

Internationale Gewässerschutzkommission
für den
Bodensee

LIMNOLOGISCHER ZUSTAND DES BODENSEES

Nr. 21

Jahresbericht Januar 1993 bis März 1994
– Freiwasser, Seeboden –

ISSN 1011-1271

Internationale Gewässerschutzkommission
für den
Bodensee

LIMNOLOGISCHER ZUSTAND DES BODENSEES

Nr. 21

Jahresbericht Januar 1993 bis März 1994
– Freiwasser, Seeboden –

Bearbeiter: H. Müller

– 1995 –

VORWORT

Der vorliegende Bericht der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB) enthält die Ergebnisse der regelmäßigen limnologischen Freiwasseruntersuchungen des Bodensees im Jahr 1993/94 sowie der Seebodenuntersuchungen in den Jahren 1992 bis 1994. Die allgemeinen Grundlagen und limnologischen Zusammenhänge, die zum Verständnis dieses Berichtes notwendig sind, wurden im Bericht Nr. 9: Limnologischer Zustand des Bodensees - Grundlagen (2. Auflage, Stand 1993) dargestellt.

Am Bericht haben mitgearbeitet:

Dr. Heinrich Bühner, Dübendorf
Dr. Hans-Rudolf Bürgi, Dübendorf
Mag. Dietmar Buhmann, Bregenz
Dr. Ulrich Einsle, Konstanz
Dipl. phil. nat. Urs Engler, St. Gallen
Dr. Hans Güde, Langenargen
Dr. Eckart Hollan, Langenargen
Dr. Reiner Kümmerlin, Langenargen
Dr. Helmut Müller, Langenargen (Koordination Freiwasser)
Dr. Henno Roßknecht, Langenargen
Dr. Cristian Ruhlé, St. Gallen
Dr. Wolf Sanzin, München
Dipl.-Chem. Walter Schnegg, Frauenfeld
Dr. Heinz Gerd Schröder, Langenargen
Dr. Hans Bernd Stich, Langenargen
Dr. Benno Wagner, Bregenz (Koordination Seeboden)

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.

Institut für Seenforschung der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, Langenargen:

Terminfahrten und Messungen, Untersuchungen des Chemismus, des Phyto- und Zooplanktons im Obersee und Untersee-Zellersee, bakteriologische Untersuchungen; Physikalische, chemische und biologische Sedimentuntersuchungen.

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.

I N H A L T

	Seite	Abb.	Tab.
Einleitung	5	1	1
Zustandsbeschreibung für das Seejahr 1993/94 (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	
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
Weitere Stoffdaten			2
Phytoplankton	26 - 28		
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 Phosphorverbindungen	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 Kohlenstoff- verbindungen und Kalk- Kohlensäure-Gleichgewicht	47,48	4	67,68	5
Eisen	46,49	4	66,69	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

Seebodenuntersuchungen in den Jahren 1992 bis 1994

Auskünfte

E I N L E I T U N G

Der Bericht zum Seejahr 1993/94 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, 1. Aufl. 1985) mitgeteilten Seevolumina berechnet. Quervergleiche zwischen verschiedenen Obersee-Untersuchungsstationen werden nur für einige ausgewählte Parameter durchgeführt.

Für den Bodensee-Untersee werden die Zustände im Zellersee und Rheinsee 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 beim Institut für Seenforschung der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, 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 1993/1994

Bodensee - Obersee:

Die Phosphorkonzentration nahm im Seejahr 1993/94 erneut leicht ab und betrug im Frühjahr 1994 noch 29 mg/m^3 (1993: 30 mg/m^3). Der Gehalt an anorganischem Stickstoff - im wesentlichen Nitrat - nahm von $0,98$ auf $1,06 \text{ g/m}^3$ zu. Die Biomasse des Phytoplanktons stieg gegenüber dem Vorjahr wieder an. Die Sauerstoffverhältnisse haben sich nach der Erholungsphase im Jahre 1992, die den ungünstigen Jahren 1989 - 1991 folgte, erneut verschlechtert. Wegen der völlig unzureichenden Zirkulation im Winter 1992/93 war insbesondere die Versorgung der grundnahen Wasserschichten mit Sauerstoff das ganze Jahr 1993 über schlechter als 1992. Eine deutliche Verbesserung der Situation ergab sich jedoch im laufenden Jahr infolge der guten Zirkulation mit einer teilweisen Erneuerung des Tiefenwassers im Winter 1993/94.

Auf die **hydrologische Situation** des Sees wirkte sich das im Vergleich zum Vorjahr überwiegend kühlere Jahr 1993 stärker bis in die größte Tiefe aus. Wärmer als im Vorjahr waren lediglich die Monate April, Juni und Dezember 1993 sowie März 1994. Frost gab es während 13 Tagen in der zweiten Novemberhälfte und für kürzere Zeit noch Ende Dezember 1993, in der zweiten Januarhälfte und Mitte Februar 1994.

Die Hauptschichtung entwickelte sich im April 1993 mit deutlich höheren Oberflächentemperaturen als im Vorjahr und verlief dann im Mai und Juni ähnlich. Während des kühleren Sommers bis in die zweite Oktoberhälfte war die Erwärmung der Deckschicht geringer. Das Mitte August beobachtete Maximum der Oberflächentemperatur von $21,4^\circ\text{C}$ war $1,6^\circ\text{C}$ niedriger als der jährliche Extremwert im gleichen Vorjahresmonat. Trotz der etwas wärmeren Oberflächentemperaturen Ende Oktober bis Mitte November war die Mächtigkeit der Deckschicht im Herbst geringer als im gleichen Vorjahreszeitraum. Aus dieser Situation heraus wurde die Schichtung durch die anschließende Frostperiode wesentlich stärker abgebaut, so daß die winterliche Vertikalzirkulation bis Mitte Januar 1994 bereits 170 m Tiefe erreichte. Im Februar waren die Oberflächentemperaturen niedriger als im Vorjahr, wobei die konvektive Erneuerung bis 150 m Tiefe und die seitliche Erneuerung maximal bis 185 m Tiefe und erst Anfang März bis in die größte Tiefe reichte. Im März 1994 kam es zu einer stärkeren Erwärmung in einer wenige Meter mächtigen Deckschicht.

Die teilweise Erneuerung des Tiefenwassers läßt sich aus dem Temperaturverlauf über Grund ablesen: Im Anschluß an die stetige Zunahme im vorigen Seejahr stieg die Temperatur über Grund bis zur ersten Frostperiode Ende November 1993 gleichsinnig weiter auf $4,53^\circ\text{C}$ an. Dann reduzierte sie sich Mitte Dezember auf $4,50^\circ\text{C}$. Nach einem erneuten Anstieg auf $4,59^\circ\text{C}$ bis zur

zweiten Februarhälfte 1994 nahm sie relativ stark ab auf einen Minimalwert von 4,45 °C zu Beginn des März. Bis zum Ende des Seejahres trat nur eine leichte weitere Erhöhung auf 4,47 °C ein.

Hervorzuheben ist, daß die Temperaturen über Grund jedoch, im Winter 1993/94 insgesamt gesehen, höher als im vorigen Winter lagen und der Minimalwert die entsprechende Temperatur im Vorjahresmonat (4,46 °C) nur geringfügig unterschritt.

Die Konzentration des **Gesamtphosphors** im Rohwasser betrug im Frühjahr 1994 während der Monate Februar bis April im Mittel 29 mg/m³ (Abb. 2 A, Konzentration während der Vollzirkulation). Damit hat sich die leichte Phosphorabnahme der letzten Jahre fortgesetzt (Frühjahr 1991: 33 mg/m³; 1992: 32 mg/m³; 1993: 30 mg/m³).

Der Orthophosphat-Phosphor war von Anfang Juni bis Anfang Juli in begrenzten Tiefenbereichen der Produktionszone bis unter 1 mg/m³ aufgezehrt (1992: Anfang Juni und Anfang August).

Der **anorganische Stickstoff** ($\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{NH}_4^+$) mit Nitrat als Hauptkomponente lag 1993 im Jahresmittel (volumengewichtet) mit 1,06 g/m³ über dem Niveau der beiden Vorjahre (1991 und 1992: 0,98 g/m³; 1990: 0,96 g/m³; Abb. 2 C).

Chlorid als Indikator vielfältiger Salzbelastungen wies 1993 im Jahresmittel (volumengewichtet) eine Konzentration von 5,3 g/m³ auf. Damit hat es erneut geringfügig abgenommen (1992: 5,7 g/m³; 1991: 5,6 g/m³; Abb. 2 C).

Die **Sauerstoffsituation** des Obersees war 1993 geprägt von der sehr unvollständigen Zirkulation im Winter 1992/93, in dem das Hypolimnion lediglich bis zu einer Tiefe von 140 m teilweise erneuert wurde. Insbesondere die Sauerstoffinhalte im tiefen Hypolimnion von 200 - 253 m lagen in Seemitte das ganze Jahr über stets unter den entsprechenden Vorjahreswerten. Der einen Meter über Grund gemessene Minimalwert von 5,0 mg/l wurde gleich zweimal - im Oktober und im November - beobachtet und unterschritt den Vorjahreswert von 6,3 mg/l deutlich (Abb. 2 b).

Der durchschnittliche Sauerstoffinhalt des Obersees während der Monate März und April lag 1994 mit 516.000 Tonnen jedoch wieder über den Werten von 1992 mit 513.000 und 1993 mit 509.000 Tonnen. Die teilweise sehr ungünstigen Werte der Jahre 1989 bis 1991 (1989: 464.000, 1990: 506.000 und 1991: 470.000 Tonnen) wurden damit erneut klar übertroffen.

Insgesamt spiegelte sich aber im Jahre 1993 in der mangelnden Versorgung der tiefen Wasserschichten mit Sauerstoff die immer noch starke Anfälligkeit des Sees auf entsprechend ungünstige Witterungsverhältnisse

wider. So wirkte sich die unzureichende Sauerstoffversorgung der grundnahen Wasserschichten zu Jahresbeginn vor allem in der kritischen zweiten Jahreshälfte aus, wo saisonbedingt die höchsten Zehrungsraten auftreten. Allerdings haben sich die Sauerstoffgehalte im laufenden Jahr wieder spürbar erhöht, wie auch an dem oben genannten Sauerstoff-Gesamtinhalt ablesbar wird. So war die Sauerstoffversorgung in den Monaten Januar bis April 1994 insbesondere unterhalb einer Wassertiefe von etwa 50 Metern deutlich besser als 1993. Dies ist offensichtlich eine Folge der durch die bereits im Spätherbst einsetzende stärkere Abkühlung und einen sturmreichen Dezember 1993 mit einer bereits früh einsetzenden Zirkulation.

Das **Phytoplankton** erreichte 1993 im Jahresmittel eine Biomasse von $13,7 \text{ g/m}^2$ (0 - 20 m Tiefe). Sie lag damit höher als im Vorjahr mit $11,8 \text{ g/m}^2$; nach der seit einigen Jahren beobachteten Abwärtsbewegung (1991: $12,32 \text{ g/m}^2$; 1990: $16,3 \text{ g/m}^2$; 1989: $25,1 \text{ g/m}^2$; 1988: $33,9 \text{ g/m}^2$) ist somit wieder ein Anstieg zu verzeichnen (Abb. 3).

Hauptsächlich ist das auf zwei Frühjahrsmaxima zurückzuführen, die sich entsprechend auf die Durchschnittsbiomasse auswirken. Das erste entwickelte sich bereits Ende März und erreichte 28 g/m^2 ; es war vor allem von Cryptophyceen und Kieselalgen dominiert. Die zweite Blüte folgte Ende April mit $32,5 \text{ g/m}^2$, wobei die Kieselalgen im Vordergrund standen. Nach einer Klarwasserperiode Mitte Mai ($4,4 \text{ g/m}^2$) stieg die Biomasse langsam an und erreichte Anfang August ihren Jahreshöchststand mit $37,7 \text{ g/m}^2$. Während Ende Juli bei einer Biomasse von $32,4 \text{ g/m}^2$ noch Kieselalgen und Blaualgen vorherrschten, waren Anfang August Chrysophyceen und fadenbildende Grünalgen dominierend. Nach einem kurzen Rückgang folgte ein neuer Anstieg bis zu einer Biomasse von 32 g/m^2 Anfang November. Im September beherrschten vor allem Dinophyceen, begeißelte Grünalgen und Cryptophyceen das Planktonbild, Anfang Oktober traten dann kettenbildende Kieselalgen völlig in den Vordergrund. Danach fiel die Biomasse relativ schnell ab und erreichte Mitte November 5 g/m^2 , Anfang Dezember $2,7 \text{ g/m}^2$ (Abb. 27,28).

Beim **Crustaceenplankton** hat sich der Jahresmittelwert der Gesamtzahl 1993 um knapp 20 % gegenüber dem Vorjahr 1992 verringert. Diese Abnahme ist vor allem auf einen Rückgang der Cladocerenbestände von 230.000 auf 150.000 T/m² zurückzuführen. Betroffen hiervon waren die Daphnien (bei der "Daphnia-galeata-Gruppe" um etwa ein Drittel), noch stärker die Bosminen, wo die Bestände auf etwa ein Sechstel des Vorjahres absanken. Etwas geringer erwiesen sich die Rückgänge bei Bythotrephes und Leptodora. Bei den h e r b i v o r lebenden Copepoden - Anteilen (Eudiaptomus und jüngste Copepodide von Mesocyclops und Cyclops abyssorum) sanken die Bestände um etwa 20 - 40 %, lediglich bei Cyclops vicinus verdoppelten sich die Werte.

Die c a r n i v o r lebenden Copepodengruppen nahmen bei den älteren Copepodiden von Mesocyclops und Cyclops abyssorum deutlich ab, bei den Adulten erhöhte sich der Bestand bei Mesocyclops und Cyclops vicinus, bei Cyclops abyssorum nahmen die Werte wieder ab (Abb. 29 - 31).

Die **Bakterien** - bestimmt durch Direktzählung - zeigten innerhalb der Produktionszone (0 - 20 m) nach einem ersten Anstieg im März ein vergleichsweise stark ausgeprägtes Maximum im Mai von 9×10^6 Bakterien/ml. Das nachfolgende Minimum Anfang Juni war - wie im Vorjahr - relativ gering ausgeprägt (5×10^6 Bakterien/ml). Nach einem deutlichen Anstieg im Juli auf 8×10^6 Bakterien/ml bewegten sich die Bakterienzahlen während der nachfolgenden Sommermonate auf niedrigem Niveau zwischen $3 - 5 \times 10^6$ Bakterien/ml. Ab Mitte September nahmen die Zelldichten bis zum Winter kontinuierlich ab und erreichten das Winterminimum im Januar mit $0,9 \times 10^6$ Bakterien/ml (Abb. 32).

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

Die **Phosphorkonzentration** - bestimmt als Gesamtphosphor im Rohwasser - hat 1993 im Rheinsee im Jahresmittel (volumengewichtet) mit 24 mg/m^3 stark abgenommen (1992: 34 mg/m^3 ; 1991: 32 mg/m^3 ; 1990: 35 mg/m^3). Eine ebenfalls deutliche Abnahme ergab sich im Zeller See von 43 mg/m^3 im Vorjahr auf 33 mg/m^3 in 1993. Damit wurde der in diesem Seeteil bereits 1991 erreichte niedere Wert von 35 mg/m^3 noch leicht unterschritten (1990: 45 mg/m^3).

Der Inhalt an **anorganischem Stickstoff** (N aus $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{NH}_4^+$) mit Nitrat als Hauptkomponente betrug 1993 im Rheinsee $0,90 \text{ mg/l}$. Davor hatte der Gehalt zwei Jahre lang bei $0,92 \text{ mg/l}$ stagniert. Im Zeller See wurde ebenfalls eine leichte Abnahme auf $1,01 \text{ mg/l}$ beobachtet (1992: $1,03 \text{ mg/l}$).

Die **Sauerstoffsituation** hat sich im Rheinsee und im Zeller See gegenüber dem Vorjahr verbessert. Im Rheinsee lagen die Sauerstoffkonzentrationen in Seebodennähe von August bis Oktober zwischen 1 und 2 mg/l . Im Vorjahr hatten hier die Minimalkonzentrationen im September und Oktober noch unter 1 mg/l gelegen. Im Zeller See, der seit Jahrzehnten regelmäßig einen zeitweiligen totalen Sauerstoffschwund aufwies, wurde 1993 bei allen Messungen ein geringer Sauerstoff-Restgehalt gemessen. Er lag von Juli bis Oktober zwischen 0,8 und $1,6 \text{ mg/l}$.

Beim **Phytoplankton** im Zeller See lag die Durchschnittsbiomasse 1993 mit $13,8 \text{ g/m}^2$ (0 - 20 m Tiefe) in Höhe des Jahres 1992 ($13,7 \text{ g/m}^2$), während in den Vorjahren die Biomassen wesentlich höher waren (1991: 18 g/m^2 ; 1990: $20,2 \text{ g/m}^2$; 1989: $27,6 \text{ g/m}^2$; 1988: $52,1 \text{ g/m}^2$).

Die Frühjahrsentwicklung war dreigeteilt, wobei bereits Mitte Februar eine vor allem von Kieselalgen gebildete Biomasse von $14,2 \text{ g/m}^2$ erreicht wurde. Das zweite Maximum, das aus Cryptophyceen und Kieselalgen bestand (32 g/m^2), entwickelte sich Ende März. Ein dritter Peak ähnlicher Artenzusammensetzung folgte Ende April ($28,3 \text{ g/m}^2$). Nach einem ausgeprägten Klarwasserstadium im Mai mit $3,6 \text{ g/m}^2$ baute sich langsam die Sommerentwicklung auf, Sommerentwicklung auf, die Ende Juli die Jahreshöchstbiomasse mit $36,6 \text{ g/m}^2$ erreichte; sie war vor allem von Kieselalgen dominiert. Nach einem leichten Absinken stieg die Biomasse erneut während einer lange andauernden

Herbstentwicklung im September / Oktober bis auf 20,7 g/m² an. Dabei kamen im September vor allem Cryptophyceen und fadenbildende Grünalgen vor. Sie wurden im Oktober von Cryptophyceen, Kieselalgen und Blaualgen abgelöst. Bereits Ende November war die Winterbiomasse mit ca. 4 g/m² erreicht (Abb. 51,52).

B e w e r t u n g u n d S c h l u ß f o l g e r u n g e n

Die Entwicklung des limnologischen Zustandes des Bodensees (Obersee) im Freiwasser zeigte im Seejahr 1993/94 kein einheitliches Bild. Die Dank der Abwassersanierung im Einzugsgebiet des Bodensees seit Anfang der 80er Jahre eingetretene stetige Abnahme der Phosphorkonzentration hat sich zwar bis zum Frühjahr geringfügig weiter fortgesetzt. Die Biomasse des Phytoplanktons hat dagegen im Obersee wieder um ca. 16 % zugenommen. Auch die Sauerstoffsituation war 1993 im Tiefenwasser deutlich schlechter als im Vorjahr und verbesserte sich erst wieder im Frühjahr 1994, bedingt durch die vergleichsweise gute, jedoch nicht vollständige Frühjahrszirkulation.

Diese Entwicklung spiegelt immer noch die starke Anfälligkeit des Sees bei entsprechend ungünstigen Witterungsverhältnissen wider, wie z.B. der Einbruch in die Sauerstoffversorgung in größeren Seetiefen infolge der klimabedingt sehr unvollständigen Vertikalzirkulation im Winter 1992/93 zeigt. Ein Trend zu kürzeren und unvollständigen Vertikalzirkulationen und damit insgesamt zu klimatisch bedingten schlechteren Sauerstoffverhältnissen ist seit Mitte der 80er Jahre zu beobachten. Er wurde allerdings durch die vergleichsweise gute Zirkulation im Frühjahr 1994 durchbrochen, die für das laufende Seejahr nunmehr günstigere Voraussetzungen geschaffen hat. Allerdings sind beim derzeitigen Trend der Klimaentwicklung weitere Jahre mit schlechter Vertikalzirkulation wahrscheinlich.

Durch das relativ kühle Jahr 1993 ist auch die seit einigen Jahren beobachtete zunehmende Erwärmung des Tiefenwassers im Frühjahr 1994 zum Stillstand gekommen, obwohl die Temperaturen über Grund im Winter 1993/94 insgesamt höher als im vorigen Winter lagen.

Bei der derzeitigen Situation des Sees und wegen seiner verzögerten Reaktion auf die Entlastungsmaßnahmen muß nach wie vor mit einem erhöhten Risiko für einen befriedigenden Seezustand gerechnet werden. Vor diesem Hintergrund kommt einer weiteren Absenkung der Phosphorkonzentration auf eine Konzentration unter 20 mg/m³ besondere Bedeutung zu, denn nur so kann die notwendige Stabilisierung des Seezustandes auf befriedigendem Niveau auch bei ungünstigen klimatischen Bedingungen erreicht werden.

Die durch das Bau- und Investitionsprogramm vorgegebenen Maßnahmen zur weiteren Abwasserreinigung müssen daher konsequent zu Ende geführt und durch die dort vorgeschlagenen weiteren Maßnahmen zur Phosphorreduktion, auch im landwirtschaftlichen Bereich, ergänzt werden.

Abbildungen und Tabellen

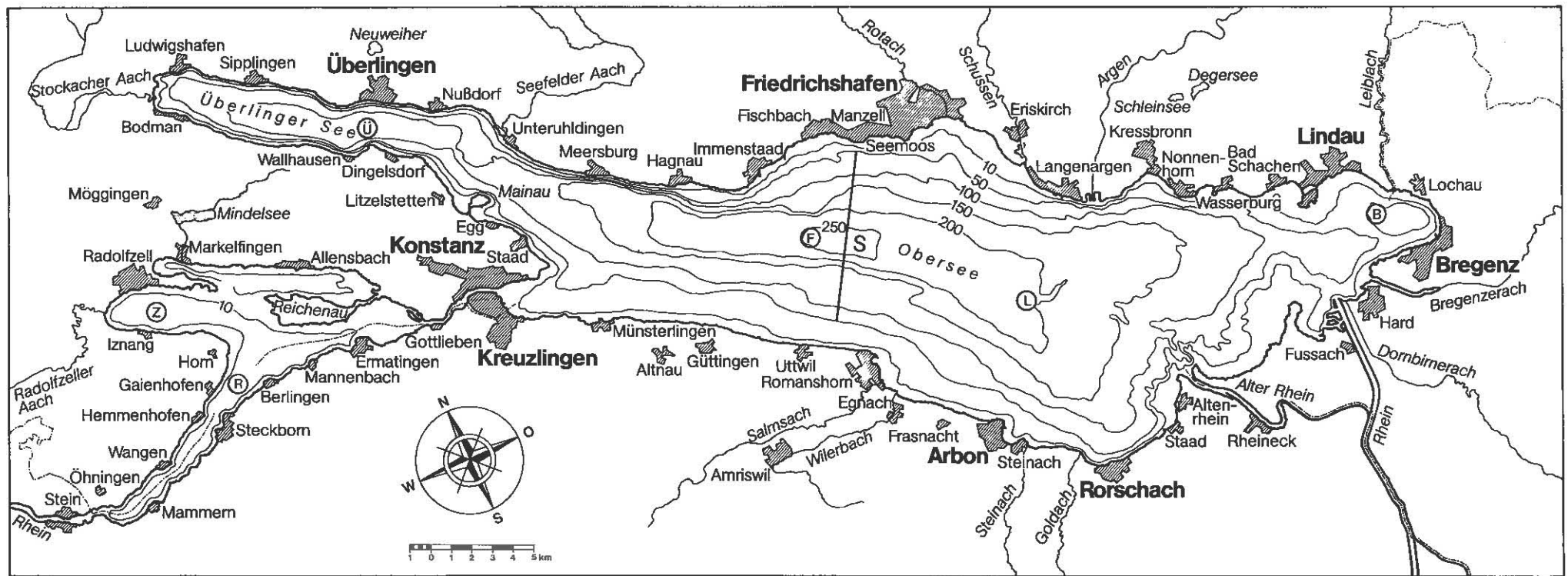


Abb. 1: Der Bodensee mit Lage der Untersuchungsstellen

- | | |
|-------------------------------|---------------------------|
| a) Freiwasser: | Seeboden: |
| Übersee: Fischbach-Uttwil (F) | Profil Seemoos-Uttwil (S) |
| Langenargen-Arbon (L) | |
| Bregenzer Bucht (B) | |
| Überlinger See (Ü) | |
| Untersee: Zellersee (Z) | |
| Rheinsee (R) | |

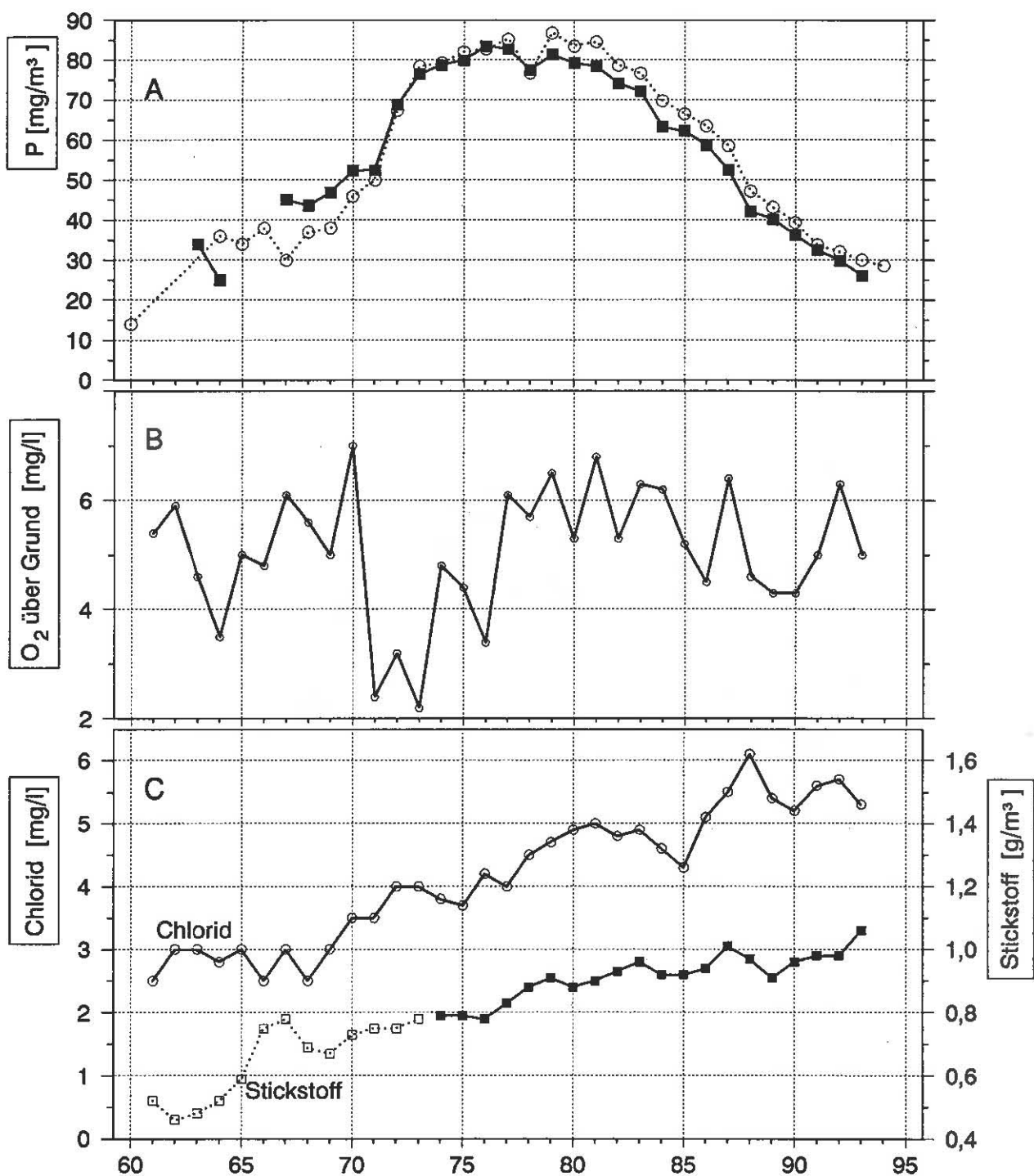


Abb. 2: Bodensee - Obersee, Fischbach-Uttwil:

Langfristige Entwicklung der Phosphor-, Sauerstoff-, Stickstoff- und Chloridkonzentration.

A ■ — ■ : Gesamtphosphor im Rohwasser, volumengewichtetes Jahresmittel
 ○ ··· · ○ : Gesamtphosphor im Rohwasser, Konzentration während der Vollzirkulation

B Sauerstoffkonzentration, Minimalwerte 1 m über Grund

C Chlorid, volumengewichtetes Jahresmittel
 ■ — ■ : Stickstoff aus $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{NH}_4^+$, volumengewicht. Jahresmittel
 □ ··· · □ : Stickstoff nur aus NO_3^- , volumengewichtetes Jahresmittel

Abb. 3 Bodensee-Obersee, Fischbach-Uttwil:
Langfristige Entwicklung des Phytoplanktons
Biomassen in g/m² (0-20m Tiefe), Jahresmittel

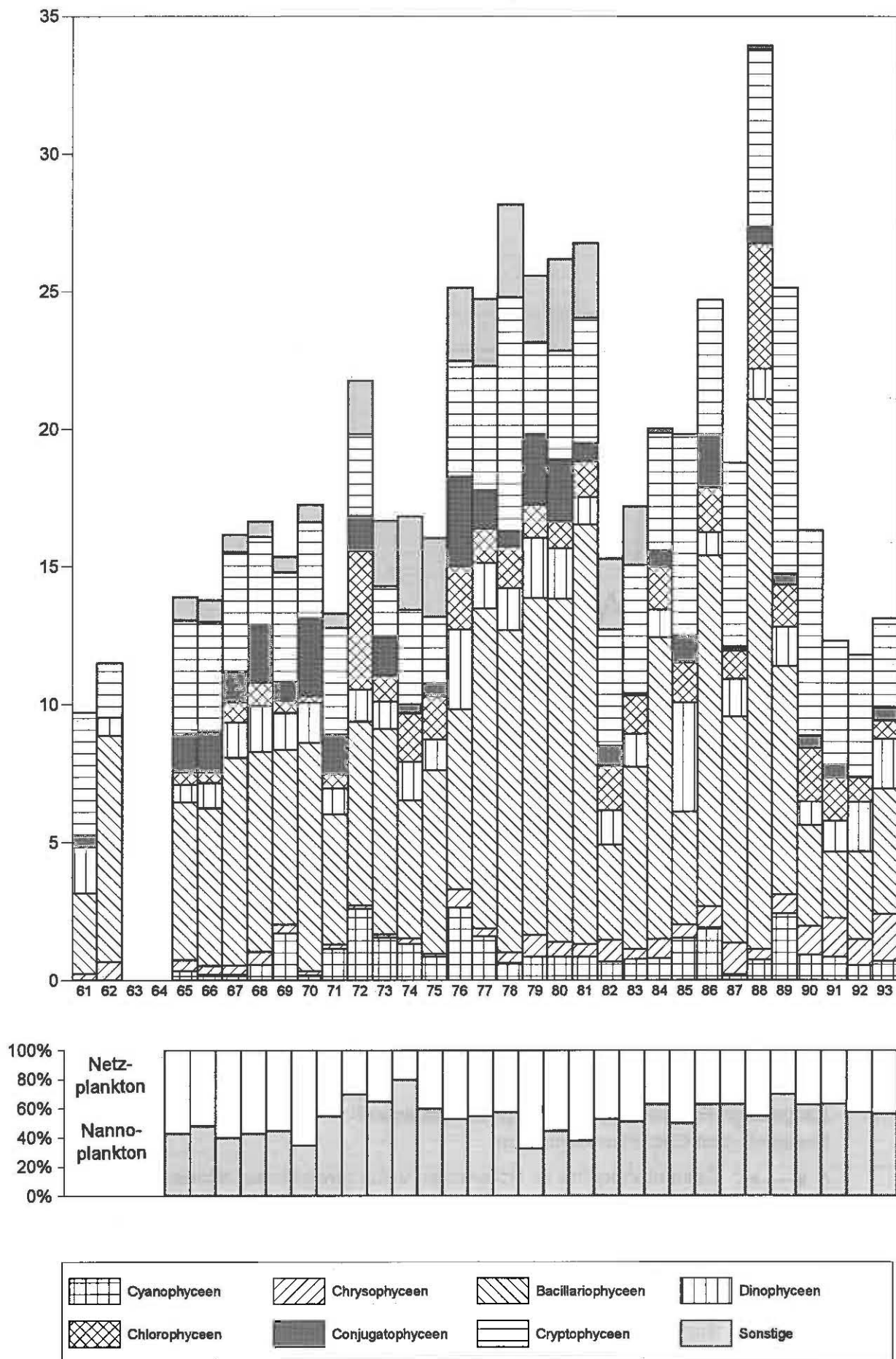


Abb. 4 Bodensee-Obersee, Fischbach-Uttwil:
Langfristige Entwicklung des Crustaceenplanktons,
Tiere/m², Jahresmittelwerte

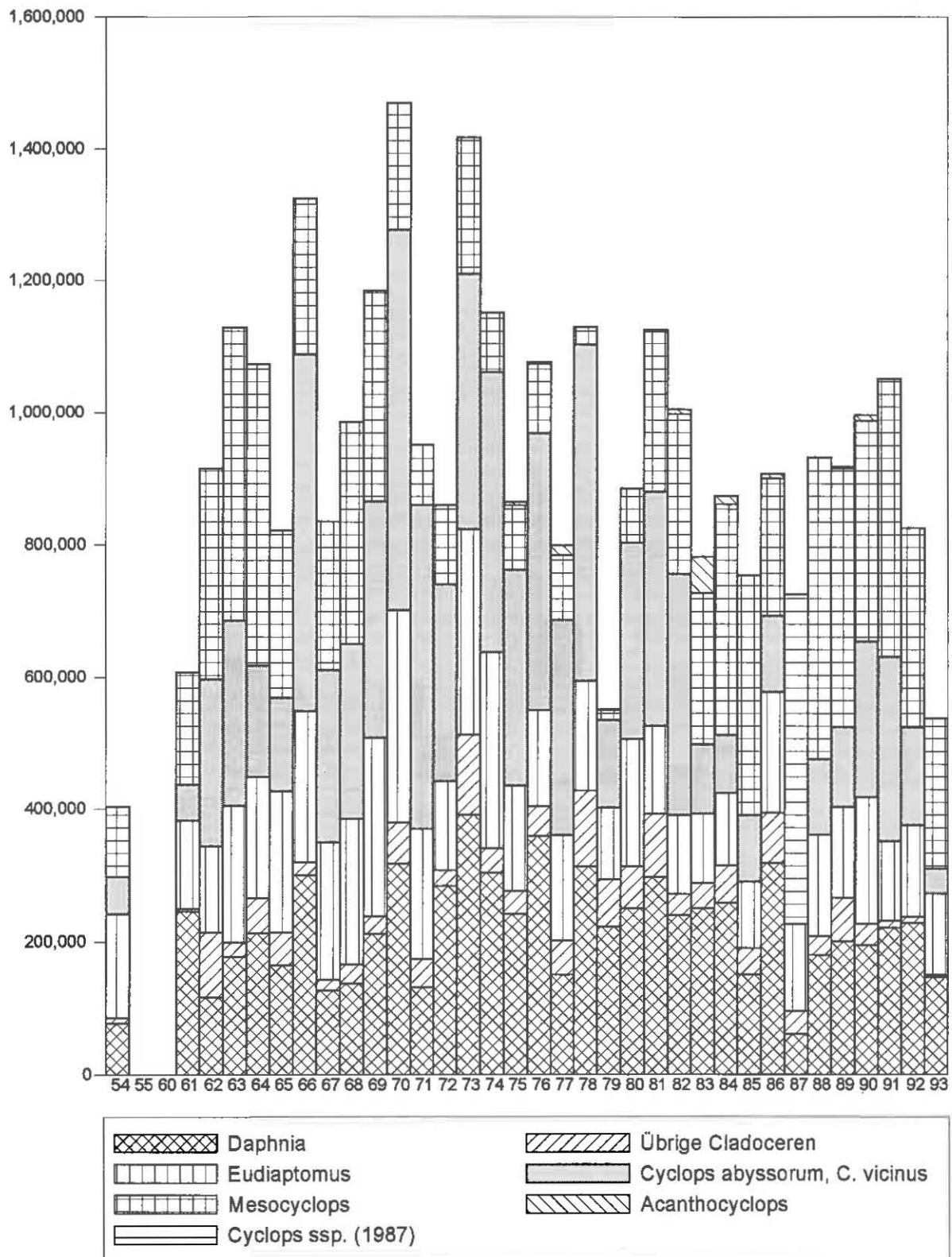
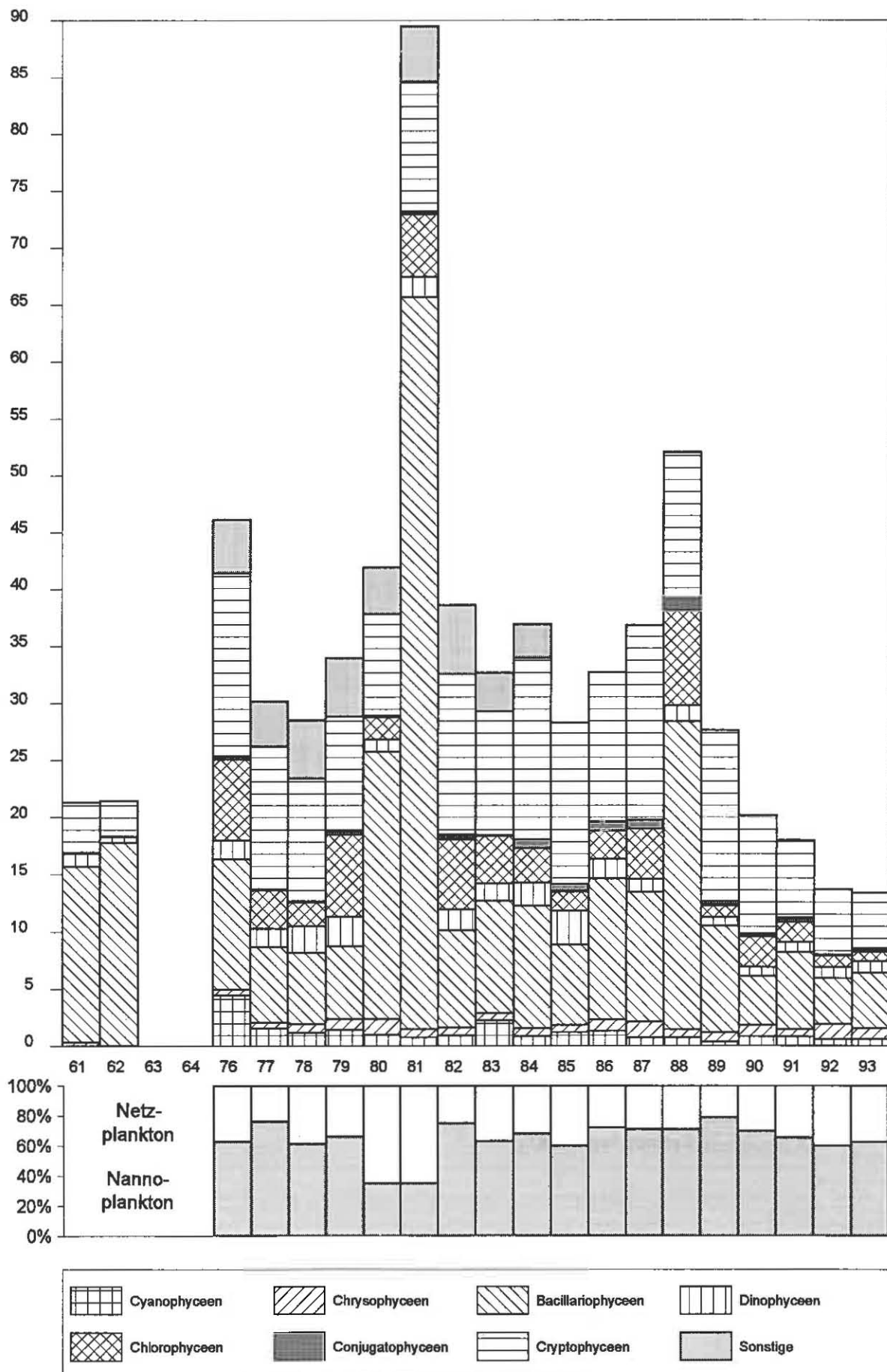


Abb. 5 Bodensee-Untersee, Zellersee:
Langfristige Entwicklung des Phytoplanktons
Biomassen in g/m² (0-20m Tiefe), Jahresmittel



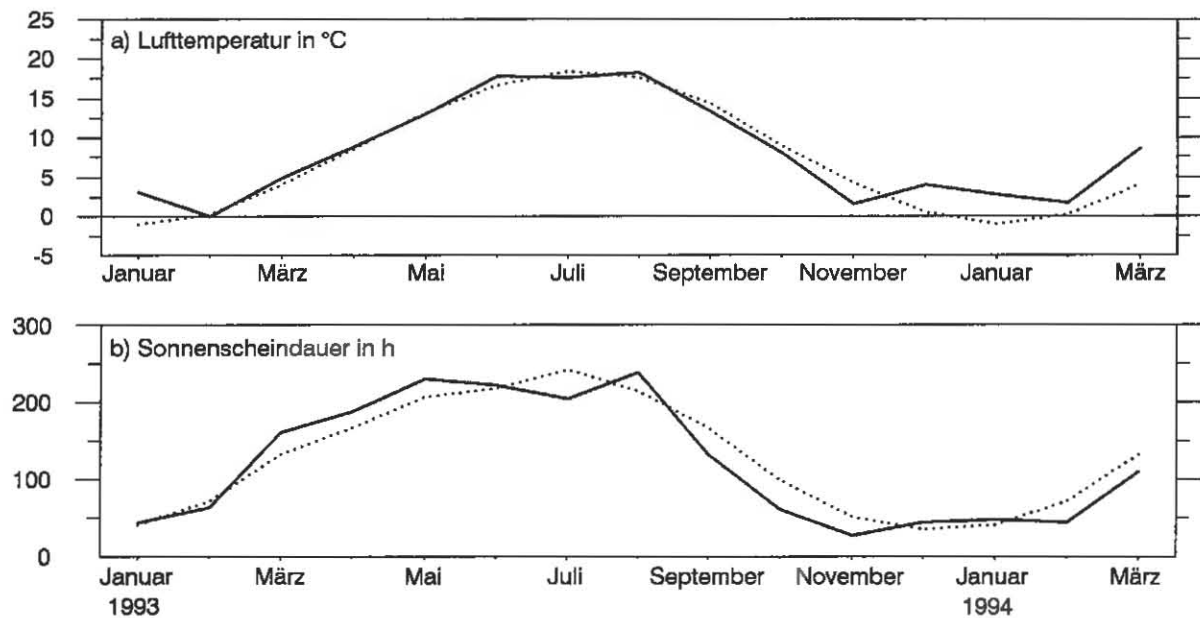


Abb. 6: Bodensee – Obersee:
 Monatliche Klimadaten der Wetterwarte Konstanz*)
 a. — Monatsmitteltemperatur
 langjährige Monatsmitteltemperatur (1931–1960)
 b. — monatliche Sonnenscheindauer in h
 langjährige monatliche Sonnenscheindauer in h (1951–1970)
 *) Die Wetterstation Friedrichshafen wurde aufgelöst

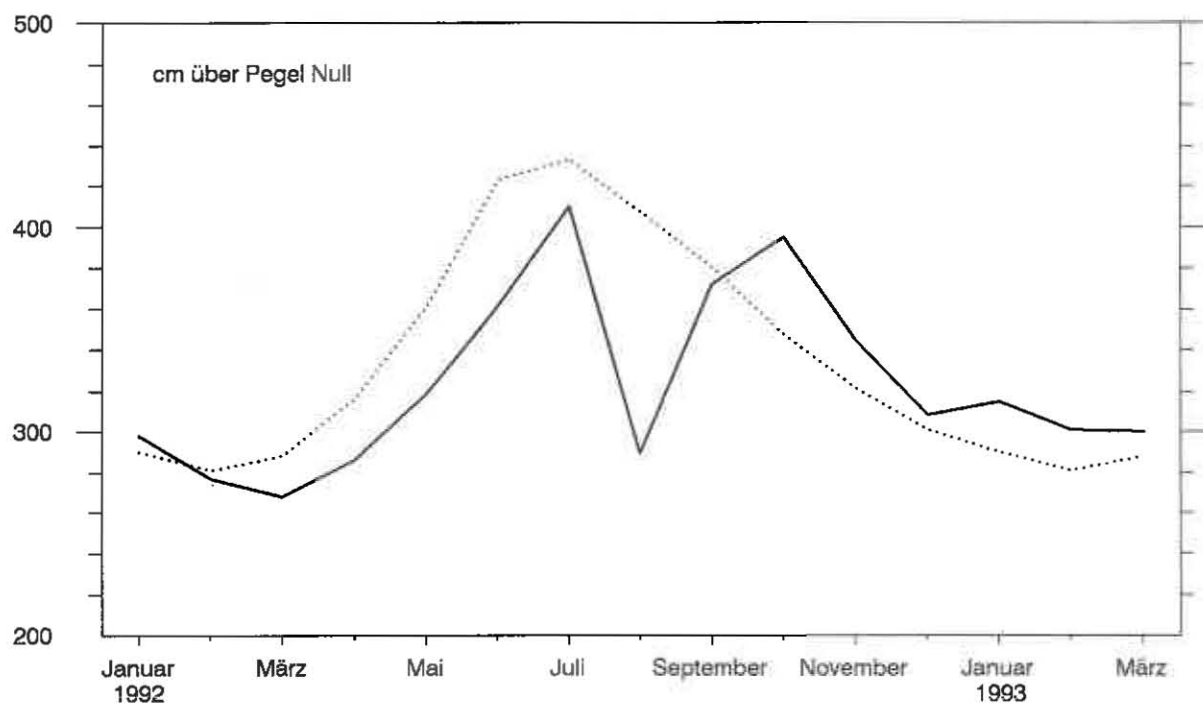


Abb. 7: Bodensee – Obersee:
 Wasserstand am Pegel Konstanz
 — mittlerer monatlicher Wasserstand
 langjähriger monatlicher Wasserstand (1877–1964)

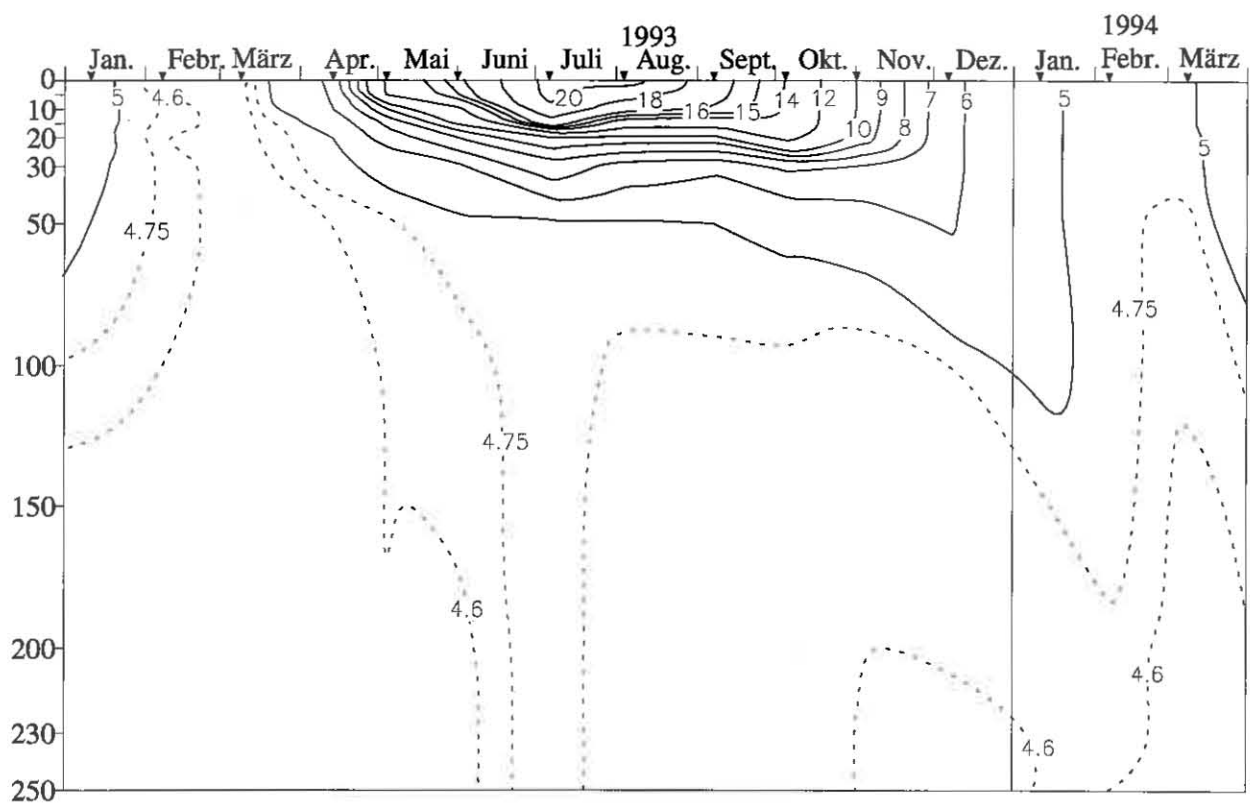


Abb. 8: Bodensee – Obersee, Fischbach-Uttwil:
Temperatur °C

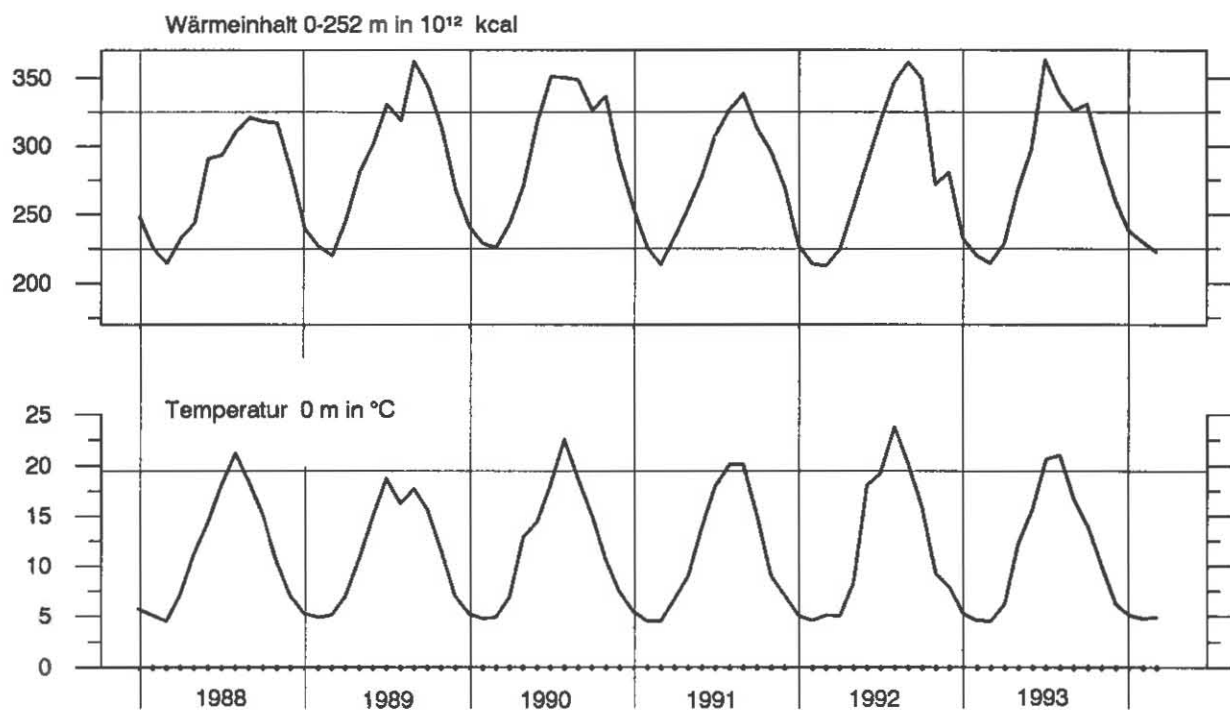


Abb. 9: Bodensee – Obersee:
Thermik

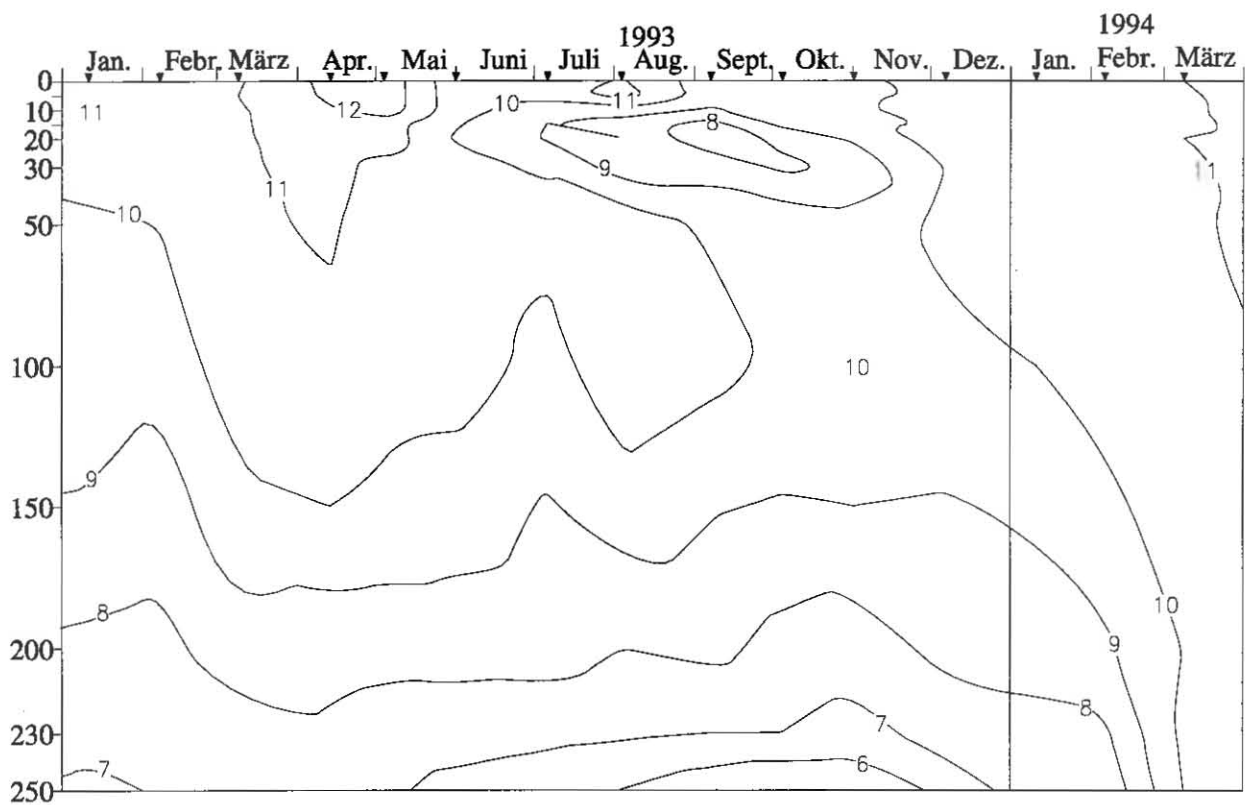


Abb. 10: Bodensee – Obersee, Fischbach-Uttwil:
Sauerstoff (mg/l)

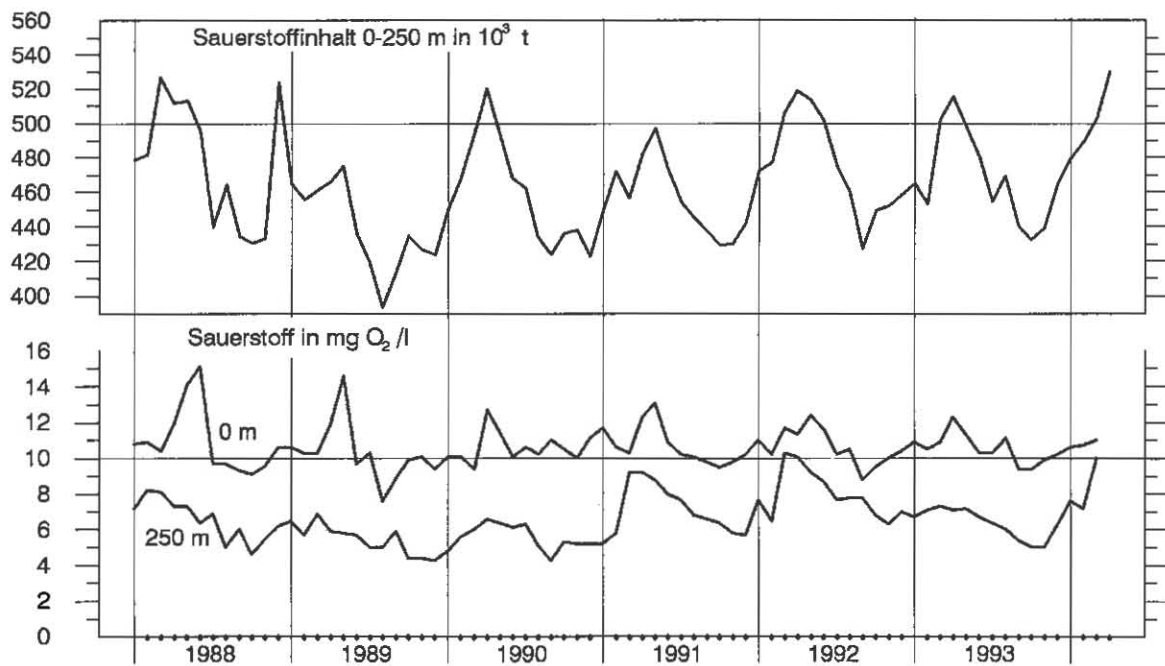


Abb. 11.: Bodensee – Obersee:
Sauerstoffinhalt 0–252 m und Sauerstoffkonzentration in 0 und 250 m Tiefe

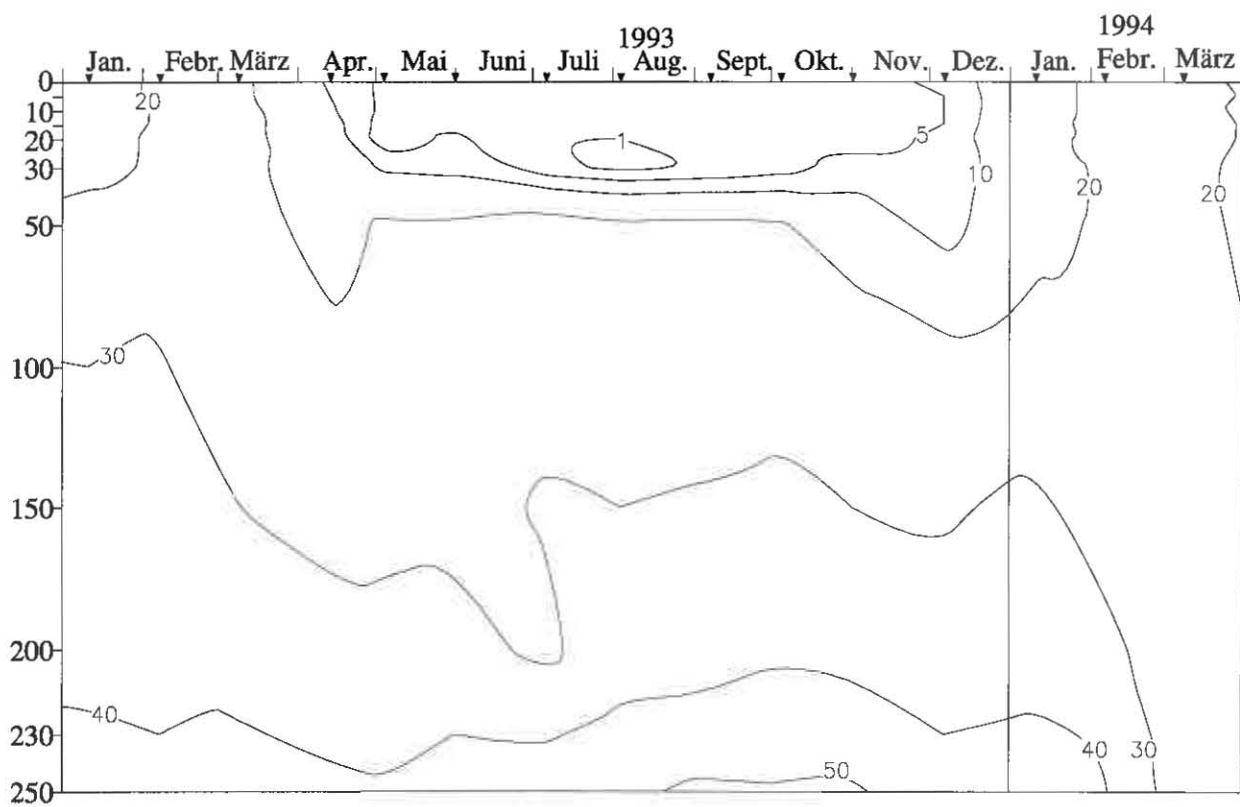


Abb. 12: Bodensee – Obersee, Fischbach-Uttwil:
Orthophosphat – Phosphor (mg/m³)

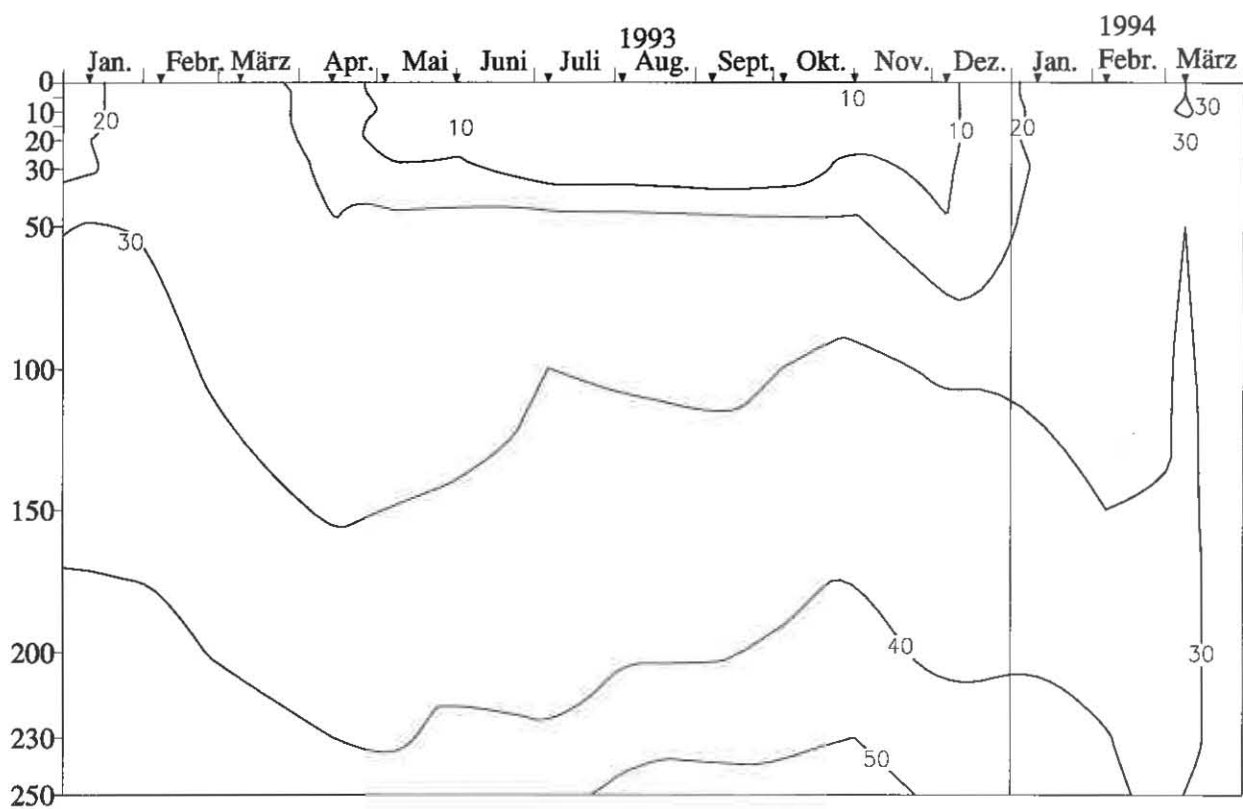


Abb. 13: Bodensee – Obersee, Fischbach-Uttwil:
Gesamter gelöster Phosphor (mg/m³)

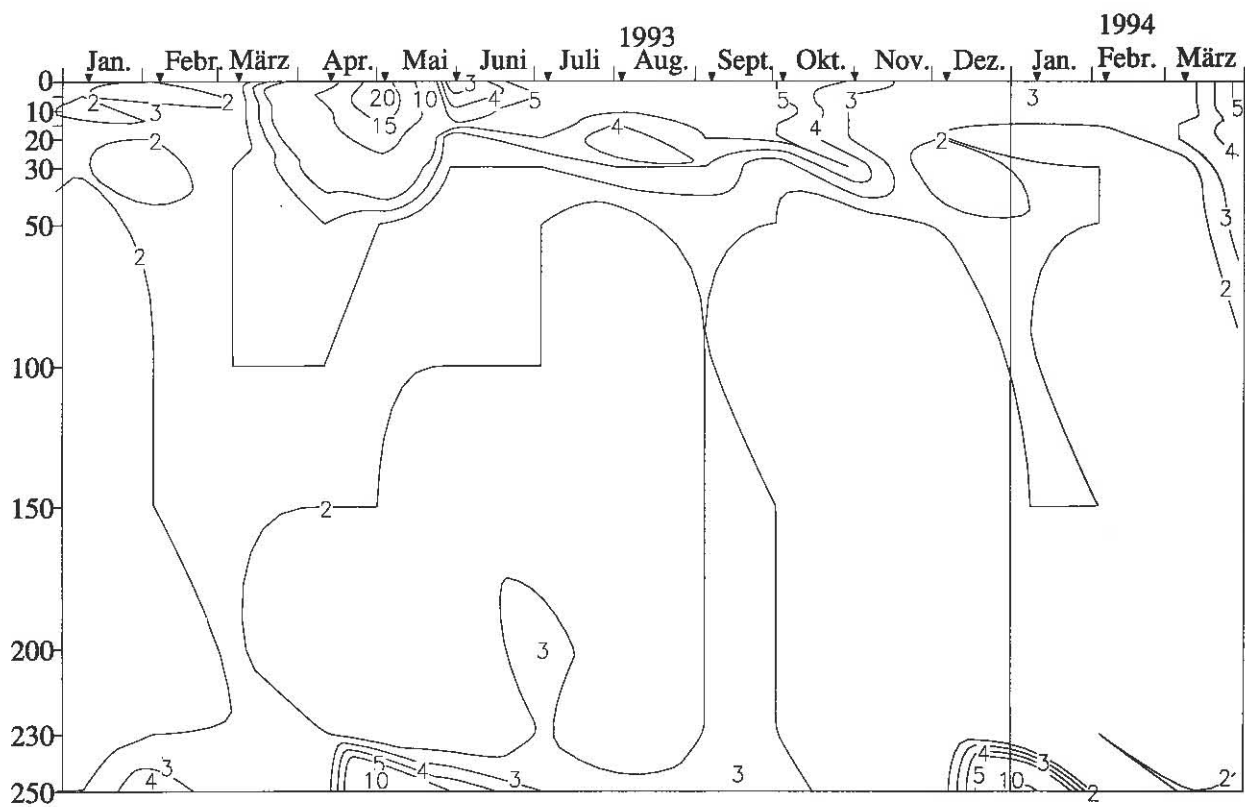


Abb. 14: Bodensee – Obersee, Fischbach-Uttwil:
Partikulärer Phosphor (mg/m^3)

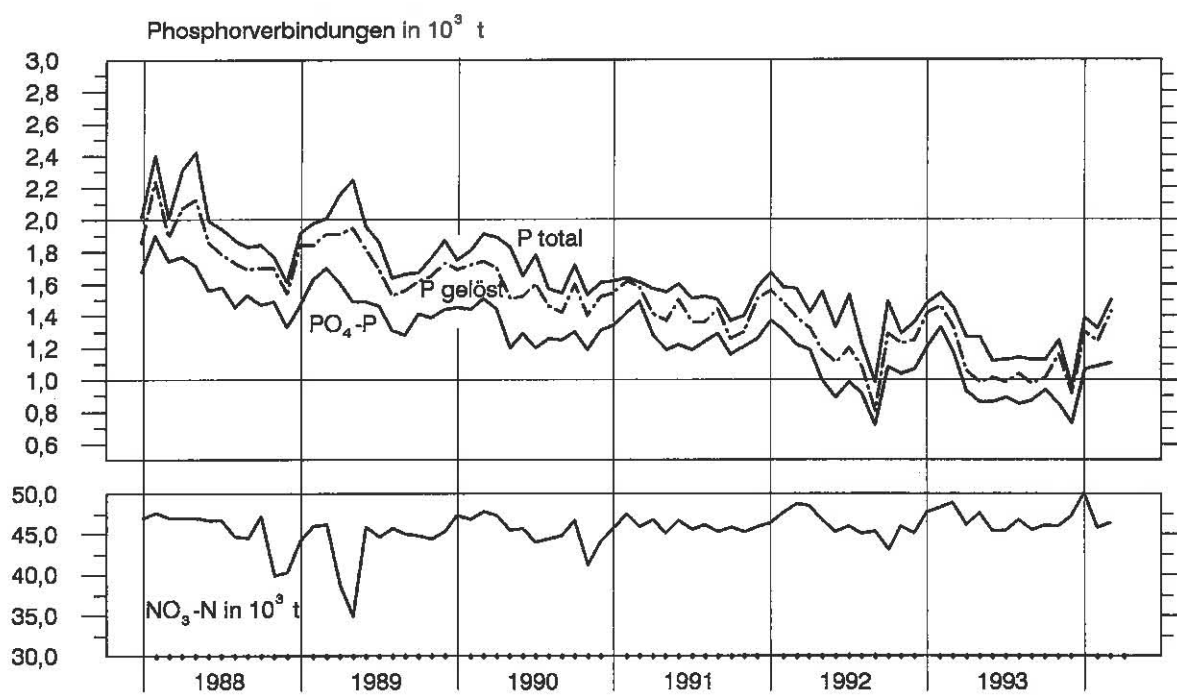


Abb. 15: Bodensee – Obersee:
Nährstoffinhalt (P, $\text{NO}_3\text{-N}$) 0–250 m Tiefe

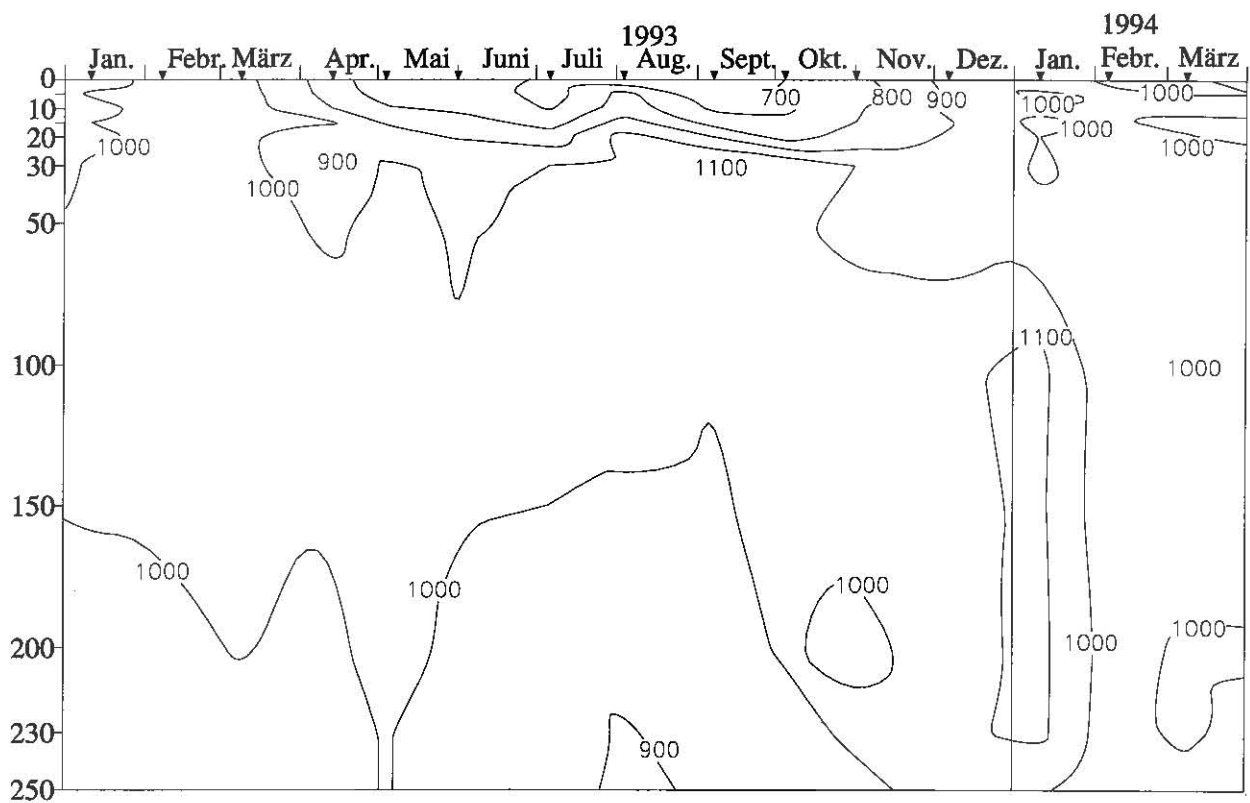


Abb. 16: Bodensee – Obersee, Fischbach-Uttwil:
Nitrat – Stickstoff (mg/m^3)

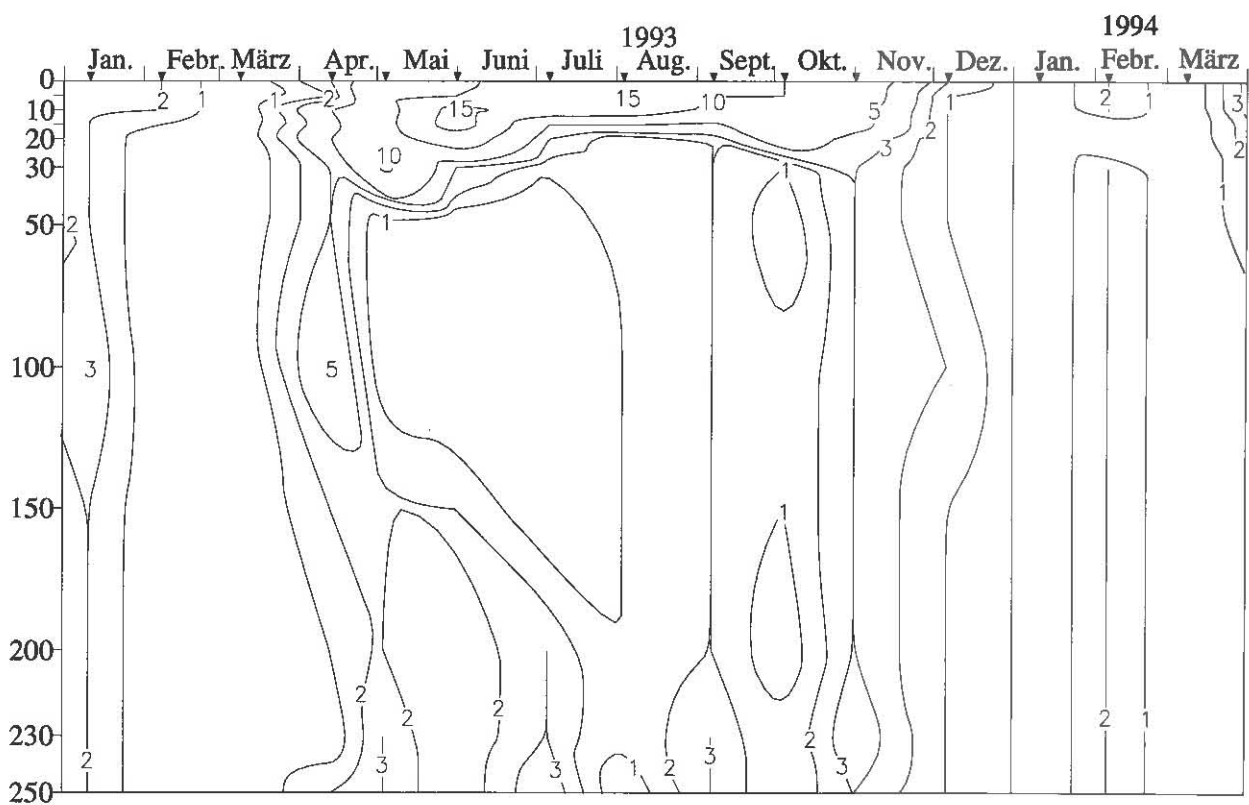


Abb. 17: Bodensee – Obersee, Fischbach-Uttwil:
Nitrit – Stickstoff (mg/m^3)

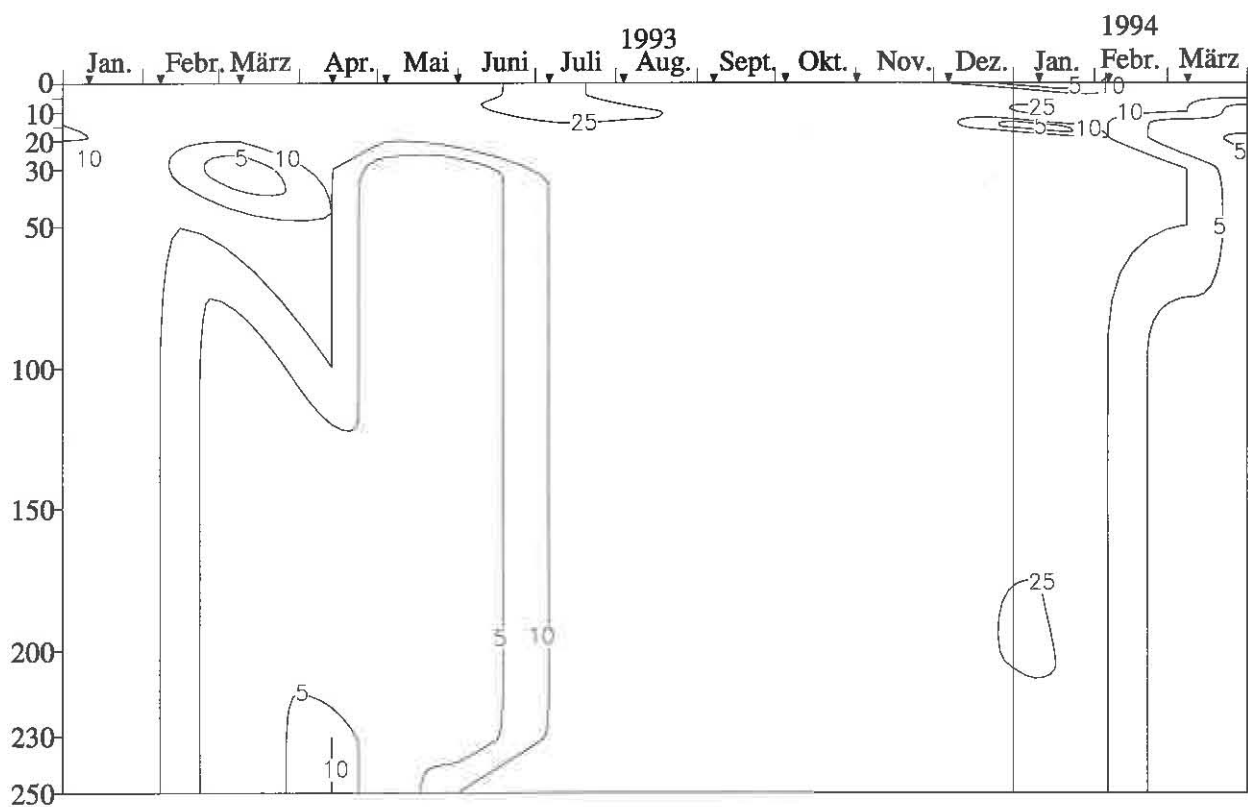


Abb. 18: Bodensee – Obersee, Fischbach-Uttwil:
Ammonium – Stickstoff (mg/m^3)

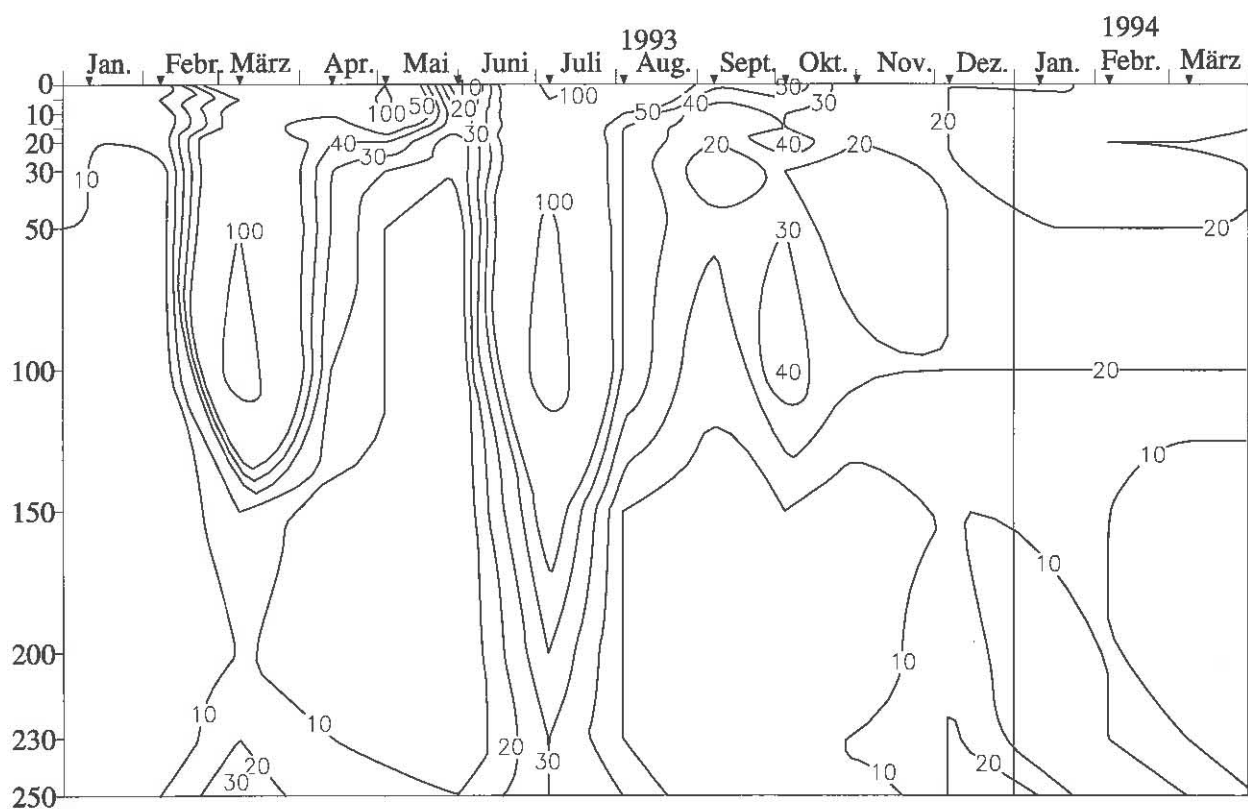


Abb. 19: Bodensee – Obersee, Fischbach-Uttwil:
Partikulärer Stickstoff (mg/m^3)

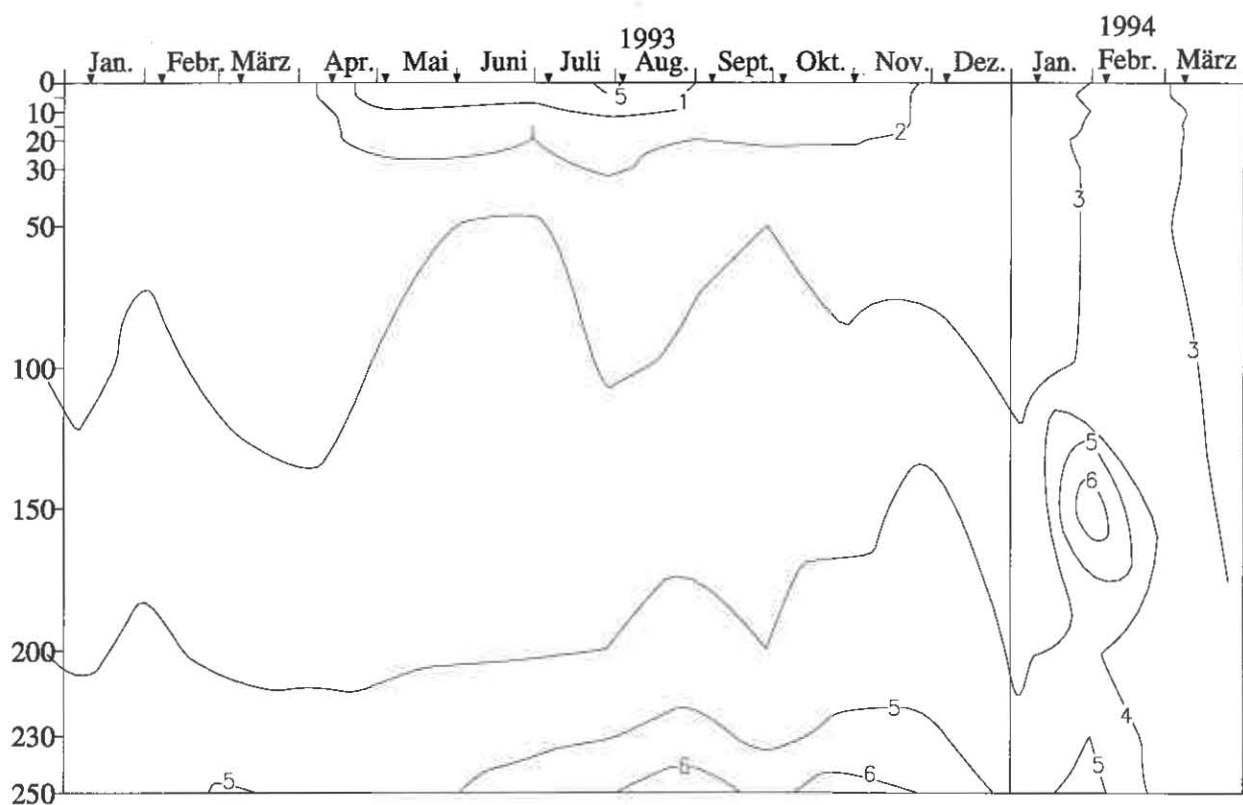


Abb. 20: Bodensee – Obersee, Fischbach-Uttwil:
Silikat (mg/l)

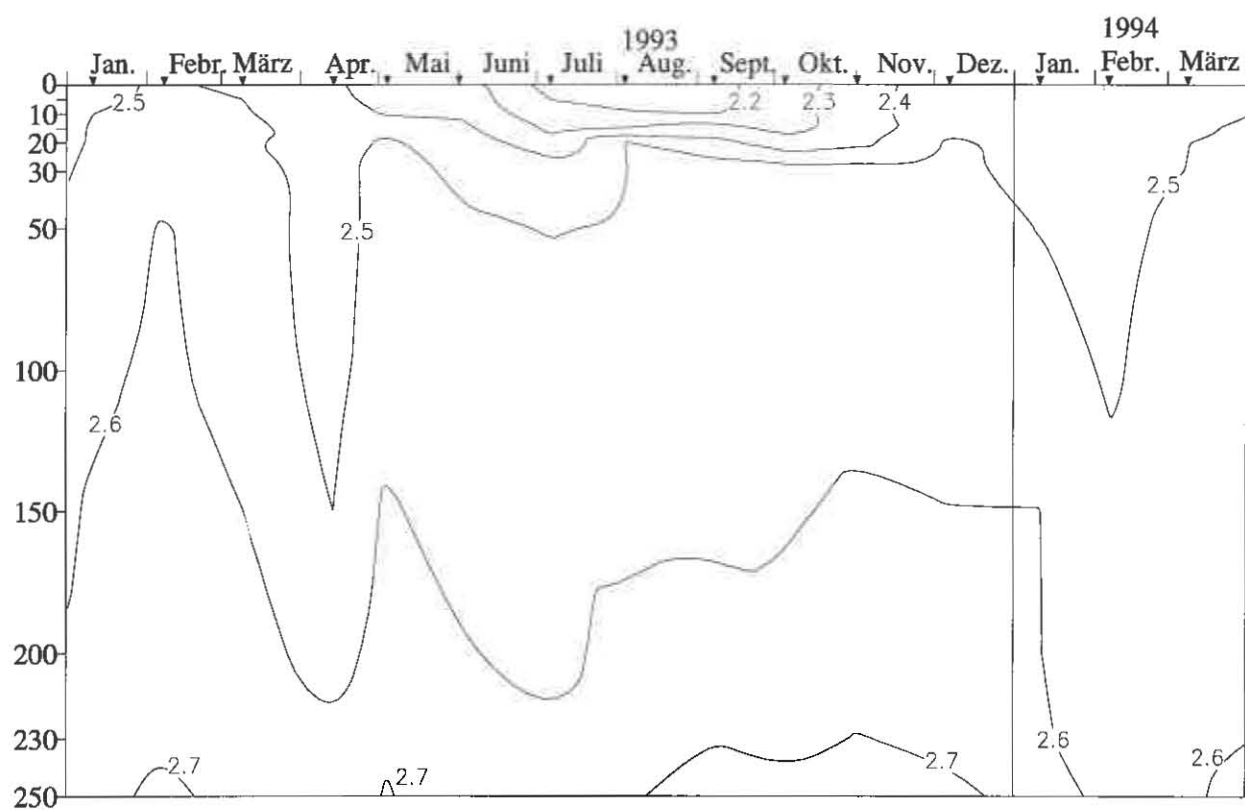


Abb. 21: Bodensee – Obersee, Fischbach-Uttwil:
Anorganischer Kohlenstoff (mmol/l)

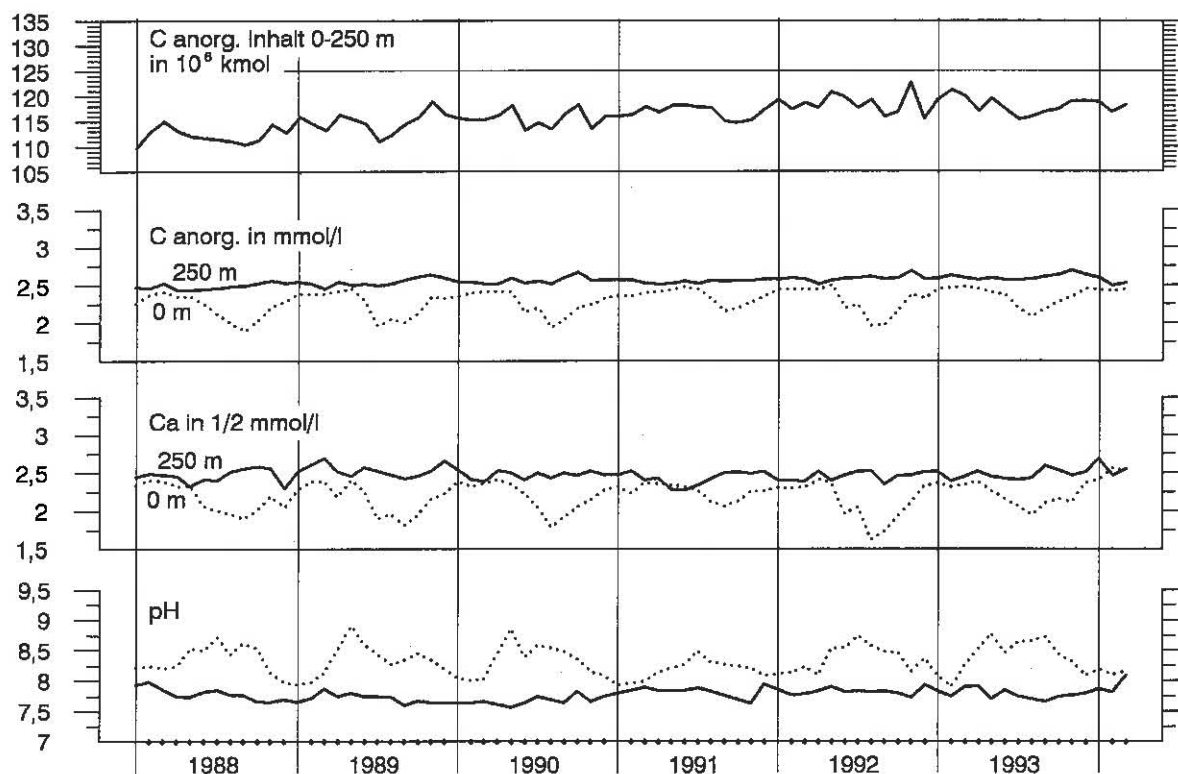


Abb. 22: Bodensee – Obersee:
Anorganischer Kohlenstoff, Inhalt 0–252 m Tiefe
Konzentrationen von anorg. Kohlenstoff, Calcium; pH-Wert

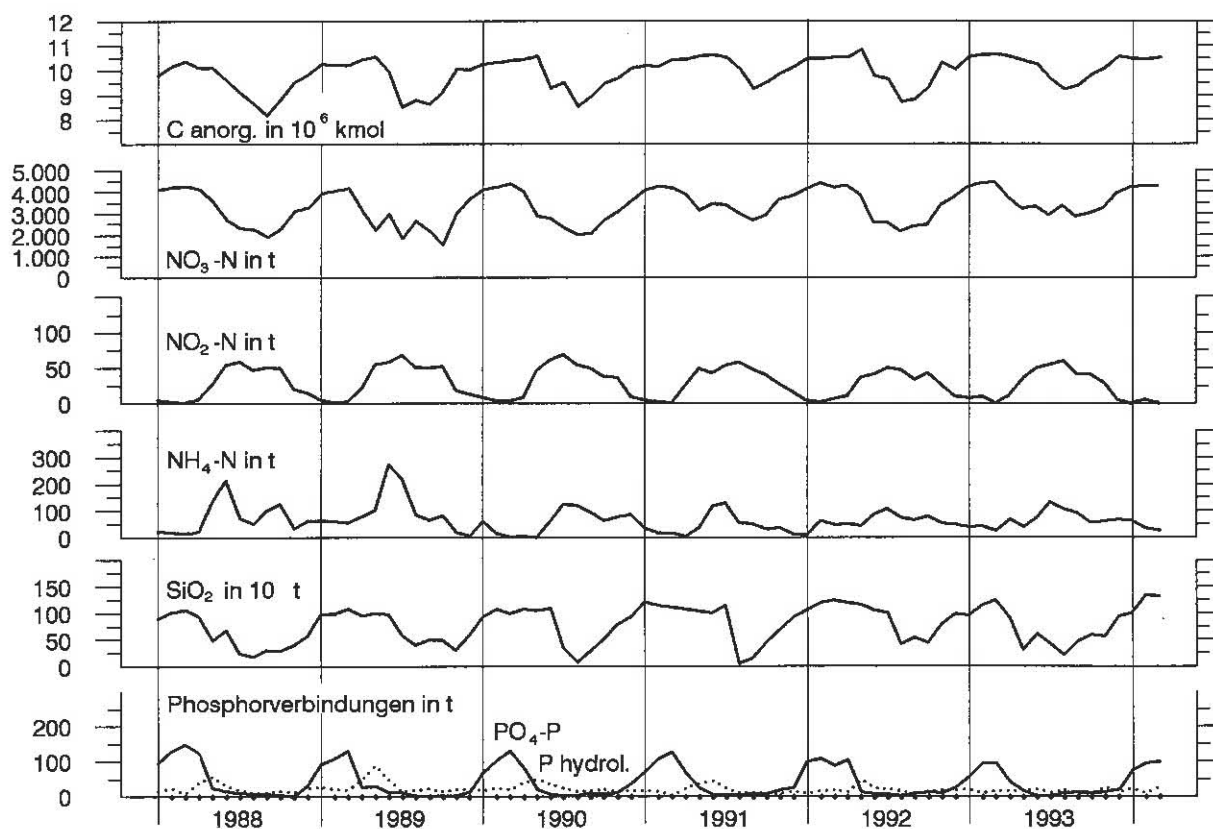


Abb. 23: Bodensee – Obersee:
Nährstoffinhalt (Phosphor, Stickstoff, Silikat,
anorg. Kohlenstoff) im Epilimnion 0–10 m Tiefe

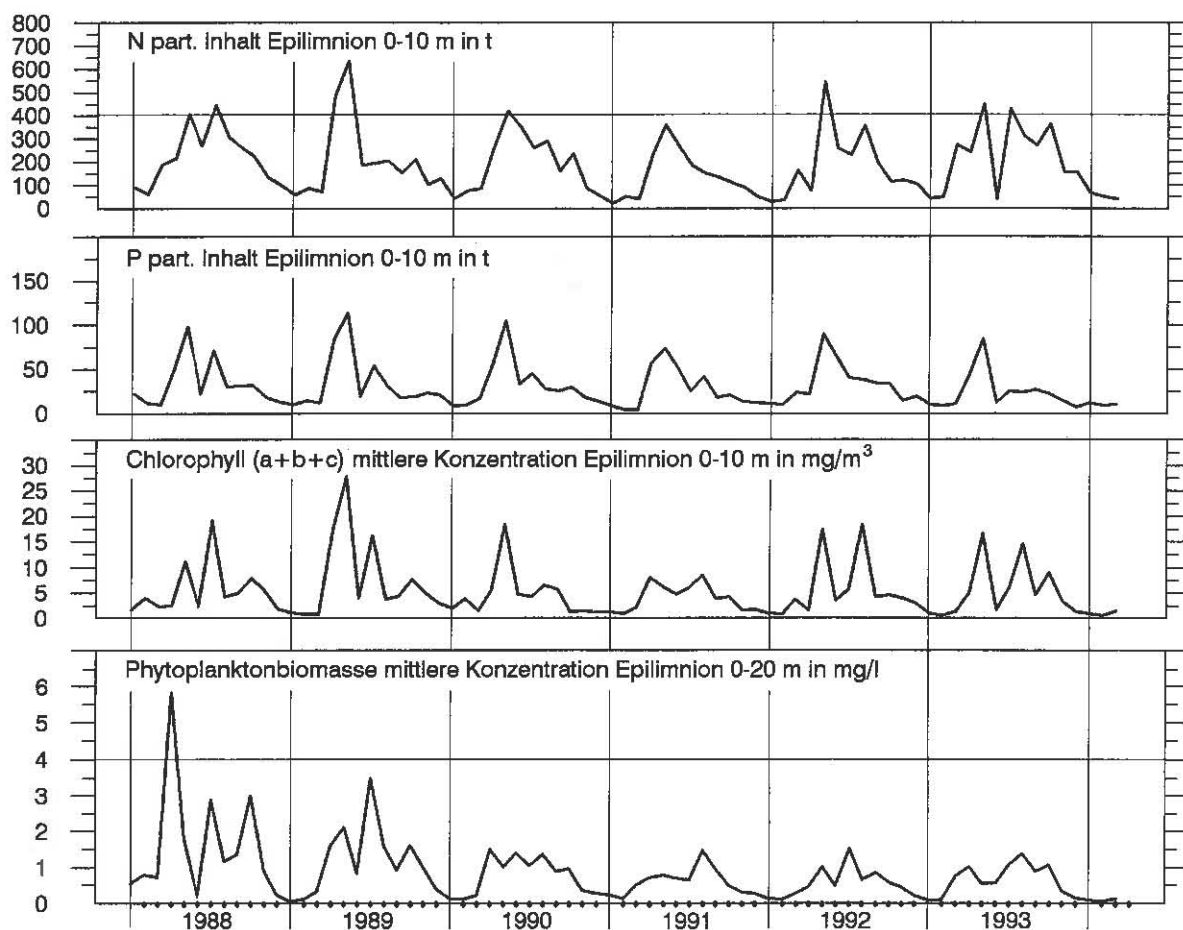


Abb. 24: Bodensee – Obersee:
Chemische Biomasseindikatoren und Phytoplanktonbiomasse

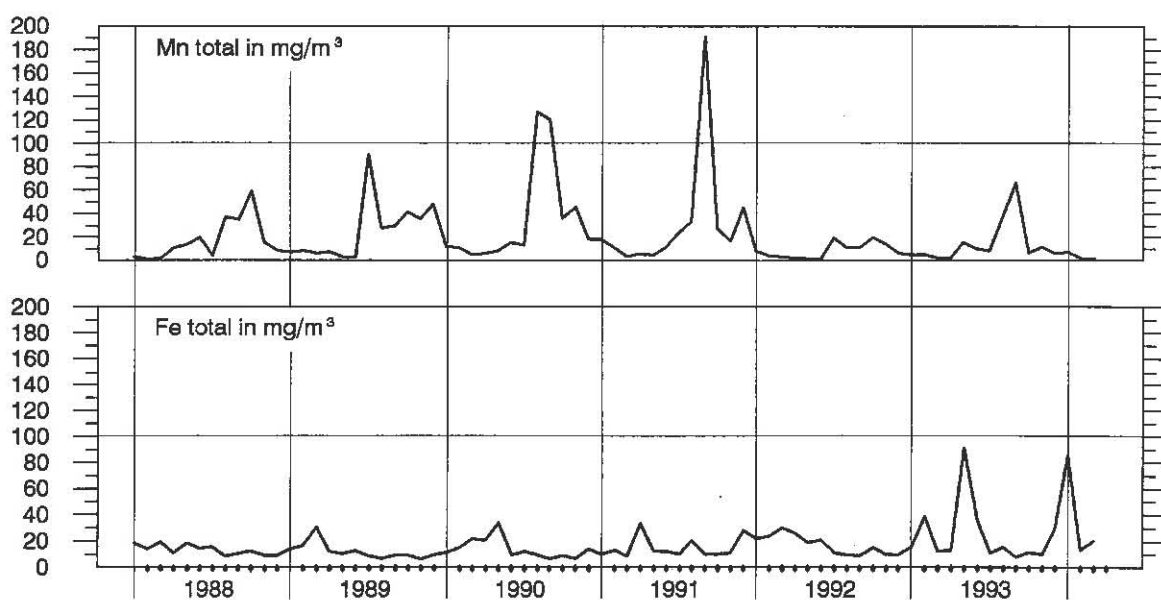


Abb. 25: Bodensee – Obersee, Fischbach-Uttwil:
Konzentrationen von Eisen total und Mangan total in 250 m Tiefe

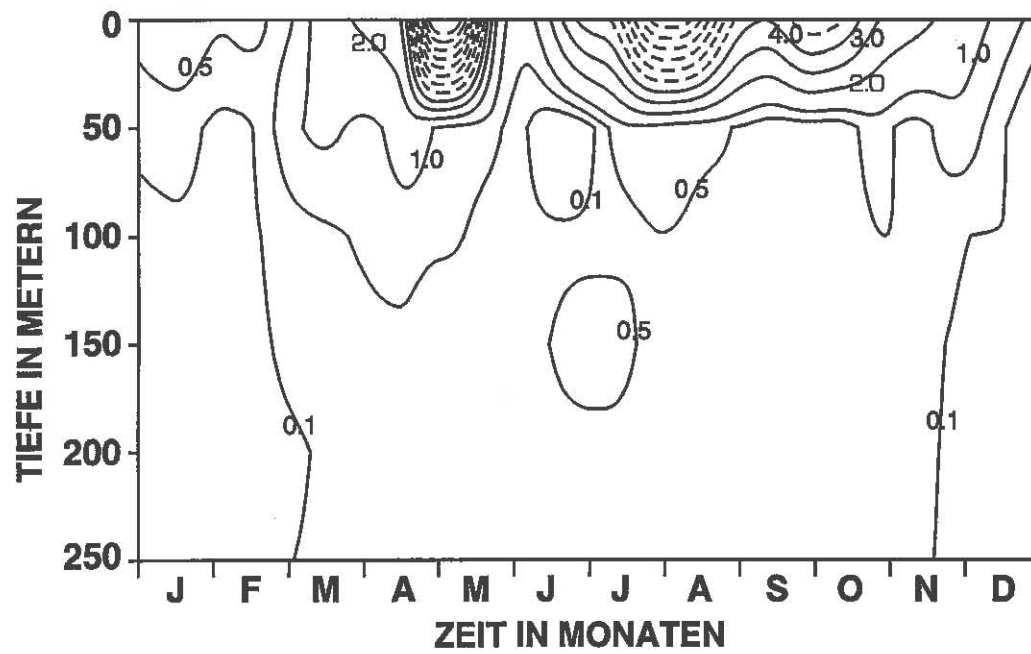


Abb. 26: Bodensee – Obersee, Fischbach-Uttwil:
Chlorophyll a (mg/m³)

Abb. 27 Bodensee-Obersee, Fischbach-Uttwil:
Entwicklung des Phytoplanktons
Biomassen in g/m² (0-20m Tiefe), Monatsmittel 1993/94

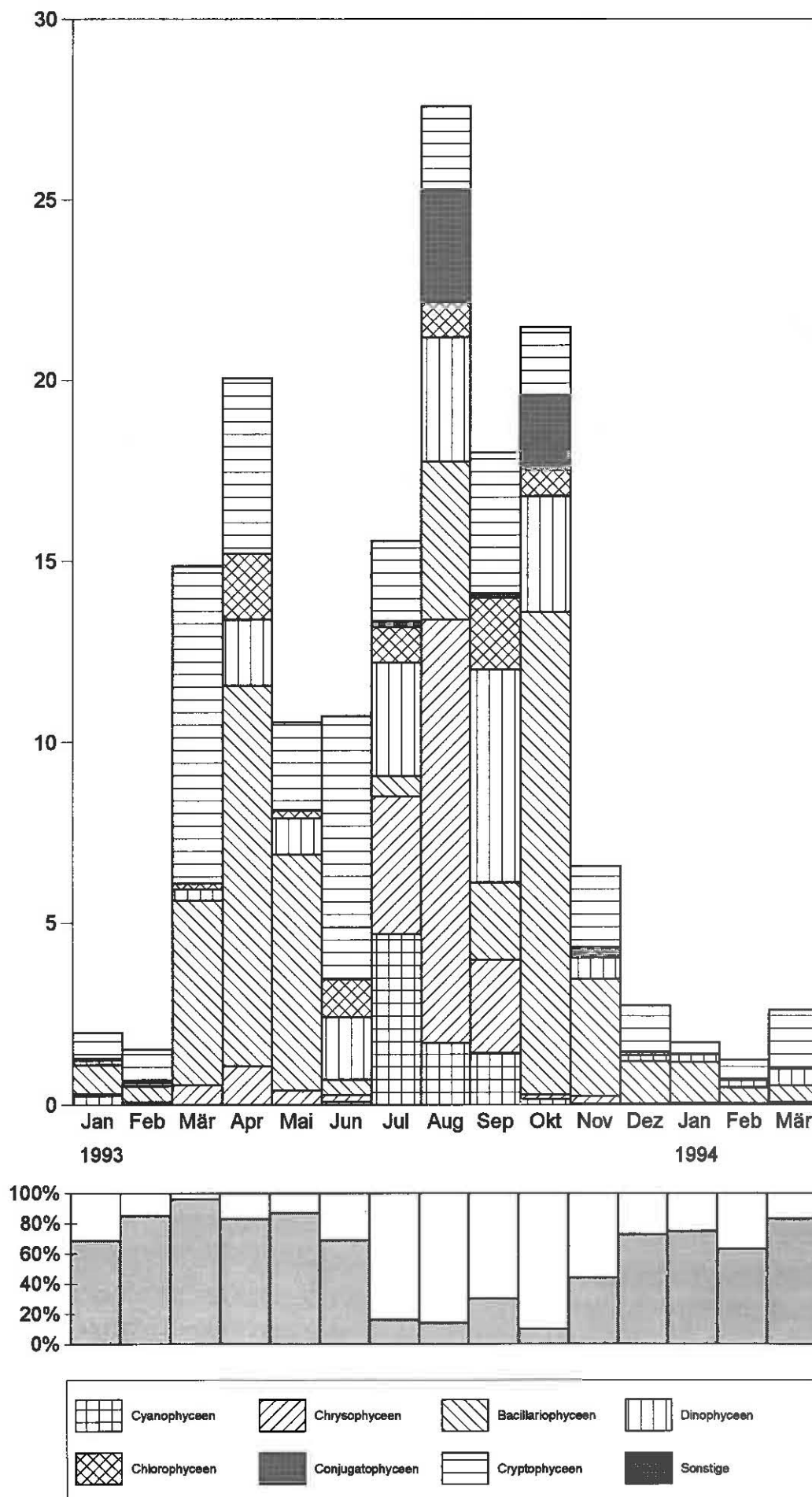


Abb. 28 Bodensee-Obersee, Fischbach-Uttwil:
Entwicklung des Phytoplanktons,
Biomassen der Hauptarten in g/m² (0-20m Tiefe), Monatsmittel 1993/94

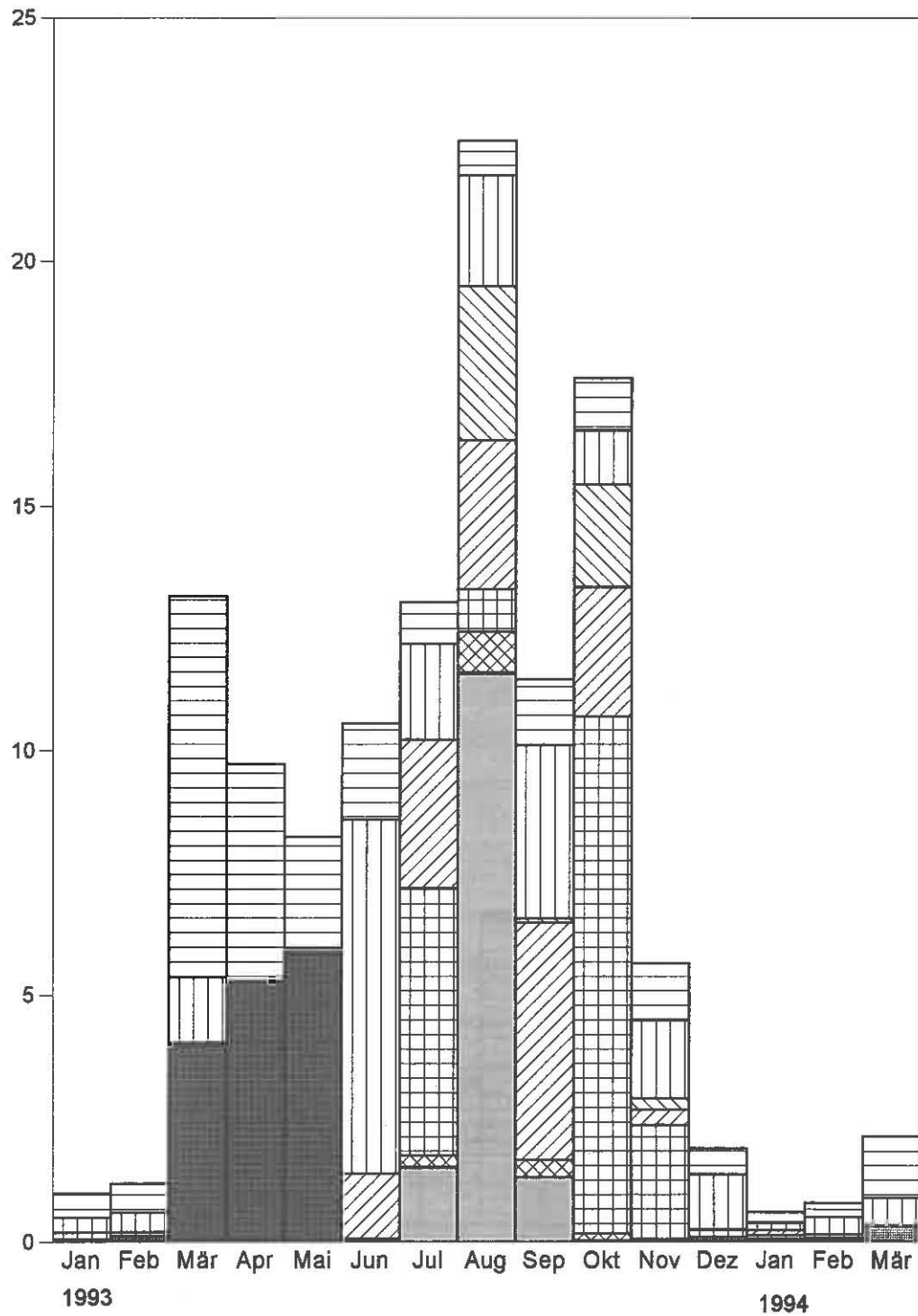


Abb. 29 Bodensee-Obersee, Fischbach-Uttwil:
Entwicklung der Cladoceren
Tiere je m², Monatsmittel 1993/94

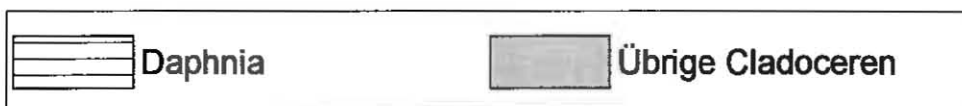
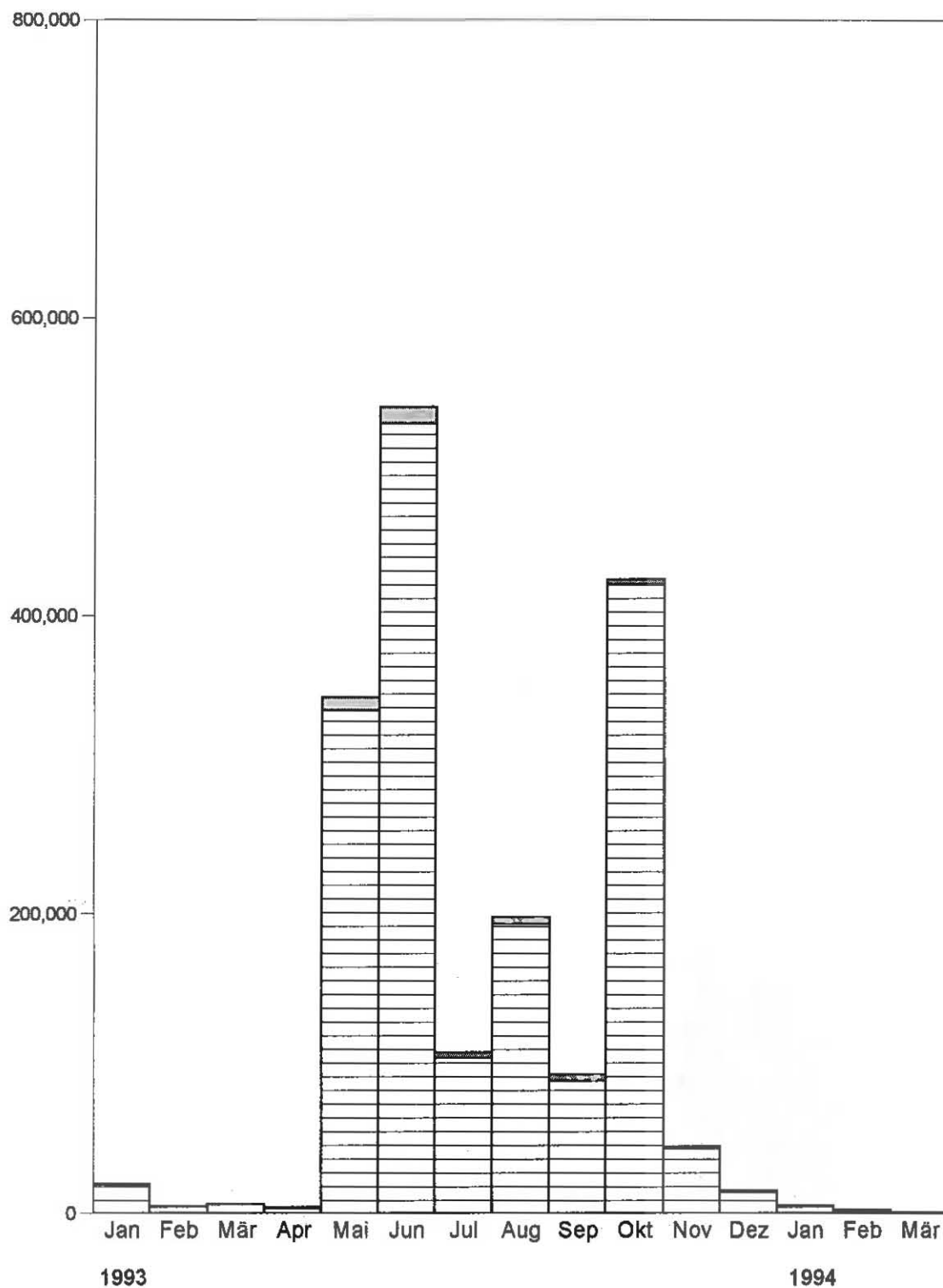
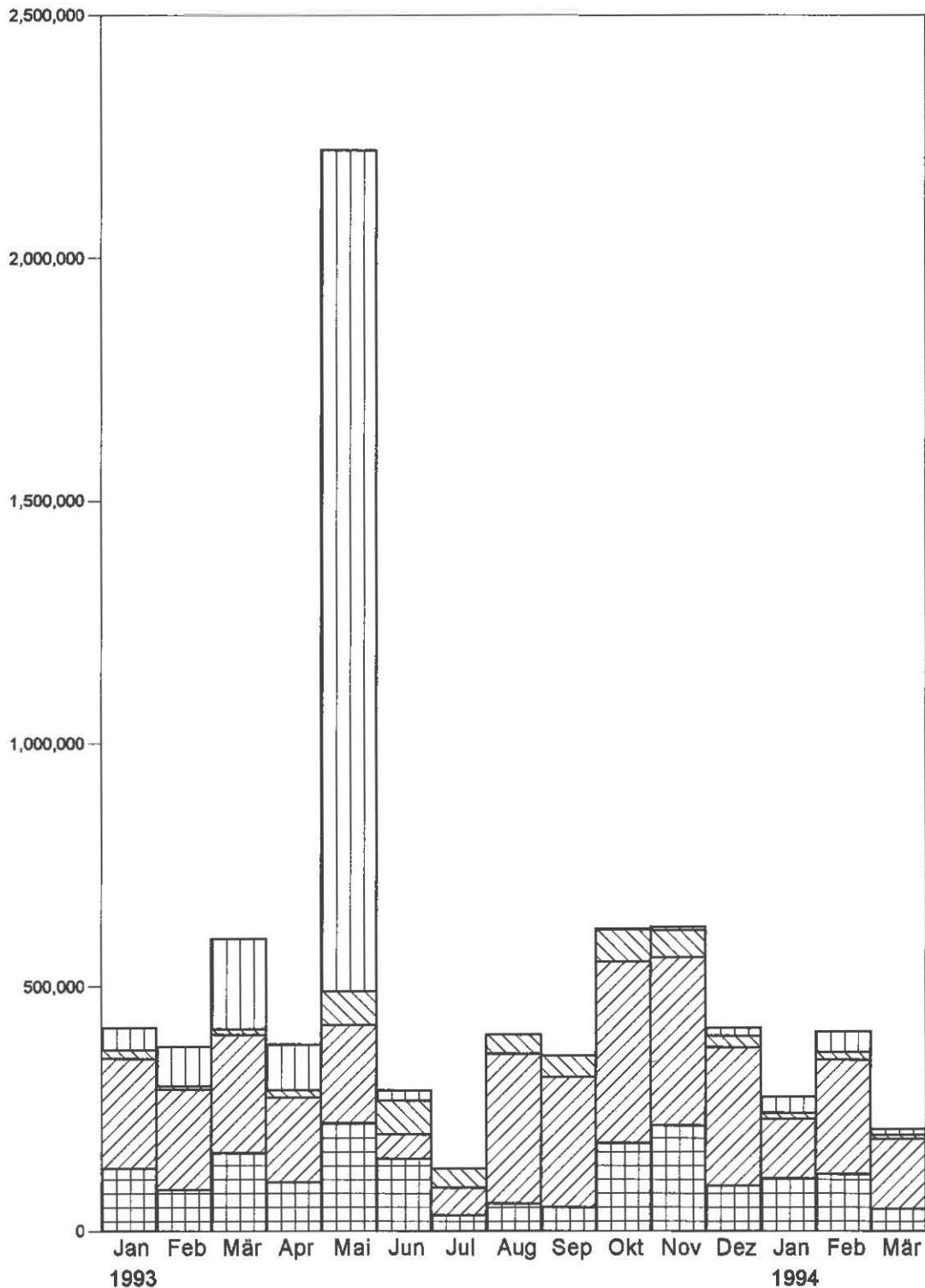


Abb. 30 Bodensee-Obersee, Fischbach-Uttwil:
Entwicklung der Copepoden, adulte Tiere und Copepodite,
Tiere/m², Monatsmittel 1993/94



Eudiaptomus



Mesocyclops



Cyclops abyssorum



Cyclops vicinus



Acanthocyclops

**Abb. 31 Bodensee-Obersee, Fischbach-Uttwil:
Entwicklung der herbivor lebenden Crustaceen,
Tiere/m², Monatsmittel 1993/94**

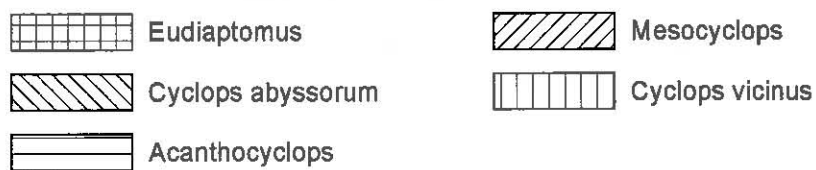
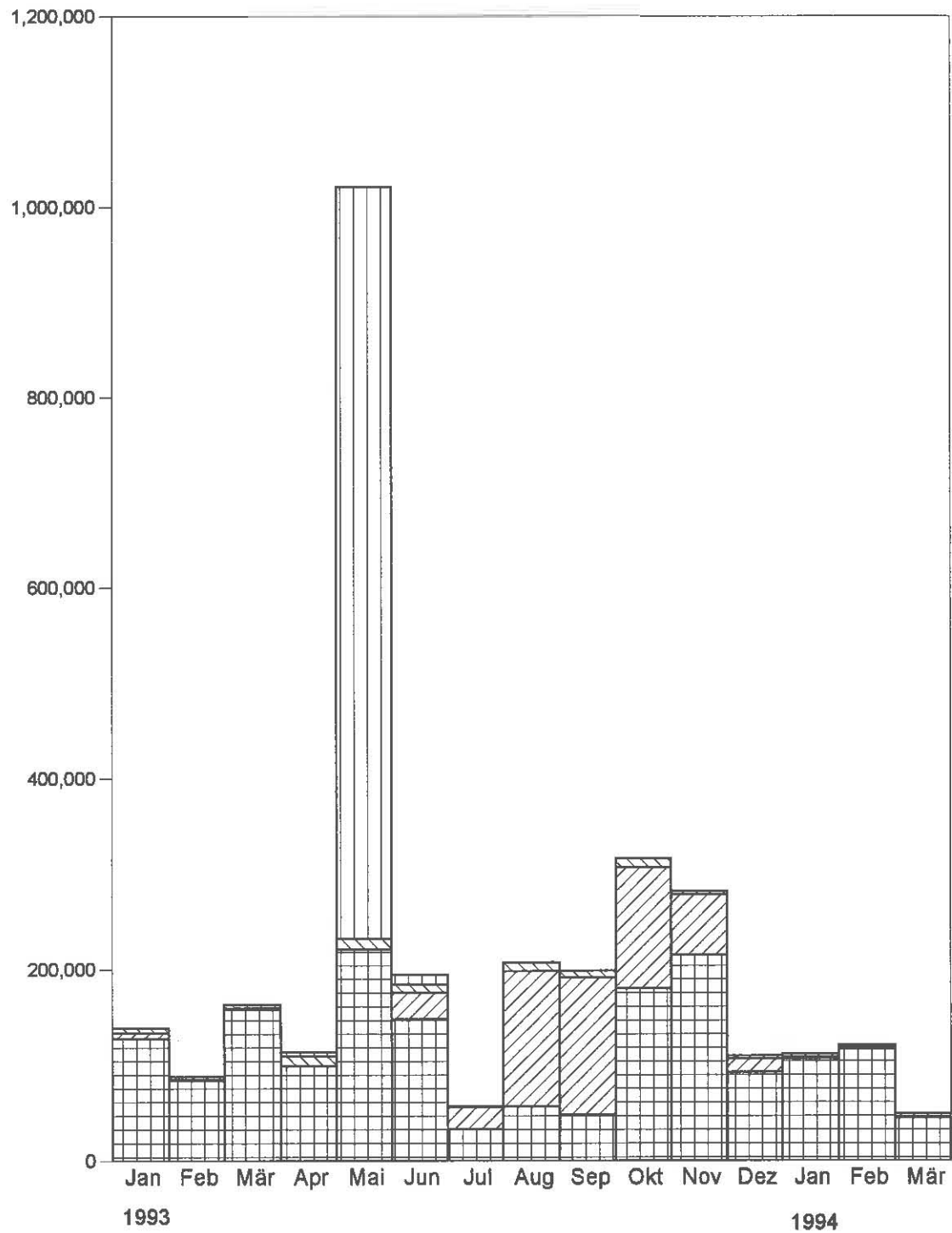
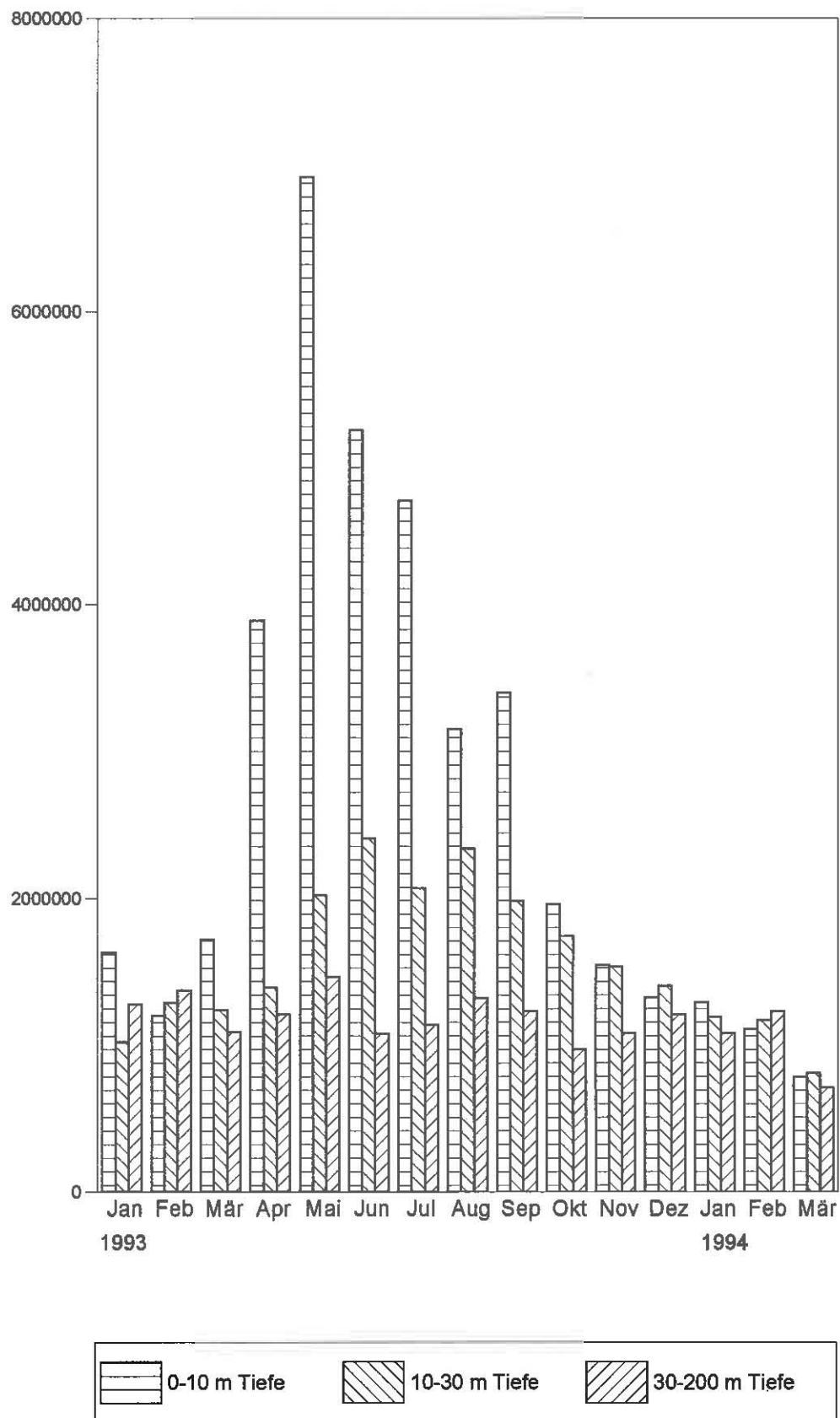


Abb. 32 Bodensee-Obersee, Langenargen-Arbon:
Entwicklung des Bakterienplanktons,
Gesamtkeimzahlen (Millionen Zellen/ml), Monatsmittel 1993/94



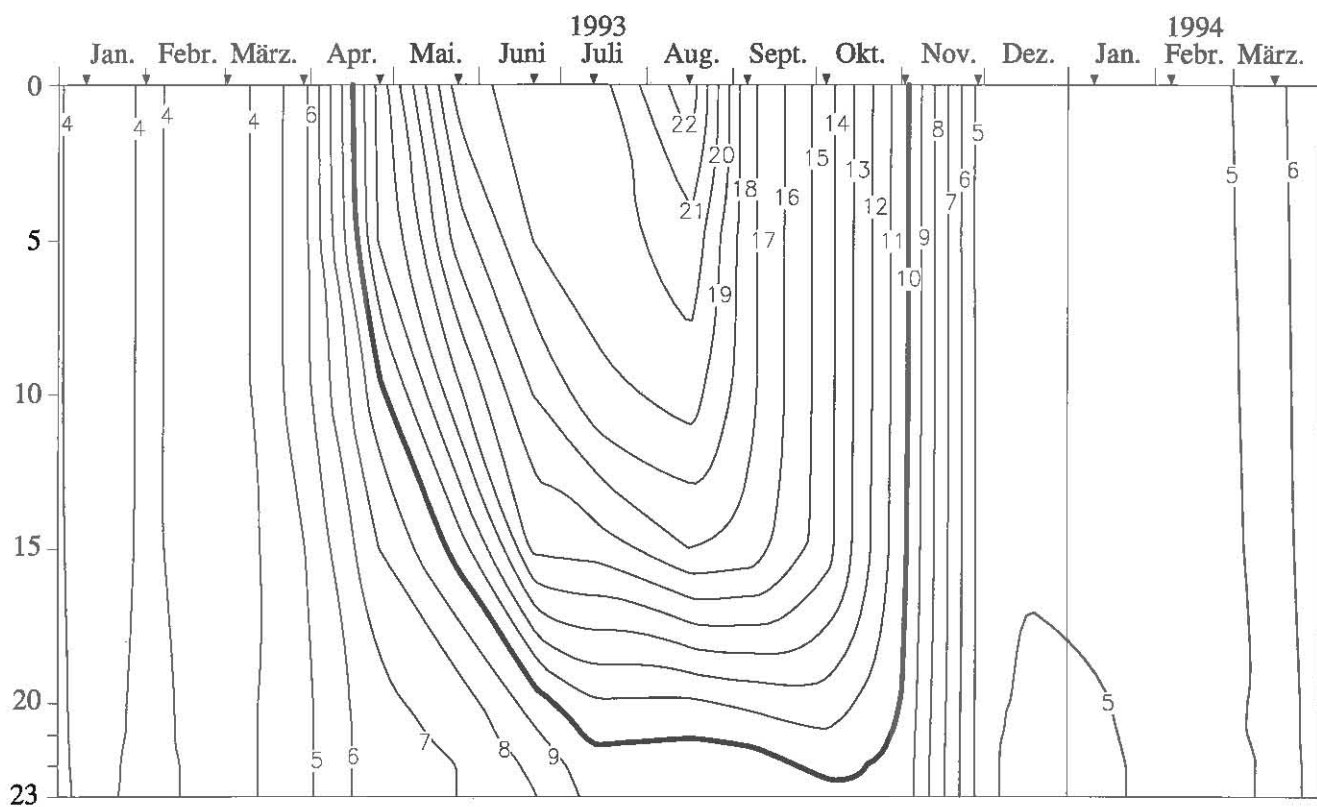


Abb. 33: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Temperatur °C

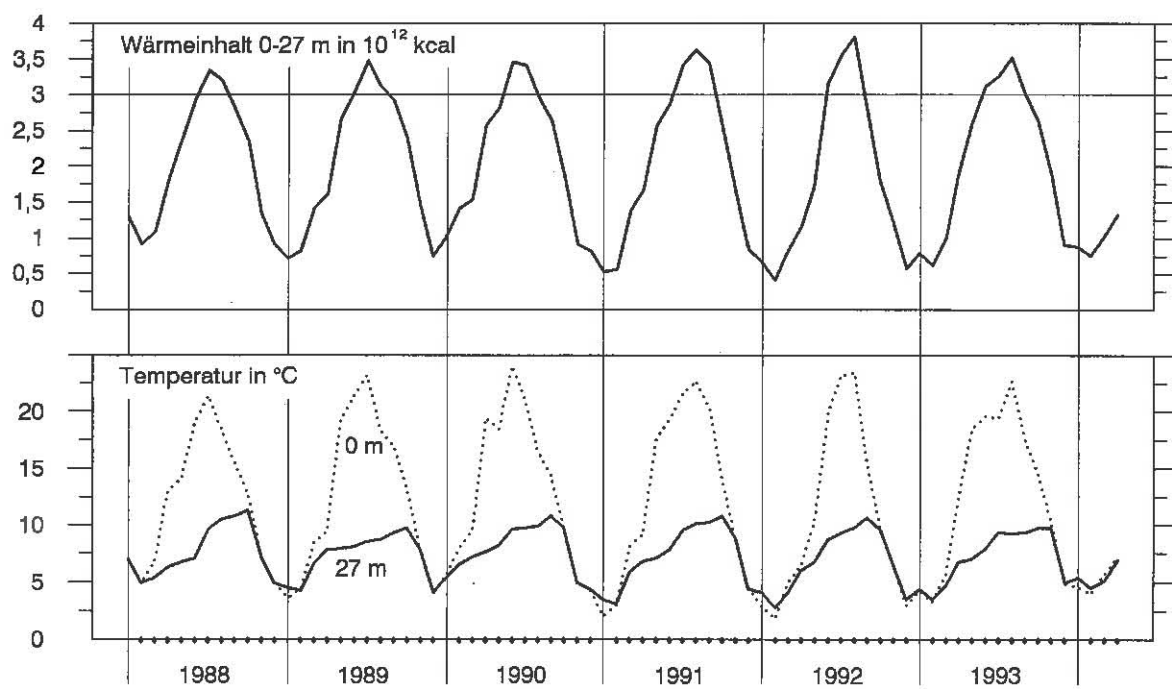


Abb. 34: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Thermik

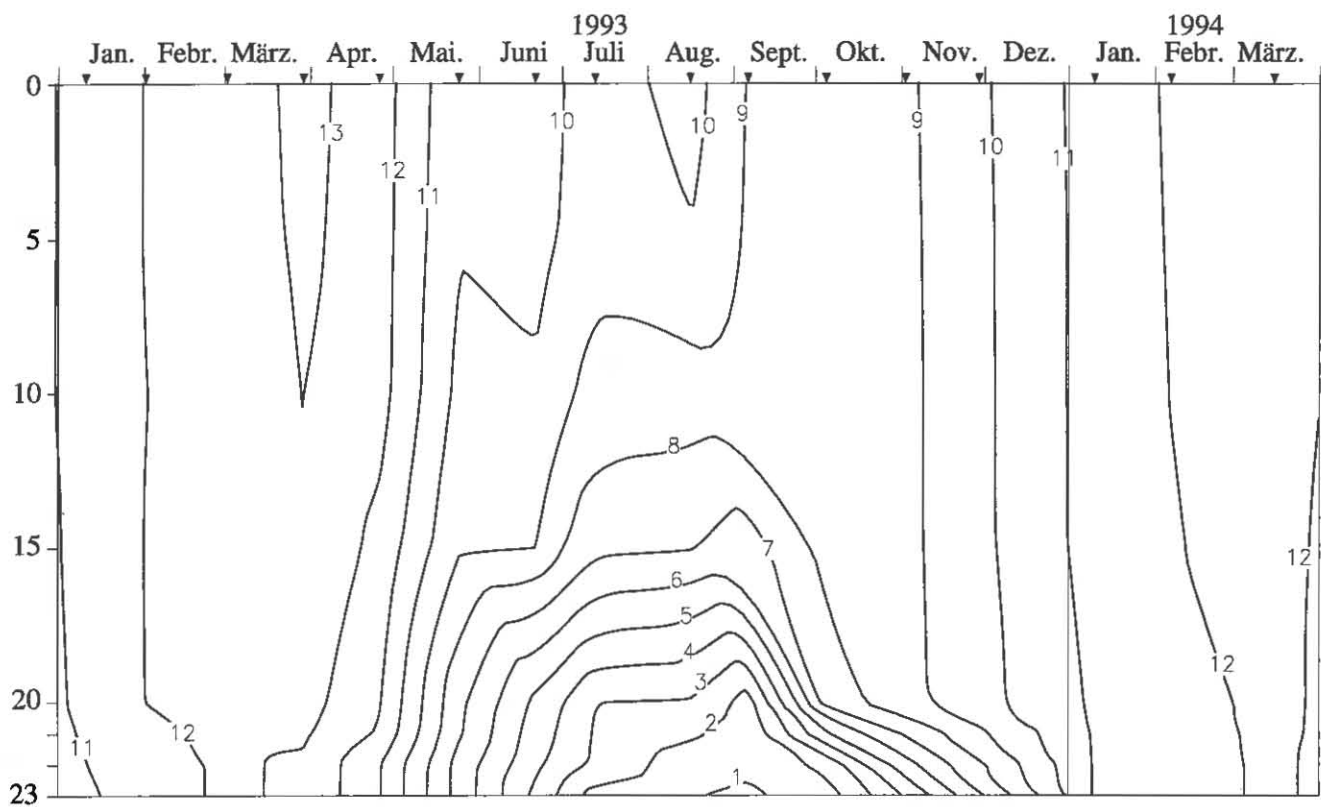


Abb. 35: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Sauerstoff (mg/l)

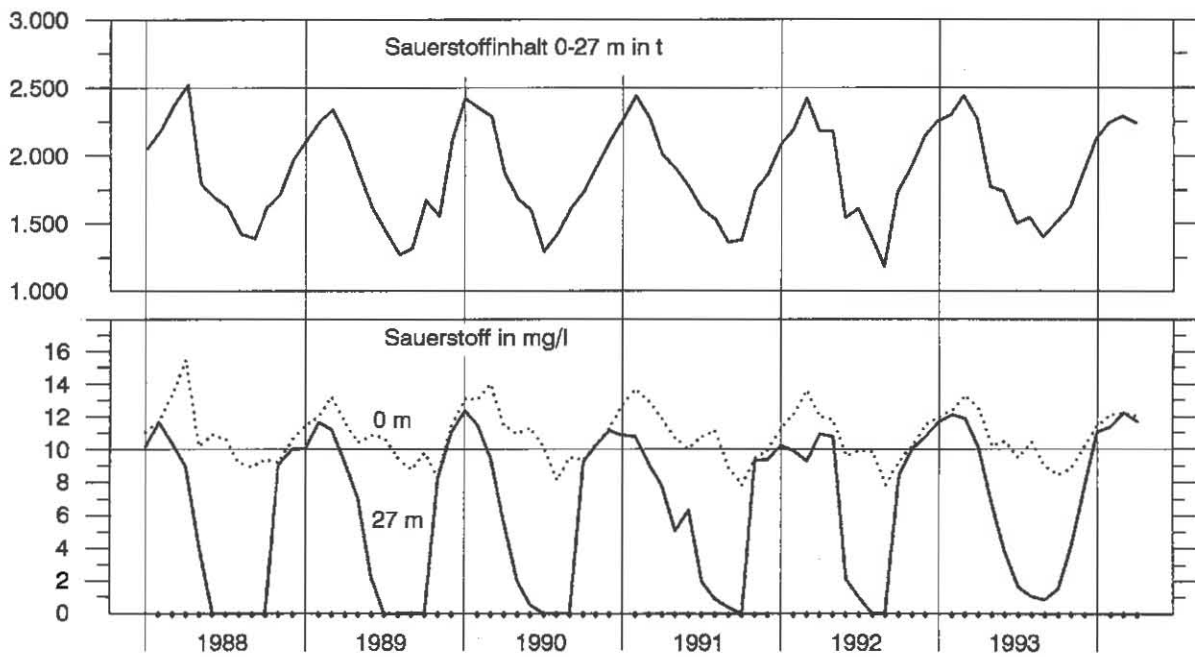


Abb. 36: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Sauerstoffinhalt 0-27 m Tiefe und Sauerstoffkonzentration in 0 und 27 m Tiefe

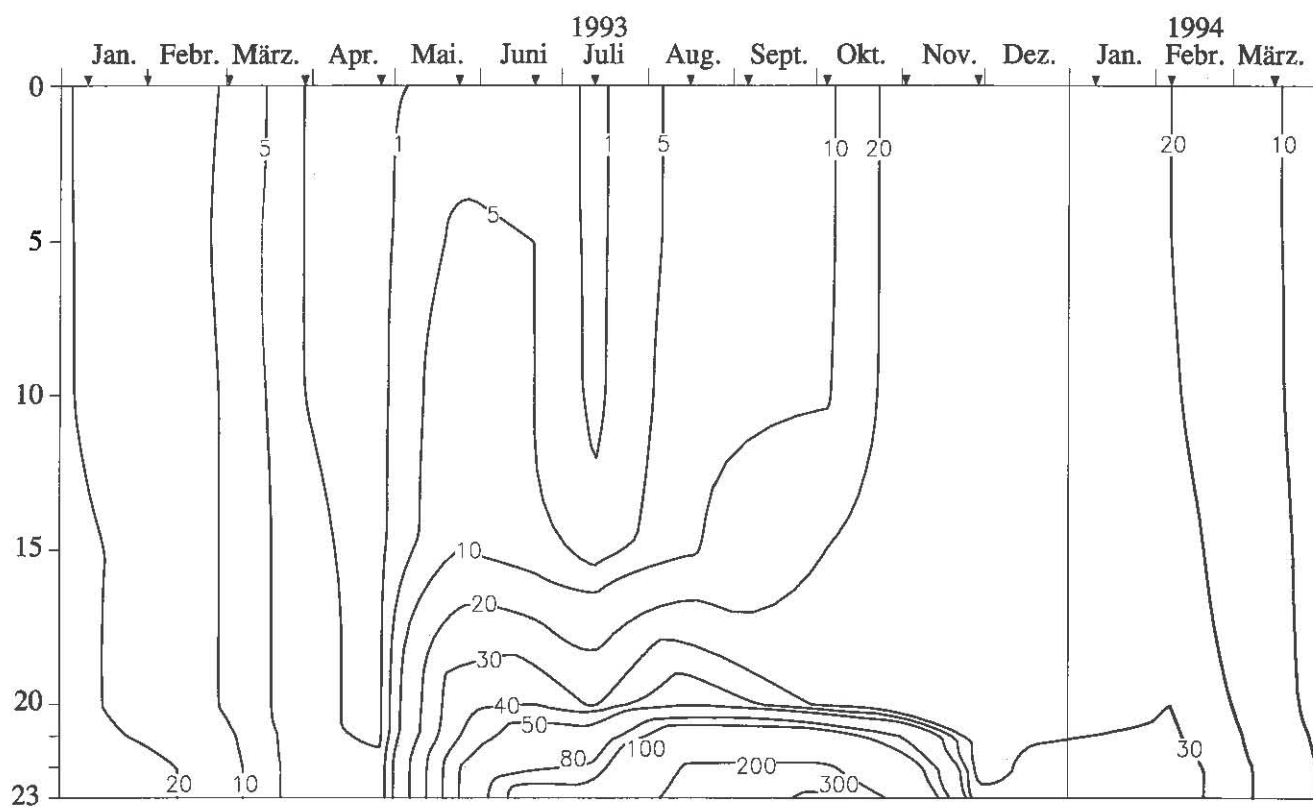


Abb. 37: Bodensee – Untersee, Zellersee:
 Orthophosphat – Phosphor (mg/m³)

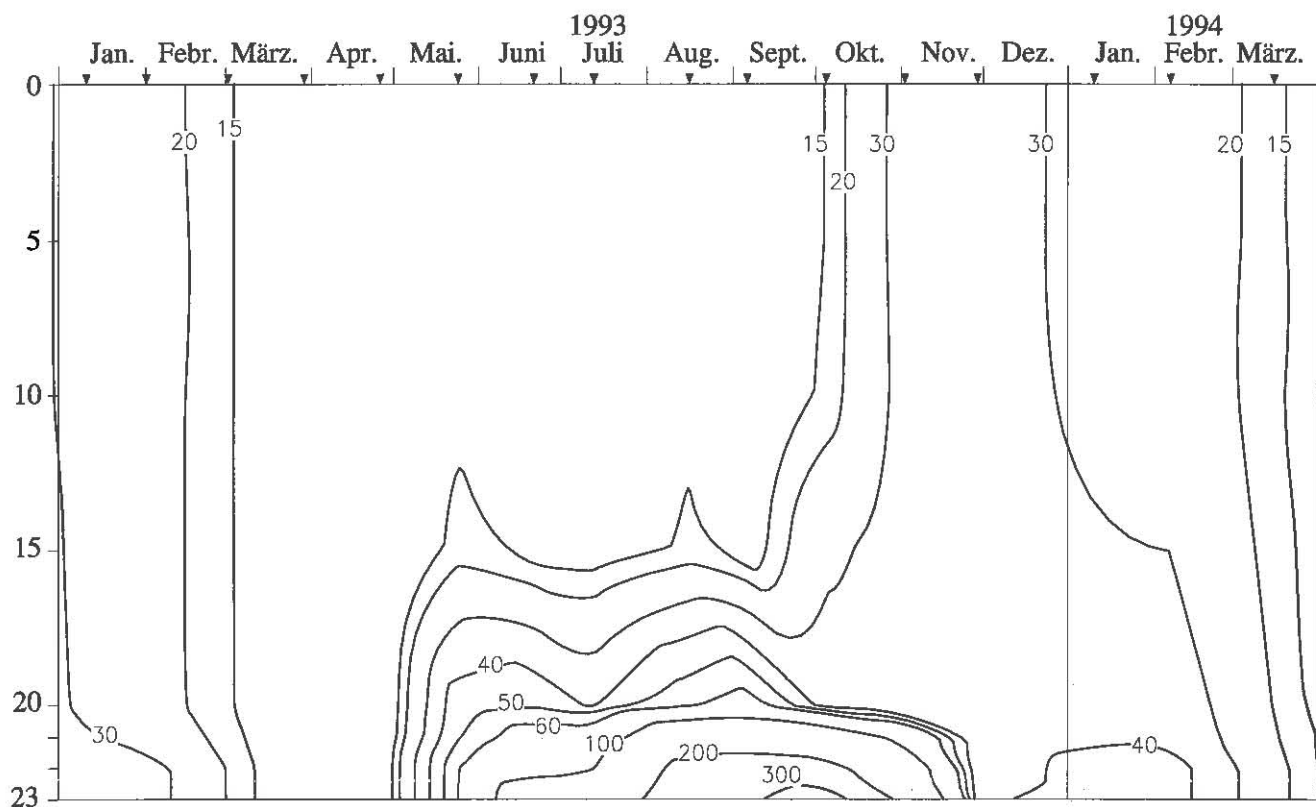


Abb. 38: Bodensee – Untersee, Zellersee:
 Gesamter gelöster Phosphor (mg/m³)

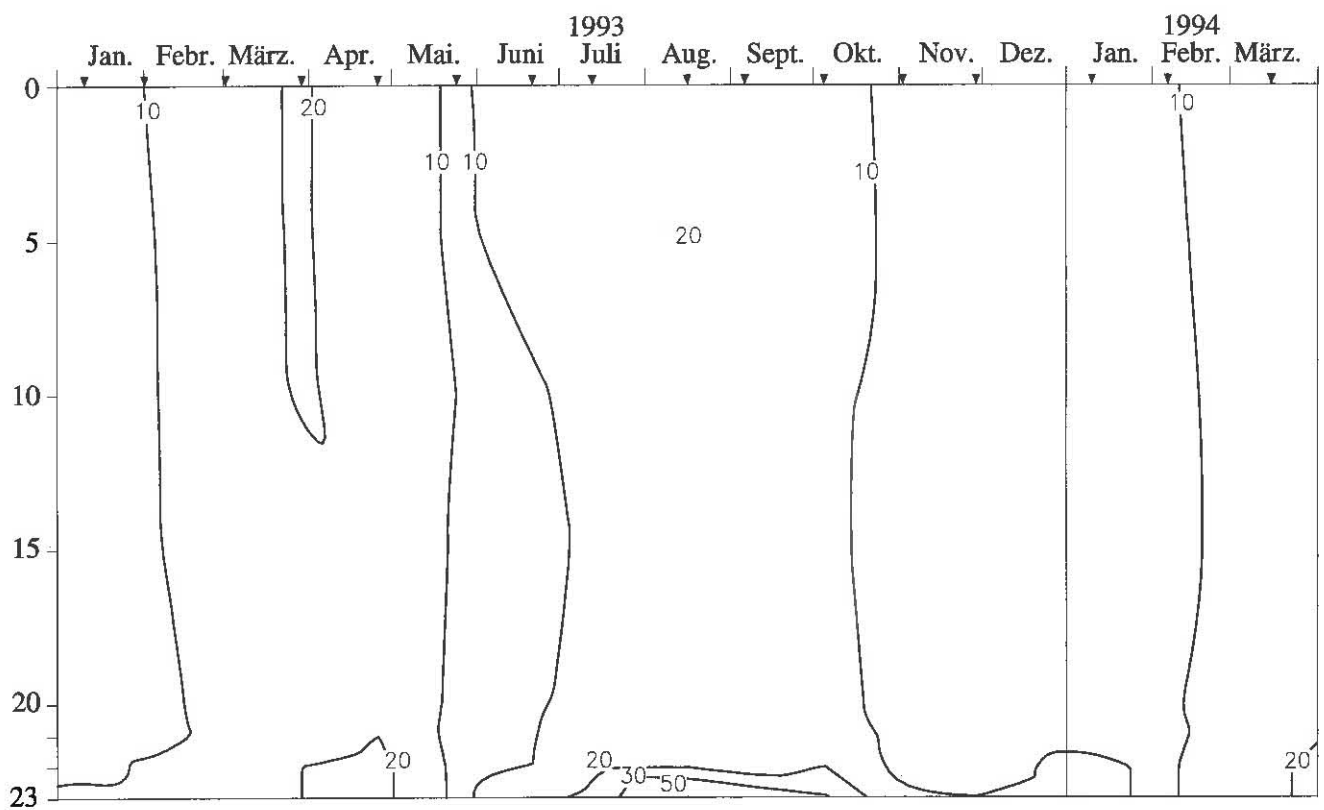


Abb. 39: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Partikulärer Phosphor (mg/m³)

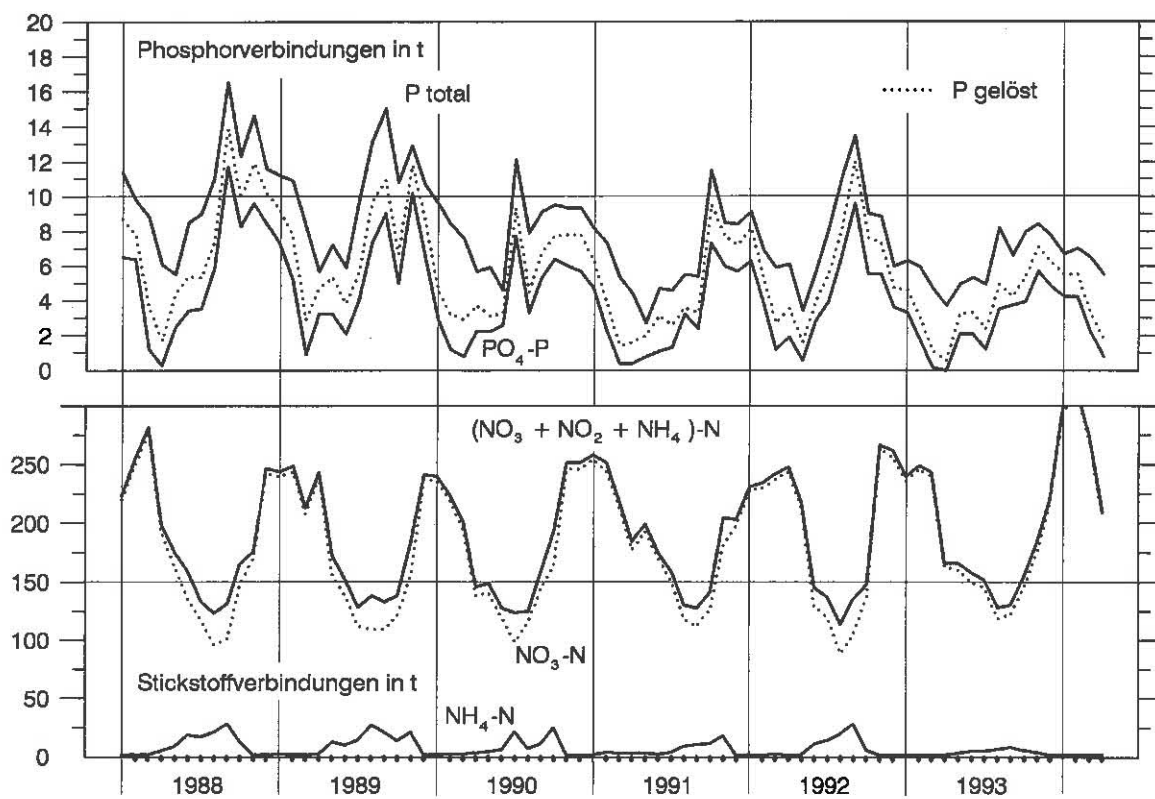


Abb. 40: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Nährstoffinhalt 0–27 m Tiefe

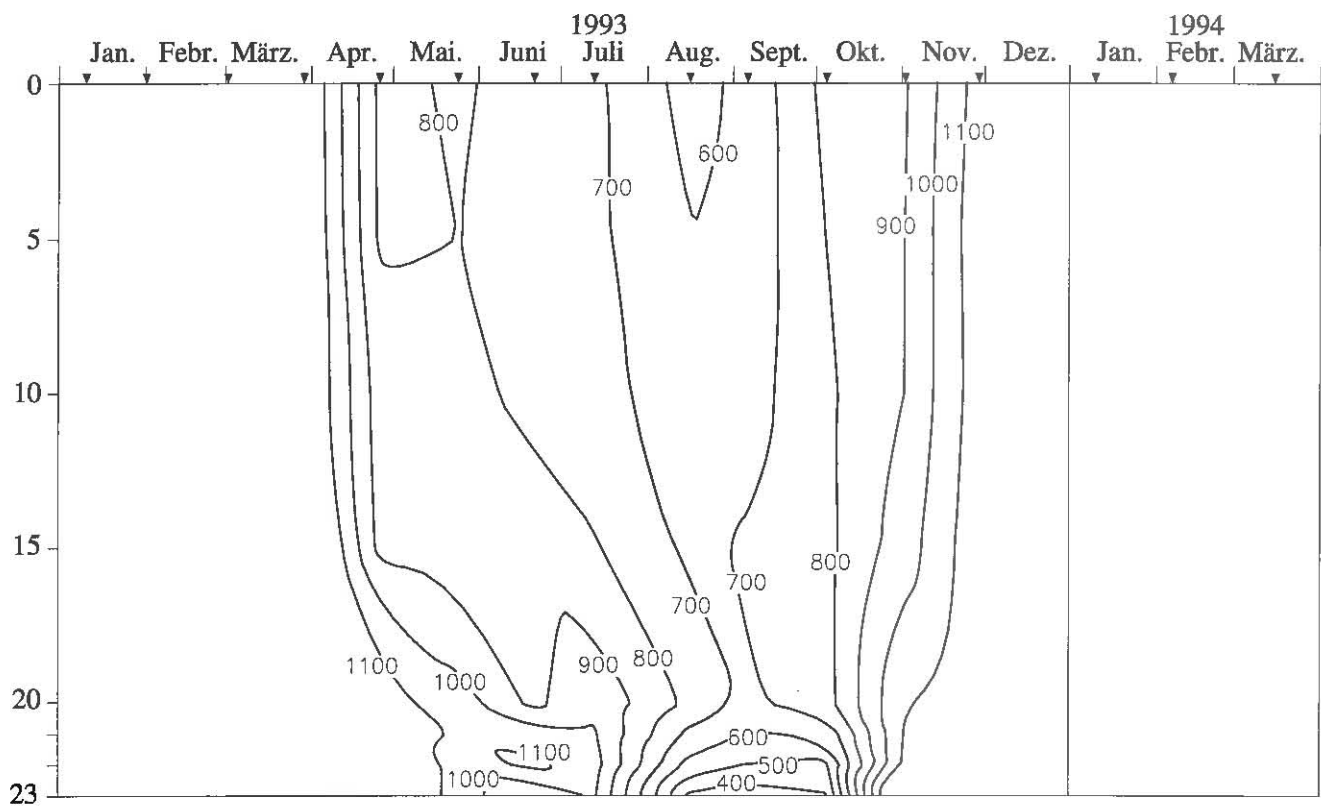


Abb. 41: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Nitrat – Stickstoff (mg/m^3)

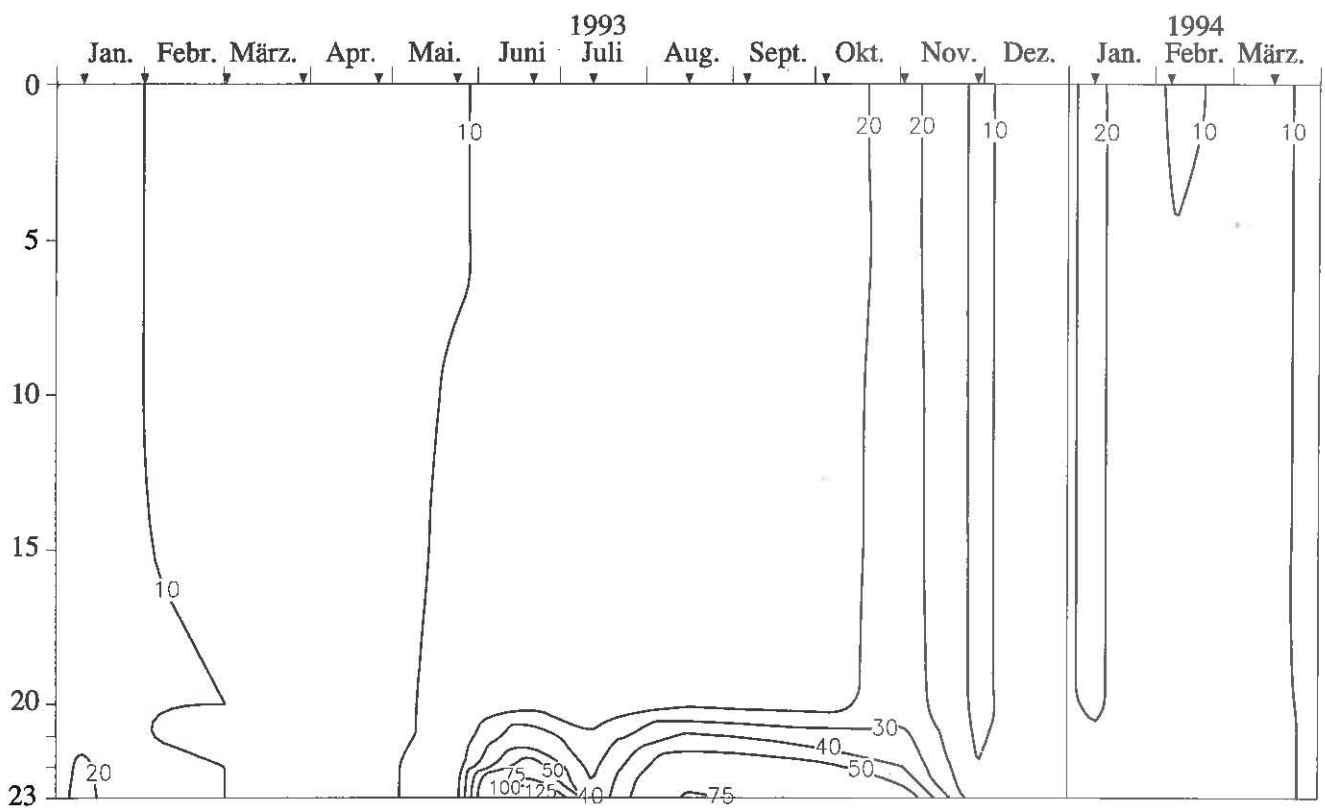


Abb. 42: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Nitrit – Stickstoff (mg/m^3)

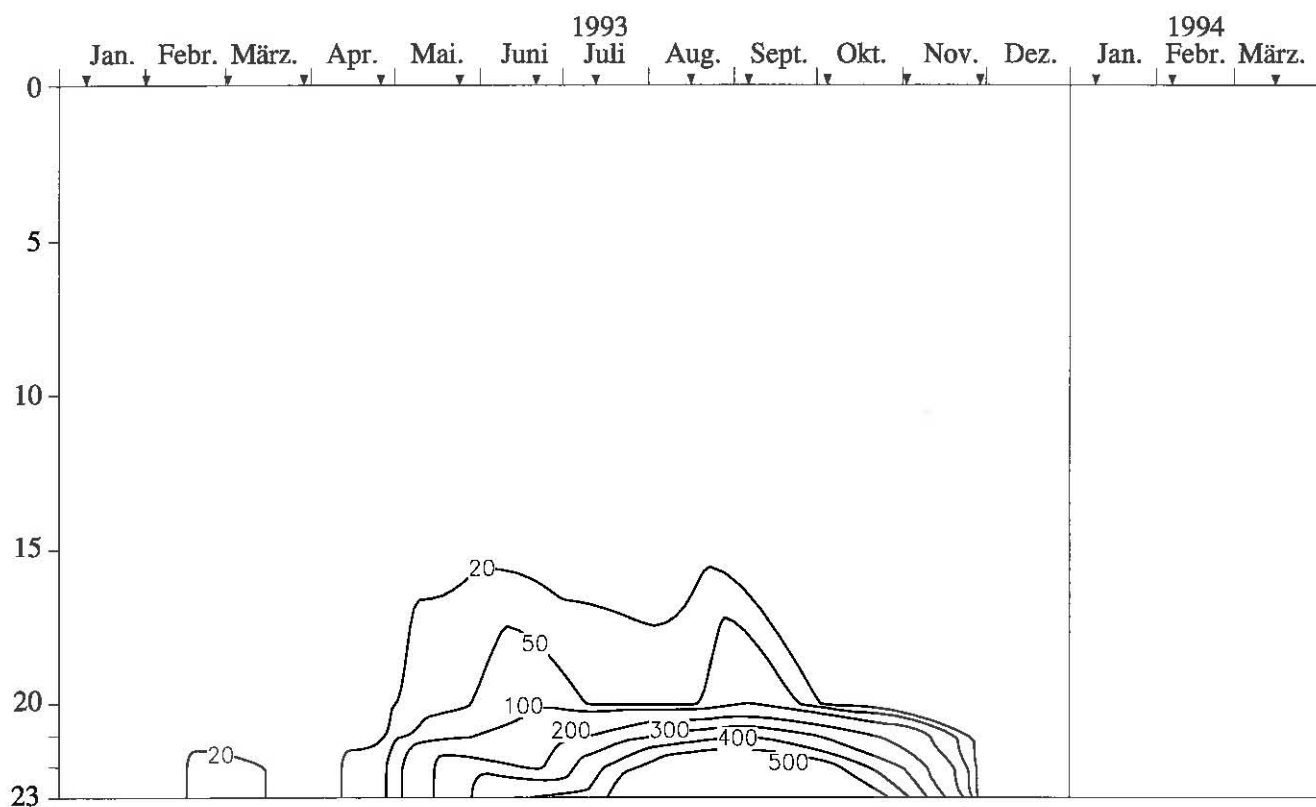


Abb. 43: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Ammonium – Stickstoff (mg/m³)

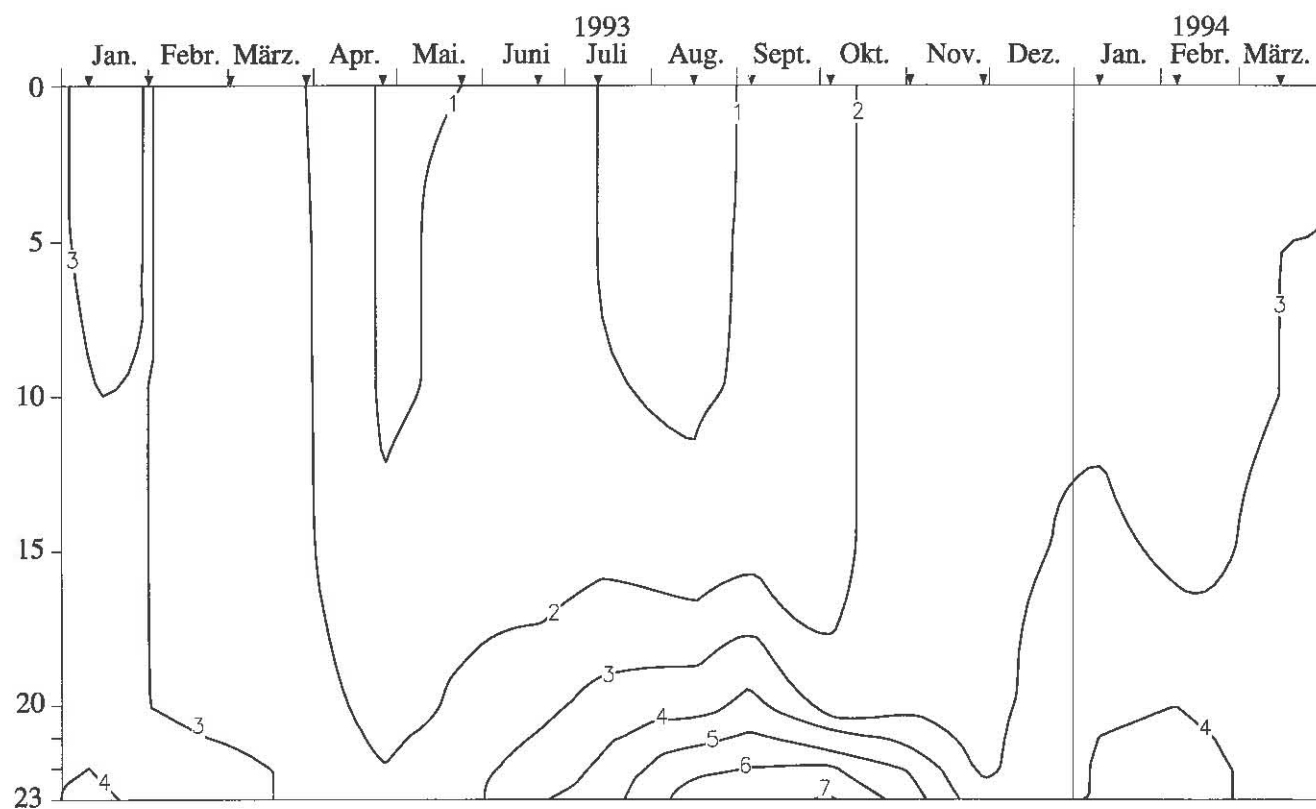


Abb. 44: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Silikat (mg/l)

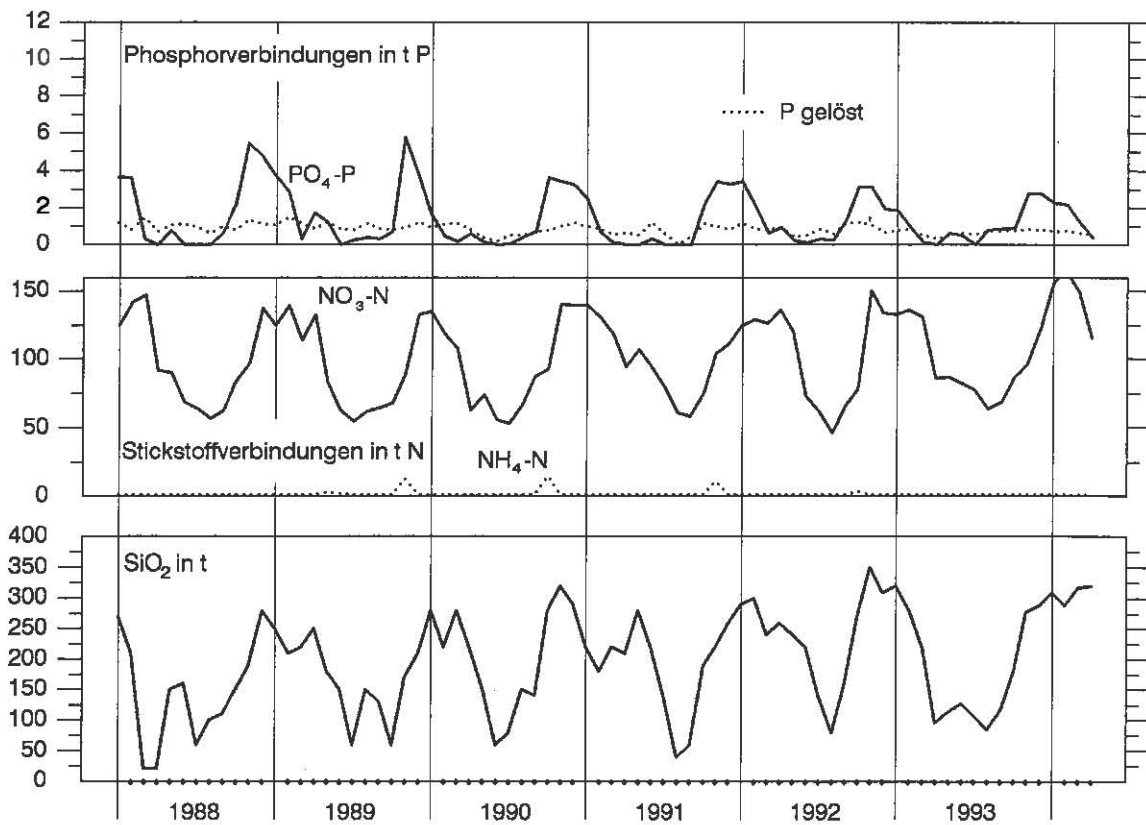


Abb. 45: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Nährstoffinhalt im Epilimnion 0–10 m Tiefe

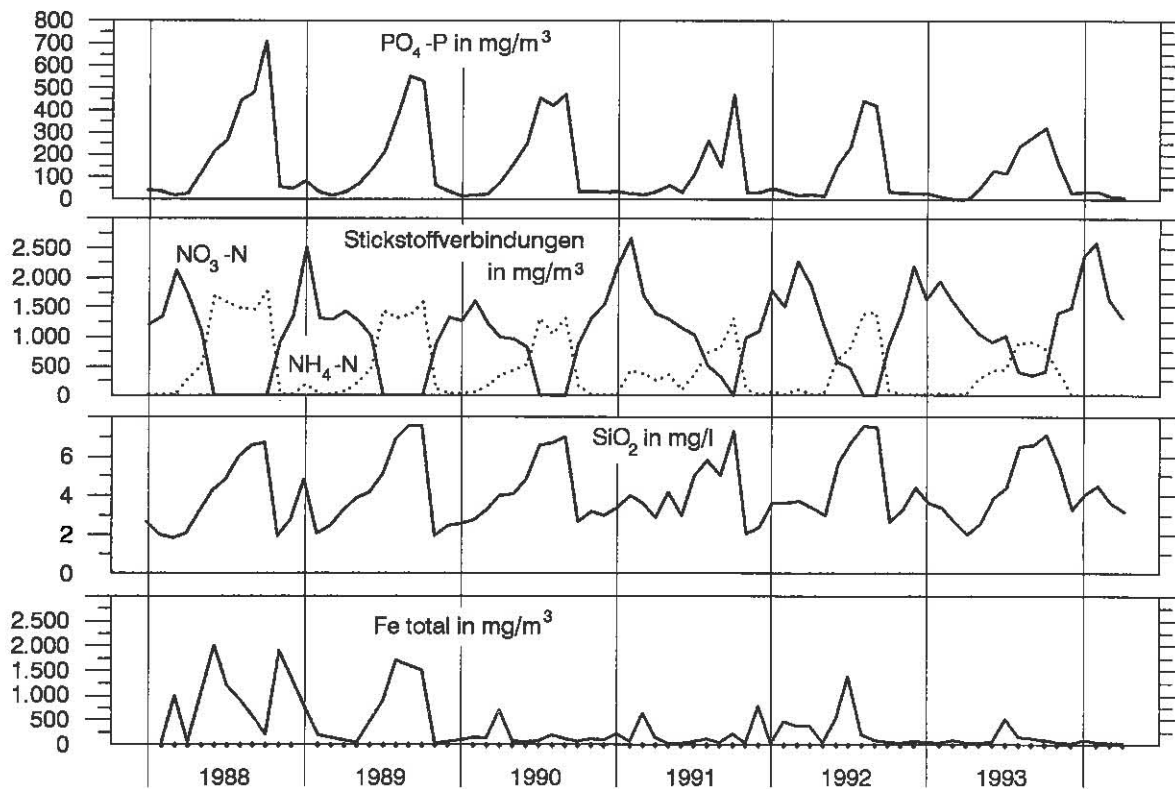


Abb. 46: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Nährstoffkonzentration in 24 m Tiefe

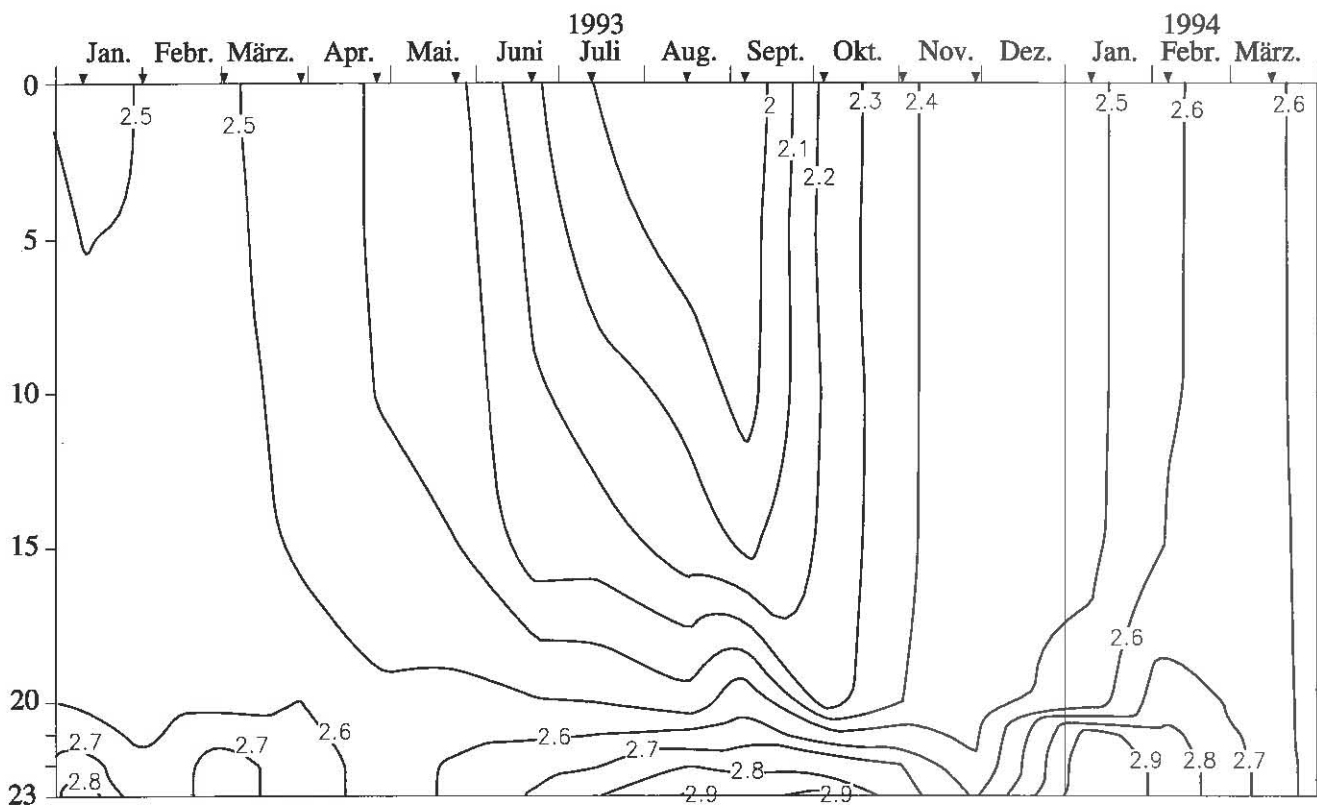


Abb. 47: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Anorganischer Kohlenstoff (mmol/l)

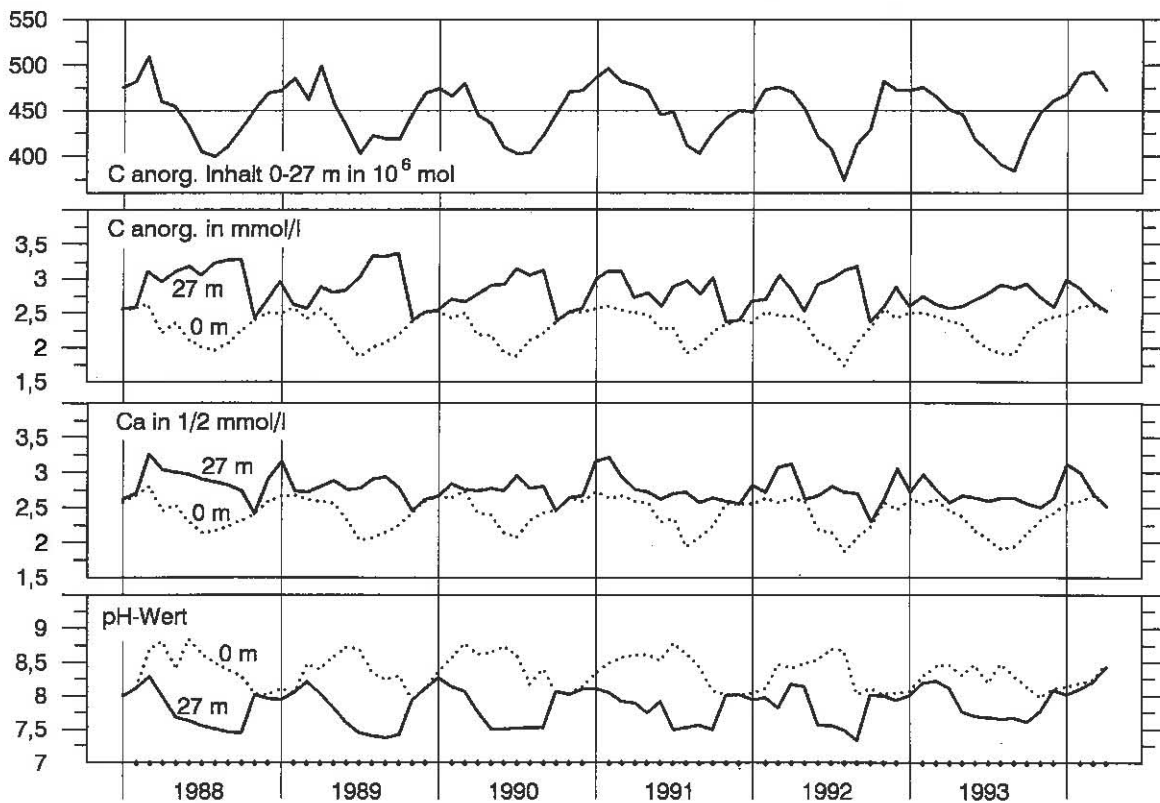


Abb. 48: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Anorganischer Kohlenstoff, Inhalt 0-27 m Tiefe
Konzentrationen von anorg. Kohlenstoff, Calcium,
pH-Wert

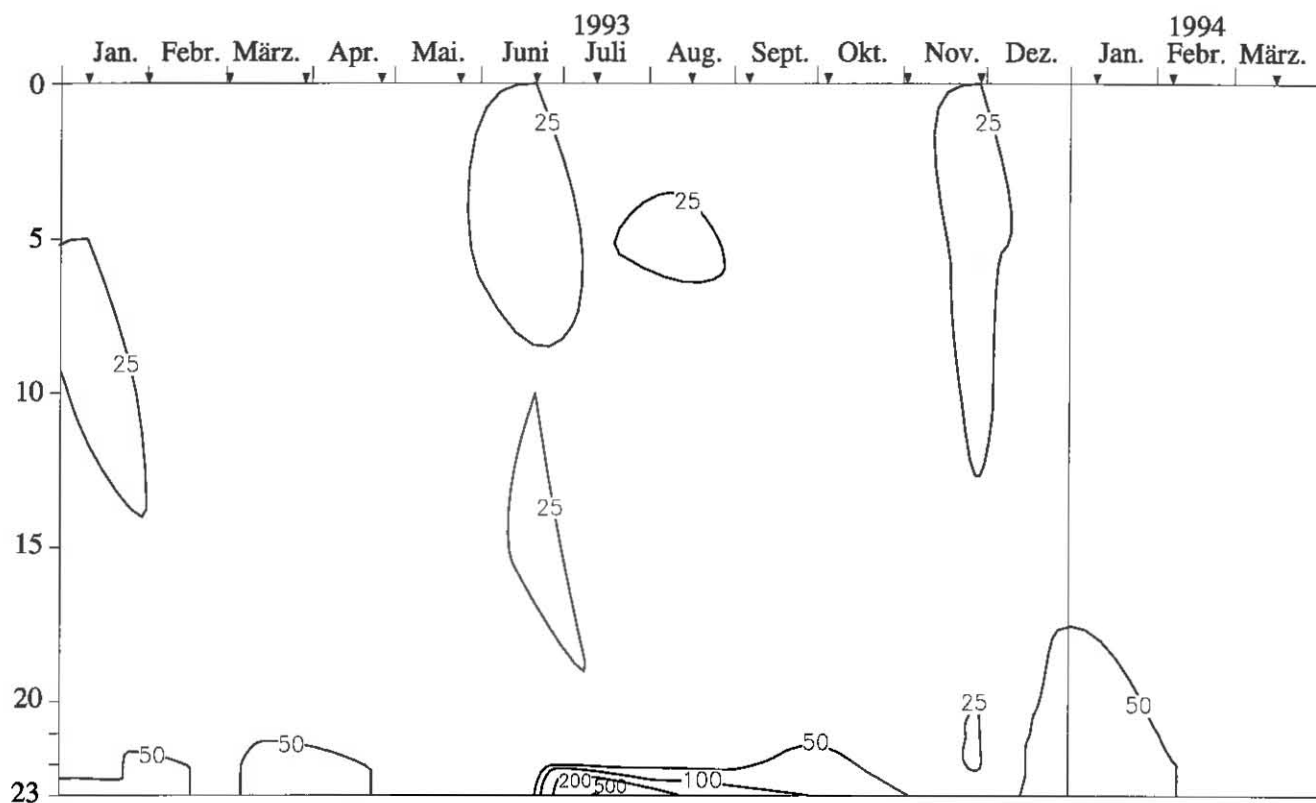


Abb. 49: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Konzentration von Eisen total (mg/m³)

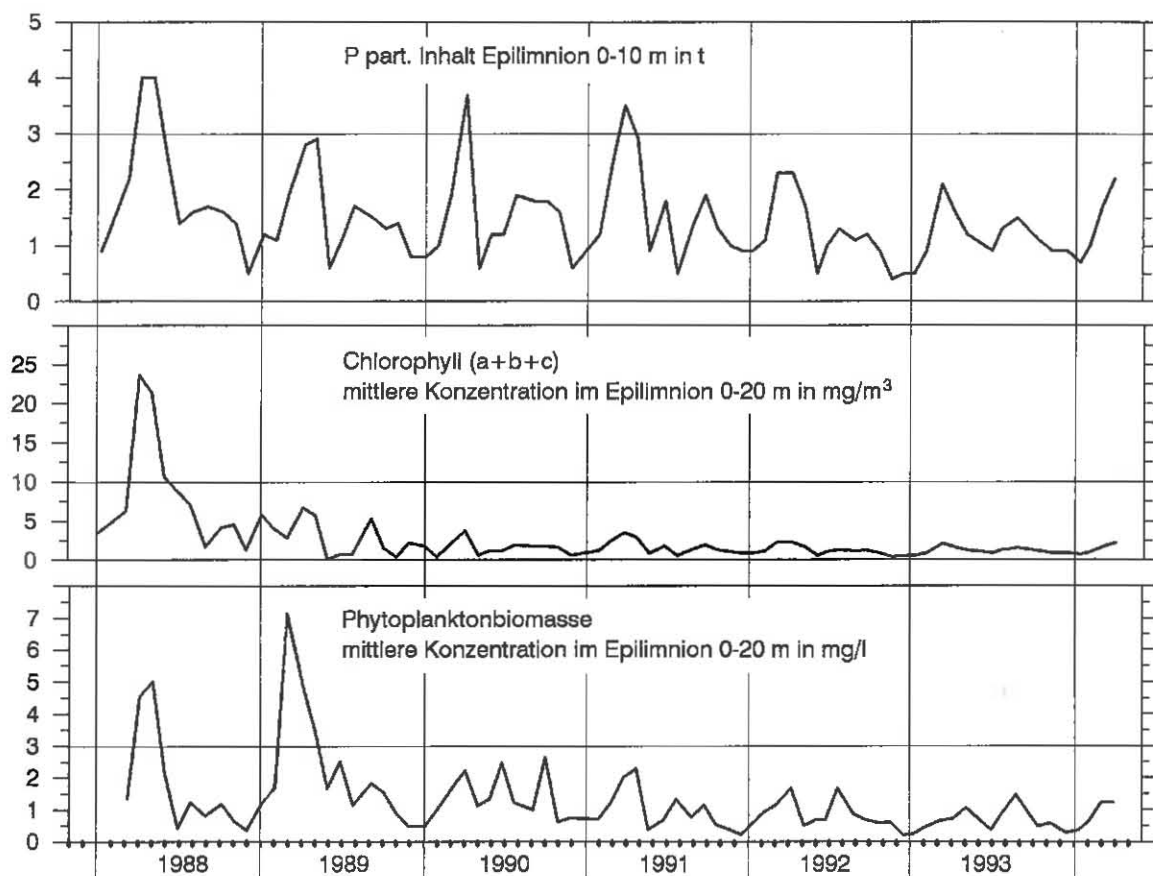


Abb. 50: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Chemische Biomassenindikatoren und Phytoplanktonbiomasse

Abb. 51 Bodensee-Untersee, Zellersee:
Entwicklung des Phytoplanktons
Biomassen in g/m² (0-20m Tiefe), Monatsmittel 1993/94

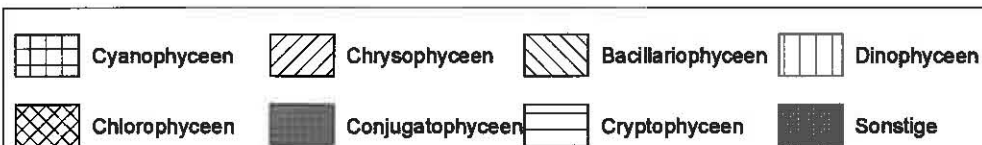
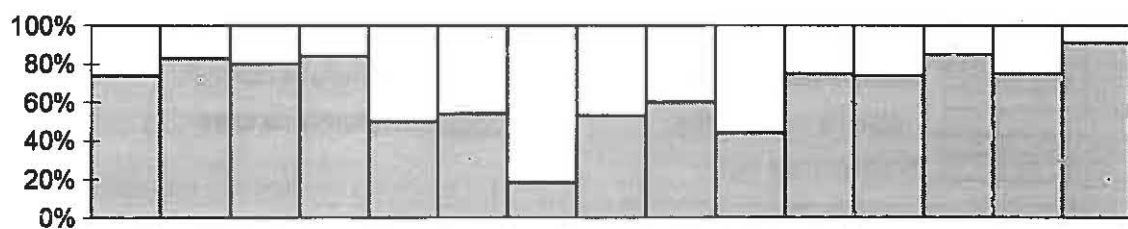
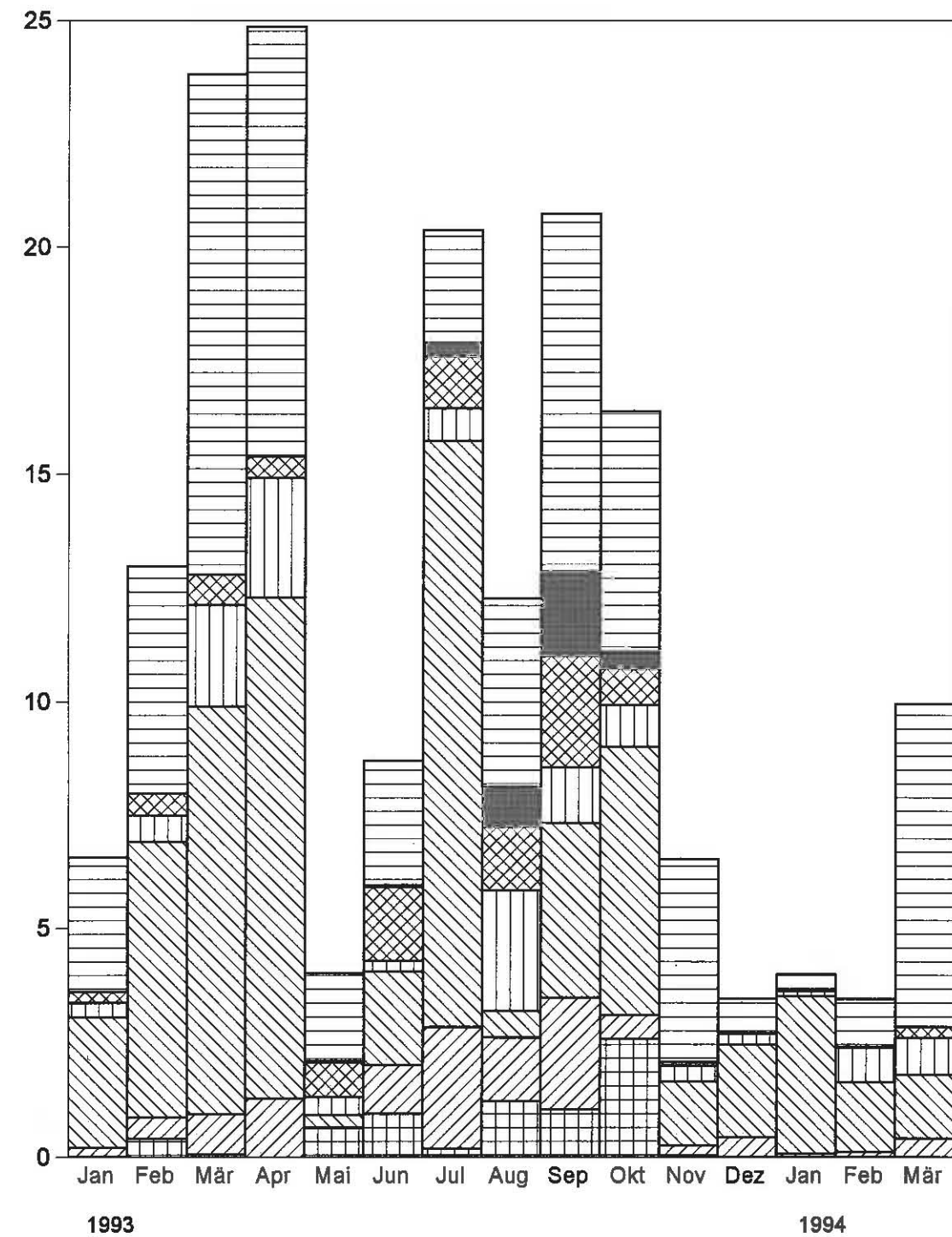
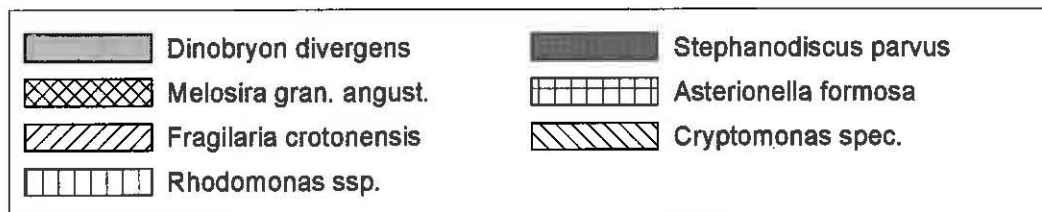
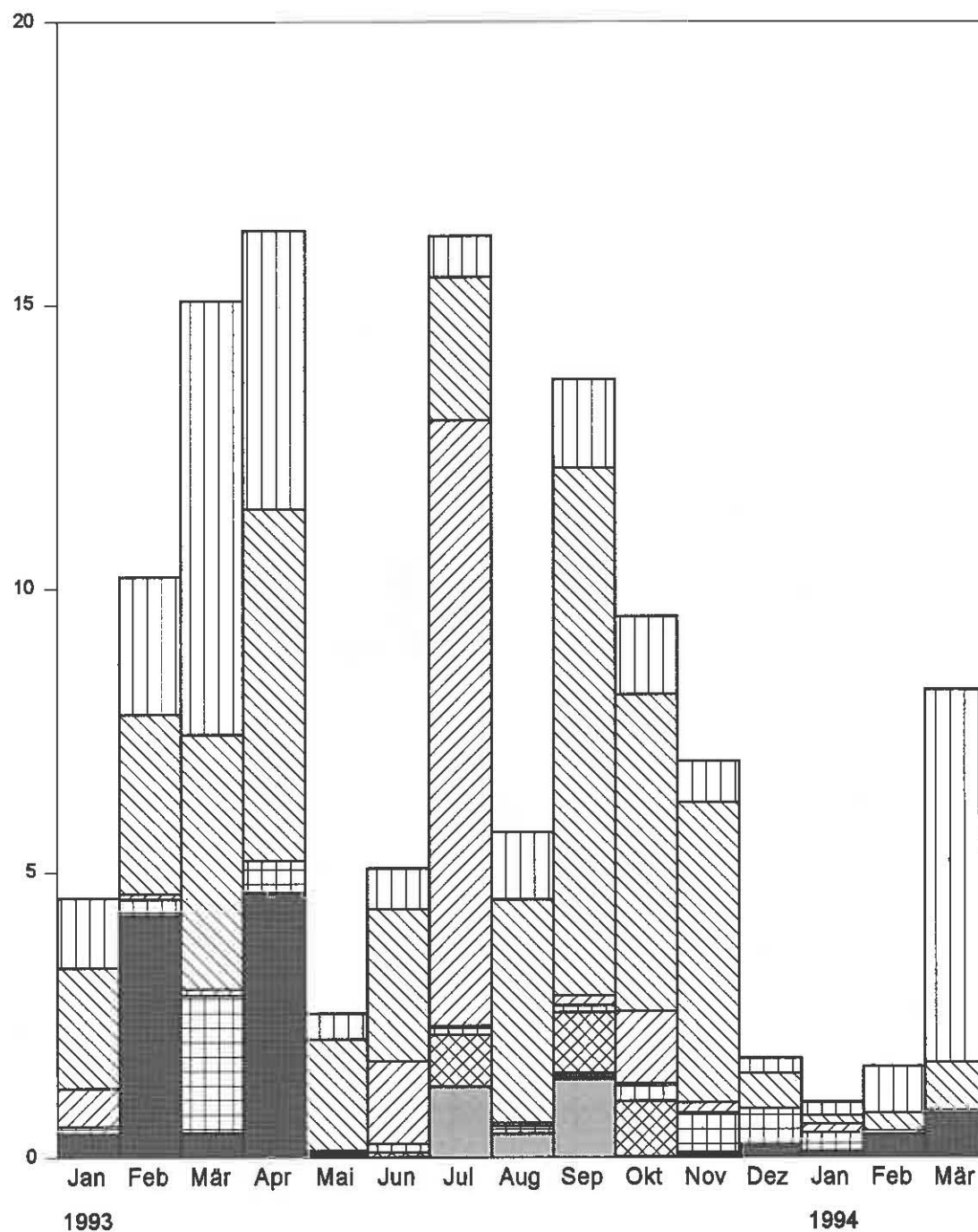


Abb. 52 Bodensee-Untersee, Zellersee:
Entwicklung des Phytoplanktons,
Biomassen der Hauptarten in g/m² (0-20m Tiefe), Monatsmittel 1993/94



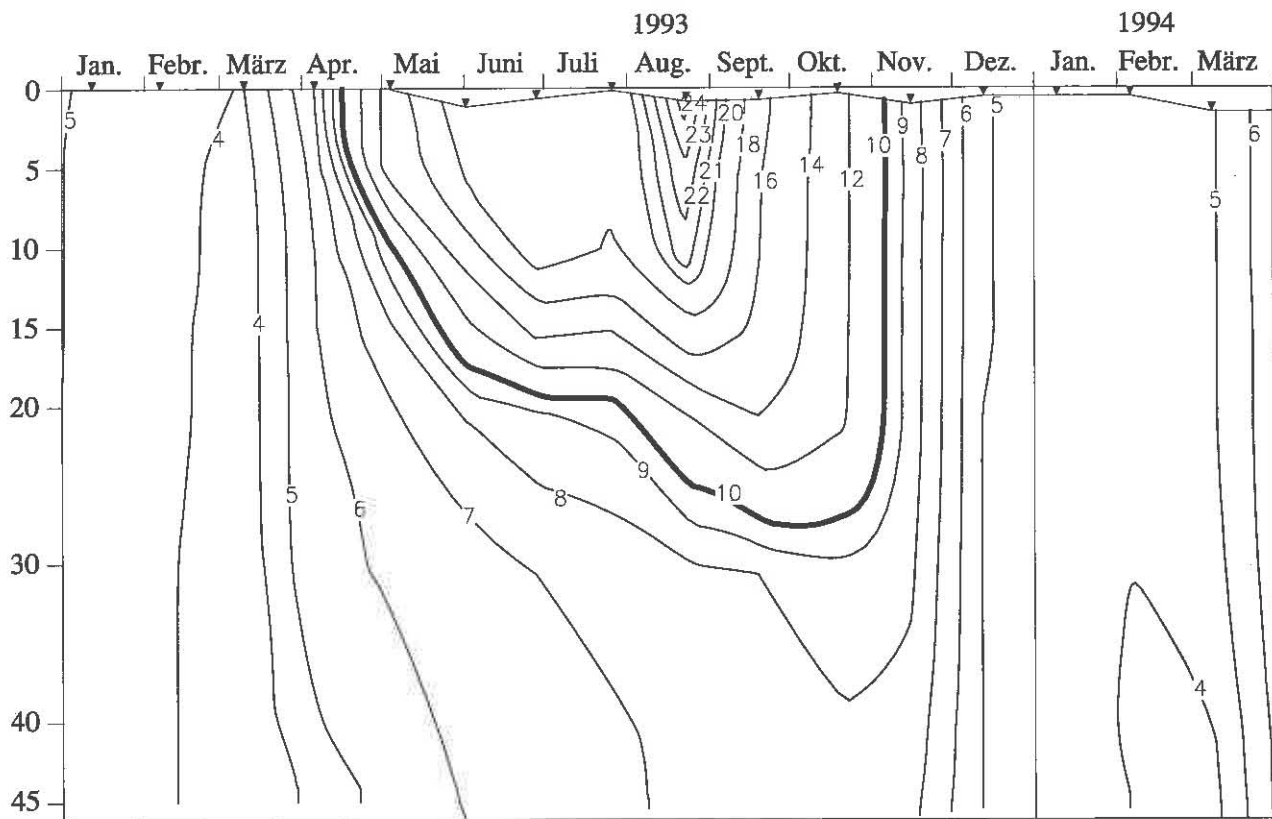


Abb. 53: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Temperatur °C

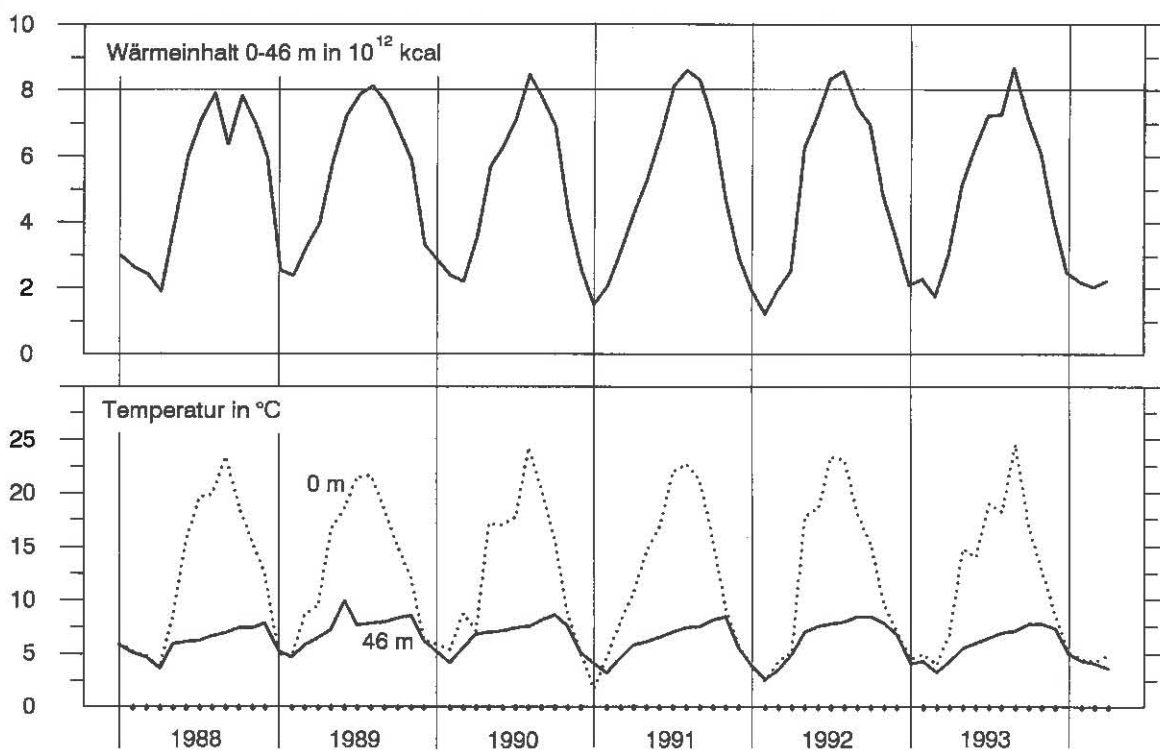


Abb. 54: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Thermik

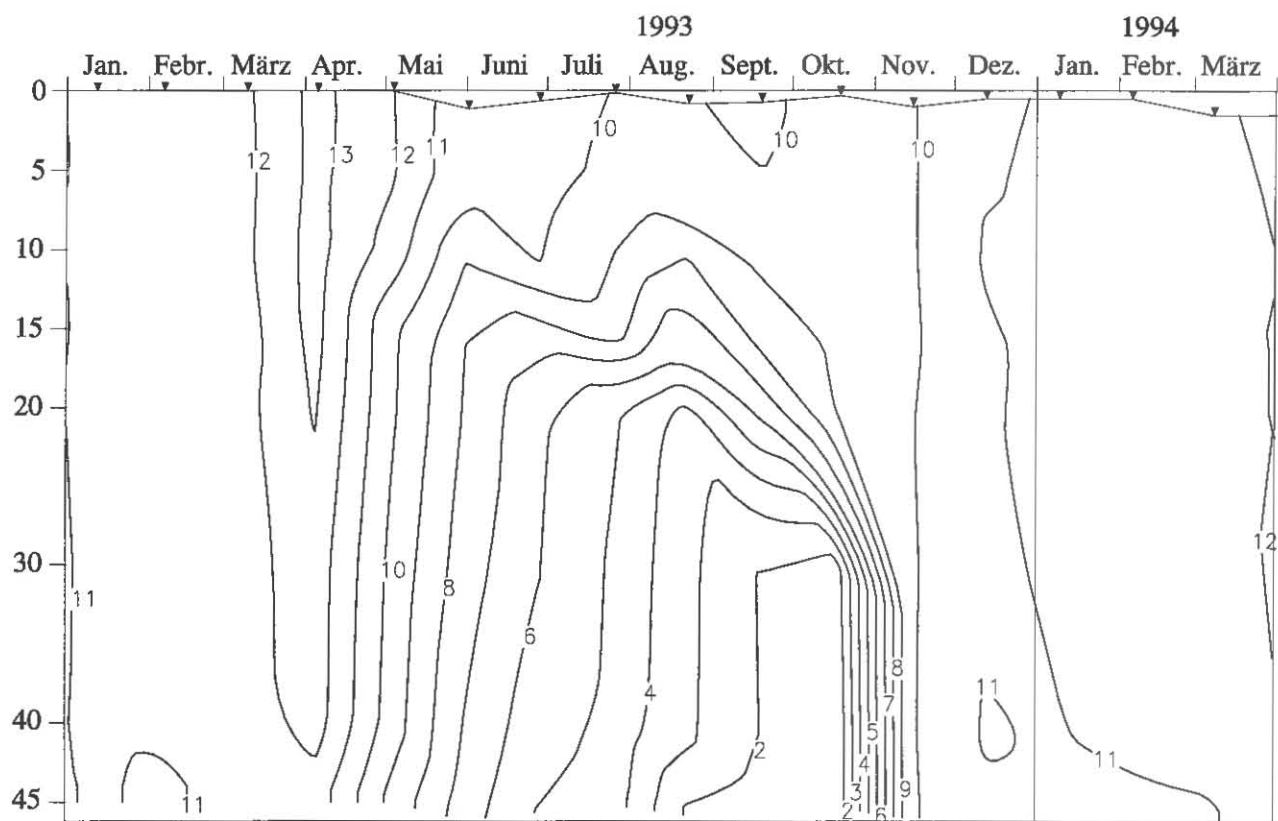


Abb. 55: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Sauerstoff (mg/l)

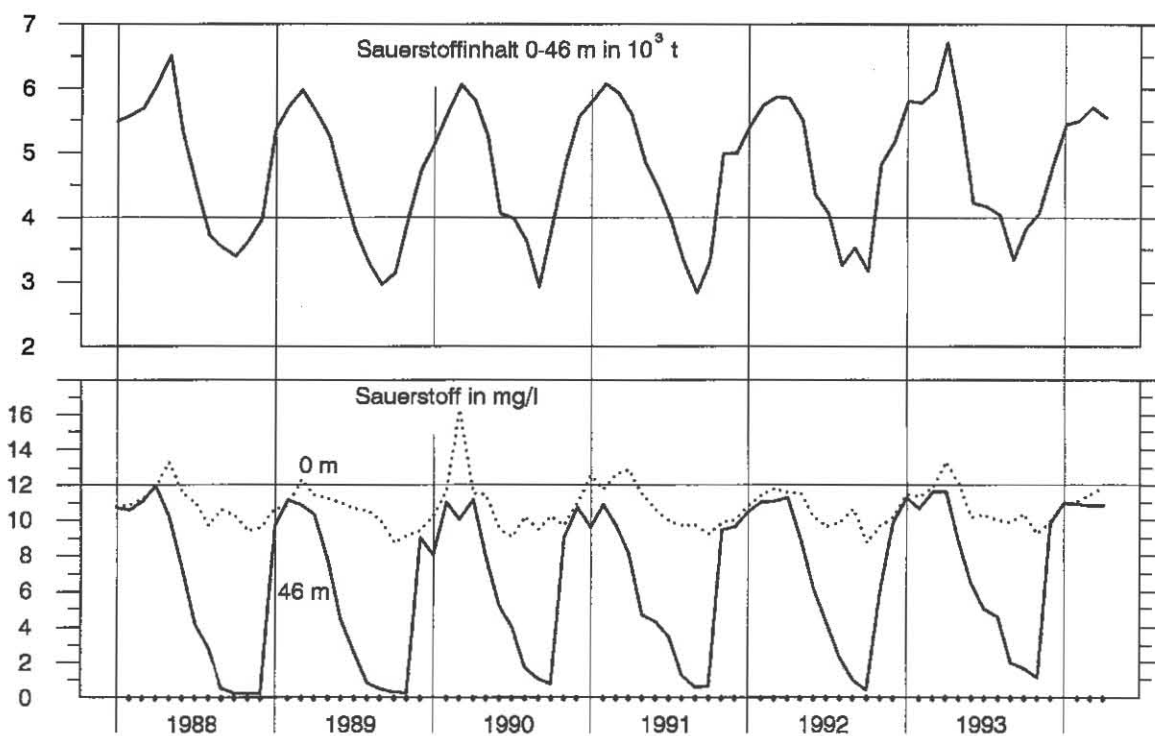


Abb. 56: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Sauerstoffinhalt 0–46 m Tiefe und Sauerstoffkonzentration in 0 und 46 m Tiefe

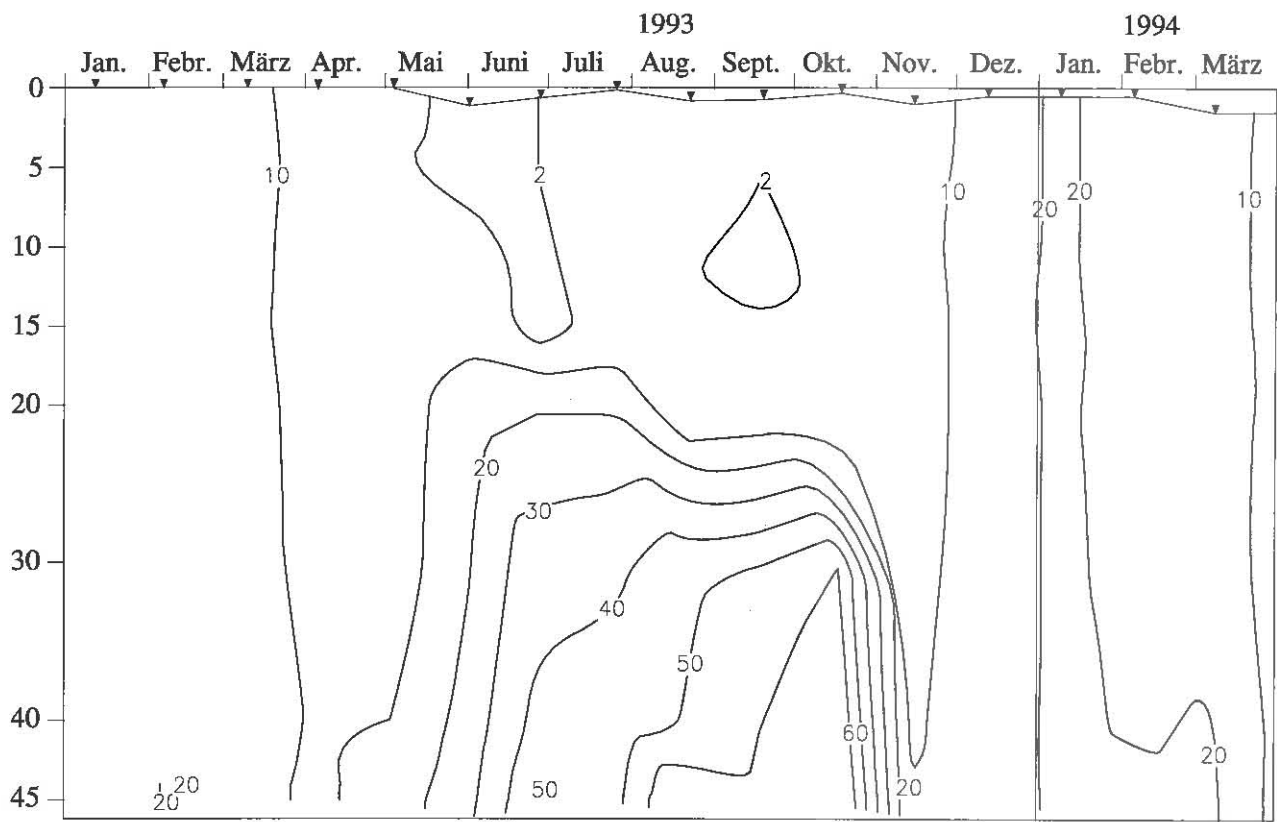


Abb. 57: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Orthophosphat – Phosphor (mg/m³)

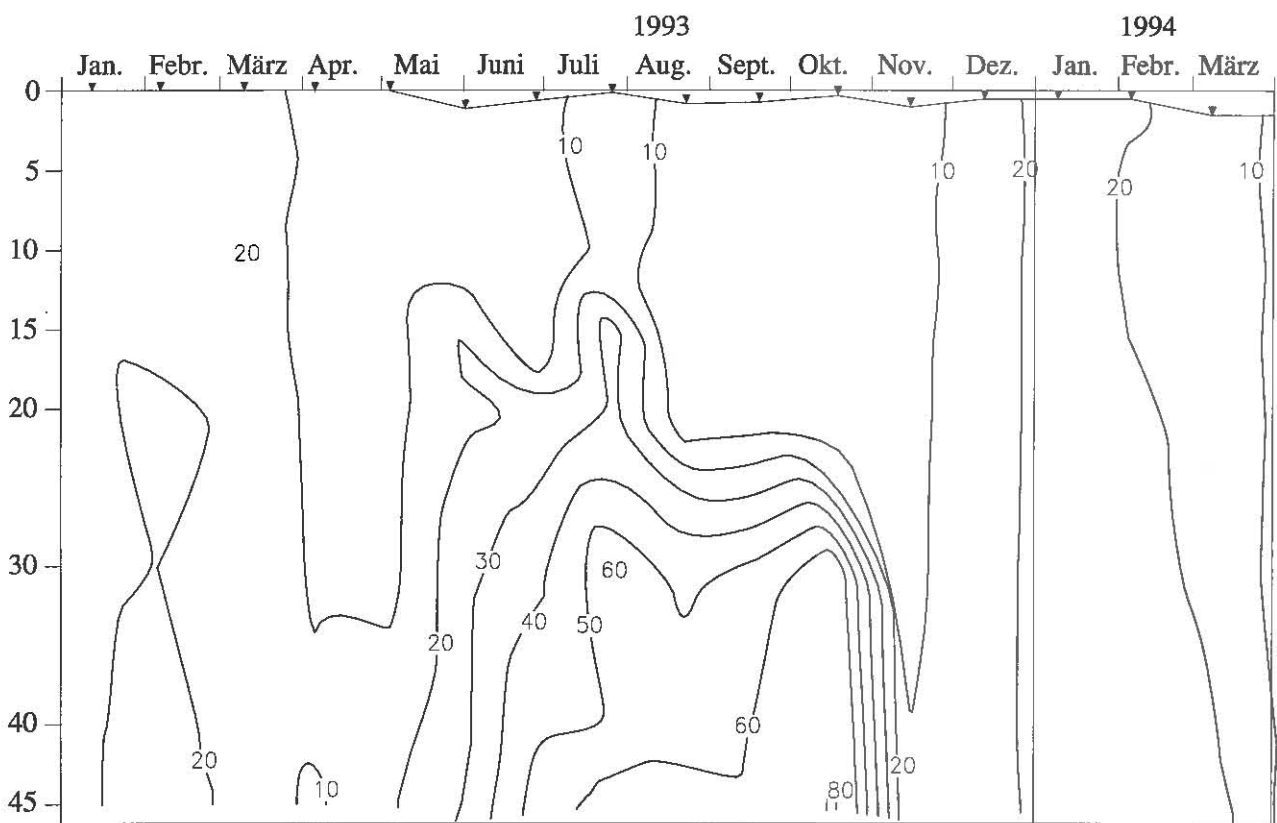


Abb. 58: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Gesamter gelöster Phosphor (mg/m³)

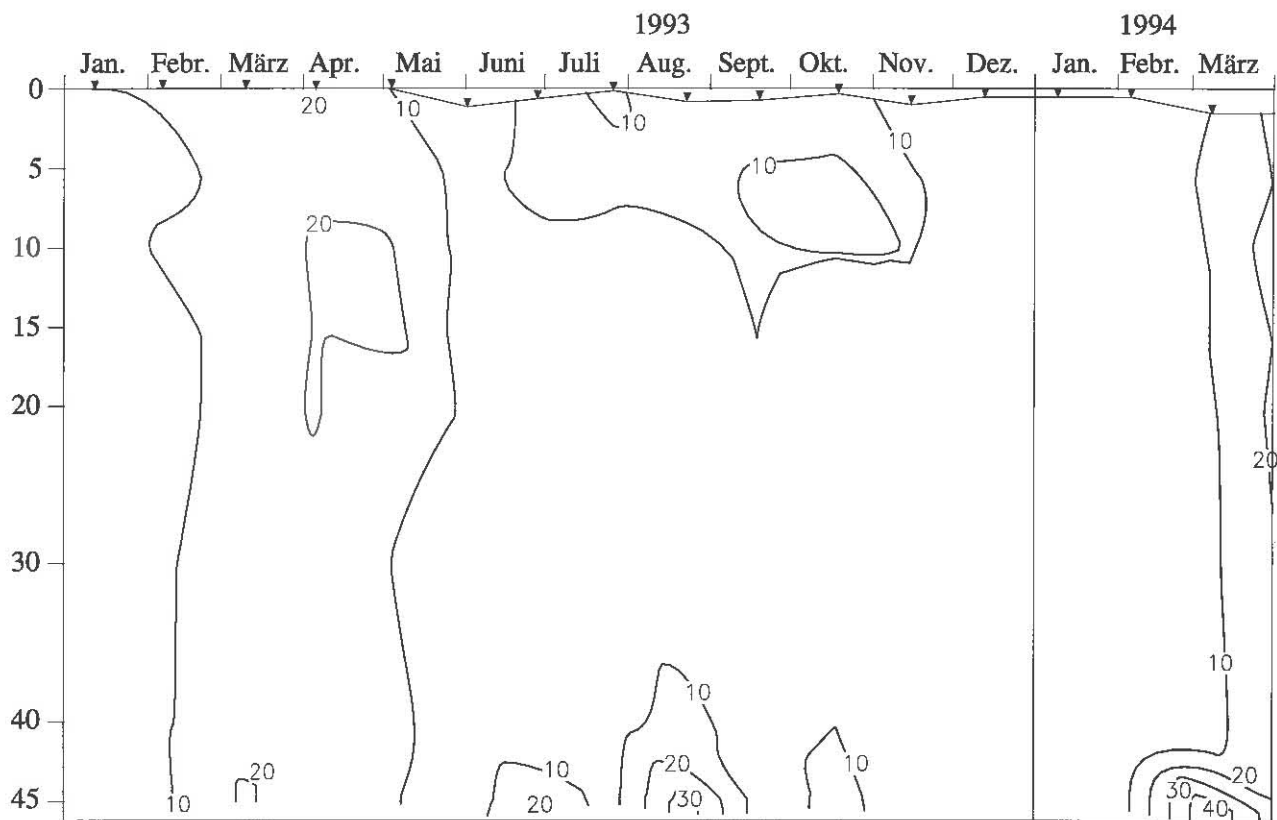


Abb. 59: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Partikulärer Phosphor (mg/m^3)

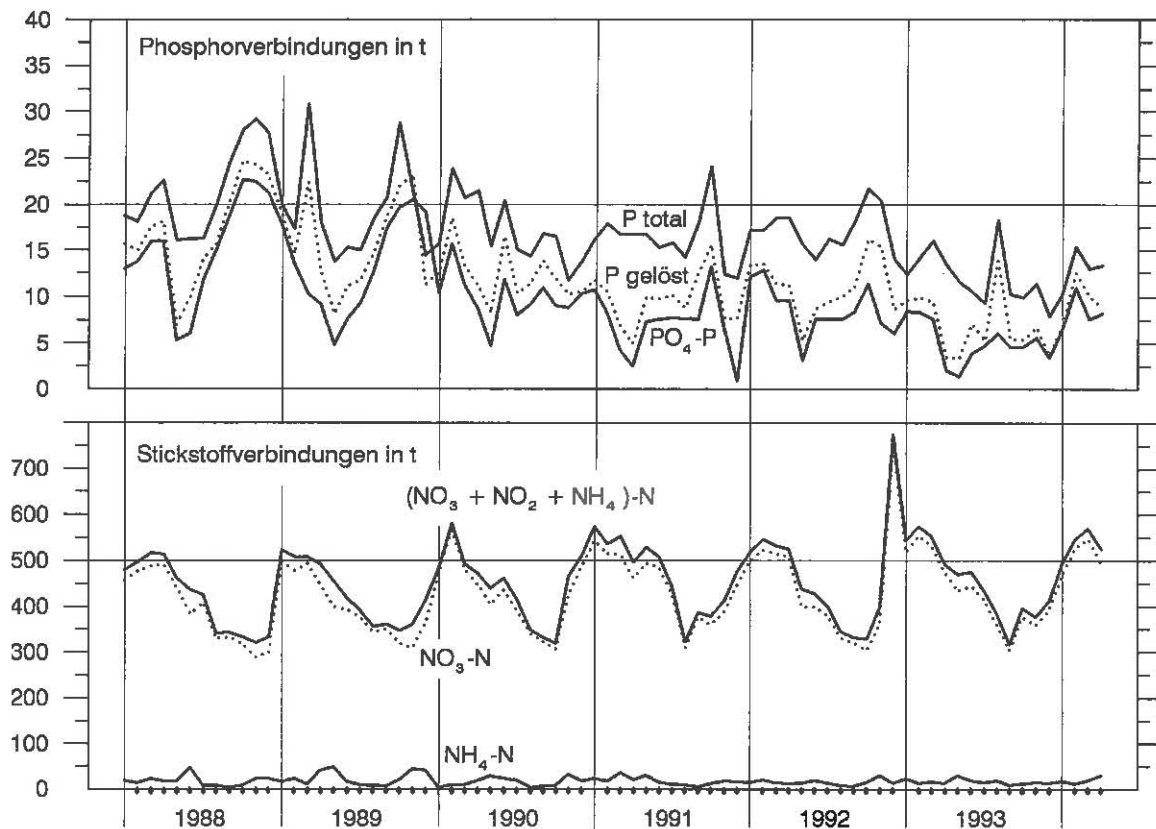


Abb. 60: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Nährstoffinhalt 0–46 m Tiefe

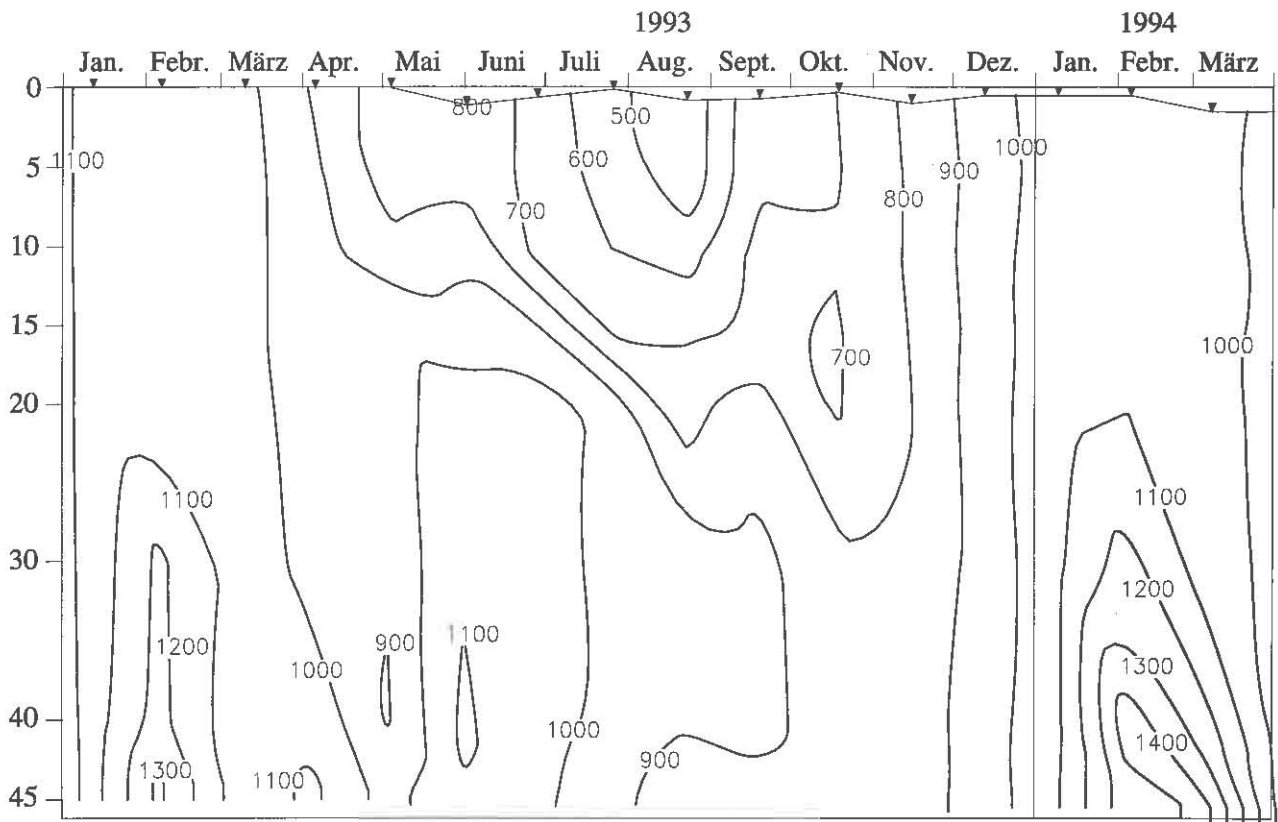


Abb. 61: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Nitrat – Stickstoff (mg/m^3)

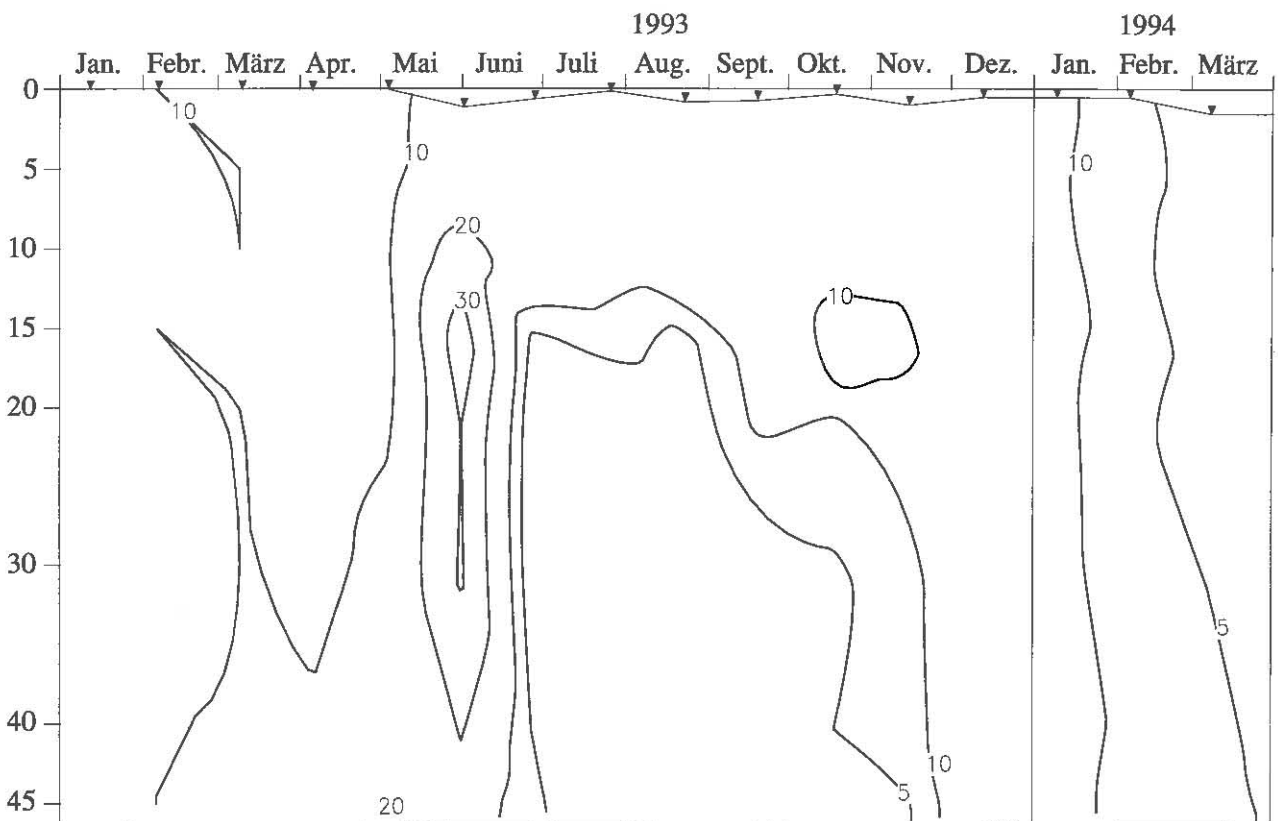


Abb. 62: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Nitrit – Stickstoff (mg/m^3)

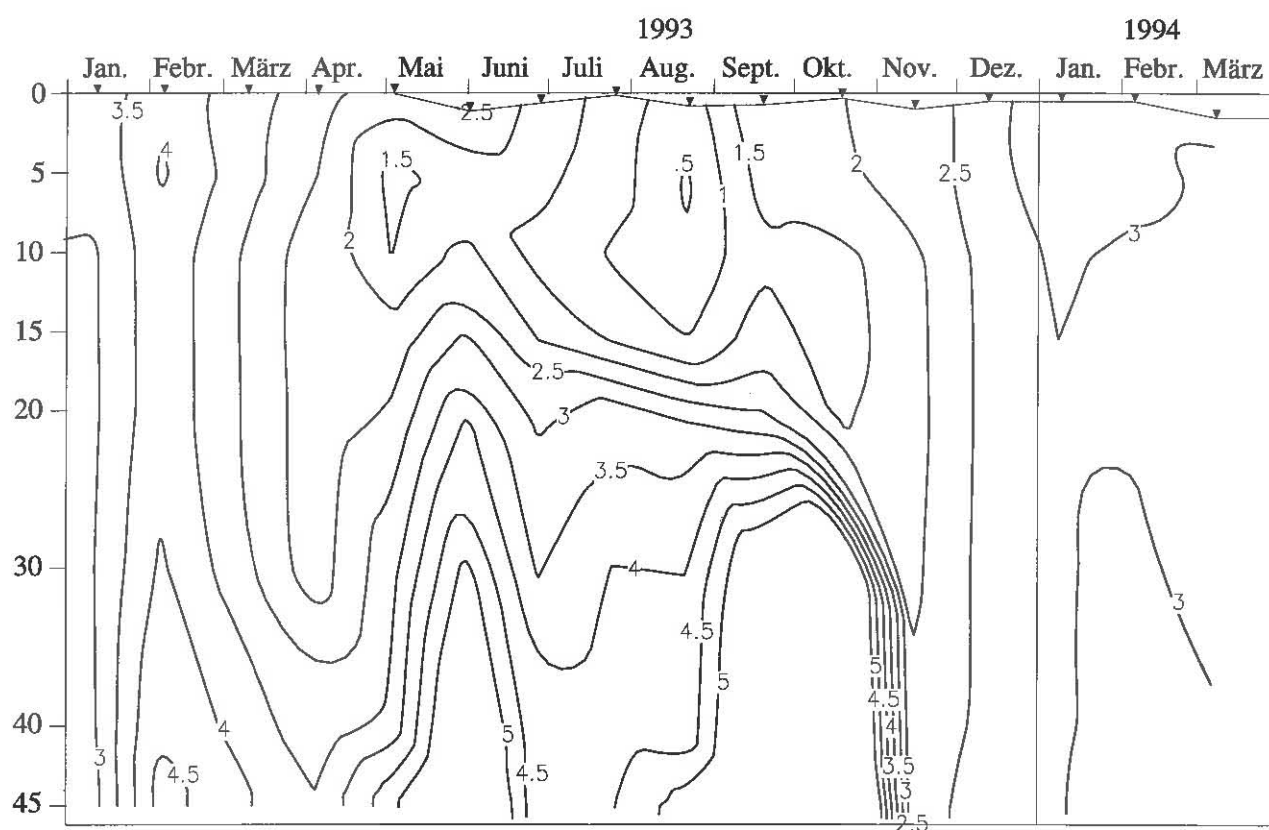


Abb. 63: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Ammonium – Stickstoff (mg/m³)

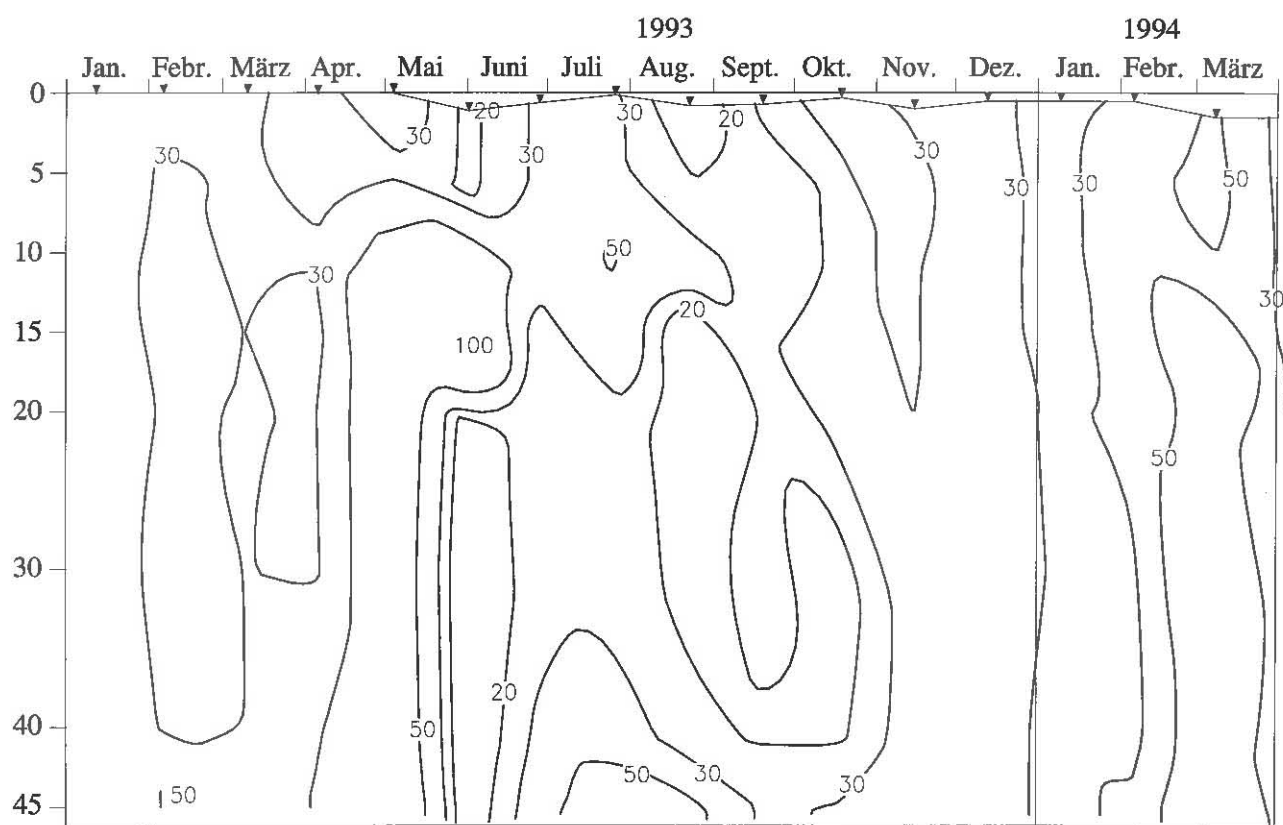


Abb. 64: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Silikat (mg/l)

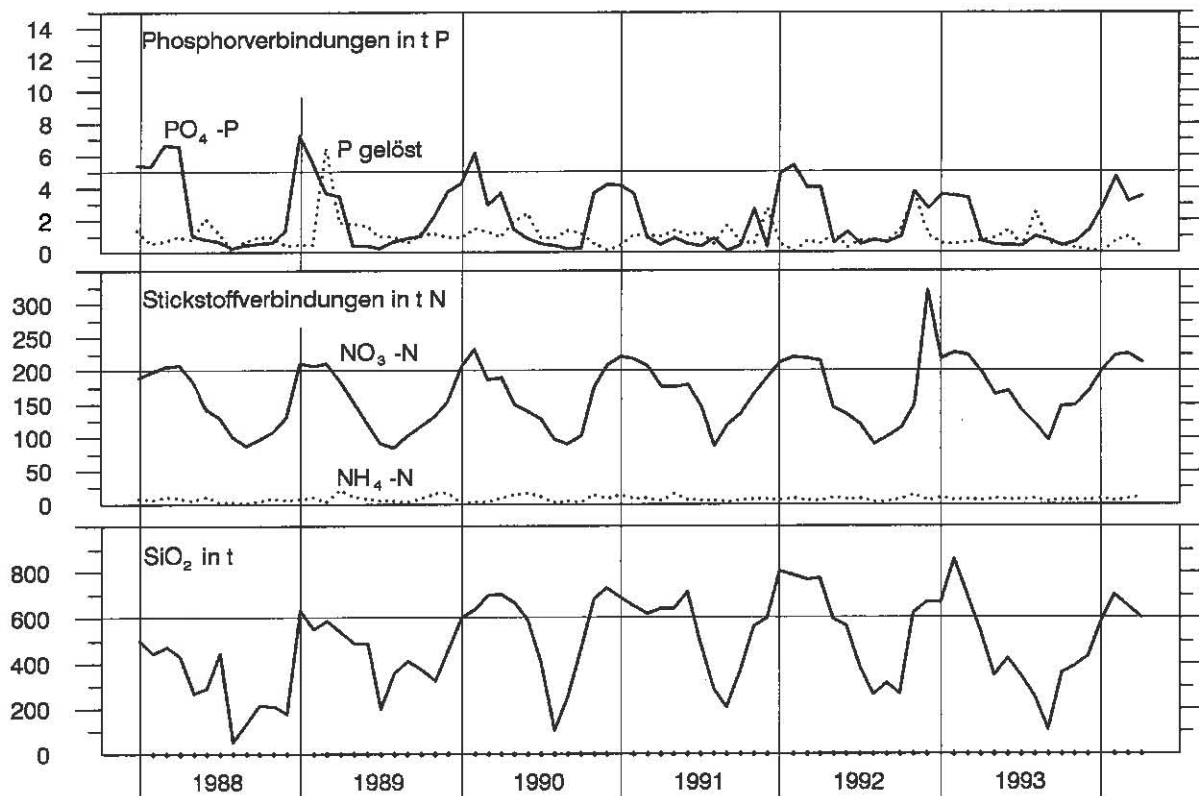


Abb. 65: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Nährstoffinhalt im Epilimnion 0–10 m Tiefe

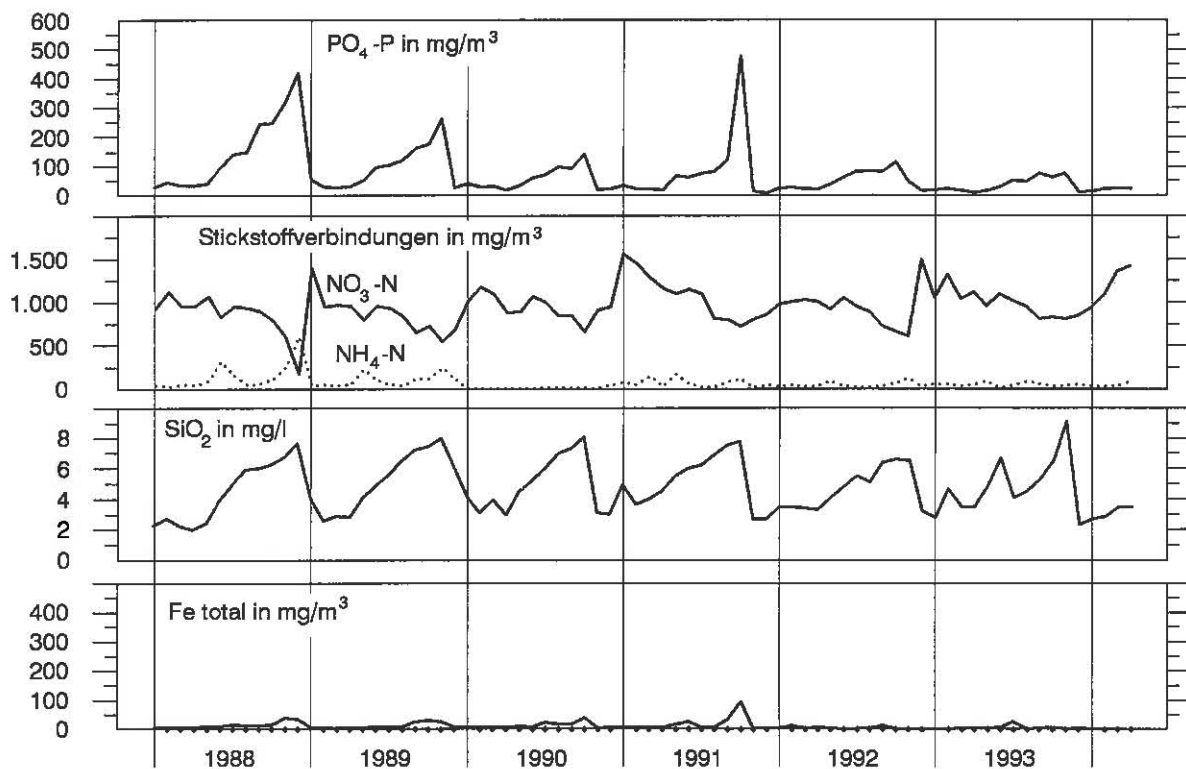


Abb. 66: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Nährstoffkonzentration in 46 m Tiefe

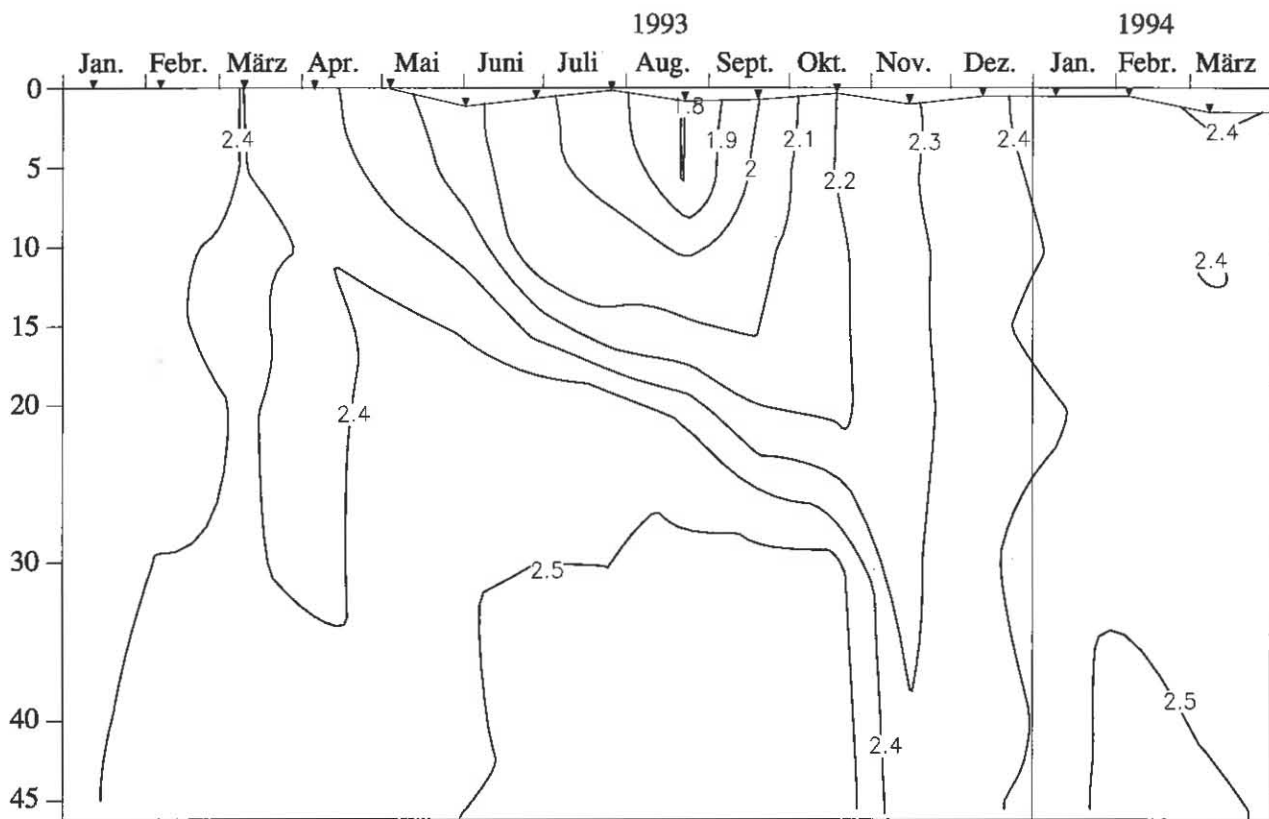


Abb. 67: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Anorganischer Kohlenstoff (mmol/l)

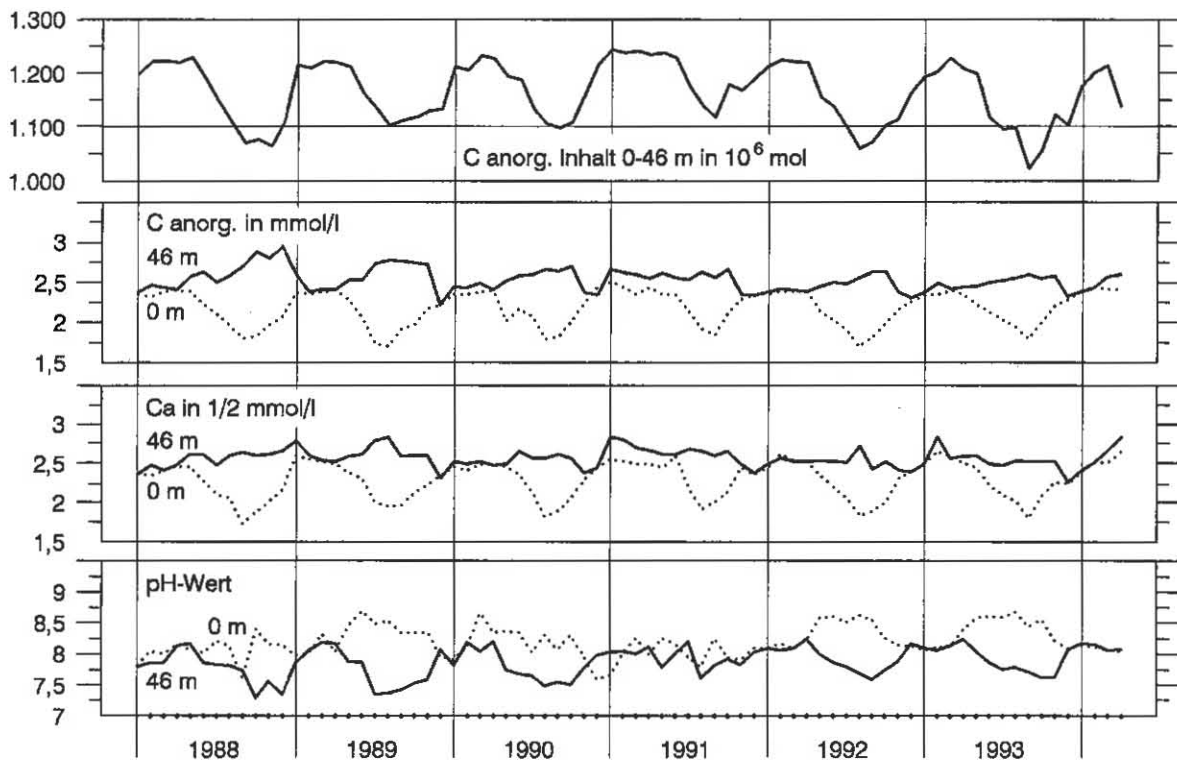


Abb. 68: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Anorganischer Kohlenstoff, Inhalt 0–46 m Tiefe;
Konzentrationen von anorg. Kohlenstoff, Calcium;
pH-Wert

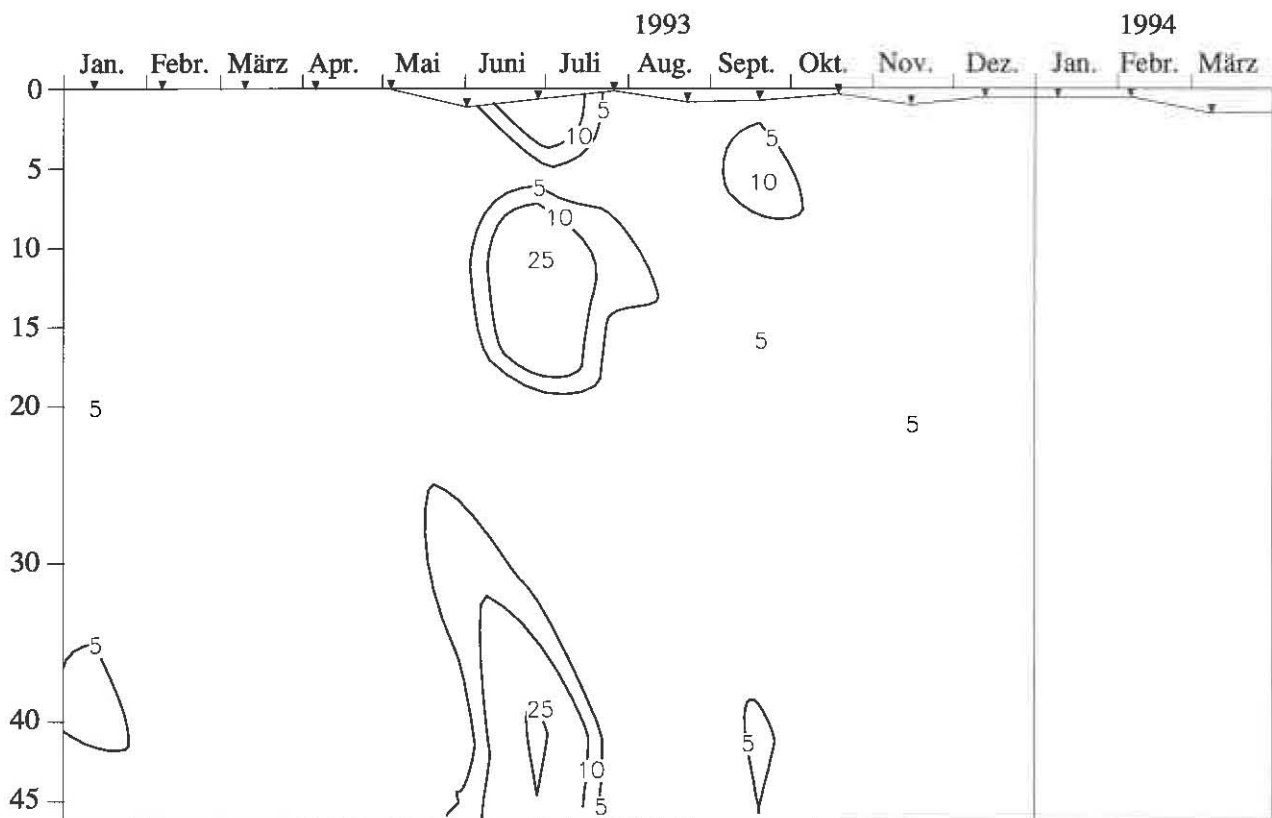


Abb. 69: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Konzentration von Eisen total (mg/m^3)

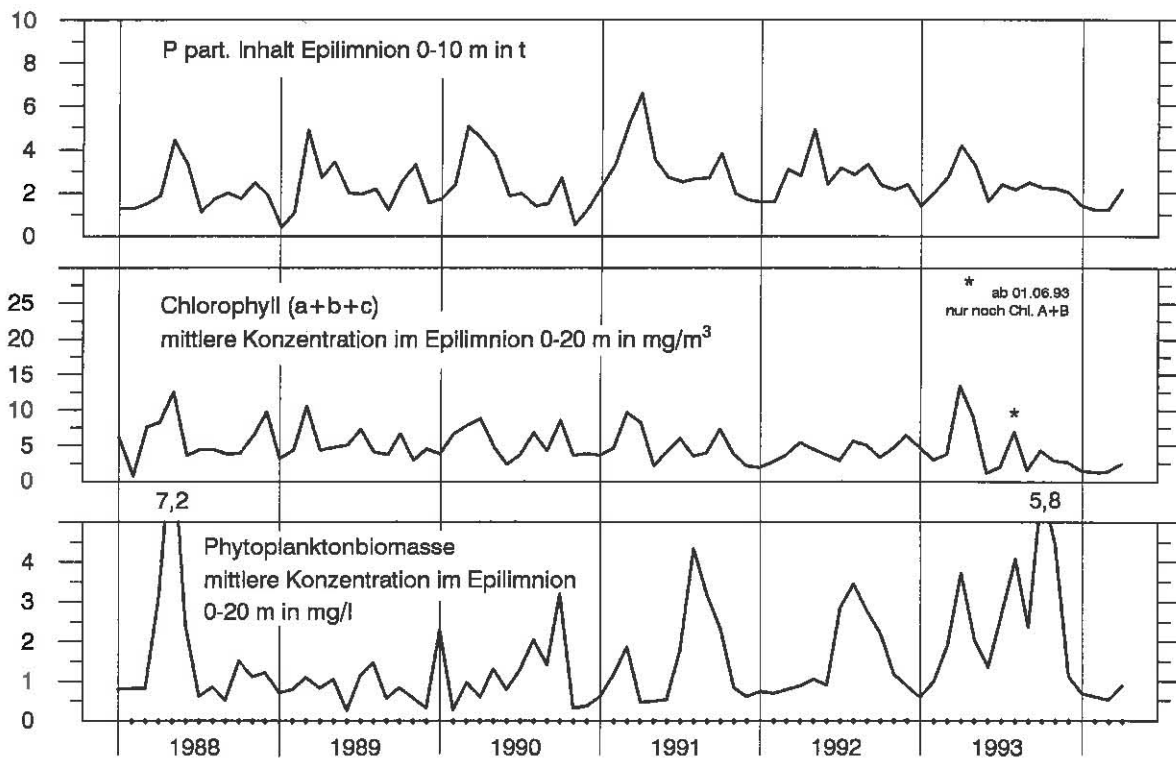


Abb. 70: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Phytoplanktonbiomasse und chemische Biomassenindikatoren

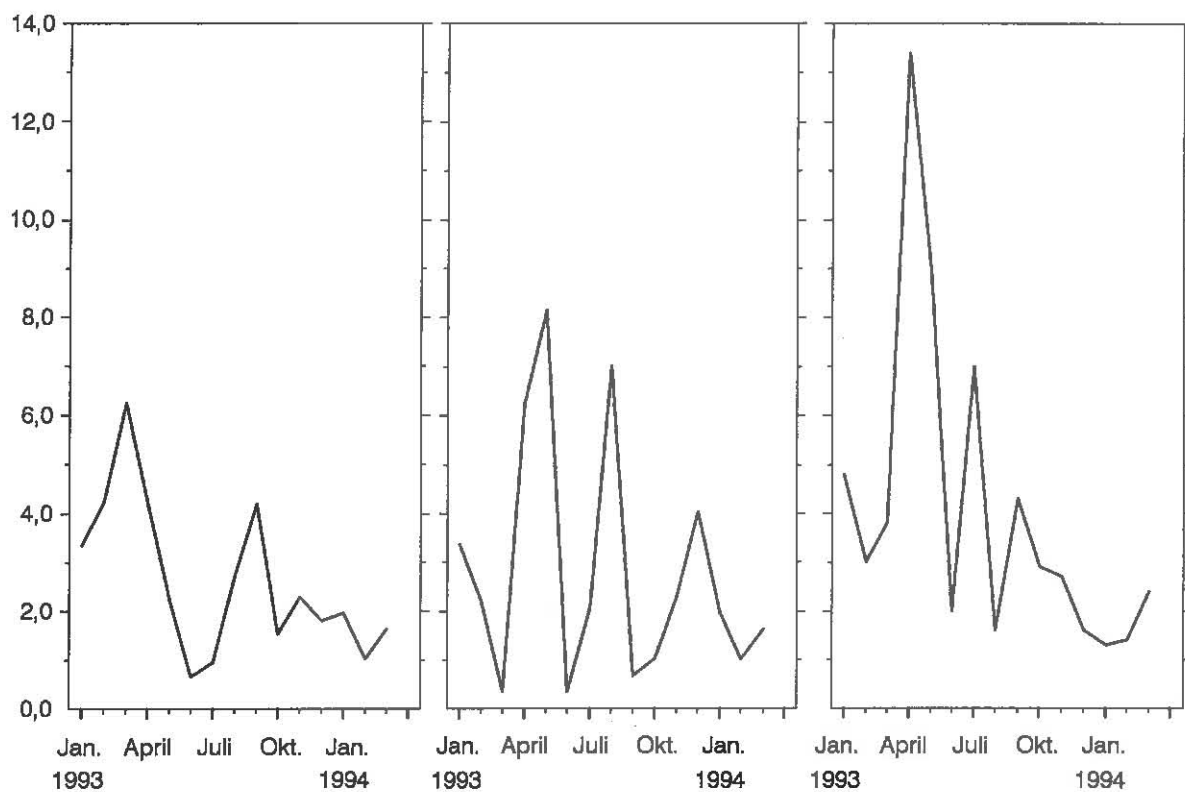


Abb. 71: Bodensee – Untersee:
Chlorophyll a + b + c im mg/m^3 im Gnadensee (links), Zellersee (Mitte)
und Rheinsee (rechts);
mittlere Konzentration 0–20 m Tiefe

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 1993 bis April 1994 an den Stationen Fischbach-Uttwil(F), Langenargen-Arbon(L), Bregenzer Bucht(B) und von Januar 1993 bis Januar 1994 an den Stationen Zellersee(Z) und Rheinsee bei Berlingen(R)

OBERSEE-STATIONEN

12.01.1993	F	L	B
20.01.			B
09.02.	F	L	
22.02.			B
09.03.	F	L	
22.03.			B
14.04.	F	L	
26.04			B
04.05.	F	L	
01.06.	F	L	
02.06.			B
29.06.			B
06.07.	F	L	
19.07.			B
04.08.	F	L	
31.08.			B
08.09	F	L	
20.09.			B
05.10.	F	L	
11.10.			B
02.11.	F	L	
22.11.			B
07.12.	F	L	
13.12.			B
12.01.1994	F	L	
31.01.			B
07.02.	F	L	
23.02.			B
08.03.	F	L	
21.03.			B
04.04.	F	L	
20.04.			B

UNTERSEE-STATIONEN

11.01.1993	Z
13.01.	R
02.02.	Z
08.02.	R
01.03.	Z
09.03.	R
29.03.	Z
05.04.	R
26.04.	Z
03.05.	R
24.05.	Z
01.06.	R
21.06.	Z
28.06.	R
12.07.	Z
26.07.	R
16.08.	Z
23.08.	R
06.09.	Z
20.09.	R
04.10.	Z
19.10.	R
02.11.	Z
16.11.	R
29.11.	Z
13.12.	R
09.01.1994	Z
10.01.	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° 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			R
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	B	Z	R
Phosphor total (im Rohwasser nach Aufschluß)	F	L	B	Z	R
Ammonium	F	L	B	Z	R
Nitrit	F	L	B	Z	R
Nitrat	F	L	B	Z	R
Kjeldahl-Stickstoff im Filtrat	F	L			
partikulärer Stickstoff direkt	F	L			
Chlorophyll (a+b+c) nach Goltermann	F			Z	R
Phaeophytin nach Goltermann	F			Z	R
Chlorid	F	L	B	Z	R
Sulfat	F	L	B	Z	R
Eisen total	F	L		Z	R*)
Mangan total	F	L			R*)
Natrium	F	L			R
Kalium	F	L			R
KMNO ₄ -Verbrauch	F	L	B		
UV-Extinktion (260 nm)	F	L		Z	

*) Rheinsee: Eisen, Mangan gelöst

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	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	
Summe der Kationen	F L B	Z R
Summe der Anionen	F L B	Z R

Tabelle 2: SEEKENNDATEN

Bodensee-Obersee (Fischbach-Uttwil), Seejahr 1993 (Meßdaten vom 14.04.93 bis 04.04.94)

IV bis XII: Monate 1993; I - III, IV-94: Monate 1994

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 14.04. 08.09. - Ende bis bis Seejahr 8.9. 04.04.94		
	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit	Beginn 14.04.93	Ende 04.04.94	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit			
Thermik (a) °C, (b) 10 ¹² Kcal	21,0 4,8	VIII II	4,6 4,5	VIII-XI,I,II, IV-94 IV-VI,XII,III	230	251	372 223	VII III	88,7 22,2	VII I	7,1 6,5	VII IV,VI,III	+ 21	- 2	+ 23
Sauerstoff (a) mg/l, (b) 10 ³ t	12,3 8,9	IV IX	10,1 5,0	IV-94 X,XI	518	532	532 435	IV-94 X	55 41	V IX	14,8 9,9	IV-94 XI	+ 14	- 76	+ 90
Orthophosphat -P (a) mg/m ³ , (b) t	23 1	III VI,VII	52 24	IX,XI IV-94	920	940	1110 720	III XII	100 4	III VI,VII	60 34	X,XI IV-94	+ 20	- 40	+ 60
Phosphor hydrolysierb. (a) mg/m ³ , (b) t	8 1	III IX,X	6 2	XI V,VI	137	171	328 83	III X	32 7	III IX	9,3 3,0	XI VII	+ 34	- 35	+ 69
Phosphor gelöst (a) mg/m ³ , (b) t	31 3	III VII,X	58 27	XI IV	1054	1111	1442 912	II XII	132 13	II VII	70 39	XI IV-94	+ 57	- 75	+132
Phosphor partikulär (a) mg/m ³ , (b) t	20 2	V VI,XII-III	11 1	I XI,XII,II	219	160	288 51	II XII	84 9	V XII,II,III	4 <1	VII VIII,III	- 59	- 75	+ 16
Phosphor total (a) mg/m ³ , (b) t	33 7	III VI	59 29	XI IV-94	1274	1269	1502 965	III XII	140 36	III VI	71 42	XI IV-94	- 5	- 51	+146
Nitrat-N (a) mg/m ³ , (b) t	1020 630	II VIII	1040 870	XII VIII	46361	45194	50313 45194	I IV-94	4346 2884	III IX	1616 1306	I VIII	-1167	-621	-546
Nitrit-N (a) mg/m ³ , (b) t	17 <1	VI I,III	4 1	VII VIII,I,III,IV-94	162	69	177 <1	VI I,III	61 <1	VIII I,III	5 <1	XI I,III,IV	- 93	- 21	- 72
Ammonium-N (a) mg/m ³ , (b) t	40 <1	VII I,IV-94	20 <1	VII-IX,I V,III,IV	450	63	968 63	VIII IV-94	141 33	VII IV-94	35 <1	I V,III,IV-94	- 387	+132	-519
Stickstoff partikulär (a) mg/m ³ , (b) t	110 <1	V,VII VI	30 <1	VII IX,XI,II	1213	791	4627 188	VII VI	457 43	V VI	50 <1	VII IX	- 422	-577	+155
Silikat (SiO₂) (a) mg/l, (b) 10 ³ t	3,2 0,4	II,III VIII	6,7 3,2	IX IV-94	126	125	176 119	II VIII	14 2	II VIII	7 4	XI IV-94	- 1	+ 8	- 9
Kalium (a) mg/l, (b) 10 ³ t	1,4 1,1	III XI	1,4 1,3	VIII,IX,XII-IV-94 IV-VII,X,XI	63,4	62,4	64,4 60,0	III XI	5,8 4,9	III XI	2,0 1,9	VIII,I-IV-94 IV-VII,IX-XII	- 1,0	- 2,6	+ 1,6
Natrium (a) mg/l, (b) 10 ³ t	4,5 3,4	IV-94 VIII,X	4,6 4,0	IV VIII	203	216	216 191	IV XII	20 15	IV VIII,X	6,6 6,0	IV VIII	+ 13	- 3	+ 16

Tabelle 3

Vergleich von Meßwerten der verschiedenen Teile des Bodensee-Obersees
 Seejahr 1993/94 an den Stationen Fischbach-Uttwil(F), Langenargen-Arbon(L)
 und Bregenzer Bucht(B)

Meßwerte in "0" m	F	L	B
Temperatur in °C			
Maximum	21,0	21,8	21,1
Minimum	4,5	4,8	4,6
Sauerstoff in mg O ₂ /l			
Maximum	12,3	13,2	13,7
Minimum	9,4	9,6	9,8
Leitfähigkeit bei 20° in $\mu\text{S cm}^{-1}$			
Maximum	293	293	327
Minimum	247	253	256
pH in pH-Einheiten			
Maximum	8,77	8,84	8,5
Minimum	7,9	8,07	7,8
Orthophosphat in mg PO ₄ -P/m ³			
Maximum	23	22	13
Minimum	1	1	2
Phosphor gelöst in mg P/m ³			
Maximum	30	29	16
Minimum	3	3	4
Phosphor total in mg P/m ³			
Maximum	32	30	44
Minimum	7	6	7
Nitrat in mg NO ₃ -N/m ³			
Maximum	1030	1050	990
Minimum	630	610	470
Ammonium in mg NH ₄ -N/m ³			
Maximum	30	20	40
Minimum	<1	<1	10
Eisen total in mg Fe/m ³			
Maximum	23	43	-,-
Minimum	7	6	-,-
Kohlenstoff anorg. in mmol C/l			
Maximum	2,52	2,48	-,-
Minimum	2,04	2,01	-,-
Phosphor partik. in mg P/m ³			
Maximum	21	18	36
Minimum	2	1	3
Stickstoff partik. in mg N/m ³			
Maximum	110	100	-,-
Minimum	<1	10	-,-

Meßwerte in Seebodennähe	F 250 m	L 200 m	B 60 m
Temperatur in °C			
Maximum	4,6	4,6	6,4
Minimum	4,5	4,5	4,3
Sauerstoff in mg O ₂ /l			
Maximum	10	8,7	11,6
Minimum	5	5,8	7,4
Leitfähigkeit bei 20° C µS/cm			
Maximum	302	306	342
Minimum	294	293	273
pH in pH-Einheiten			
Maximum	8,08	7,86	8,2
Minimum	7,66	7,63	7,8
Orthophosphat in mg PO ₄ -P/m ³			
Maximum	52	48	25
Minimum	25	33	8
Nitrat in mg NO ₃ -N/m ³			
Maximum	1051	1030	1420
Minimum	890	872	950
Ammonium in mg NH ₄ -N/m ³			
Maximum	20	20	60
Minimum	<1	<1	10
Eisen total in mg Fe/m ³			
Maximum	91	316	-, -
Minimum	8	6	-, -
Kohlenstoff anorg. in mmol C/l			
Maximum	2,78	2,77	-, -
Minimum	2,56	2,55	-, -
Phosphor total in mg P/m ³			
Maximum	59	84	51
Minimum	32	37	23

Tabelle 4: SEEKENNDATEN

Bodensee-Untersee (Zellersee), Seejahr 1993 (Meßwerte vom 11.01.93 - 09.01.94)

I - XII: Monate 1993; I-94: Januar 1994

Parameter	Messwerte (a)				Stoffinhalt (b)						Stoffbilanz (b)		
	Epilimnion (0 - 10 m)		Seebodennähe (1 m über Grund)		See total Seejahr				Epilimnion (0 - 10 m)		Beginn 11.01. 12.07. - Ende bis bis Seejahr 12.07. 09.01.94		
	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit	Beginn 11.01.93	Ende 09.01.94	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit			
Thermik (a) °C, (b) 10 ⁹ kcal	22,7 3,0	VIII I	9,7 3,5	X, XI I, III	573	876	3519 573	VIII I	2251 353	VIII III	+303	+2684	-2381
Sauerstoff (a) mg/l, (b) t	13,3 8,4	III X	12,1 0,8	III IX	2137	2124	2435 1400	IV IX	1409 897	III X	- 13	- 639	+ 626
Orthophosphat-P (a) mg/m ³ , (b) t	26 <1	XI, XII IV, VII	320 2	X III, IV	3,6	4,2	5,7 <0,1	XI IV	2,8 <0,1	XI, XII IV, VII	+ 0,6	- 2,4	+ 3
Phosphor hydrolysierb. (a) mg/m ³ , (b) t	8 3	II, III, XI IV	26 3	X IV	1,2	1,3	1,5 0,6	X-XI IV	0,8 0,3	II, III, XI, XII IV	+ 0,1	+ 0,1	+ 0
Phosphor gelöst (a) mg/m ³ , (b) t	34 3	XI, XII IV	346 5	X IV	4,7	5,5	7,1 0,6	XI IV	3,6 0,3	XI IV	+ 0,8	- 2,3	+ 3,1
Phosphor partikul. (a) mg/m ³ , (b) t	21 6	III XI, I-94	50 8	VIII V	1,2	1,3	3,6 1,2	III I, I-94	2,0 0,6	VIII I	+ 0,1	+ 1,2	- 1,1
Phosphor total (a) mg/m ³ , (b) t	42 16	XII V	377 27	X III	6,0	6,7	8,4 3,7	XI IV	4,4 1,9	XII IV	+ 0,7	- 1,1	+ 1,8
Nitrat-N (a) mg/m ³ , (b) t	1490 560	I-94 VIII	2370 330	I-94 IX	256	294	294 119	I-94 VIII	156 64	I-94 VIII	+ 38	- 111	+ 149
Nitrit-N (a) mg/m ³ , (b) t	25 6	XI IV	135 8	VI IV	2,6	4,1	4,8 1,2	XI IV	2,6 0,7	XI IV	+ 1,5	+ 0	+ 1,5
Ammonium-N (a) mg/m ³ , (b) t	10 10	I-I-94 I-I-94	920 10	IX I, II, III, XII	1,9	1,9	8,4 1,9	IX I, II, XII, I-94	1,1 1,1	I-I-94 I-I-94	+ 0	+ 3	- 3
Silikat (SiO ₂) (a) mg/l, (b) t	3,0 0,7	I, II VIII	7,1 2,0	X IV	580	575	580 191	I IV	320 85	II VIII	- 5	- 309	+ 304
Calcium (a) mg/l, (b) t	52,5 38,5	II, III VIII	62,5 50,1	I-94 XI	9630	9800	9880 7660	III IX	5610 4180	II, III IX	+170	-1550	+1720
Magnesium (a) mg/l, (b) t	7,8 7,1	VII, VIII, XI V	8,5 7,3	VIII V	1370	1370	1460 1330	VII V	820 750	VII V	+ 0	+ 90	- 90
Chlorid (a) mg/l, (b) t	10,2 5,3	III VIII	17,6 9,3	III IX	1420	1850	1940 1050	III VIII	1030 570	III VIII	+430	- 290	+ 720

Parameter	Messwerte (a)				Stoffinhalt (b)						Stoffbilanz (b)		
	Epilimnion (0 - 10 m)		Seebodennähe (1 m über Grund)		See total Seejahr				Epilimnion (0 - 10 m)		Beginn 11.01. 12.07. - Ende bis bis Seejahr 12.07. 09.01.94		
	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit	Beginn 11.01.93	Ende 09.01.94	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit			
Eisen total (a) mg/m ³ , (b) t	34 20	III VI	516 40	VII III	5,0	7,3	7,3 4,5	I-94 VI, XII	3,5 2,5	III XII	+ 2,3 + 1,4 + 0,9		
Kohlenstoff anorg. (a) mg/l, (b) t	30,5 22,9	III IX	35,9 30,9	I-94 IV	5667	5616	5722 4613	III IX	3236 2482	III IX	- 51 -802 +751		
Alkalinität (a) mmol/l, (b) 10 ³ kmol	2,54 1,91	III IX	2,95 2,52	I-94 V	464	463	476 381	III IX	269 207	III IX	- 1 - 63 + 62		
UV-Extinktion 260 nm, d = 5 cm	0,585 0,410	II VII	0,785 0,550	I-94 VIII									
elektr. Leitfähigkeit (a) µS cm ⁻¹ , 20°C	327 236	III VIII	384 308	I IV									
pH-Wert	8,47 7,98	VIII XI	8,22 7,61	III X									
Chlorophyll (a+b+c) Mittelw. 0-20 m, mg/m ³	8,2 0,4	IV III											

Tabelle 5: SEEKENNDATEN

Bodensee-Untersee (Rheinsee, Berlingen) Seejahr 1993 (Meßdaten vom 13.01.93 - 10.01.94)

I - XII: Monate 1993; I-94: Januar 1994

Parameter	Messwerte (a)				Stoffinhalt (b)						Stoffbilanz (b)		
	Epilimnion (0 - 10 m)		Seebodennähe (1 m über Grund)		See total Seejahr			Epilimnion (0 - 10 m)		Beginn 13.01. 26.07. - Ende bis bis Seejahr 26.07. 10.01.94			
	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit	Beginn 13.01.93	Ende 10.01.94	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit			
Thermik (a) °C, (b) 10 ⁹ kcal	24,5 3,5	VIII III	7,7 3,3	IX, X III	2140	2230	8680 2140	VIII I	4840 960	VIII I-94	+ 90	+5130	-5040
Sauerstoff (a) mg/l, (b) t	13,4 7,9	IV VIII	11,7 1,1	III X	5800	5500	6710 3330	IV VIII	2880 1980	IV VIII, X	-300	-1760	+1460
Orthophosphat-P (a) mg/m ³ , (b) t	22 1	I-94 VI, IX	76 8	X IV	8,5	11,0	11,0 1,4	I-94 V	4,7 0,4	I-94 VI, IX	+ 2,5	- 2,4	+ 4,9
Phosphor hydrolysiert (a) mg/m ³ , (b) t	14 <1	VII VI, XI, X	19 <1	VII IV, VIII, IX	1,2	1,5	7,8 0,3	VII XI, XII	2,5 <0,1	VII XII	+ 0,3	+ 6,6	- 6,3
Phosphor gelöst (a) mg/m ³ , (b) t	26 1	I VI	82 8	X IV	9,7	12,5	13,9 3,3	VII V	5,4 0,7	I-94 VI	+ 2,8	+ 4,2	- 1,4
Phosphor partikul. (a) mg/m ³ , (b) t	21 5	IV, V I, VI, I-94	36 5	VIII I, VI	2,7	3,0	9,9 2,7	IV I	4,4 1,2	IV I-94	+ 0,3	+ 1,7	- 1,4
Phosphor total (a) mg/m ³ , (b) t	32 9	III, I-94 VI	110 21	VIII XII	12,4	15,5	18,2 8,0	VII XI	6,7 3,1	III VI, IX, X	+ 3,1	+ 5,8	- 2,7
Nitrat-N (a) mg/m ³ , (b) t	1060 420	II, I-94 VIII	1320 810	II VIII	520	530	550 300	II VIII	230 100	II VIII	+ 10	- 160	+ 170
Nitrit-N (a) mg/m ³ , (b) t	26 5	VI I, IV	20 1	V VII	2,8	5,9	12,0 2,8	VI I	3,7 1,1	XII IV	+ 3,1	+ 1,7	+ 1,4
Ammonium-N (a) mg/m ³ , (b) t	77 9	VI VIII	84 11	V VI	22,9	12,2	30,1 8,7	V VIII	9,7 4,4	I VIII	- 10,7	- 4,1	- 6,6
Silikat (SiO ₂) (a) mg/l, (b) t	4,1 0,4	II VIII	9,1 2,8	X I	1530	1550	2010 740	II VIII	860 110	II VIII	+ 20	- 540	+ 560
Calcium (a) mg/l, (b) t	53,9 36,1	II VIII	56,9 45,3	II XI	25,3	24,9	27,2 20,4	II VIII	11,5 7,8	II VIII	- 0,4	- 2,7	+ 2,3
Magnesium (a) mg/l, (b) t	9,8 7,7	VI IX	9,6 7,8	VI XI	4,1	4,3	4,6 3,8	VII XI	2,0 1,6	VI XI	+ 0,2	+ 0,5	- 0,3
Chlorid (a) mg/l, (b) t	7,0 4,0	VI VII	9,4 5,0	III XI	3040	3430	3560 2440	V VI	1430 900	V VI	+390	- 130	+ 520

[illegible]

Tabelle 6

Vergleich von Meßwerten der verschiedenen Teile des Bodensee-Untersees
 Seejahr 1993/94 an den Stationen Zellersee(Z), Rheinsee Station Berlingen(R)

Meßwerte in "0" m	Z	R
Temperatur in °C		
Maximum	22,7	24,5
Minimum	3,0	3,9
Sauerstoff in mg O ₂ /l		
Maximum	13,30	13,31
Minimum	8,45	9,25
pH in pH-Einheiten		
Maximum	8,47	8,67
Minimum	7,98	8,04
Orthophosphat in mg PO ₄ -P/m ³		
Maximum	26	22
Minimum	<1	1
Phosphor partikulär in mg P/m ³		
Maximum	21	20
Minimum	6	5
Nitrat in mg NO ₃ -N/m ³		
Maximum	1510	1090
Minimum	560	420
Ammonium in mg NH ₄ -N/m ³		
Maximum	10	53
Minimum	10	9
Eisen total in mg Fe/m ³		
Maximum	37	23
Minimum	25	1

Tabelle 6

Meßwerte in Seebodennähe	Z 22-24 m ⁺)	R 44-46 m ⁺)
Temperatur in °C		
Maximum	9,7	7,7
Minimum	3,5	6,0
Sauerstoff in mg O ₂ /l		
Maximum	12,24	6,42
Minimum	0,84	1,12
pH in pH-Einheiten		
Maximum	8,22	7,87
Minimum	7,61	7,62
Orthophosphat in mg PO ₄ -P/m ³		
Maximum	320	76
Minimum	2	27
Nitrat in mg NO ₃ -N/m ³		
Maximum	2570	1090
Minimum	330	810
Ammonium in mg NH ₄ -N/m ³		
Maximum	920	76
Minimum	10	11
Eisen total in mg Fe/m ³		
Maximum	516	24
Minimum	28	1

+je nach Seewasserstand

Anhang

UNTERSUCHUNGEN ÜBER DEN SEEBODENZUSTAND 1992 - 94

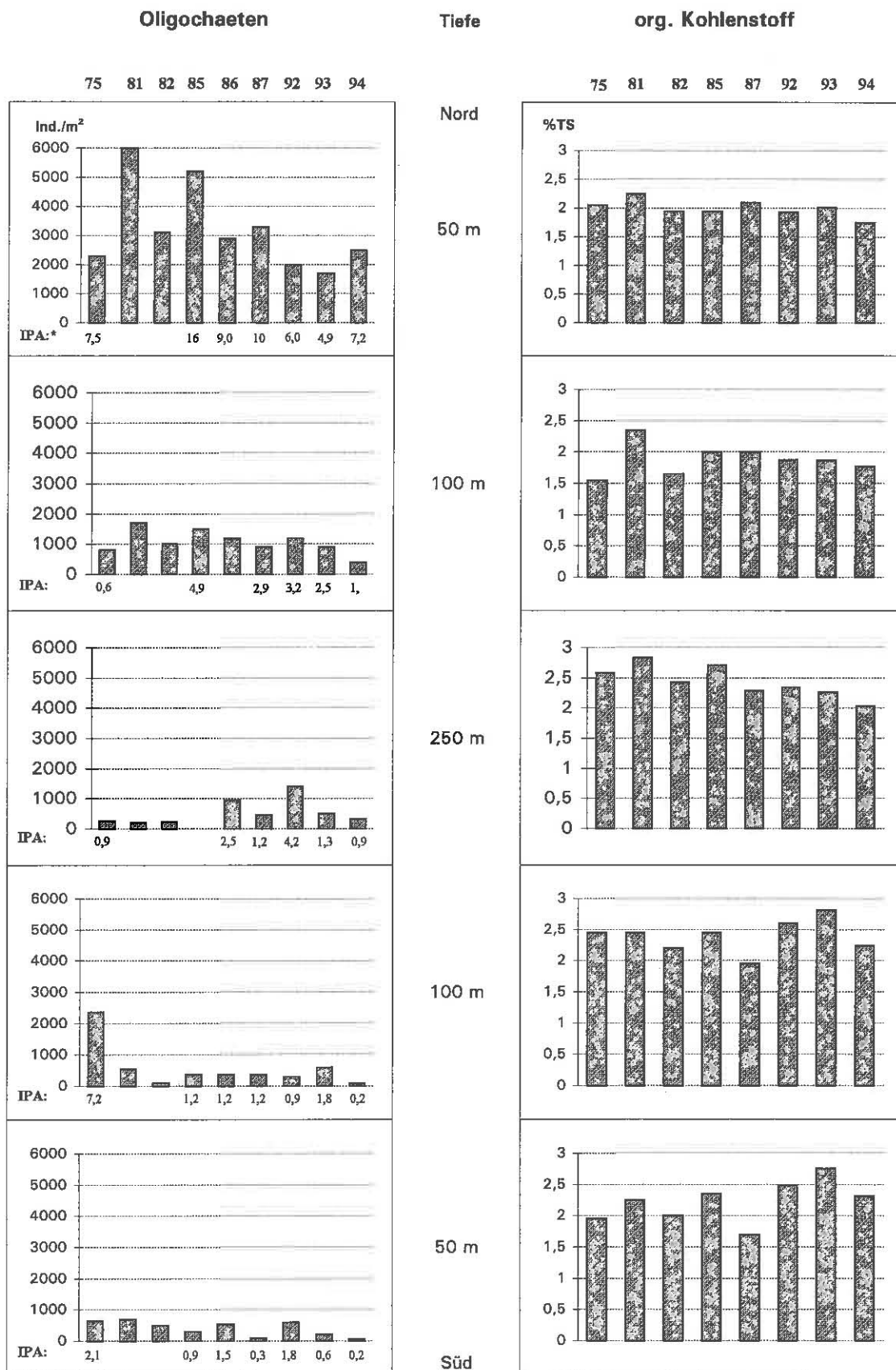
Der Seeboden wurde seit 1992 nach einem neuen Routineuntersuchungsprogramm nur mehr an einem Grundprofil bei der größten Tiefe quer über den See untersucht (Abb. 1). Dieses Querprofil mit fünf Probenahmestellen in den Wassertiefen 50, 100, und 250 m liegt etwa auf den früheren Profilen Nr. 31 (Seemoos) im Norden und Nr. 115 (Uttwil) im Süden (vgl. Jber. Int. Gewässerschutzkomm. Bodensee: Limnol. Zust. Nr. 16, 1990). Das Profil wurde als repräsentativ für die Beurteilung des gesamten Sees ausgewählt und läßt deshalb keine Aussagen über lokale Belastungen zu. Auf eine Probenahme im Untersee wurde vorläufig verzichtet.

Neben der sedimentologischen und physikalisch-chemischen Charakterisierung der Sedimente sowie der Erfassung der Oligochaeten wird der Seebodenzustand vermehrt auch auf Stoffumsetzungen und ihre Folgen überwacht. Die Gesamtergebnisse, in denen auch weitere Parameter, wie z.B. verschiedene Phosphorfraktionen enthalten sind, werden Gegenstand einer eigenen IGKB-Veröffentlichung sein. Um jedoch die fortlaufende Bewertung der Belastung des Seebodens weiterzuführen, werden die Ergebnisse der Untersuchungen 1992 bis 1994 in bisher üblicher Weise auf der Basis des organischen Kohlenstoffgehalts sowie der Individuendichte und Artenzusammensetzung der Oligochaeten (Belastungsindex I_{PA} , vgl. IGKB-Bericht Nr. 38, 1988) dargestellt. Die Individuendichte der Chironomiden wurde nicht mehr in die Abbildung aufgenommen, weil die aussagekräftigeren Proben aus geringeren Wassertiefen nicht mehr erhoben wurden. Es zeigen sich insbesondere beim Belastungsindex I_{PA} deutliche Unterschiede zwischen dem Nordufer und dem Südufer, die vermutlich auf überwiegend allochthone Sedimentationsverhältnisse im Norden (Einfluß des Alpenrheins) und überwiegend autochthon verursachte Sedimentation im Süden hinweisen. Diese Beobachtung wird auch durch weitere oben erwähnte Parameter bestätigt. Insgesamt ist für den Bodensee im Vergleich mit den bisherigen Untersuchungen aufgrund einer statistischen Analyse kein signifikanter Trend in der Seebodenbelastung abzulesen (Abb. 72).

Abb. 72

Bodensee- Obersee, Seebodenprofil Fischbach- Uttwil:

Oligochaeten und org. Kohlenstoff in Sediment bei verschiedenen Wassertiefen



* IPA- Index gemäß IGKB- Bericht Nr. 38 (1988):
bis 0,8 geringe; 0,9 bis 10 mittlere; über 10 starke Belastung

Grundprofil: seit 1992: Fischbach- Uttwil; Vergleichswerte bis 1987: IGKB- Bericht 10 und 16
Profil 115, 50, 100, 250 m Süd; Profil 31, 100 und 50 m Nord

AUSKÜNFTE

Baden-Württemberg:

Ministerium für Umwelt
Baden-Württemberg
Kernerplatz 9

D-70182 Stuttgart

Bayern:

Bayerisches Landesamt für
Wasserwirtschaft
Lazarettstraße 67

D-80636 München

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:

Siegl-Druck GmbH · 88046 Friedrichshafen · Adelheidstraße 26-28 · Telefon (075 41) 92 07-0

Dieser Bericht wurde auf chlorfrei gebleichtem Papier gedruckt.