

**Internationale Gewässerschutzkommission
für den
Bodensee**

Limnologischer Zustand des Bodensees

Nr. 26

Jahresbericht Januar 1998 bis März 1999

-Untersuchungsprogramm Freiwasser, Zuflußuntersuchungen-

ISSN 1011-1271

ISSN 1011-1271 Jber.Int.Gewässerschutzkomm. Bodensee: Limnol.Zust.Bodensee
26 (2000)

**Internationale Gewässerschutzkommission
für den
Bodensee**

Limnologischer Zustand des Bodensees

Nr. 26

Jahresbericht Januar 1998 bis März 1999

-Untersuchungsprogramm Freiwasser, Zufußuntersuchungen-

Bearbeiter: H. Müller

-2000-

VORWORT

Der vorliegende Bericht der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB) enthält die Ergebnisse der regelmäßigen limnologischen Freiwasseruntersuchungen des Bodensees im Jahr 1998 / 99. 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 Bühler, Dübendorf
Dr. Hans-Rudolf Bürgi, Dübendorf
Mag. Dieter Buhmann, Bregenz
Dipl. nat. ETH Heinz Ehmman, Frauenfeld
Dr. Hans Güde, Langenargen
Dr. Harald Hetzenauer, Langenargen
Dr. Eckart Hollan, Langenargen
Dr. Reiner Kümmerlin, Langenargen
Dipl.-Inform. Günther Kuhn, Langenargen (EDV)
Dr. Helmut Müller, Langenargen (Vorsitz Fachbereich See)
Dr. Henno Roßknecht, Langenargen
Dr. Hans Bernd Stich, Langenargen

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

Umweltinstitut des Landes Vorarlberg in Bregenz:
Untersuchungen des Chemismus in der Bregenzer Bucht.

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

Amt für Umwelt 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; Datenverarbeitung und Berichterstattung

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

Inhalt

	Abb.	Seite	Tab.	Seite
Einleitung				6
Zustandsbeschreibung für das Seejahr				7
	1	15	1	56
 Langfristige Entwicklung von				
Phosphor (Obersee)	2A	16		
Sauerstoff (Obersee)	2B	16		
Chlorid (Obersee)	2C	16		
Stickstoff (Obersee)	2C	16		
Phytoplankton (Obersee)	3	17		
Zooplankton (Obersee)	4	18		
Phytoplankton (Untersee, Zellersee)	5	19		
 Obersee				
Abbildungen und Tabellen	Abb.	Seite	Tab.	Seite
Witterung	6	20		
Wasserstände	7	20		
Thermik	8	21	2	60
	9	21	2	60
Sauerstoff	10	22	2	60
	11	22	2	60
Orthophosphat	12	23	2	60
	15	24	2	60
	23	28	2	60
Andere Phosphorverbindungen	13	23	2	60
	14	24	2	60
	15	24	2	60
	23	28	2	60
	24	29	2	60
Nährstoffinhalte	15	24	2	60
	23	28	2	60
Nitrat	16	25	2	60
	23	28	2	60
Nitrit	17	25	2	60
	23	28	2	60
Ammonium	18	26	2	60
	23	28	2	60
Stickstoff partikulär	19	26	2	60
	24	29	2	60
Silikat	20	27	2	60
	23	28	2	60
Anorganische Kohlenstoffverbindungen und Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht	21	27	2	60
	22	28	2	60
	23	28	2	60

	Abb.	Seite	Tab.	Seite
Eisen und Mangan	25	29	2	60
Weitere Stoffdaten			2	60
Phytoplankton	26	30		
	27	31		
Zooplankton	28	32		
	29	33		
	30	34		
Bakterienplankton	31	35		

Untersee	Zellersee			Rheinsee				
Abbildungen und Tabellen	Abb.	Seite	Tab.	Seite	Abb.	Seite	Tab.	Seite
Thermik	32	36	4	64	52	47	5	66
	33	36			53	47		
Sauerstoff	34	37	4	64	54	48	5	66
	35	37			55	48		
Orthophosphat	36	38	4	64	56	49	5	66
	39	39			59	51		
	44	42			64	53		
	45	42			65	53		
Andere Phosphorverbindungen	37	38	4	64	57	49	5	66
	38	39			58	50		
	39	39			59	50		
	44	42			64	53		
Nährstoffinhalte	39	39	4	64	59	50	5	66
	44	42			64	53		
Nitrat	39	39	4	64	59	50	5	66
	40	40			60	51		
	44	42			64	53		
	45	42			65	53		
Nitrit	41	40	4	64	61	51	5	66
	39	39	4	64	59	50	5	66
Ammonium	42	41			62	52		
	44	42			64	53		
	45	42			65	53		
	43	41	4	64	63	52	5	66
Silikat	44	42						
	45	42						
	46	43	4	64	66	54	5	66
Anorganische Kohlenstoff- Verbindungen und Kalk- Kohlensäure-Gleichgewicht	47	43			67	54		

	Abb.	Seite	Tab.	Seite	Abb.	Seite	Tab.	Seite
Eisen	45	42	4	64			5	66
	48	44						
Weitere Stoffdaten			4	64			5	66
Phytoplankton	49	44	4	64	68	55	5	66
	50	45			69	55		
	51	46						

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

Obersee							3	62
Untersee							6	68

Anhang 1

Ergebnisse der Zuflußuntersuchungen 1996/97 und des Stofffluß- Modells 1996/97								69
---	--	--	--	--	--	--	--	----

Anhang 2

Programm für die Langzeituntersuchungen im Freiwasser des Bodensees ab Januar 2000								77
---	--	--	--	--	--	--	--	----

Auskünfte

81

EINLEITUNG

Der Bericht zum Seejahr 1998/99 enthält eine kurze Beschreibung und Bewertung des aktuellen Seezustandes, ergänzt durch die Darstellung der langfristigen Entwicklung der wichtigsten Größen. Sie werden von Jahr zu Jahr fortgeschrieben.

Die dann folgenden Abbildungen und Tabellen geben eine Übersicht über Örtlichkeiten, Wassertiefe und Zeitpunkt der Probenahme und Messungen sowie über 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. Zur langjährigen chemischen und biologischen Entwicklung im Freiwasser des Bodensees wird auf die Blauen Berichte Nr.37 (1987:Crustaceenplankton), 39 (1989: Phytoplankton) und 48 (1998: chemische Parameter im Bodensee-Obersee) verwiesen.

ZUSTANDSBESCHREIBUNG FÜR DAS SEEJAHR

1998/1999

Bodensee - Obersee:

Zusammenfassend ist festzustellen, daß die Phosphorkonzentration im Seejahr 1998/99 erneut leicht abnahm und im Frühjahr 1999 noch 15 mg/m^3 betrug (1998: 17 mg/m^3). Der Gehalt an anorganischem Stickstoff - hauptsächlich Nitrat - nahm von $0,97$ auf $0,94 \text{ g/m}^3$ unwesentlich ab. Die Biomasse des Phytoplanktons lag 1998 mit $12,6 \text{ g/m}^2$ geringfügig unter dem Vorjahreswert ($13,3 \text{ g/m}^2$). Die Sauerstoffgehalte im tiefen Hypolimnion lagen von Januar 1998 bis Anfang Februar 1999 nahezu ständig unter den Werten des selben Zeitraumes ein Jahr zuvor. Infolge kalter und windreicher Witterung stiegen sie jedoch im Verlaufe des Februars stark an. Sie erreichten Ende Februar Konzentrationen um 11 g/m^3 und damit so hohe Werte, wie seit 15 Jahren nicht mehr. Der herbstliche Minimalwert in einem Meter über Grund war 1998 mit $6,1 \text{ g/m}^3$ etwas niedriger als 1997.

Die **hydrologische Situation** im Seejahr 1998/99 war vor allem von einer starken Einmischung sauerstoffreicher Oberflächenwässer in große Seetiefen Ende Februar 1999 gekennzeichnet. Ein ähnlich tiefgreifender Wasseraustausch fand bereits in den sehr kalten Wintern 1995/96 und 1996/97 statt, gefolgt vom relativ milden Winter 1997/98 mit eher schwachem vertikalem Wasseraustausch. Dieses Verhalten ist der Akkumulation der Tage mittlerer Lufttemperatur unter 0°C zuzuordnen. Ihre Anzahl betrug in der Reihenfolge der Jahre ab 1996 bis zum letzten Winter 63, 38, 24 und 44 Tage.

Die Lufttemperaturen im Frühling und Sommer 1998 lagen im monatlichen Mittel überwiegend über den langjährigen Werten. Dadurch ergab sich trotz des kälteren Winters eine um $0,2^\circ\text{C}$ höhere Jahresmitteltemperatur als im Vorjahr.

Die Oberflächentemperatur des Sees erreichte am Ende der letzten hochsommerlichen Warmphase am 20.8.1998 ein Maximum von $23,0^\circ\text{C}$, das nur geringfügig kleiner als das vorige Ende August 1997 war. Wegen der überdurchschnittlich kalten Periode ab September nahm die Oberflächentemperatur bis Mitte Dezember auf $6,1^\circ\text{C}$ ab (1997: $6,7^\circ\text{C}$). Das Minimum trat Ende Februar ein und betrug $4,4^\circ\text{C}$. Im Laufe des März bildete sich durch wärmere Lufttemperaturen eine schwache neue Deckschicht bis in 18 m Tiefe aus.

Die bodennahe Wassertemperatur war seit der vorletzten Zirkulation Anfang Februar 1997 allmählich von $4,30^\circ\text{C}$ bis zu einem Maximum von $4,63^\circ\text{C}$ Mitte Februar 1999 angestiegen. Darin spiegelt sich der geringe Auskühlungseffekt im vorangegangenen Seejahr 1997/98 wider.

Der Wasseraustausch im Hypolimnion bis in die größte Seetiefe trat innerhalb weniger Tage vor dem Temperaturminimum an der Wasseroberfläche Ende Februar 1999 ein.

Dies erfolgte überwiegend durch see-eigene kalte Zuströmungen von den Randbereichen her und führte zu einer raschen Auskühlung der bodennahen Wasserschicht bis zu einem absoluten Minimum von 4,14°C. Im Verlauf des März bestanden relativ unruhige Schichtungsverhältnisse durch intermediäre Kaltwasserschichten mit mindestens 4,28°C im unteren Teil des Hypolimnions fort. Am Ende des Seejahres hatte sich jedoch in der bodenaufliegenden Wasserschicht bereits wieder eine Temperatur von 4,38°C eingestellt.

Die Konzentration des **Gesamtphosphors** im Rohwasser betrug im Frühjahr 1999 während der Monate Februar bis April im Mittel 15 mg/m³ (Abb. 2A, Konzentration während der Vollzirkulation). Damit hat sich die Phosphorabnahme der letzten Jahre fortgesetzt (Frühjahr 1998: 17 mg/m³; 1997: 18 mg/m³; 1996: 22 mg/m³).

Der **Orthophosphat-Phosphor** lag von Anfang Juli bis Ende Oktober 1998 in den Meßtiefen zwischen 0 und 30 m fast immer unter 2 mg/m³.

Der **anorganische Stickstoff** (N aus NO₃⁻ + NO₂⁻ + NH₄⁺) mit Nitrat als Hauptkomponente lag 1998 im volumengewichteten Jahresmittel mit 0,94 g/m³ nur geringfügig unter dem Niveau des Vorjahres (1997: 0,98 g/m³; Abb. 2C).

Chlorid als Indikator vielfältiger Salzbelastungen erreichte 1998 im volumengewichteten Jahresmittel mit 5,0 g/m³ den gleichen Wert wie im Vorjahr (Abb. 2C).

Die **Sauerstoffgehalte** lagen von Anfang Januar 1998 bis Anfang Februar 1999 im tiefen Hypolimnion des Obersees von 200 - 253 m Tiefe fast durchweg niedriger als im gleichen Zeitraum ein Jahr davor. Im Verlauf des kalten und windreichen Februar 1999 nahmen die Konzentrationen dann aber erheblich zu. Sie erreichten Werte, die selbst die relativ hohen Gehalte von 1996 übertrafen und in dieser Höhe seit 15 Jahren nicht mehr gemessen worden waren. Der Grund dafür lag in dem oben beschriebenen Absinken stark abgekühlten Wassers aus randständigen oberen Seebereichen bis in die größte Seetiefe. Dadurch wurden die zentralen, tiefen Seebereiche mit sauerstoffreichem Wasser versorgt, obwohl die Vertikalzirkulation nicht bis in diese Tiefen vorgedrungen war.

Demzufolge lag auch der durchschnittliche Sauerstoffinhalt des Obersees in den Monaten März und April 1999 mit 529.000 Tonnen deutlich höher als im Vorjahr mit 501.000 Tonnen.

Die niedrigste einen Meter über Grund gemessene Sauerstoffkonzentration betrug 6,1 g/m³ und wurde im Oktober erreicht (Abb. 2B). Obwohl dieser Wert geringfügig (um 0,4 g/m³) unter jenem von 1997 lag, ist dies ein beachtliches Ergebnis. Denn das Seejahr 1998 begann mit einem erheblichen Sauerstoffdefizit. Entsprechend den Erfahrungen aus den vergangenen Jahrzehnten war bei derart ungünstigen witterungsbedingten Startbedingungen im Frühjahr ein wesentlich tieferes herbstliches Sauerstoffminimum über Grund zu erwarten. Daß es nicht eintrat zeigt, wie stark die inzwischen erreichte Phosphorabsenkung die Algenentwicklung und damit auch die Sauerstoffzehrung über Grund begrenzen kann.

Das **Phytoplankton** im Bodensee-Obersee erreichte 1998 im Jahresmittel eine Biomasse von $12,6 \text{ g/m}^2$ (0-20 m Tiefe). Diese lag damit etwas unter dem Wert der Vorjahre 1997 mit $13,3$ und 1996 mit $13,4 \text{ g/m}^2$ (0-20 m Tiefe). Die nach einem seit 1988 nahezu kontinuierlichen Rückgang erreichten niederen Werte von 1994 und 1995 ($10,2$ bzw. $10,0 \text{ g/m}^2$) wurden damit in den drei letzten Jahren wieder deutlich überschritten (Abb. 3). Das Maximum der Frühjahrsentwicklung lag Anfang Mai mit rund $20,3 \text{ g/m}^2$ etwas unter dem des Vorjahres mit 24 g/m^2 . Das Sommermaximum Mitte Juni lag mit $54,6 \text{ g/m}^2$ deutlich über dem des Vorjahres mit 43 g/m^2 .

Während bei der Biomasse die Tendenz der weiteren Abnahme zum Stillstand gekommen ist, hat sich die Tendenz der Verschiebung in der Artenzusammensetzung weiter fortgesetzt. Wie im Vorjahr wurden die früher die Frühjahrsblüten dominierenden *Stephanodiscus*-Arten größtenteils von *Cyclotella*-Arten verdrängt, die allgemein als Oligotrophierungs-Anzeiger angesehen werden. Die pennaten Kieselalgen traten im Frühsommer in den Vordergrund, wobei vor allem *Fragilaria* dominierte. Im Hochsommer und während des Herbstmaximums herrschten *Cyclotellen* sowie *Cryptomonaden* vor und bildeten zusammen mit Dinoflagellaten den größten Teil des sommerlichen Maximums. Die Chrysophyceen erschienen vor allem während der ausgehenden Frühjahrsblüte und im Spätsommer mit *Ochromonas* und *Dinobryon*. Dies sind ebenfalls deutliche Zeichen einer qualitativen Verschiebung in der Planktonzusammensetzung hin zu oligotrophanten Arten. Coccale Grünalgen, die höhere Nährstoffkonzentrationen bevorzugen, erreichten das ganze Jahr über nur noch einen unbedeutenden Anteil an der Biomasse, ebenso die Blaualgen (Abb. 27, 28).

Beim **Crustaceenplankton** war im Jahresmittel insgesamt ein erheblicher Rückgang der Individuendichten gegenüber dem Vorjahr festzustellen. Er betrug bei *Daphnia* 35% und bei *Cyclops* 26%. Mit dieser neuerlichen Abnahme unterschritten die Jahresmittelwerte 1998 sogar die niedrigen Werte des Jahres 1996 und wiesen damit den bislang niedrigsten Stand auf. Da der quantitative Rückgang der Phytoplanktonbiomasse nur bei ca. 5% lag, kann die Abnahme der Individuendichte der Crustaceen dadurch nicht erklärt werden.

Die Individuendichte der **Daphnien** stieg im Jahresverlauf wie im Vorjahr erst ab Ende Mai an. Sie lag nur im Mai und September höher als 1996 und 1997, sonst meist erheblich niedriger.

Bei den insgesamt niedrigen Beständen der **übrigen Cladoceren** (*Bosmina*, *Bythotrephes longimanus* und *Leptodora kindtii*) waren die Individuendichten insbesondere im Mai und Juni deutlich höher als in den Jahren 1996 und 1997. In zusätzlichen Untersuchungen konnten starke regionale Unterschiede in der Individuendichte der beiden Raubcladoceren *Bythotrephes* und *Leptodora* festgestellt werden. Besonders in der Bregenzer Bucht, aber auch im Zellersee waren die Individuendichten dieser beiden Cladoceren höher als an der zentralen Obersee-Station Fischbach-Uttwil.

Bei **Eudiaptomus gracilis** lagen die Individuendichten bis auf wenige Ausnahmen (erwachsene Tiere: Mai; Entwicklungsstadien: April, Mai und September) niedriger als im Vorjahr.

Auch bei den **cyclopoiden Copepoden** zeigte sich insgesamt eine Abnahme der Individuenzahlen. Die maximalen Individuendichten verschoben sich bei den erwachsenen Tieren in den Spätsommer. Bei den Entwicklungsstadien lagen die maximalen Individuendichten im Jahr 1998 um ca. 4 Monate später als 1996 (Abb. 29 - 31).

Die **Bakterien** - bestimmt durch Direktzählung - zeigten im Berichtsjahr innerhalb der Produktionszone (0 - 10 m) in der jahreszeitlichen Entwicklung einen Verlauf, der dem langjährig beobachteten Muster entsprach. Dieses zeigt einen mit geringer zeitlicher Verzögerung der Algenentwicklung folgenden Frühjahrsanstieg. Danach sind die Werte in der Produktionszone bis zur Vollzirkulation erhöht. Die Bakterien in der Tiefenschicht unterhalb der Produktionszone (10 - 30 m) folgen diesem jahreszeitlichen Ablauf mit deutlich gedämpften Schwankungen, während im Tiefenwasser unterhalb 50 m ganzjährig gleichbleibend geringe Bakteriendichten mit geringen Schwankungen vorhanden sind (Abb. 32).

Bodensee-Untersee

Die **Phosphorkonzentration** - bestimmt als Gesamtphosphor im Rohwasser - hat 1998 im Rheinsee im Jahresmittel (volumengewichtet) wieder auf 13 mg/m^3 abgenommen (1997: 15 mg/m^3 ; 1996: 13 mg/m^3). Im Zellersee wurde ein leichter Rückgang auf 24 mg/m^3 beobachtet (1997: 25 mg/m^3 ; 1996: 26 mg/m^3).

Der Inhalt an **anorganischem Stickstoff** (N aus $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{NH}_4^+$) mit Nitrat als Hauptkomponente betrug 1998 im Rheinsee $0,85 \text{ g/m}^3$ (1997: $0,80 \text{ g/m}^3$; 1996: 84 g/m^3). Im Zellersee wurde eine leichte Abnahme auf $0,89 \text{ g/m}^3$ beobachtet (1997: $0,97 \text{ g/m}^3$; 1996: $1,02 \text{ g/m}^3$).

Die **Sauerstoffsituation** hat sich 1998 im Rheinsee und im Zellersee gegenüber dem Vorjahr kaum verändert. Im Rheinsee lagen die Sauerstoffkonzentrationen in Seebodennähe im Oktober bei $0,6 \text{ g/m}^3$. Im Vorjahr hatten hier die Minimalkonzentrationen im Oktober $0,5 \text{ g/m}^3$ betragen. Im Zellersee, der bis 1992 über Jahrzehnte hinweg einen zeitweiligen totalen Sauerstoffschwund aufwies, wurde auch 1998 bei allen Messungen ein geringer Sauerstoff-Restgehalt gemessen. Er lag von August bis Oktober zwischen $0,4$ und $6,1 \text{ g/m}^3$ und damit, abgesehen vom August, die meiste Zeit sogar erheblich höher als im Vorjahr (August bis Oktober $0,5$ bis $0,9 \text{ g/m}^3$).

Das **Phytoplankton** im Zellersee stieg 1998 deutlich auf $18,7 \text{ g/m}^2$ (0-20m Tiefe) an; nach einem Tiefpunkt 1994 mit $10,5 \text{ g/m}^2$ wurden in den letzten drei Jahren (1997: $15,7 \text{ g/m}^2$, 1996: $15,9 \text{ g/m}^2$; 1995: $15,2 \text{ g/m}^2$) relativ gleichbleibende Werte festgestellt. Die Frühjahrsblüte lag mit $43,5 \text{ g/m}^2$ Ende April deutlich höher als im Vorjahr und erreichte

wieder die Höhe von 1996 mit $43,3 \text{ g/m}^2$. Das Fröhsommer-Maximum Anfang Juni erreichte mit $54,4 \text{ g/m}^2$ fast den gleichen Wert wie im Obersee. Ein Hochsommer- und ein Fröhherbst-Maximum erreichten 26,8 und $27,2 \text{ g/m}^2$.

Im Zellersee zeigt sich wie im Obersee, daß Durchschnitts-Biomasse und qualitative Zusammensetzung des Planktons unterschiedliche Tendenz zeigen. Auch hier hat sich die qualitative Zusammensetzung des Planktons gegenüber den Vorjahren deutlich zu oligotraphenten Formen hin geändert und sich an die Verhältnisse im Obersee angeglichen. Sehr deutlich sieht man das daran, daß coccale Grünalgen und Blaualgen stark zurückgegangen sind und nicht mehr ins Gewicht fallen. Dagegen haben Chrysophyceen stark zugenommen und erreichten beträchtliche Anteile an der Biomasse. Stephanodiscus-Arten, die in früheren Jahren die Fröhjahrsblüten dominiert hatten, sind auch im Zellersee inzwischen größtenteils von Cyclotella-Arten verdrängt worden, die als Oligotrophierungs-Anzeiger gelten. Auch während den Sommer- und Herbstmaxima nahmen die Cyclotellen einen großen Teil der Biomasse ein. Die pennaten Kieselalgen, vor allem Fragilaria, dominierten vor allem im Fröhsommer (Abb. 51, 52).

Gesamtbewertung des Seezustands

1. Freiwasser

Der Zustand im Freiwasserbereich des Bodensee - Obersees hat sich durch den fortgesetzten Rückgang der Phosphorkonzentration und eine witterungsbedingt gute Erholung der Sauerstoffverhältnisse im Spätwinter 1999 weiter verbessert.

Der **Phosphorgehalt**, gemessen als Gesamtphosphor während der Zirkulationsperiode, ist gegenüber dem Vorjahr von 17 auf 15 mg/m^3 gesunken und seit Beginn der 80er Jahre kontinuierlich rückläufig. Er hat damit wieder etwa das Konzentrationsniveau von 1960 erreicht und liegt noch ungefähr dreimal so hoch wie in den 30er Jahren, als der See bereits nicht mehr unbelastet war.

Der Orthophosphat-Phosphor in der Produktionszone von 0 bis 20 m Tiefe, der von den Algen unmittelbar verwertet werden kann und somit ein wichtiger Steuerungsfaktor für deren Wachstum ist, lag von Juli bis Oktober bei weniger als 2 mg/m^3 . Die in den letzten Jahren gegenüber früher sowohl zeitlich ausgedehntere als auch in immer größere Tiefen reichende Phosphorverarmung der Produktionszone führt dazu, daß Phosphor wieder zunehmend als hauptsächlich begrenzender Wachstumsfaktor unter den Düngestoffen wirkt. Dadurch ist auch die Beeinflussung des Seegeschehens durch Maßnahmen zur Reduzierung des Phosphoreintrags zunehmend wirksam.

Der anorganische **Stickstoffgehalt** (Nitrat-, Nitrit- und Ammoniumstickstoff) fiel mit $0,94 \text{ g/m}^3$ wieder geringfügig unter das in den 11 Vorjahren beobachtete Niveau zwischen $0,96$ und $1,01 \text{ mg/m}^3$. Ob dies der Beginn einer Abnahme der Stickstoffgehalte im See ist, wie es die bei den jüngsten Zuflußuntersuchungen festgestellten abnehmenden Stickstoffeinträge in den Bodensee nahelegen, bleibt abzuwarten.

Auch wenn der Stickstoff für die Algen im Bodensee praktisch nicht wachstumsbegrenzend wirkt, so hat er doch Bedeutung für die Qualität der Lebensgemeinschaften im See. Über das N/P - Verhältnis kann er das Artenspektrum beeinflussen und muß deshalb weiterhin aufmerksam verfolgt werden.

Das **Phytoplankton** zeigte in der Qualität seiner Artenzusammensetzung eine fortgesetzte Tendenz der Verschiebung zu solchen Arten, die als Anzeiger einer Nährstoffverarmung gelten.

Die Quantität ihrer Biomasse lag mit einem Jahresmittel von $12,6 \text{ g/m}^2$ (0-20 m Tiefe) leicht unter den Werten der beiden Vorjahre (1997: $13,3 \text{ g/m}^2$; 1996: $13,4 \text{ g/m}^2$). Die bis Ende der 80er Jahre gehäuft über 20 g/m^2 liegende Algenbiomasse wurde damit beinahe halbiert. Die niederen Werte von 1994 und 1995 mit $10,2$ bzw. $10,0 \text{ g/m}^2$ wurden jedoch seither nicht wieder erreicht. Insoweit ist eine zur Abnahme des Phosphors parallele Entwicklung zumindest über kürzere Perioden nicht festzustellen. Hier muß jedoch berücksichtigt werden, daß von Jahr zu Jahr verschiedene Witterungsbedingungen das Algenwachstum ebenfalls erheblich beeinflussen.

Der **Sauerstoffgehalt** im tiefen Seebereich hängt vor allem vom Umfang der pflanzlichen Produktion einerseits und von klimatischen Bedingungen andererseits ab. Bedingt durch den relativ milden Winter 1997/98 waren die Ausgangsbedingungen für das Seejahr 1998/99 schlechter als im Vorjahr und das Jahr begann mit einem erheblichen Sauerstoffdefizit. Dementsprechend lagen auch die Werte im tiefen Hypolimnion von Januar 1998 bis Anfang Februar 1999 beinahe durchgängig unter den Vorjahreswerten. Auch die niederste, 1 m über Grund gemessene Sauerstoffkonzentration (Oktober 1998) lag mit $6,1 \text{ g/m}^3$ geringfügig unter dem Vorjahreswert mit $6,5 \text{ g/m}^3$. Nach den Erfahrungen aus früheren Jahren mit höherer Phosphorbelastung des Sees wäre bei einer derart ungünstigen, witterungsbedingten Ausgangslage ein erheblich tieferes herbstliches Sauerstoffminimum über Grund wahrscheinlich gewesen. Daß dies nicht eintrat, weist auf die wirksame Entlastung des Sees durch die inzwischen erreichte Phosphorabsenkung hin. Sie hat einen erheblichen Rückgang des Algenwachstums und damit auch eine Verbesserung des Sauerstoffhaushalts in der Tiefenzone des Sees gebracht.

Der sehr wirksame Ausgleich des Sauerstoffdefizits in den tiefen Seebereichen im kalten und windreichen Februar 1999 ist dagegen den sehr günstigen klimatischen Bedingungen in dieser Zeit zuzuschreiben. Obwohl die Vertikalzirkulation nicht bis in die tiefsten Seebereiche vorgedrungen war, wurde der dort vorhandene Wasserkörper innerhalb weniger Tage durch seitlich bis in die größte Seetiefe absinkendes, sauerstoffreiches Wasser aus randständigen, stark abgekühlten Seebereichen ausge-

tauscht. Die Sauerstoffkonzentration über Grund mit rund 11 g/m³ ist zuvor seit 15 Jahren nicht mehr erreicht worden.

2. Einzugsgebiet

Die Ergebnisse der Zuflußuntersuchung 1996/97 belegen einen weiteren deutlichen Rückgang des Phosphoreintrags in den Bodensee. Besonders der für den See entscheidende, nicht an Flußschwebstoffe gebundene, bioverfügbare Anteil an der jährlichen Phosphorfracht liegt heute unter 200 Tonnen. Er ist damit auf weniger als ein Drittel des noch bei der vorletzten Zuflußuntersuchung 1985/86 ermittelten Wertes gesunken.

Die Abnahme der Phosphorbelastung des Bodensees ist das Ergebnis ganz unterschiedlicher Maßnahmen und Entwicklungen in vielen Bereichen. Wesentlich beeinflusst wird der Befund von Verbesserungen beim Phosphorrückhalt in den zentralen Abwasserreinigungsanlagen (z.B. durch Flockungsfiltration), dem weiteren Ausbau von Regenbecken und der Erhöhung des Anschlußgrades der Einwohner an zentrale Kläranlagen.

Ebenfalls vermindert haben sich die aus diffusen Quellen aus dem ländlichen Areal ausgetragenen Phosphormengen. Dies zeigt der mit Hilfe eines Stofffluß-Modells vorgenommene Vergleich von 1985/86 mit 1996/97. Allerdings ist die hier festgestellte Halbierung der Frachten nur teilweise auf Sanierungsmaßnahmen und veränderte Landnutzungen zurückzuführen. Rund 45% der Verminderung gehen auf das Konto von unterschiedlichen Witterungseinflüssen in den betreffenden Untersuchungsjahren.

Die bioverfügbaren Stickstoffeinträge in den See, die in den Zuflußuntersuchungen 1971/72 über 1978/79 bis 1985/86 angestiegen waren, haben in der letzten Erhebung erstmals abgenommen. Überwiegend stammt der Stickstoff aus diffusen Quellen. Dieser Anteil hat sich von 1985/86 bis 1996/97 um etwa 17% verringert, wobei knapp die Hälfte der Abnahme veränderten landwirtschaftlichen Nutzungen und der Rest der Witterung zugeschrieben wird.

3. Schadensabwehr

Im Zusammenhang mit der Gesamtbewertung des Zustands des Bodensees spielt auch die Abwehr von Gefahren eine wichtige Rolle, die sich aus dem Umgang mit wassergefährdenden Stoffen und bei Unfällen, ergeben. Eine Erhebung der Gefahrguttransporte im Bodenseeraum auf der Straße und mit der Bahn hat bisher ergeben, daß ihr Anteil am gesamten Transportvolumen bei ca. 10% liegt. Rund 50% dieser Gefahrgüter sind wassergefährdend. Rund drei Viertel dieser Stoffe sind als gering wasserlöslich mit einer Dichte kleiner als jene des Wassers anzusehen und sind daher grundsätzlich im Schadensfall bekämpfbar.

4. Fazit

Die Ergebnisse der Freiwasser- und der Zuflußuntersuchungen, aber auch die Maßnahmen zur Schadensabwehr, dokumentieren eindrucksvoll den großen Erfolg, den die Staaten im gesamten Einzugsgebiet des Bodensees bei ihren Sanierungsbemühungen bereits erreicht haben.

Die Situation im Freiwasser belegt, wie wichtig neben der Rückführung der Phosphorbelastung die klimatischen Bedingungen und die dadurch bewirkten seeinternen physikalischen Prozesse für den Seezustand sind. Sie zeigt weiterhin, daß eine möglichst gute Kenntnis solcher Prozesse und ihrer Verknüpfung mit dem gesamten Geschehen im Ökosystem See für die Interpretation des Seezustandes und damit auch für die Planung gezielter Maßnahmen eine unverzichtbare Grundlage ist. Sie weist aber auch darauf hin, daß sorgfältig auf allfällige Änderungen der klimatischen Bedingungen und ihre Folgen für den See geachtet werden muß.

Die Zuflußuntersuchungen zeigen zudem auf, wie sich die verbliebenen Nährstoffbelastungen auf die verschiedenen anthropogenen Quellen verteilen. Hieraus können dann, beispielsweise in Verbindung mit Modellrechnungen, die Einzelmaßnahmen mit den größten Wirkungen zur weiteren Begrenzung von Nährstoffeinträgen abgeleitet werden.

Die im Rahmen der Schadensabwehr durchgeführten Erhebungen über den Transport wassergefährdender Stoffe im Bodenseeraum liefern, zusammen mit einer weiterführenden Schulung der Einsatzkräfte und Optimierungen bei Einsätzen - insbesondere auch im Flachwasserbereich - , wichtige Grundlagen für eine zukünftig noch bessere Abwehr von Schäden durch Gefahrgüter.

Dies alles sind notwendige Schritte zur Weiterentwicklung effizienter Sanierungsstrategien für eine nachhaltige Entlastung des Bodensees von anthropogenen Einflüssen. Denn in Übereinstimmung mit der künftigen Wasserrahmenrichtlinie der EU bleibt das Ziel, den Bodensee als intaktes Ökosystem in einen möglichst naturnahen Zustand zu überführen, eine ständige Aufgabe und Herausforderung für den Gewässerschutz am See.

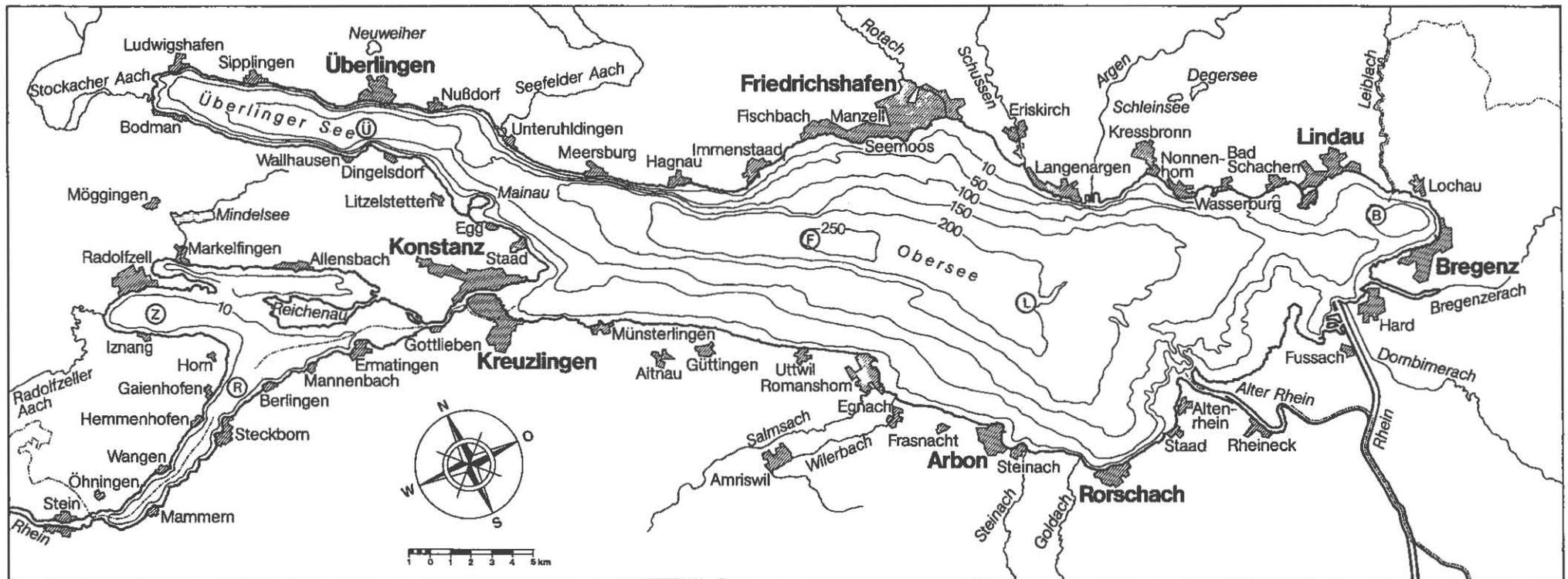


Abb. 1: Der Bodensee mit Lage der Untersuchungsstellen

a) Freiwasser:

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

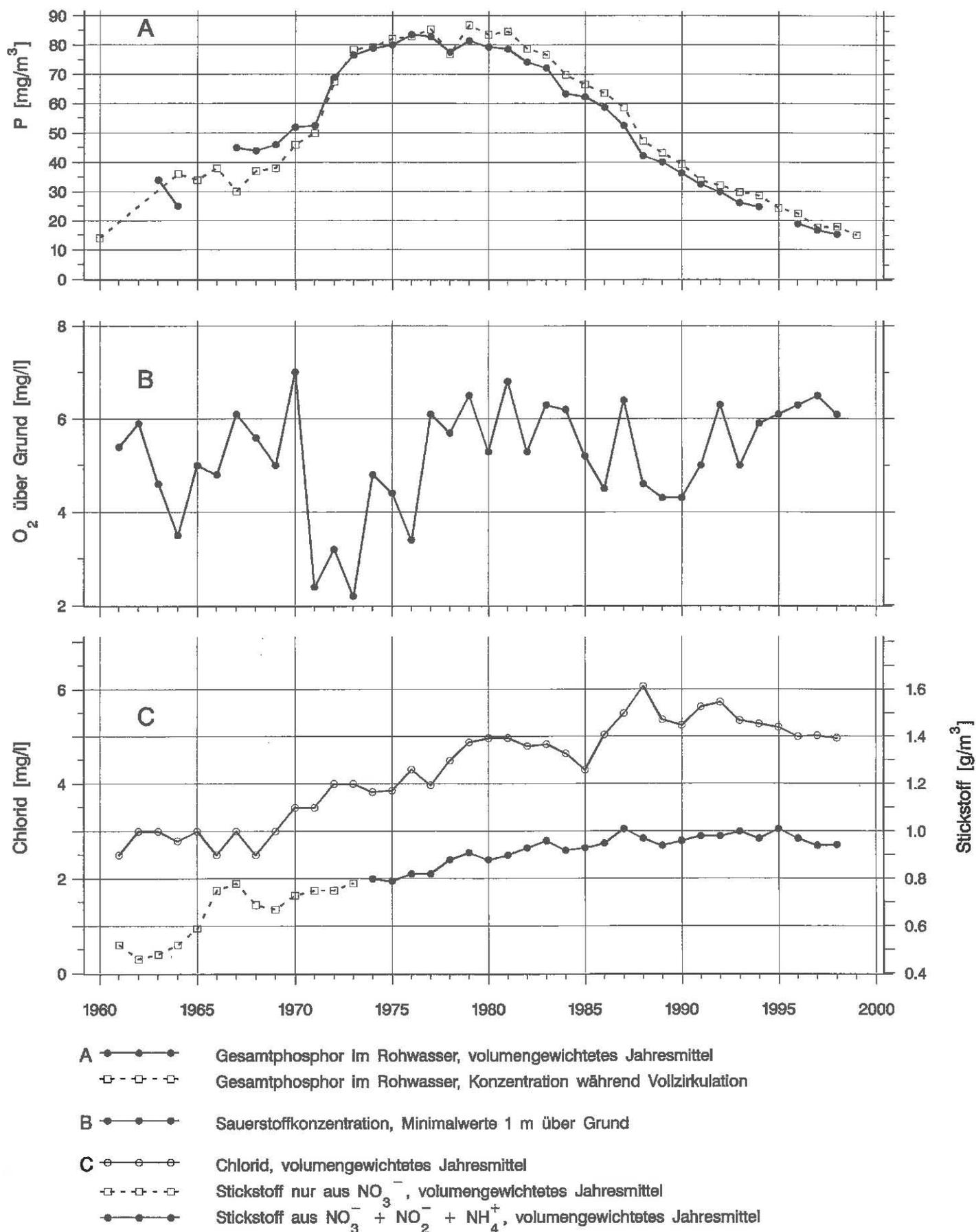


Abb. 2: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
Langfristige Entwicklung der Phosphor-, Sauerstoff-,
Stickstoff- und Chloridkonzentration

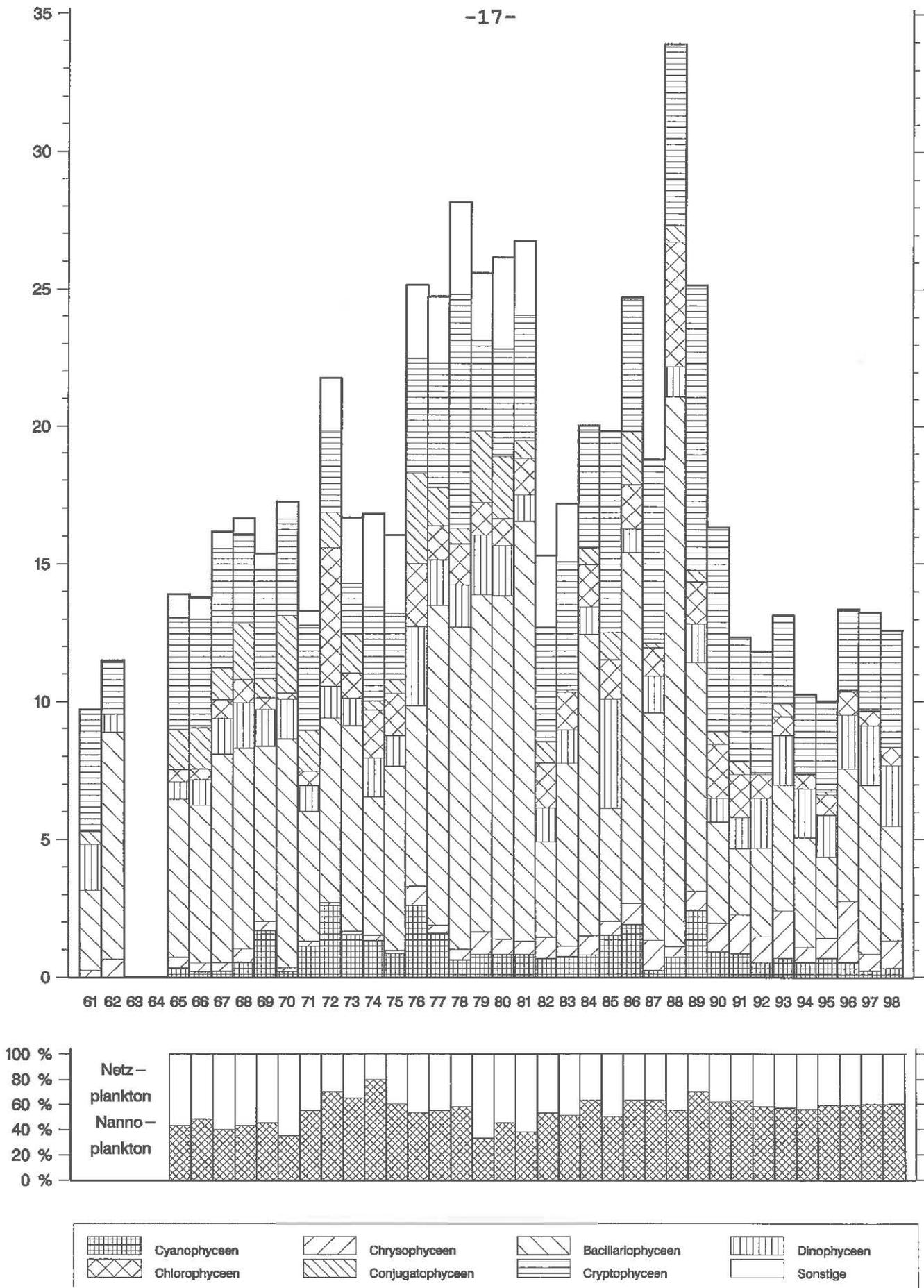


Abb. 3: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
Langfristige Entwicklung des Phytoplanktons
Biomassen in g/m² (0–20m Tiefe), Jahresmittel

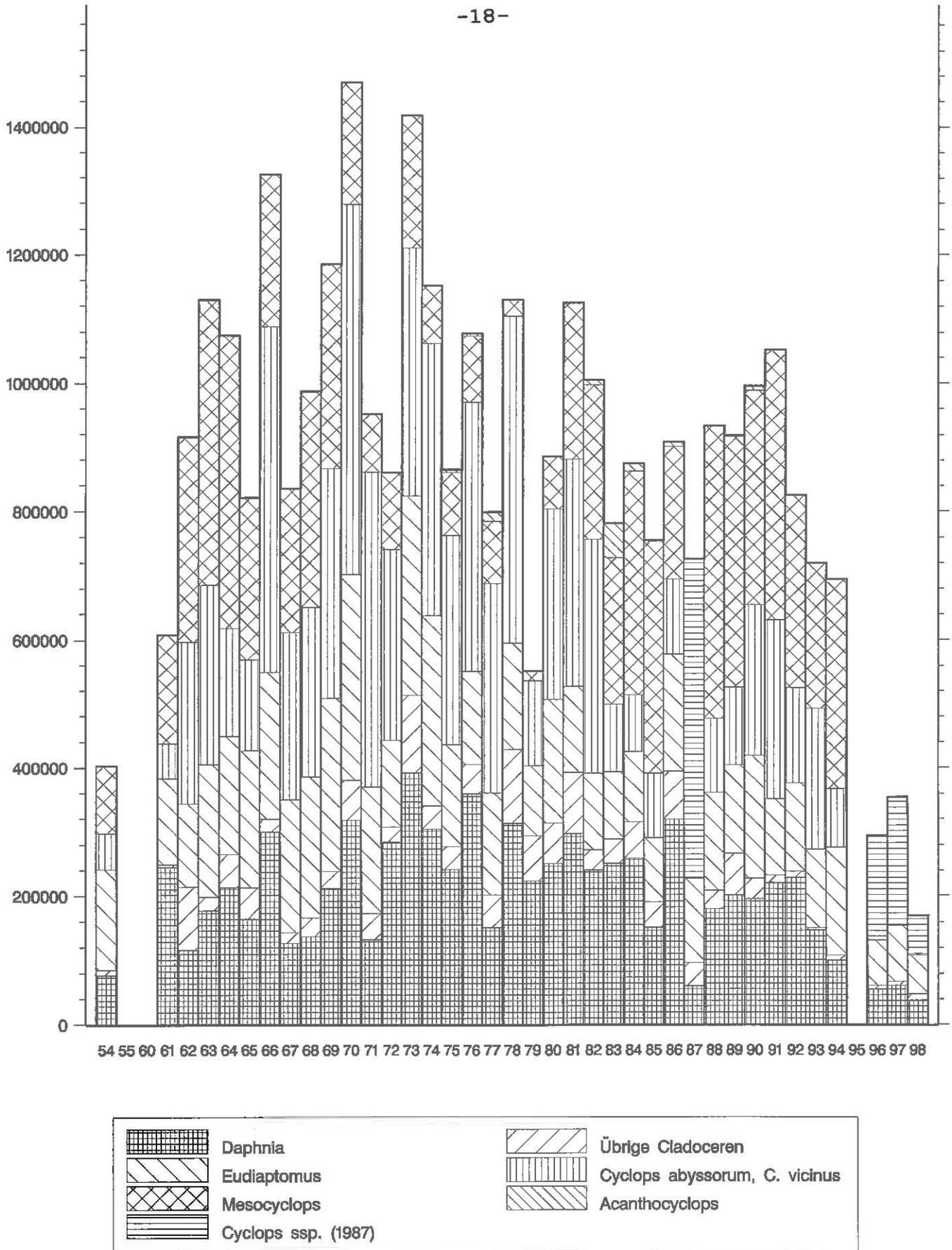


Abb. 4: Bodensee – Obersee, Fischbach–Uttwil:
Langfristige Entwicklung des Crustaceenplanktons
Tiere/m² gesamte Wassersäule, Jahresmittelwerte *

* Berechnung des Jahresmittelwertes für 1995 nicht möglich wegen fehlender Frühjahrswerte

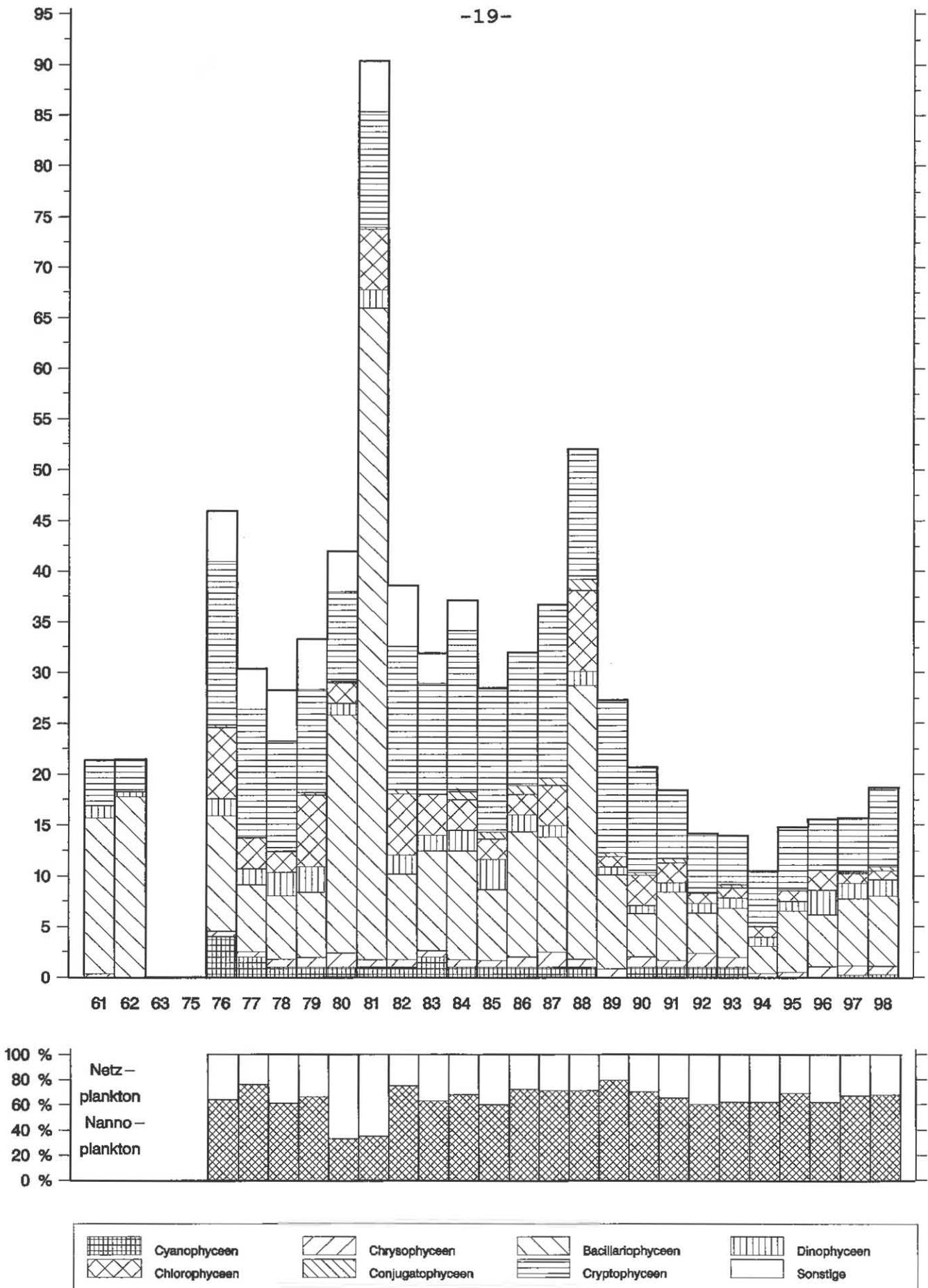


Abb. 5: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Langfristige Entwicklung des Phytoplanktons
Biomassen in g/m² (0–20m Tiefe), Jahresmittel

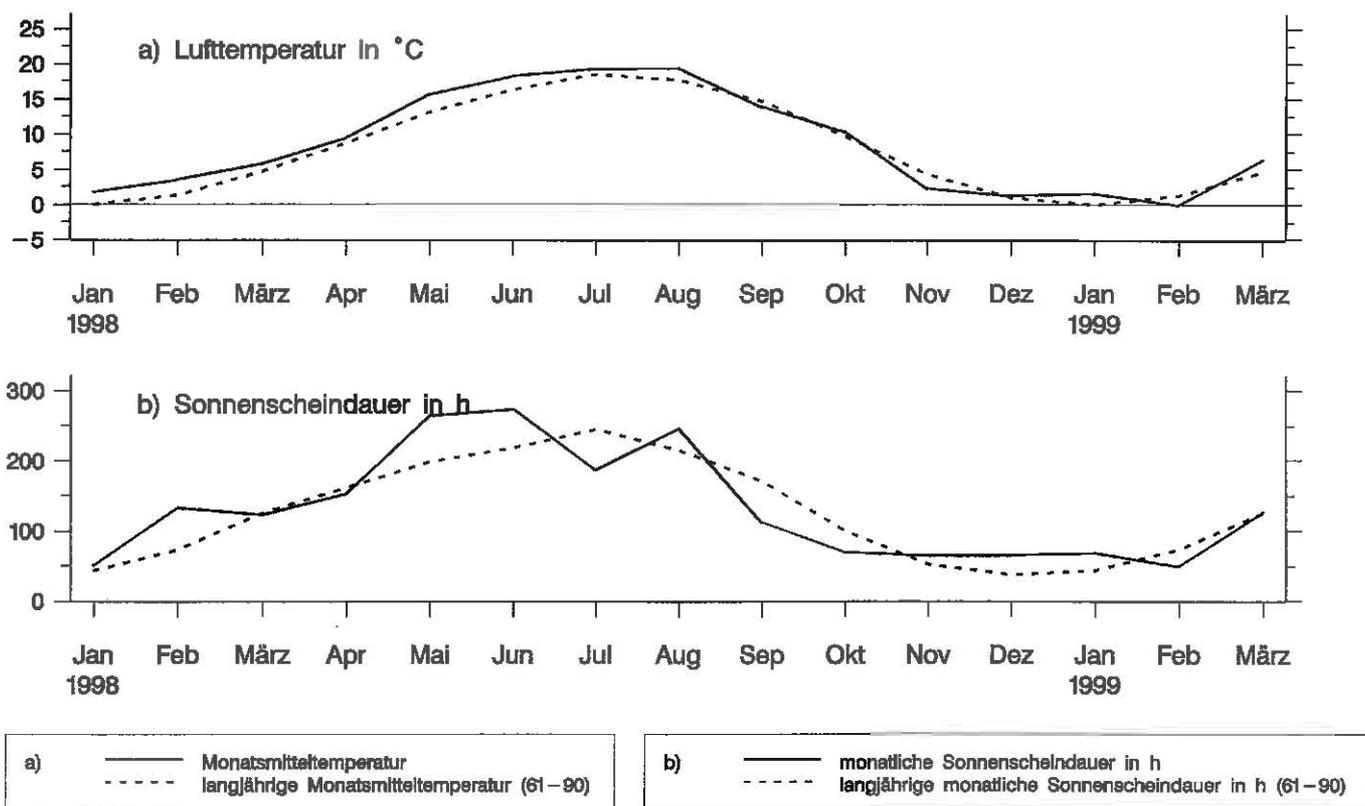


Abb. 6: Bodensee – Obersee:
Klimadaten der Wetterwarte Konstanz

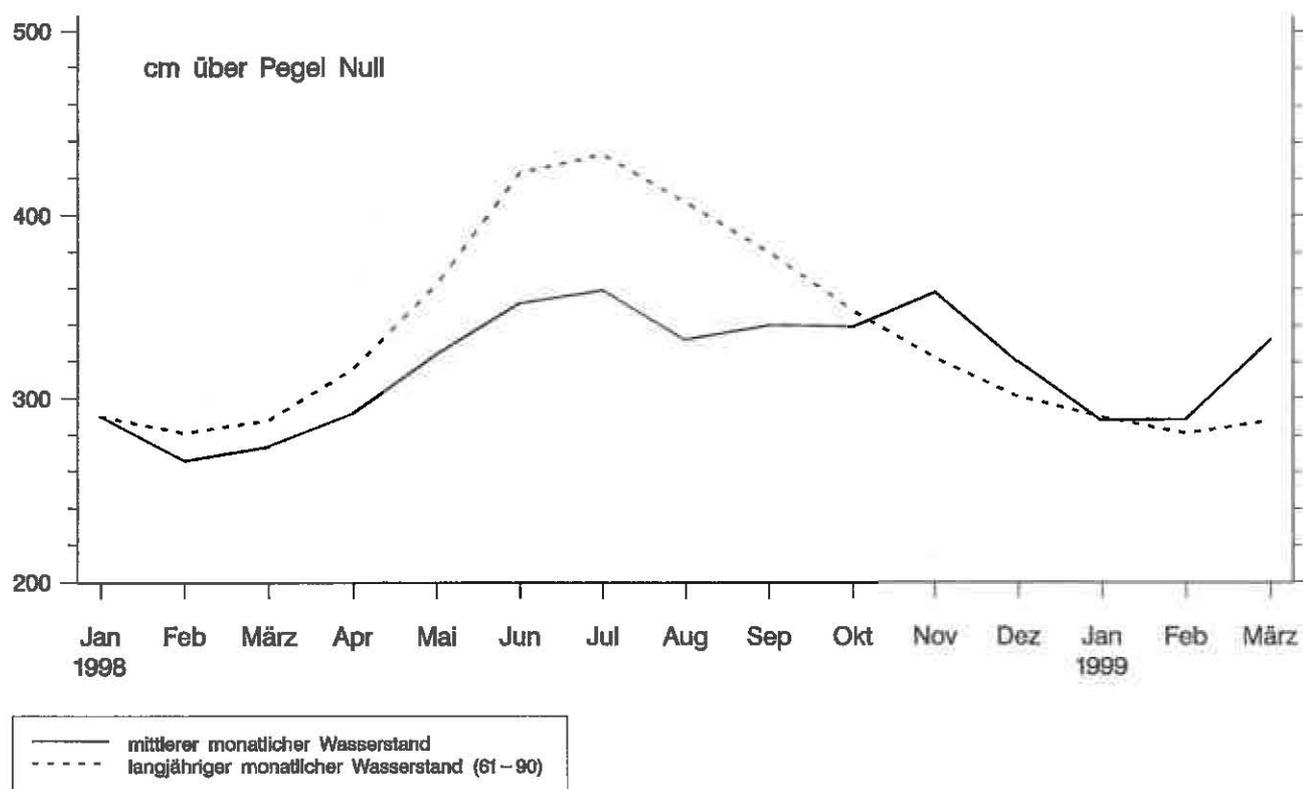


Abb. 7: Bodensee – Obersee:
Wasserstand am Pegel Konstanz

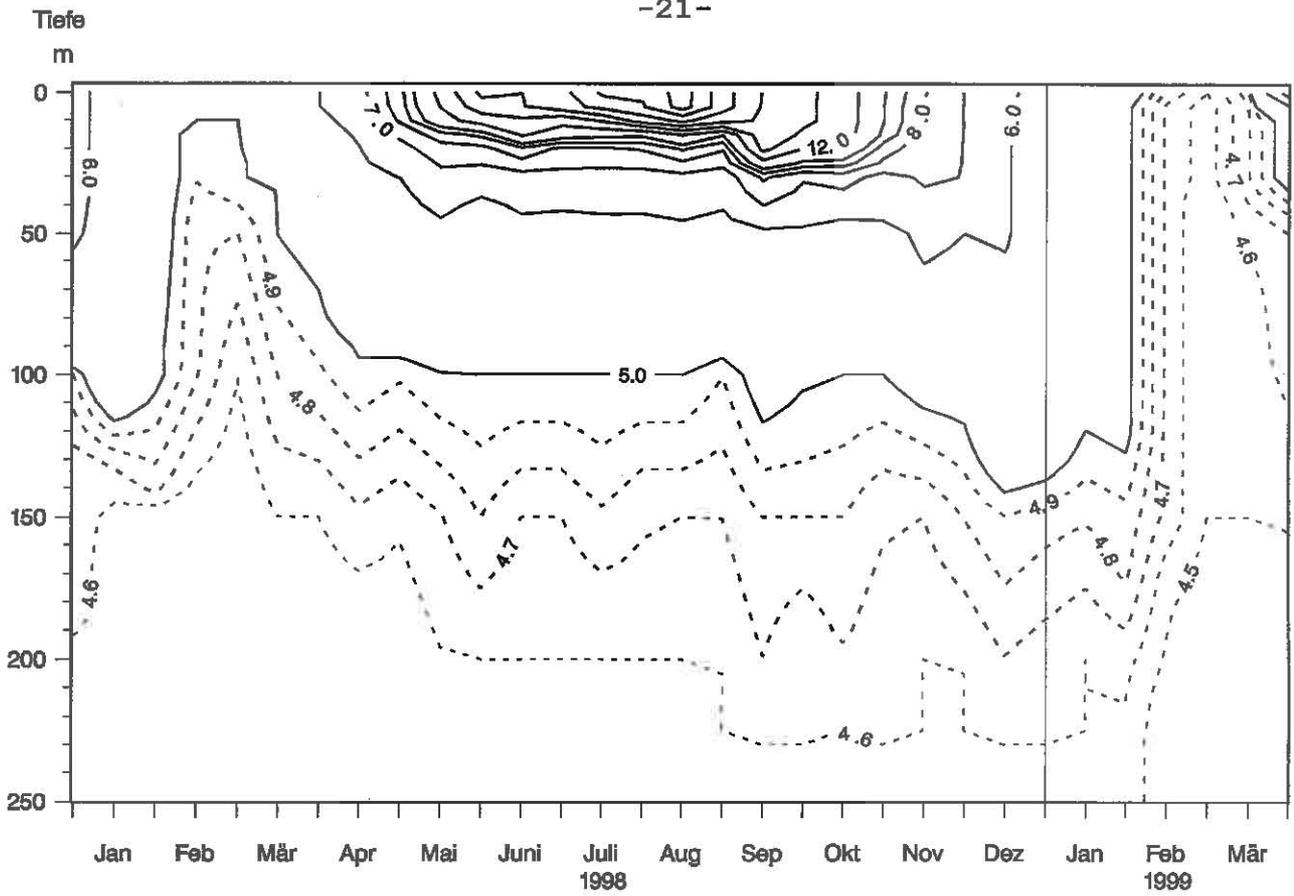


Abb. 8: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
Temperatur °C

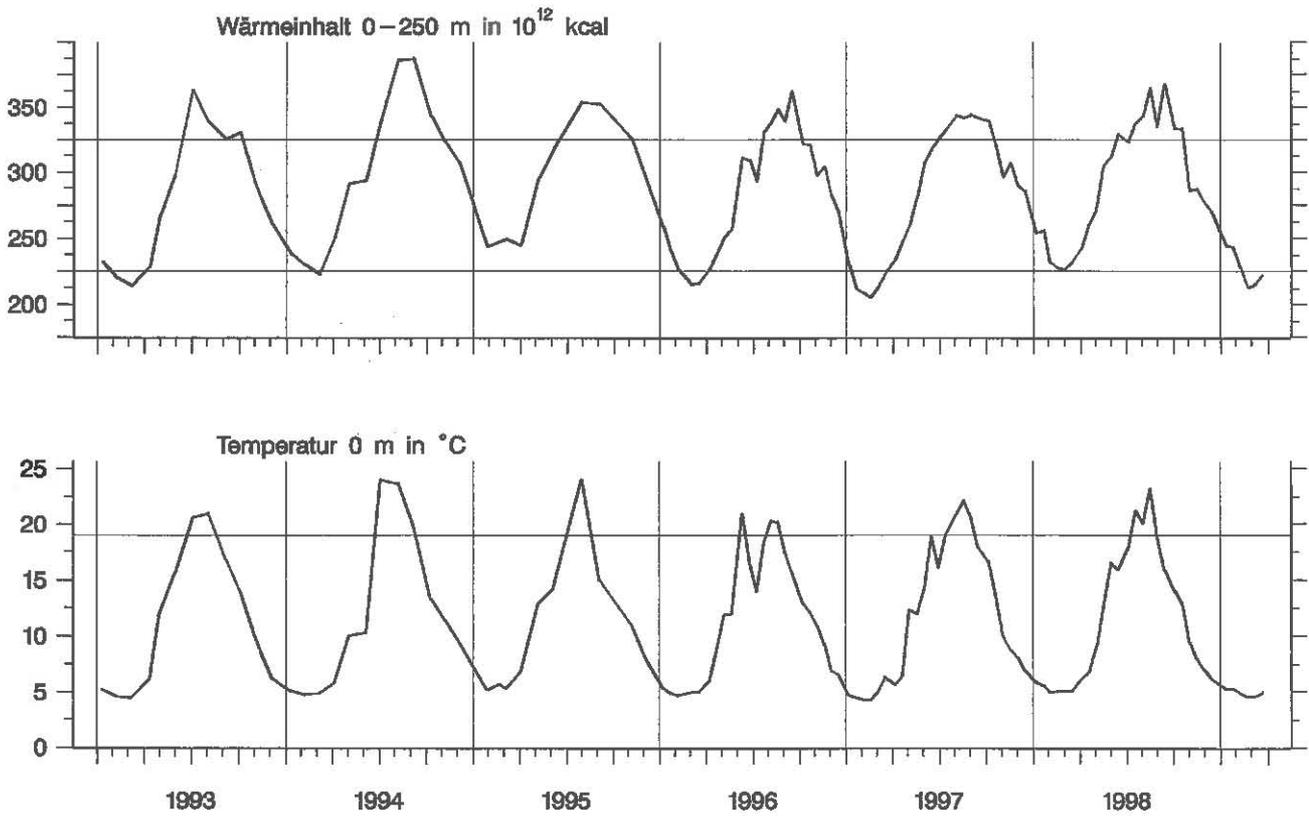


Abb. 9: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
Thermik

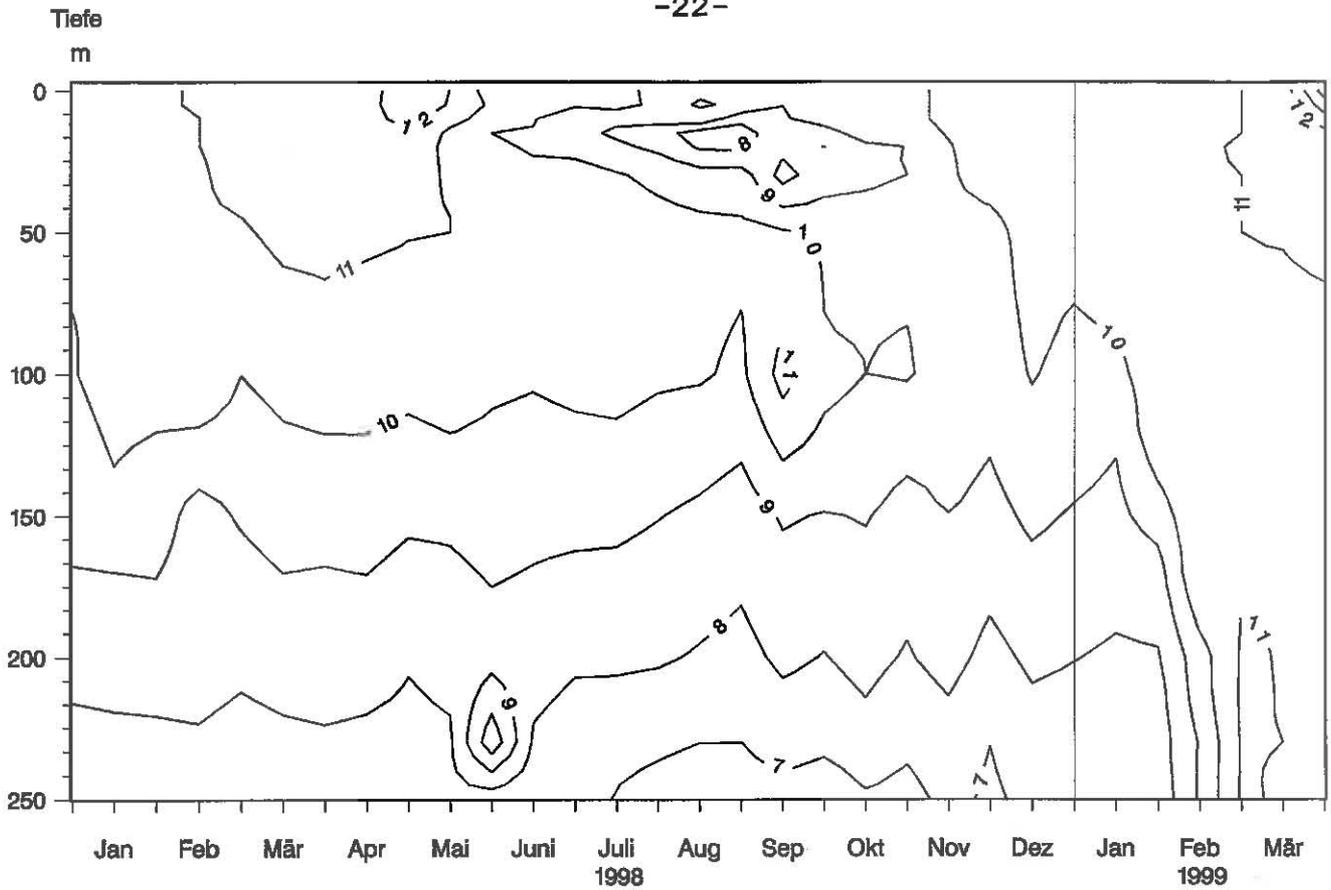


Abb. 10: Bodensee – Obersee, Fischbach–Uttwil:
Sauerstoff (mg/l)

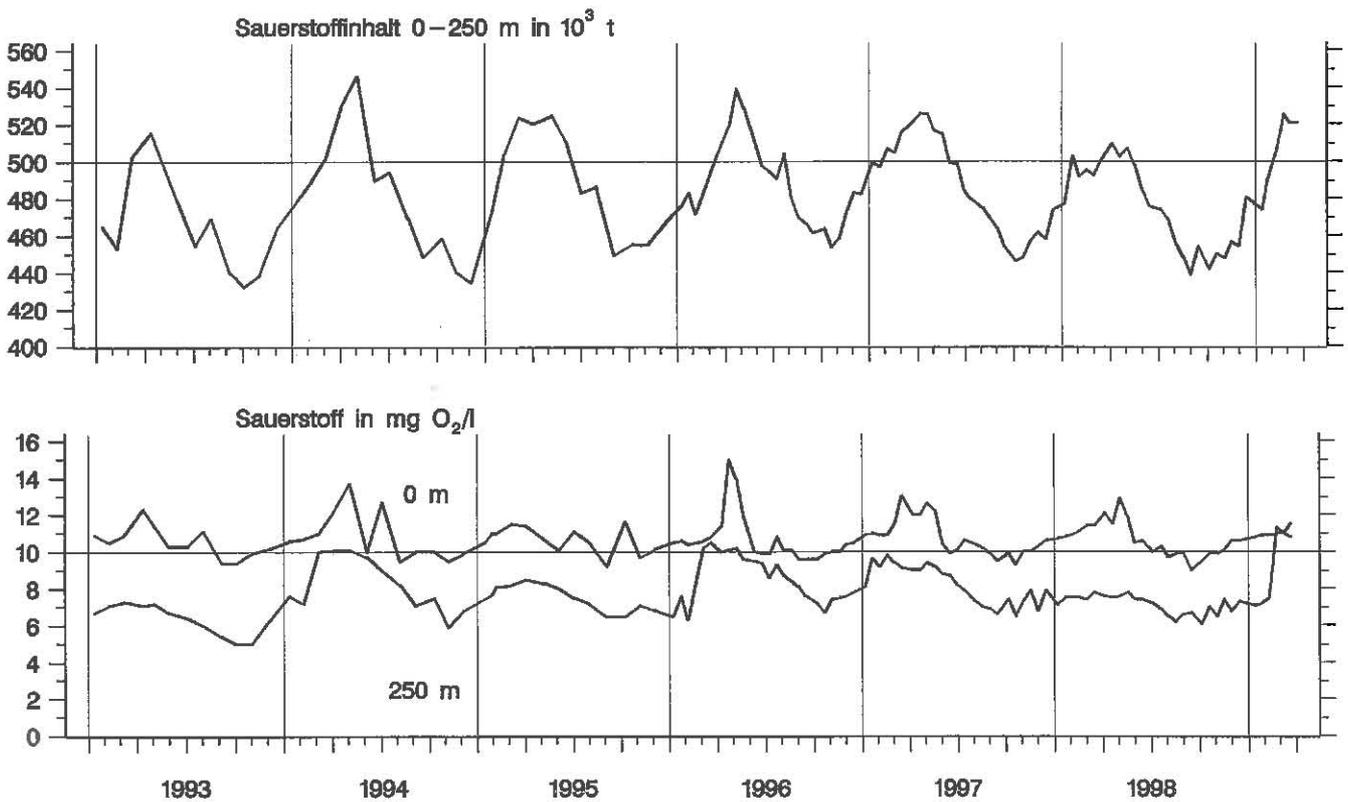


Abb. 11: Bodensee – Obersee, Fischbach–Uttwil:
Sauerstoffinhalt 0–252 m und Sauerstoffkonzentration in 0 und 250 m Tiefe

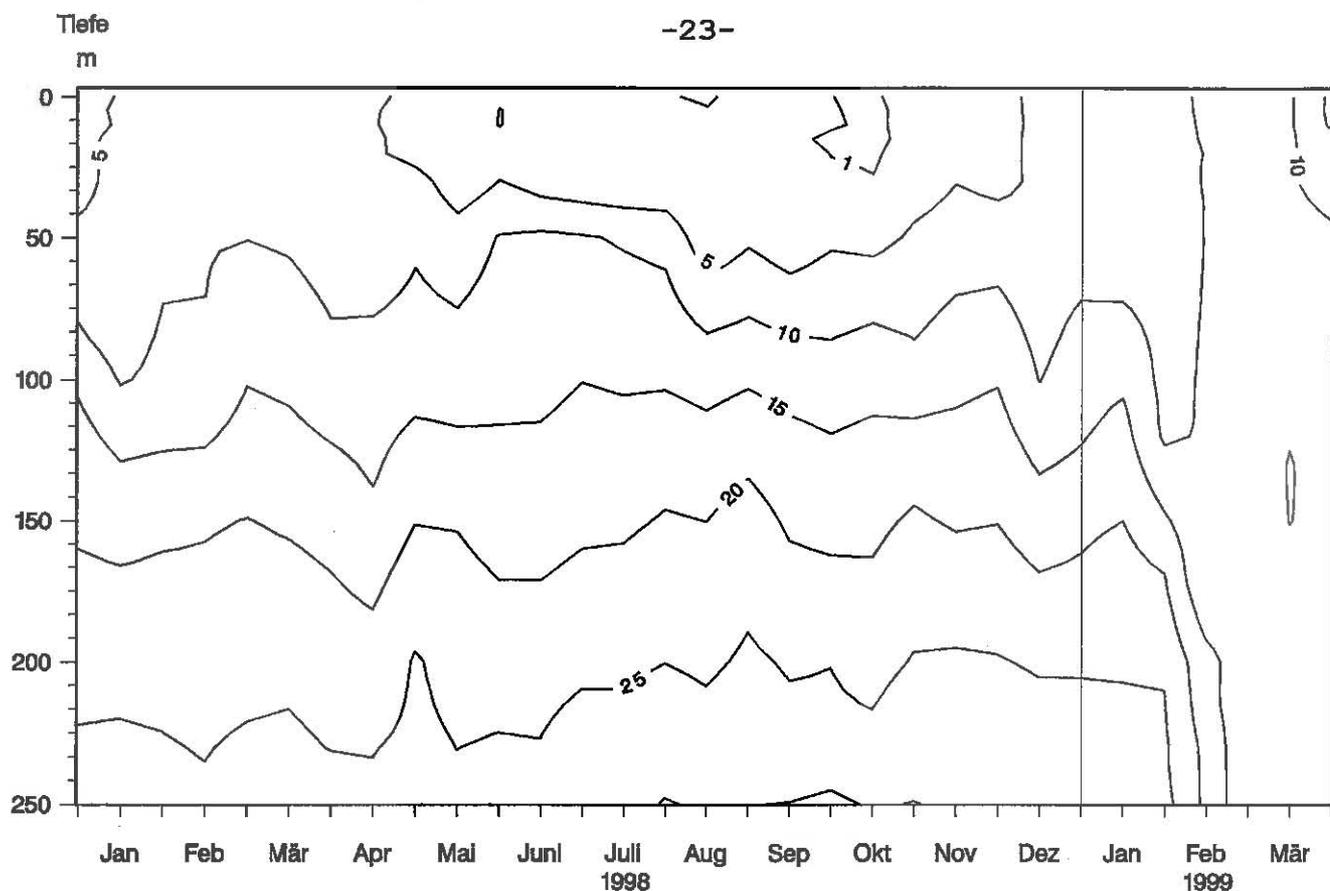


Abb. 12: Bodensee – Obersee, Fischbach–Uttwil:
Orthophosphat – Phosphor (mg/m³)

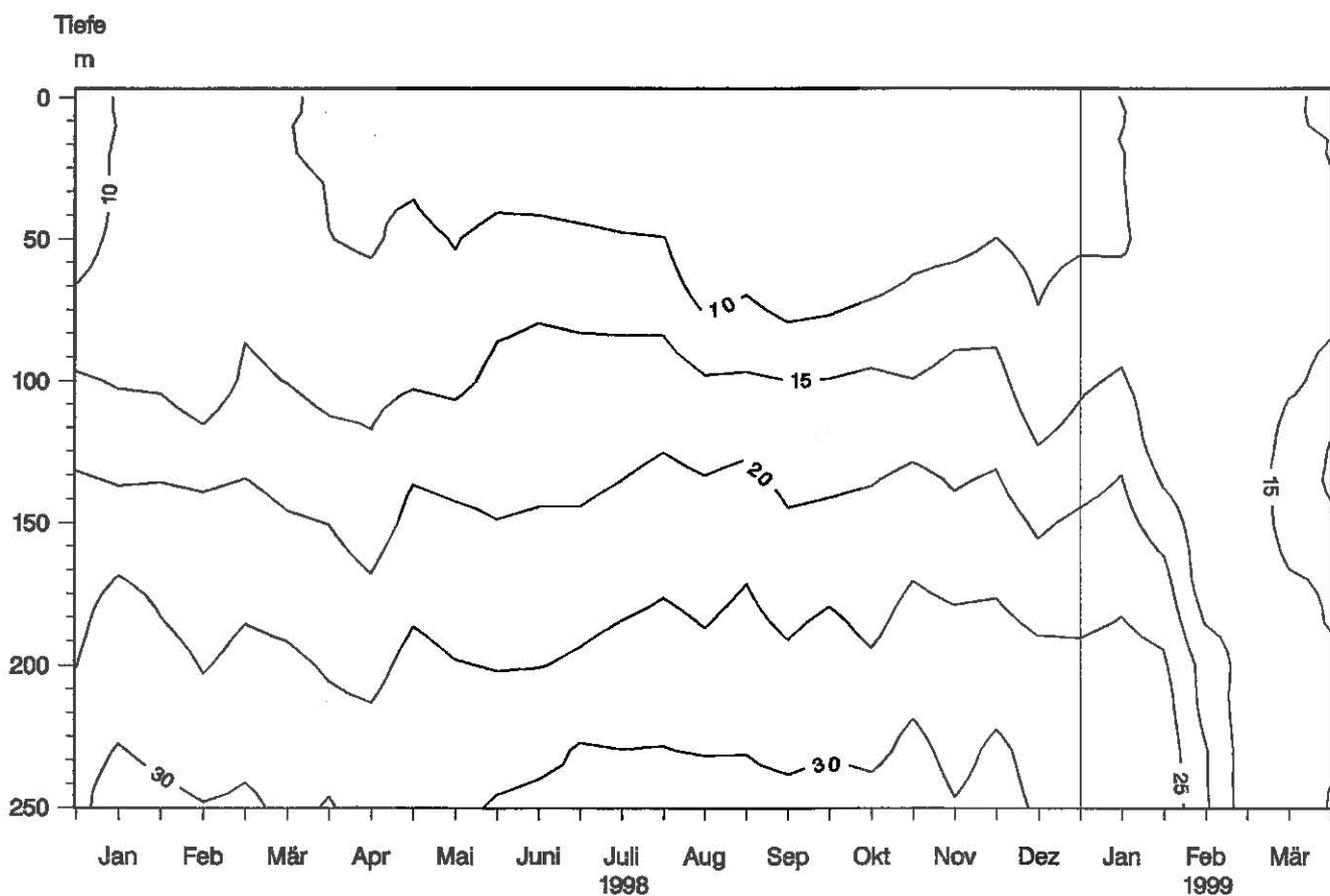


Abb. 13: Bodensee – Obersee, Fischbach–Uttwil:
Gesamt gelöster Phosphor (mg/m³)

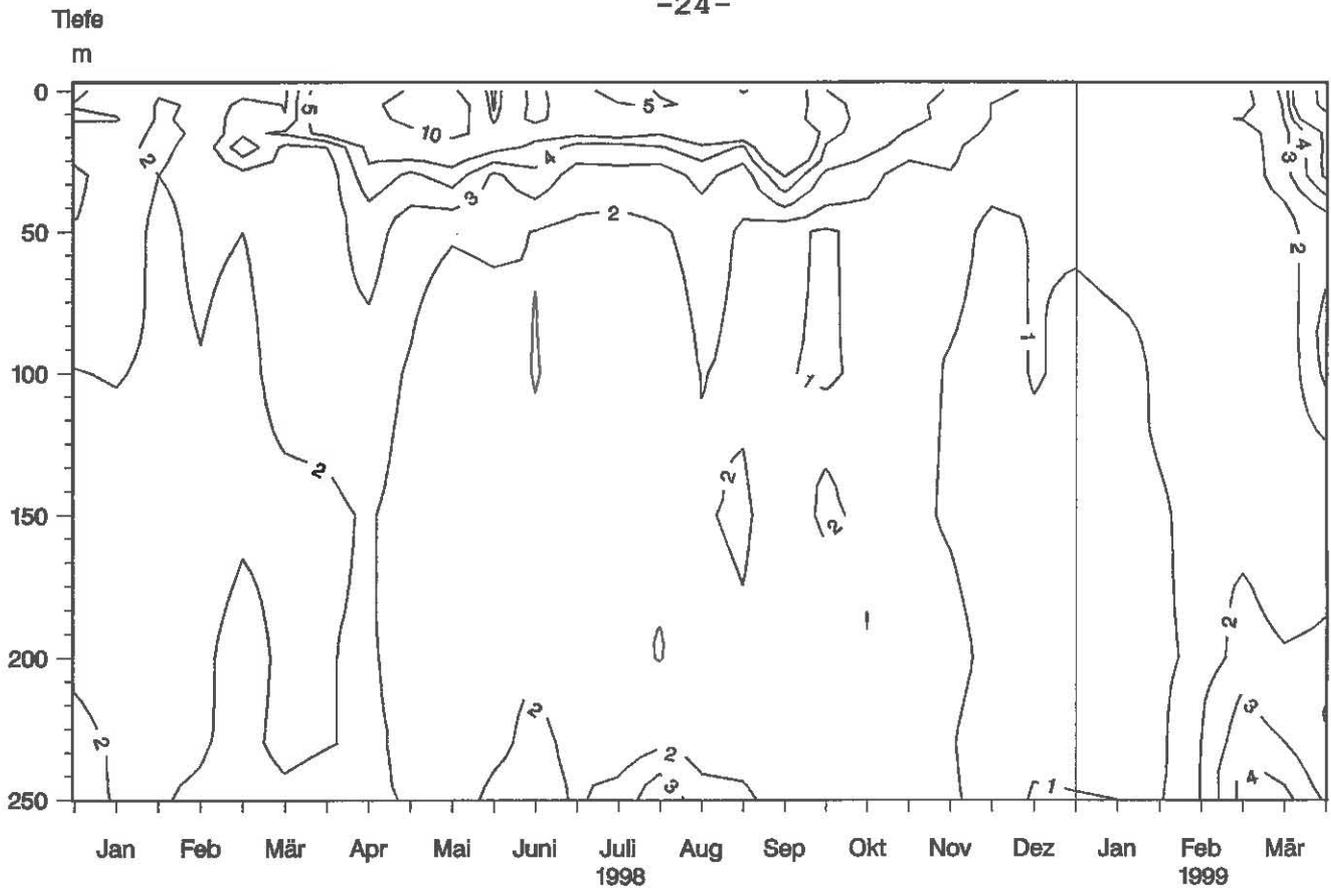


Abb. 14: Bodensee – Obersee, Fischbach–Uttwil:
partikulärer Phosphor (mg/m³)

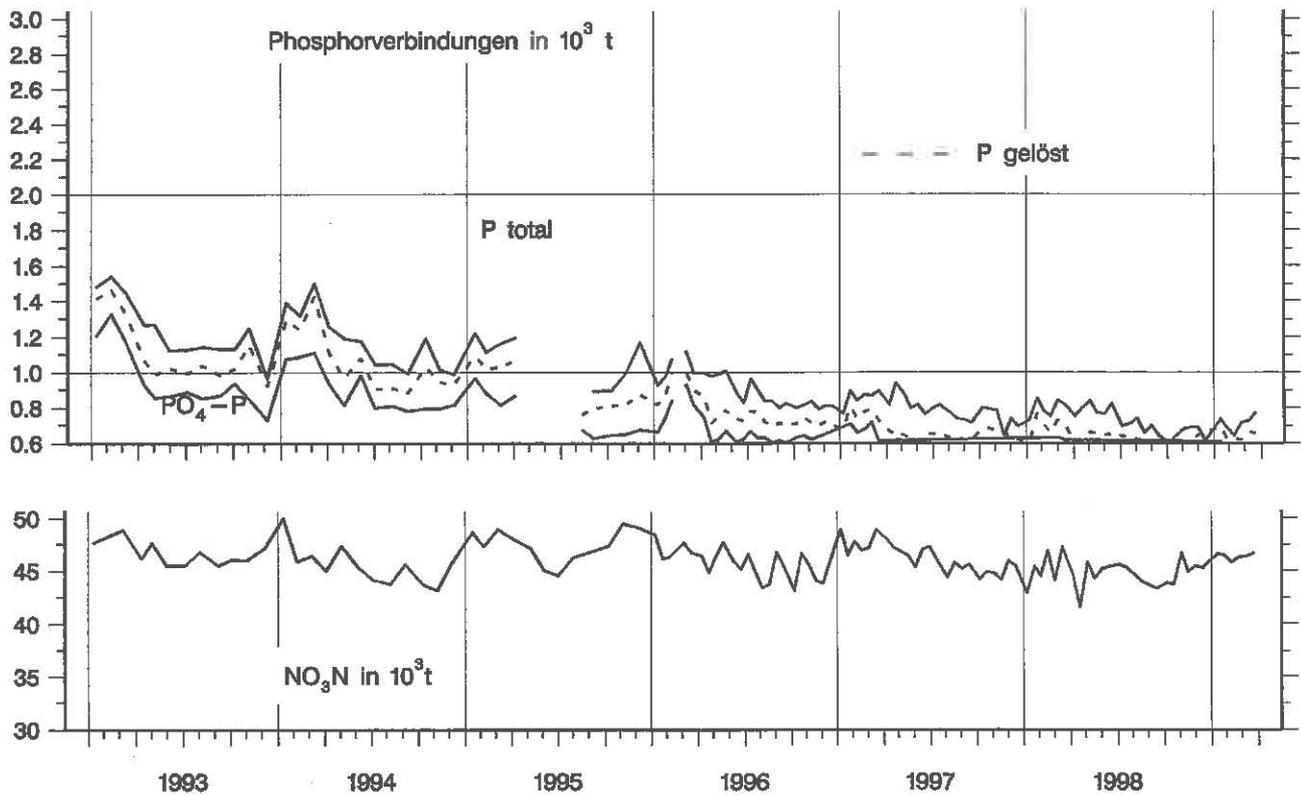


Abb. 15: Bodensee – Obersee, Fischbach–Uttwil:
Nährstoffinhalt (P, NO₃-N) 0–250 m Tiefe *

* wegen analytischer Probleme teilweise keine Meßdaten vorhanden

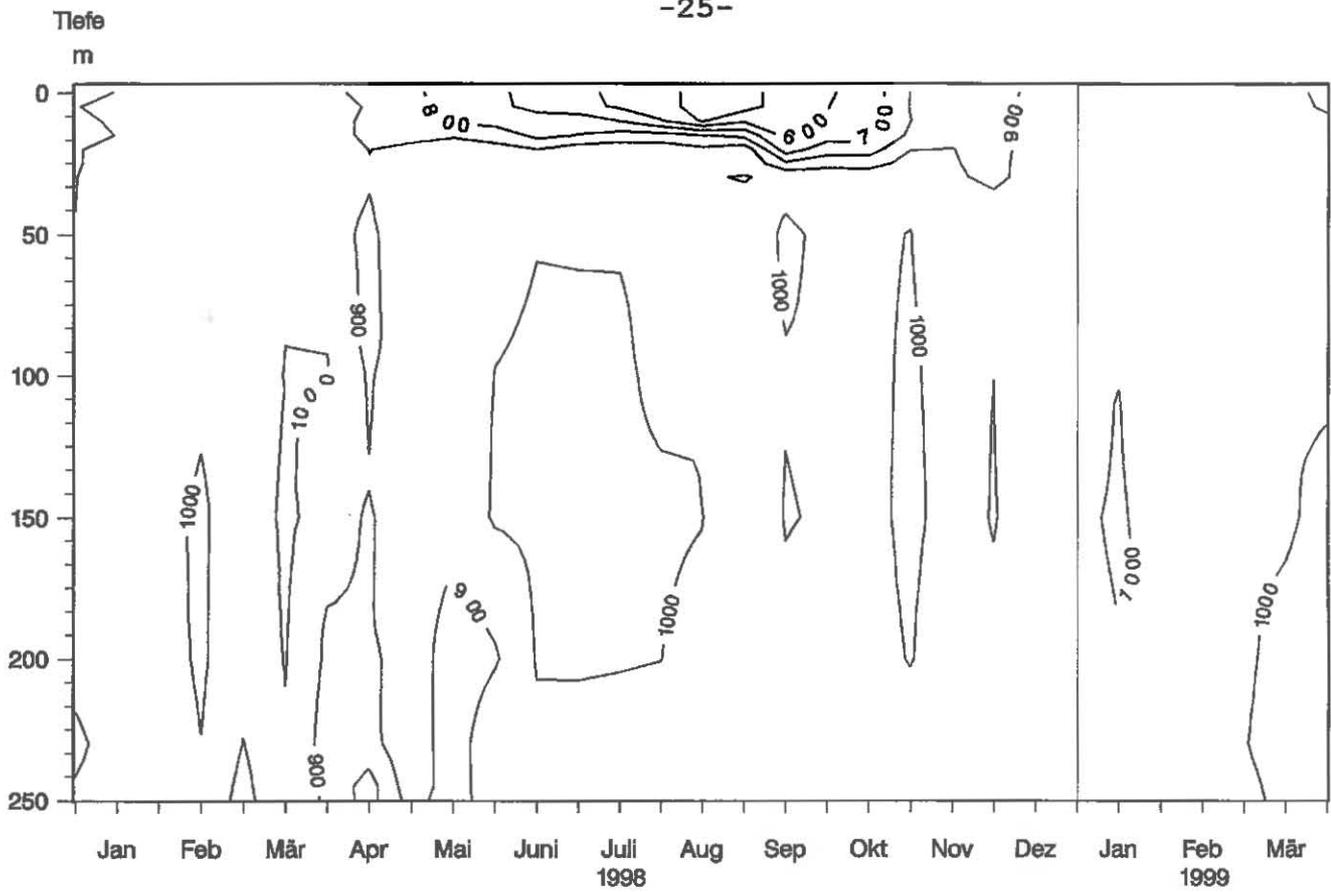


Abb. 16: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
Nitrat – Stickstoff (mg/m³)

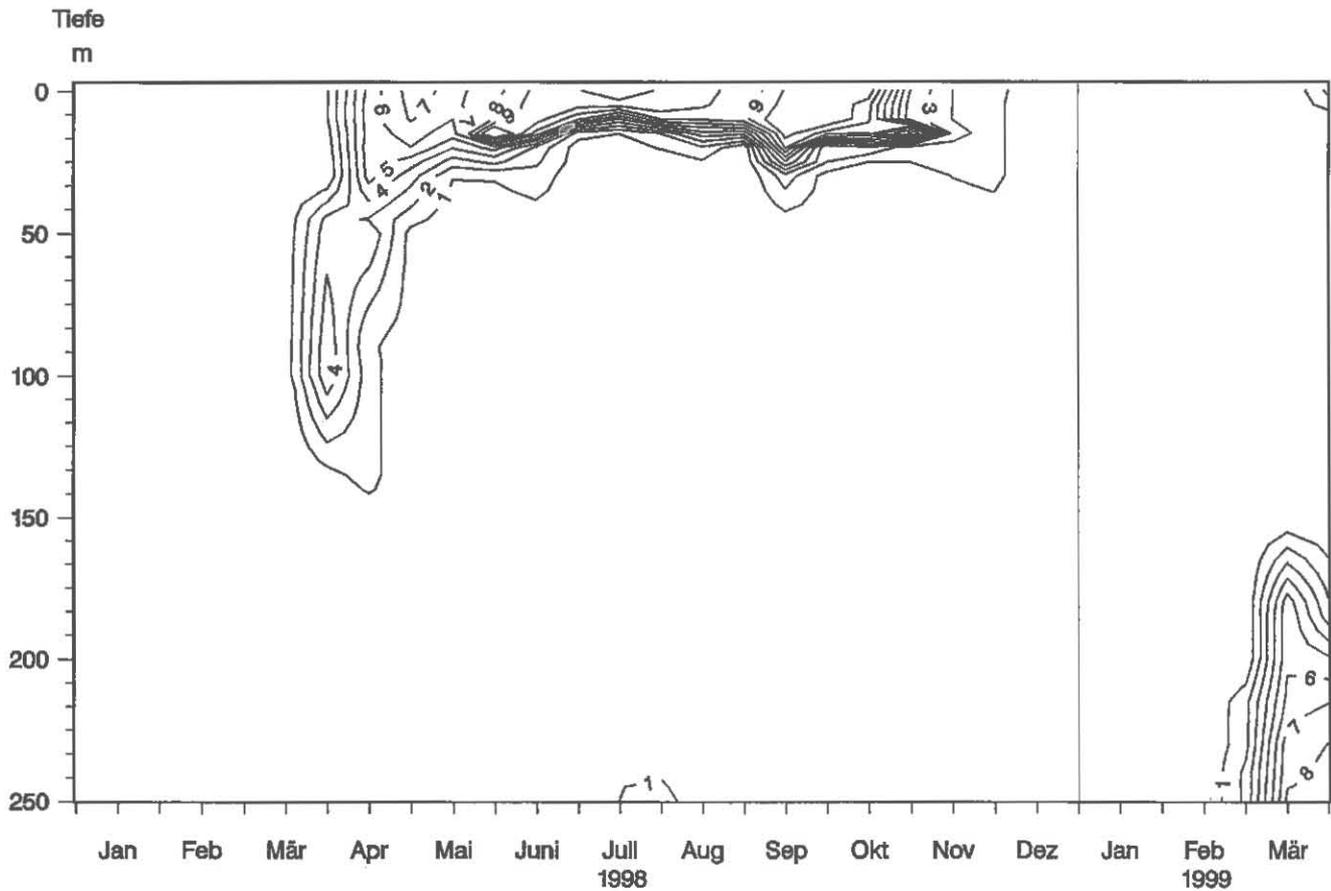


Abb. 17: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
Nitrit – Stickstoff (mg/m³)

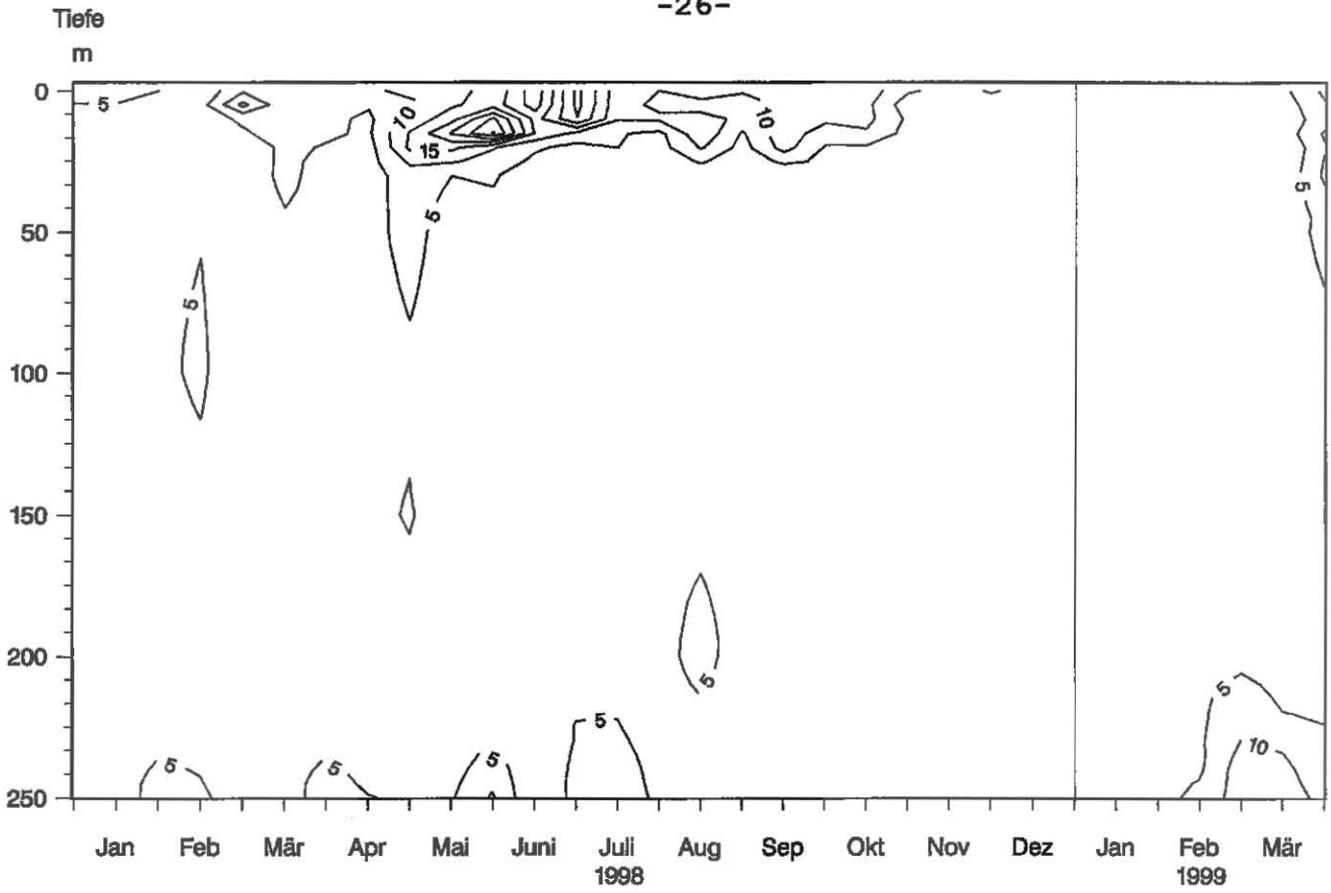


Abb. 18: Bodensee – Obersee, Fischbach–Uttwil:
Ammonium – Stickstoff (mg/m³)

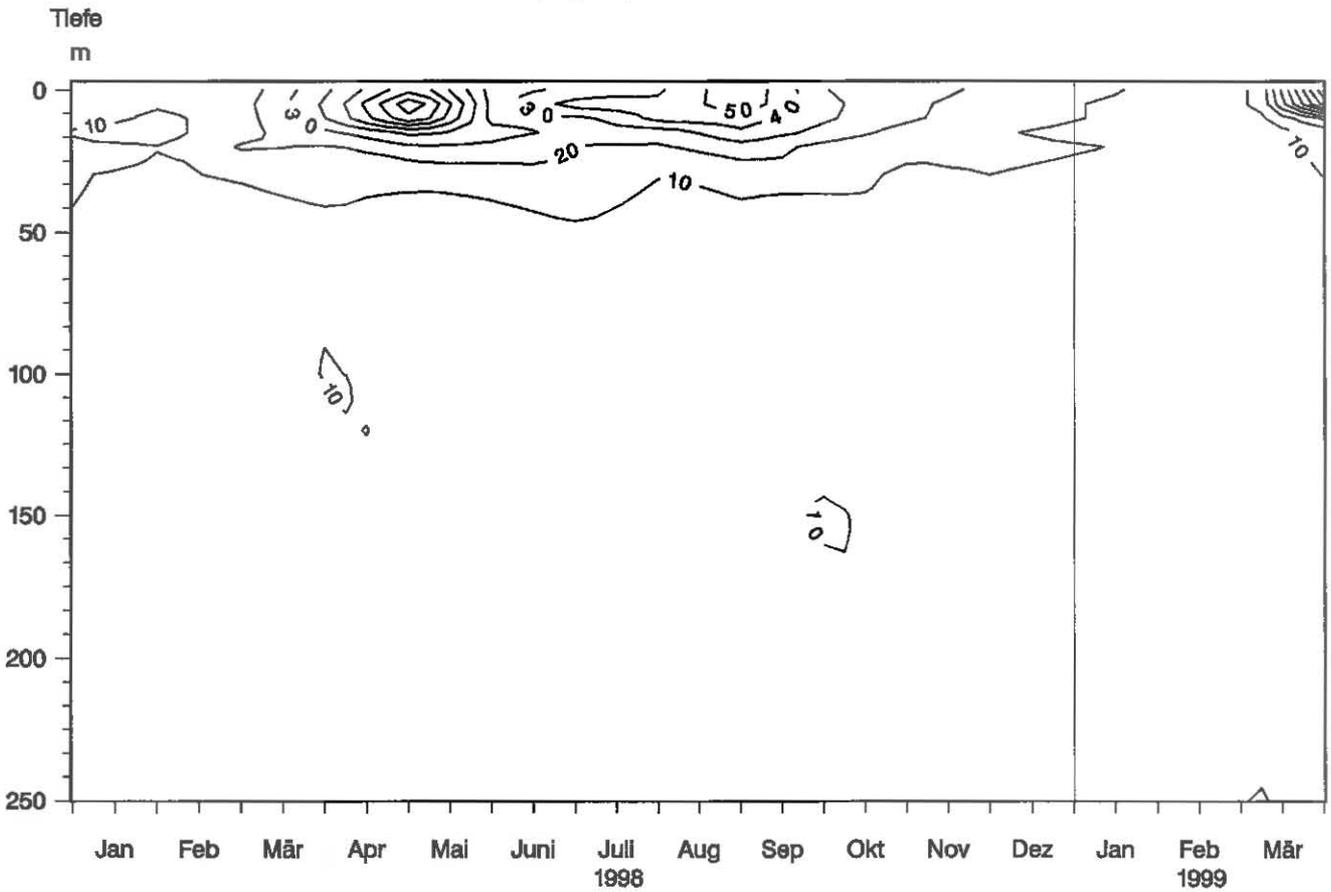


Abb. 19: Bodensee – Obersee, Fischbach–Uttwil:
Partikulärer Stickstoff (mg/m³)

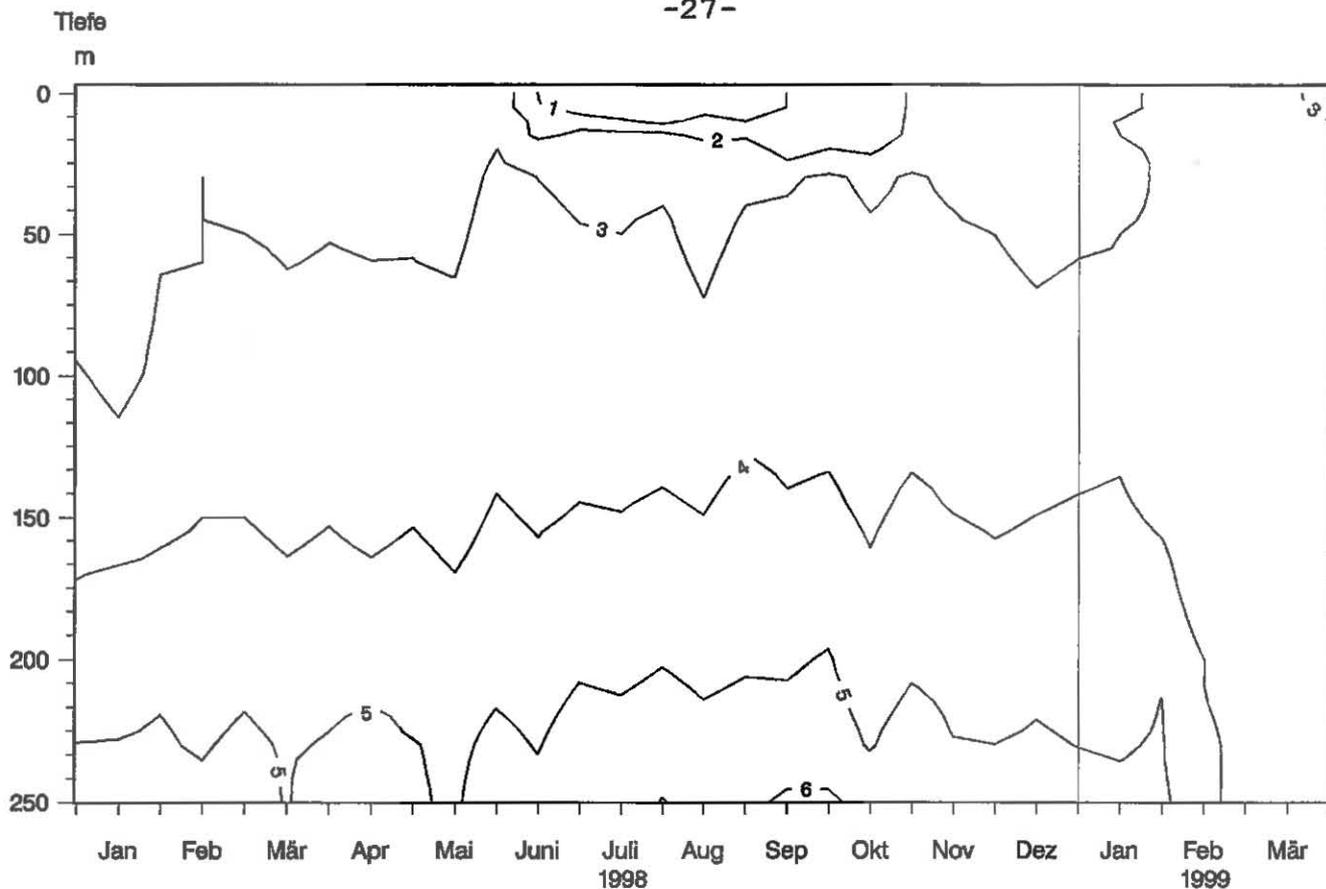


Abb. 20: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
Silikat (mg/l)

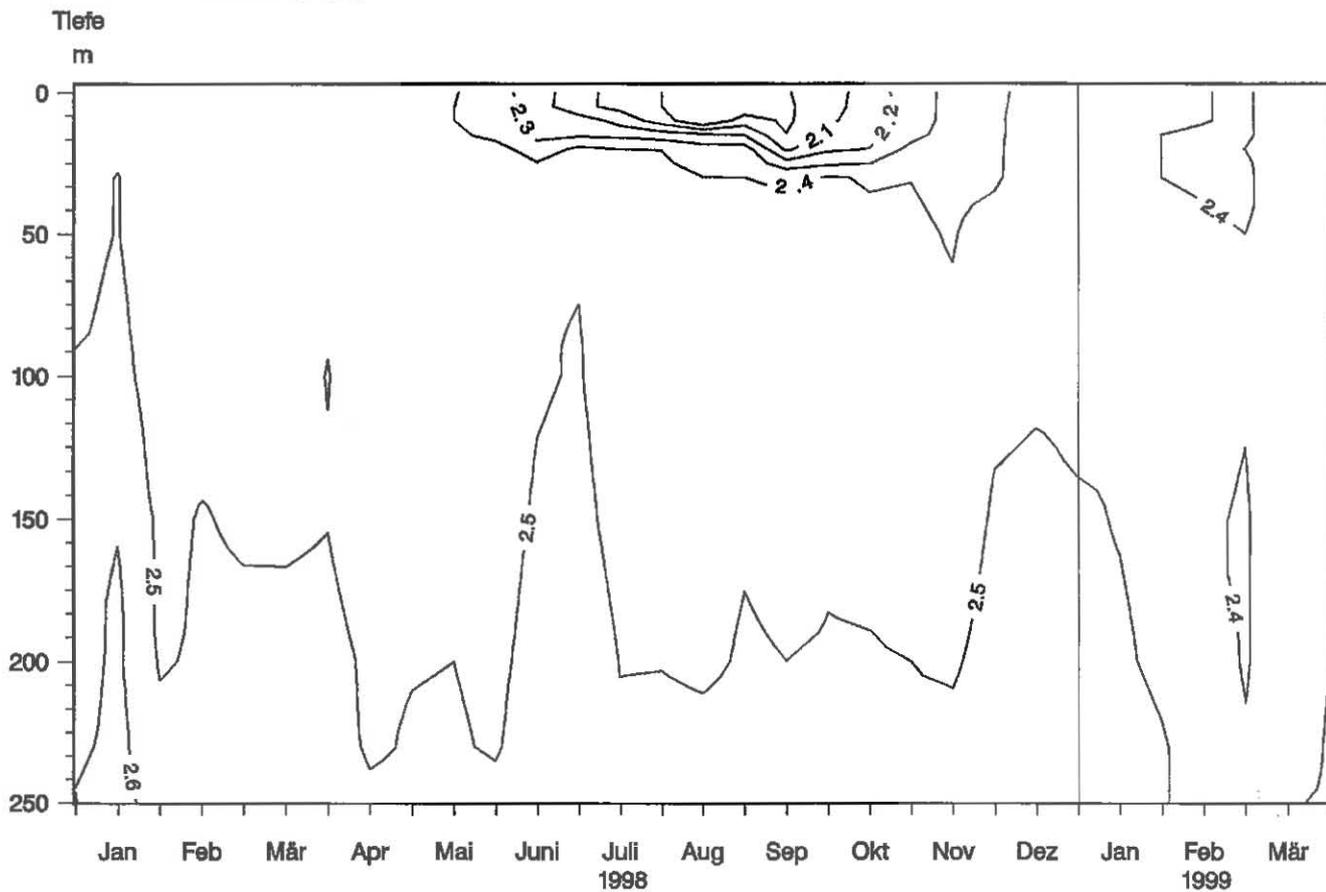


Abb. 21: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
Anorganischer Kohlenstoff (mmol/l)

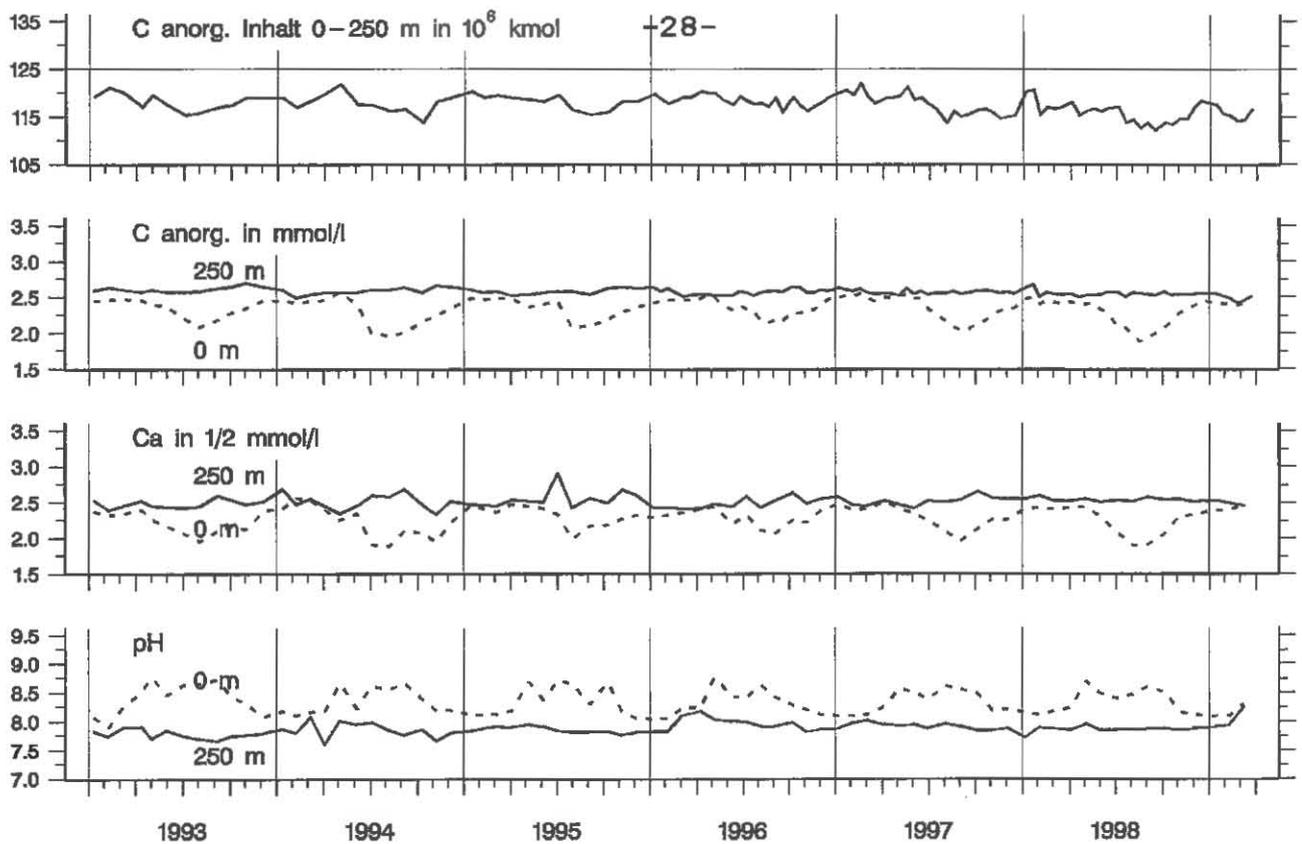


Abb. 22: Bodensee – Obersee:
 Anorganischer Kohlenstoff, Inhalt 0–252 m Tiefe
 Konzentration von anorg. Kohlenstoff, Calcium; pH-Wert

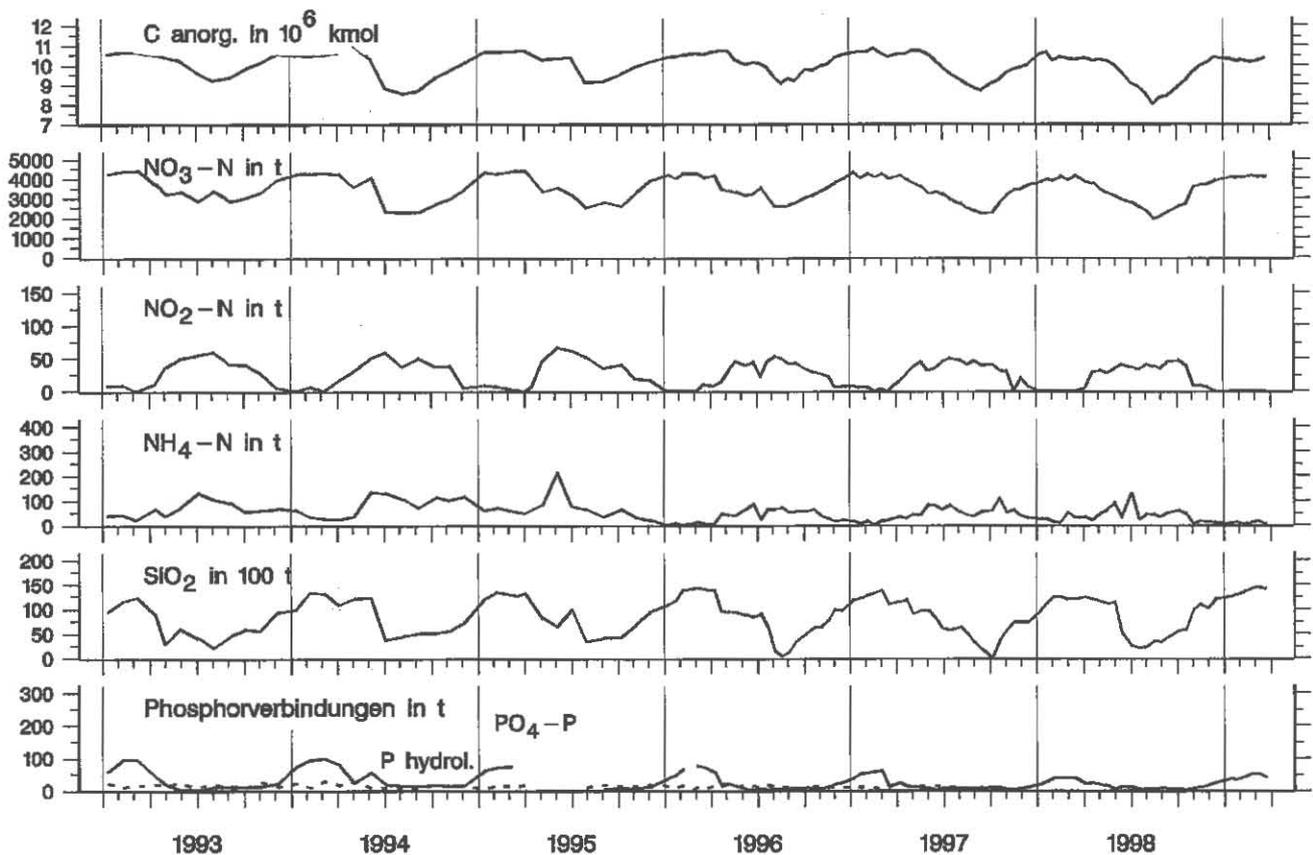


Abb. 23: Bodensee – Obersee:
 Nährstoffinhalt (Phosphor, Stickstoff, Silikat,
 anorg. Kohlenstoff) im Epilimnion 0–10 m Tiefe

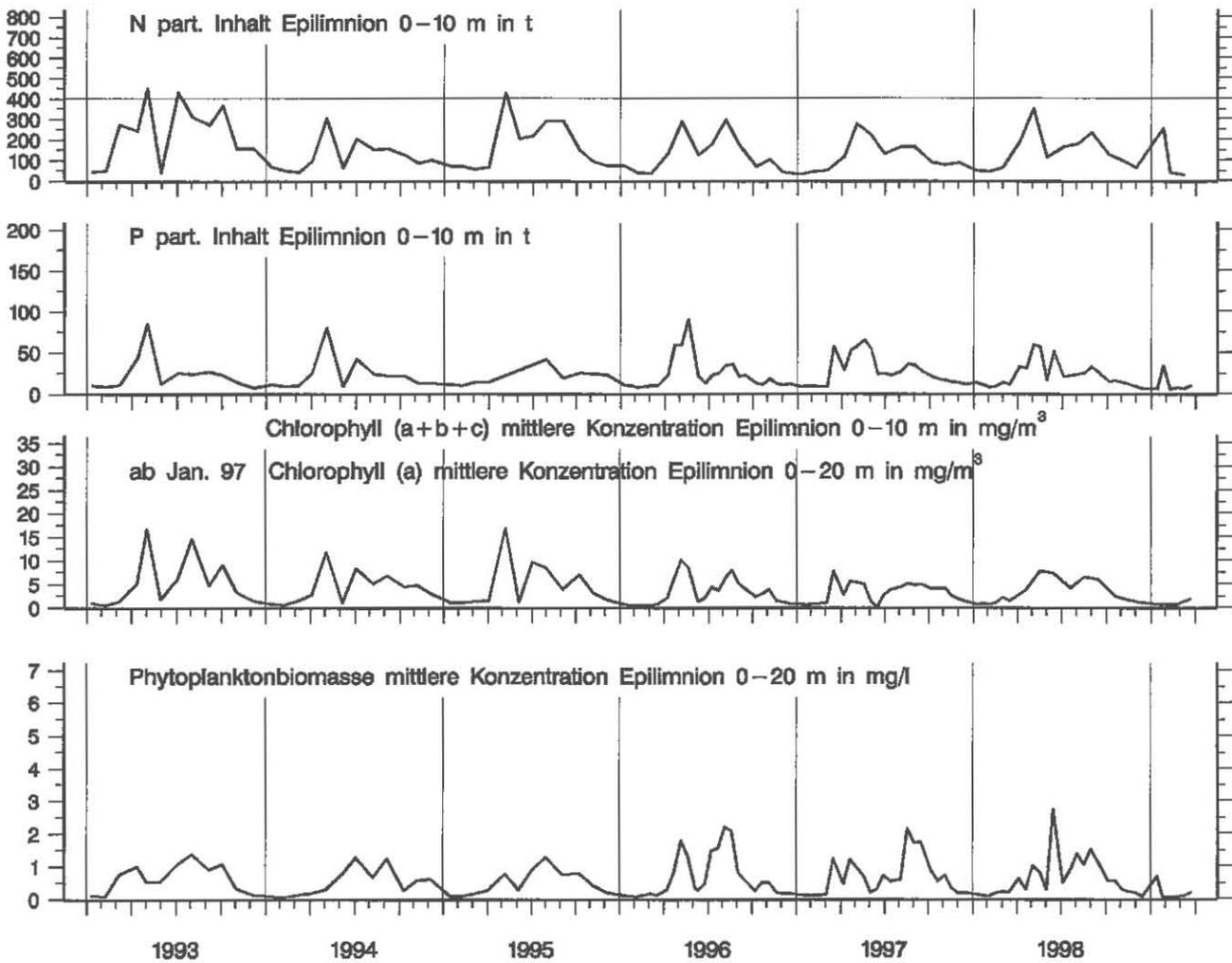


Abb. 24: Bodensee – Obersee:
Chemische Biomasseindikatoren und Phytoplanktonbiomasse

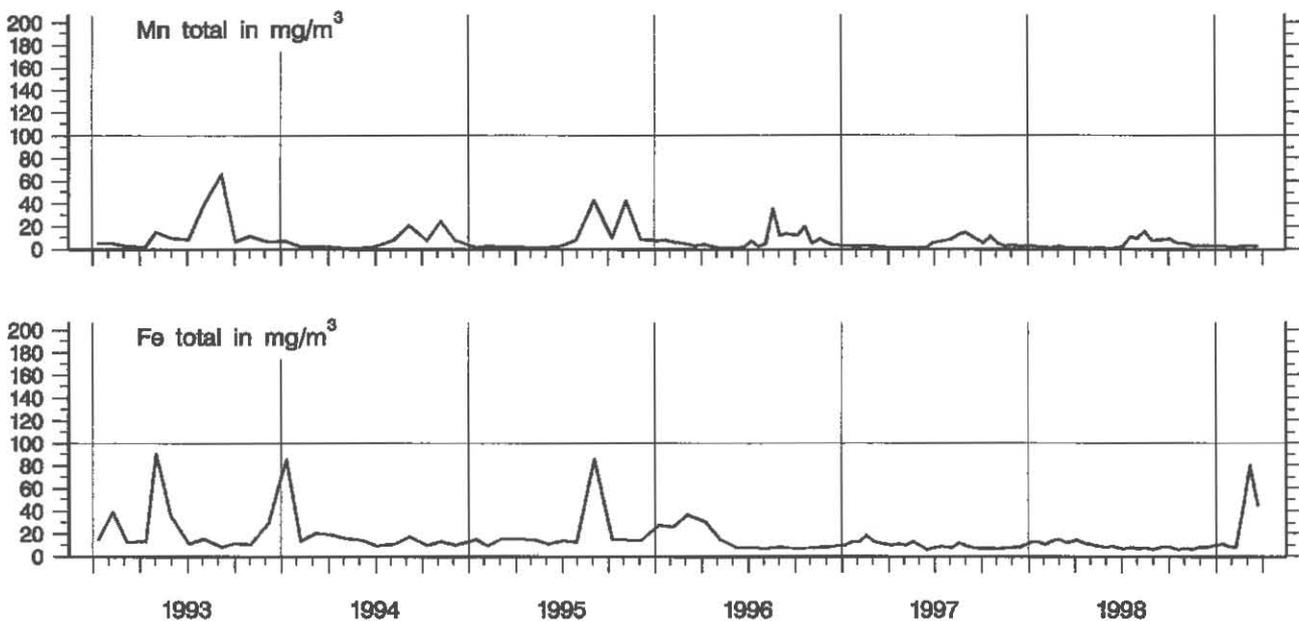


Abb. 25: Bodensee – Obersee, Fischbach-Uttwil:
Konzentration von Eisen total und Mangan total in 250 m Tiefe

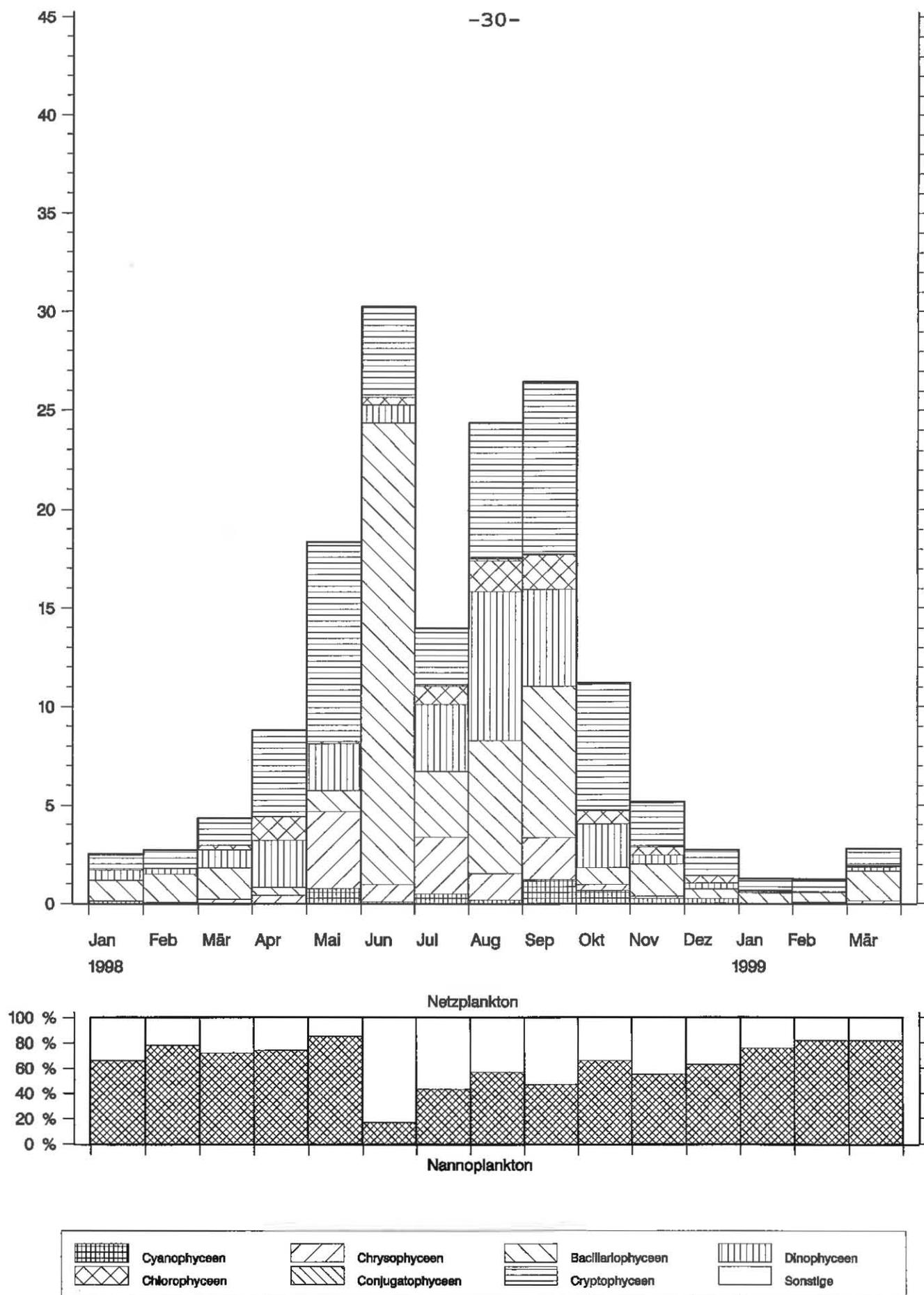


Abb. 26: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
 Entwicklung des Phytoplanktons
 Biomasse in g/m² (0–20m Tiefe), Monatsmittel 1998/99

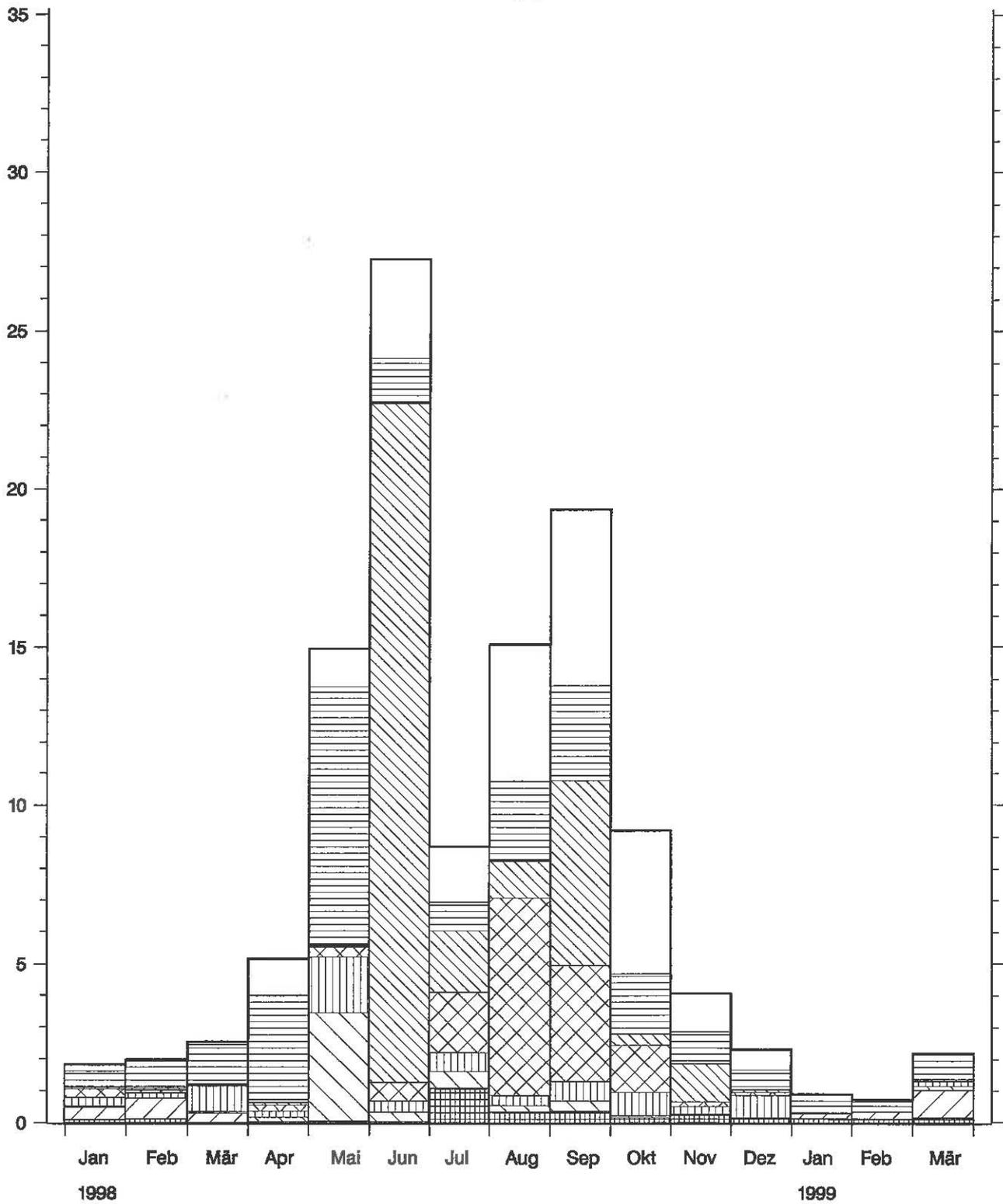


Abb. 27: Bodensee – Obersee, Fischbach–Uttwil:
 Entwicklung des Phytoplanktons
 Biomasse der Hauptarten in g/m^2 (0–20m Tiefe), Monatsmittel 1998/99

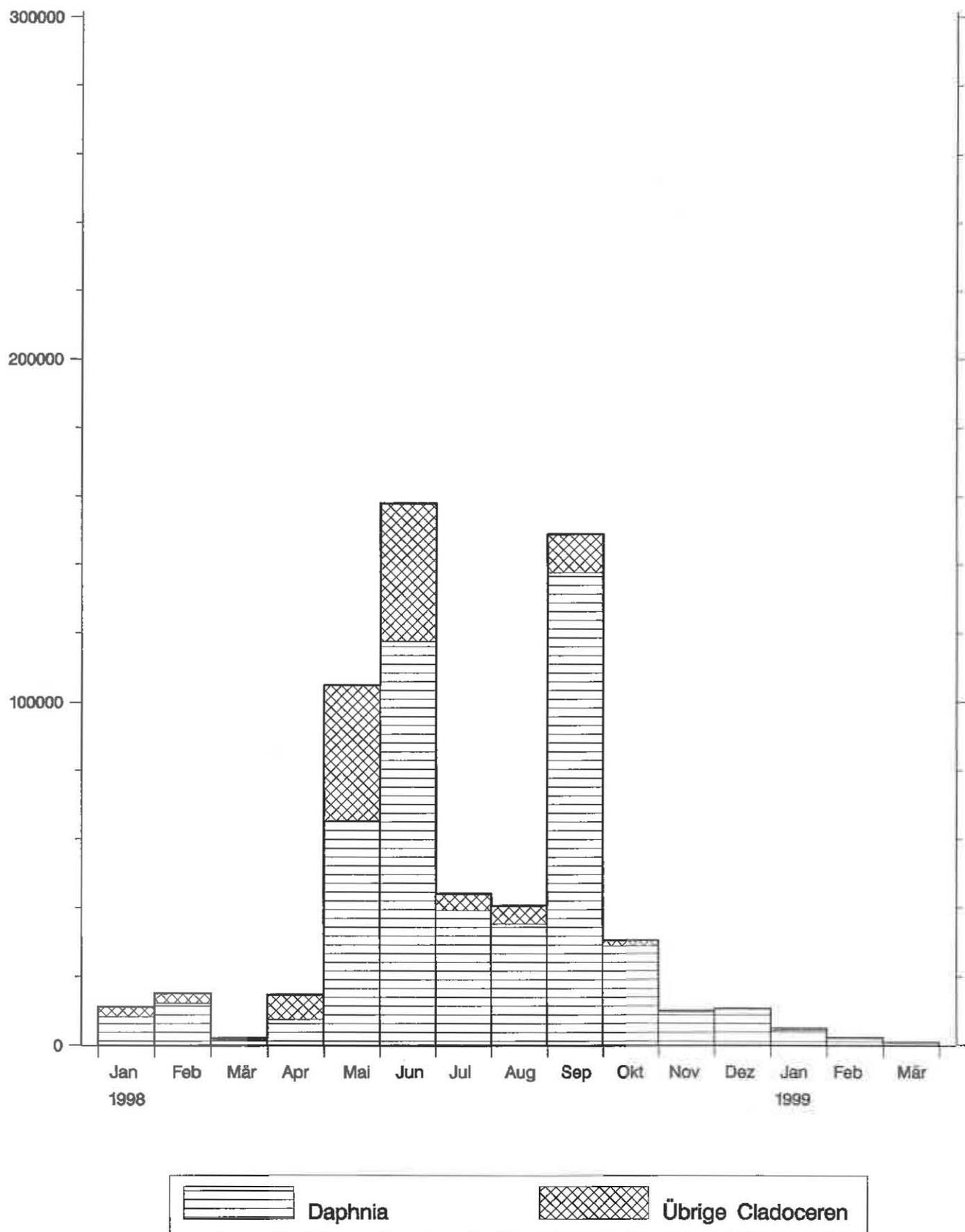
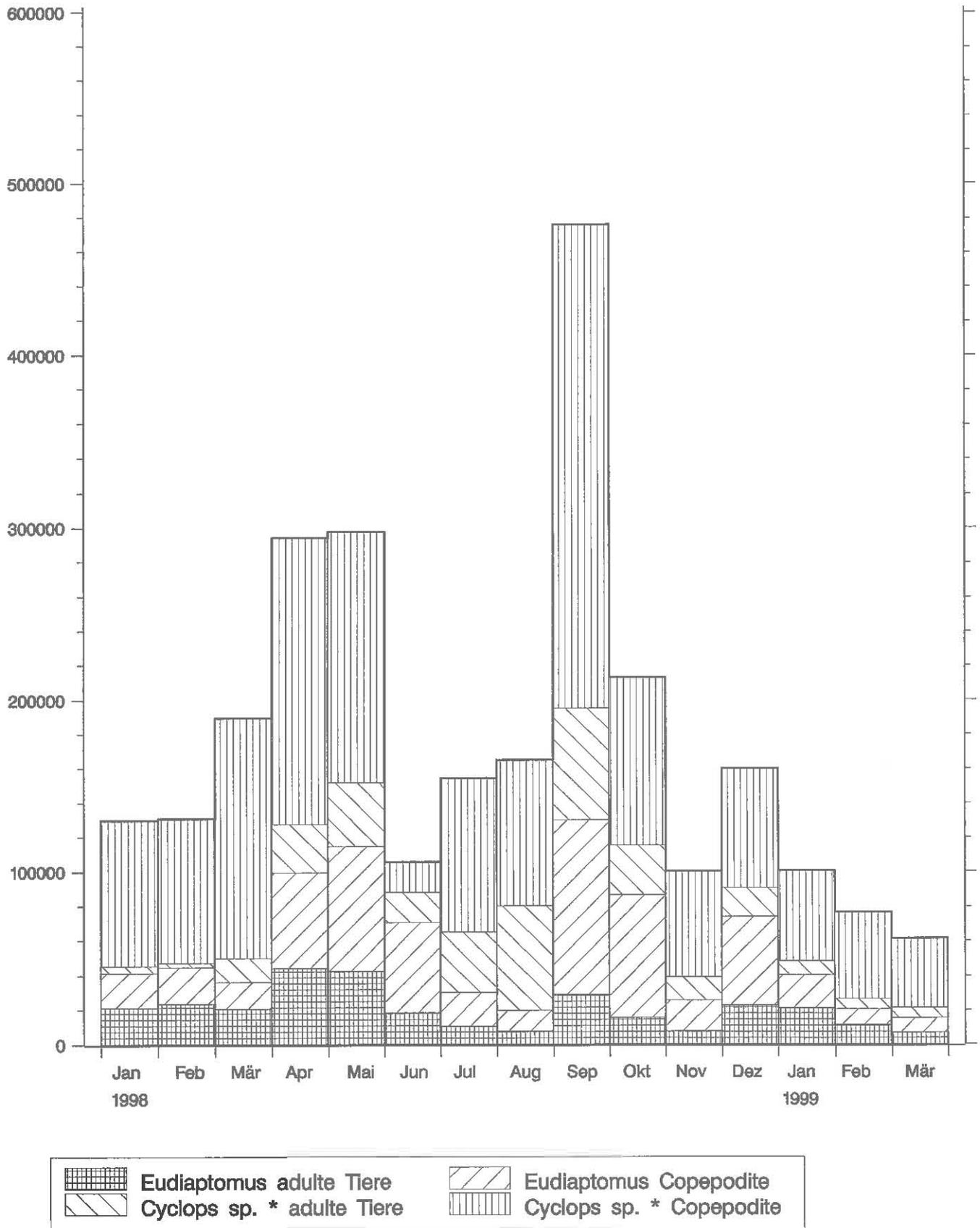


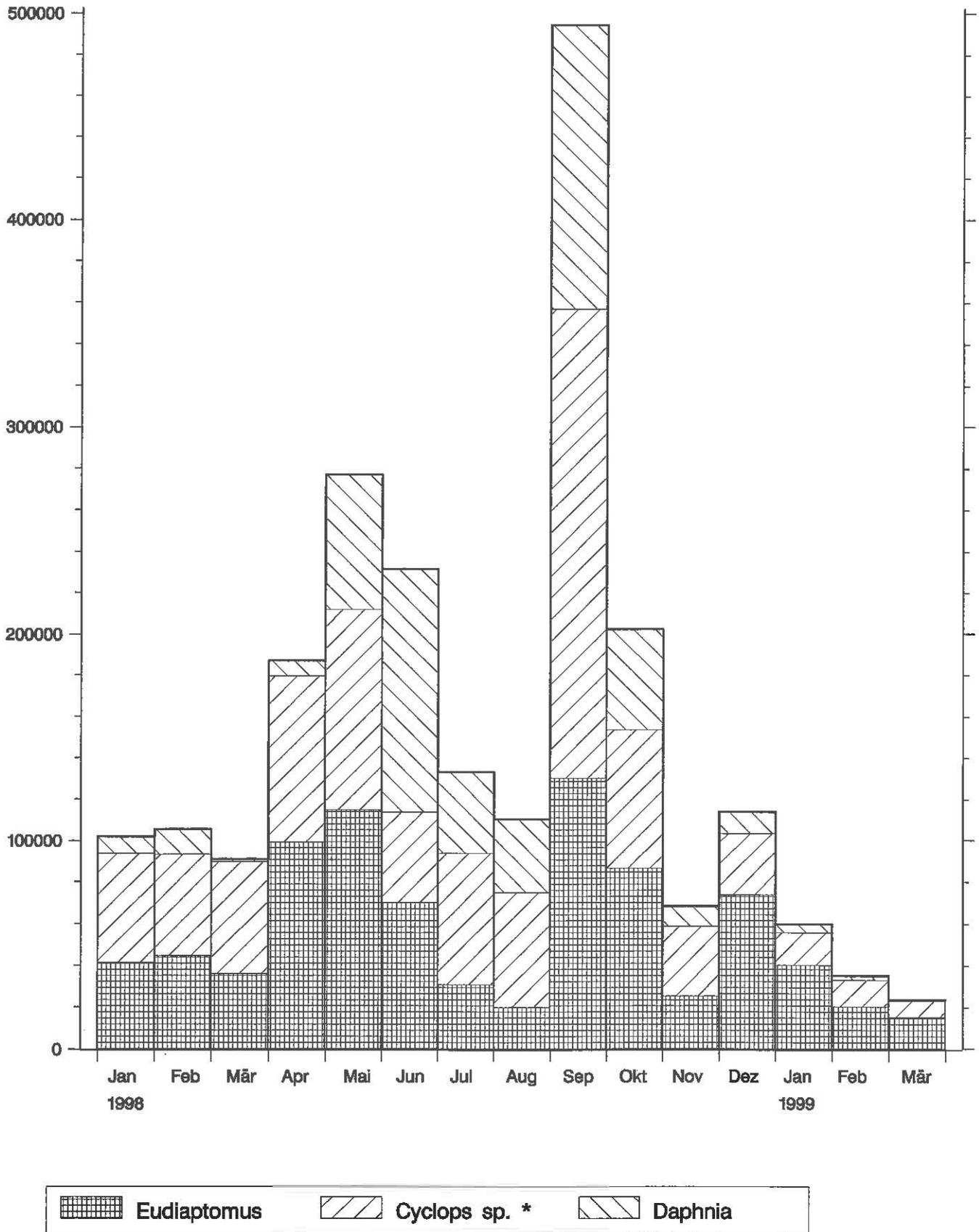
Abb. 28: Bodensee – Obersee, Fischbach–Uttwil:
Entwicklung der Cladoceren
Tiere/m², Monatsmittel 1998/99



* Cyclops sp. (Summe der Copepoden *C. abyssorum*, *C. vicinus*, *Mesocyclops*, *Acanthocyclops*)

Abb. 29: Bodensee – Obersee, Fischbach–Uttwil:

Entwicklung der Copepoden, adulte Tiere und Copepodite,
Tiere/m², Monatsmittel 1998/99



* Cyclops sp. (Summe der Copepoden *C. abyssorum*, *C. vicinus*, *Mesocyclops*, *Acanthocyclops*)

Abb. 30: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:

Entwicklung der herbivor lebenden Crustaceen,
Tiere/m², Monatsmittel 1998/99

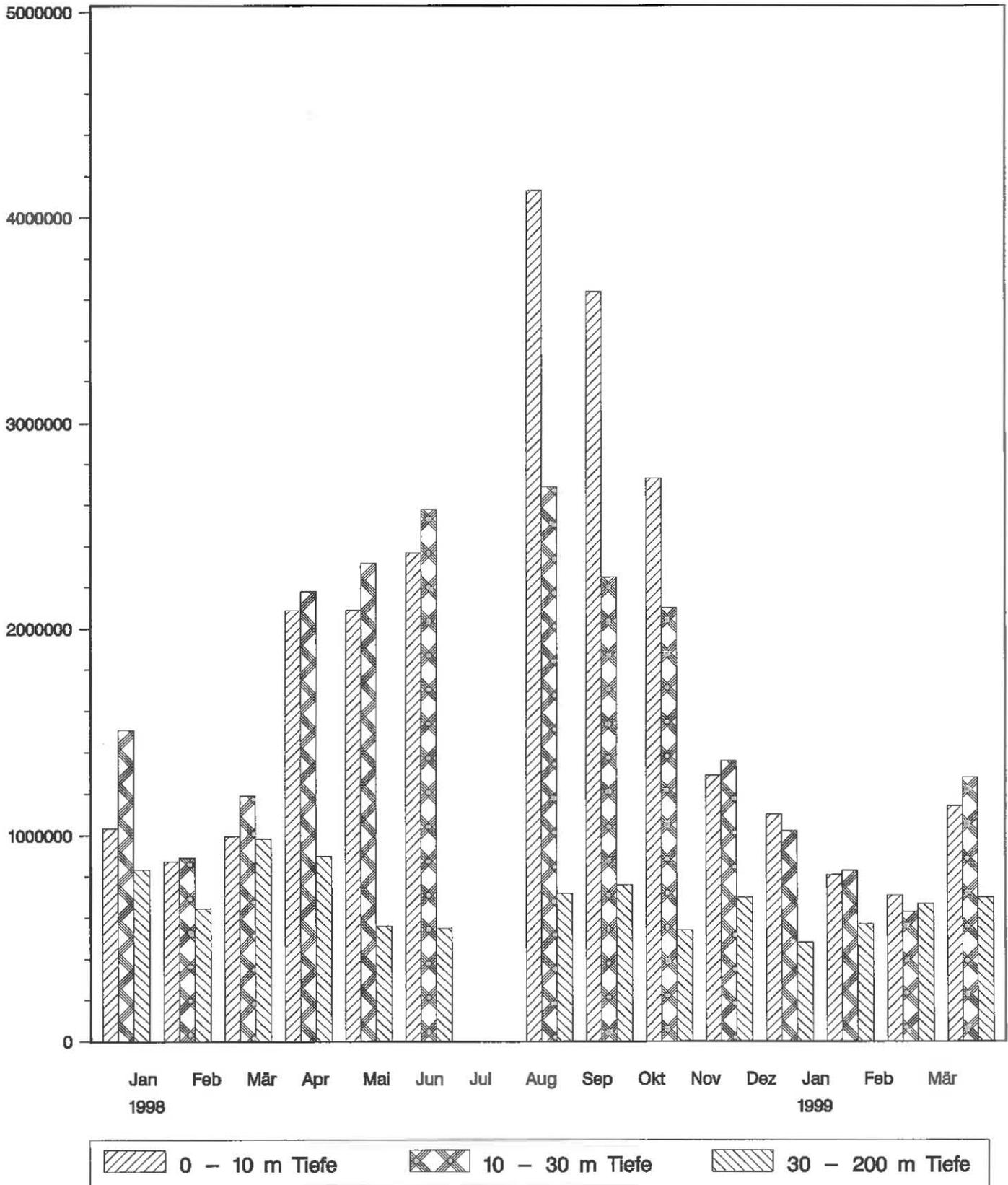


Abb. 31: Bodensee – Obersee, Langenargen – Arbon:
Entwicklung des Bakterienplanktons,
Gesamtkeimzahlen (Millionen Zellen/ml), Monatsmittel 1998/99

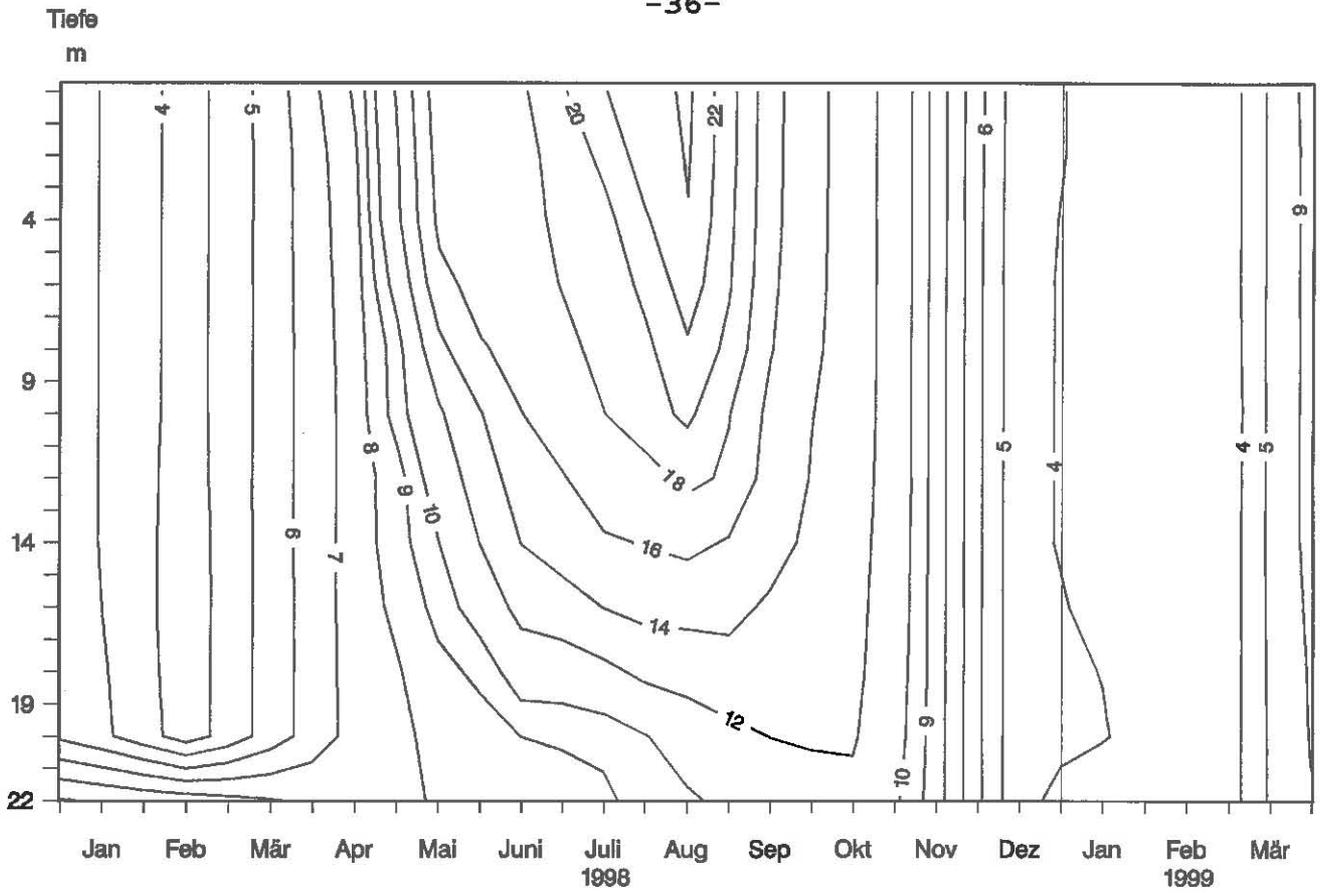


Abb. 32: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Temperatur °C

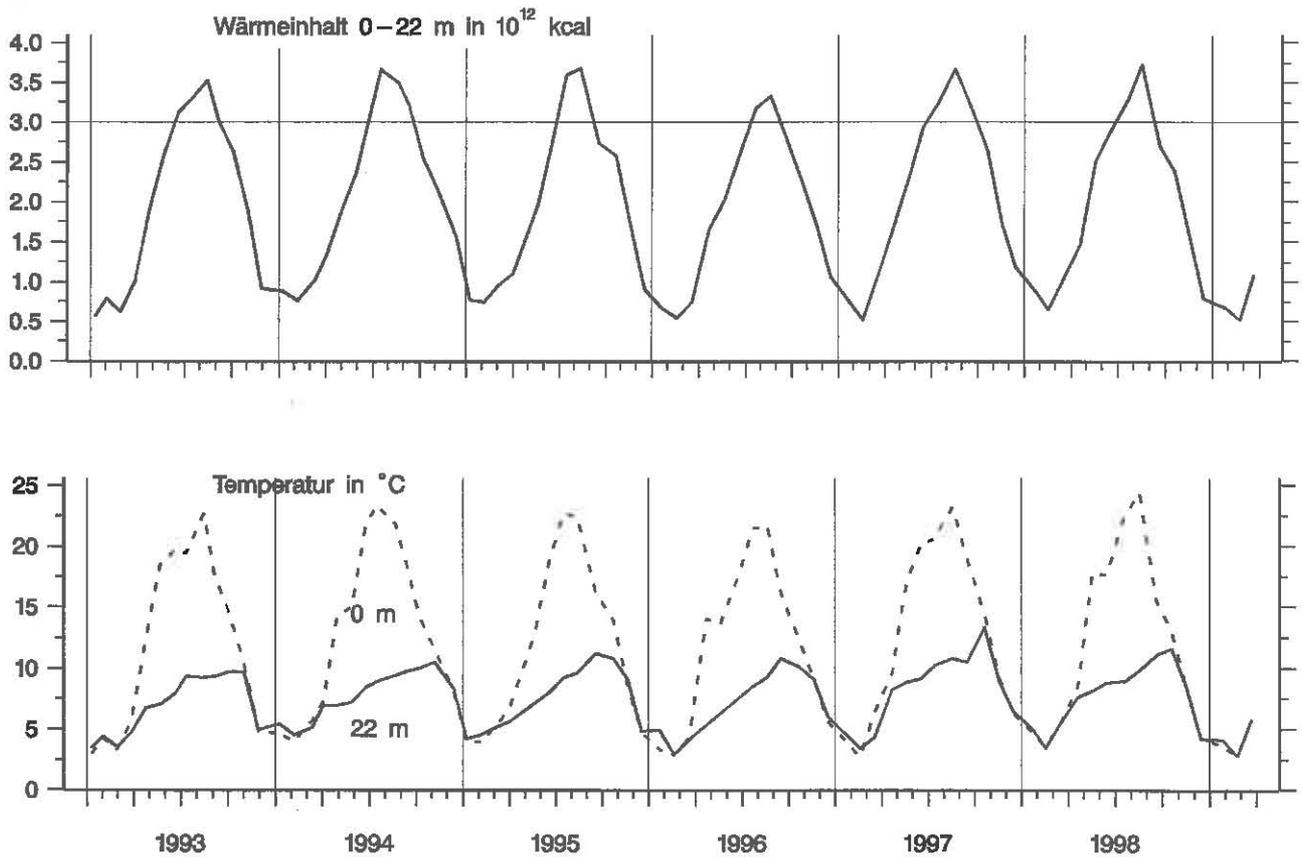


Abb. 33: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Thermik

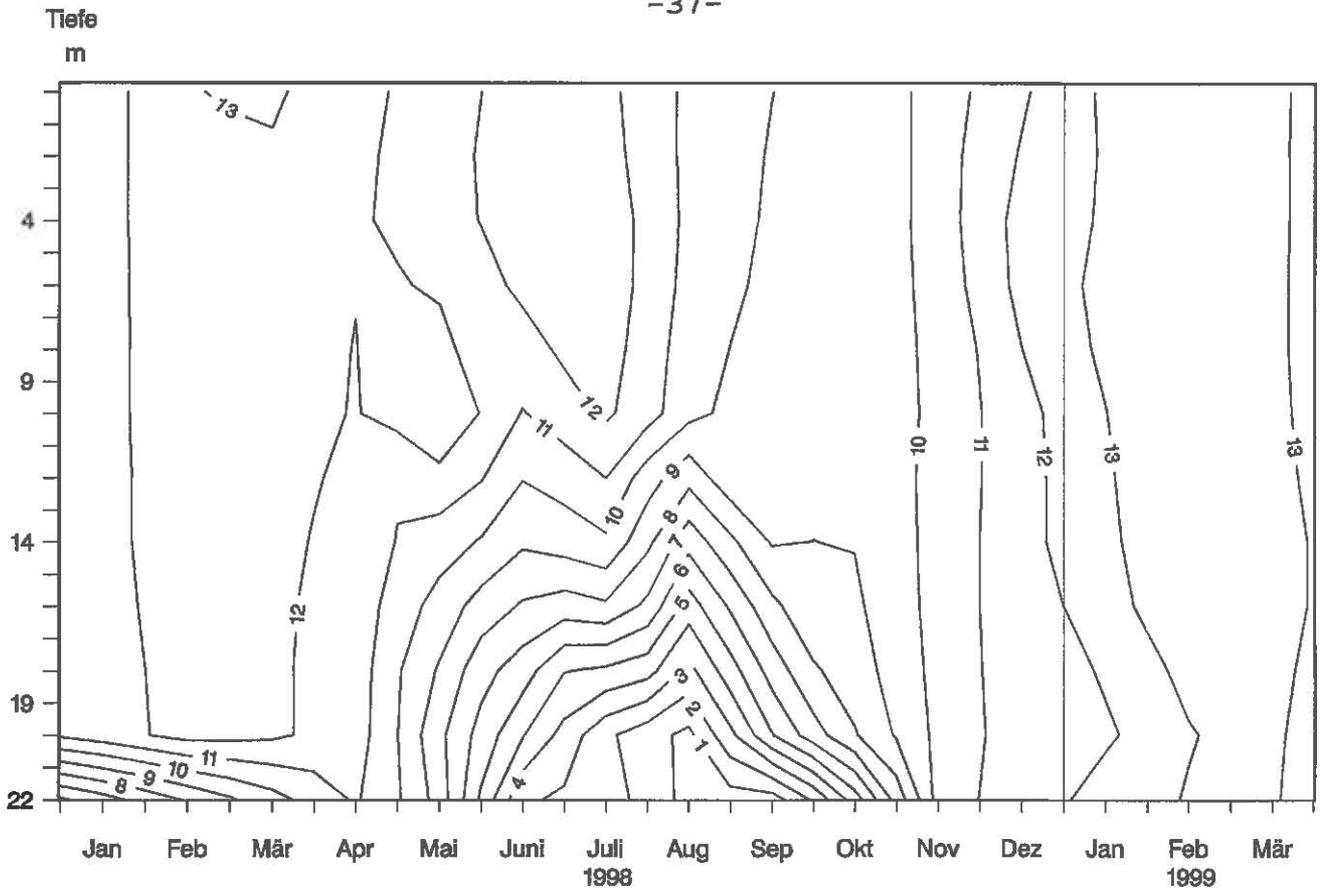


Abb. 34: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Sauerstoff (mg/l)

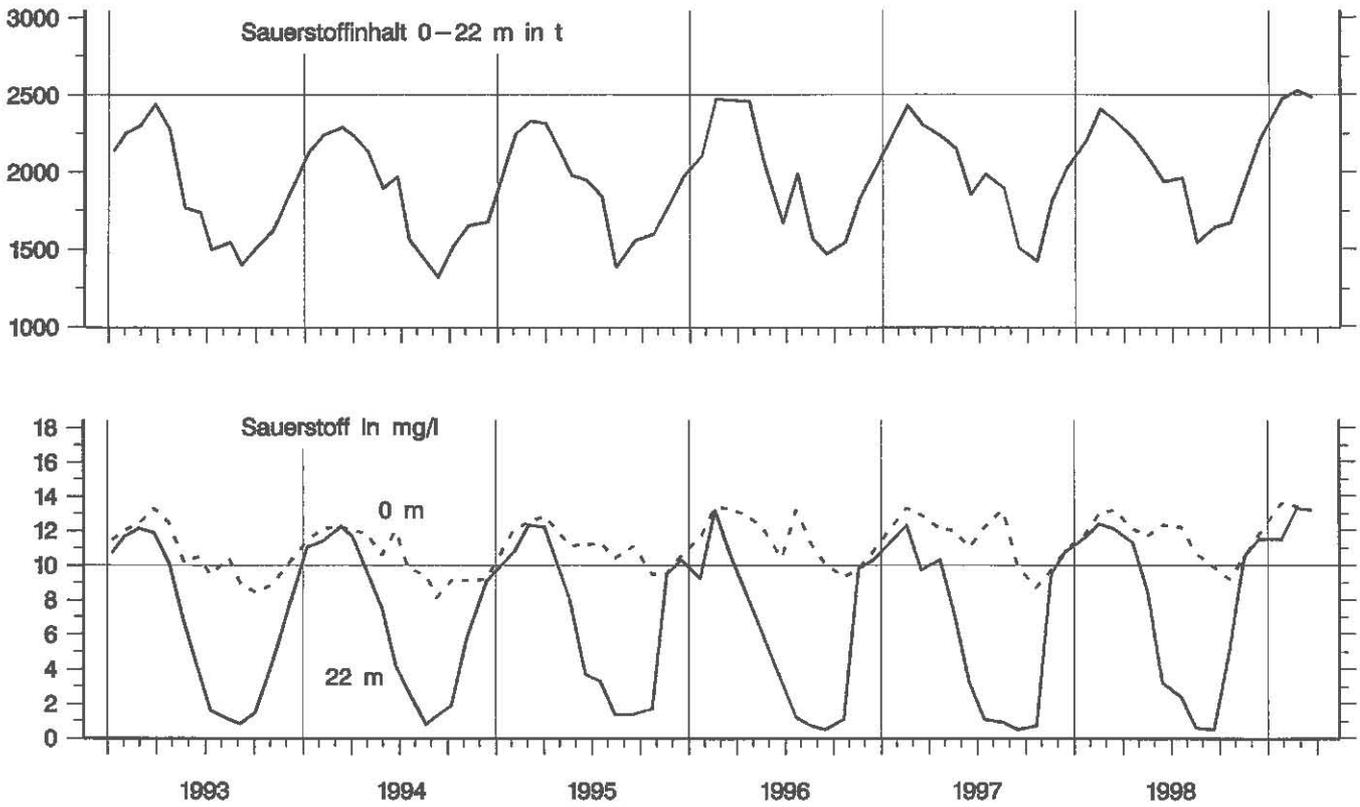


Abb. 35: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Sauerstoffinhalt 0-22 m und Sauerstoffkonzentration in 0 und 22 m Tiefe

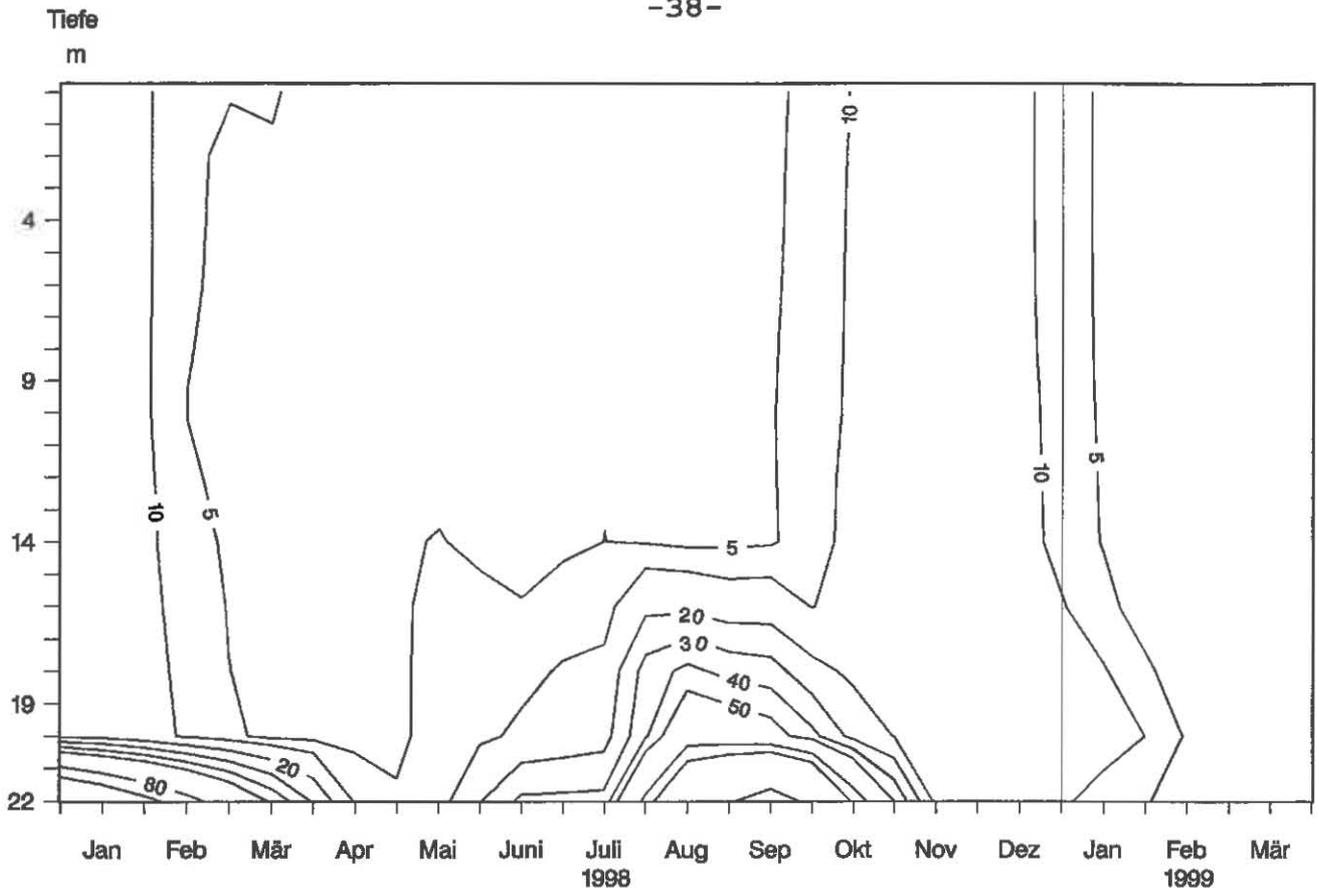


Abb. 36: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Orthophosphat – Phosphor (mg/m³)

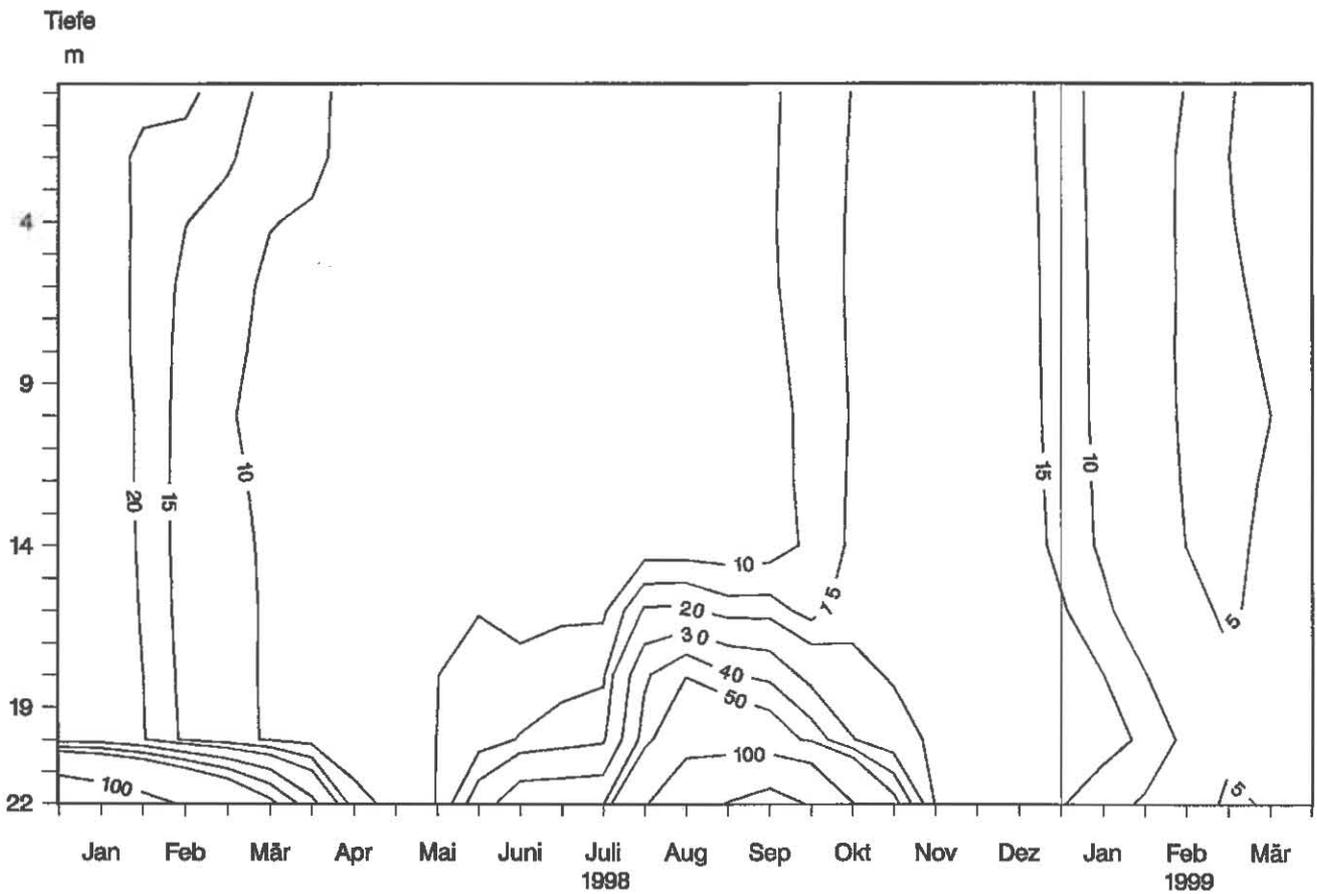


Abb. 37: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Gesamt gelöster Phosphor (mg/m³)

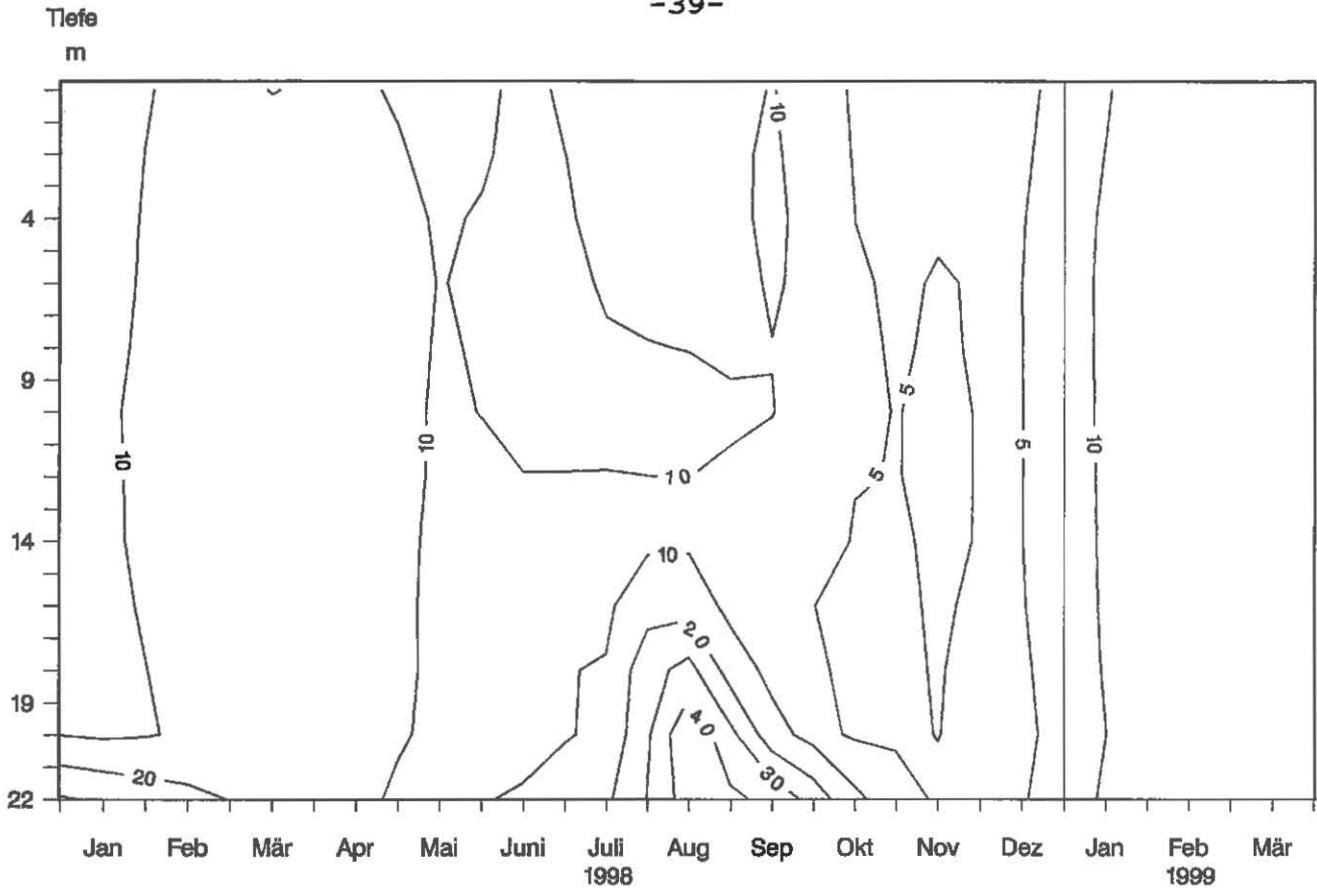


Abb. 38: Bodensee – Untersee, Zellersee:
partikulärer Phosphor (mg/m^3)

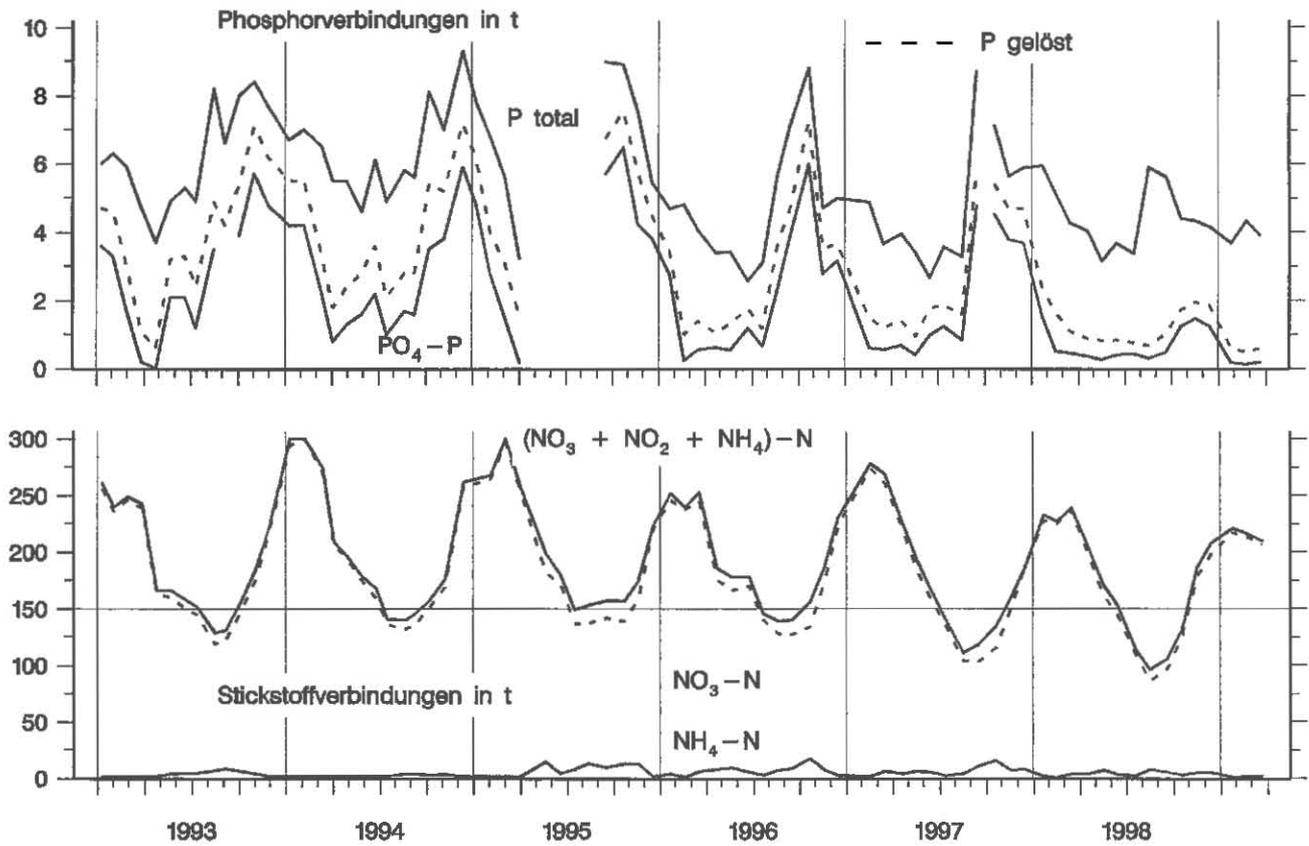


Abb. 39: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Nährstoffinhalt 0–22 m Tiefe

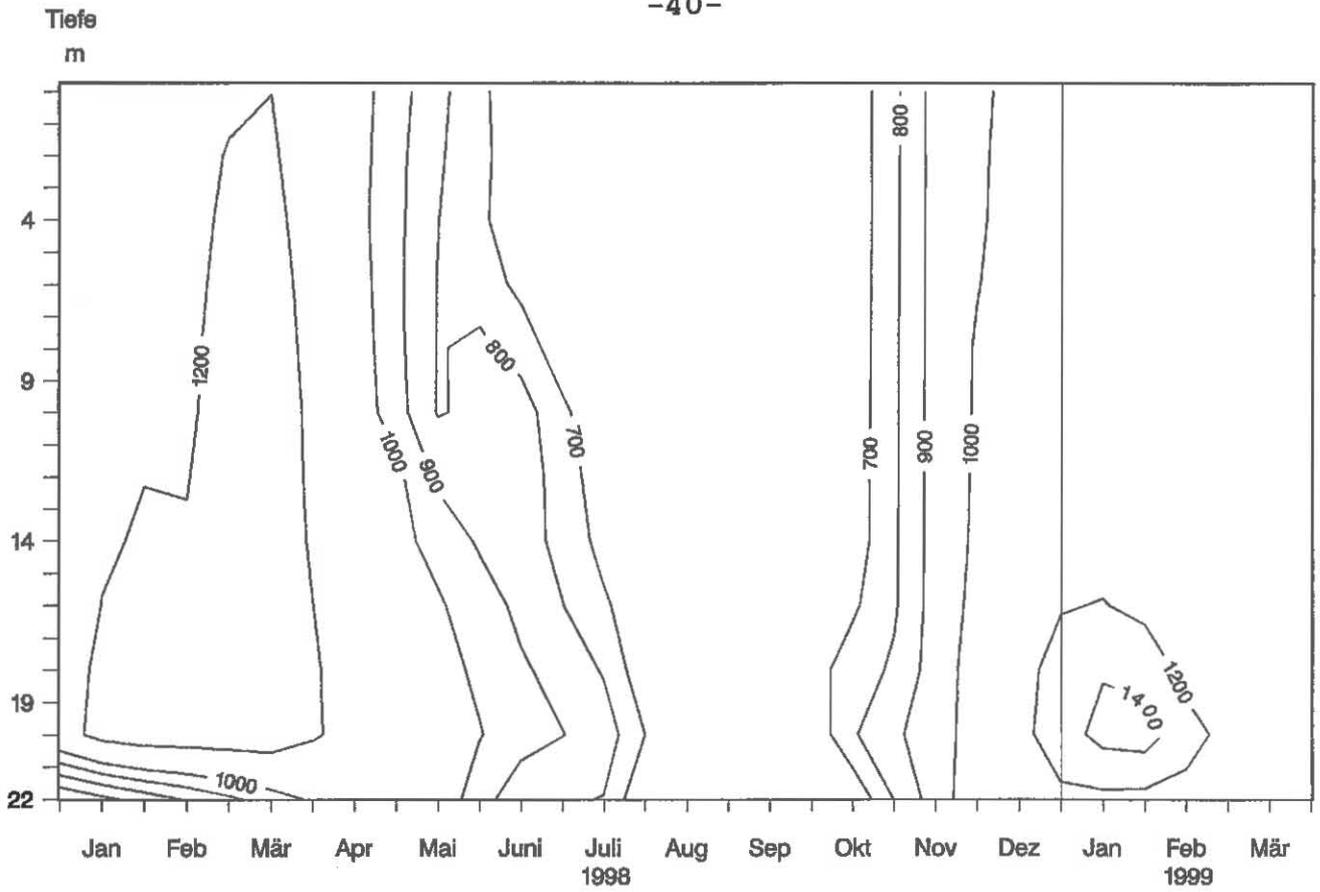


Abb. 40: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Nitrat – Stickstoff (mg/m³)

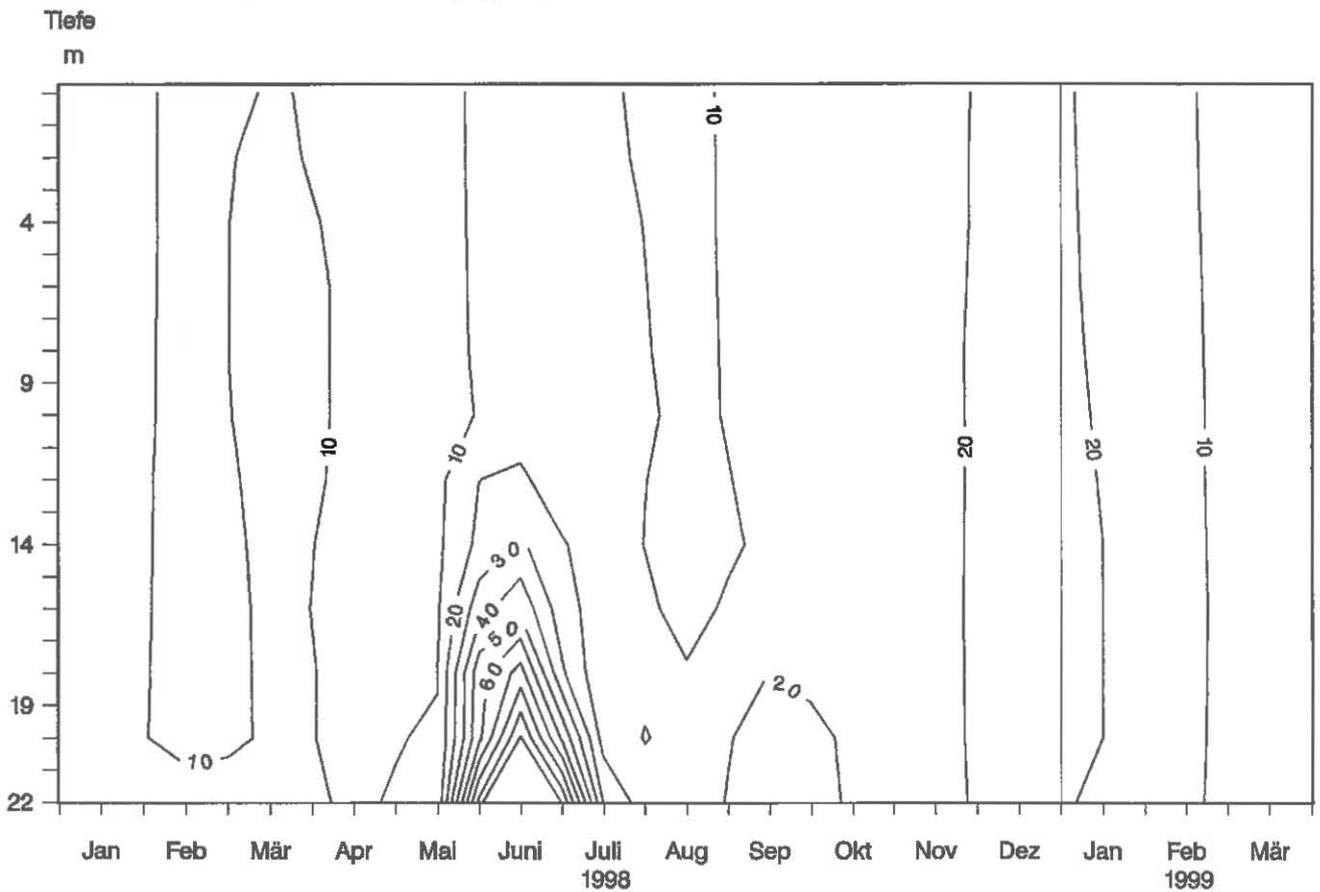


Abb. 41: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Nitrit – Stickstoff (mg/m³)

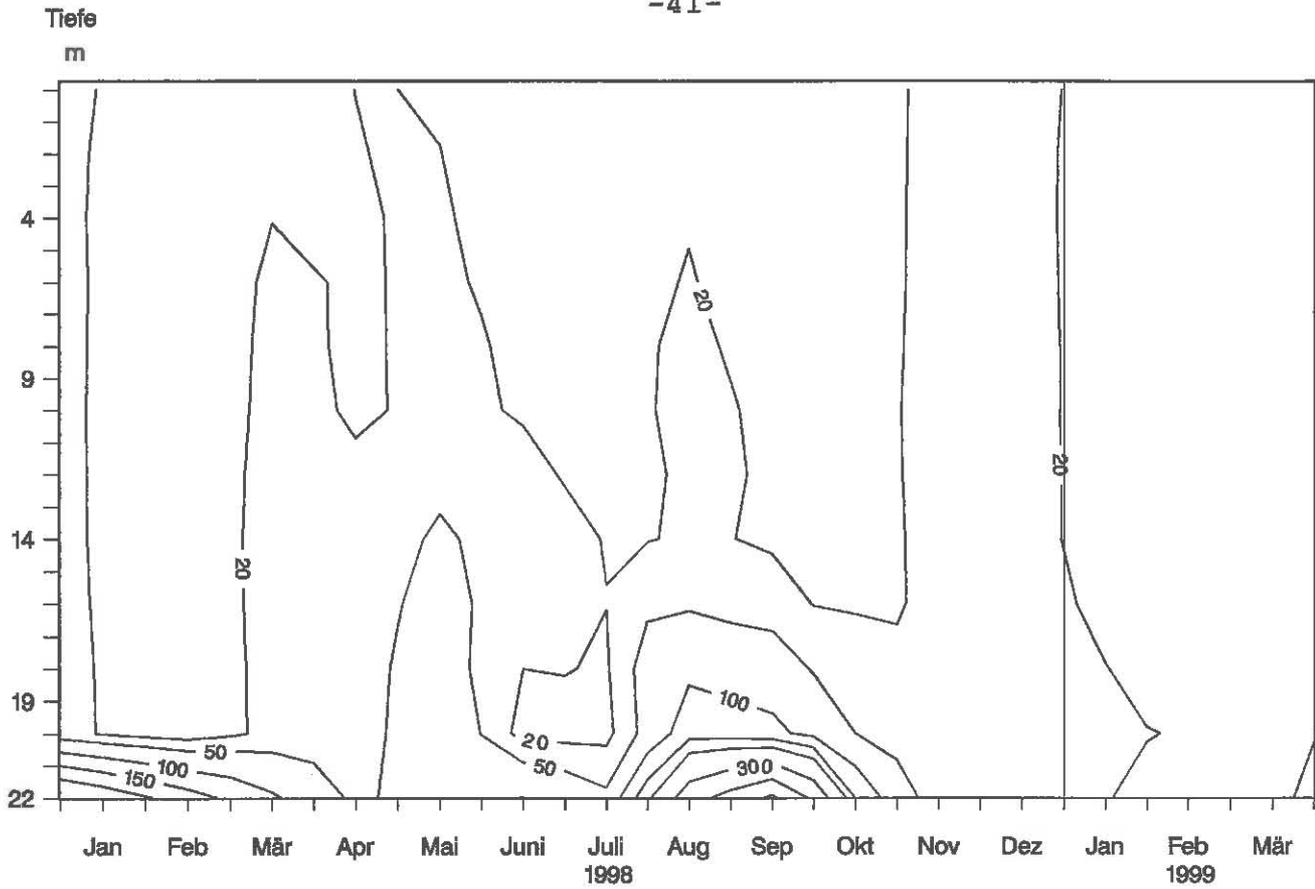


Abb. 42: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Ammonium – Stickstoff (mg/m³)

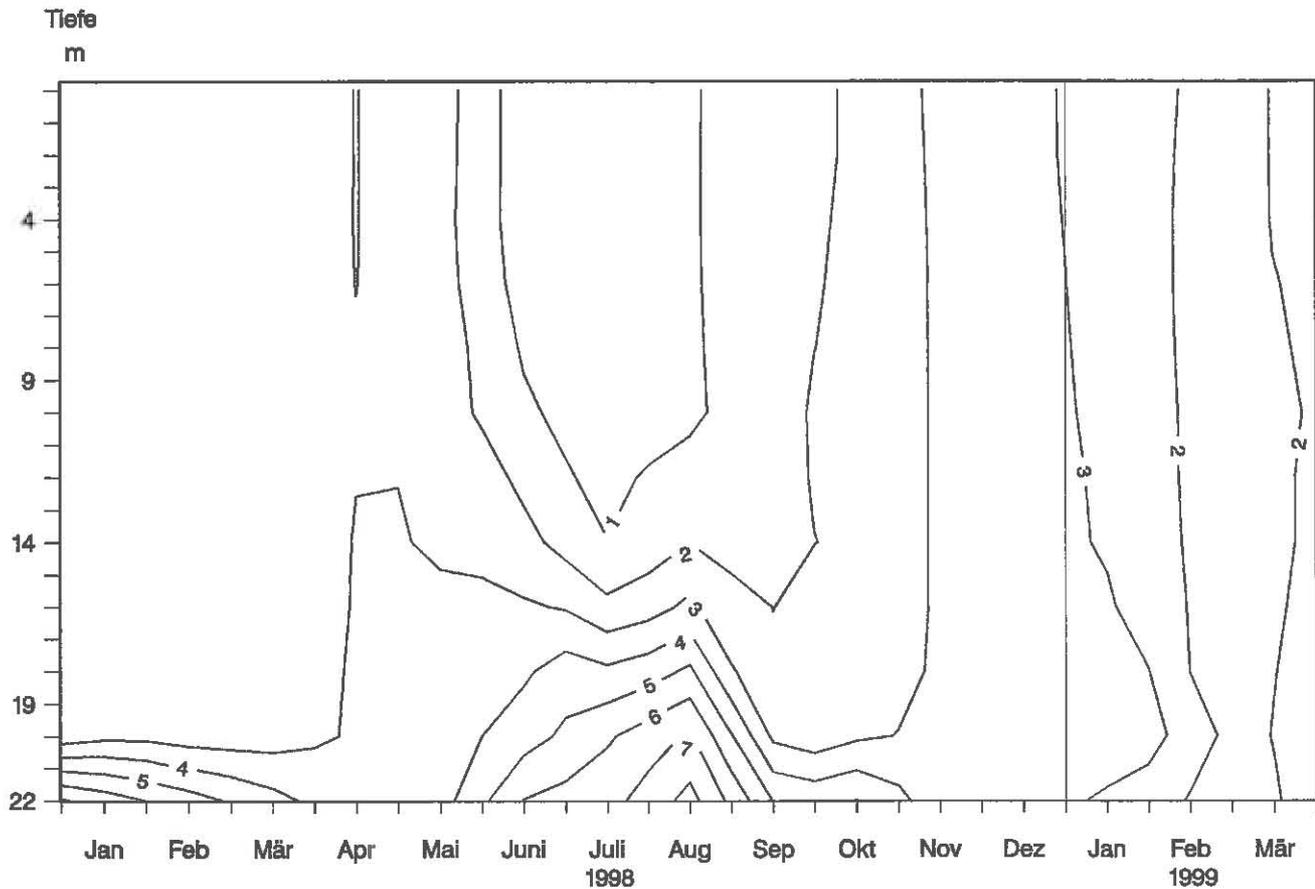


Abb. 43: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Silikat (mg/l)

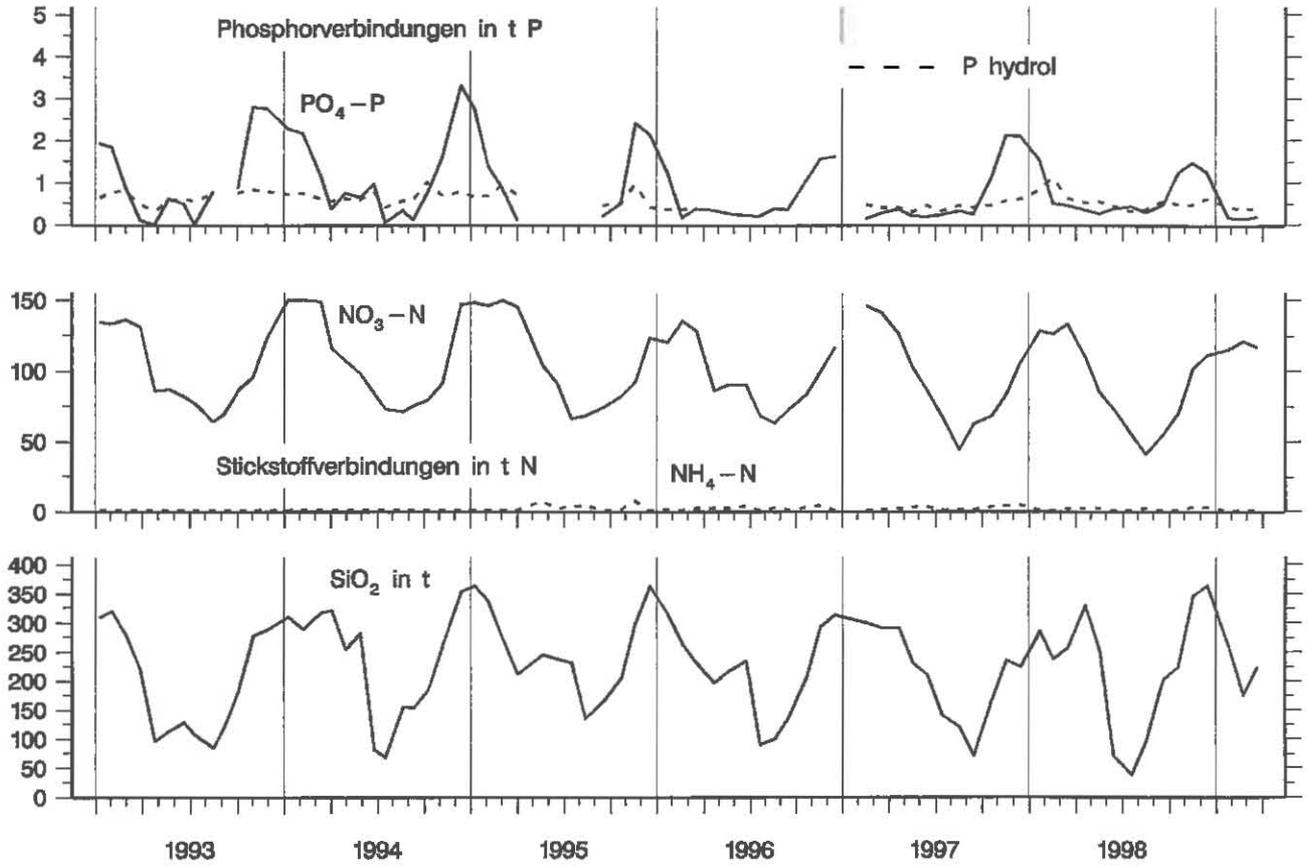


Abb. 44: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Nährstoffinhalt im Epilimnion 0–10 m Tiefe

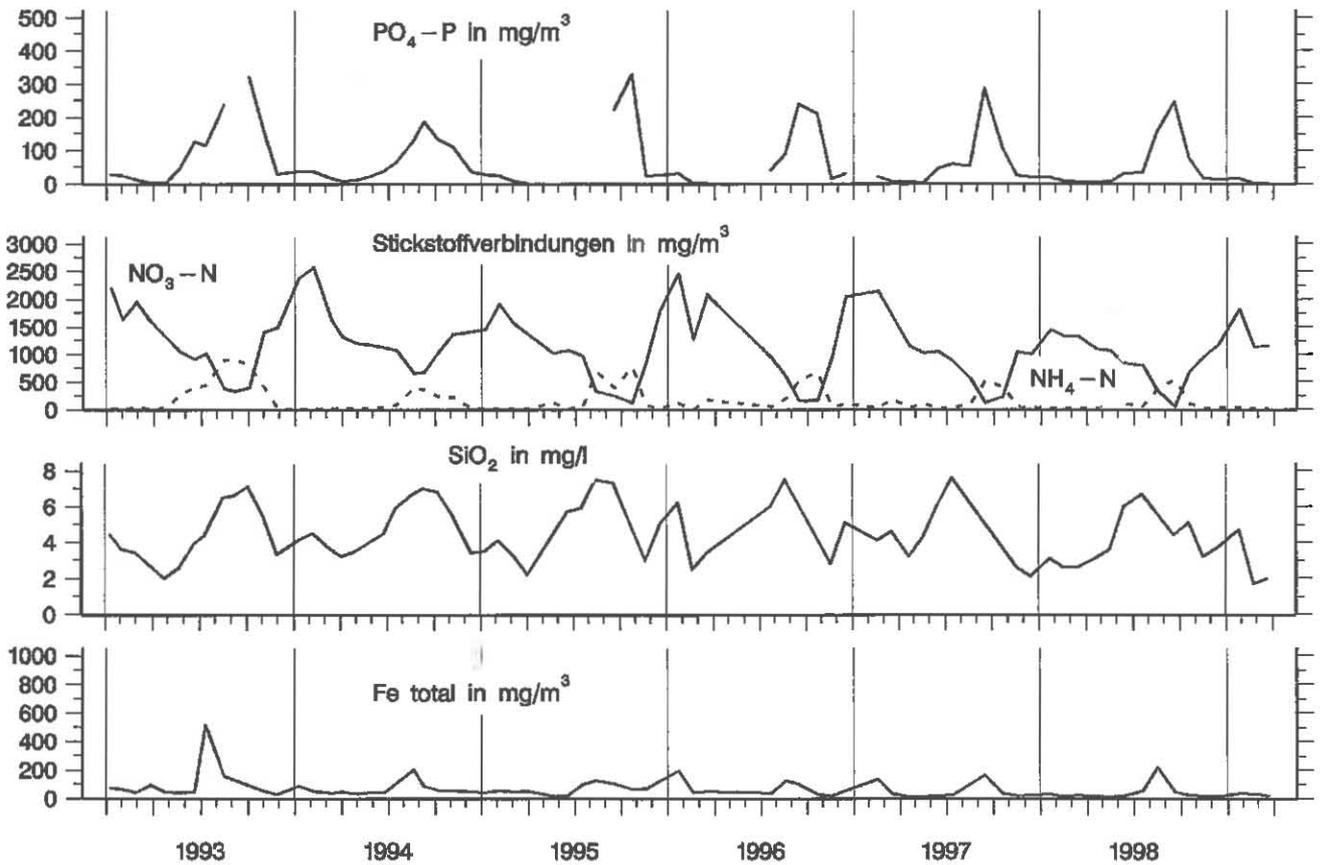


Abb. 45: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Nährstoffkonzentration in 22 m Tiefe

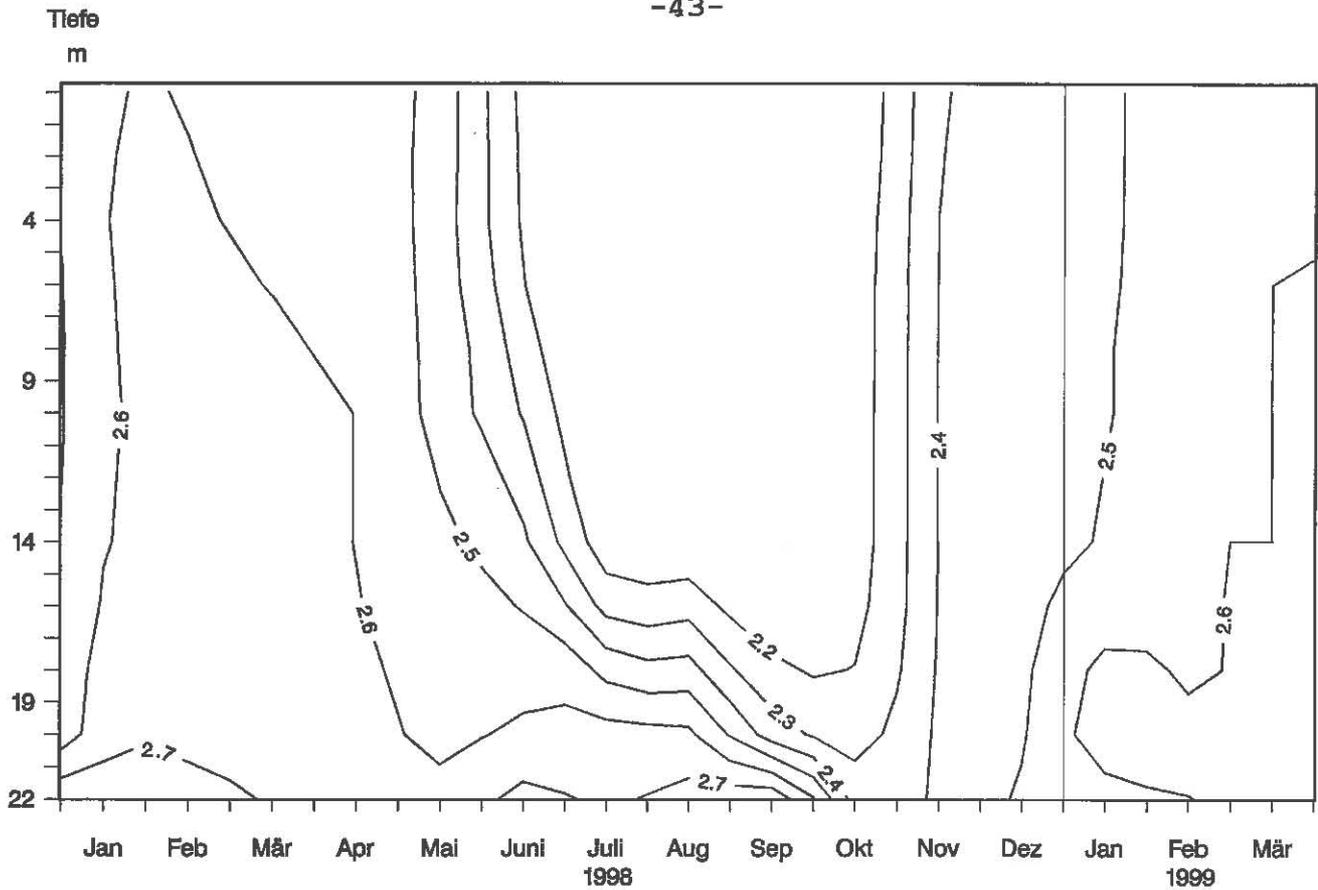


Abb. 46: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Anorganischer Kohlenstoff (mmol/l)

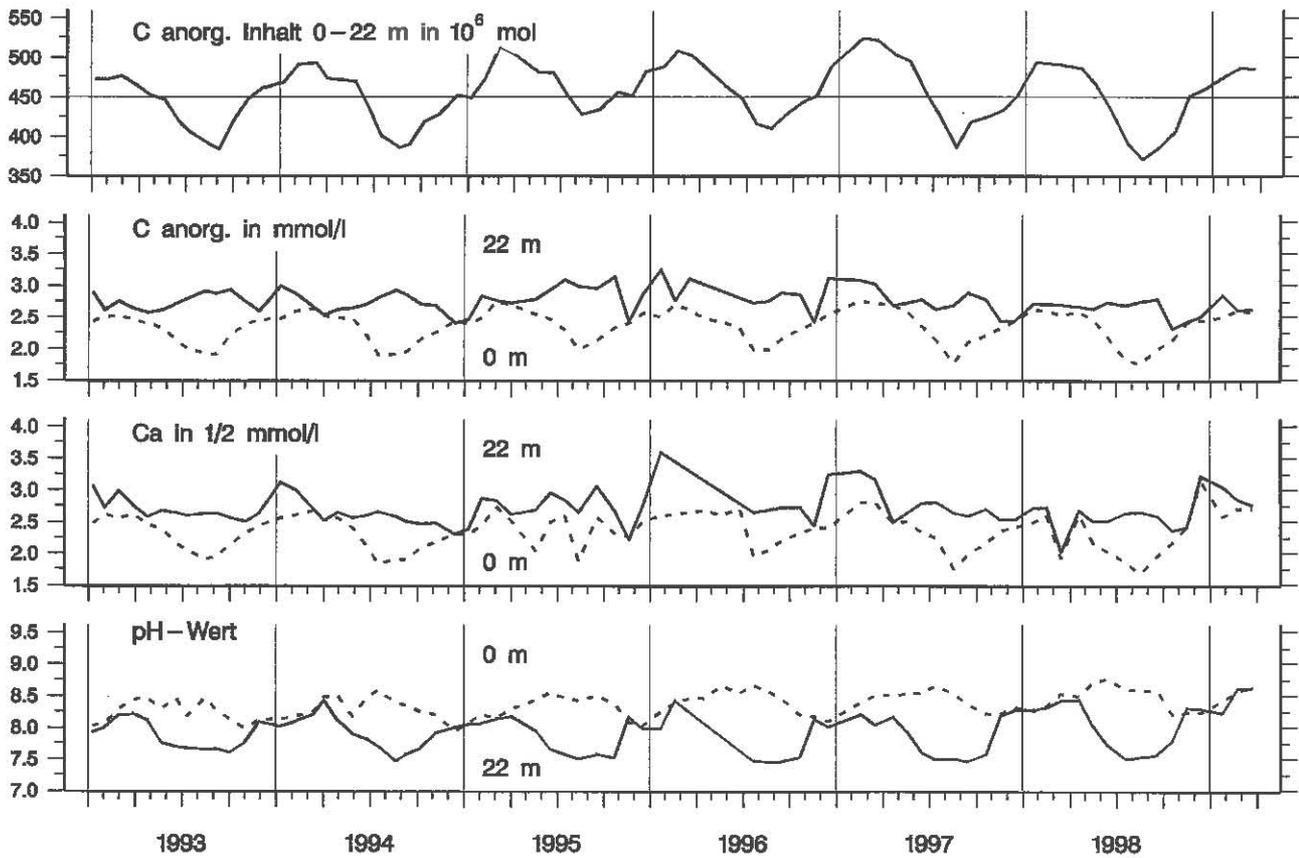


Abb. 47: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Anorganischer Kohlenstoff, Inhalt 0–22 m Tiefe
Konzentration von anorg. Kohlenstoff, Calcium; pH-Wert

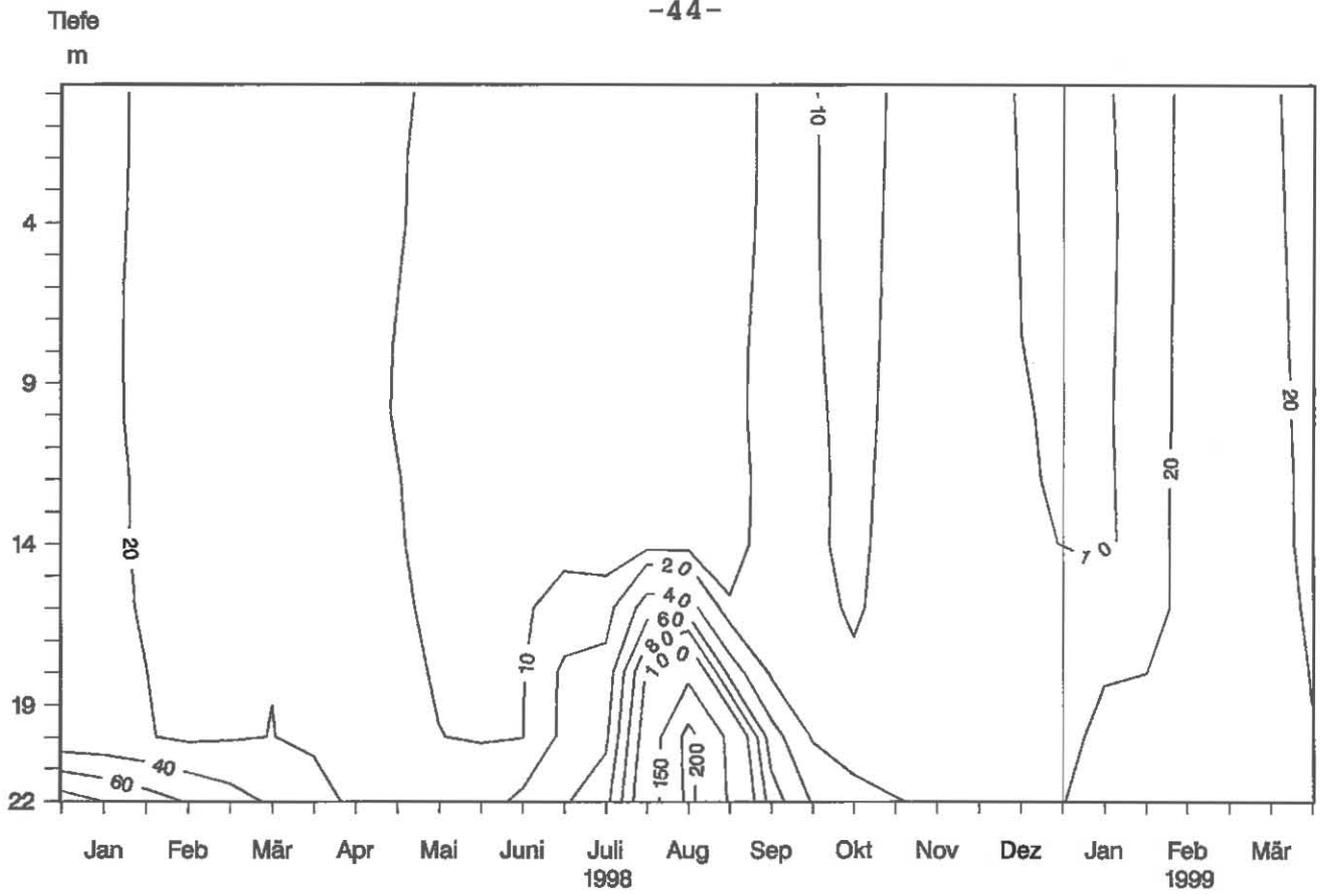


Abb. 48: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Konzentration von Eisen total (mg/m³)

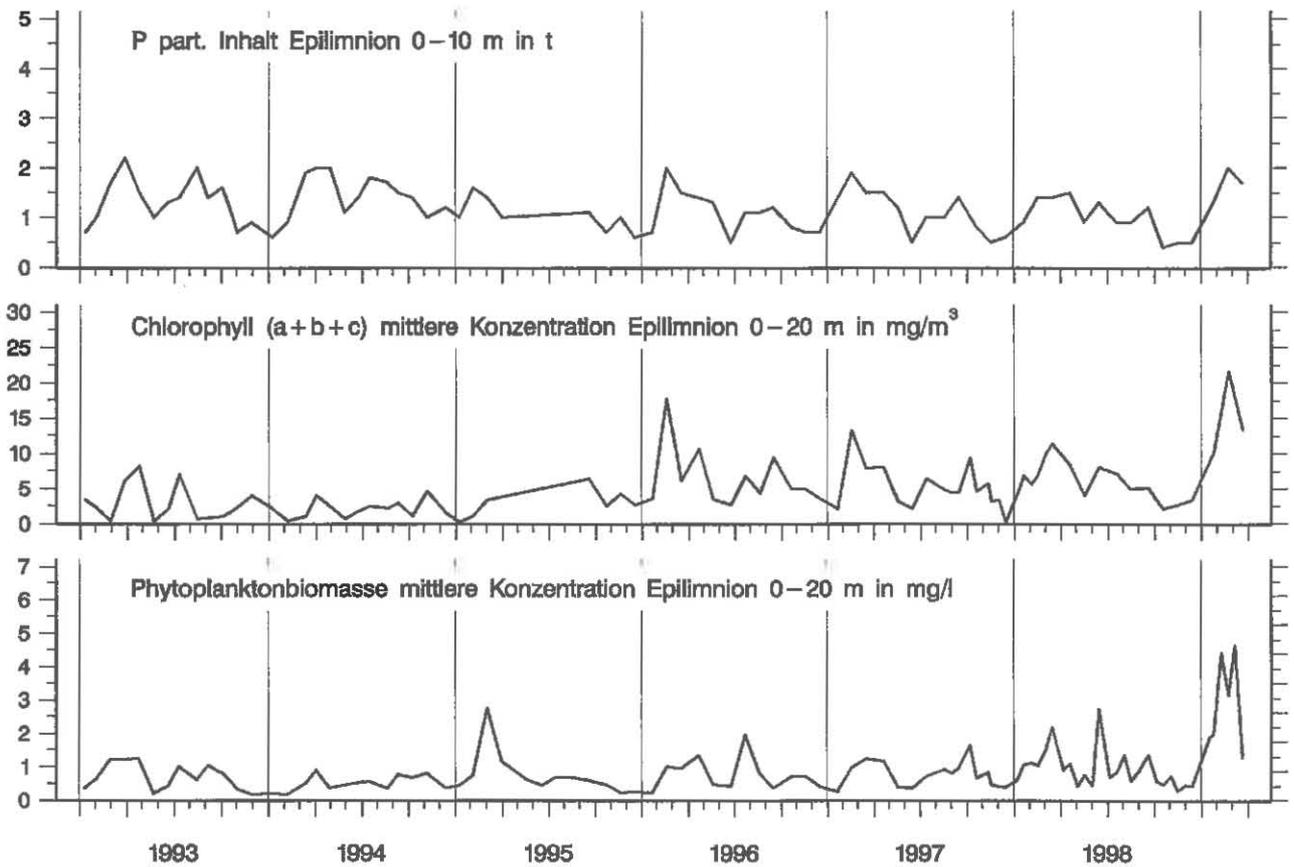


Abb. 49: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Chemische Biomasseindikatoren und Phytoplanktonbiomasse

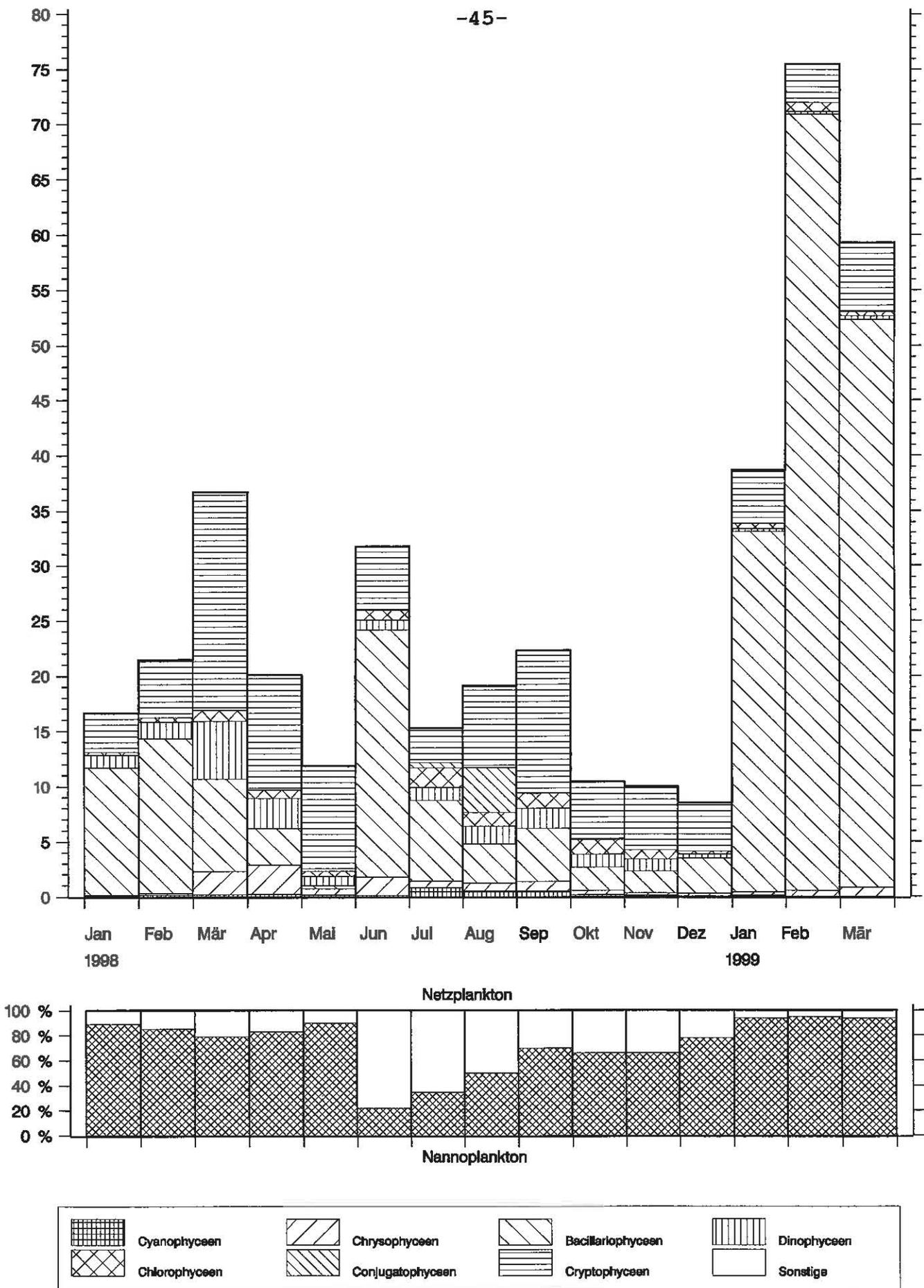


Abb. 50: Bodensee – Untersee, Zellersee:
 Entwicklung des Phytoplanktons
 Biomasse in g/m² (0–20m Tiefe), Monatsmittel 1998/99

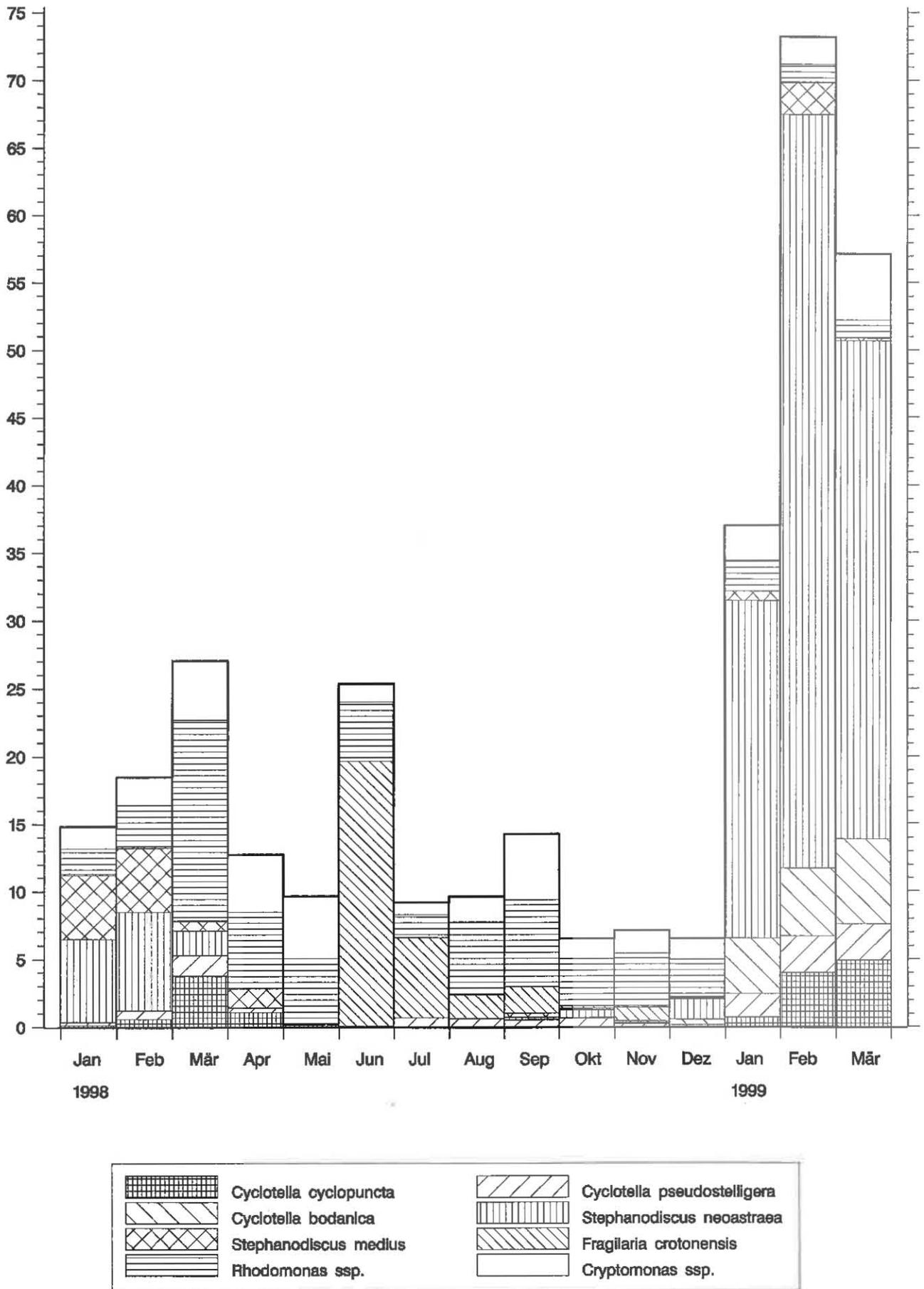


Abb. 51: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Entwicklung des Phytoplanktons
Biomasse der Hauptarten in g/m^2 (0–20m Tiefe), Monatsmittel 1998/99

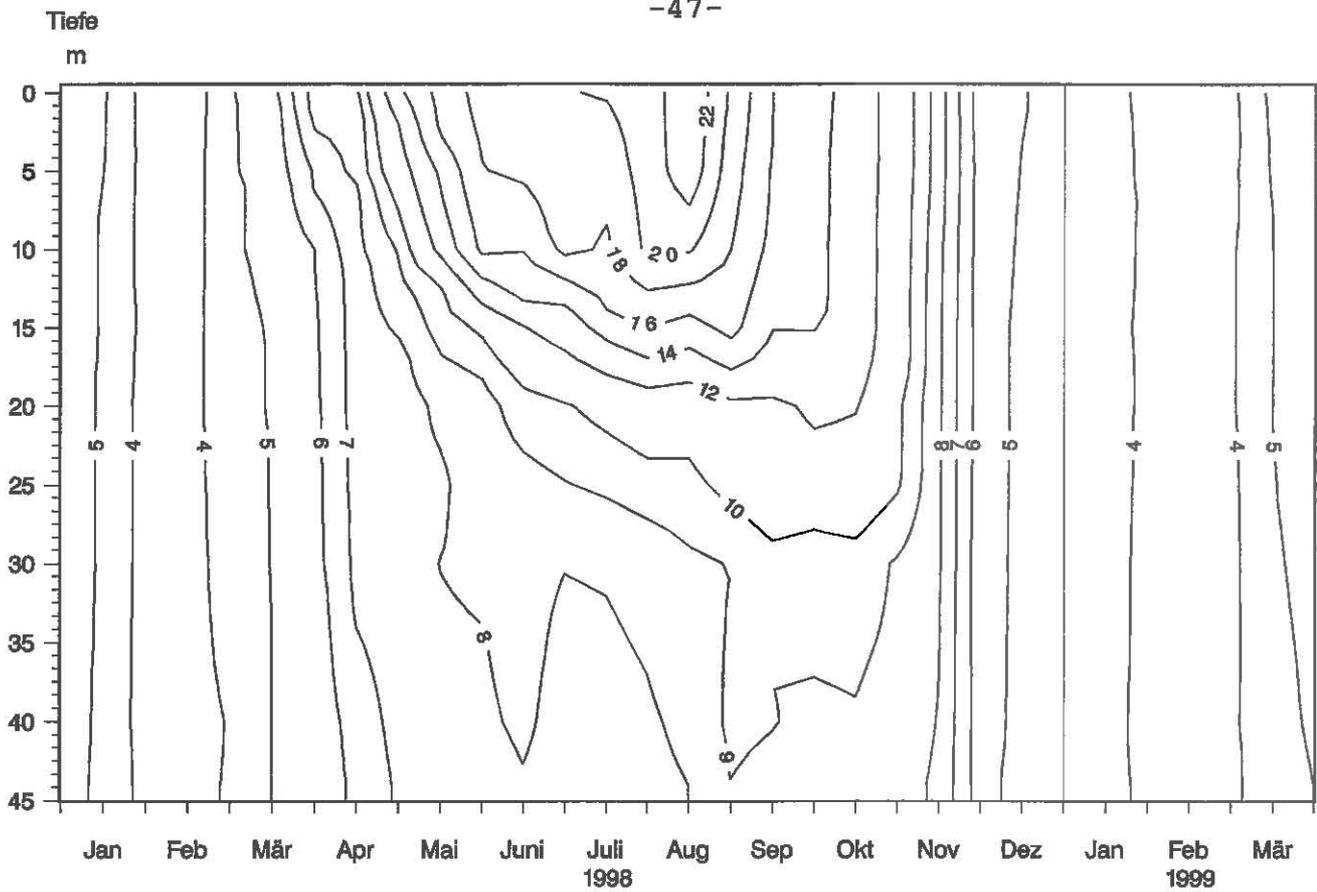


Abb. 52: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Temperatur °C

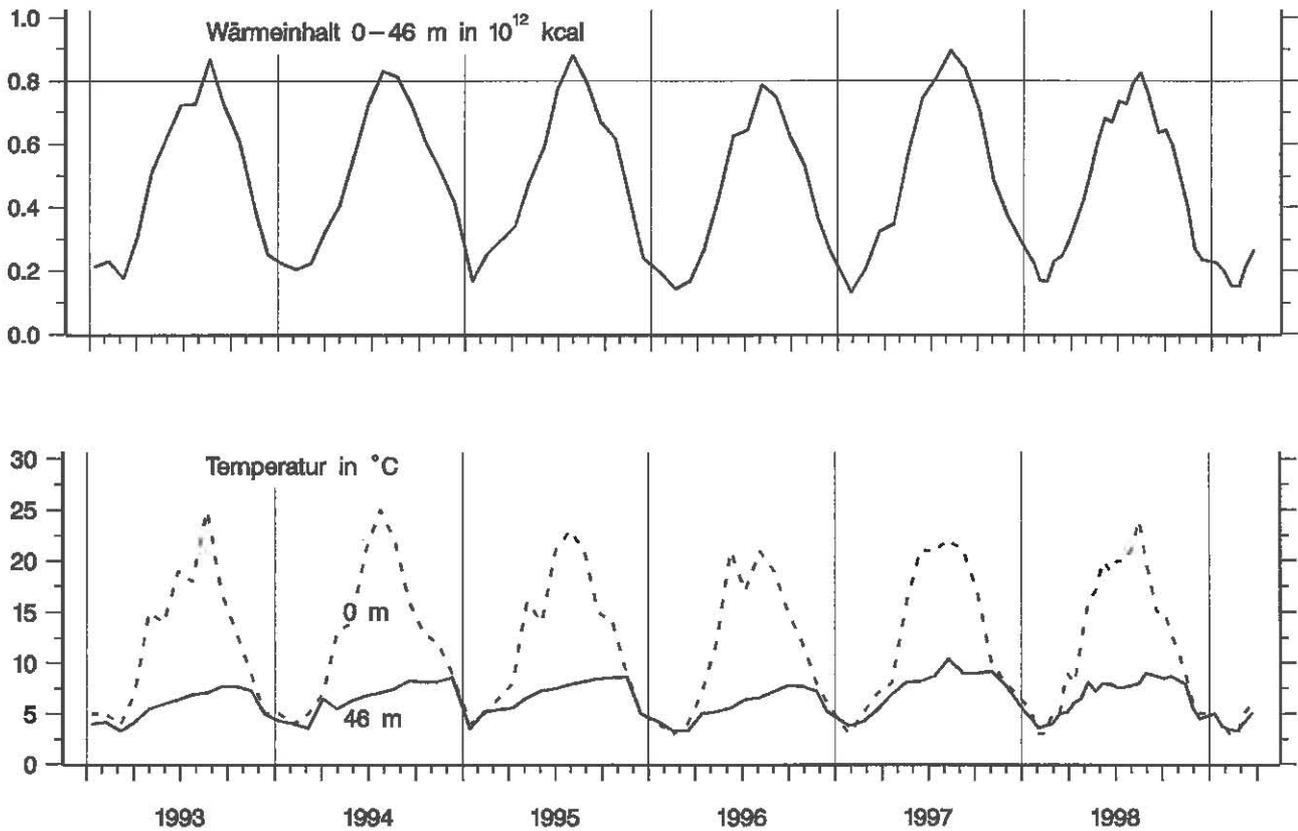


Abb. 53: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Thermik

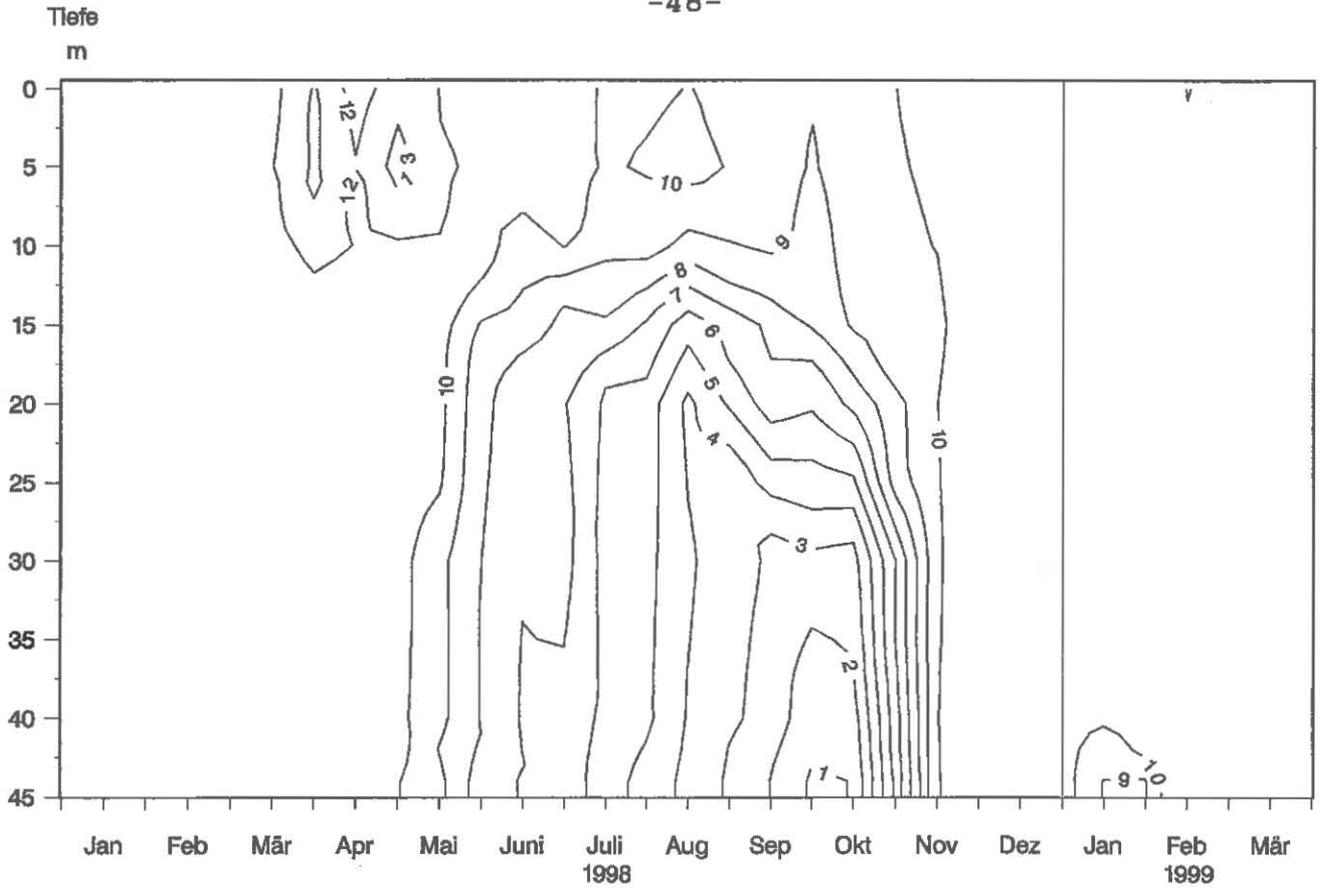


Abb. 54: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Sauerstoff (mg/l)

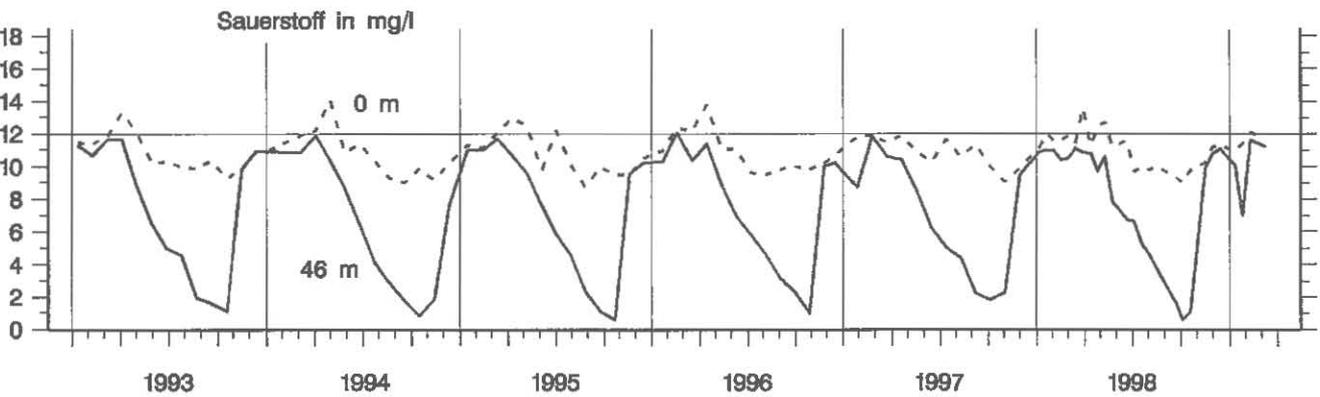
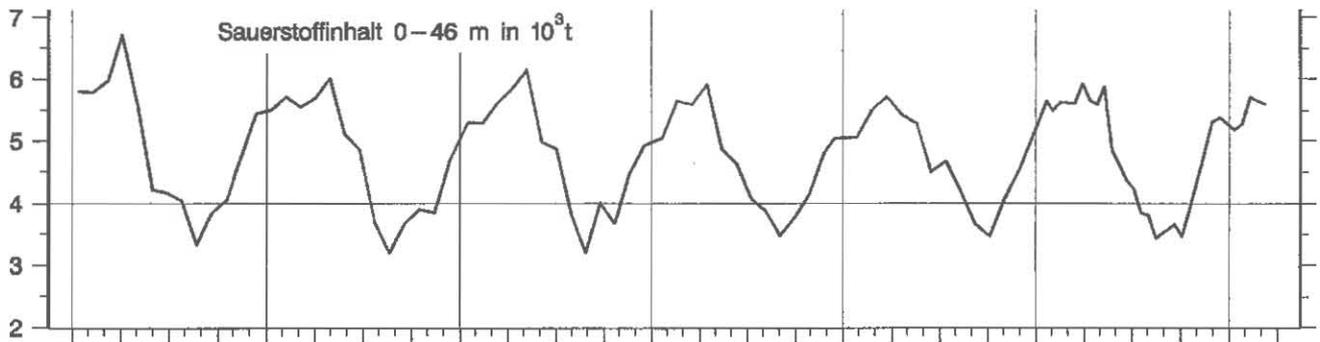


Abb. 55: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Sauerstoffinhalt 0–46 m und Sauerstoffkonzentration in 0 und 46 m Tiefe

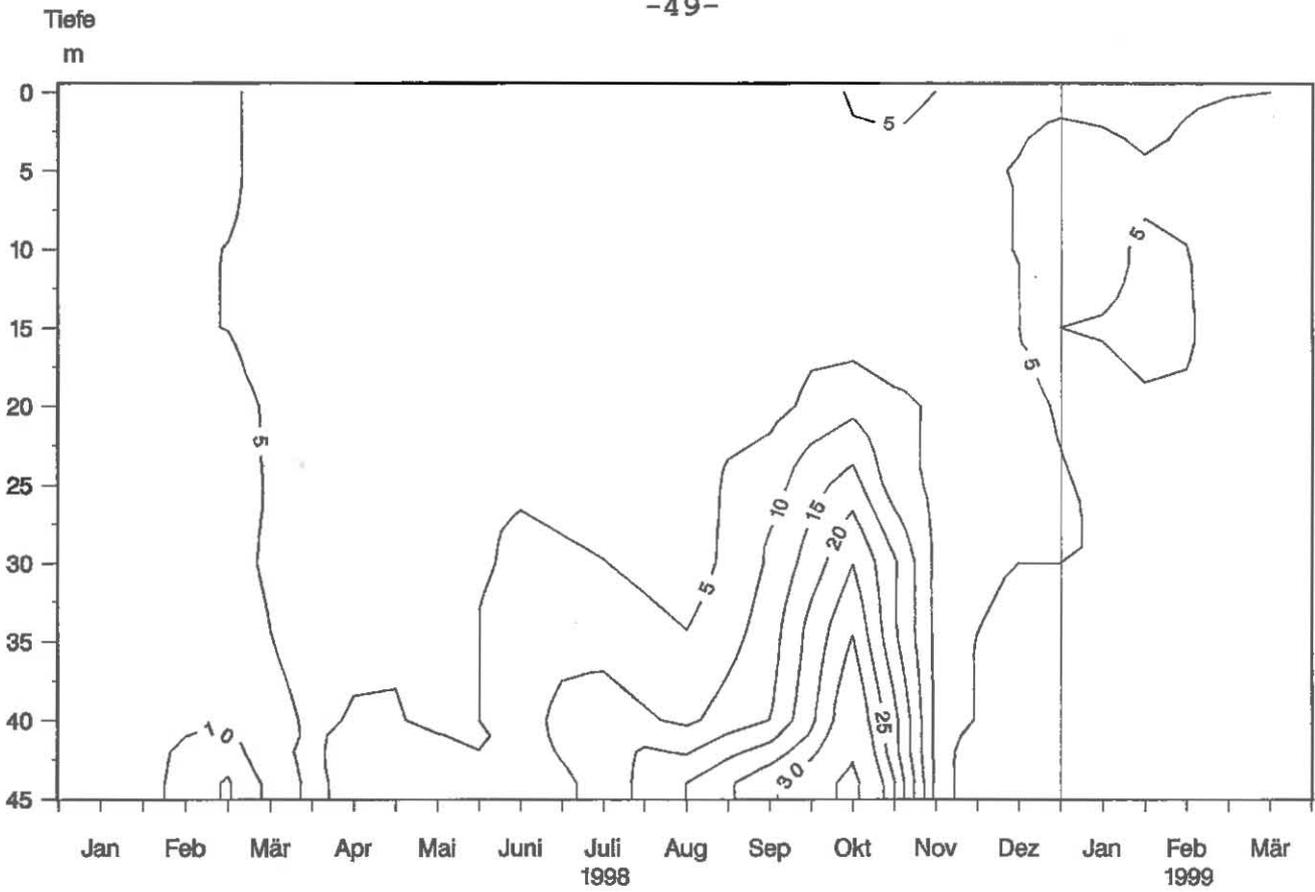


Abb. 56: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Orthophosphat – Phosphor (mg/m³)

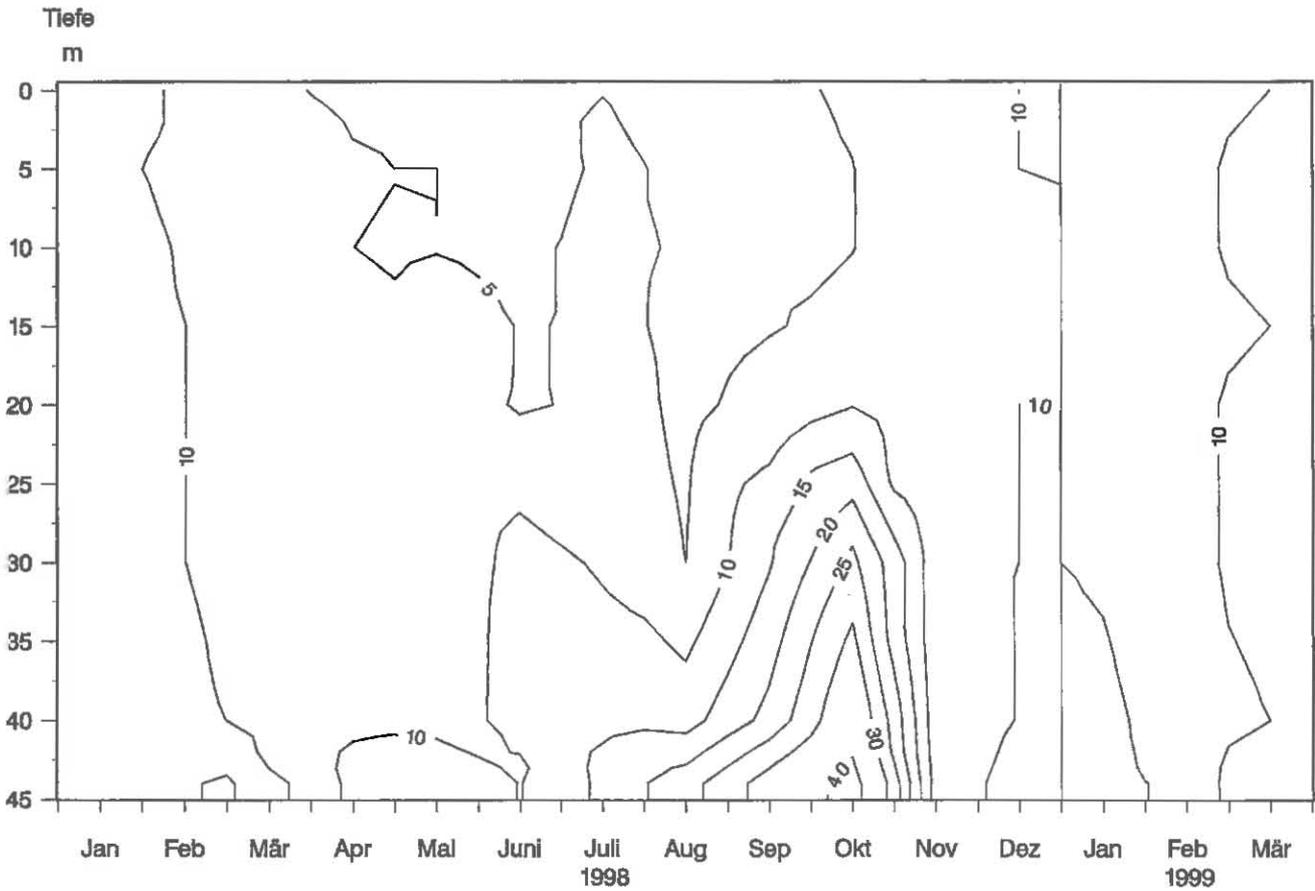


Abb. 57: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Gesamt gelöster Phosphor (mg/m³)

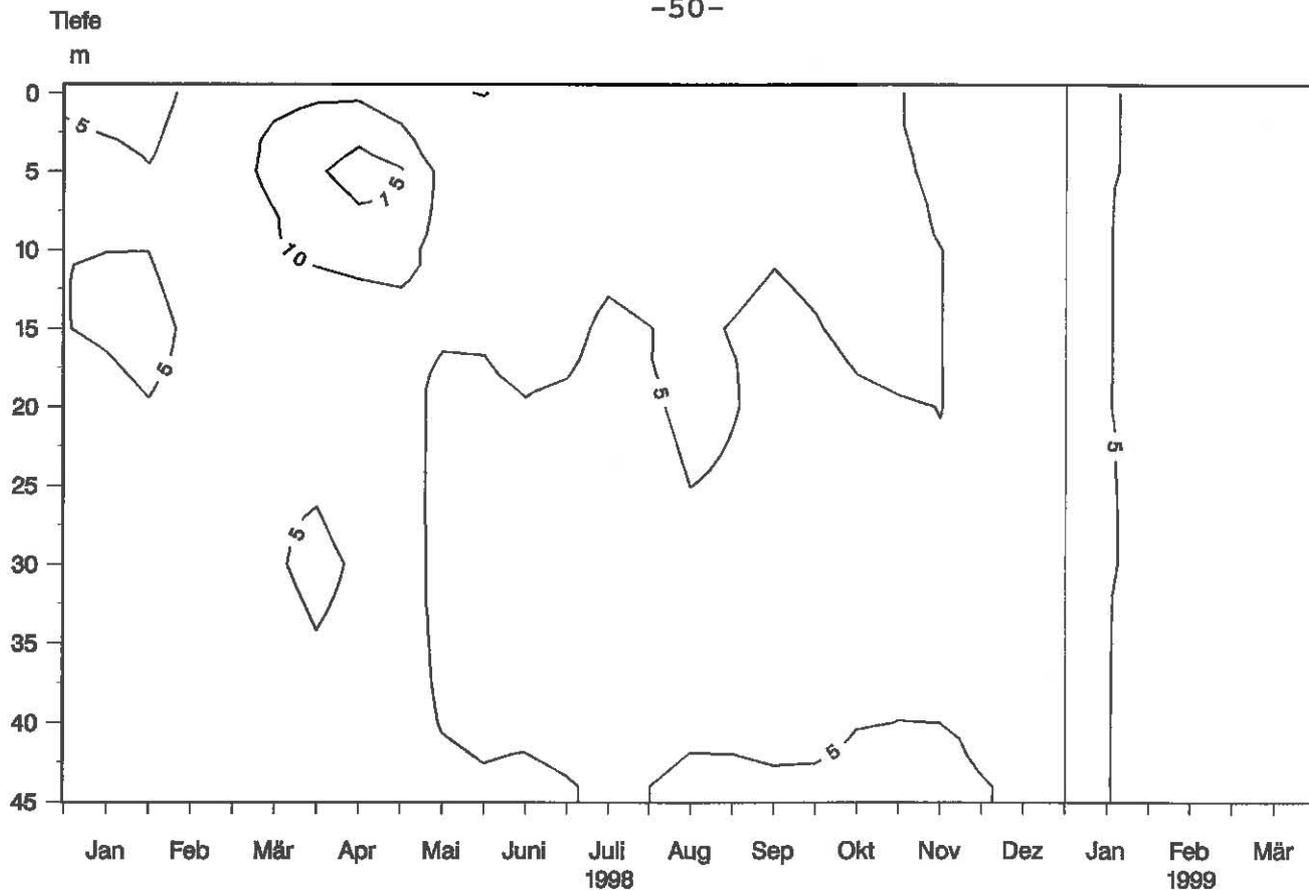


Abb. 58: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Partikulärer Phosphor (mg/m³)

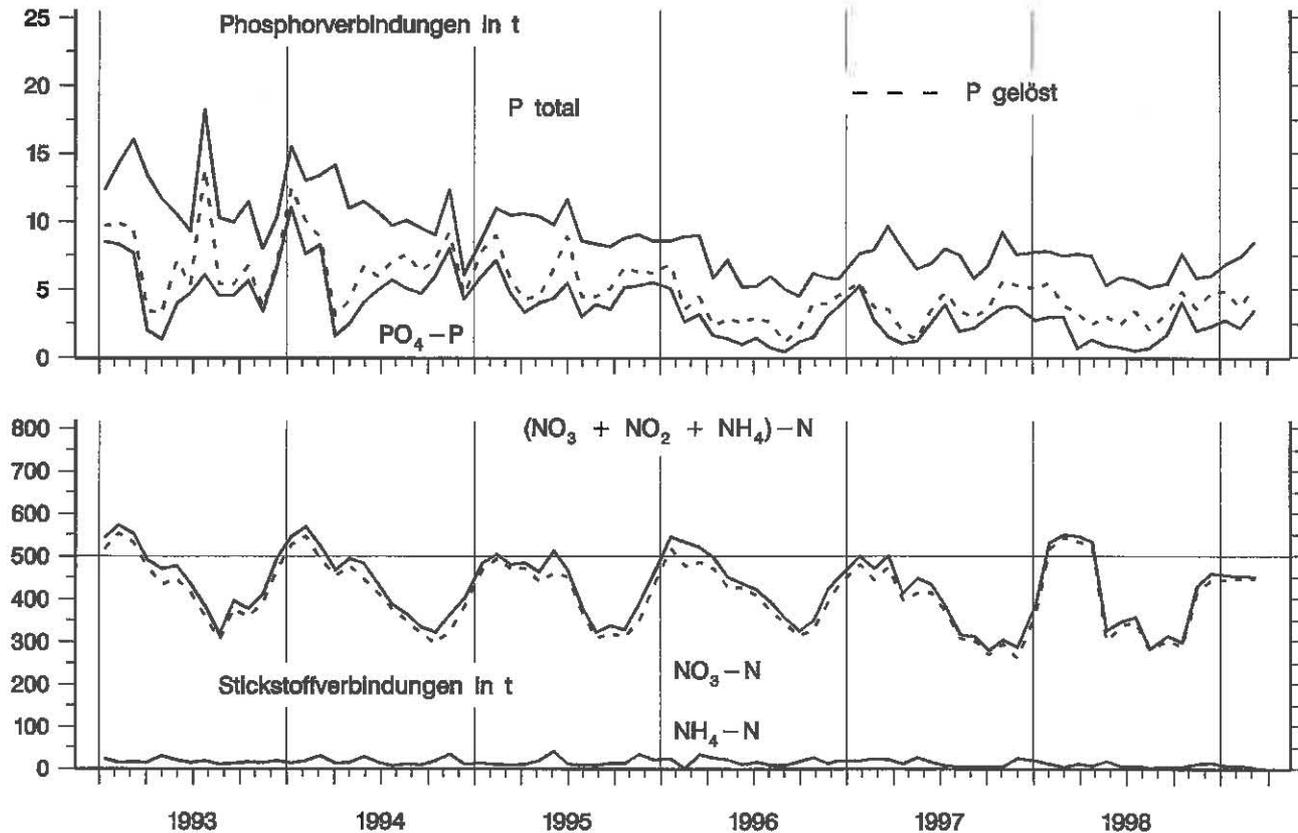


Abb. 59: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Nährstoffinhalt 0–46 m Tiefe

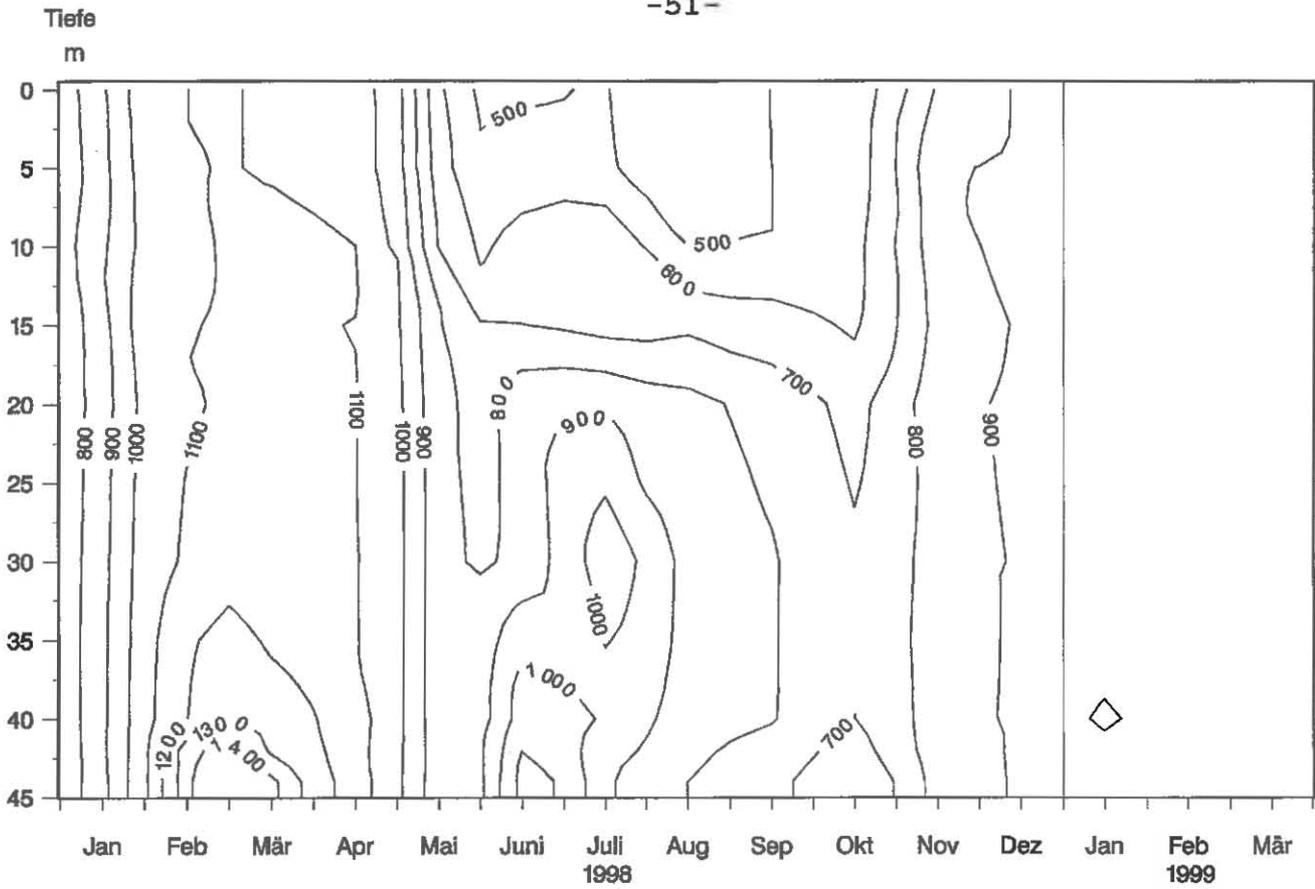


Abb. 60: Bodensee - Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Nitrat - Stickstoff (mg/m³)

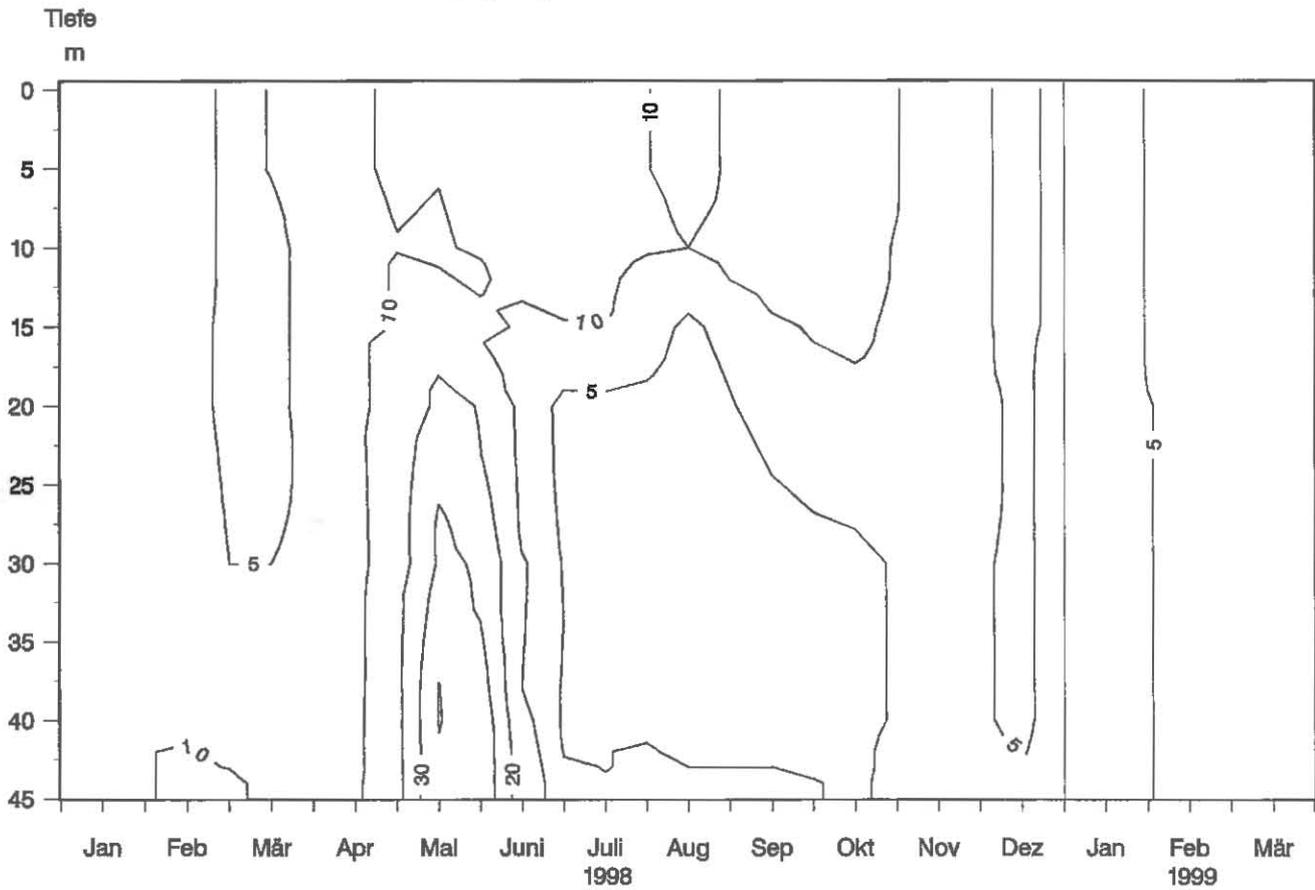


Abb. 61: Bodensee - Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Nitrit - Stickstoff (mg/m³)

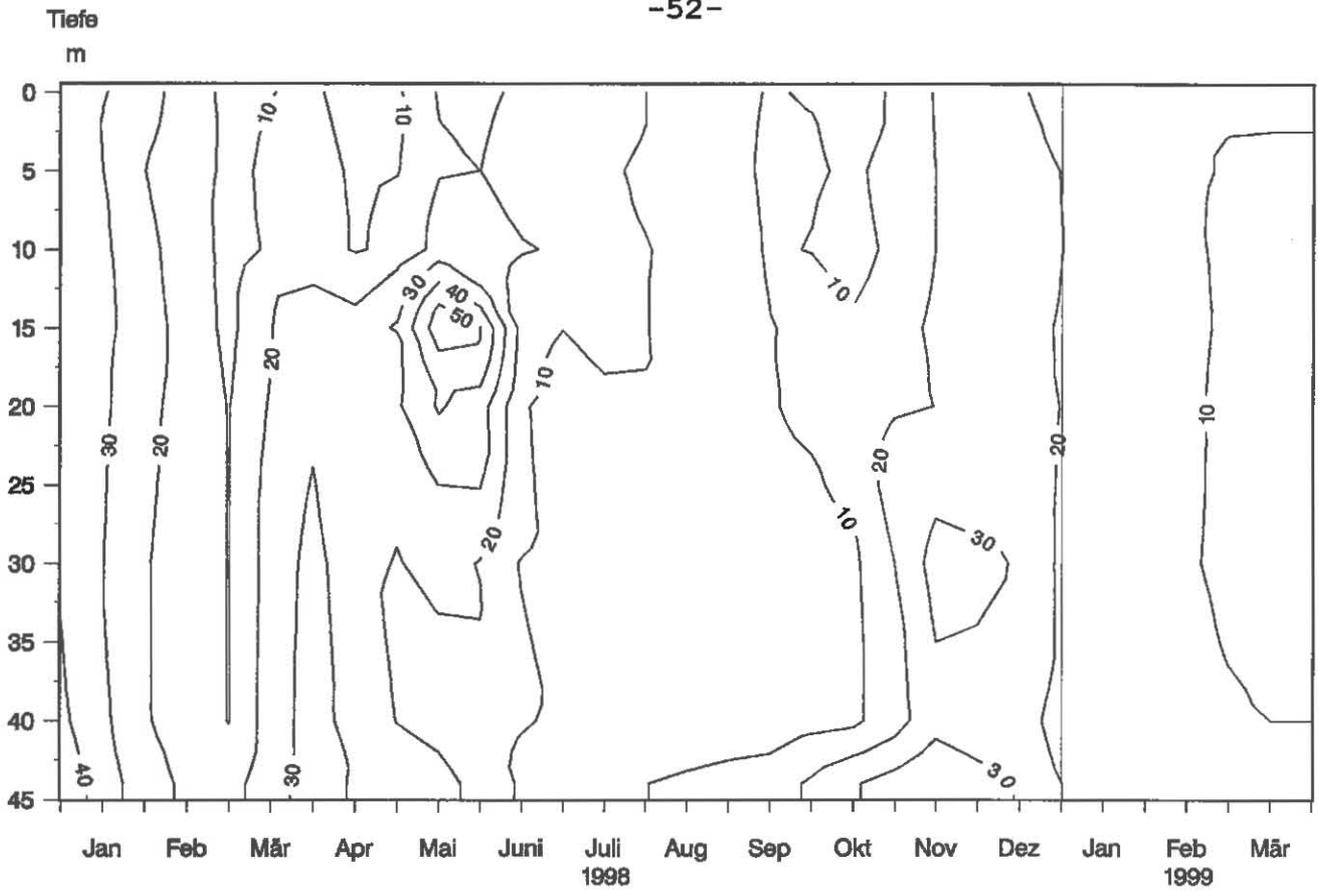


Abb. 62: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Ammonium – Stickstoff (mg/m³)

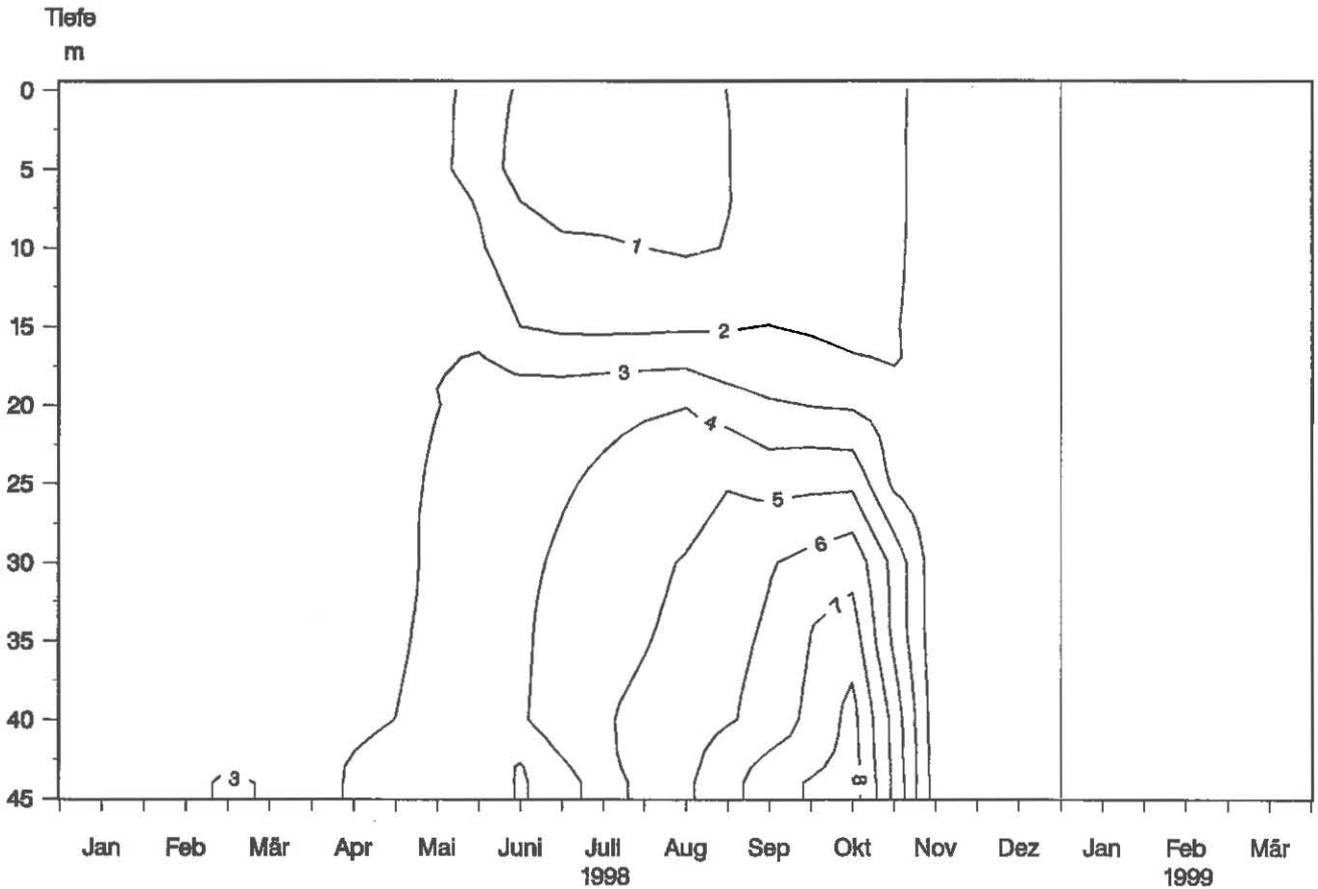


Abb. 63: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Silikat (mg/l)

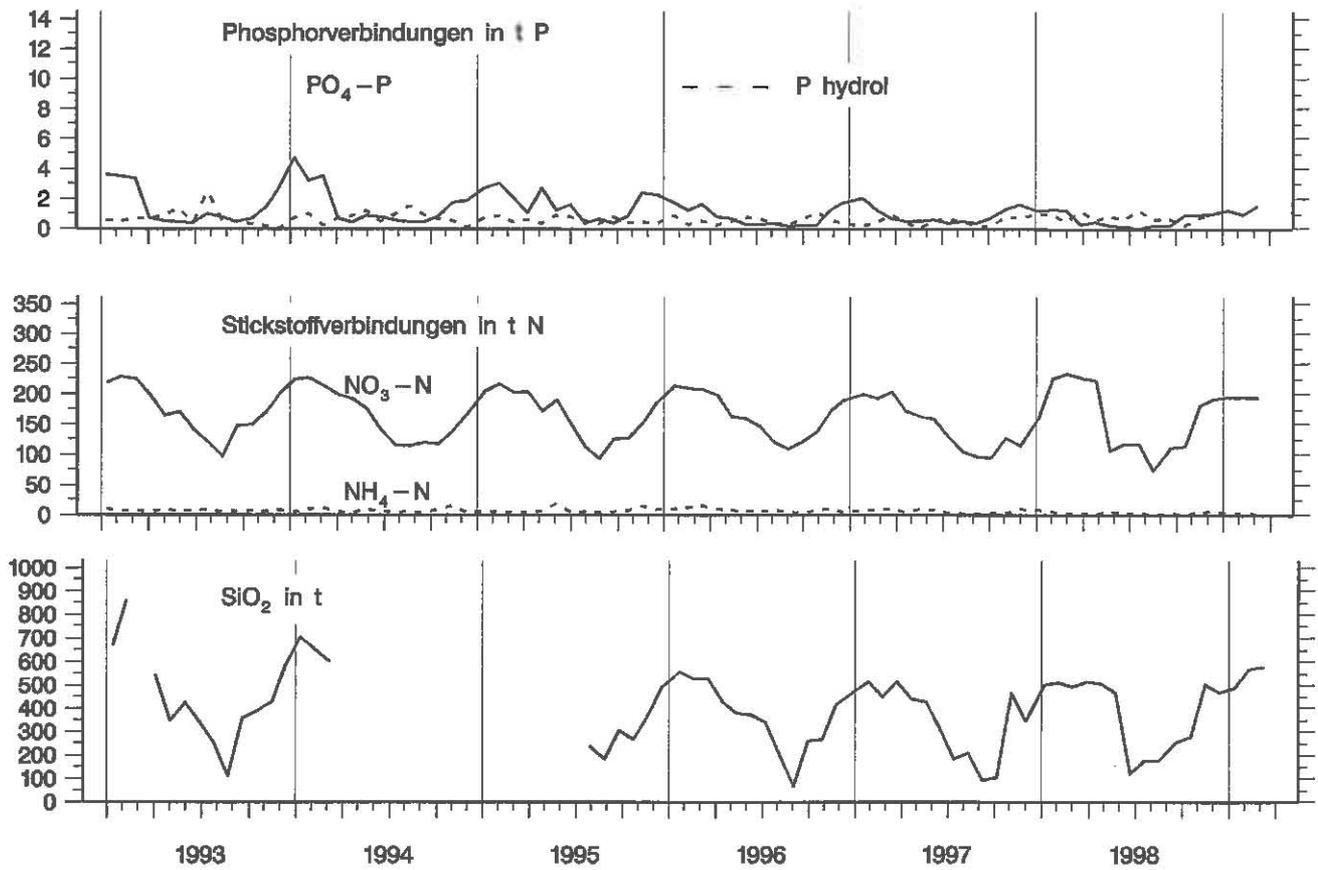


Abb. 64: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Nährstoffinhalt im Epilimnion 0–10 m Tiefe

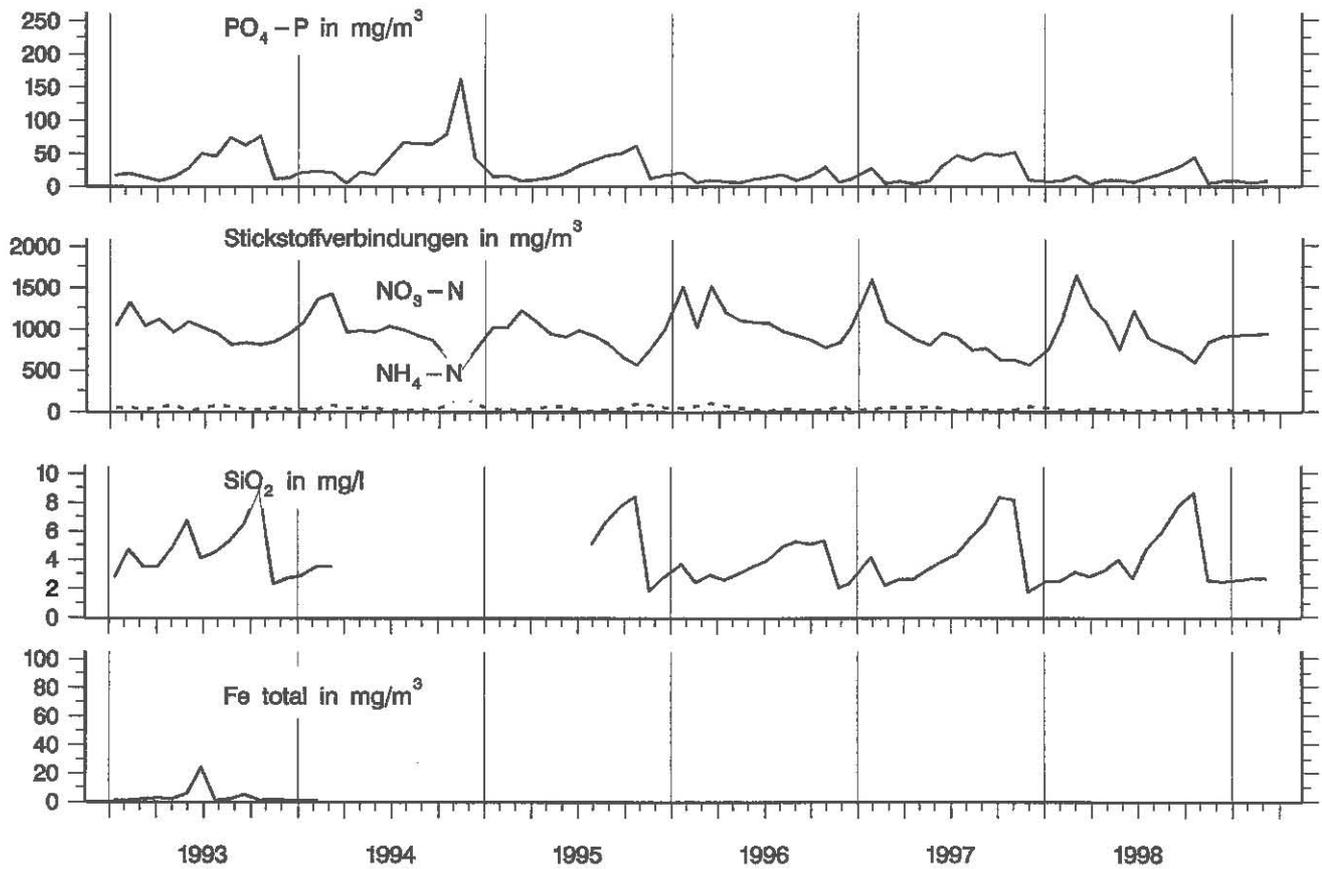


Abb. 65: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Nährstoffkonzentration in 46 m Tiefe

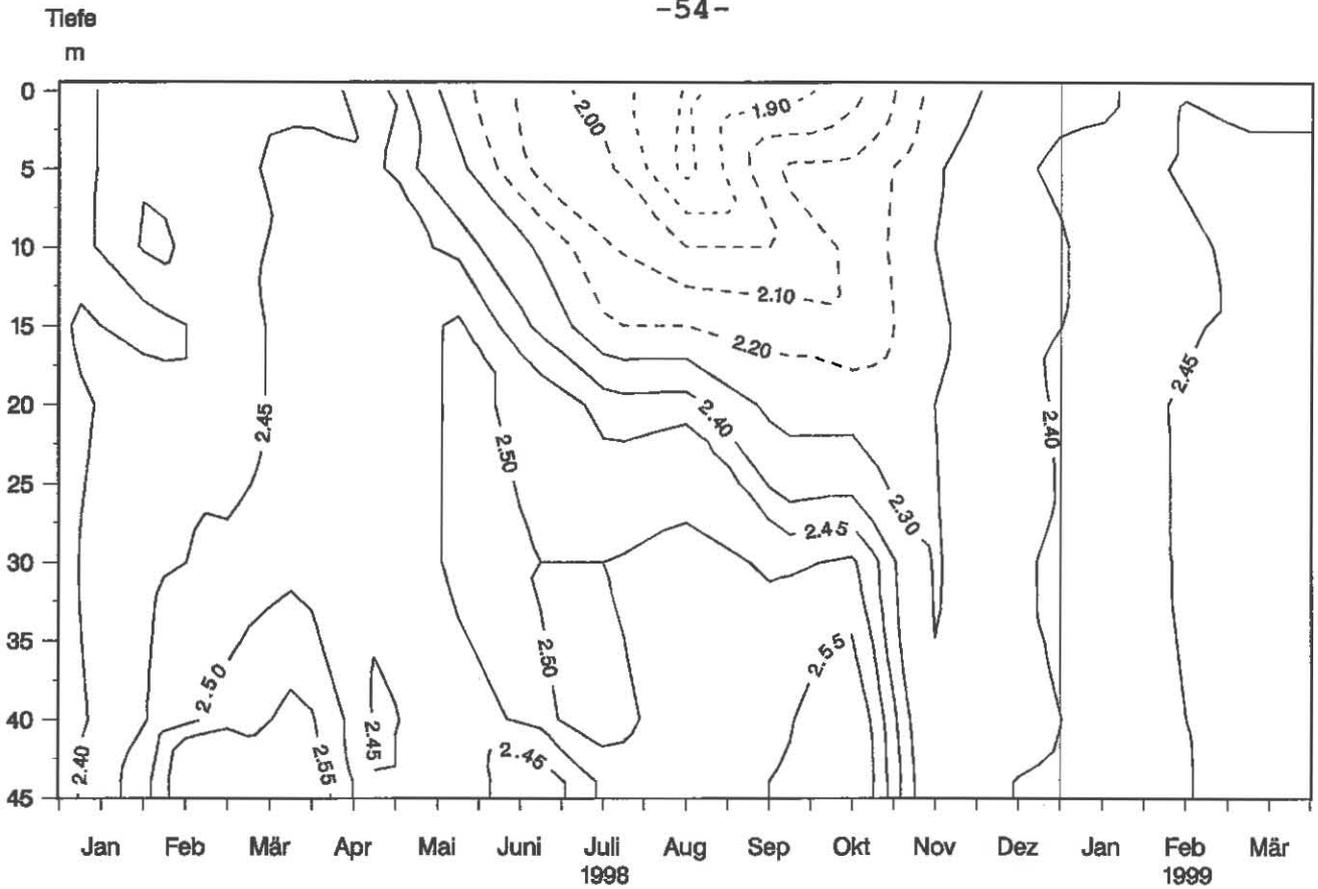


Abb. 66: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Anorganischer Kohlenstoff (mmol/l)

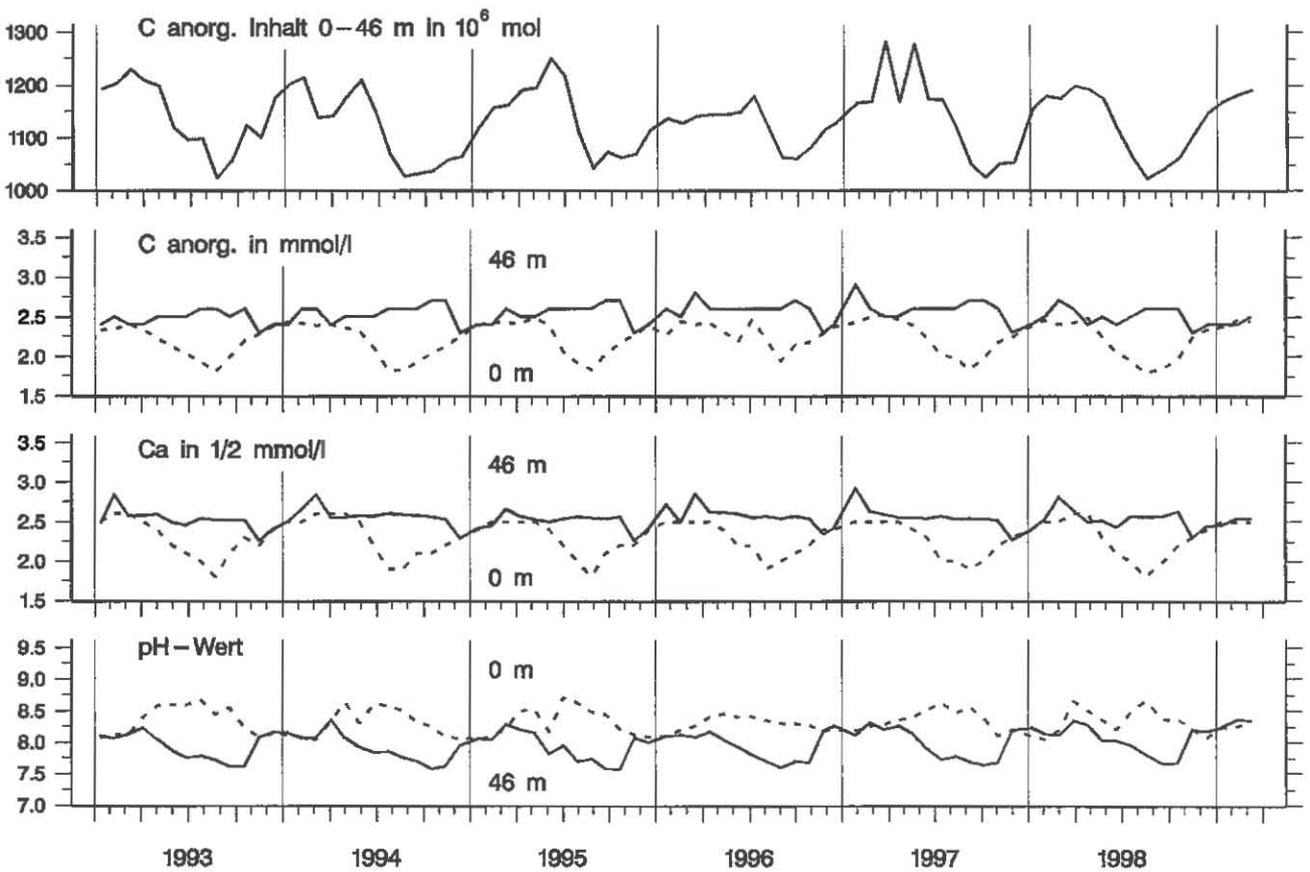


Abb. 67: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Anorganischer Kohlenstoff, Inhalt 0–46 m Tiefe
Konzentration von anorg. Kohlenstoff, Calcium; pH-Wert

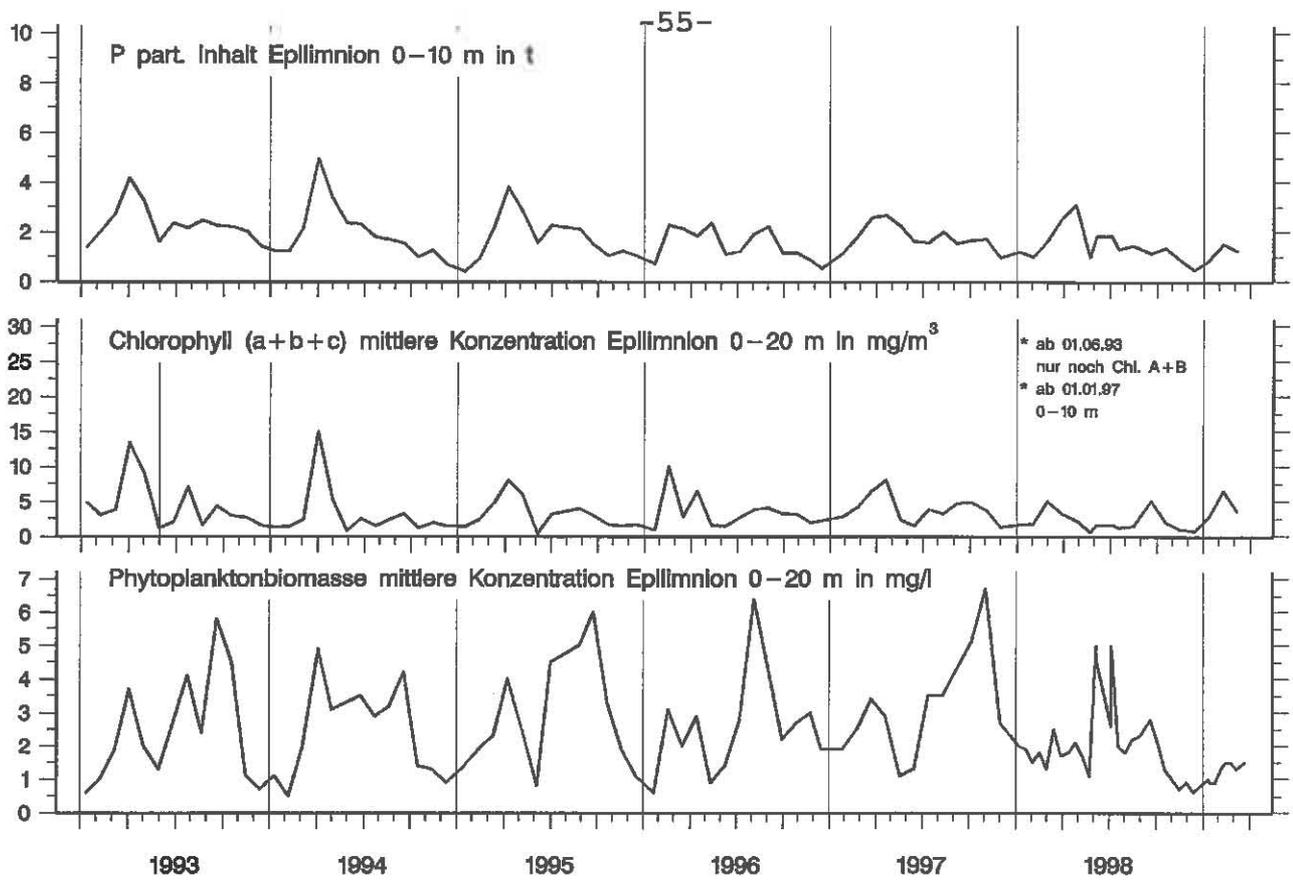


Abb. 68: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Chemische Biomasseindikatoren und Phytoplanktonbiomasse

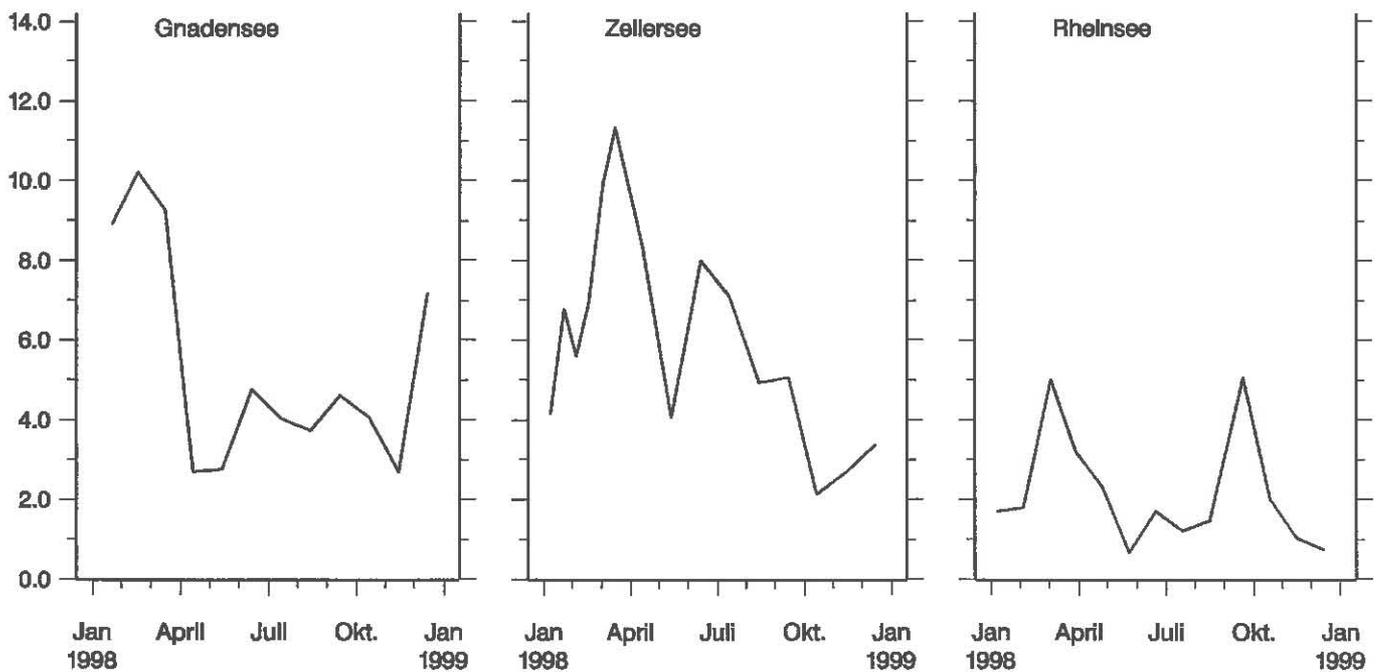


Abb. 69: Bodensee – Untersee
Chlorophyll a in mg/m³ im Gnadensee, Zellersee
und Chlorophyll a+b in mg/m³ im Rheinsee;
mittlere Konzentration 0-20 m Tiefe

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, 2, 4, 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, 50, 60, 100, 140 m

Zeller See: 0, 5, 10, 15, 20, 21 oder 22 oder 23 m *

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

* je nach Wasserstand

Tabelle 1 (2)

Untersuchungstermine Januar 1998 bis März 1999 an den Stationen Fischbach-Uttwil (F), Langenargen-Arbon (L), Bregenzer Bucht (B) und von Januar 1998 bis März 1999 an den Stationen Zeller See (Z) und Rheinsee bei Berlingen (R)

Obersee - Stationen

07.01. 1998	F	L	
12.01.			B
22.01.	F		
03.02.	F	L	
16.02.			B
17.02.	F		
03.03.	F	L	
17.03.	F		
18.03.			B
06.04.	F	L	
20.04.			B
21.04.	F		
05.05.	F	L	
11.05.			B
19.05.	F		
02.06.	F	L	
08.06.			B
16.06.	F		
06.07.	F	L	
08.07.			B
21.07.	F		
04.08.	F	L	
18.08.	F		
19.08.			B
01.09.	F	L	
16.09.	F		
23.09.			B
06.10.	F	L	
20.10.	F		
04.11.	F	L	
17.11.	F		
18.11.			B
01.12.	F	L	
02.12.			B
15.12.	F		
14.01. 1999	F	L	
18.01.			B
26.01.	F		
09.02.	F	L	
24.02.	F		B
09.03.	F	L	
15.03.			B
23.03.	F		

Untersee - Stationen

07.01. 1998		R
21.01.		R
22.01.	Z	
02.02.		R
16.02.		R
17.02.	Z	
02.03.		R
16.03.		R
17.03.	Z	
30.03.		R
14.04.		R
21.04.	Z	
27.04.		R
11.05.		R
19.05.	Z	
25.05.		R
08.06.		R
16.06.	Z	
22.06.		R
06.07.		R
20.07.		R
21.07.	Z	
03.08.		R
17.08.		R
18.08.	Z	
31.08.		R
21.09.	Z	R
05.10.		R
19.10.		R
20.10.	Z	
16.11.		R
17.11.	Z	
30.11.		R
14.12.		R
15.12.	Z	
11.01. 1999		R
25.01.		R
26.01.	Z	
09.02.		R
24.02.	Z	R
08.03.		R
23.03.	Z	
24.03.		R

Tabelle 1 (3)

Liste der untersuchten Inhaltsstoffe für die Untersuchungsstationen Fischbach - Uttwil (F), Langenargen - Arbon (L), Bregenzer Bucht (B), Zeller See (Z) und Rheinsee bei Berlingen (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			
Silikat	F	L		Z	
Orthophosphat	F	L	B	Z	R
Phosphor gelöst (im Filtrat nach Aufschluß)			B		R
Phosphor partikulär	F	L		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	F	L	B	Z	
Phaeophytin nach Goltermann	F				
Chlorophyll (a+b) - HPLC	F	L	B		R
Chlorid	F	L	B	Z	R
Sulfat	F	L	B	Z	R
Eisen total	F	L		Z	
Mangan total	F	L			R*)
Natrium	F	L			R
Kalium	F	L			R
UV - Extinktion (260 nm)	F	L		Z	

*) Rheinsee: Mangan gelöst

Berechnete Inhaltsstoffe:

pH korrigiert auf aktuelle

Temperatur	F	L		Z	R
Sauerstoffsättigung in %	F	L	B	Z	R
Restsauerstoff 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				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	B	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 + NH ₄ -N)	F	L			
Gesamtsstickstoff 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: Seekennndaten

Bodensee-Obersee (Fischbach-Uttwil), Seejahr 1998 (Messdaten vom 06.04.98 bis 09.03.99)

IV-XII: Monate 1998; I, II, III-99: Monate 1999

Parameter	Messwerte				Stoffinhalt								Stoffbilanz			
	(a)		(b)		(b)				(b)		(b)		(b)			
	Epilimnion (0-10 m)		Seebodennähe (1m über Grund)		See total		Epilimnion (0-10 m)		Hypolimnion (200-252.5 m)		Beginn bis Ende Seejahr	06.04.98 bis 01.09.98	01.09.98 bis 09.03.99			
Maximum	Minimum	Zeit	Maximum	Minimum	Zeit	Beginn 06.04.98	Ende 09.03.99	Maximum	Minimum	Zeit	Maximum	Minimum	Zeit			
Thermik (a) °C, (b) 10 ¹² Kcal	23.2	VIII	4.6	VI-XII, I, II	242.6	215.3	367.7	IX	93.7	VIII	7.5	IX, X, XII, II	-27	92	-120	
Sauerstoff (a) mg l ⁻¹ , (b) 10 ³ t	4.5	II	4.1	II	509.5	520.8	525.4	II	54.8	V	18.1	II	11	-71	82	
Orthophosphat - P (a) mg m ⁻³ , (b) t	13.0	V	11.3	II	501.2	584.5	607.5	I	50.9	III	45.1	XI	83	-17	100	
Phosphor, hydrolysiert (A) mg m ⁻³ , (b) t	0.6	X	10.3	II	100.5	78.8	130.2	VI	21.4	V	5.2	VI	-22	-23	1	
Phosphor, gelöst (a) mg m ⁻³ , (b) t	5.9	V	4.9	VII	601.7	663.3	692.9	I	58.3	III	49.6	XI	62	-40	101	
Phosphor, partikulär (a) mg m ⁻³ , (b) t	1.5	II	0.9	XI, II	149.6	60.6	196.0	IV	58.5	V	5.4	II	-89	-12	-77	
Phosphor, total (a) mg m ⁻³ , (b) t	1.1	II	0.4	XII	751.3	723.9	836.6	V	92.5	V	51.7	XI	-27	-52	25	
Nitrat - N (a) mg m ⁻³ , (b) t	6.8	X	15.0	II	44682.7	46315.2	46677.7	XI	4154.5	II	1630.8	III	1633	-1060	2693	
Nitrit - N (a) mg m ⁻³ , (b) t	983.0	II	1004.0	III	120.7	3.6	148.9	IV	45.9	X	3.6	III	-117	-69	-49	
Ammonium - N (a) mg m ⁻³ , (b) t	0.0	XII, I-III	0.0	IV-XII, I, II	171.3	150.2	372.3	V	128.1	VII	13.6	III	-21	-53	31	
Stickstoff, partikulär (a) mg m ⁻³ , (b) t	31.0	VI, VII	17.1	III	686.4	256.1	832.3	V	349.9	V	13.1	IV	-430	2	-432	
Silikat (SiO ₂) (a) mg l ⁻¹ , (b) 10 ³ t	0.0	XI, II	0.0	VI, X	157.4	167.4	167.7	II	14.5	III	8.8	VIII	10	-6	16	
Kalium (a) mg l ⁻¹ , (b) 10 ³ t	4.0	II	3.0	VI	63.4	61.0	63.4	IV	5.6	IV	2.2	IV, VIII, XII, I, II	-2	-3	0	
Natrium (a) mg l ⁻¹ , (b) 10 ³ t	1.4	IV	1.3	IV, VIII, XII, I, II	210.0	209.4	211.5	IV	18.5	IV	7.3	IV	-1	-13	13	
	1.1	X	1.2	X			57.8	X	4.8	X	2.0	X				
	4.4	IV	4.5	III			195.1	VIII	15.7	VIII	6.9	XI				
	3.2	VIII	4.3	IX, XI												

Parameter	Messwerte				Stoffinhalt								Stoffbilanz		
	(a)				(b)								(b)		
	Epilimnion (0 -10 m)		Seebodennähe (1m über Grund)		See total				Epilimnion (0 -10 m)		Hypolimnion (200 -252.5 m)		Beginn bis Ende Seejahr	06.04.98 bis 01.09.98	01.09.98 bis 09.03.99
	Maximum	Zeit	Maximum	Zeit	Beginn	Ende	Maximum	Zeit	Maximum	Zeit	Maximum	Zeit			
Minimum		Minimum		06.04.98	09.03.99	Minimum		Minimum		Minimum					
Calcium (a) mg l ⁻¹ , (b) 10 ³ t	49.3	III	51.5	IX	2350.4	2346.0	2350.4	IV	209.7	III	82.7	IX	-4	-39	42
	38.1	VIII, IX	49.3	III			2226.5	VIII	164.7	IX	79.4	III			
Magnesium (a) mg l ⁻¹ , (b) 10 ³ t	8.2	IV, I-III	8.4	IX, X	390.5	390.9	395.5	IX	34.9	I-III	13.6	IX, X	0	0	0
	7.5	VIII	8.2	VI, VIII, III			383.5	VIII	32.0	VIII	13.2	VI, VIII, III			
Chlorid - Cl (a) mg l ⁻¹ , (b) 10 ³ t	5.1	V	5.3	VI, III	242.6	231.8	247.5	VI	21.7	V	8.8	VII	-11	-11	0
	3.6	VIII	5.0	IX-XII, II			227.1	X	17.6	VIII	8.0	XI			
Sulfat - SO4 (a) mg l ⁻¹ , (b) 10 ³ t	34.2	V	34.6	III	1600.1	1626.5	1641.9	V	145.2	III	55.5	V	26	-1	28
	31.5	VII, VIII	33.2	VIII			1580.5	X	134.7	VII	53.8	VIII			
Eisen total (a) mg m ⁻³ , (b) t	54.1	VIII	79.9	III	555.9	707.0	996.8	II	107.9	IX	75.1	III	151	-229	380
	3.8	VII	5.6	X			315.7	X	20.5	VIII	8.6	IX			
Mangan total (a) mg m ⁻³ , (b) t	2.0	V	15.8	VIII	42.9	41.2	105.3	I	7.9	V	15.3	IX	-2	7	-9
	0.4	VIII	0.9	V, VI			27.6	VII	2.0	VIII	1.1	VI			
Kohlenstoff anorg. (a) mg l ⁻¹ , (b) 10 ³ t	29.4	XII	31.0	X	141.6	137.3	142.0	XII	125.0	XII	49.8	VII	-4	-5	1
	22.6	VIII	29.0	II			134.6	IX	96.1	VIII	46.4	II			
Alkalinität (a) mmol l ⁻¹ , (b) 10 ⁶ kmol	2.5	XII	2.6	X	118.0	114.4	118.3	XII	10.4	XII	4.1	VII	-4	-4	1
	1.9	VIII	2.4	II			112.2	IX	8.0	VIII	3.9	II			
UV - Extinktion m ⁻¹ (260 nm), d = 5 cm	0.167	XII	0.206	VI											
	0.118	IX	0.138	V											
elektr. Leitfähigkeit µS cm ⁻¹ , 20 °C	292.0	IV, II	303.0	VII-IX											
	236.0	VIII	294.0	II											
pH-Wert	8.8	V	8.3	III											
	8.1	I, II	7.9	IV, VI, XI											
Chlorophyll a (a) mg m ⁻³	12	VI	-	-											
	0.6	XII	-	-											

Tabelle 3

**Vergleich von Messwerten der verschiedenen Teile des Bodensee - Obersees
Seejahr 1998 / 1999 an den Stationen Fischbach-Uttwil (F), Langenargen-Arbon (L)
und Bregenzer Bucht (B)**

Messwerte in " 0 " m		F	L	B
Temperatur in °C	Maximum	23.2	20.9	22.8
	Minimum	4.6	4.7	3.3
Sauerstoff in mg O ₂ l ⁻¹	Maximum	12.9	12.7	12.5
	Minimum	9.0	9.6	7.6
Leitfähigkeit bei 20° C in µS cm ⁻¹	Maximum	293.0	292.0	329.0
	Minimum	236.0	243.0	257.0
pH in pH-Einheiten	Maximum	8.7	8.8	8.4
	Minimum	8.1	8.2	8.1
Orthophosphat in mg PO ₄ -P m ⁻³	Maximum	11.9	10.9	10.0
	Minimum	0.7	0.8	3.0
Phosphor gelöst in mg P m ⁻³	Maximum	13.8	13.0	12.0
	Minimum	3.0	3.8	3.0
Phosphor total in mg P m ⁻³	Maximum	20.3	15.8	21.0
	Minimum	6.8	7.0	11.0
Nitrat in mg NO ₃ -N m ⁻³	Maximum	967.0	967.0	1035.0
	Minimum	452.0	383.0	529.0
Ammonium in mg NH ₄ -N m ⁻³	Maximum	31.0	22.4	24.2
	Minimum	3.0	0.7	1.6
Eisen total in mg Fe m ⁻³	Maximum	24.3	15.0	—
	Minimum	3.8	4.6	—
Kohlenstoff anorg. in mmol C l ⁻¹	Maximum	2.5	2.4	2.5
	Minimum	1.9	2.0	1.9
Phosphor partikulär in mg P m ⁻³	Maximum	12.1	7.4	—
	Minimum	1.3	1.2	—
Stickstoff partikulär in mg N m ⁻³	Maximum	69.0	41.0	—
	Minimum	6.0	3.0	—

Messwerte in Seebodennähe		F	L	B
		250m	200m	60m
Temperatur in °C	Maximum	4.6	4.7	5.7
	Minimum	4.1	4.3	3.3
Sauerstoff in mg O ₂ l ⁻¹	Maximum	11.3	10.9	12.1
	Minimum	6.1	6.5	4.9
Leitfähigkeit bei 20° C in µS cm ⁻¹	Maximum	303.0	302.0	342.0
	Minimum	294.0	293.0	324.0
pH in pH-Einheiten	Maximum	8.3	8.3	8.2
	Minimum	7.9	7.9	8.0
Orthophosphat in mg PO ₄ -P m ⁻³	Maximum	31.2	34.5	15.0
	Minimum	10.3	12.2	8.0
Nitrat in mg NO ₃ -N m ⁻³	Maximum	1017.0	1003.0	1058.0
	Minimum	732.0	808.0	943.0
Ammonium in mg NH ₄ -N m ⁻³	Maximum	17.1	12.7	66.3
	Minimum	0.0	0.5	2.3
Eisen total in mg Fe m ⁻³	Maximum	79.9	101.3	—
	Minimum	5.6	5.7	—
Kohlenstoff anorg. in mmol C l ⁻¹	Maximum	2.6	2.6	2.6
	Minimum	2.4	2.4	2.4
Phosphor total in mg P m ⁻³	Maximum	37.2	56.9	27.0
	Minimum	15.0	17.8	16.0

Tabelle 5: Seekennndaten

Bodensee-Untersee (Rheinsee, Berlingen), Seejahr 1998 (Messdaten vom 21.01.98 bis 11.01.99)

I-XII: Monate 1998; I-99: Januar 1999

Parameter	Messwerte				Stoffinhalt						Stoffbilanz		
	(a)				(b)						(b)		
	Epilimnion (0 -10 m)		Seebodennähe (1m über Grund)		See total				Epilimnion (0 -10 m)		Beginn bis Ende Seejahr	21.01.98 bis 20.07.98	20.07.98 bis 11.01.99
	Maximum		Maximum	Beginn	Ende	Maximum		Maximum					
	Minimum	Zeit	Minimum	Zeit	21.01.98	11.01.99	Minimum	Zeit	Minimum	Zeit			
Thermik (a) °C, (b) 10 ⁹ Kcal	23.8	VIII	9.0	VIII	275.2	237.1	868.5	VIII	4927.0	VIII	-38	489	-527
	3.3	II	3.6	II			175.1	II	729.9	II			
Sauerstoff (a) mg l ⁻¹ , (b) t	13.7	V	11.1	III	5591.0	5456.3	6236.4	III	2868.0	III	-135	-1542	1407
	8.4	X	0.6	X			3625.7	VIII	1896.1	X			
Orthophosphat - P (a) mg m ⁻³ , (b) t	7.0	I	44.0	X	2.9	2.9	4.3	X	1.3	II	0	-2	2
	0.0	VI, VII	3.0	III			0.5	VII	0.0	VII			
Phosphor, gelöst (a) mg m ⁻³ , (b) t	11.0	II	44.0	X	5.3	5.1	5.7	II	2.3	II	0	-2	2
	3.0	VI	8.0	III, XI			2.2	VIII	0.8	VI			
Phosphor, partikulär (a) mg m ⁻³ , (b) t	18.0	IV	9.0	IV, XI	2.9	2.0	5.3	IV	3.2	IV	-1	-1	0
	2.0	XII	3.0	XII			1.4	XII	0.5	XII			
Phosphor, total (a) mg m ⁻³ , (b) t	23.0	IV	51.0	X	8.1	7.2	8.2	II	4.1	IV	-1	-2	1
	9.0	V, IX	14.0	XII			5.4	VIII	2.1	IX			
Nitrat - N (a) mg m ⁻³ , (b) t	1140.0	III	1640.0	III	388.5	468.7	573.1	III	240.2	III	80	-24	104
	300.0	VIII	590.0	X			293.7	VIII	76.1	VIII			
Nitrit - N (a) mg m ⁻³ , (b) t	16.0	VI	50.0	V	3.6	3.7	9.0	V	3.1	VI	0	1	-1
	4.0	III, XII	4.0	X			2.0	XII	0.9	III, XII			
Ammonium - N (a) mg m ⁻³ , (b) t	37.0	I	44.0	I	18.6	6.5	18.6	I	7.8	I	-12	-12	0
	3.0	VIII	6.0	VI			1.3	VIII	0.6	VIII			
Silikat (SiO ₂) (a) mg l ⁻¹ , (b) t	2.6	IV	8.6	X	1204.6	1184.6	1367.9	V	529.5	III	-20	-135	114
	0.3	VI	2.5	XII			933.7	VI	122.9	VI			
Calcium (a) mg l ⁻¹ , (b) t	51.1	III, IV	56.3	III	2435.1	2503.1	2581.7	III	1097.6	III	68	-154	222
	35.7	VIII	46.1	XI			2168.8	VIII	798.4	VIII			
Chlorid (a) mg l ⁻¹ , (b) t	7.8	III	10.9	III	2889.4	2878.3	3315.9	IV	145.3	IV	-11	31	-42
	4.6	IX	5.4	I			2524.2	IX	100.6	IX			

Parameter	Messwerte				Stoffinhalt						Stoffbilanz		
	(a)				(b)						(b)		
	Epilimnion (0-10 m)		Seebodennähe (1m über Grund)		See total			Epilimnion (0-10 m)			Beginn bis Ende Seejahr	21.01.98 bis 20.07.98	20.07.98 bis 11.01.99
Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit	Beginn 21.01.98	Ende 11.01.99	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit				
Kohlenstoff anorg. (a) mg l ⁻¹ , (b) t	29.9	III	35.5	III	1459.1	1475.8	1512.0	III	640.8	IV	17	-116	133
	21.2	VIII	28.0	XI			1291.5	VIII	474.8	VIII			
Alkalität (a) mmol l ⁻¹ , (b) 10 ⁵ kmol	2.5	III	2.7	III	121.6	123.0	126.1	III	53.4	IV	1	-10	11
	1.8	VIII	2.3	XI			107.6	VIII	39.6	VIII			
UV - Extinktion m ⁻¹ (260 nm), d = 5 cm	0.036	III	0.037	I									
	0.025	VIII	0.030	IV, VI									
elektr. Leitfähigkeit µS cm ⁻¹ , 20 °C	301.0	III	335.0	VII									
	226.0	VIII	281.0	XI									
pH-Wert	8.7	VII	8.3	III									
	6.5	III	7.7	IX									
Chlorophyll a+b mg m ⁻³	10.8	IX	4.6	III									
	0.2	V	0.1	V									

Tabelle 6

**Vergleich von Messwerten der verschiedenen Teile des Bodensee - Untersees
Seejahr 1998 / 1999 an den Stationen Zeller See (Z), Rheinsee Station Berlingen (R)**

Messwerte in " 0 " m		Z	R
Temperatur in °C	Maximum	24.4	23.8
	Minimum	2.8	2.8
Sauerstoff in mg O ₂ l ⁻¹	Maximum	13.6	12.7
	Minimum	9.2	9.0
pH in pH-Einheiten	Maximum	8.8	8.7
	Minimum	1.8	8.1
Orthophosphat in mg PO ₄ -P m ⁻³	Maximum	13.3	6.0
	Minimum	1.3	0.0
Phosphor partikulär in mg P m ⁻³	Maximum	17.2	9.0
	Minimum	3.4	2.0
Nitrat in mg NO ₃ -N m ⁻³	Maximum	1139.0	1050.0
	Minimum	350.0	320.0
Ammonium in mg NH ₄ -N m ⁻³	Maximum	29.3	27.0
	Minimum	3.0	3.0
Eisen total in mg Fe m ⁻³	Maximum	21.9	—
	Minimum	3.1	—

Messwerte in Seebodennähe		Z	R
		22 - 24m	44 - 46m
Temperatur in °C	Maximum	11.6	9.0
	Minimum	2.8	3.3
Sauerstoff in mg O ₂ l ⁻¹	Maximum	13.3	11.6
	Minimum	0.5	0.6
pH in pH-Einheiten	Maximum	8.6	8.4
	Minimum	2.7	7.7
Orthophosphat in mg PO ₄ -P m ⁻³	Maximum	245.4	44.0
	Minimum	1.2	4.0
Nitrat in mg NO ₃ -N m ⁻³	Maximum	1172.0	1210.0
	Minimum	50.0	590.0
Ammonium in mg NH ₄ -N m ⁻³	Maximum	536.9	40.0
	Minimum	8.6	6.0
Eisen total in mg Fe m ⁻³	Maximum	215.9	—
	Minimum	13.6	—

A N H A N G

Ergebnisse der Zuflußuntersuchungen 1996/97 und des Stofffluß-Modells 1996/97

Zusammenfassung und Wertung

1. Nährstofffrachten aus dem Einzugsgebiet

Seit ihrer Gründung im Jahre 1960 beobachtet die IGKB nicht nur die im Bodensee vorhandenen, sondern auch die in den See eingetragenen Pflanzennährstoffe. Insbesondere die zugeführten Phosphor- und Stickstofffrachten wurden in bisher sechs großen Zuflußuntersuchungen bilanziert (IGKB-Berichte Nr. 6, 11, 17, 28, 40 und 52, im Druck). Im Zusammenhang mit den beiden letzten Untersuchungen in den hydrologischen Jahren 1985/86 und 1996/97 wurden außerdem die Phosphor- und Stickstoffausträge aus diffusen Quellen mit Hilfe eines Stofffluß-Modells (im folgenden IUL-Nährstoffmodell) ermittelt (IGKB-Berichte Nr. 45 und 51). In Verbindung mit den Ergebnissen der Zuflußuntersuchungen in diesen Jahren konnten damit erstmals differenziertere Informationen über die Quellen der diffusen Einträge in die Gewässer im Einzugsgebiet des Bodensees gewonnen werden.

Die im Rahmen der Zuflußuntersuchungen von 1971 bis 1997¹ erhobenen Frachtdaten

- aus den wichtigsten Zuflüssen
- aus dem gereinigten Abwasser der seeanliegenden Kläranlagen
- aus den nur statistisch erfassbaren Uferbereichen (ungereinigtes Abwasser und diffuse Einträge)
- aus den Niederschlägen auf die Seeoberfläche

dokumentieren eindrucksvoll den Erfolg der bisherigen Sanierungsmaßnahmen (Abb. 1 und 2).

Als maßgeblich für den Trophiezustand des Sees sind dabei diejenigen Phosphor- und Stickstoffverbindungen anzusehen, die nicht an Flußschwebstoffe gebunden und somit bioverfügbar sind. Die Einträge der schwebstoffgebundenen Frachten schwanken sehr stark mit dem Witterungsverlauf in den einzelnen Untersuchungsjahren. Sie entziehen sich dem Stoffumsatz im See nahezu vollständig durch rasche Sedimentation.

Die Belastung des Bodensees mit bioverfügbaren Phosphorverbindungen ist seit der Bilanzierung 1971/72 von Mal zu Mal erheblich gesunken (Abb. 1). Dies gilt besonders für die abwasserbürtigen Anteile des Phosphors und hier vor allem für nicht gereinigtes Abwasser. Aber auch bei den übrigen Quellen (diffuser Eintrag aus den Uferbereichen und Niederschlag auf die Seeoberfläche) zeigt sich eine Abnahme.

¹ Die beiden ersten Zuflußuntersuchungen 1961 und 1967/68 sind aus methodischen Gründen nur bedingt vergleichbar und wurden deshalb hier nicht angeführt

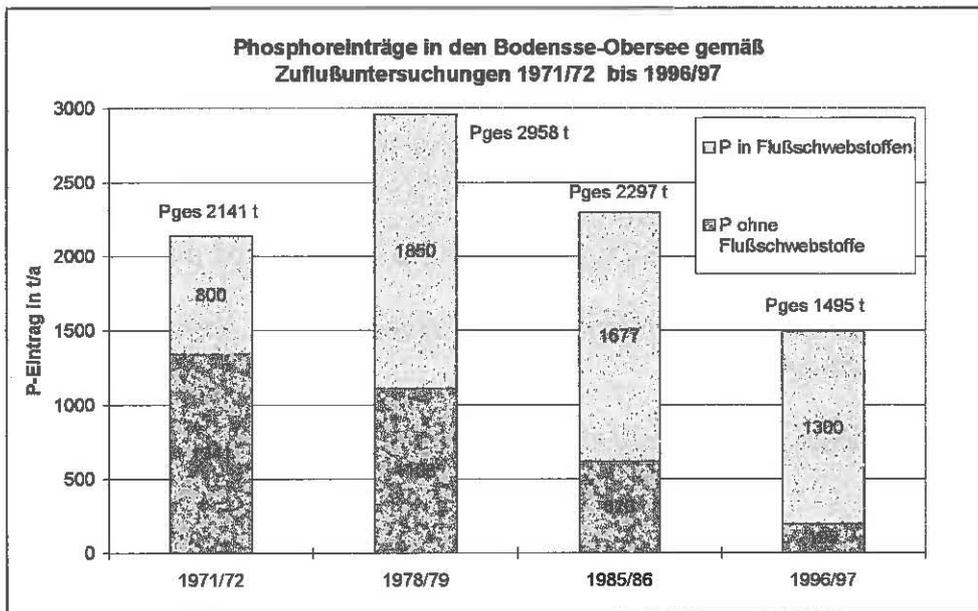


Abb. 1: Phosphoreinträge in den Bodensee-Obersee 1971/72 bis 1996/97

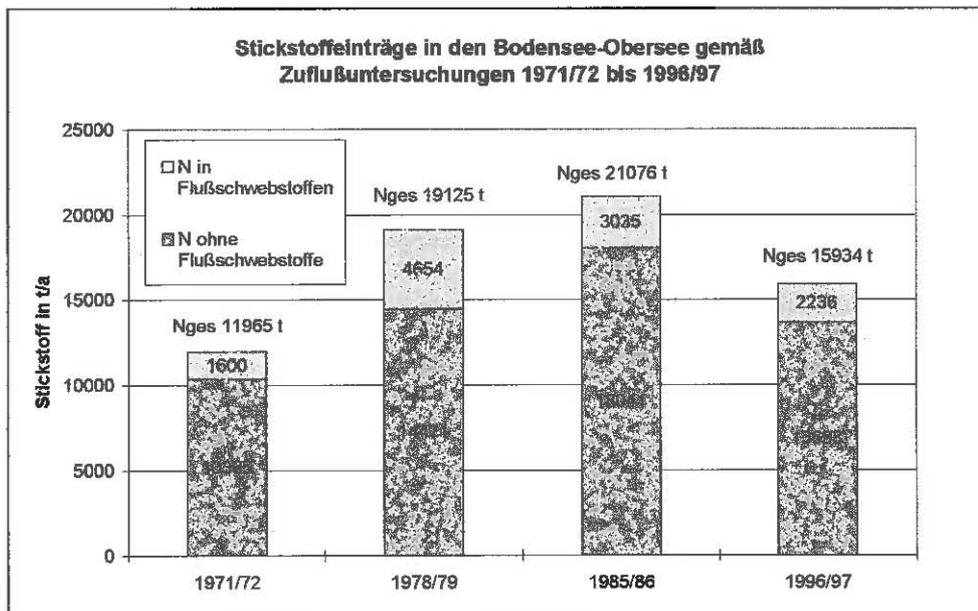


Abb. 2: Stickstoffeinträge in den Bodensee-Obersee 1971/72 bis 1996/97

Im Gegensatz zum Phosphor stiegen die bioverfügbaren Stickstoffeinträge in den See von 1971/72 bis 1985/86 an und zeigten erst bei der Untersuchung 1996/97 eine Abnahme (Abb. 2). Auch wenn der Stickstoff für die Algen im Bodensee praktisch nicht wachstumsbegrenzend wirkt, so kommt ihm doch für die Lebensgemeinschaften im See

hohe Bedeutung zu. Über das N/P-Verhältnis beeinflusst er das Artenspektrum und muß deshalb weiterhin aufmerksam verfolgt werden.

Wie in früheren Untersuchungen wurde ergänzend zu den Phosphor- und Stickstofffrachten auch der organisch gebundene Kohlenstoff erfaßt. Um zusätzliche Informationen über den für die Schichtungsstabilität des Sees wichtigen Salzgehalt zu gewinnen, wurden 1996/97 die Parameter Sulfat, Chlorid und Leitfähigkeit mitbestimmt.

Als noch deutlich abwasserbelastete Zuflüsse erwiesen sich Dornbirnerach, Schussen, Steinach und Radolfzeller Aach.

Der Bodensee-Untersee wird ausschlaggebend vom Oberseewasser über den Seerhein beeinflusst.

Vergleicht man für den Bodensee-Obersee die Ergebnisse 1996/97 der Phosphorausträge nach dem IUL-Nährstoffmodell mit den gemessenen Phosphoreinträgen der Zuflussuntersuchungen, so ergibt sich bei einer Gesamtposphorfracht von jeweils fast 1 500 Tonnen lediglich eine Abweichung von 28 Tonnen (Abb. 3). Gleichzeitig wird offenbar, daß weit über die Hälfte des ausgetragenen, nicht schwebstoffgebundenen Phosphoranteils auf seinem Weg zum See noch an Flußschwebstoffe gebunden wird.

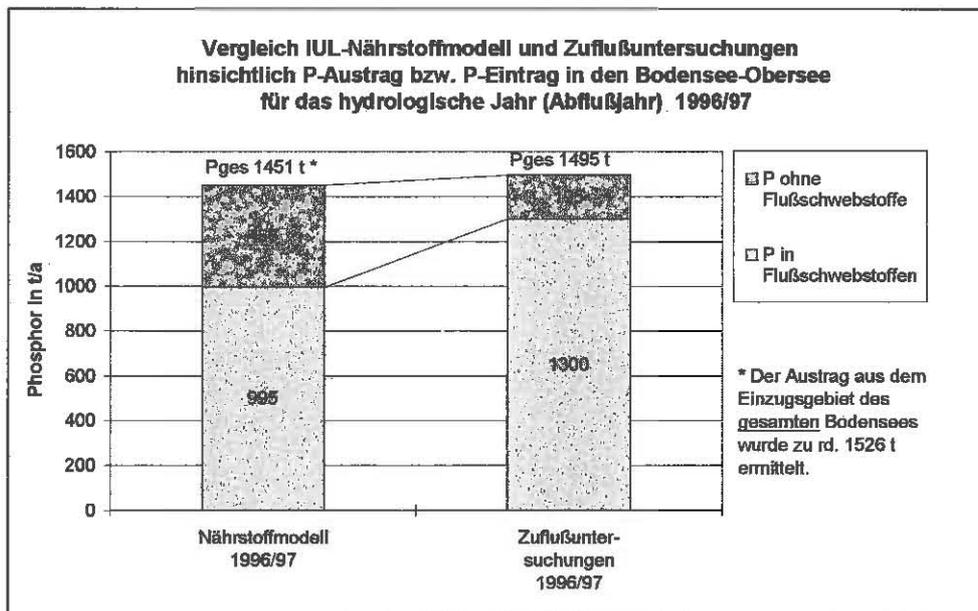


Abb. 3: Vergleich IUL-Nährstoffmodell und Zuflußuntersuchungen 1996/97

Weiterhin zeigt das IUL-Nährstoffmodell zwischen den Ermittlungen von 1985/86 und 1996/97 erhebliche Rückgänge bei den anthropogen verursachten Phosphorfrachten. Dies betrifft sowohl die Belastungen durch Abwasser, als auch den diffusen Austrag. Dabei darf nicht übersehen werden, daß größenordnungsmäßig zwei Drittel der Ab-

nahme der Gesamt-Phosphorausträge witterungsbedingt war und nur ein Drittel veränderten Landnutzungen zuzuschreiben ist (Abb. 4). Betrachtet man im Modellergebnis lediglich die bioverfügbare Fraktion der nicht schwebstoffgebundenen Phosphorfracht, so wird die Bedeutung des anthropogen verursachten Frachtrückganges für den See noch deutlicher (Abb. 5).

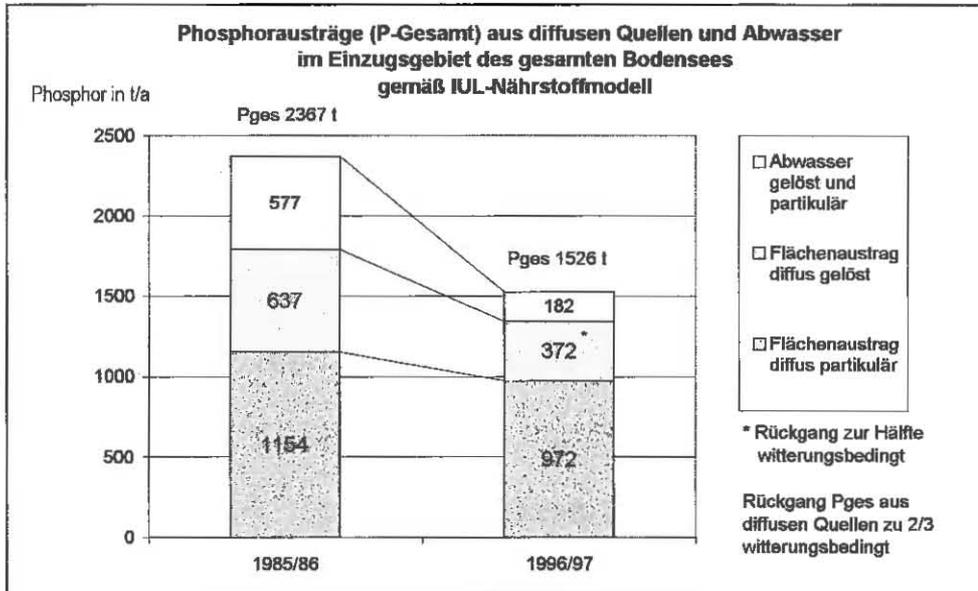


Abb. 4: Phosphorausträge aus diffusen Quellen und Abwasser gemäß IUL-Nährstoffmodell

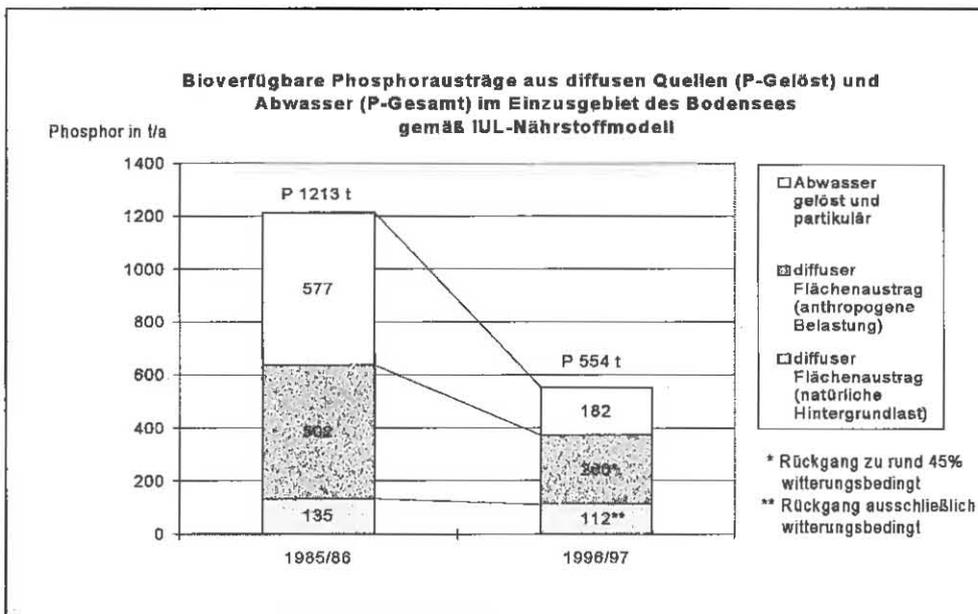


Abb. 5: Bioverfügbare Phosphorausträge aus diffusen Quellen und Abwasser gemäß IUL-Nährstoffmodell

2. Nährstoffeinträge aus Abwassereinleitungen

Im Rahmen einer Erhebung der Stofffrachten aus den Siedlungsbereichen im Einzugsgebiet wurden die einzelnen Herkunftsquellen der abwasserbürtigen Phosphor- und Stickstoffausträge ermittelt [1]. Die Bilanzierung erfolgte für folgende Frachtanteile:

- gereinigtes Abwasser aus zentralen Abwasserreinigungsanlagen
- Entlastungen aus Misch- und Regenwasserkanalisationen
- Einleitungen aus dezentralen Abwasserbehandlungsanlagen (Kleinkläranlagen)

Die Untersuchungen ergaben, daß im Jahre 1997 rund 182 t P-Gesamt und rund 3630 t N-Gesamt aus den Siedlungsbereichen ausgetragen wurden. Der abwasserbürtige Anteil an den Belastungen des Bodensees ist damit vor allem durch die stetige Erhöhung des Anschlußgrades im Einzugsgebiet des Sees weiter zurückgegangen (Abb. 5 und 6).

Die Frachtanteile sind in Abb. 7 und 8 dargestellt:

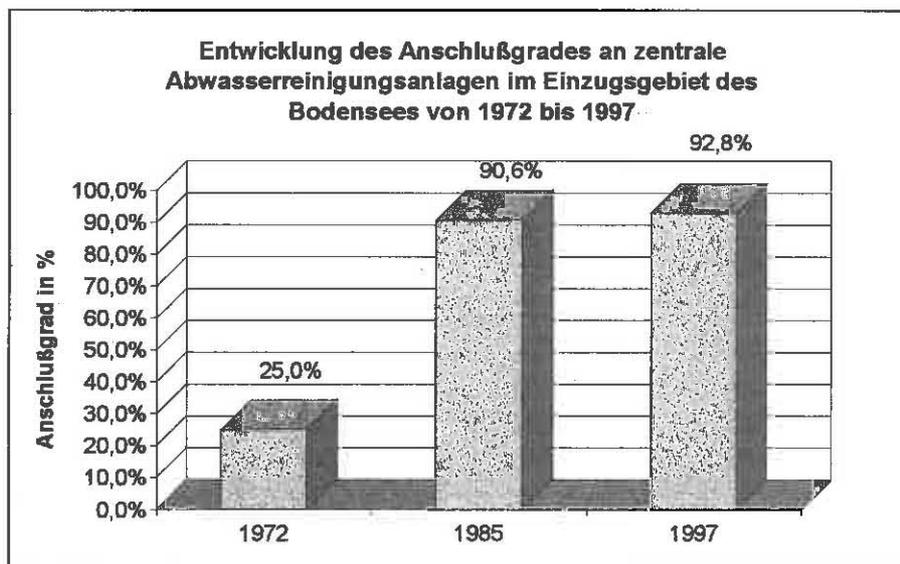


Abb. 6: Entwicklung des Anschlußgrades an zentrale Abwasserreinigungsanlagen.

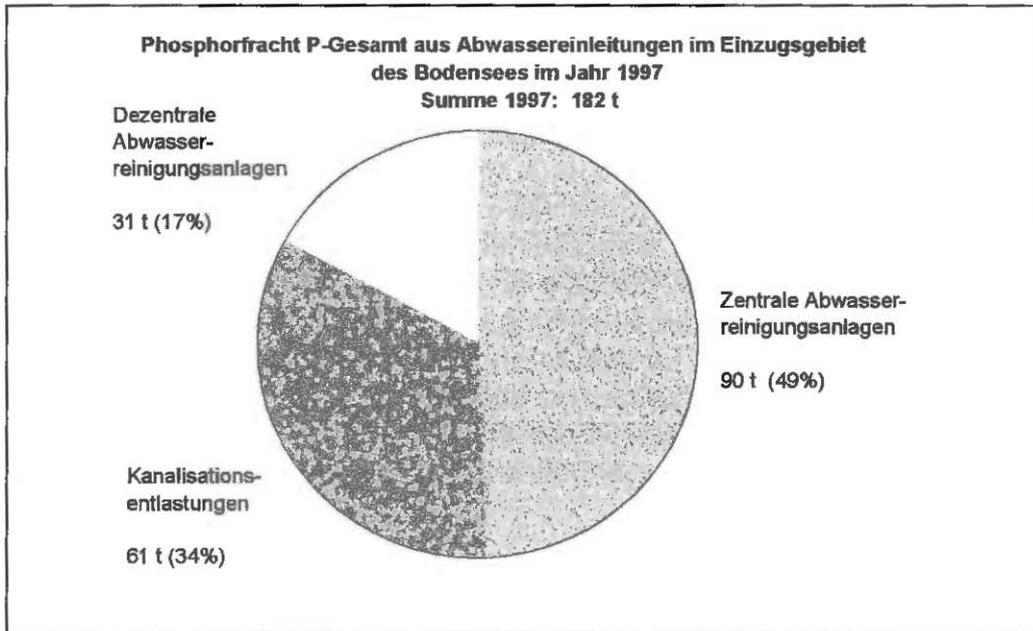


Abb. 7: Phosphorfracht P-Gesamt aus den Siedlungsbereichen

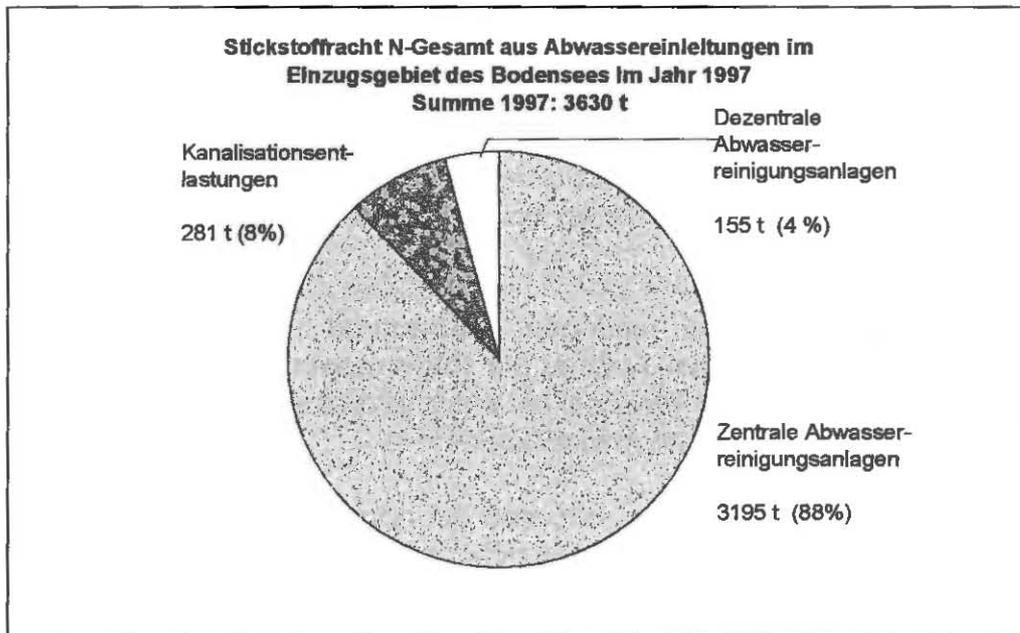


Abb. 8: Stickstofffracht N-Gesamt aus den Siedlungsbereichen

3. Phosphorrückhalt durch Regenwasserbehandlung und weitergehende Awasserreinigung

Die abwasserbürtige Belastung des Bodensees hat durch den Ausbau von Abwasserreinigungsanlagen sowie von Regenbecken deutlich abgenommen (Abb. 4). Der effek-

AUSKÜNFTE

- Baden-Württemberg: Institut für Seenforschung
der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg
Untere Seestr. 81

D-88085 Langenargen
- 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