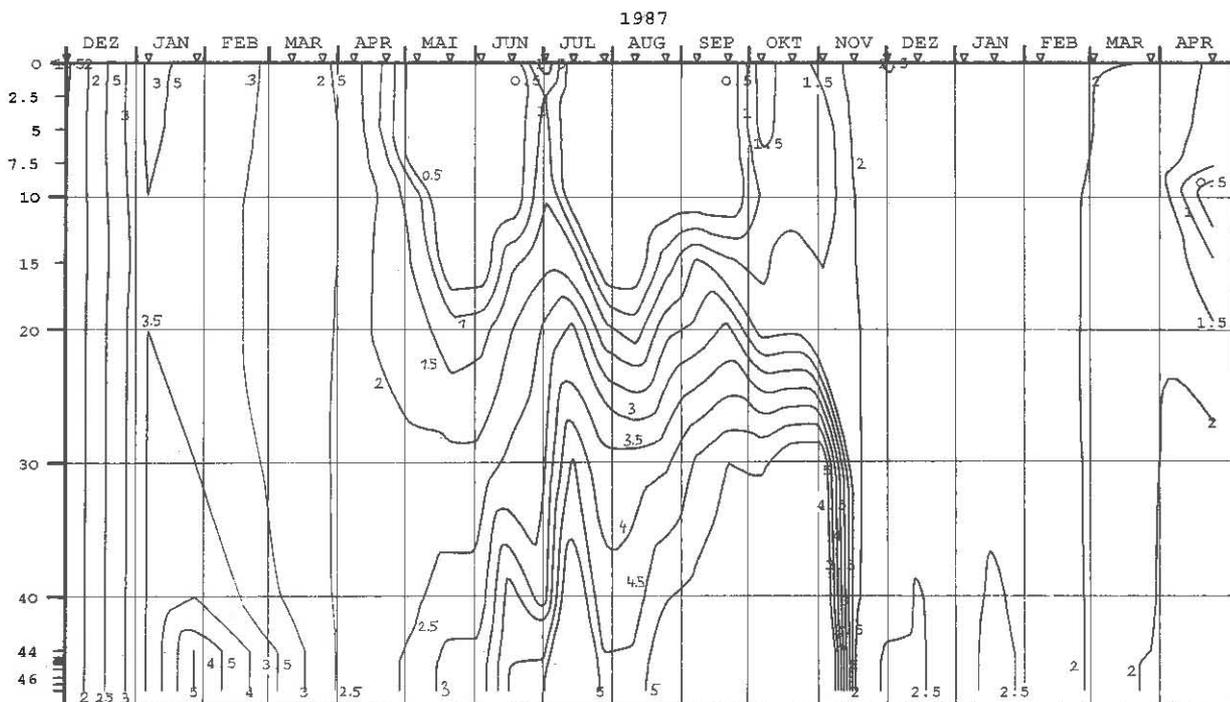


Abb. 64: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Silikat (mg/l)

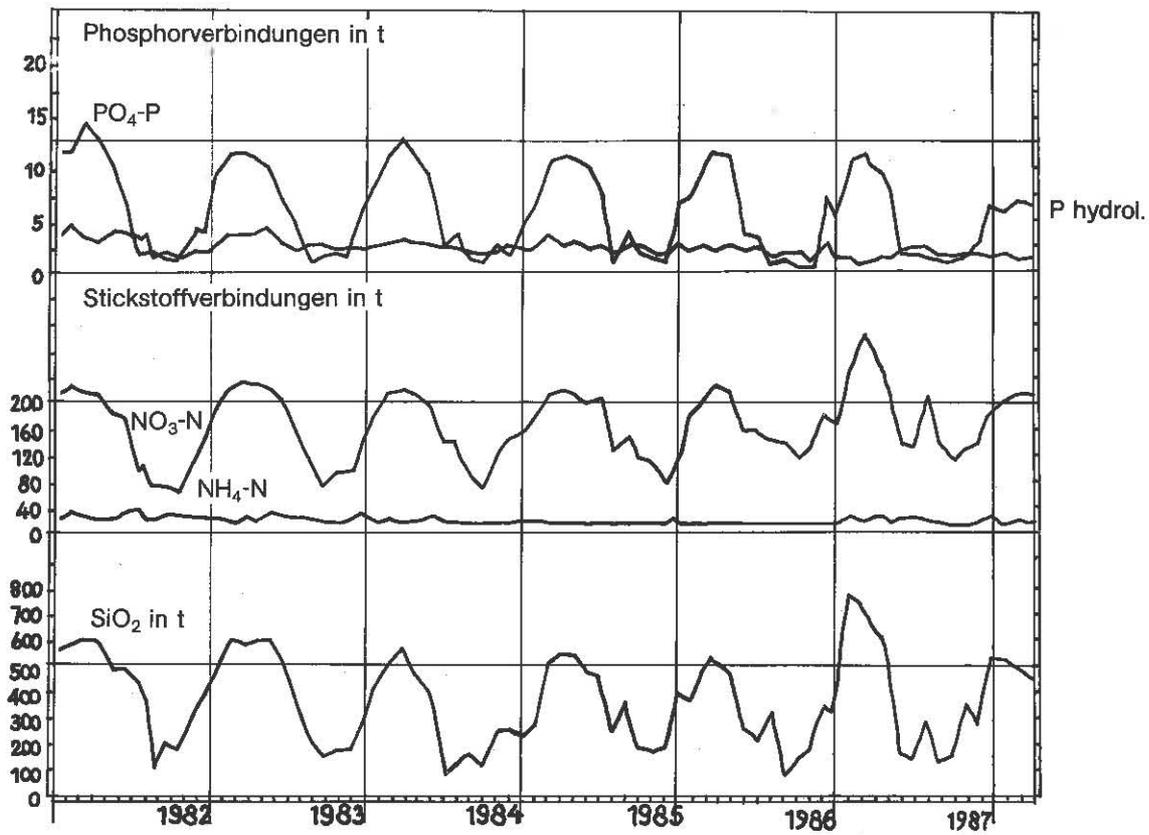


Abb. 65: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen): Nährstoffinhalt im Epilimnion 0–10 m Tiefe

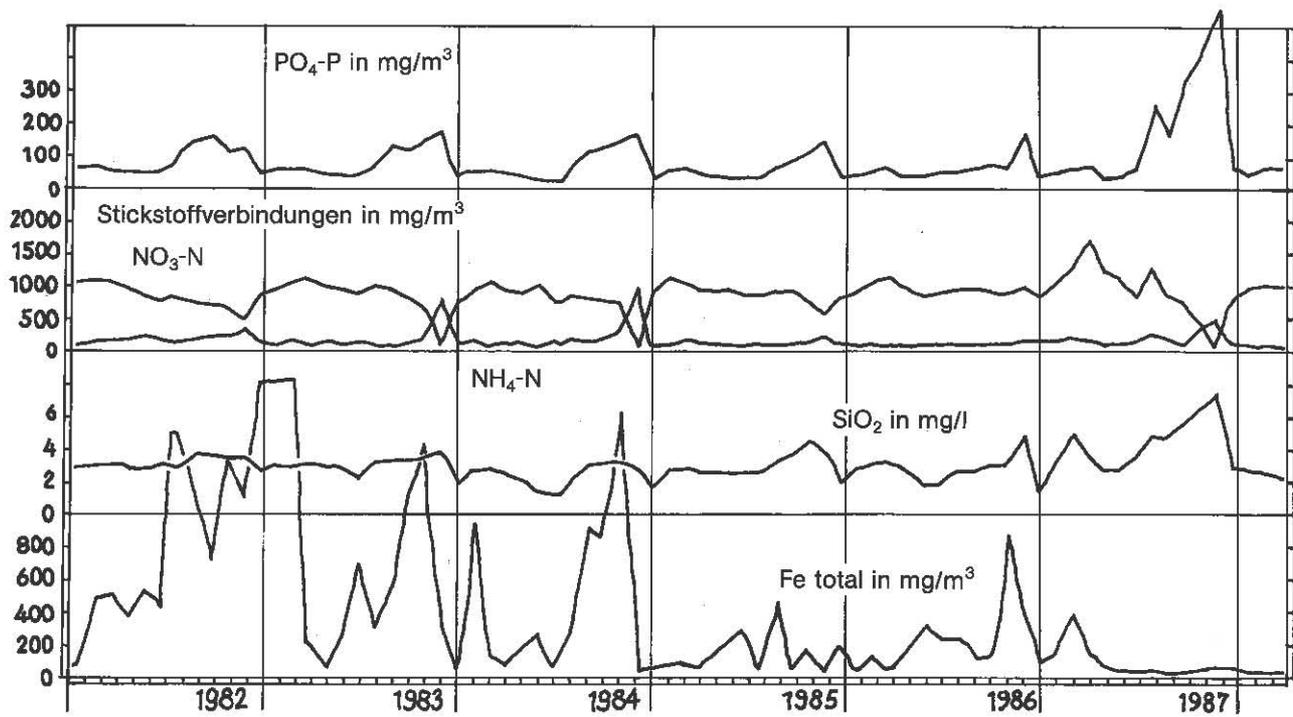


Abb. 66: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen): Nährstoffkonzentration in 46 m Tiefe

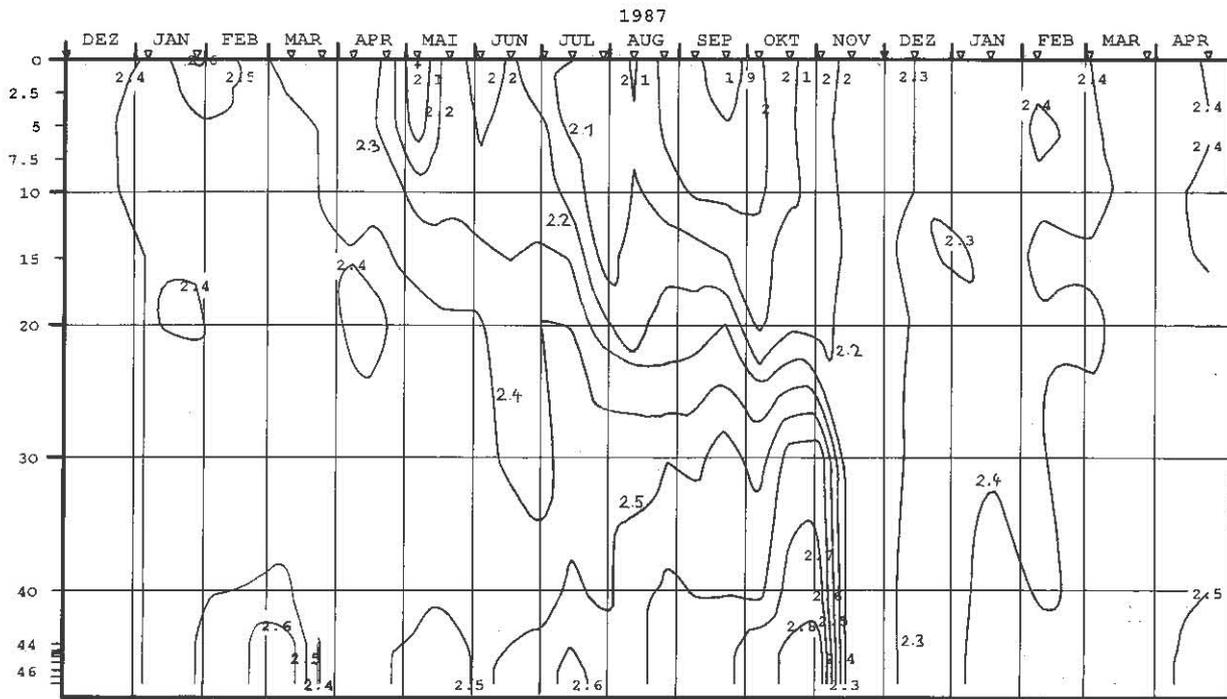


Abb. 67: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Anorganischer Kohlenstoff (mmol/l)

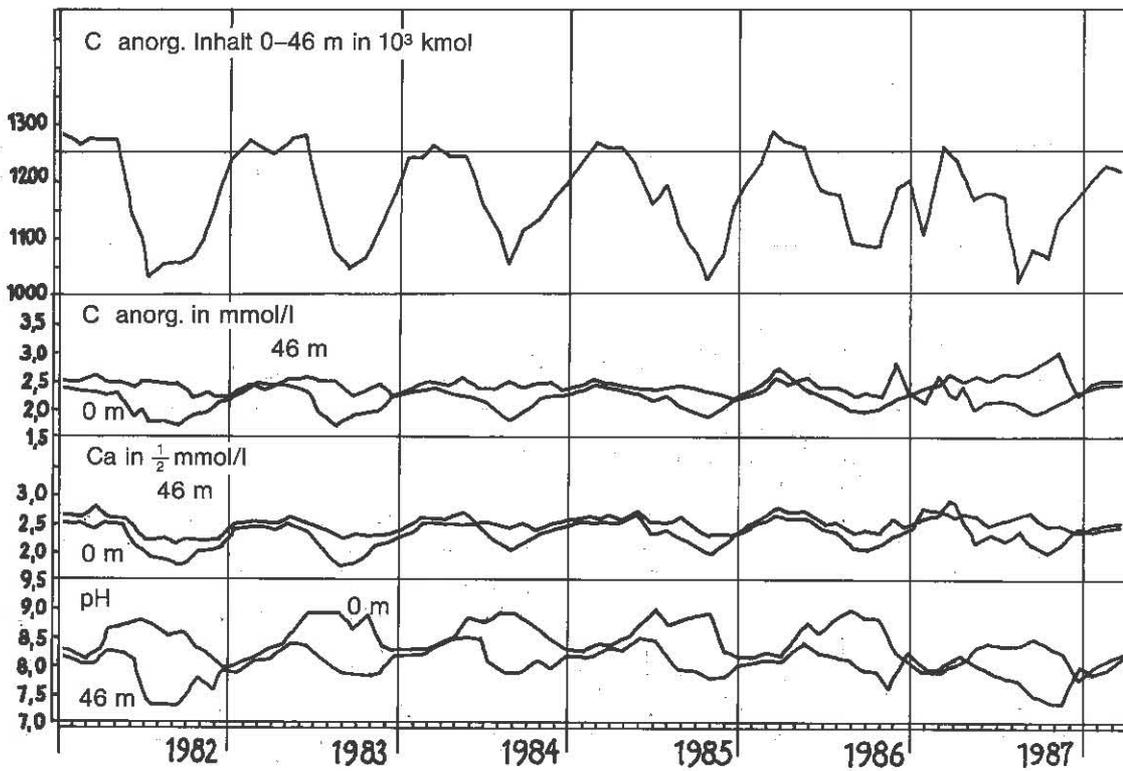


Abb. 68: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Anorganischer Kohlenstoff, Inhalt 0–46 m Tiefe;
Konzentrationen von anorg. Kohlenstoff, Calcium;
pH-Wert

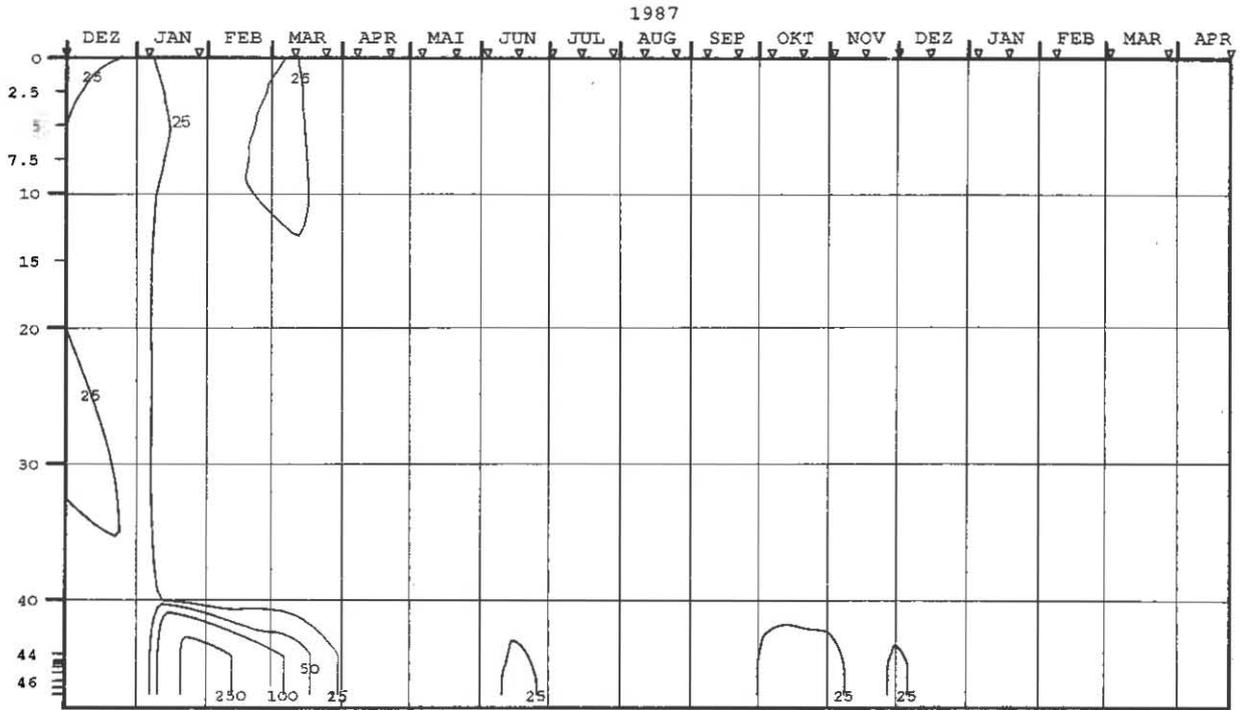


Abb. 69: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Konzentration von Eisen total (mg/m³)

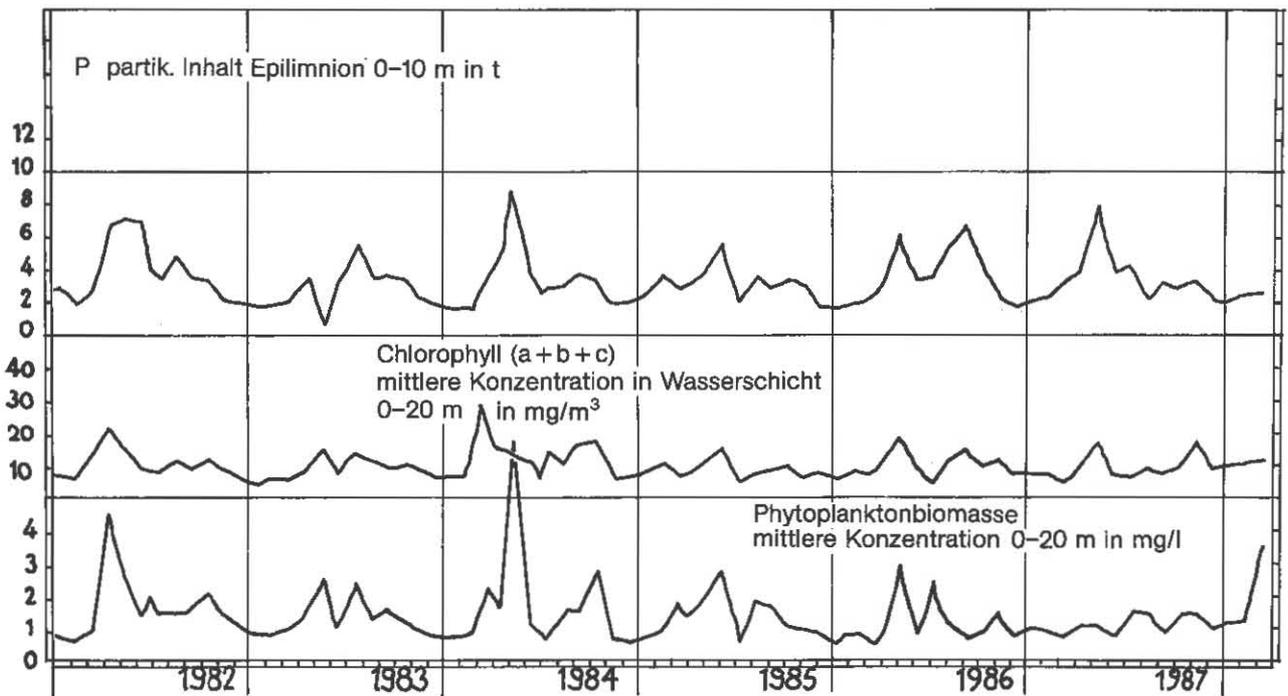
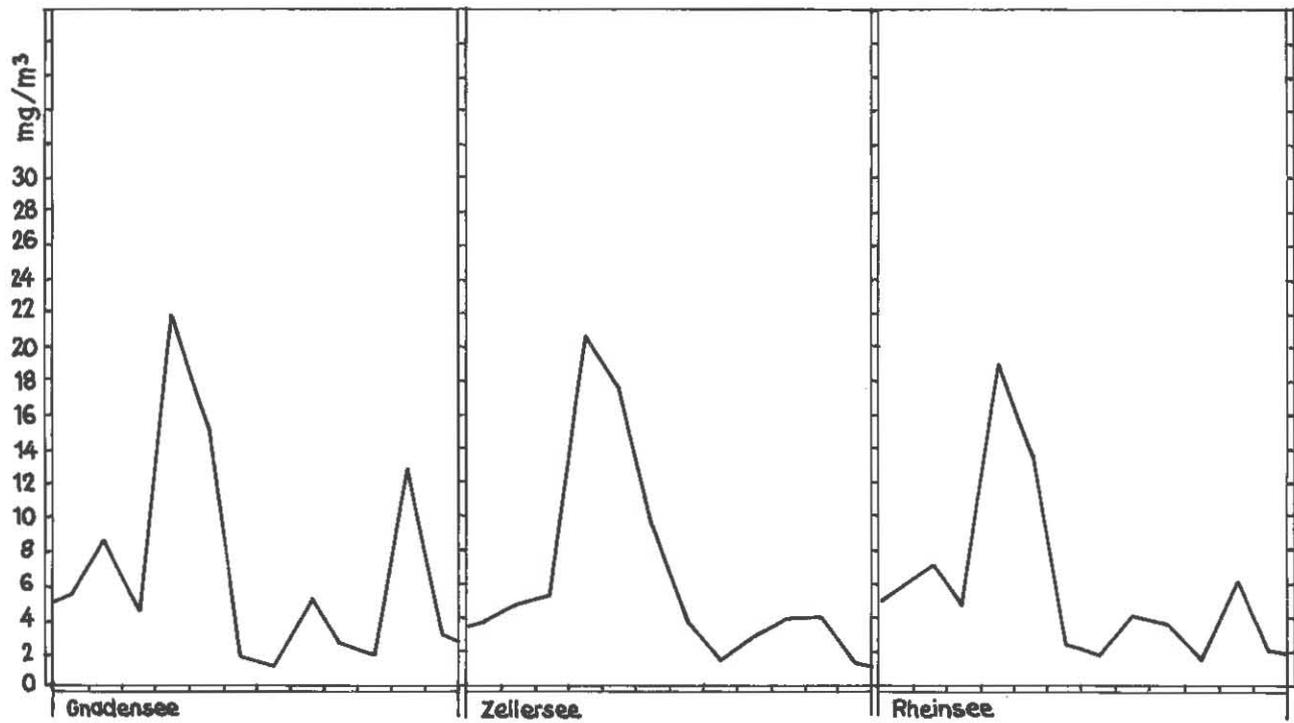


Abb. 70: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Phytoplanktonbiomasse und chemische Biomassenindikatoren



1987

Abb. 71: Bodensee – Untersee:
Chlorophyll a + b + c im mg/m^3 im Gnadensee, Zellersee und Rheinsee,
mittlere Konzentration 0–20 m Tiefe

Tabelle 1 (1)

Normal-Tiefenserien an den Stationen

Fischbach-Uttwil: 0, 5, 10, 15, 20, 30, 50, 100, 150, 200, 230, 250 m.

Langenargen-Arbon: 0, 5, 10, 15, 20, 30, 50, 100, 150, 190, 200 m.

Bregenzer Bucht: für chemische Untersuchungen:
0, 5, 10, 20, 30, 60 m.

Für Sauerstoff- und Temperaturmessungen:
0, 5, 10, 15, 20, 30, 50, 60 m.

Überlinger See: 0, 5, 10, 20, 30, 60, 100, 140 m.

Zellersee: 0, 5, 10, 15, 20, 22 oder 23 oder 24⁺ m.

Rheinsee: 0, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 44 oder 45 oder 46⁺ m.

⁺je nach Seewasserstand

Tabelle 1 (2)

Untersuchungstermine Januar 1987 bis April 1988 an den Stationen Fischbach-Uttwil (F), Langenargen-Arbon (L), Bregenzer Bucht (B) und von Januar 1987 bis Dezember 1987 an den Stationen Zellersee (Z) und Rheinsee bei Berlingen (R)

OBERSEE-STATIONEN

20.01.1987	F L
10.02.	F L B
10.03.	F L B
07.04.	F L B
15.05.	F L B
02.06.	F L
07.07.	F L B
04.08.	F L B
01.09.	F L
06.10.	F L B
03.11	F L B
01.12.	F L B
12.01.1988	F L
26.01.	B
09.02.	F L
15.02.	B
02.03.	F L
22.03.	B
12.04.	F L

UNTERSEE-STATIONEN

07.01.1987	Z R
29.01.	R
09.03.	Z
10.03.	R
24.03.	R
06.04.	Z
07.04.	R
22.04.	R
04.05.	Z
05.05.	R
20.05.	R
01.06.	Z
03.06.	R
17.06.	R
29.06.	Z
01.07.	R
14.07.	R
28.07.	Z R
11.08.	R
25.08.	R
31.08.	Z
08.09.	R
22.09.	R
05.10.	Z
06.10.	R
20.10.	R
03.11.	Z R
17.11.	R
30.11.	Z
01.12.	R
15.12.	R

Tabelle 1 (3)

Liste der untersuchten Inhaltsstoffe für die Untersuchungsstationen Fischbach-Uttwil (F), Langenargen-Arbon (L), Bregenzer Bucht (B), Zellersee (Z) und Rheinsee bei Berlingen (R).

Temperatur	F L B	Z R
Leitfähigkeit bei 20 ^o C	F L B	Z R
pH	F L B	Z R
Sauerstoff	F L B	Z R
Alkalinität	F L B	Z R
Gesamthärte	F L B	Z R
Calcium	F L	Z R
Magnesium	F L	
Silikat	F L	Z R
Orthophosphat	F L B	Z R
Phosphor gelöst (Im Filtrat nach Aufschluß)	F L B	Z R
Phosphor partikulär	F L	Z R
Phosphor total (im Rohwasser nach Aufschluß)		B
Ammonium	F L B	Z R
Nitrit	F L B	Z R
Nitrat	F L B	Z R
Kjeldahl-Stickstoff im Filtrat	F L	R
partikulärer Stickstoff direkt	F L	
Chlorophyll (a+b+c) nach Goltermann	F	Z R
Phaeophytin nach Goltermann	F	Z R
Chlorid	F L G	Z R
Sulfat	F L	
Eisen total	F L	Z R
Mangan total	F L	
Natrium	F L	
Kalium	F L	
KMNO ₄ -Verbrauch	F L B	
UV-Extinktion (260 nm)	F L	Z R

Berechnete Inhaltsstoffe:

pH korrigiert auf aktuelle Temperatur	F L	Z R
Sauerstoffsättigung in %	F L B	Z R
Rest-Sauerstoff nach Oxidation der anorganischen Komponenten	F L B	Z R
Rest-Sauerstoff nach Oxidation der anorganischen und organischen Komponenten	F L	
Anorganischer Kohlenstoff	F L	Z R
Gleichgewichts-CO ₂ (Gas)		Z R
Magnesium (aus Gesamthärte und Calcium)		Z R
H ₂ CO ₃ +CO ₂	F L	Z R
Hydrogenkarbonat	F L	Z R
Karbonat	F L	Z R
Gleichgewichtskohlensäure	F L	Z R
Calcitsättigung	F L	Z R
ausgefallener Kalk (nach Jacobsen/Langmuir)	F L	Z R
Phosphor total (P gelöst + P part.)	F L	Z R
Phosphor hydrolisierbar (P gelöst - PO ₄ -P)	F L B	Z R
Organischer Stickstoff gelöst (N-KJF - NH ₄ -N)	F L	
Organischer Stickstoff total (N-KJF + N part.)	F L	
Gesamtstickstoff anorganisch (NO ₃ +NO ₂ +NH ₄)-N	F L B	Z R
Gesamtstickstoff	F L	
Sulfat	B	
Summe der Kationen	F L B	Z R
Summe der Anionen	F L B	Z R

Tabelle 2: SEEKENNDATEN

Bodensee-Obersee (Fischbach-Uttwil), Seejahr 1987 (Meßdaten vom 07.04.87 bis 12.04.88)

IV bis XII: Monate 1987; I bis III, IV-88: Monate 1988

Parameter	Messwerte (a)				Stoffinhalt (b)								Stoffbilanz (b)		
	Epilimnion (0 - 10 m)		Seebodennähe (1 m über Grund)		See total Seejahr				Epilimnion (0 - 10 m)		Hypolimnion (200 - 252,5 m)		Beginn 7.4. - Ende bis Seejahr 1.9.	1.9. bis 12.4.88	
	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit	Beginn 07.04.87	Ende 12.04.88	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit			
Thermik (a) °C, (b) 10 ¹² Kcal	19,5 VII 4,0 IV		4,4 VII 3,9 IV, V		187	234	309 IX 187 IV		75,6 IX 18,8 IV		6,34 VII 5,50 IV-87		+ 47 + 122 - 75		
Sauerstoff (a) mg/l, (b) 10 ³ t	13,7 VI 8,7 IX		9,1 IV,VI 6,4 XI		504	514	529 III 435 XI		59 VI 41 VIII		13,8 VI 11,1 XI		+ 10 - 62 + 72		
Orthophosphat-P (a) mg/m ³ , (b) t	48 IV 1 VII-XI		73 XI 57 II		2390	1762	2390 IV 1676 I		208 IV 4 VIII-XI		94 XI 80 V		- 628 - 625 - 3		
Phosphor hydrolysiert (a) mg/m ³ , (b) t	13 V 1 III		12 VII 1 I		218	310	333 II 189 I		43 V 8 III		12 II 5 I,III		+ 92 - 6 + 98		
Phosphor gelöst (a) mg/m ³ , (b) t	54 IV 3 IX		80 XI 61 IV		2610	2072	2607 IV 1865 I		232 IV 16 IX		103 XI 88 III		- 538 - 633 + 95		
Phosphor partikulär (a) mg/m ³ , (b) t	29 V 2 II,III		18 VII 1 VI,X		230	239	474 V 125 X		125 V 11 III		7,4 IV <1,0 VI		+ 9 - 40 + 149		
Phosphor total (a) mg/m ³ , (b) t	60 IV 9 IX		84 VII 65 V		2840	2311	2838 IV 2014 III		254 IV 41 IX		105 XI,XII 92 V		- 529 - 673 - 144		
Nitrat-N (a) mg/m ³ , (b) t	1020 IV 530 IX		1110 IV,V,XI 1040 IV,IX,II		49300	47039	49258 IV 44435 IX		4420 IV 2493 IX		1604 XII 1462 III		-2261 -4865 +2604		
Nitrit-N (a) mg/m ³ , (b) t	16 VII <1 IV,II,III		3 VII <1 IV,V,X II-IV-88		43	16	156 VI <1 III		65 VII <1 III		2 VIII <1 IV,V,II,III		- 27 + 34 - 61		
Ammonium-N (a) mg/m ³ , (b) t	70 VI <1 I-III		20 IV,V,VII-IX <1 I-III		934	228	1004 VIII 11 III		171 VI 11 II,III		29 IV,V <1 I-III		- 706 - 219 - 487		
Stickstoff partikulär (a) mg/m ³ , (b) t	160 VI 10 XII,II		90 IV <1 IV-88		2027	462	2717 III 623 X		652 VI 66 II		84 IV 9 X		-1565 - 70 -1495		
Silikat (SiO ₂) (a) mg/l, (b) 10 ³ t	3,0 IV 0,4 VIII,IX		4,5 VII 3,5 IV		135	115	135 IV 111 VI		12,4 IV 2,2 VIII		5,7 XI 4,8 IV,V		- 20 - 16 - 4		
Kalium (a) mg/l, (b) 10 ³ t	1,3 V,II,III,IV-88 1,0 VII,VIII		1,4 V,III 1,3 IV,VI-II,IV-88		57,5	61,8	62,4 V 57,6 IV		5,7 V,II,III 4,5 VIII		2,0 V 1,8 XII		+ 4,3 + 1,9 + 2,4		
Natrium (a) mg/l, (b) 10 ³ t	4,8 V 3,2 VII,IX		5,1 V 4,3 XI		219	225	234 V 197 XI		21 V 15 VII-IX		7,2 V 6,1 XI		+ 6 - 16 + 22		

Tabelle 3

Vergleich von Meßwerten der verschiedenen Teile des Bodensee-Obersees
 Seejahr 1987/88 an den Stationen
 Fischbach-Uttwil (F) und Langenargen-Arbon (L)

Meßwerte in "0" m	F	L
Temperatur in °C		
Maximum	19,5	21
Minimum	4,5	4,4
Sauerstoff in mg O ₂ /l		
Maximum	13,7	13,2
Minimum	9,5	8,9
Leitfähigkeit bei 20° in µS cm ⁻¹		
Maximum	318	318
Minimum	250	253
pH in pH-Einheiten		
Maximum	9,32	9,27
Minimum	8,14	8,19
Orthophosphat in mg PO ₄ -P/m ³		
Maximum	47	45
Minimum	< 1	< 1
Phosphor gelöst in mg P/m ³		
Maximum	53	54
Minimum	3	4
Phosphor total in mg P/m ³		
Maximum	57	47
Minimum	9	10
Nitrat in mg NO ₃ -N/m ³		
Maximum	1000	1190
Minimum	540	510
Ammonium in mg NH ₄ -N/m ³		
Maximum	30	30
Minimum	10	< 10
Eisen total in mg Fe/m ³		
Maximum	82	54
Minimum	6	7
Kohlenstoff anorg. in mmol C/l		
Maximum	2,42	2,42
Minimum	1,85	1,89
Phosphor partik. in mg P/m ³		
Maximum	29	31
Minimum	2	2
Stickstoff partik. in mg N/m ³		
Maximum	140	140
Minimum	< 20	< 20

Meßwerte in Seebodennähe

	F 250 m	L 200 m
Temperatur in °C		
Maximum	4,4	4,6
Minimum	3,9	3,7
Sauerstoff in mg O ₂ /l		
Maximum	9,3	10,1
Minimum	6,4	7,5
pH in pH-Einheiten		
Maximum	8,31	8,29
Minimum	7,75	7,76
Orthophosphat in mg PO ₄ -P/m ³		
Maximum	73	69
Minimum	57	57
Nitrat in mg NO ₃ -N/m ³		
Maximum	1110	1110
Minimum	1040	930
Ammonium in mg NH ₄ -N/m ³		
Maximum	20	40
Minimum	< 10	< 10
Eisen total in mg Fe/m ³		
Maximum	179	204
Minimum	11	12
Kohlenstoff anorganisch in mmol C/l		
Maximum	2,60	2,60
Minimum	2,39	2,40
Phosphor total in mg P/m ³		
Maximum	84	99
Minimum	65	64

Tabelle 4: SEEKENNDATEN
Bodensee-Untersee (Zellersee), Seejahr 1987 (Meßwerte vom 07.01.87 - 04.01.88)

I - XII: Monate 1987; I - 88: Januar 1988

Parameter	Messwerte (a)				Stoffinhalt (b)						Stoffbilanz (b)		
	Epilimnion (0 - 10 m)		Seebodennähe (1 m über Grund)		See total Seejahr				Epilimnion (0 - 10 m)		Beginn 7.1. 28.7. - Ende bis bis Seejahr 28.7. 4.1.88		
	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit	Beginn 7.1.87	Ende 4.1.88	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit			
Thermik (a) °C, (b) 10 ⁹ kcal	19,0 2,8	VI,VIII III	11,7 3,8	XI III	730	1302	3011 563	VIII III	1930 305	VIII III	+572	+2193	-1621
Sauerstoff (a) mg/l, (b) t	14,5 8,7	V X	13,4 <1	IV X,XI	2231	2054	2577 1406	IV X	1526 946	V VII	-177	- 660	+ 483
Orthophosphat-P (a) mg/m ³ , (b) t	51 <1	I VIII	618 11	XI V	9,6	6,5	9,6 0,6	I VI	5,4 < 0,1	I VIII	- 3,1	- 6,5	+ 3,4
Phosphor hydrolysiert (a) mg/m ³ , (b) t	13 6	III VI,VII,VIII	30 7	X V	2,1	2,2	2,3 1,4	III VI	1,3 0,7	III VI,VII	+ 0,1	- 0,5	+ 0,6
Phosphor gelöst (a) mg/m ³ , (b) t	71 18	I VI	843 50	XI VI	13,1	11,4	14,4 4,6	X,XI VI	7,5 2,2	I VI	- 1,7	- 5,3	+ 3,6
Phosphor partikul. (a) mg/m ³ , (b) t	38 5	V XI	280 10	X I	1,5	2,7	7,0 1,5	V I,XI	4,0 0,5	IV,V XI	+ 1,2	+ 0,1	+ 1,1
Phosphor total (a) mg/m ³ , (b) t	71 18	I VI	843 50	XI VI	13,1	11,4	14,4 4,6	X,XI VI	7,5 2,2	I VI	- 2,7	- 5,3	+ 3,6
Nitrat-N (a) mg/m ³ , (b) t	1350 510	III VIII	1770 < 1	II X,XI	246	220	260 109	III VIII	143 60	III VIII	- 26	- 121	+ 95
Nitrit-N (a) mg/m ³ , (b) t	30 7	XI III,IV,I-88	42 < 1	VIII X,XI	3,6	1,3	5,5 1,3	XI III,IV,I-88	3,2 0,7	XI III,IV,I-88	- 2,3	- 0,8	- 1,5
Ammonium-N (a) mg/m ³ , (b) t	60 10	X I-VI,VIII-XI,I-88	1280 10	XI IV	2,7	1,9	19,3 1,9	X III,IV,I-88	3,7 1,1	VII I-VI,VIII,XI,I-88	- 0,8	+ 7,4	- 8,2
Silikat (SiO₂) (a) mg/l, (b) t	2,5 0,3	I,I-88 VI	6,7 1,3	X IV,VI	468	471	471 92	I-88 VI	267 34	I,I-88 VI	+ 3	- 306	+ 309
Calcium (a) mg/l, (b) t	56,1 44,5	IV VII,X	58,5 49,7	III VII	10060	9730	10410 8450	IV VII	5890 4750	IV VII,X	-330	-1610	+1280
Magnesium (a) mg/l, (b) t	7,1 5,8	VI V,VIII,XI	7,3 6,3	VI V,VIII	1230	1270	1320 1100	VI VIII	750 620	VI VIII	- 60	0	- 60
Chlorid (a) mg/l, (b) t	10,1 5,0	IV VIII	13,0 6,4	III VII	1870	1540	1920 1000	III VII	1070 550	I VIII	-330	- 870	+ 540

Tabelle 5: SEEKENNDATEN

Bodensee-Untersee (Rheinsee, Berlingen), Seejahr 1987 (Meßdaten vom 07.01.87 - 19.01.88)

I - XII: Monate 1987; I - 88: Januar 1988

Parameter	Messwerte (a)				Stoffinhalt (b)						Stoffbilanz (b)		
	Epilimnion (0 - 10 m)		Seebodennähe (1 m über Grund)		See total Seejahr				Epilimnion (0 - 10 m)		Beginn 7.1. 28.7. - Ende bis bis Seejahr 28.7. 19.1.88		
	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit	Beginn 07.01.87	Ende 19.01.88	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit			
Thermik (a) °C, (b) 10 ⁹ kcal	21,8 1,1	VII I	9,7 2,4	IX I	2040	2640	8810 1180	IX I	4450 470	VII I	+ 600	+5700	-5100
Sauerstoff (a) mg/l, (b) t	14,8 8,9	IV IX	12 0,2	III X	5930	5570	6560 3610	IV IX	3010 1980	IV X	- 360	-1640	+1280
Orthophosphat-P (a) mg/m ³ , (b) t	55 1	I V,VIII	539 28	XI I-88	25,3	13,0	27,5 3,5	X V	11,1 <1	I V,VII-IX	- 12,3-	8,1 -	3,5
Phosphor hydrolysiert (a) mg/m ³ , (b) t	14 1	VII III	60 3	VIII I,VIII,I-88	2,2	1,3	6,1 0,6	VII III	2,8 0,3	VII I	- 0,9+	3,9 -	4,9
Phosphor gelöst (a) mg/m ³ , (b) t	58 5	I IX	556 28	XI XI	27,4	15	30 7,4	X V	11,8 1,4	I VIII,IX	- 12,4-	4,1 +	8,3
Phosphor partikul. (a) mg/m ³ , (b) t	51 4	IV XII	270 5	VI XII	4,0	3,1	13,4 2,0	IV XII	9,3 0,9	IV XII	- 0,9+	3,8 -	4,7
Phosphor total (a) mg/m ³ , (b) t	67 12	I VIII	573 34	XI XI	31,4	18,1	34,4 17,0	X VI	13,5 3,0	I,IV VIII	- 13,3-	0,3 -	13
Nitrat-N (a) mg/m ³ , (b) t	1360 360	I IX	1600 40	III XI	520	480	590 290	VII XI	260 90	I IX	- 40	0 -	40
Nitrit-N (a) mg/m ³ , (b) t	26 3	VI III	118 3	XI III	5,1	5,3	12,4 1,5	VII III	5,2 0,7	XI III	+ 0,2+	2,9 -	2,7
Ammonium-N (a) mg/m ³ , (b) t	146 < 1	VI IV	353 28	XI I-88	22,9	14,0	69,1 6,6	VI IX	30,0 1,5	VI IV	- 8,9-	1,9 -	7,0
Silikat (SiO₂) (a) mg/l, (b) t	3,6 0,4	I V-VIII	7,3 2,0	VII,XI XI	1790	1060	1790 503	I VI	770 78	I VII	- 730	-1170	+ 440
Calcium (a) mg/l, (b) t	55,1 39,3	I X	59,3 44,1	III XI	26,6	24,1	27,8 20,8	III X	11,8 8,5	III X	- 2,5-	3,6 +	1,1
Magnesium (a) mg/l, (b) t	10,9 6,3	IX I	11,2 7,2	VIII I	3,5	4,2	5,0 3,5	VIII,IX I	2,2 1,5	IX I	+ 0,7+	0,6 +	0,1
Chlorid (a) mg/l, (b) t	9,5 4,2	I IX	12,8 5,1	III XI	3630	2870	3630 2340	I VIII	1680 940	I VIII,IX	- 760	-1220	+ 460

Tabelle 6

Vergleich von Meßwerten der verschiedenen Teile des Bodensee-Untersees
 Seejahr 1987/88 an den Stationen Zellersee (Z), Rheinsee Station Berlingen (R)

Meßwerte in "0" m	Z	R
Temperatur in °C		
Maximum	19	21,8
Minimum	2,9	1,1
Sauerstoff in mg O ₂ /l		
Maximum	14,5	14,8
Minimum	8,9	9,2
pH in pH-Einheiten		
Maximum	8,77	8,65
Minimum	8,02	7,65
Orthophosphat in mg PO ₄ -P/m ³		
Maximum	51	55
Minimum	< 1	2
Phosphor partikulär in mg P/m ³		
Maximum	38	50
Minimum	5	4
Nitrat in mg NO ₃ -N/m ³		
Maximum	1330	1360
Minimum	510	360
Ammonium in mg NH ₄ -N/m ³		
Maximum	30	137
Minimum	10	< 10
Eisen total in mg Fe/m ³		
Maximum	42	26
Minimum	25	3

Tabelle 6**Meßwerte in Seebodennähe**

	Z 22-24 m ⁺)	R 44-46 m ⁺)
Temperatur in °C		
Maximum	11,7	9,7
Minimum	3,8	2,4
Sauerstoff in mg O ₂ /l		
Maximum	13,4	12,0
Minimum	0,0	0,2
pH in pH-Einheiten		
Maximum	8,54	8,16
Minimum	7,47	7,31
Orthophosphat in mg PO ₄ -P/m ³		
Maximum	618	539
Minimum	11	28
Nitrat in mg NO ₃ -N/m ³		
Maximum	1770	1600
Minimum	10	330
Ammonium in mg NH ₄ -N/m ³		
Maximum	1280	453
Minimum	10	28
Eisen total in mg Fe/m ³		
Maximum	7800	352
Minimum	45	4

⁺ je nach Seewasserstand

A N H A N G

Zur weiteren Entwicklung der Radioaktivität im Bodensee nach dem Unfall Tschernobyl

Die Gesamtsituation am Bodensee und in seinem Einzugsgebiet nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl wurde im blauen Bericht Nr. 36 der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB 1987) beschrieben. Inzwischen wurden im Rahmen der länderinternen Überwachungsprogramme weitere Untersuchungen zur Entwicklung der Radioaktivität im Bodensee durchgeführt. Von Lindner et al. (Universität Konstanz) sowie von Christian et al. wurden im September 1987 zusammenfassende Übersichten über die bisherige Entwicklung vorgestellt. Auf diesen Grundlagen, ergänzt durch weitere Daten, kann zum Stand bis zum Winter 1987/88 folgendes festgestellt werden:

1. Im August 1987 war das aus dem Tschernobyl-fallout stammende Cs-137 folgendermaßen im Obersee verteilt:

etwa 60 % haben das Seesediment erreicht und sind damit den biologischen Stoffumsätzen im Wasser entzogen. Dabei nimmt die Flächendichte des Cs-137 am Seeboden mit zunehmender Wassertiefe ab.

10 bis 15 %
sind noch im Wasser gelöst.

etwa 10 % sind durch den Seerhein abgeflossen.

15 bis 20 %
sind in lebenden Organismen inkorporiert oder an Schwebstoffen angelagert.

Angesichts dieser Bilanz ist davon auszugehen, daß im Sommer 1987 höchstens noch ca. 20 % des insgesamt eingetragenen Cs-137 für biologische Stoffumsätze im Wasser zur Verfügung standen.

2. Die Ablagerung am Seeboden fand im wesentlichen bis August 1987 statt. Insgesamt werden voraussichtlich 80 bis 90 % des zugeführten Cs-137 im Seesediment abgelagert werden.

Die anderen untersuchten Isotope sind 15 Monate nach Zufuhr praktisch vollständig sedimentiert (soweit nicht zerfallen).

3. Die Aktivität des Cs-137 im Wasser des Obersees zeigte folgende Entwicklung:

Im Mai 1986 verteilte sich die eingetragene Radioaktivität auf die obersten 50 m Wassertiefe mit einer errechneten Konzentration von durchschnittlich 200 m Bq/l.

Während der ersten drei Monate nach dem Ereignis wurden mit dem vertikalen Partikelflux etwa 25 % der Aktivität in tiefere Wasserschichten transportiert.

Ende September 1986 war die Radioaktivität bereits über die gesamte Seetiefe feststellbar mit Konzentrationen zwischen 20 und 30 m Bq/l im Oberflächen- und Tiefenwasser sowie einem Aktivitätsmaximum von 90 m Bq/l in 50 m Wassertiefe.

Mitte November 1986 lagen die Konzentrationen im Oberflächen- und Tiefenwasser bei 15 bis 22 m Bq/l mit einem Aktivitätsmaximum um 45 m Bq/l zwischen 35 und 80 m Tiefe (Santschi/ISF).

Gegen Ende der Zirkulationsphase Ende März 1987 wurde eine ziemlich homogene Aktivitätsverteilung über alle Tiefen mit Werten von 19 bis 25 m Bq/l festgestellt mit Ausnahme einer Probe aus 245 m Tiefe mit 11 m Bq/l.

Anfang Juli 1987 lagen die Konzentrationen bis 50 m Wassertiefe um 5 m Bq/l, darunter um 15 m Bq/l.

Der im letzten Bericht der Sachverständigen für die Zeit nach der Vollzirkulation 1987 prognostizierte Wert von 50 bis 100 m Bq/l wurde damit bereits während der Zirkulationsphase deutlich unterschritten.

4. Die Cs-137-Aktivität in Plankton lag im Sommer 1987 als Folge des starken Konzentrationsrückganges während der Frühjahrszirkulation unter 50 Bq/kg Trockensubstanz (Sommer 1986: 50 bis 240 Bq/kg Trockensubstanz).
5. In Fischen des Bodensee-Obersees ist die Cs-137-Aktivität ebenfalls stark zurückgegangen. Im Sommer 1987 erreichten die Durchschnittswerte beim Barsch etwa 60 Bq/kg (30 % des Sommers 1986) und bei Felchen etwa 30 Bq/kg (10 - 20 % des Sommers 1986). Während im Sommer 1986 die Cs-137-Aktivität dieser beiden Plankton fressenden Arten höher war als die anderer Arten, waren diese Differenzen ein Jahr später dank eines raschen Aktivitätsabfalls bei Felchen und Barschen und einer Stagnation bzw. eines Aktivitäts-

zuwachsen z. B. bei den Raubfischen Hecht und Aal praktisch ausgeglichen. Die Aktivitätsabnahme bei Felchen hatte eine effektive Halbwertszeit von ca. 150 Tagen und war damit wesentlich geringer als der bisher angenommene Wert von 380 Tagen.

Gegen Ende 1987 betrug die Aktivität von Cs-137 bei mehreren Fischarten (Felchen, Barsch, Plötze, Trüsche, Hasel) noch 6 bis 36 Bq/kg.

Die Prognose des letzten Sachverständigenberichtes ist damit hinsichtlich der verschiedenen Aktivitätsentwicklung bei Plankton fressenden Fischen einerseits und Fischen der Flachwasserzone bzw. Raubfischen andererseits bestätigt worden. Insgesamt war die Aktivitätsabnahme bei Fischen günstiger als ursprünglich angenommen.

6. Zusammenfassend kann gesagt werden, daß 15 Monate nach dem Ereignis die Hauptmenge der Radioaktivität aus den reaktiven biologischen und geochemischen Komponenten verschwunden und im Seesediment angekommen ist. Zukünftig ist ein stetiges weiteres Absinken der Cs-137-Aktivität im Wasser und in Fischen zu erwarten.

Lindner und Recknagel (1988) haben inzwischen die Auswirkungen des Reaktorunfalls auf die Bodensee-Region in einer umfassenden Übersicht mit zahlreichen weiteren Literaturangaben dargestellt.

Literatur:

- Lindner, G., D. Petermann, W. Pfeiffer, U. Wahl, E. Recknagel (1987):
Chernobyl-radioactivity in Lake Constance - Pathways of Long-Lived gamma-emitting isotopes observed in 1986 and 1987; Mskr. zum Large Lakes Symposium in Konstanz, Sept. 1987.
- Christian, U., A. Mangini, W. Schmitz und H. H. Stabel (1987):
The pathway of Chernobyl radiotracers in Lake Constance.- Mskr. zum Large Lake Symposium in Konstanz, Sept. 1987.
- Lindner, G. und Recknagel, E. (1988): Tschernobyl - Auswirkungen auf die Bodensee-Region. - Band 36 der Bodensee-Bibliothek; Jan Thorbecke Verlag Sigmaringen: 126 S.

AUSKÜNFTE

Baden-Württemberg:	Ministerium für Umwelt Baden-Württemberg Postfach 10 34 39 Kernerplatz 9 D-7000 Stuttgart 10
Bayern:	Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft Lazarettstraße 67 D-8000 München 19
Österreich:	Amt der Vorarlberger Landesregierung Römerstraße 15 A-6901 Bregenz
Schweiz:	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) CH-3003 Bern

Technische Herstellung, Grafik und Druck:
Sieg-Druck GmbH · 7990 Friedrichshafen · Adelheidstraße 28 · Telefon (07541) 7 10 61

