Internationale Gewässerschutzkommission
für den
Bodensee

Limnologischer Zustand des Bodensees

Nr. 27
Jahresbericht Januar 1999 bis März 2000
-Untersuchungsprogramm Freiwasser, Seebodenzustand-

ISSN 1011-1271

ISSN 1011-1271 Jber.Int.Gewässerschutzkomm. Bodensee:Limnol.Zust.Bodensee
27 (2000)

Internationale Gewässerschutzkommission
für den
Bodensee

Limnologischer Zustand des Bodensees

Nr. 27
Jahresbericht Januar 1999 bis März 2000
-Untersuchungsprogramm Freiwasser, Seebodenzustand-

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 1999 / 2000. 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 Bührer, Dübendorf
Dr. Hans-Rudolf Bürgi, Dübendorf
Mag. Dieter Buhmann, Bregenz
Dr. Heinz Ehmann, Frauenfeld
Dr. Hans Güde, Langenargen
Dr. Harald Hetzenauer, Langenargen
Dr. Reiner Kümmerlin, Langenargen
Dipl.-Inform. Günther Kuhn, Langenargen (EDV)
Dr. Helmut Müller, Langenargen (Vorsitz Fachbereich See)
Dipl.-Ing.(FH) Robert Obad, Langenargen (EDV)
Dr. Henno Roßknecht, Langenargen
Dr. Hans Bernd Stich, Langenargen

Die Grundlage für den Bericht bildet das Langzeit-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 Zooplankton 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.

Der Deutsche Wetterdienst, Offenbach, stellte Daten der Wetterstation Konstanz für die Analyse der meteorologischen Situation des Obersee zur Verfügung.

Inhalt

	Abb.	Seite	Tab.	Seite
Einleitung		6		
Zustandsbeschreibung für das Seejahr		7		
	1	16	1	
Langfristige Entwicklung von				
Phosphor (Obersee)	2A	17	1	56
Stickstoff (Obersee)	2C	17		
Chlorid (Obersee)	2C	17		
Sauerstoff (Obersee)	2B	17		
Phytoplankton (Obersee)	3	18		
Zooplankton (Obersee)	4	19		
Phytoplankton (Untersee, Zellersee)	5	20		
Obersee				
Abbildungen und Tabellen				
Witterung	6	21		
Wasserstände	7	21		
Thermik	8	22	2	66
	9	22	2	66
Sauerstoff	10	23	2	66
	11	23	2	66
Orthophosphat	12	24	2	66
	15	25	2	66
	23	29	2	66
Andere Phosphorverbindungen	13	24	2	66
	14	25	2	66
	15	25	2	66
	23	29	2	66
Nährstoffinhalte	15	25	2	66
	23	29	2	66
Nitrat	16	26	2	66
	23	29	2	66
Nitrit	17	26	2	66
	23	29	2	66
Ammonium	18	27	2	66
	23	29	2	66
Stickstoff partikulär	19	27	2	66
	24	30	2	66
Silikat	20	28	2	66
	23	29	2	66
Anorganische Kohlenstoffverbindungen	21	28	2	66
und Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht	22	29	2	66
	23	29	2	66

Eisen und Mangan	25	30	2	66
Weitere Stoffdaten			2	66
Phytoplankton	26	31		
	27	32		
Zooplankton	28	33		
	29	35		
	30	36		
Bakterioplankton	31	37		

Untersee **Zellersee** **Rheinsee**

Abbildungen und Tabellen

	Abb.	Seite	Tab.	Seite	Abb.	Seite	Tab.	Seite
Thermik	32	38	4	68	52	50	5	70
	33	38			53	50		
Sauerstoff	34	39	4	68	54	51	5	70
	35	39			55	51		
Orthophosphat	36	40	4	68	56	52	5	70
	39	41			59	53		
	44	44			64	56		
	45	44			65	56		
Andere	37	40	4	68	57	52	5	70
Phosphorverbindungen	38	41			58	53		
	39	41			59	53		
	44	44			64	56		
Nährstoffinhalte	39	41	4	68	59	53	5	70
	44	44			64	56		
Nitrat	39	41	4	68	59	53	5	70
	40	42			60	54		
	44	44			64	56		
	45	44			65	56		
Nitrit	41	42	4	68	61	54	5	70
Ammonium	39	41	4	68	59	53	5	70
	42	43			62	55		
	44	44			64	56		
	45	44			65	56		
Silikat	43	43	4	68	63	55	5	70
	44	44						
	45	44						
Anorganische Kohlenstoff-	46	45	4	68	66	57	5	70
Verbindungen und Kalk-	47	45			67	57		
Kohlensäure-Gleichgewicht								

Eisen	45 48	44 46	4	68			5	70
Weitere Stoffdaten			4	68			5	70
Phytoplankton	49 50 51	46 47 48	4	68	68 69	58 58	5	70

Vergleich des limnologischen Zustandes an verschiedenen Untersuchungsstationen im

Obersee	3	66
Untersee	6	72

Anhang 1

Bericht über die Untersuchungen zum Seebodenzustand im Jahr 1999.	74

Auskünfte	81
Berichtigung	81

EINLEITUNG

Der Bericht zum Seejahr 1999/2000 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. Seit Januar 2000 werden die Untersuchungen nach dem überarbeiteten Programm für die Langzeituntersuchungen durchgeführt, wie es im Anhang des Grünen Berichtes Nr. 26 beschrieben wurde.

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

1999/2000

Bodensee - Obersee:

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die Phosphorkonzentration im Seejahr 1999/00 erneut leicht abnahm und im Frühjahr 2000 noch 14 mg/m^3 betrug (1999: 15 mg/m^3). Der Gehalt an anorganischem Stickstoff - im wesentlichen Nitrat - nahm von 0,94 auf 0,96 mg/l geringfügig zu. Die Biomasse des Phytoplanktons lag im Jahresmittel 1999 mit 9,0 g/m² deutlich unter dem Vorjahreswert (12,6 g/m²). Die Sauerstoffgehalte im tiefen Hypolimnion lagen von Mitte Februar 1999 bis Anfang Februar 2000 ständig über den Werten desselben Zeitraumes ein Jahr zuvor. Der Grund für diese Beobachtung lag in der sehr guten Zirkulation im Februar 1999. In diesem Monat wurden Konzentrationen um 11 mg/l über Grund erreicht. Von dieser guten Auffüllung der Sauerstoffreserven zehrte der See ein ganzes Jahr lang. Als Folge davon war auch der herbstliche Minimalwert in einem Meter über Grund 1999 mit 7,0 mg/l fast ein Milligramm höher als 1998 (6,1 mg/l).

Die **hydrologische Situation** wurde vom Extremhochwasser im Mai und Juni 1999 und vor allem auch durch den milden Winter 1999/2000 geprägt.

Der milde Winter 1999/2000 bewirkte nur eine unvollständige Vermischung bis in die größte Seetiefe, was ähnlich zuletzt im noch wärmeren Winter 1997/98 der Fall war. Entscheidend für die Auskühlung des Sees in der Wintersaison ist die Anzahl der Tage mit einer mittleren Lufttemperatur unter 0° C. Für das vergangene Seejahr waren dies 28 Tage. Damit lag der letzte Winter in der Reihenfolge der fünf vergangenen Seejahre mit 63, 38, 24, 44 und 28 Tagen an zweitniedrigster Stelle.

Die maximale Oberflächentemperatur des Sees lag mit 21,4°C am 10.08.1999 um 1,6°C unter der des Vorjahres, obwohl die Jahresmitteltemperatur der Luft den langjährigen Wert um 0,7°C überstieg. In erster Linie rührte dies von der deutlich geringeren Anzahl von Sommertagen vor dem Messtermin her, dürfte aber auch vom Extremhochwasser von Mai/Juni mit beeinflusst sein. Im sehr warmen September lag die Oberflächentemperatur mit 18,9°C um 3°C höher als im Vorjahr und betrug auch im November noch 10,0°C. Erst im Januar 2000 fiel sie auf 4,8°C und war damit um 0,5°C niedriger als im Vorjahr. Dies entsprach dem kälteren Verlauf dieses Monats. Das Minimum von 4,5°C trat Mitte Februar ein und lag damit nur um 0,1°C höher als im Jahr zuvor. Ab Ende Februar entwickelte sich schon die neue Deckschicht. Ihre Temperatur wuchs bis Ende März zwar nur auf 5,0°C an, ihre Mächtigkeit erreichte aber als Folge des warmen Spätwinters bereits 50 m.

Die Erneuerung des Hypolimnions erfolgte mit fortschreitendem Winter 1999/2000 vertikal zweigeteilt. Der obere Teil wurde durch Konvektion bis Anfang Februar maximal bis in 180 m Tiefe vollständig regeneriert. Der untere Teil wurde durch seitliche Unterschichtung von kälterem Wasser aus den Randbereichen des Sees nur teilweise ersetzt. Hierdurch blieb eine schwache, durch gelöste Stoffe bestimmte

Schichtung bestehen, die sich nach einer vorübergehenden Abschwächung ab Mitte März wieder verstärkt aufbaute. Während der Schichtungsabschwächung lief ein zeitweise bis zu wenigen Dekametern mächtiges Temperaturminimum in der Unterschicht mit. Sein niedrigster Wert von 4,40°C trat Ende Februar in 230 m Tiefe ein.

Die Temperaturen der bodenaufliegenden Wasserschicht nahmen von 4,41°C im Januar 1999 bis Mitte Februar 2000 monoton auf 4,53°C zu, abgesehen von einer geringen Absenkung im Juni 1999. Diese Störung dürfte auf das Hochwasser im Mai und Juni zurückzuführen sein. Anfang März 2000 bewirkte die schwache Tiefenwasservermischung nur eine kurze Abnahme auf 4,46°C. Ab Mitte März war mit 4,48°C bereits wieder der Beginn der langsamen Erwärmung in der untersten Wasserschicht zu verzeichnen.

Die Konzentration des **Gesamtphosphors** im Rohwasser betrug im Frühjahr 2000 während der Monate Februar bis April im Mittel 14 mg/m^3 (Abb. 2A, Konzentration während der Vollzirkulation). Damit hat sich die Phosphorabnahme der letzten Jahre fortgesetzt (Frühjahr 1999: 15 mg/m^3; 1998: 17 mg/m^3; 1997: 18 mg/m^3).

Der **Orthophosphat-Phosphor** lag von Anfang April bis Ende November 1999 in den Messtiefen zwischen 0 und 50 m häufig unter 2 mg/m^3. Damit hat sich die Phosphatmangelphase im See sowohl zeitlich als auch räumlich gegenüber dem Vorjahr nochmals ausgedehnt.

Der **anorganische Stickstoff** (N aus NO_3^- + NO_2^- + NH_4^+) mit Nitrat als Hauptkomponente lag 1999 im Jahresmittel mit 0,96 mg/l nur geringfügig über dem Niveau des Vorjahres (1998: 0,94 mg/l; Abb. 2C).

Chlorid als Indikator vielfältiger Salzbelastungen erreichte 1999 im Jahresmittel mit 5,1 mg/l einen geringfügig höheren Wert als 1998 mit 5,0 mg/l (Abb. 2C).

Die **Sauerstoffgehalte** lagen von Mitte Februar 1999 bis Anfang Februar 2000 im tiefen Hypolimnion des Obersees von 200 - 253 m Tiefe um 1-2 mg/l höher als im gleichen Zeitraum ein Jahr davor. Im Verlauf des kalten und windreichen Februar 1999 waren die Sauerstoffreserven in dieser Tiefe nachhaltig aufgefüllt worden. Sie erreichten Werte, die selbst die relativ hohen Gehalte von 1996 übertrafen und in dieser Höhe seit 15 Jahren nicht mehr gemessen worden waren. Von diesen guten Startbedingungen im Frühjahr 1999 profitierte der See das ganze Jahr über bis Februar 2000. In diesem Jahr fiel die Sauerstoffversorgung von 200 bis 250 m im März und April 2000 wegen der unvollständigen Erneuerung des tiefen Hypolimnions etwas geringer aus als 1999.

Dennoch betrug der gesamte Sauerstoffinhalt des Obersees in den Monaten März und April 2000 mit 535.000 Tonnen etwas mehr als im Vorjahr mit 529.000 Tonnen.

Die niedrigste einen Meter über Grund gemessene Sauerstoffkonzentration betrug 1999 7,0 mg/l. Sie wurde im November erreicht (Abb. 2B).

Das **Phytoplankton** im Bodensee-Obersee erreichte 1999 im Jahresmittel eine Biomasse von 9,0 g/m^2 (0-20 m Tiefe). Diese lag damit deutlich unter dem Wert der Vorjahre 1998 mit 12,6 g/m^2, 1997 mit 13,3 g/m^2 und 1996 mit 13,4 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 g/m^2) wurden damit nach einem vorübergehenden Anstieg wieder unterschritten. Das Maximum der Frühjahrsentwicklung erfolgte bereits Anfang April mit rund 25 g/m^2 und war höher als im Vorjahr mit 20,3 g/m^2. Das Sommermaximum erreichte seinen Höchstwert Mitte Juli mit 22,8 g/m^2 und lag damit deutlich unter dem Wert des Vorjahres mit 54,6 g/m^2, blieb aber bis Anfang September auf dieser Höhe.

Die Tendenz der Verschiebung in der Artenzusammensetzung hat sich weiter fortgesetzt. In Zeiten höherer Phosphorkonzentrationen waren die Frühjahrsblüten von kleineren, nährstoffanzeigenden Stephanodiscus-Arten dominiert. In den letzten Jahren wurden diese großteils von mehreren Cyclotella-Arten verdrängt, die allgemein als Oligotrophierungs-Anzeiger angesehen werden. Die pennaten Kieselalgen traten im Hochsommer und Frühherbst in den Vordergrund, wobei vor allem Fragilaria und Asterionella dominierten. Cryptomonaden herrschten im Früh- und Spätsommer vor. Die Dinoflagellaten, vor allem Ceratium, bevorzugten den Spätsommer. Die Chrysophyceen erschienen hauptsächlich während der ausgehenden Frühjahrsblüte mit Erkenia und im Hochsommer mit verschiedenen oligotraphenten Dinobryon-Arten. Coccale Grünalgen, die bei höheren Nährstoffkonzentrationen vorkommen, erreichten das ganze Jahr über nur noch einen unbedeutenden Anteil an der Biomasse, ebenso die Blaualgen (Abb. 27, 28).

Die Individuendichte des **Crustaceenplanktons** lag im Jahresmittel 1999 wieder höher als im Vorjahr. Im einzelnen lagen die Mittelwerte bei Cyclops um 36 % und bei Daphnia um 82 % höher, bei den übrigen Cladoceren dagegen um ca 36 % niederer. Der in den Jahren 1996 - 1998 beobachtete abnehmende Trend setzte sich damit nicht weiter fort.

Wie 1998 waren die Individuendichten der **Daphnien** auch 1999 bis Ende April niedrig, lagen aber anschließend höher als im Vorjahr. Dies zeigte sich besonders deutlich in den Monaten Juli und August, im November sogar mit dem 8-fachen des Vorjahreswertes.

Bei den Beständen der **übrigen Cladoceren** (Bosmina, Bythotrephes longimanus und Leptodora kindtii) waren die Individuendichten in den beiden Monaten Mai und Juni deutlich niedriger, während ab Oktober (insbesondere im November) um einiges höhere Werte als im Jahr 1998 verzeichnet werden konnten.

Bei **Eudiaptomus gracilis** lagen die Werte der erwachsenen Tiere bis April niedriger und anschließend höher als im Vorjahr. Bei den Copepodiden (Entwicklungsstadien) konnten im allgemeinen höhere Individuendichten verzeichnet werden. Die saisonale Abundanzentwicklung (Maxima im Apri -Mai und Oktober-November) von Eudiaptomus gracilis war in beiden Jahren ähnlich.

Bei den **cyclopoiden Copepoden** erfolgte der Einbruch in der Anzahl der erwachsenen Tiere wie 1998 im Juni. Die Population erholte sich aber wieder rasch, sodass die Individuendichte bereits ab Oktober z.T. deutlich höher war als 1998. Bei den Copepodiden der cyclopoiden Copepoden konnten im Mai und Oktober zwei sehr deutlich ausgeprägte Maxima mit Individuendichten von 482000 Tieren/m^2 bzw. 480000 Tieren/m^2 festgestellt werden. Im Vorjahr war dagegen nur im September ein deutlich ausgeprägtes Maximum aufgetreten mit 281000 Tieren/m^2 (Abb.29-31).

Die **Gesamtbakterienzahl**, die durch Fluoreszenzmikroskopie direkt gezählt wurde, zeigte 1999 in ihrer Entwicklung ein ähnliches Bild wie in den Vorjahren. Allerdings zeichnet sich ein Trend zur Abnahme der Jahresmittelwerte ab. Insbesondere fielen die Maxima und die hypolimnischen und winterlichen Minima geringer aus. Das Sommerminimum hat sich 1999 vom Juni auf den Juli verschoben. Das Hochwasser 1999 führte nicht zu einer Erhöhung der Gesamtbakterienzahl, dagegen war während des Juni ein deutlicher Anstieg abiotischer Partikel im Größenbereich von Bakterien (< 2 µm) im See festzustellen. Ab Juli wurden jedoch keine hochwasserbedingten Auffälligkeiten mehr beobachtet.(Abb. 32).

Im Rahmen der 1998 beschlossenen Fortschreibung des IGKB – Überwachungsprogramms wurde 1999 erstmals auch die Verteilung des Fäkal-Bakteriums Escherichia coli im See an der Station Fischbach – Uttwil erfaßt. Nach den vorliegenden Befunden bewegten sich die Werte meist im Bereich des Trinkwassergrenzwertes (<1Keim/100ml), d.h. um mehr als drei Zehnerpotenzen unterhalb des EU-Badewassergrenzwertes (<2000 Keime/100 ml). Leicht erhöhte Werte (1-10 Keime/100 ml) waren fallweise in oberflächennahen Proben (bis 30 m Tiefe) zu finden. Deutlich erhöhte Werte (>100 Keime/100 ml) wurden im Zusammenhang mit dem Hochwasser 1999 in den Einschichtungstiefen der Zuflüsse gefunden. Wegen der schnellen Abnahmerate der Keime waren diese Maxima nur kurzfristig (2 Wochen) sichtbar. Deshalb und wegen des nachgewiesenen überwiegenden Eintrags der Keime aus der Siedlungs-entwässerung können E.-coli-Bakterien als Zeiger für junge Einmischungen von Wasserkörpern mit einem erhöhten Abwasseranteil genutzt werden.

Bodensee-Untersee

Die **Phosphorkonzentration** - bestimmt als Gesamtphosphor im Rohwasser - hat 1999 im Rheinsee im Jahresmittel auf 17 mg/m^3 zugenommen (1998: 13 mg/m^3; 1997: 15 mg/m^3). Im Zellersee wurde ein leichter Rückgang auf 23 mg/m^3 beobachtet (1998: 24 mg/m^3; 1997: 25 mg/m^3).

Der Inhalt an **anorganischem Stickstoff** (N aus NO_3^- + NO_2^- + NH_4^+) mit Nitrat als Hauptkomponente betrug 1999 im Rheinsee 0,78 mg/l (1998: 0,85 mg/l; 1997: 0,80 mg/l). Im Zellersee wurde eine leichte Zunahme auf 0,90 mg/l beobachtet (1998: 0,89 mg/l; 1997: 0,97 mg/l).

Die **Sauerstoffsituation** hat sich 1999 im Rheinsee und im Zellersee gegenüber dem Vorjahr kaum verändert. Im Rheinsee lagen die Sauerstoffkonzentrationen in Seebodennähe im November bei 0,6 mg/l. Im Vorjahr hatten hier die Minimalkonzentrationen im Oktober ebenfalls 0,6 mg/l betragen. Im Zellersee, der bis 1992 über Jahrzehnte hinweg einen zeitweiligen totalen Sauerstoffschwund aufwies, wurde auch 1999 bei allen Messungen ein geringer Sauerstoff-Restgehalt gemessen. Er lag von Juli bis September zwischen 0,4 und 1,7 mg/l und damit etwas niedriger als im Vorjahr (August bis Oktober: 0,4 – 6,1 mg/l).

Beim **Phytoplankton** im Zellersee stieg die Biomasse 1999 deutlich auf 25,8 g/m² (0-20m Tiefe) an, nachdem bereits 1998 mit 18,7 g/m² eine Phase relativ gleichbleibender Werte in den Jahren 1995 bis 1997 endete (1997:15,7 g/m², 1996: 15,9 g/m²; 1995: 15,2 g/m²). Zu dieser hohen Jahresdurchschnitts-Biomasse haben zwei sehr starke Frühjahrsblüten beigetragen; die erste Blüte erfolgte bereits Mitte Februar und erreichte 88,1 g/m², die zweite Blüte folgte Anfang März und war mit 92,6 g/m² noch höher. Sie lagen damit deutlich höher als im Vorjahr mit 43,5 g/m². Das Sommer-Maximum Mitte Juli war mit 37,1 g/m² niedriger als die Frühjahrsblüten, aber höher als der entsprechende Wert im Obersee. Ein Spätsommer-Maximum Anfang September und ein Herbst-Maximum Mitte Oktober erreichten 23,2 und 26,3 g/m².

Die Artenzusammensetzung des Planktons hat sich unabhängig vom Anstieg der Jahres-Biomasse weiter zu Nährstoffarmut tolerierenden Formen hin entwickelt und den Verhältnissen im Obersee genähert. Kleine, nährstoffliebende Stephanodiscus-Arten, die früher die Frühjahrsblüten dominiert hatten, sind inzwischen großteils von Cyclotella-Arten verdrängt worden. Die pennaten Kieselalgen, vor allem Fragilaria, dominierten im Hochsommer. Cryptomonaden fanden sich vom Spätsommer bis zum Winter. Die Chrysophyceen erschienen vor allem während der ausgehenden Frühjahrsblüte mit Erkenia und im Hochsommer mit verschiedenen Nährstoffarmut tolerierenden Dinobryon-Arten. Die Dinoflagellaten, vor allem Gymnodinium helveticum, gediehen bevorzugt während der ausgehenden Frühjahrsblüte. Wie im Obersee fielen coccale Grünalgen und Blaualgen nicht mehr ins Gewicht (Abb. 51, 52).

Gesamtbewertung des Seezustandes

1. Freiwasser

Die seit längerem eingetretene, insgesamt günstige Entwicklung des Zustands im Freiwasserbereich des Bodensee-Obersees hat sich mit einer weiteren leichten Abnahme des Phosphorgehaltes und einer guten Sauerstoffsituation fortgesetzt.

Der **Phosphorgehalt**, gemessen als Gesamtphosphor während der Zirkulationsperiode, ist seit dem Vorjahr von 15 auf 14 mg/m³ gesunken. Damit hat er sich dem Wert von ca. 10 mg/m³ weiter genähert, den das neu angepasste dynamische Phosphormodell für den Erhalt einer Sauerstoffkonzentration von mindestens 4 mg/l bei 1 m über Grund auch bei schlechter Durchmischung ausweist.

Der Orthophosphat-Phosphor in der Produktionszone von 0 bis 20 m Tiefe kann von den Algen unmittelbar verwertet werden und ist daher ein wichtiger Steuerungsfaktor für deren Wachstum. Mit Werten von häufig unter 2 mg/m³ zwischen 0 und 50 m Tiefe von Anfang April bis Ende November 1999 hat sich seine Verarmung gegen- über dem Vorjahr sowohl zeitlich als auch räumlich weiter ausgedehnt. Diese Entwicklung stärkt die Rolle des Phosphors als hauptsächlich begrenzender Wachstumsfaktor unter den Düngestoffen und unterstützt damit die zunehmende Wirksamkeit aller den Phosphoreintrag reduzierenden Maßnahmen.

Der anorganische **Stickstoffgehalt** (Nitrat-, Nitrit- und Ammoniumstickstoff) lag praktisch in der Höhe des Vorjahreswertes. Damit bleibt das seit ca. 12 Jahren beobachtete Konzentrationsniveau um 1 mg/l erhalten. Für einen Rückgang liefern diese Daten bisher keine sicheren Anzeichen.
Stickstoff ist für die Algen im See kaum wachstumsbegrenzend, kann jedoch über das N/P-Verhältnis ihr Artenspektrum beeinflussen. Daher muß die Entwicklung des anorganischen Stickstoffgehaltes weiterhin aufmerksam verfolgt werden.

Das **Phytoplankton** bestätigte die Entwicklung zu einem nährstoffärmeren See durch die fortgesetzte Verschiebung zu solchen Arten, die als Anzeiger einer Nährstoffverarmung gelten. Auch ihre gegenüber den Vorjahren mit 9,0 g/m² deutlich geringere Biomasse passt in dieses Bild: Ihre bis Ende der 80er Jahre gehäuft über 20 g/m² liegende Menge wurde damit beinahe halbiert. Hier muß jedoch berücksichtigt werden, daß von Jahr zu Jahr verschiedene Witterungsbedingungen das Algenwachstum erheblich beeinflussen. Dies gilt besonders für die oft dominierende Frühjahrsblüte.

Der **Sauerstoffgehalt** im tiefen Seebereich wird vor allem durch die Menge der aus der pflanzlichen Produktion absinkenden zehrenden Stoffe einerseits und andererseits durch die Wirkung der klimatischen Bedingungen auf die Durchmischung des Sees beeinflusst. Für das Jahr 1999 waren die Vorbedingungen für gute Sauerstoffverhältnisse über Grund in beiden Einflussbereichen sehr günstig.

Dies zeigt der hohe Sauerstoff-Minimalwert von 7 mg/l bei 1 m über Grund, wie er in dieser Höhe seit Beginn der IGKB-Untersuchungen im Jahr 1961 nur noch 1970 gemessen wurde. Verantwortlich war im Jahr 1999 die hohe Sauerstoff-Frühjahrskonzentration, die über Grund noch 10,8 mg/l betrug, sowie die geschilderte niedere Algenbiomasse. Der bislang zweithöchste Minimalwert mit 6,8 mg/l wurde im Herbst 1981 festgestellt. Auch damals waren im Frühjahr, nach einem extrem kalten Winter, von der Oberfläche bis zum Grund fast durchweg ungewöhnlich hohe Sauerstoffgehalte zwischen 11 und 12 mg/l gefunden worden.

Die jüngste Beobachtung untermauert die Bedeutung, die der winterlichen Auffüllung der Sauerstoffreserven im Hypolimnion für das folgende herbstliche Sauerstoffminimum in Seebodennähe zukommt. Da die Intensität dieses Vorganges wesentlich von der Witterung abhängt, wird damit erneut deren mitbestimmender Einfluss auf die Sauerstoffverhältnisse im See dokumentiert. Selbst auf dem Höhepunkt der Phosphorbelastung 1981 wirkte die witterungsbedingt gute Sauerstoffnachlieferung im

Winter bis weit in den Herbst hinein. Seinerzeit wurde nicht nur ein starker Sauerstoffabfall verhindert, sondern sogar das drittbeste Ergebnis der vergangenen 40 Jahre erzielt.

Eine sehr gute Vertikalzirkulation kann also offensichtlich die Sauerstoffreserven auf ein Niveau anheben, welches auch Phasen starker Sauerstoffzehrung einige Monate überdauert. Wenn jedoch in Zeiten hoher Algenproduktionen die winterlichen Sauerstoffnachlieferungen in große Tiefen gering sind oder ganz ausbleiben, werden über Grund bald kritische Sauerstoffmangelzustände erreicht. Eine wesentliche Aussage des Berichtes zum neu angepassten dynamischen P- Modell besteht darin, dass der derzeitige Trend der Klimaentwicklung künftig eine Reihe von aufeinander folgenden Jahren mit unvollständiger Zirkulation im Bodensee eher wahrscheinlich werden lässt als früher. Deshalb gilt unverändert, dass die Sauerstoffzehrung in der Seetiefe über niedrige Phosphorgehalte dauerhaft möglichst gering gehalten werden muss.

2. Seeboden

Die im Jahr 1999 durchgeführten Seebodenuntersuchungen ergaben für die sedimentologischen Kenngrößen ein ähnliches Bild wie bei der vorangegangenen Untersuchung 1992-94. Dennoch können erstmals ein Rückgang des Phosphorgehaltes in den obersten Sedimentschichten und eine mit Artenverschiebungen verbundene Abnahme der Gesamtmenge der Schlammröhrenwürmer als erste Anzeichen dafür gesehen werden, dass die Re-Oligotrophierung nun auch mit langer Verzögerung am Seeboden sichtbar wird.

3. Hochwasser

Aus den langjährigen Untersuchungen im **Freiwasser** des Sees ist bekannt, dass die Gesamtfracht der dem See zugeführten Düngestoffe Phosphor und Stickstoff in Hochwasserjahren zwar zunimmt, dies allein jedoch nie zu Konzentrationsanstiegen dieser Stoffe im See führte. Der Grund dafür ist, dass die erhöhten Frachten gleichzeitig durch Volumenzunahme des Sees und durch entsprechende Verluste durch Austrag und Sedimentation ausgeglichen wurden. Auch die vom Institut für Seenforschung durchgeführten Intensivmessungen ergaben bislang keinen Hinweis auf Konzentrationsanstiege und nennenswerte Auswirkungen des Hochwassers auf die Lebensgemeinschaften der Freiwasserzone.

In der naturgemäß sehr hochwassersensiblen **Flachwasserzone** kann das Ausmaß der Auswirkungen auf die Schilfbestände erst nach der Schilfkartierung abgeschätzt werden, die im Jahr 2000 vorgesehen ist.

Im **Uferbereich** haben die mit Flachböschungen renaturierten Uferabschnitte das Hochwasser ohne größere Schäden überstanden, während durch starres Mauerwerk befestigte Ufer teilweise stark beschädigt wurden. Für den Gewässerschutz im Uferbereich bestätigt dieser Befund die bei Renaturierungsmaßnahmen eingeschlagene Strategie.

Hinsichtlich der Verunreinigung durch **Fäkalkeime** (Escherichia coli) war ein deutlicher hochwasserbedingter Belastungsstoß zu verzeichnen, der vor allem durch das bei diesem Ereignis unvermeidliche Überlaufen von Regenentlastungsanlagen verursacht wurde. Die in den Einschichtungstiefen der Zuflüsse gefundenen, gegenüber den normalen im Bereich des Trinkwassergrenzwertes liegenden Werten (< 1 Keim/100 ml) deutlich erhöhten Keimzahlen (> 100 Keime /100 ml) waren wegen der schnellen Absterberate der Keime nur über ca. zwei Wochen sichtbar. Eine längerfristige Belastung des Sees mit Fäkalkeimen durch das Hochwasser ist daher auszuschließen.

Insgesamt zeigen die Beobachtungen und Erfahrungen bei den vergangenen Hochwässern, dass sie für den See keinesfalls eine Katastrophe, sondern eher ein Wesensmerkmal darstellen. Im übrigen wird dazu auf den Bericht der IGKB über das Bodenseehochwasser 1999 verwiesen.

4. Fazit und Handlungsbedarf

Die Ergebnisse der Freiwasser- und Seebodenuntersuchungen untermauern den schon in den letzten Jahren festgestellten großen Erfolg der Sanierungsmaßnahmen der Staaten im gesamten Einzugsgebiet des Bodensees.

Die Wasserqualität des Sees ist heute in einem guten Zustand, jedoch noch nicht langfristig gesichert. Der derzeitige Trend der Klimaentwicklung lässt künftig eine Reihe von aufeinanderfolgenden Jahren mit unvollständiger Zirkulation im Bodensee eher wahrscheinlich werden als früher. Die Sauerstoffversorgung des grundnahen Wasserkörpers mit mindestens 4 mg/l bei 1 m über Grund kann nach den Ergebnissen des neu angepassten dynamischen P-Modells bei schlechter Durchmischung des Sees langfristig nur dann gesichert werden, wenn die Phosphorkonzentration im Freiwasser des Sees auf ca. 10 mg/m³ abgesenkt wird.

Unter der Bedingung, dass die Phosphorbelastung des Sees aus Abwassereinleitungen und diffusen Einträgen aus dem ländlichen Areal längerfristig auf dem Belastungsniveau von 1997 (ca. 200 t/Jahr) gehalten wird, kann gemäß Modellrechnung ein Wert von ca. 10 mg/m³ im Freiwasser erreicht werden.

Allerdings ist aus heutiger Sicht in Frage zu stellen, ob in der grundnahen Wasserschicht mit 4 mg/l Sauerstoff eine insgesamt ausreichende Sauerstoffversorgung gewährleistet ist. So ist z.B. inzwischen erwiesen, dass sich ein Großteil des am Seegrund liegenden Felchenlaichs bei einem Sauerstoffgehalt von 4 mg/l nicht mehr entwickelt.

Die Angabe eines langfristig gültigen Zielwertes ist heute und auch in Zukunft kaum möglich, da dieser von der Entwicklung des Planktons, des Benthos und des Klimas abhängig ist. Zudem können sich langfristig auch die Nutzungsanforderungen an den See verändern. Die Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee wird als nächstes prüfen müssen, wie und unter welchen Rahmenbedingungen ein Anstieg der Phosphorbelastung während niederschlagsreicheren Jahren mit höheren

Austrägen aus dem ländlichen Areal oder eine höhere abwasserbedingte Phosphorbelastung des Sees als Folge der Bevölkerungsentwicklung und des Wirtschaftswachstums in seinem Einzugsgebiet verhindert werden kann. Die gegenwärtigen Anforderungen an die Abwasserreinigung sind weiter aufrechtzuerhalten. Darüber hinaus müssen auch im landwirtschaftlichen Bereich alle Anstrengungen unternommen werden, um die diffusen Nährstoffausträge in die Zuflüsse zum See und direkt in den See weiter zu verringern.

Abbildungen

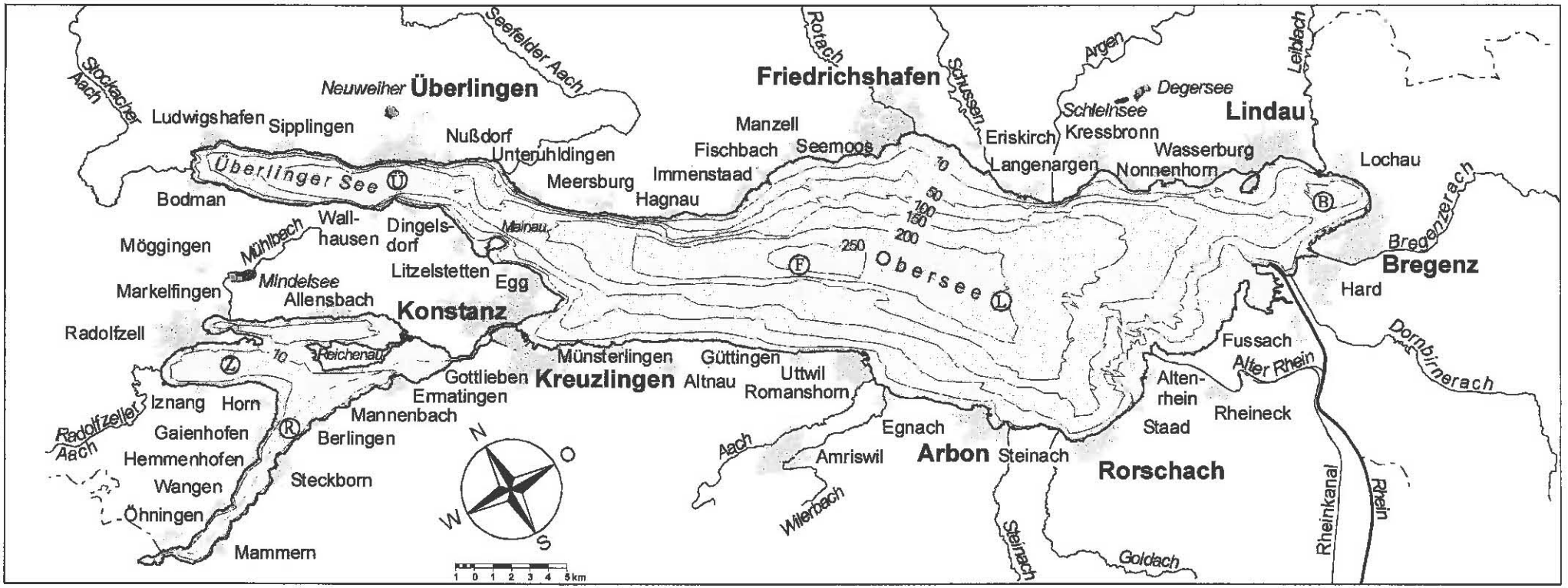
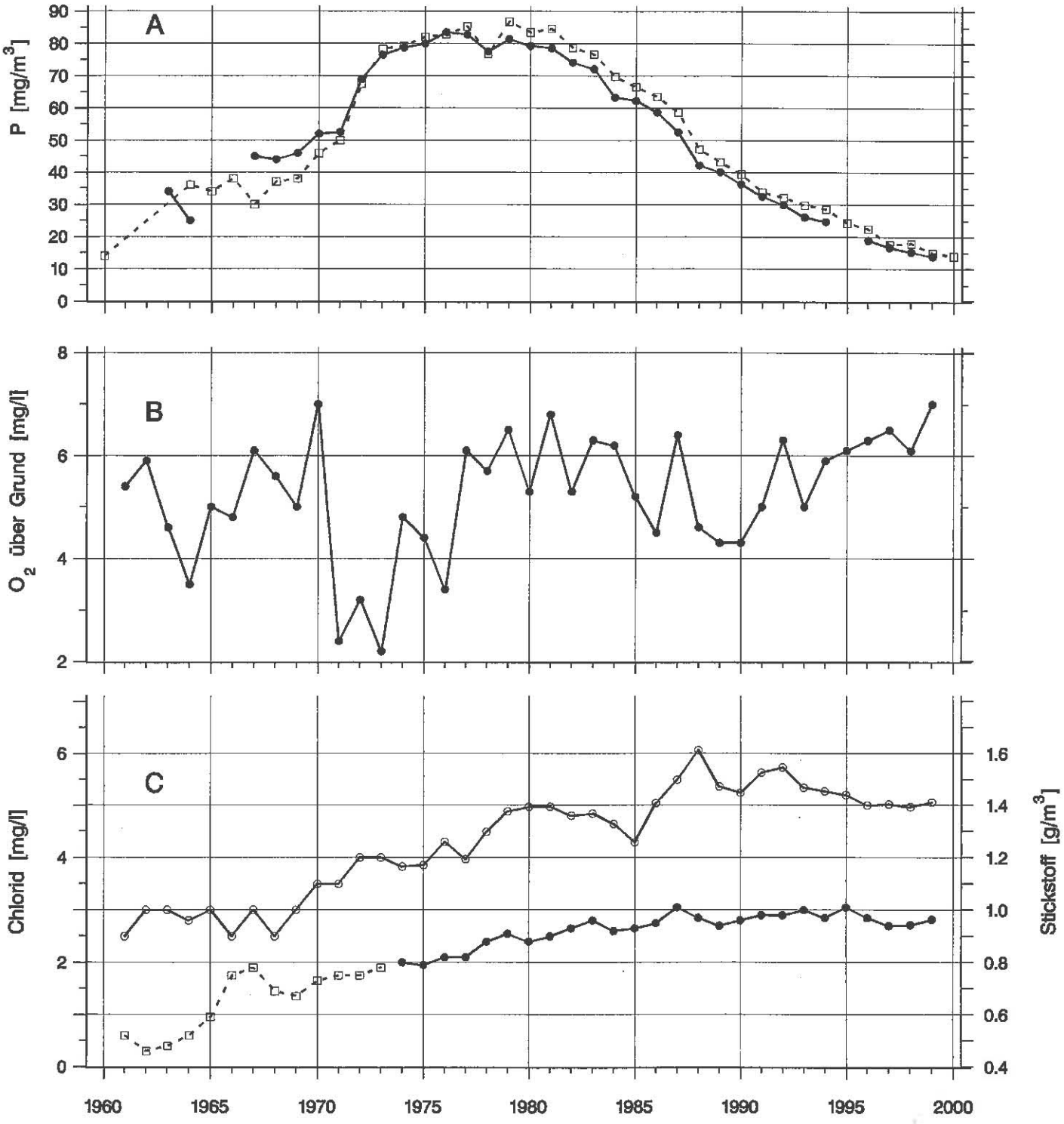


Abb. 1: Der Bodensee mit Lage der Untersuchungsstellen

a) Freiwasser:

Obersee: Fischbach-Uttwil (F)
Langenargen-Arbon (L)
Bregenzer Bucht (B)
Überlinger See (Ü)

Untersee: Zellersee (Z)
Rheinsee (R)



A — Gesamtphosphor im Rohwasser, volumengewichtetes Jahresmittel

Gesamtphosphor im Rohwasser, Konzentration während Vollzirkulation

B — Sauerstoffkonzentration, Minimalwerte 1 m über Grund

C — Chlorid, volumengewichtetes Jahresmittel

Stickstoff nur aus NO_3^-, volumengewichtetes Jahresmittel

Stickstoff aus $NO_3^- + NO_2^- + NH_4^+$, volumengewichtetes Jahresmittel

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

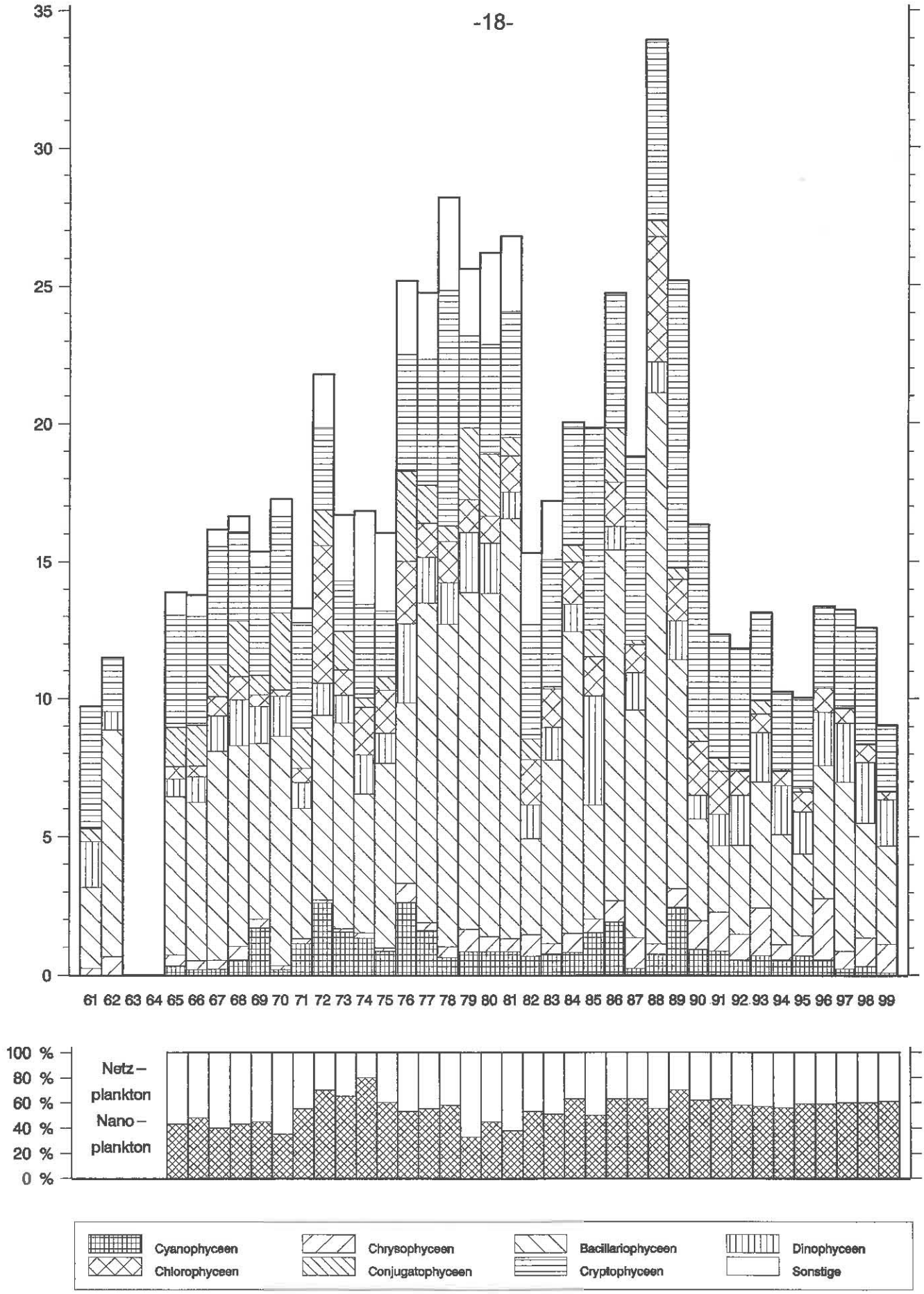


Abb. 3: Bodensee – Obersee, Fischbach–Uttwil:
Langfristige Entwicklung des Phytoplanktons
Biomassen in g/m^2 (0–20m Tiefe), Jahresmittelwerte

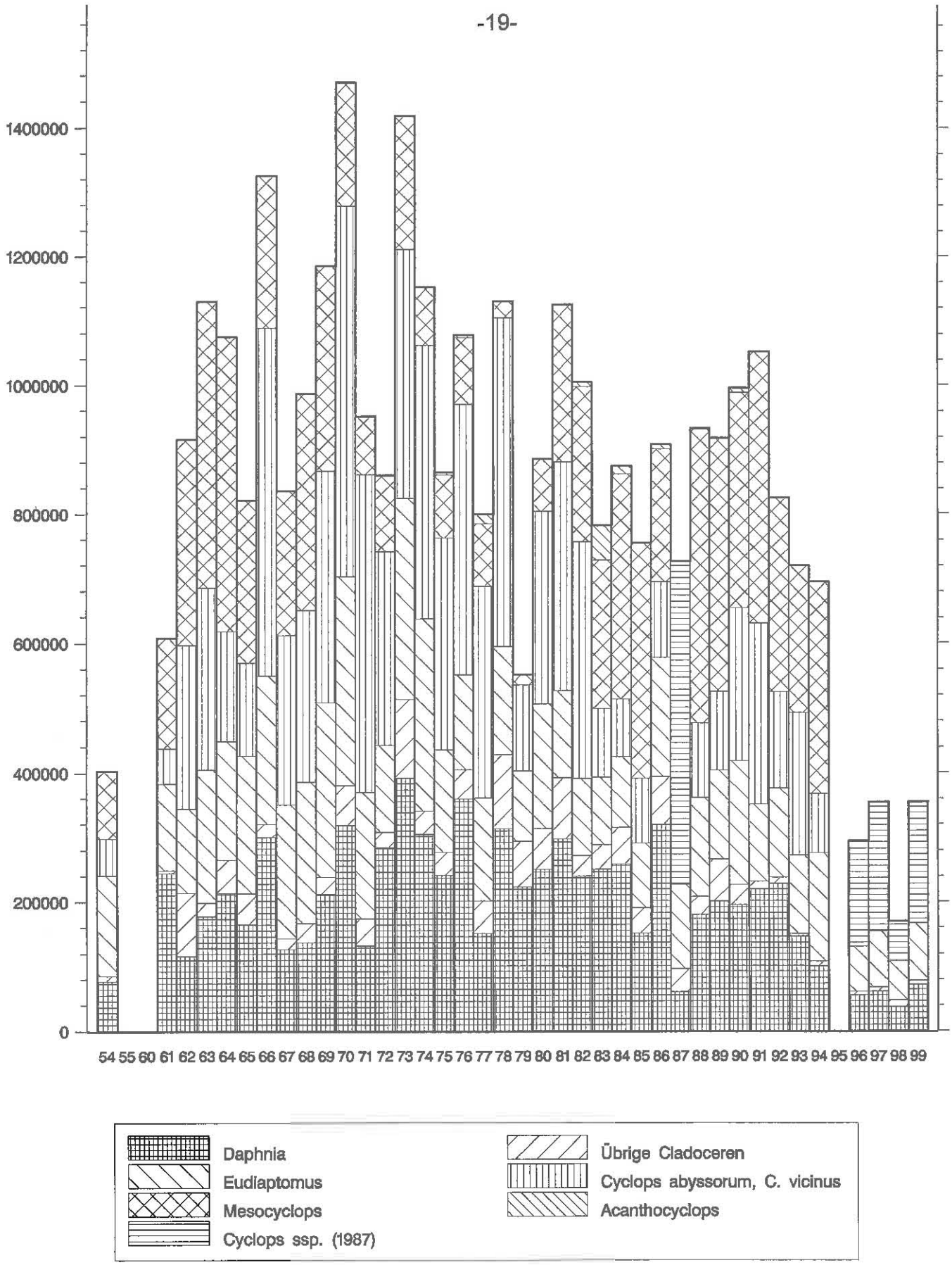


Abb. 4: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
Langfristige Entwicklung des Crustaceenplanktons
Tiere/m^2 gesamte Wassersäule, Jahresmittelwerte *

* Berechnung des Jahresmittelwertes für 1995 nicht möglich wegen fehlender Frühjahrswerte

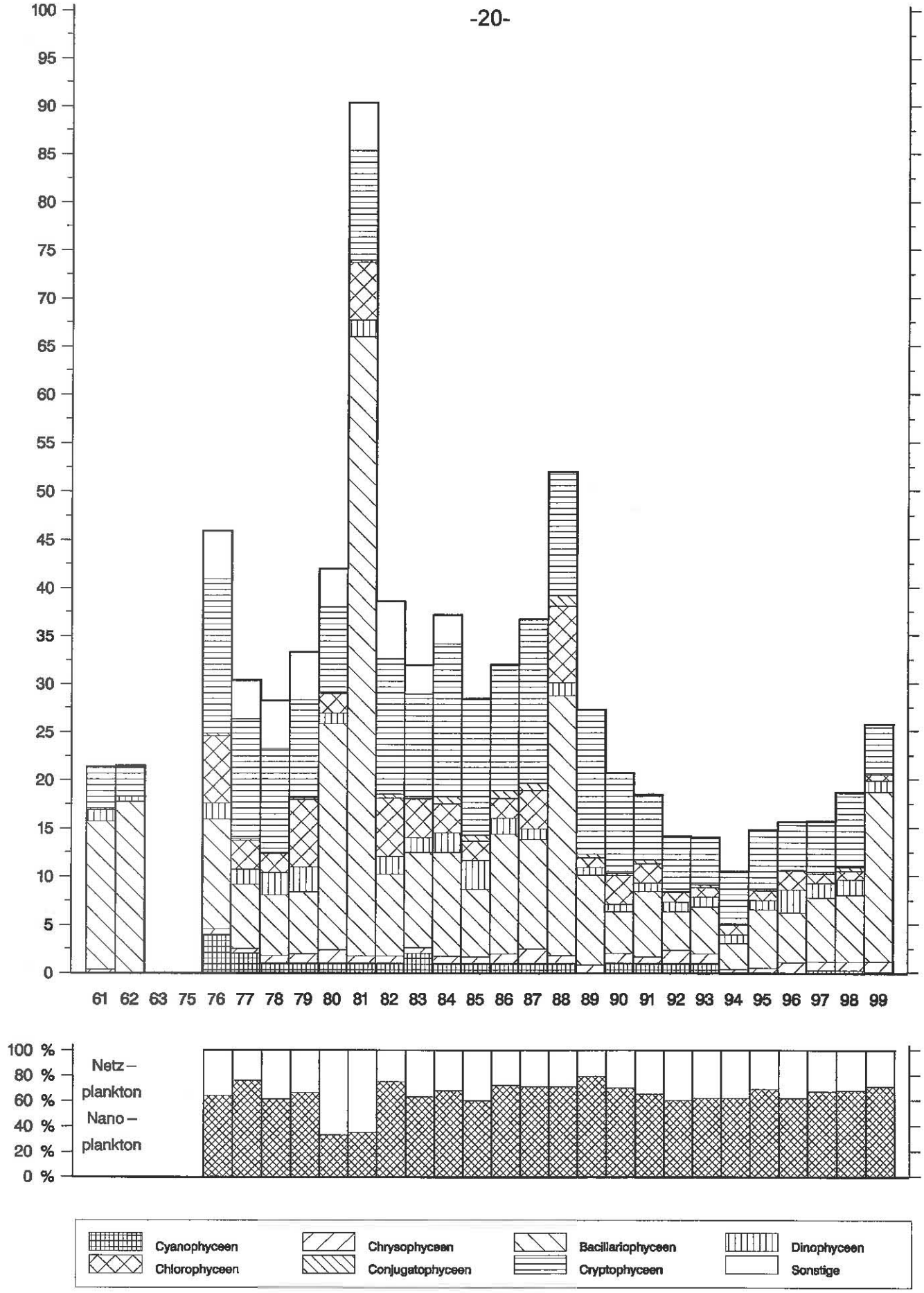


Abb. 5: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Langfristige Entwicklung des Phytoplanktons
Biomassen in g/m^2 (0–20m Tiefe), Jahresmittelwerte

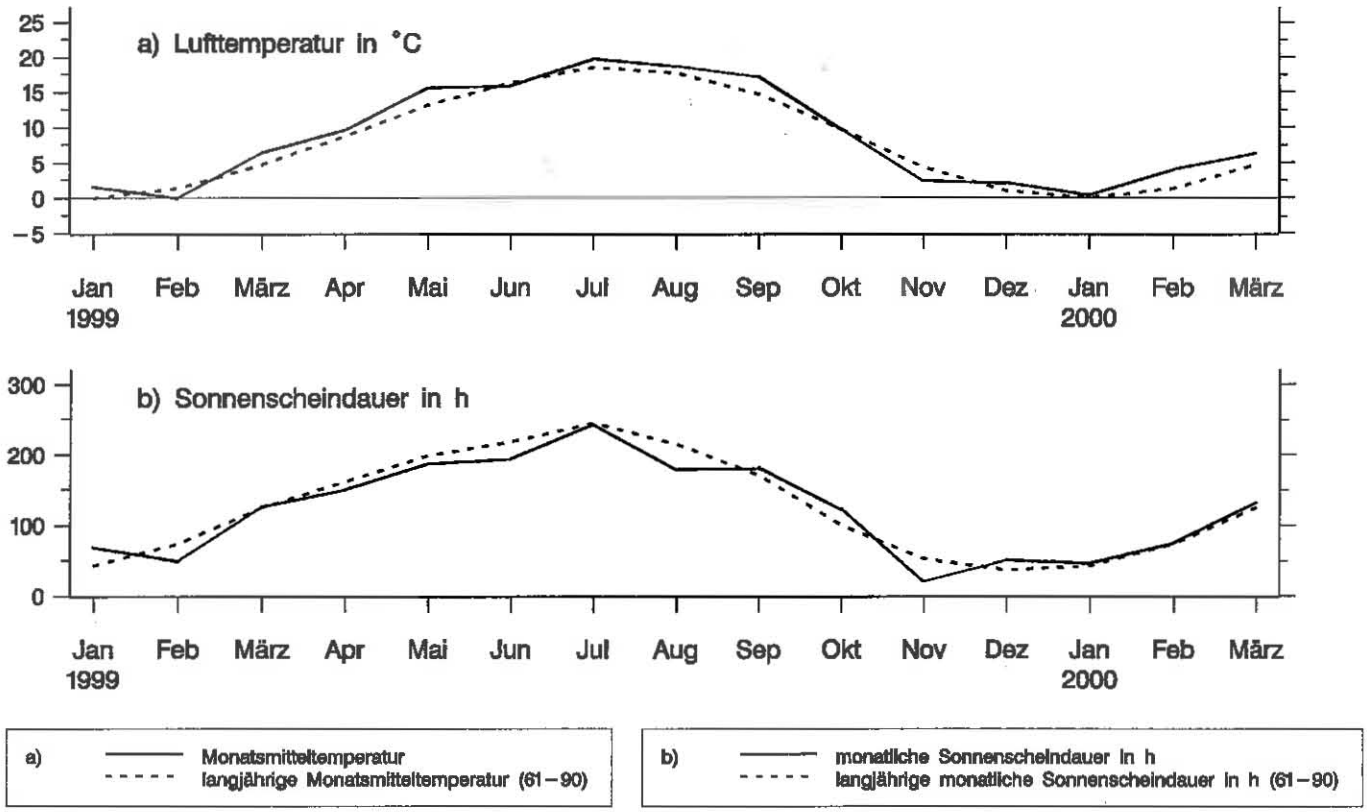


Abb. 6: Bodensee – Obersee:
Klimadaten der Wetterwarte Konstanz

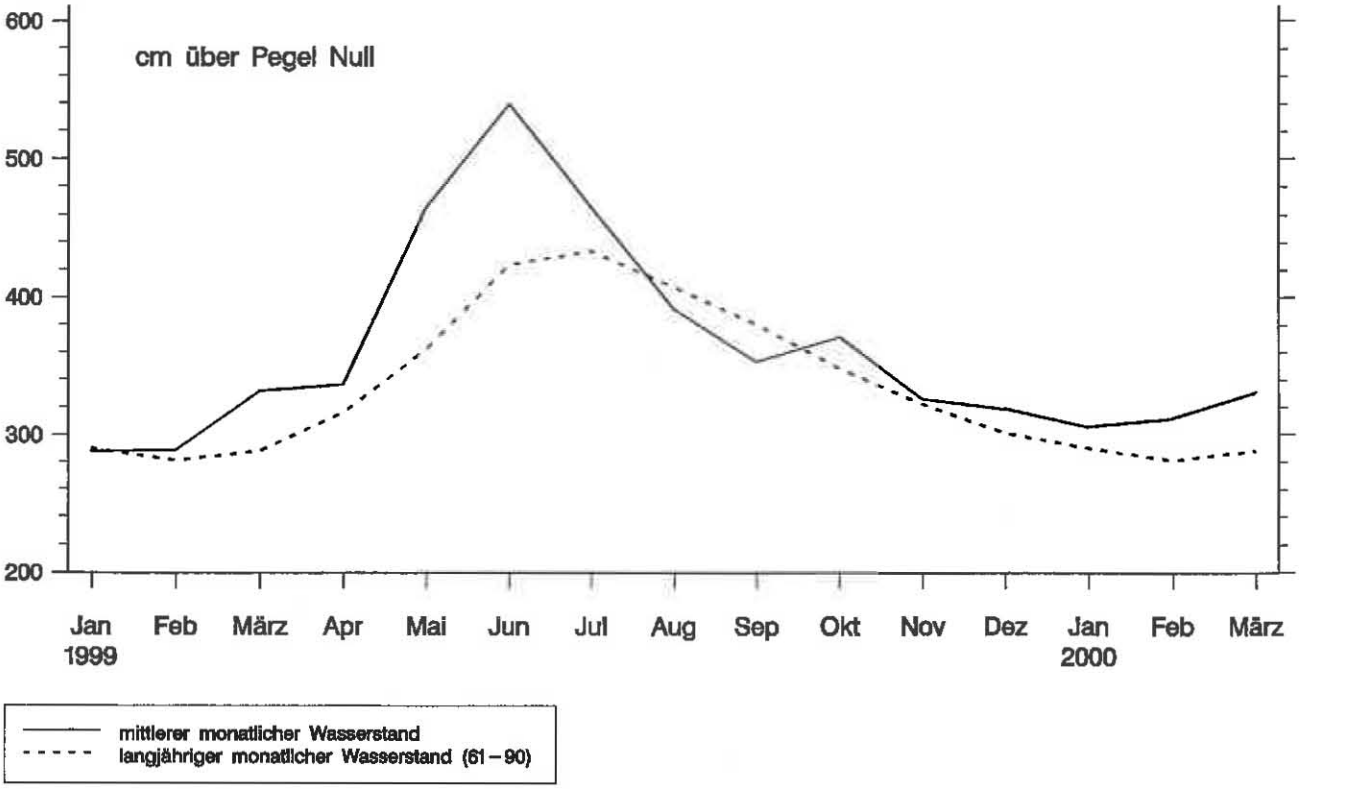


Abb. 7: Bodensee – Obersee:
Wasserstand am Pegel Konstanz

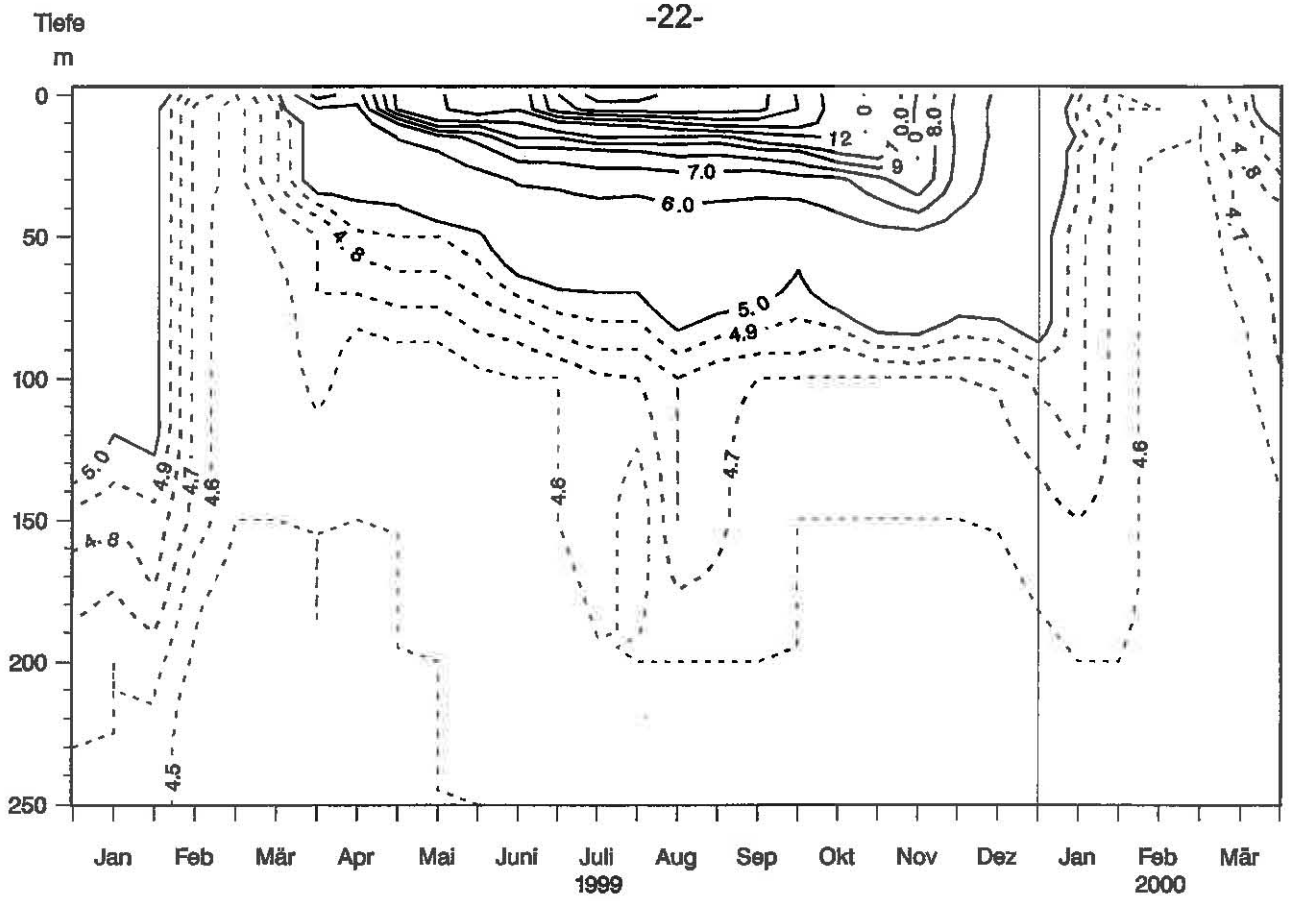


Abb. 8: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
Temperatur °C

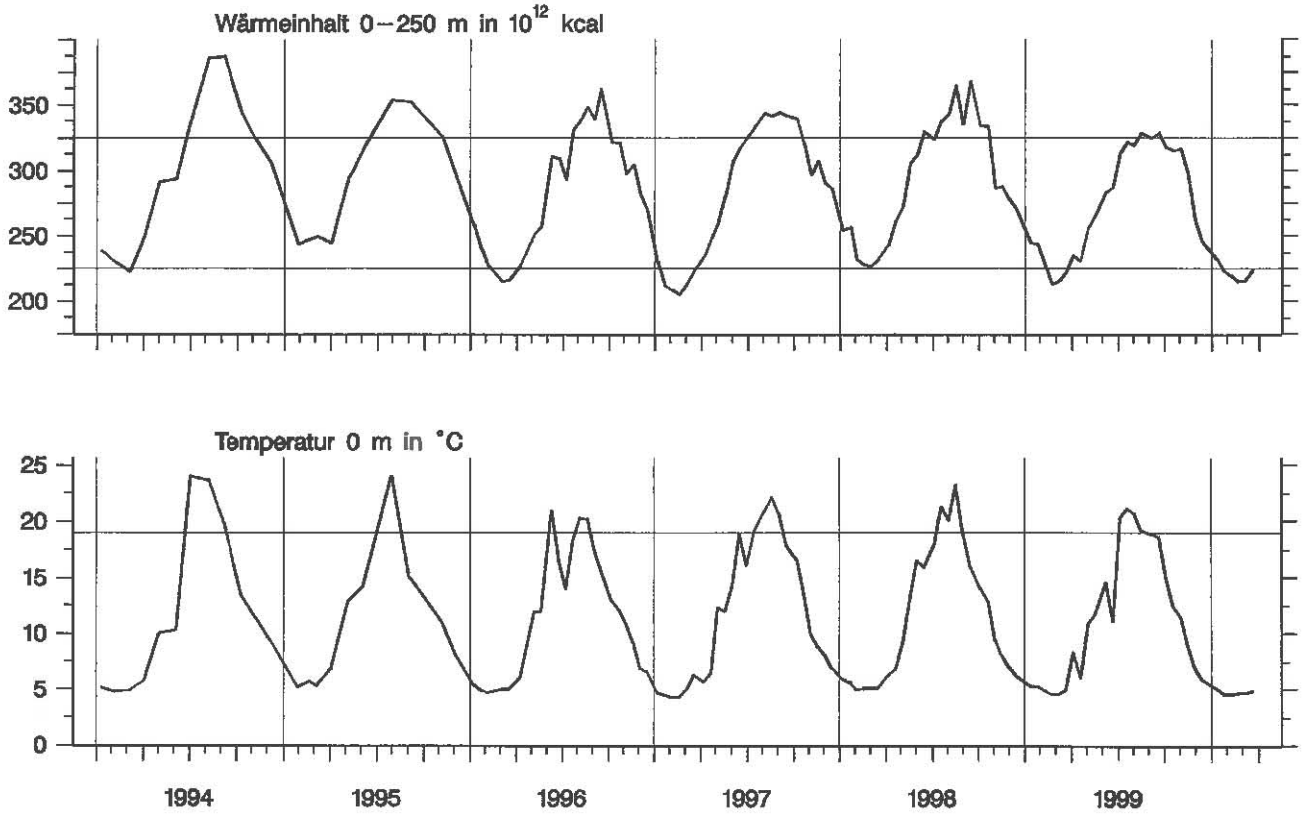


Abb. 9: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
Thermik

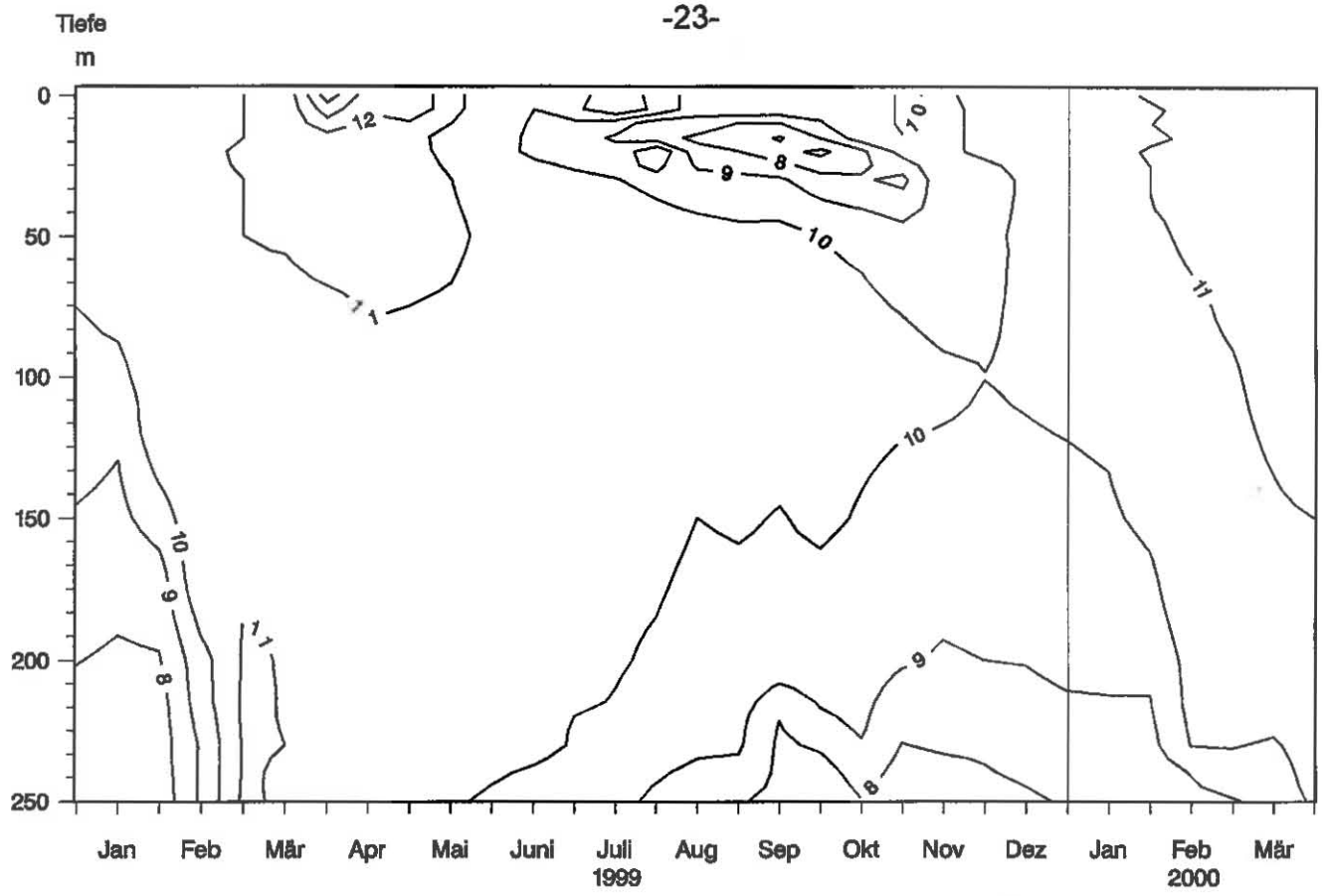


Abb. 10: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
Sauerstoff (mg/l)

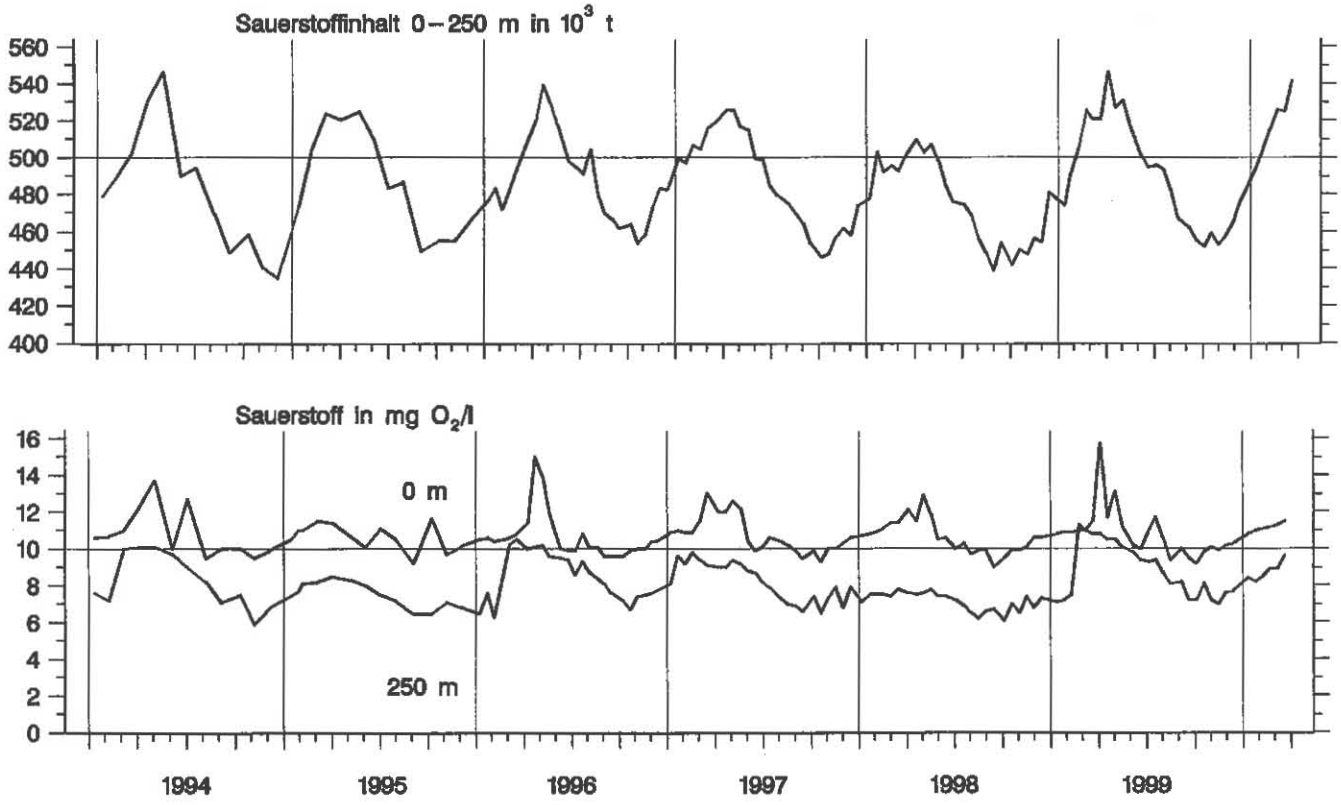


Abb. 11: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
Sauerstoffinhalt 0 – 252 m und Sauerstoffkonzentration in 0 und 250 m Tiefe

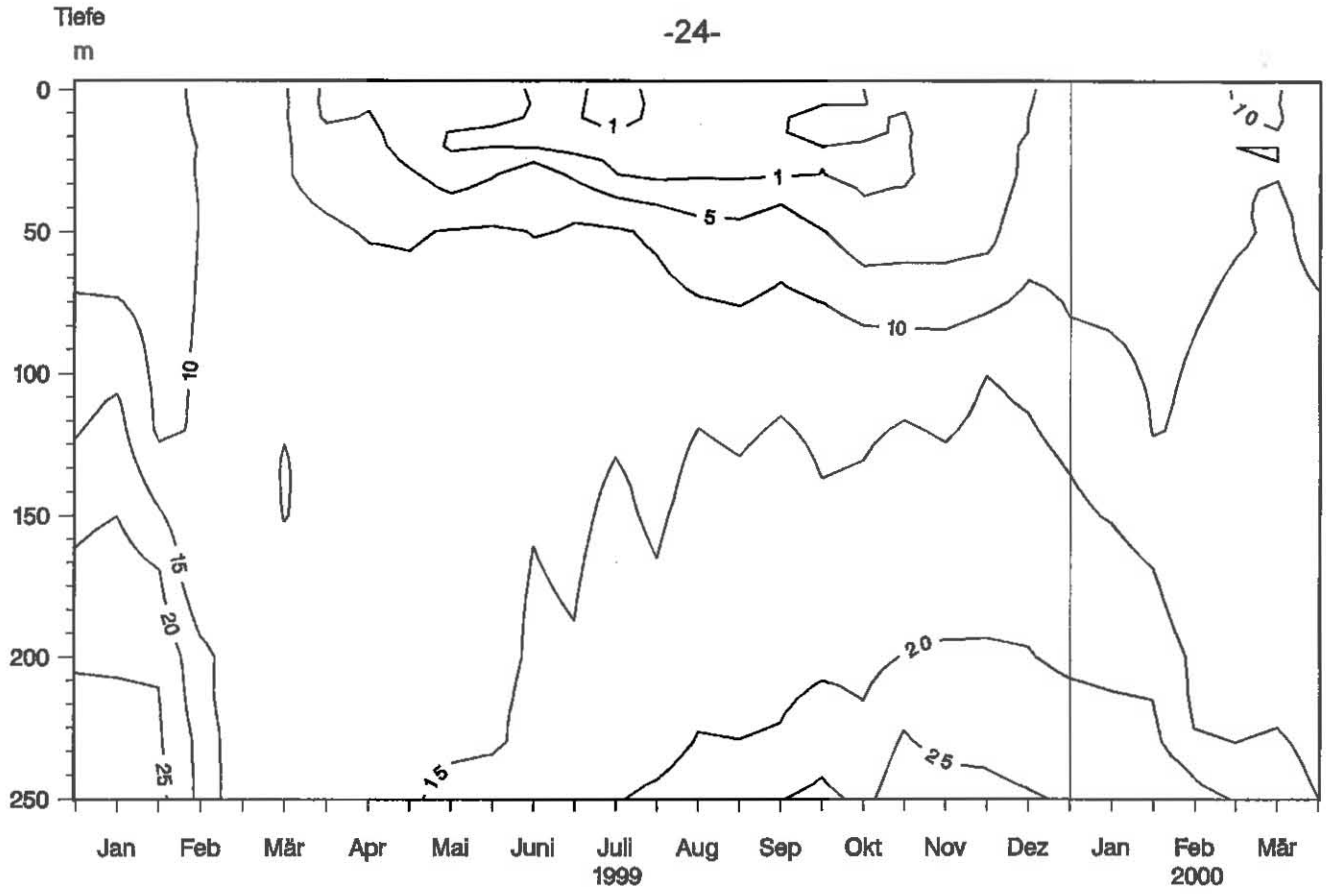


Abb. 12: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
Orthophosphat – Phosphor (mg/m^3)

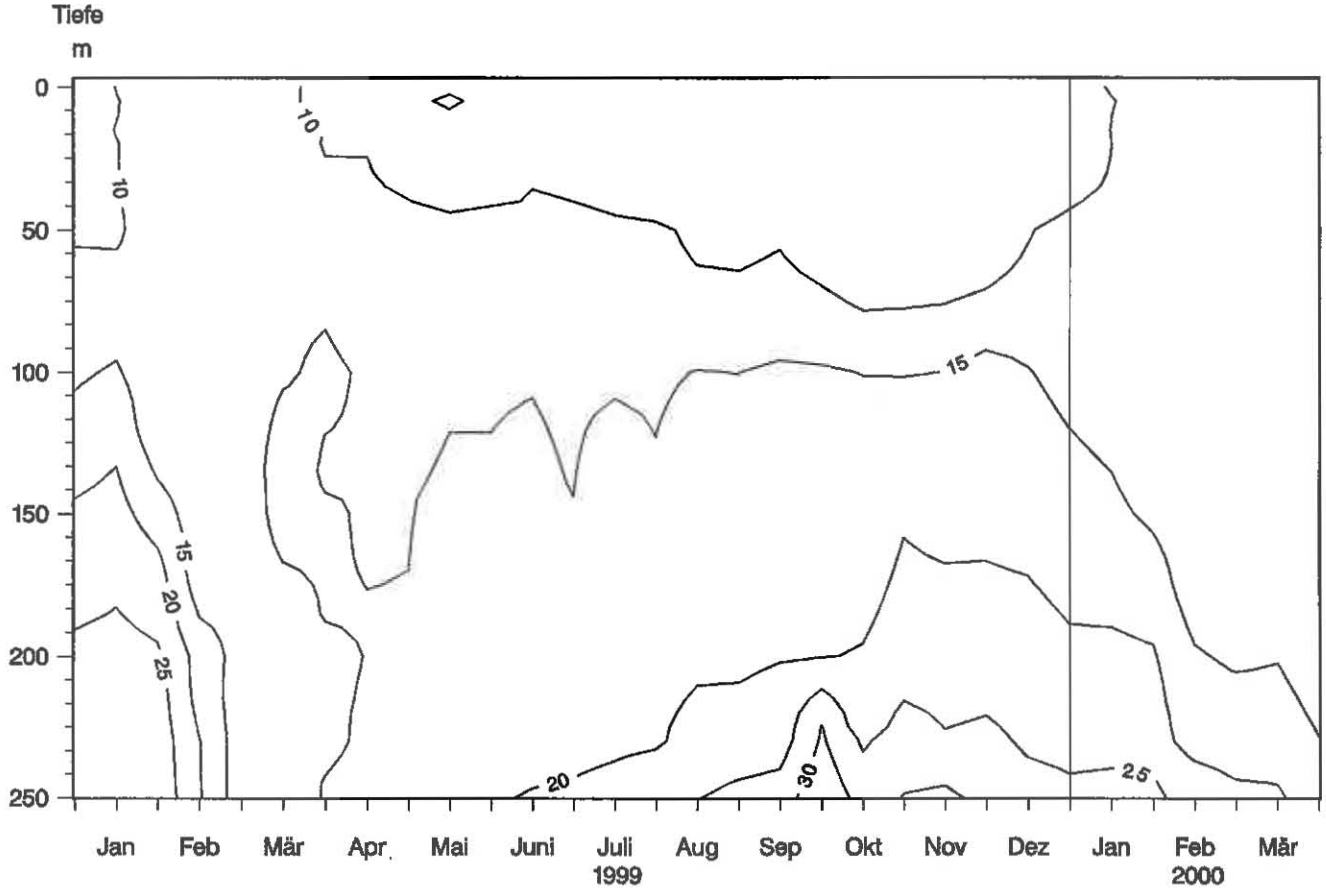


Abb. 13: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
Gesamt gelöster Phosphor (mg/m^3)

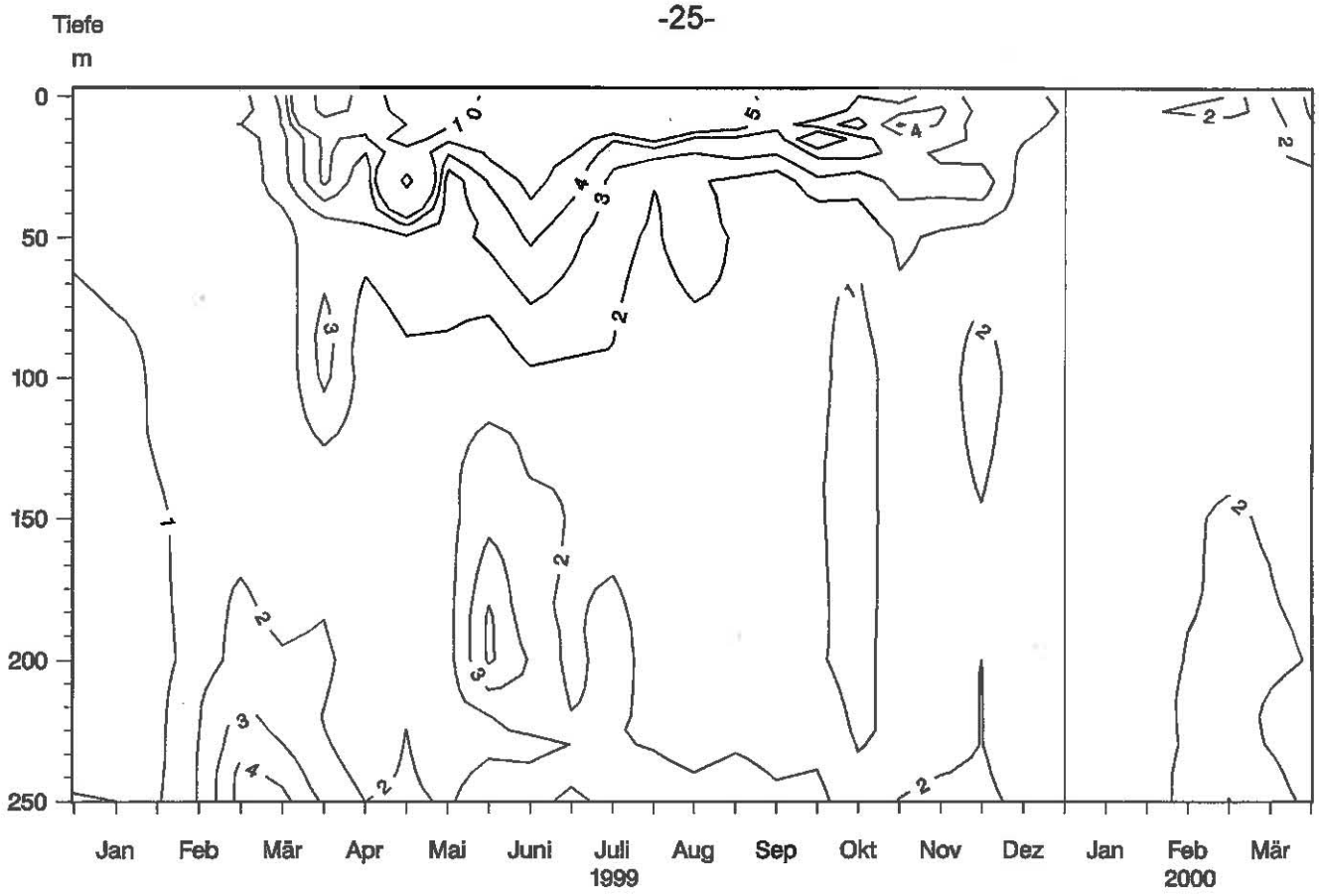


Abb. 14: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
partikulärer Phosphor (mg/m^3)

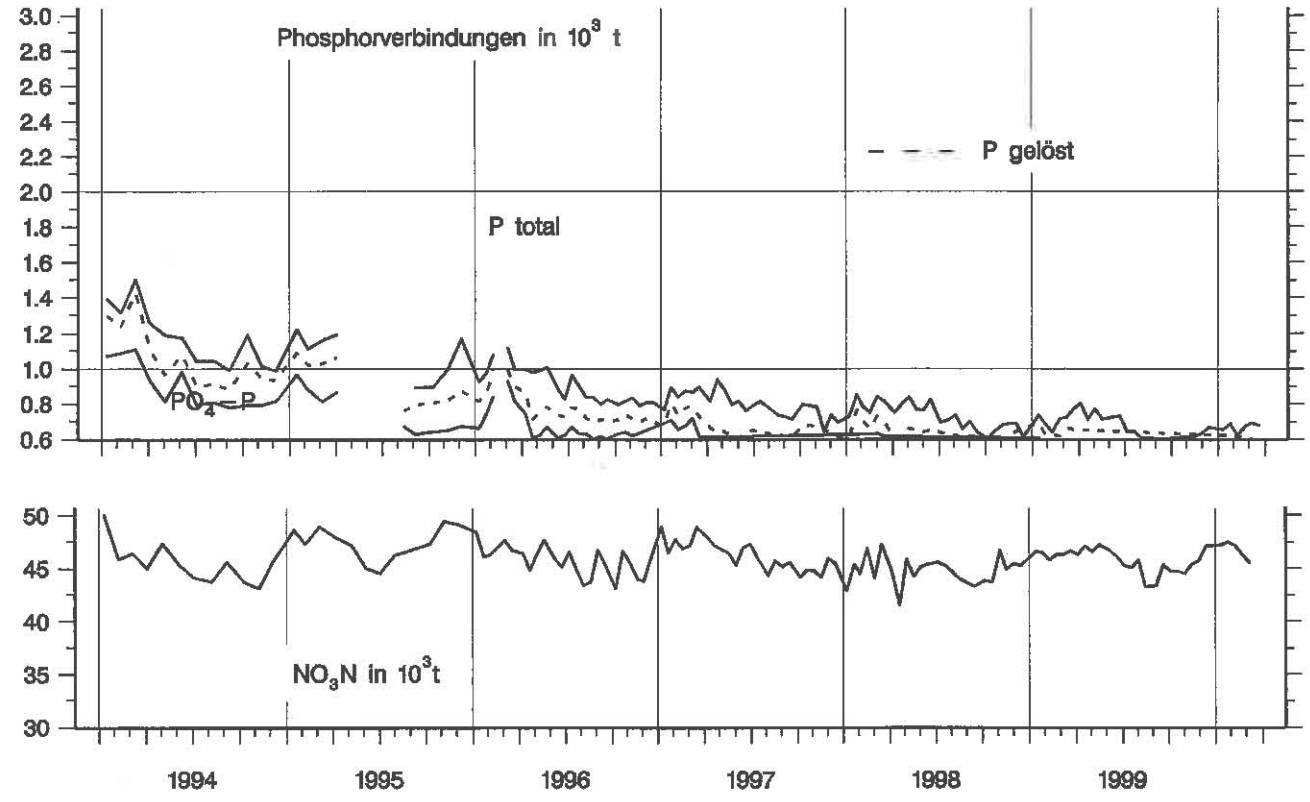


Abb. 15: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
Nährstoffinhalt (P, NO_3 – N) 0 – 250 m Tiefe *

* wegen analytischer Probleme teilweise keine Meßdaten vorhanden

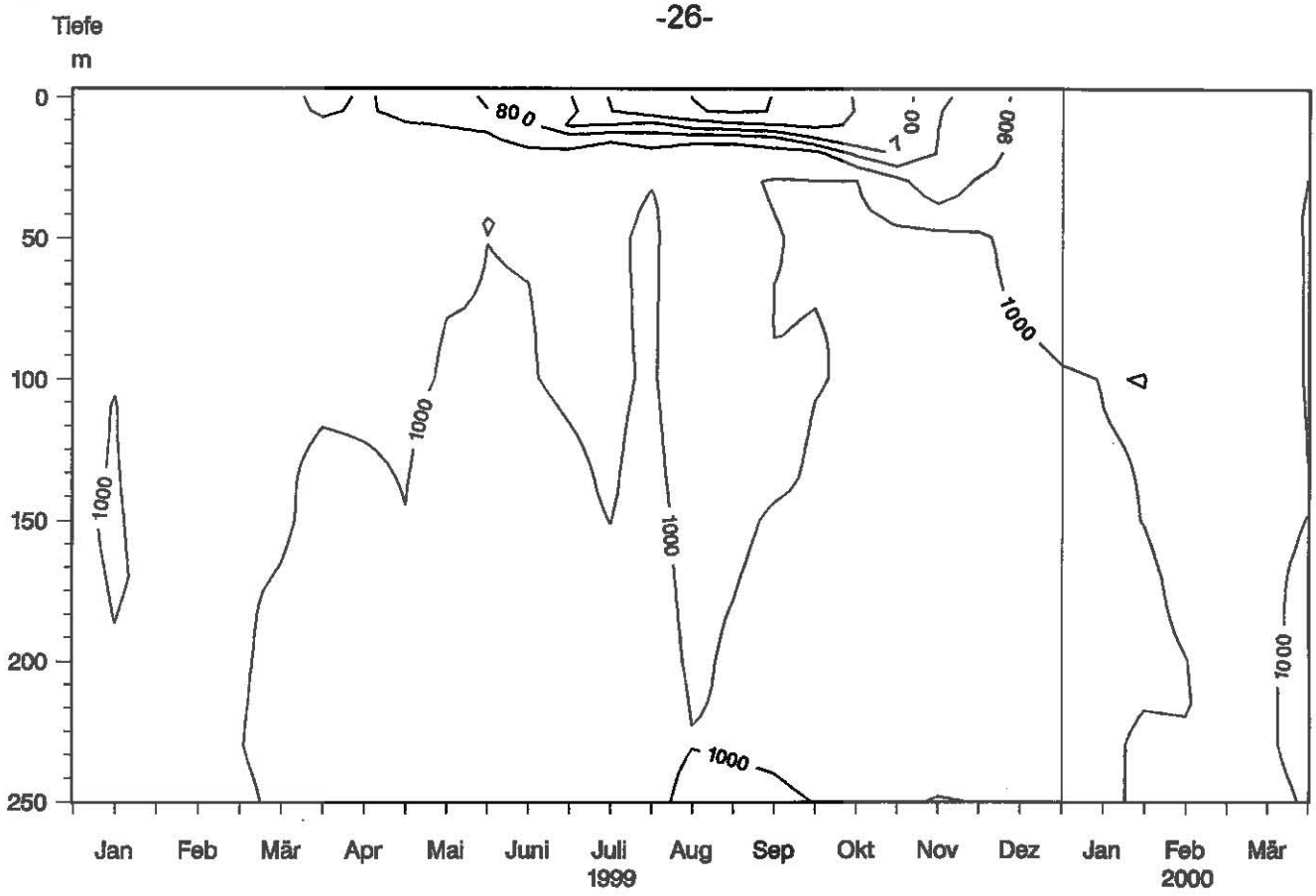


Abb. 16: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
Nitrat – Stickstoff (mg/m^3)

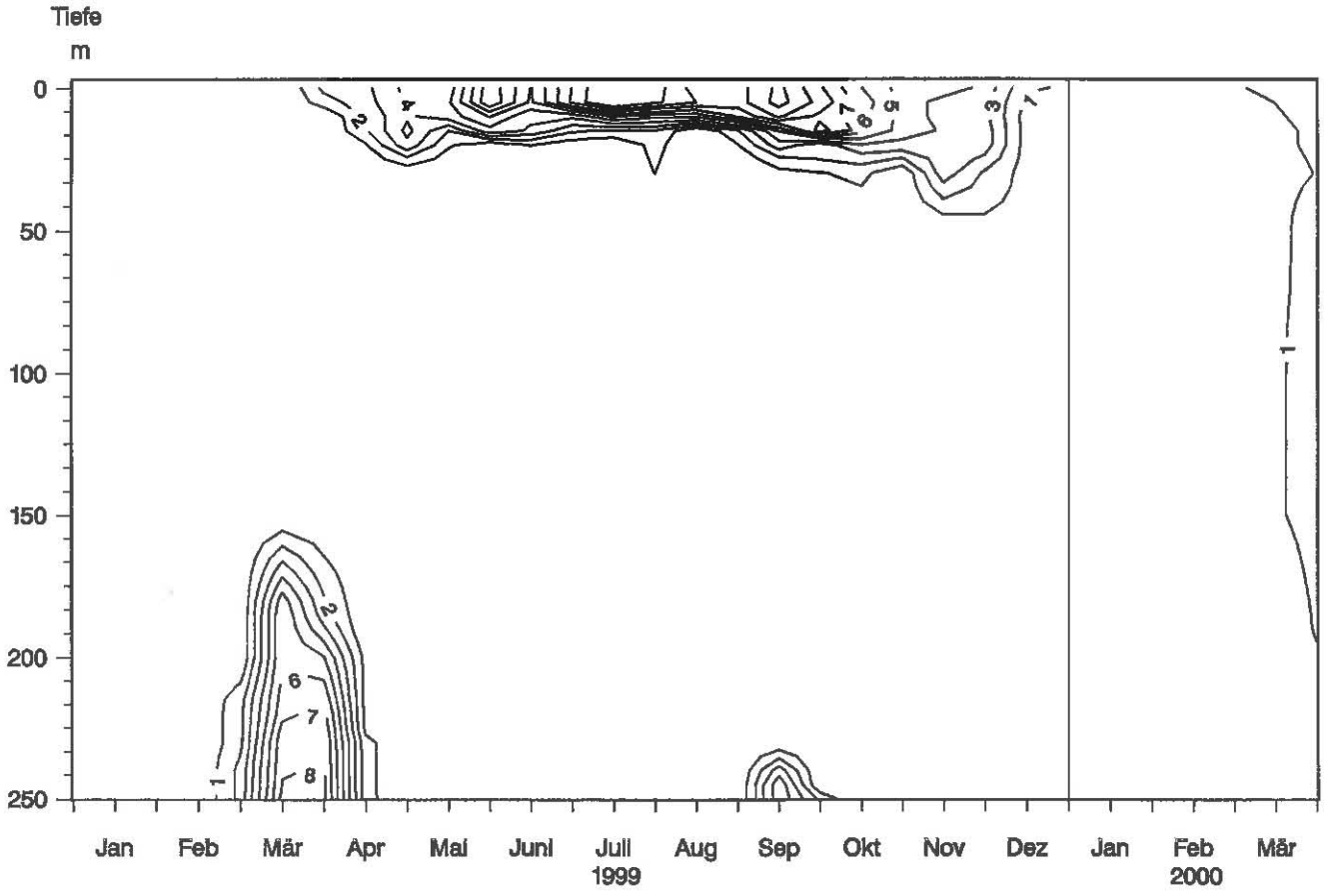


Abb. 17: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
Nitrit – Stickstoff (mg/m^3)

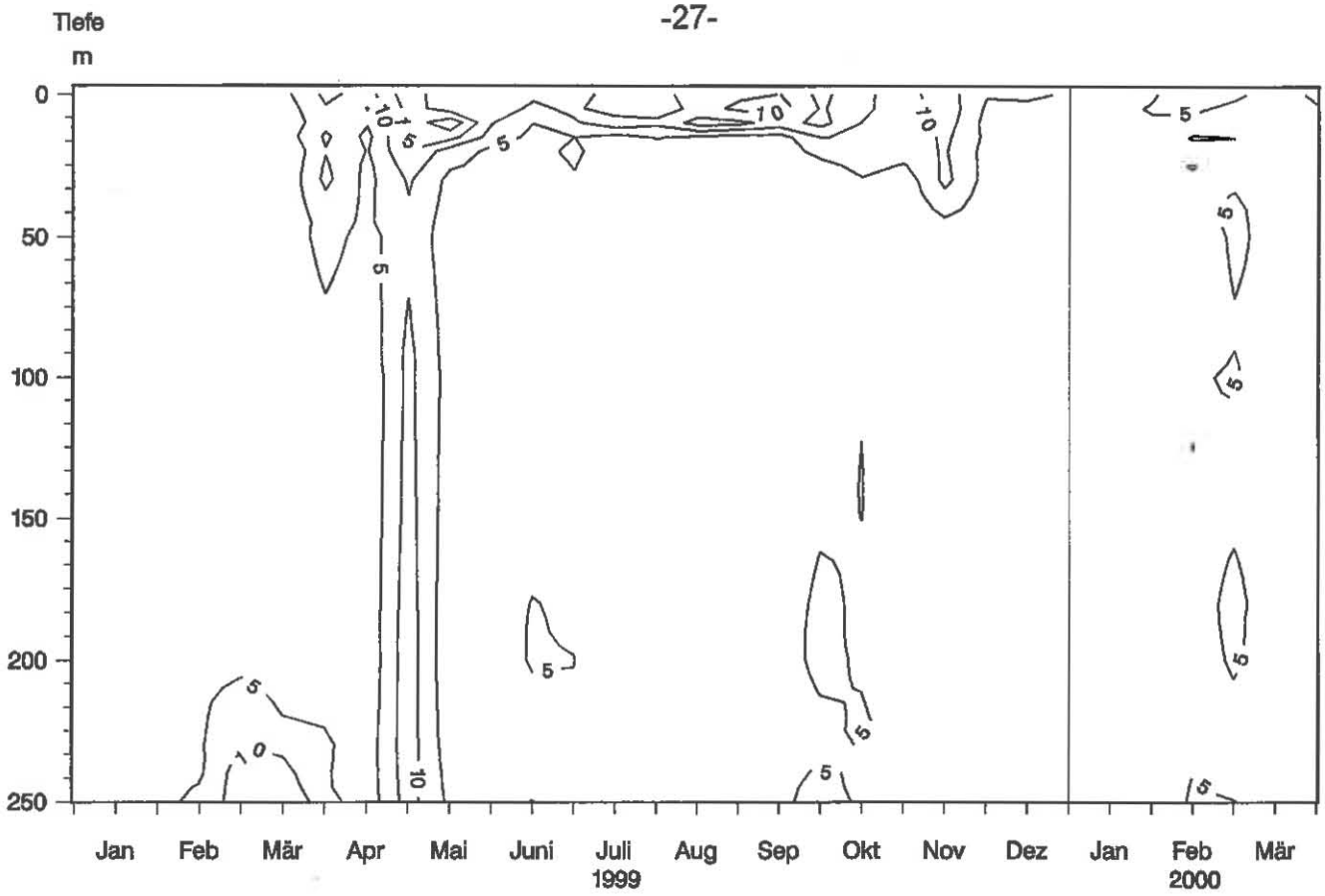


Abb. 18: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
Ammonium – Stickstoff (mg/m^3)

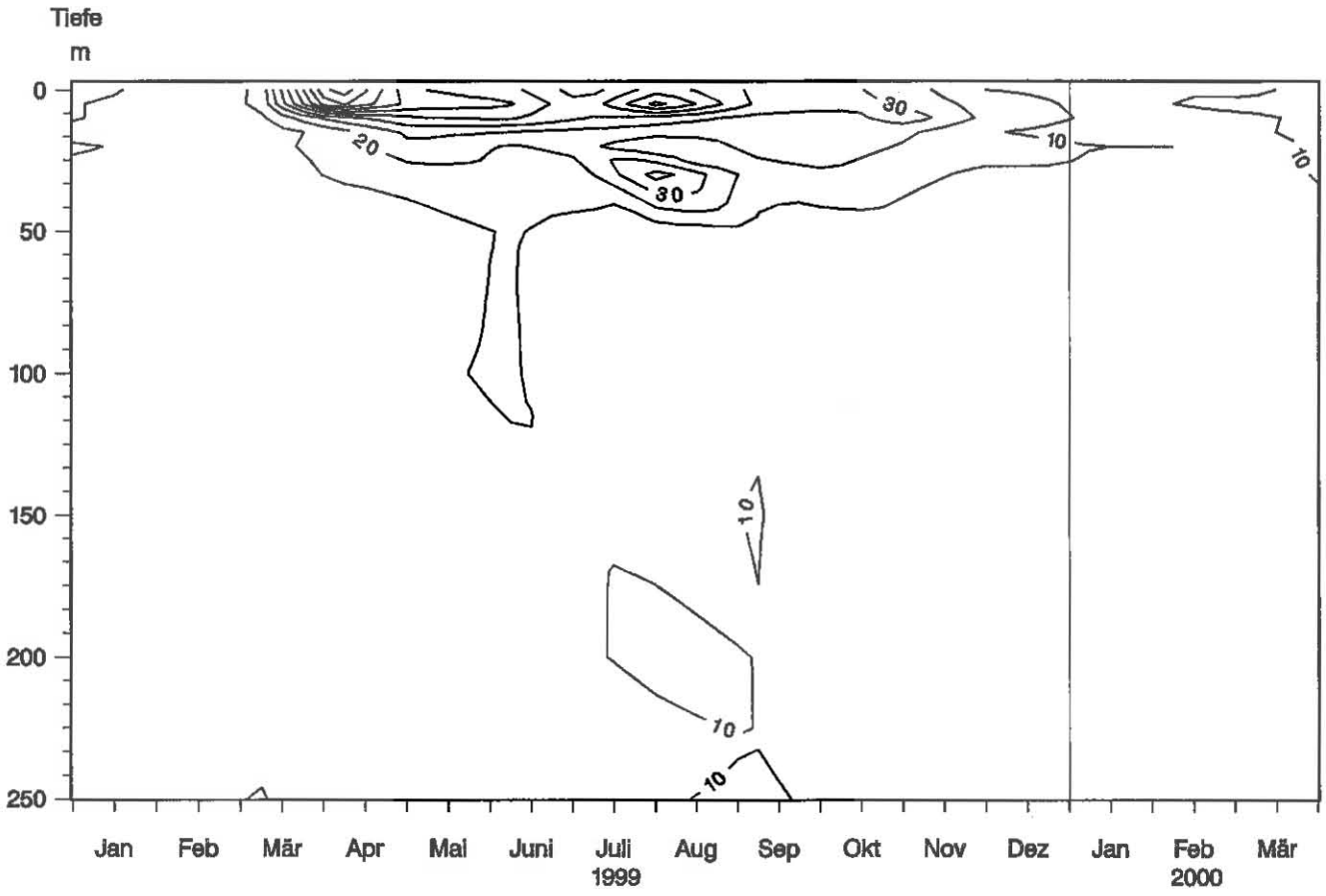


Abb. 19: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
Partikulärer Stickstoff (mg/m^3)

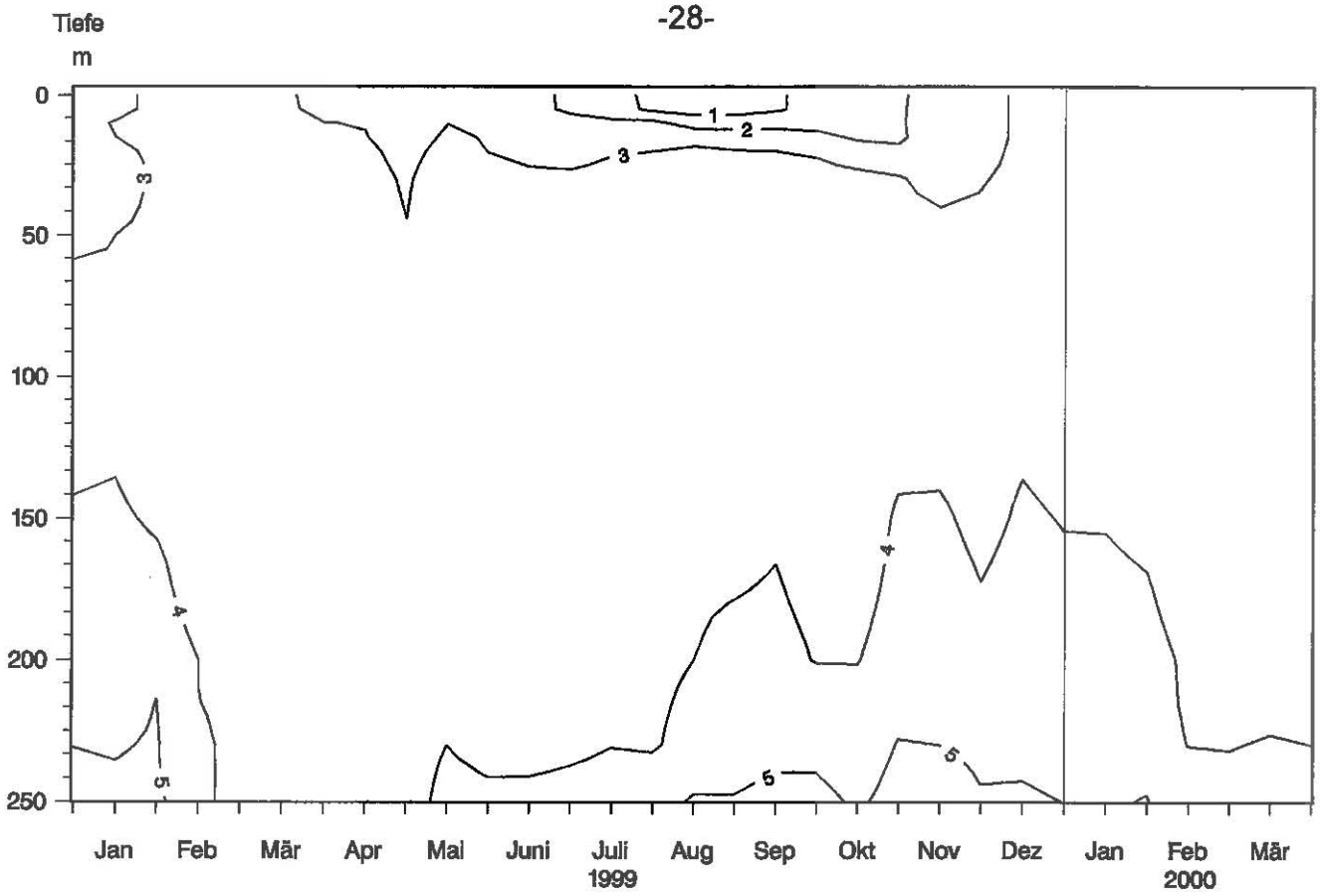


Abb. 20: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
Silikat (mg/l)

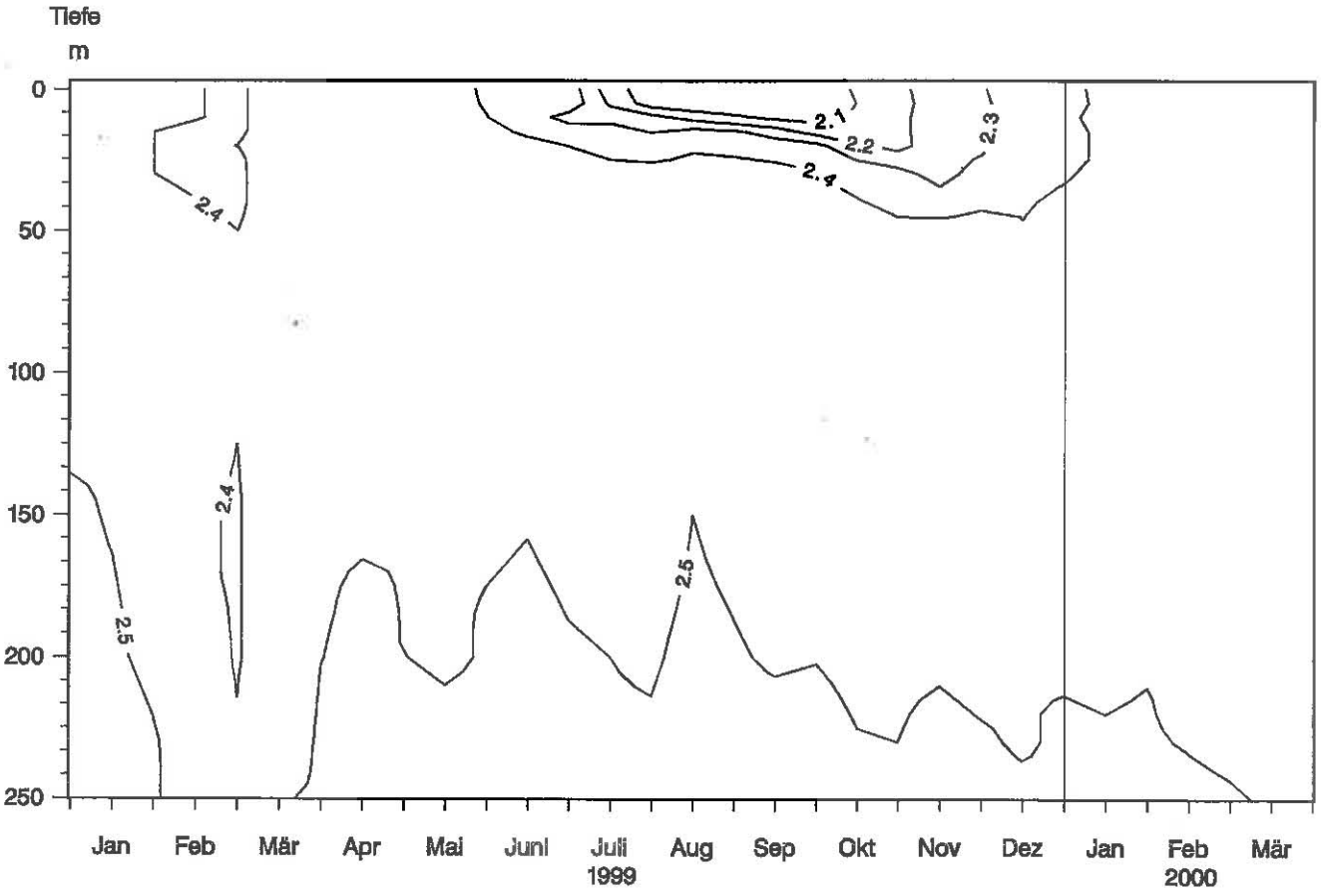


Abb. 21: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
Anorganischer Kohlenstoff (mmol/l)

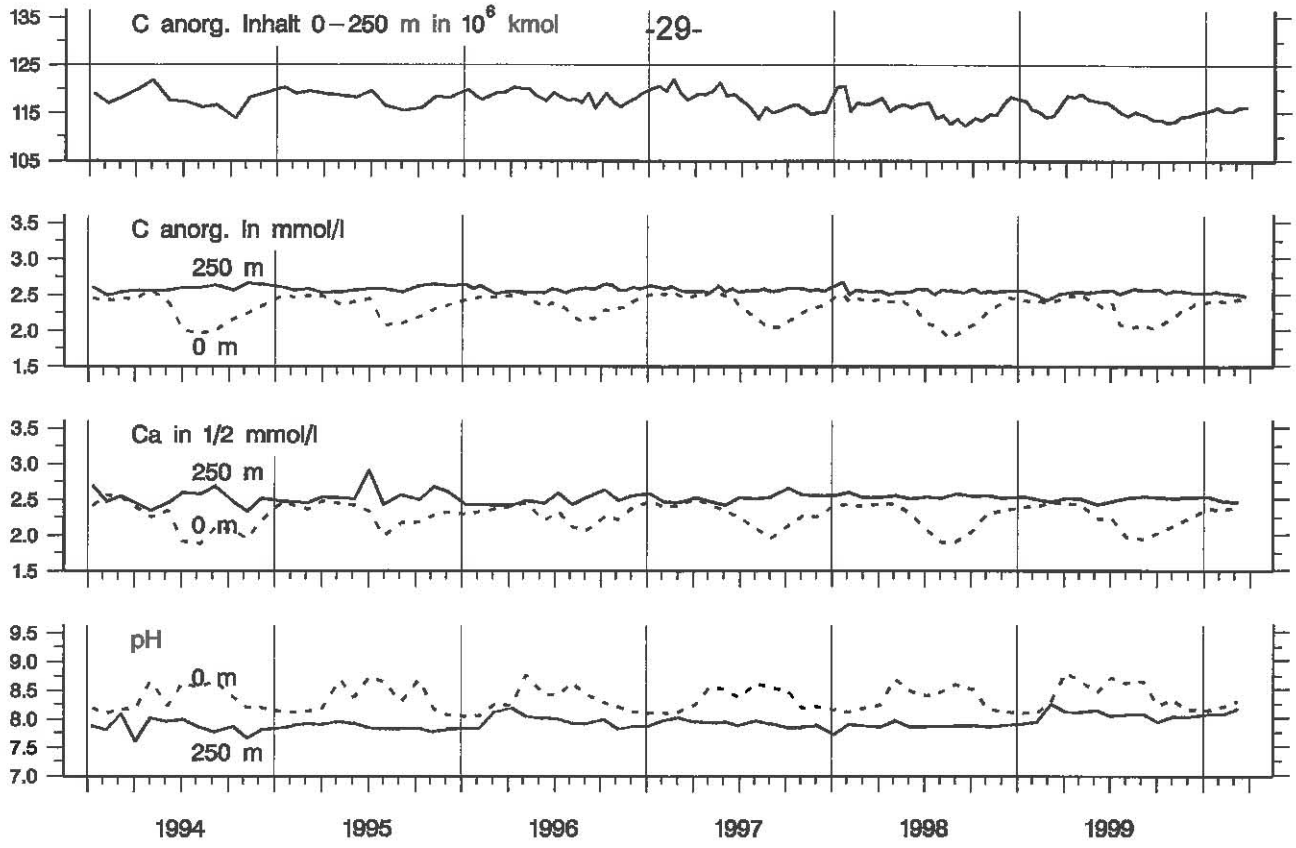


Abb. 22: Bodensee – Obersee:
Anorganischer Kohlenstoff, Inhalt 0–252 m Tiefe
Konzentration von anorg. Kohlenstoff, Calcium; pH–Wert

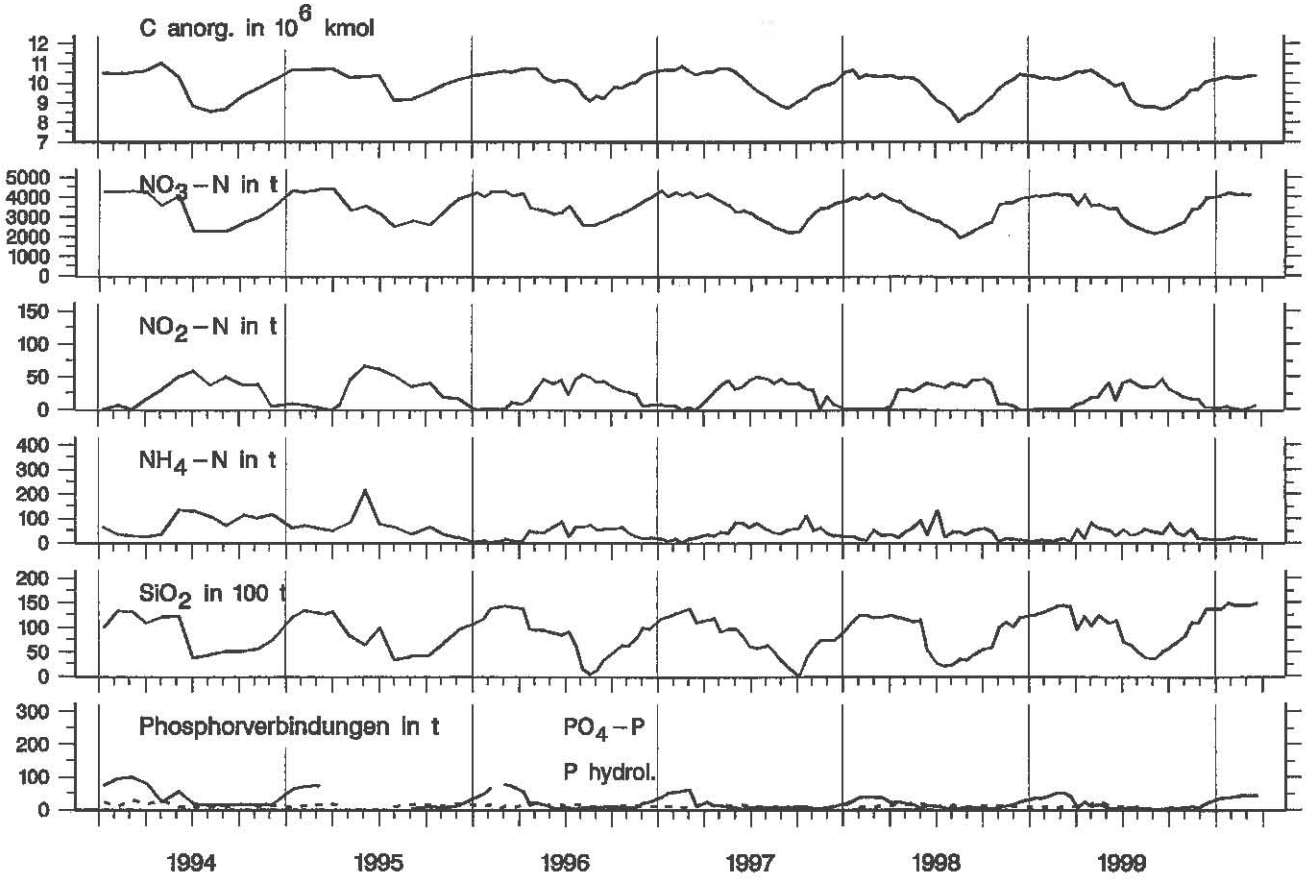


Abb. 23: Bodensee – Obersee:
Nährstoffinhalt (Phosphor, Stickstoff, Silikat,
anorg. Kohlenstoff) im Epilimnion 0–10 m Tiefe

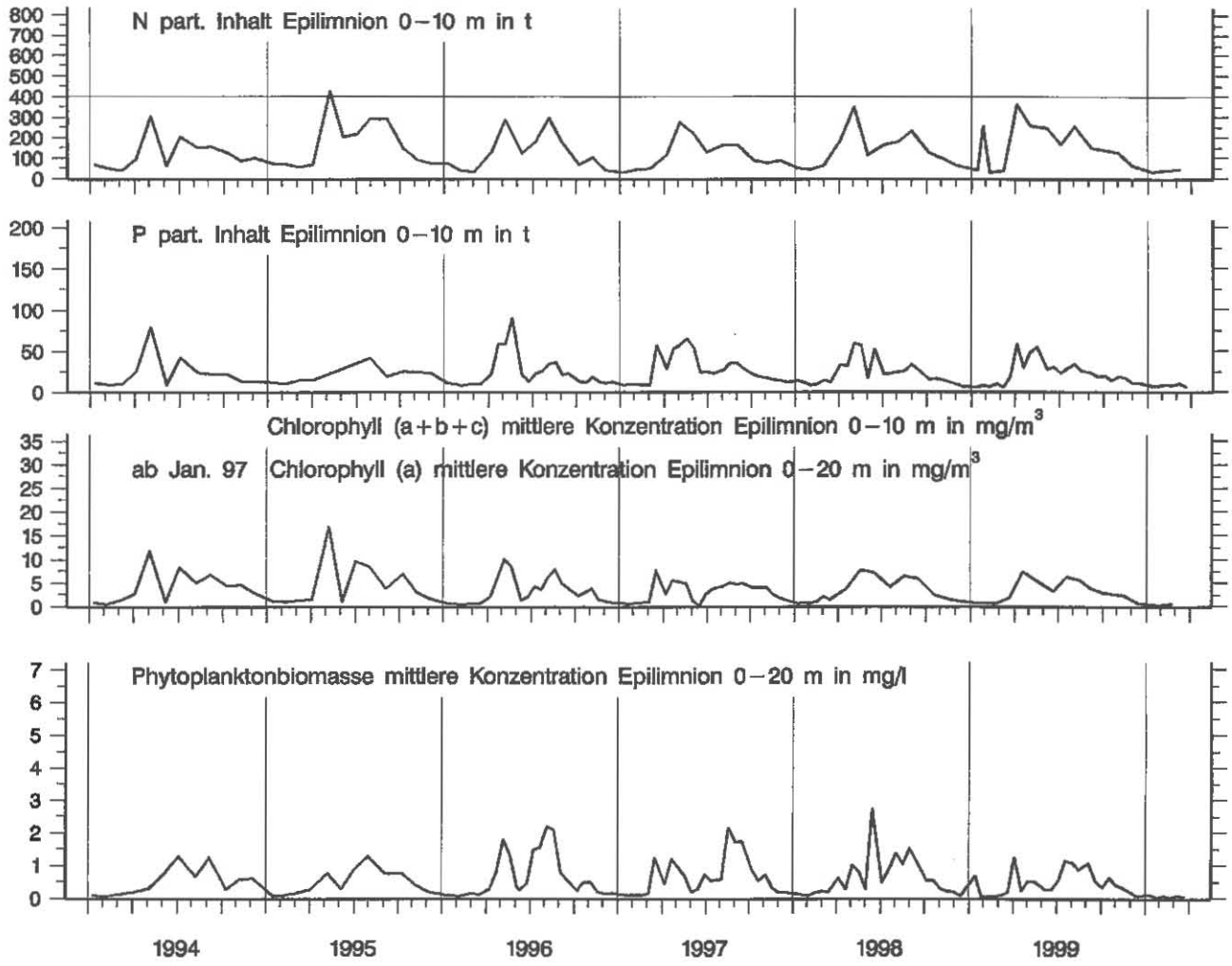


Abb. 24: Bodensee – Obersee:
Chemische Biomasseindikatoren und Phytoplanktonbiomasse

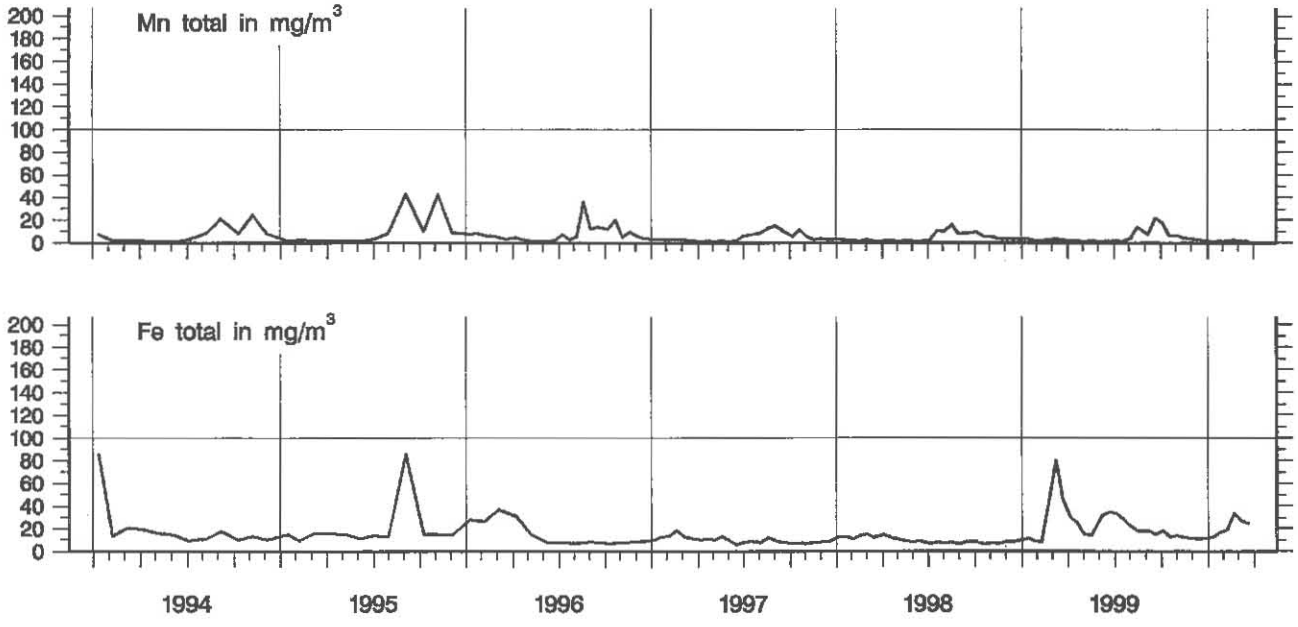


Abb. 25: Bodensee – Obersee, Fischbach–Uttwil:
Konzentration von Eisen total und Mangan total in 250 m Tiefe

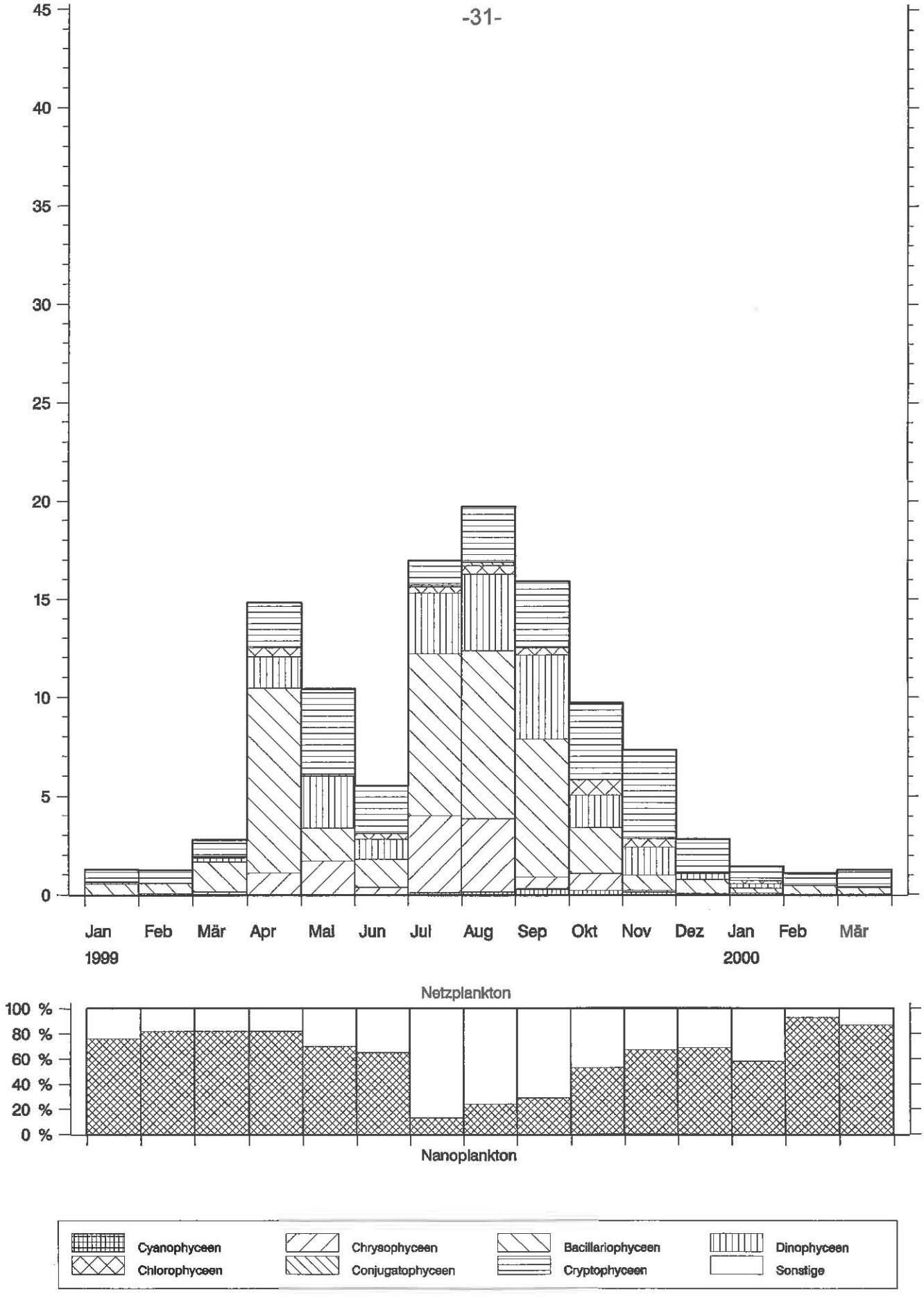


Abb. 26: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
Entwicklung des Phytoplanktons
Biomasse in g/m^2 (0 – 20m Tiefe), Monatsmittelwerte

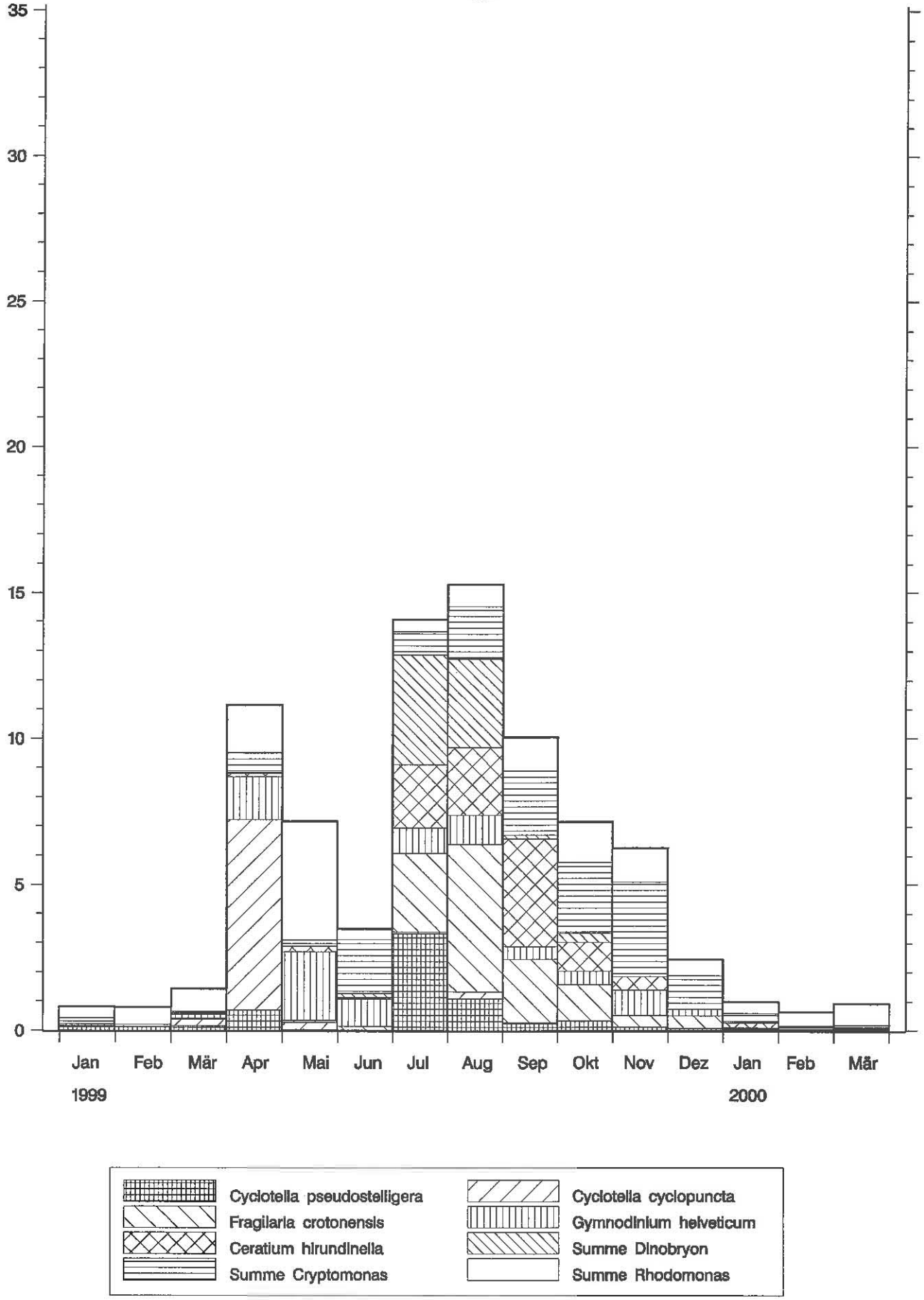


Abb. 27: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
Entwicklung des Phytoplanktons
Biomasse der Hauptarten in g/m^2 (0 – 20m Tiefe), Monatsmittelwerte

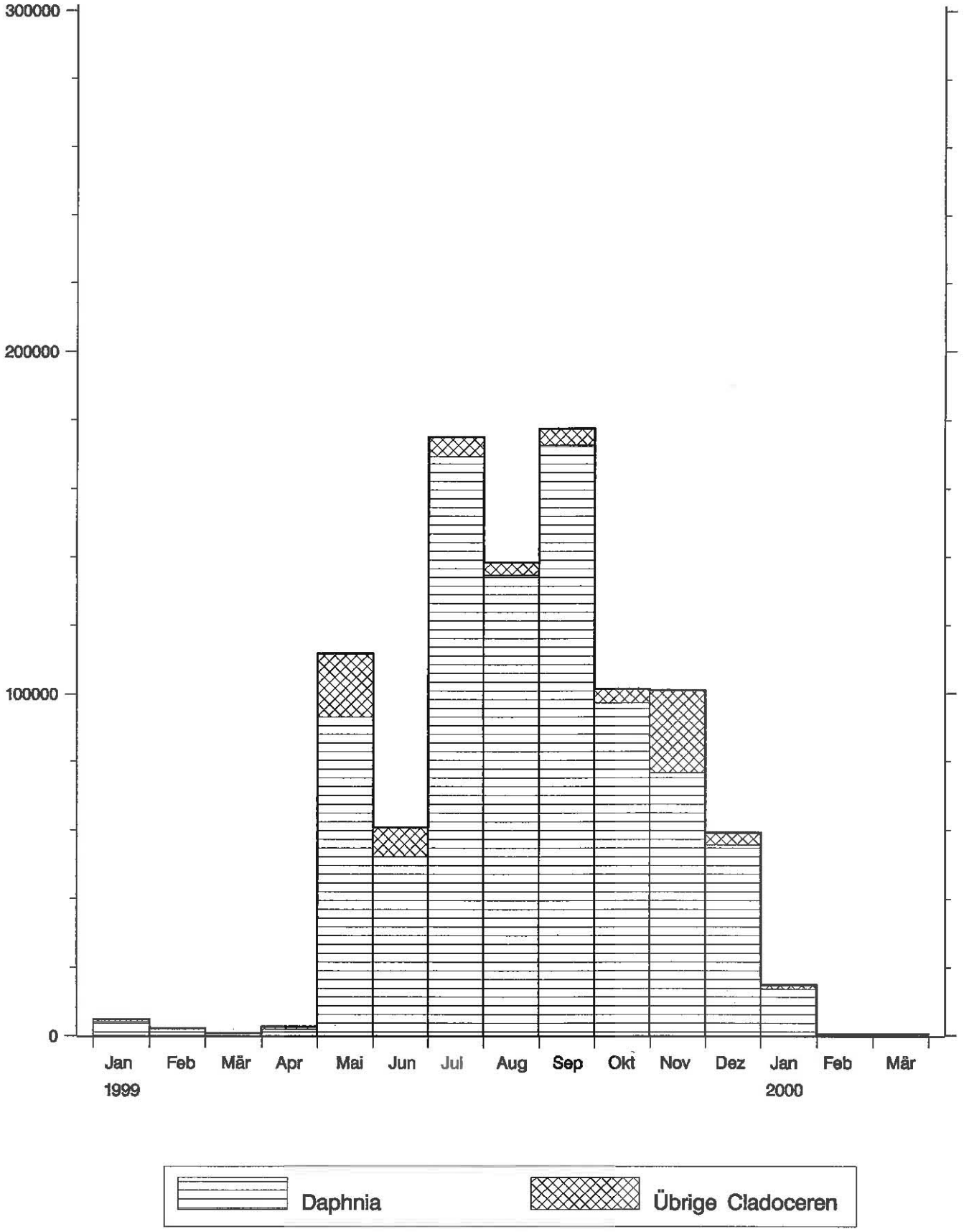
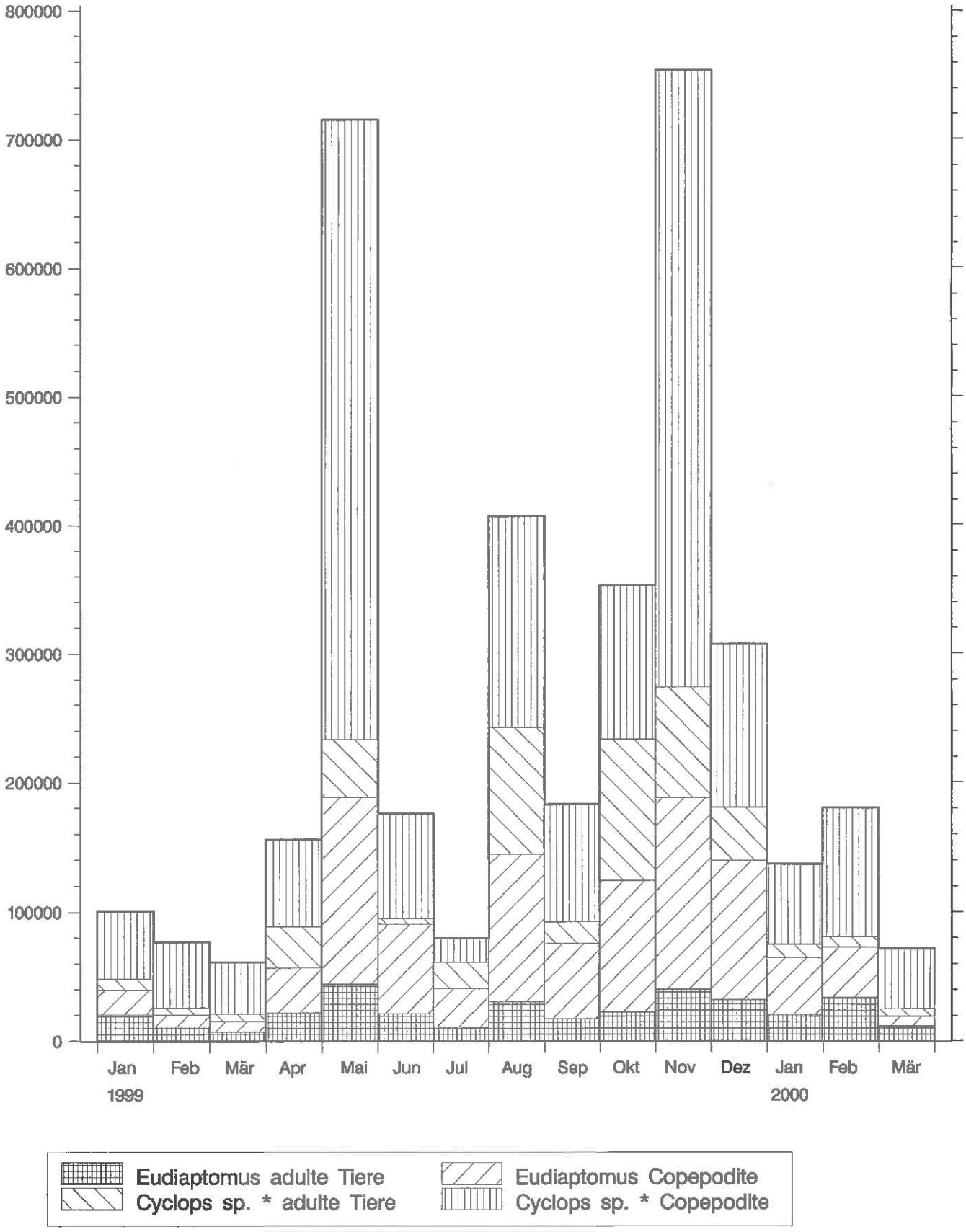
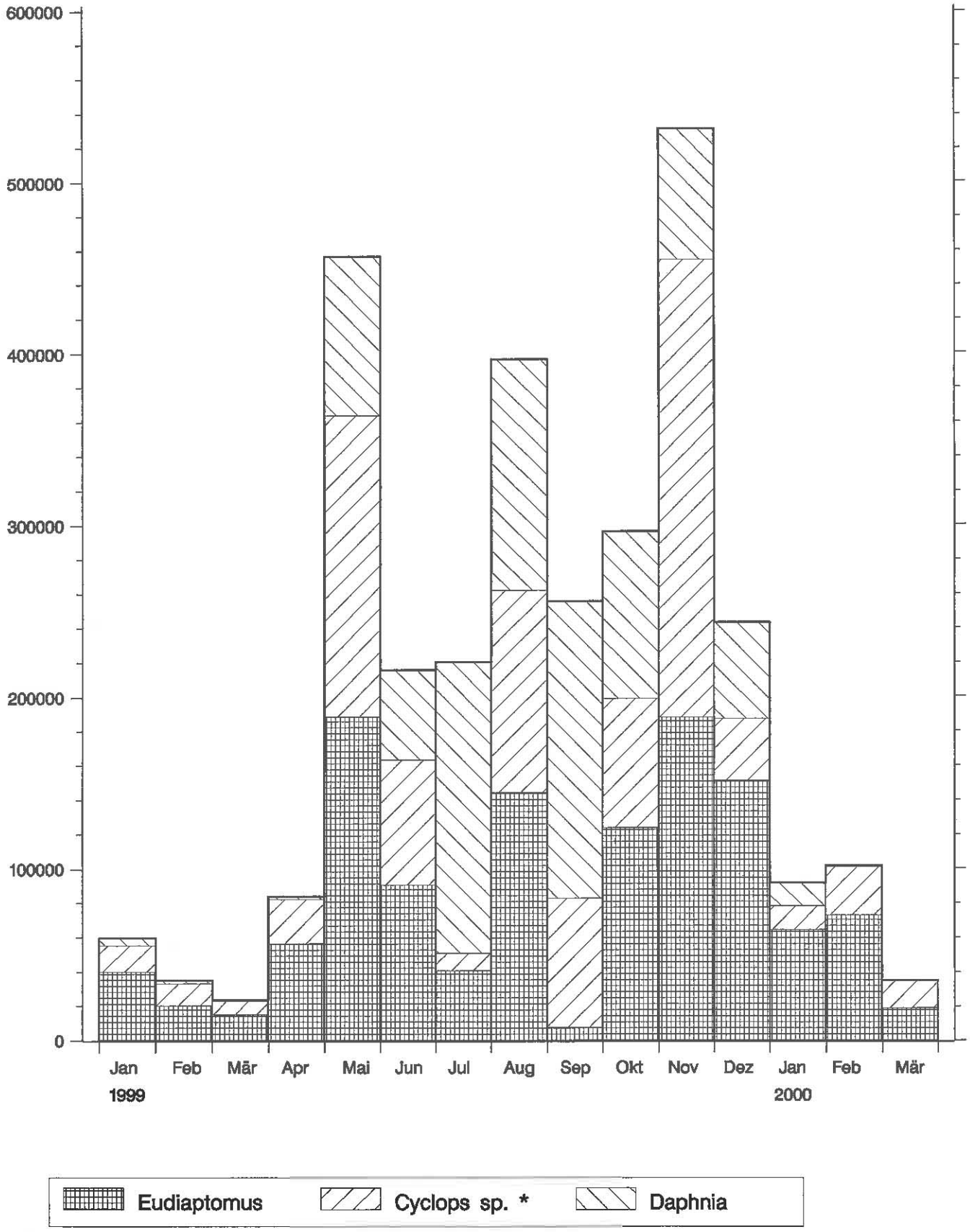


Abb. 28: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
Entwicklung der Cladoceren
Tiere/m^2, Monatsmittelwerte



* 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/m^2, Monatsmittelwerte



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

Abb. 30: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
Entwicklung der herbivor lebenden Crustaceen,
Tiere/m^2, Monatsmittelwerte

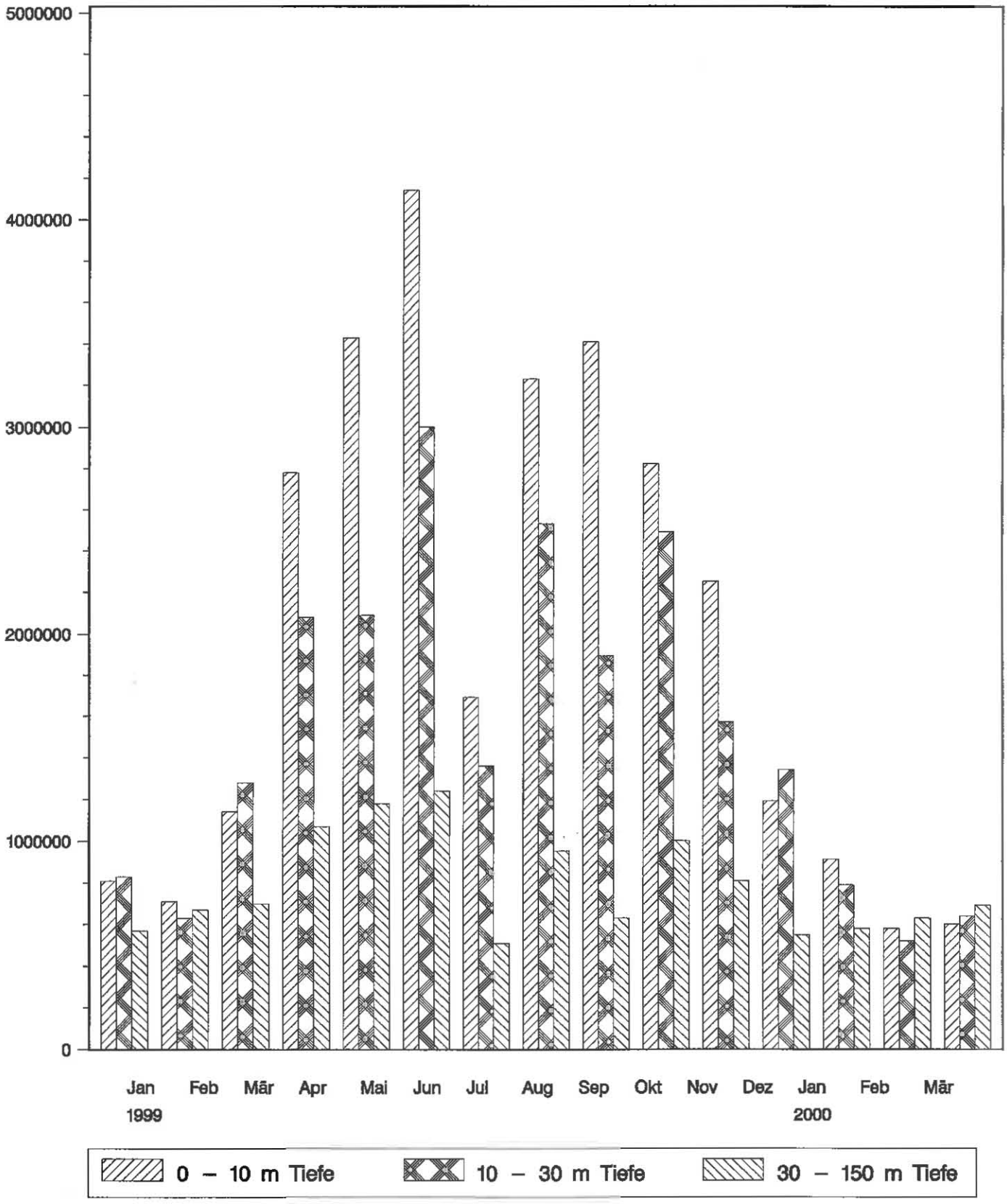


Abb. 31: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
Entwicklung des Bakterienplanktons,
Gesamtkeimzahlen (Millionen Zellen/ml), Monatsmittelwerte

Untersee

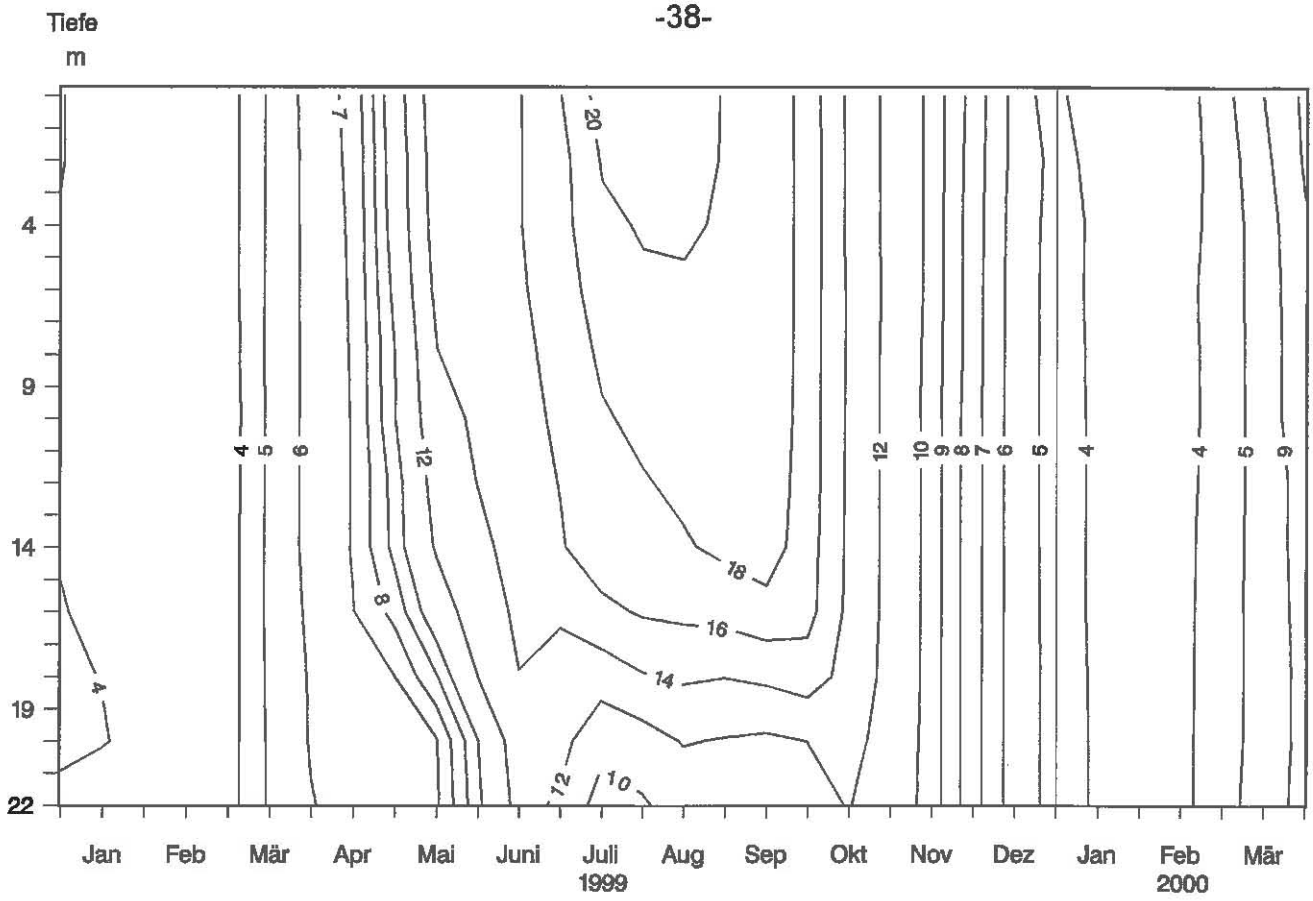


Abb. 32: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Temperatur °C

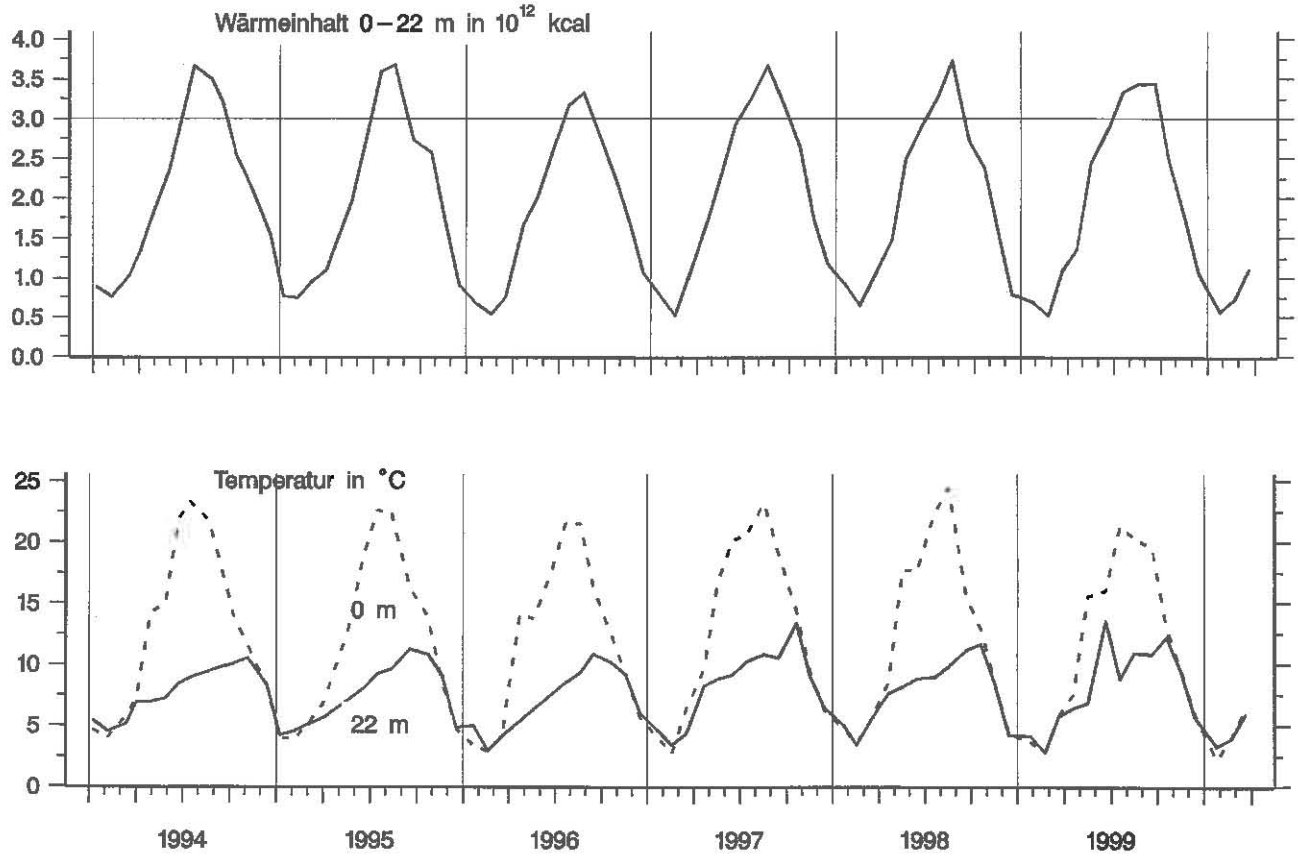


Abb. 33: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Thermik

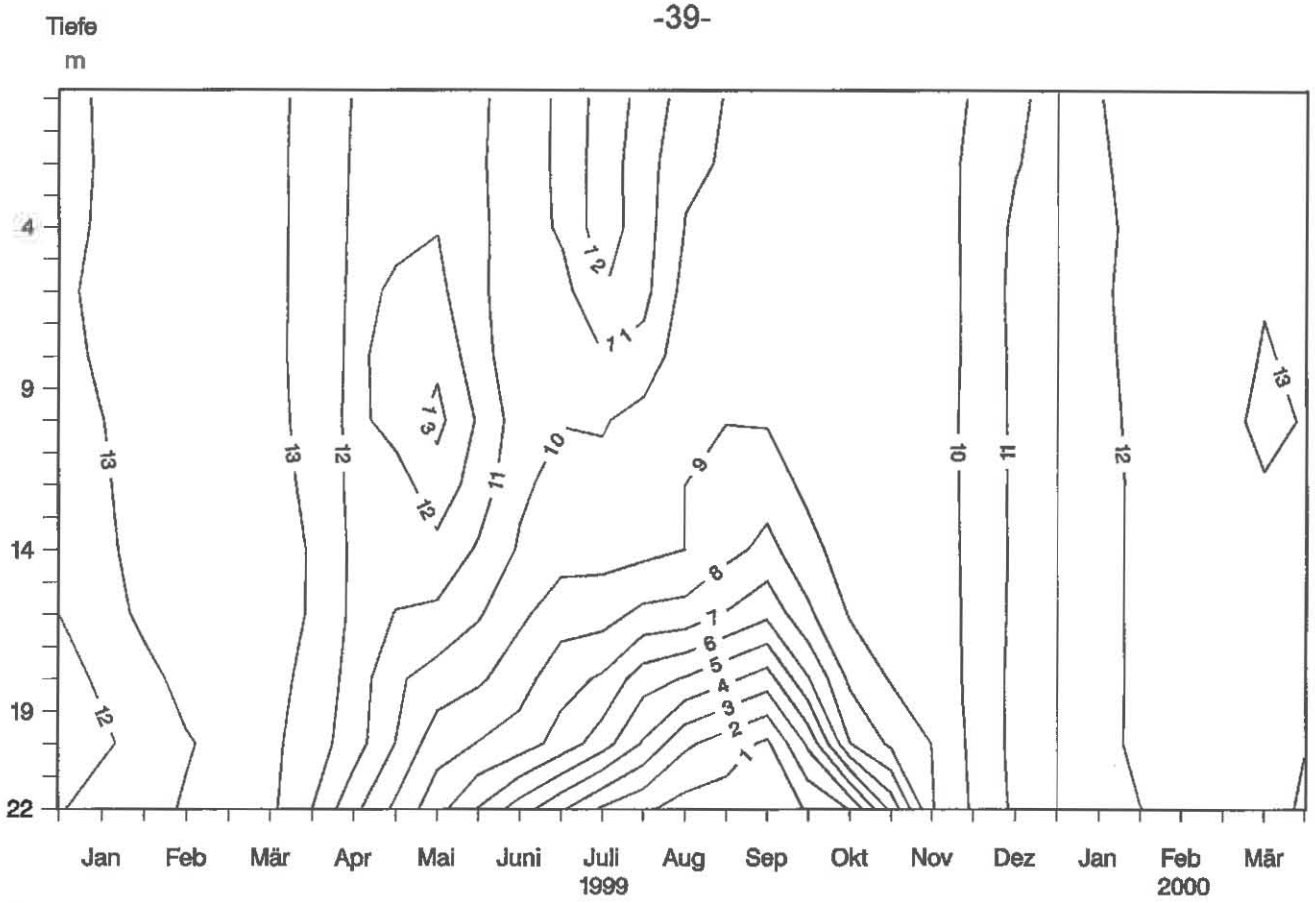


Abb. 34: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Sauerstoff (mg/l)

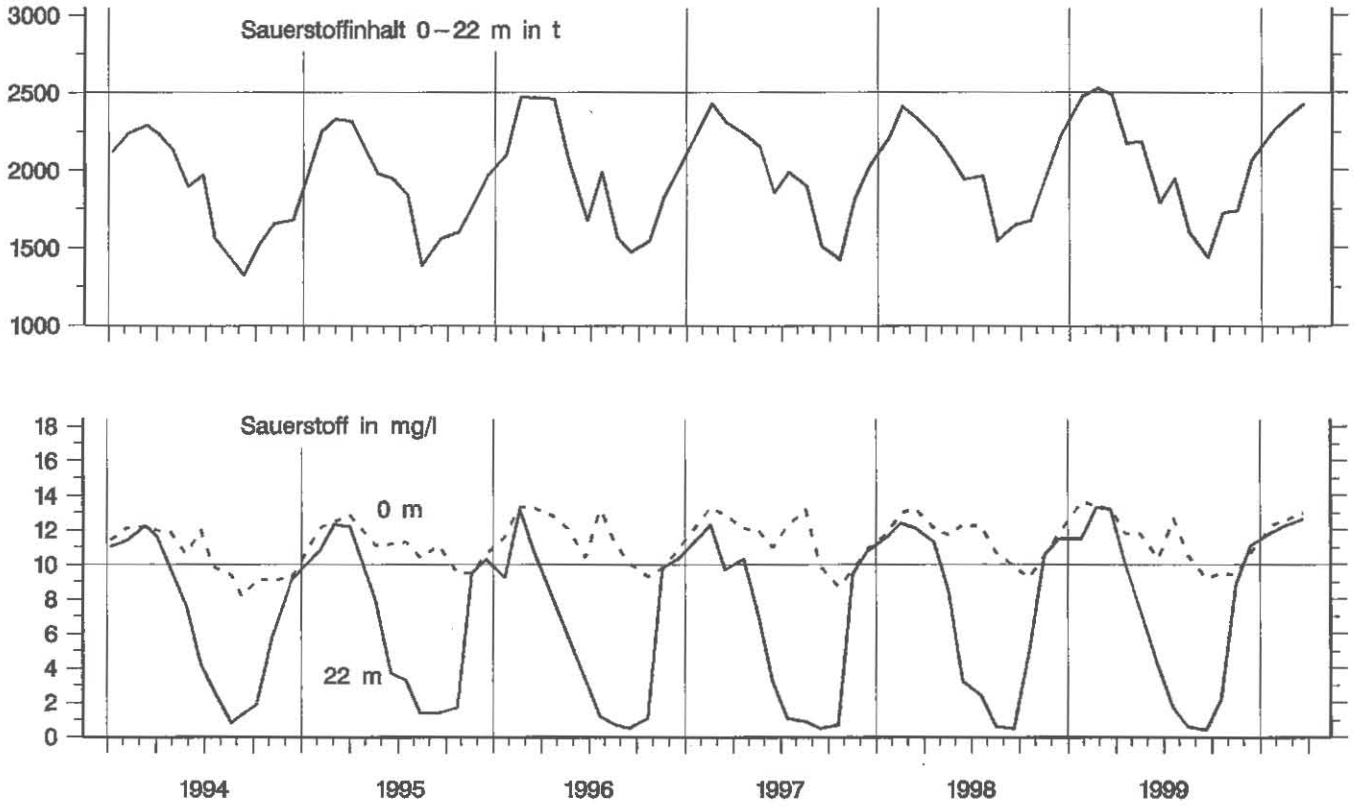


Abb. 35: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Sauerstoffinhalt 0–22 m und Sauerstoffkonzentration in 0 und 22 m Tiefe

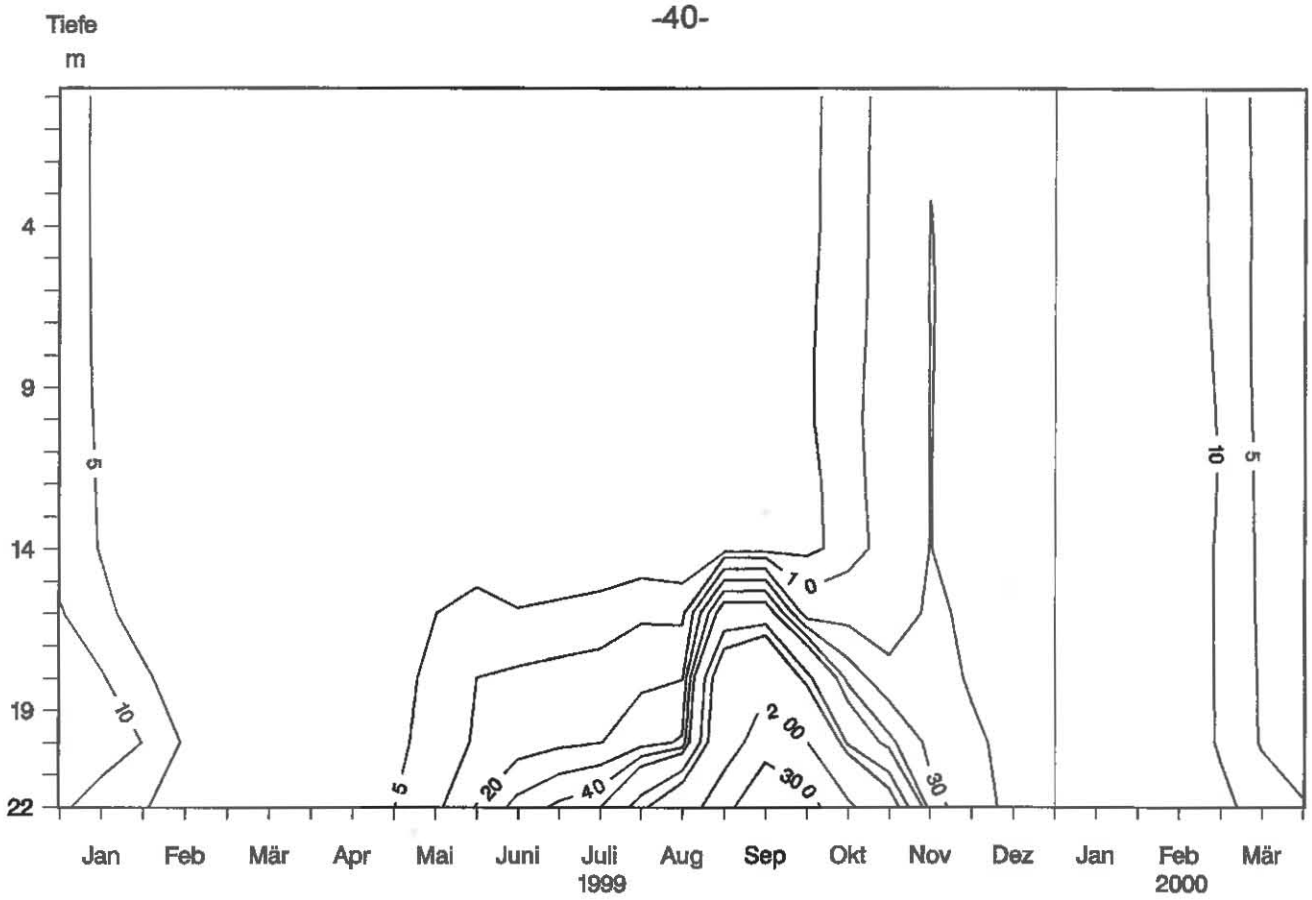


Abb. 36: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Orthophosphat – Phosphor (mg/m^3)

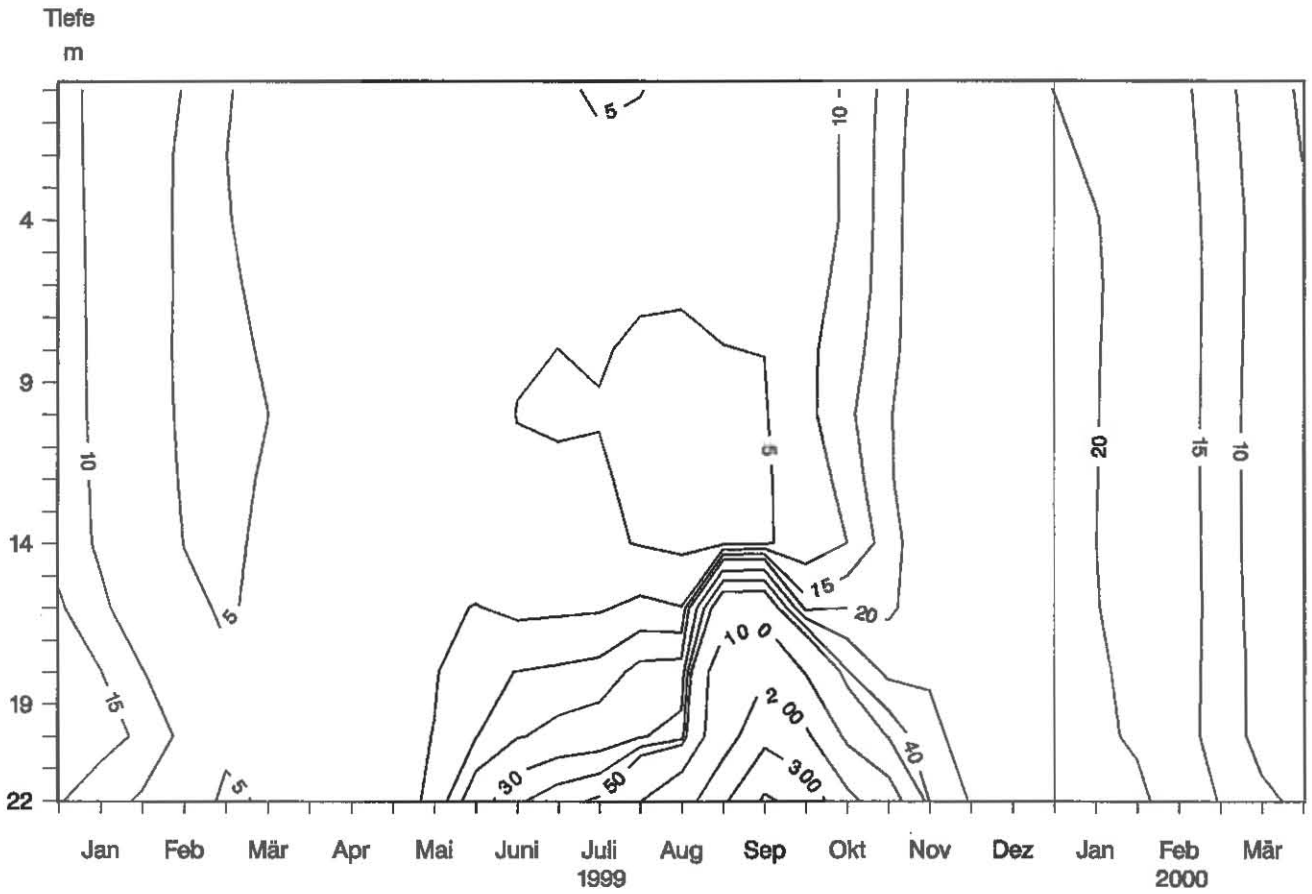


Abb. 37: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Gesamt gelöster Phosphor (mg/m^3)

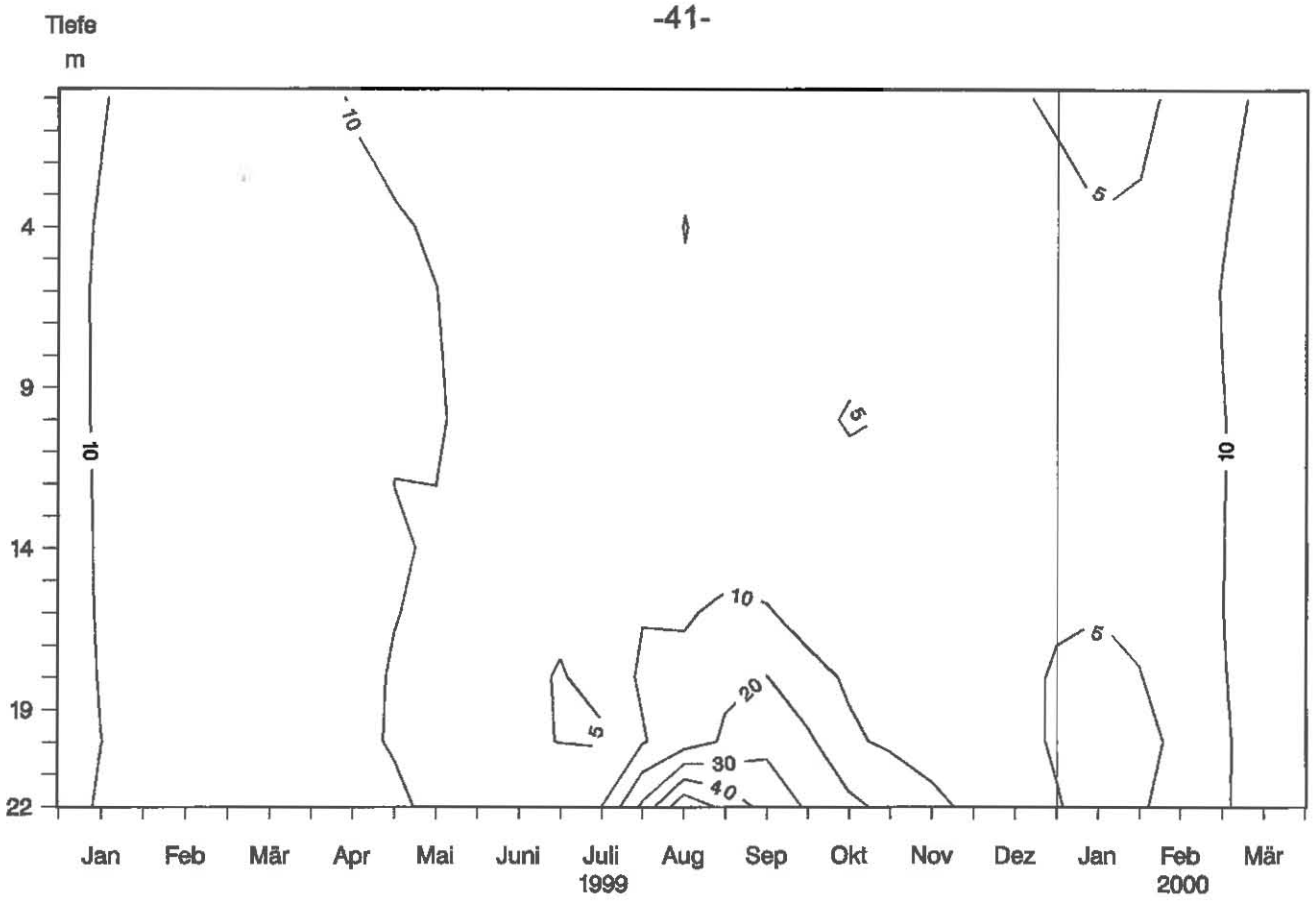


Abb. 38: Bodensee – Untersee, Zellersee:
partikulärer Phosphor (mg/m^3)

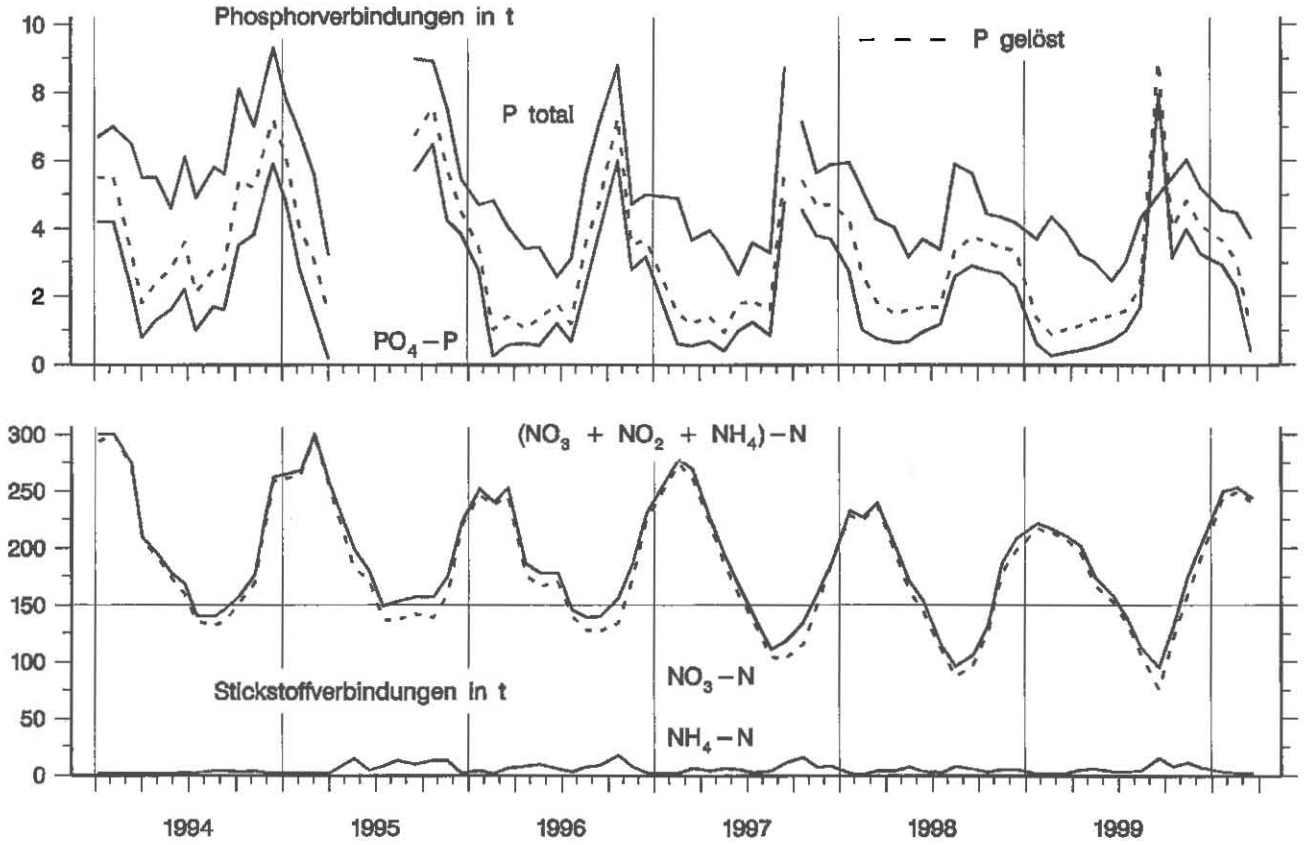


Abb. 39: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Nährstoffinhalt 0–22 m Tiefe

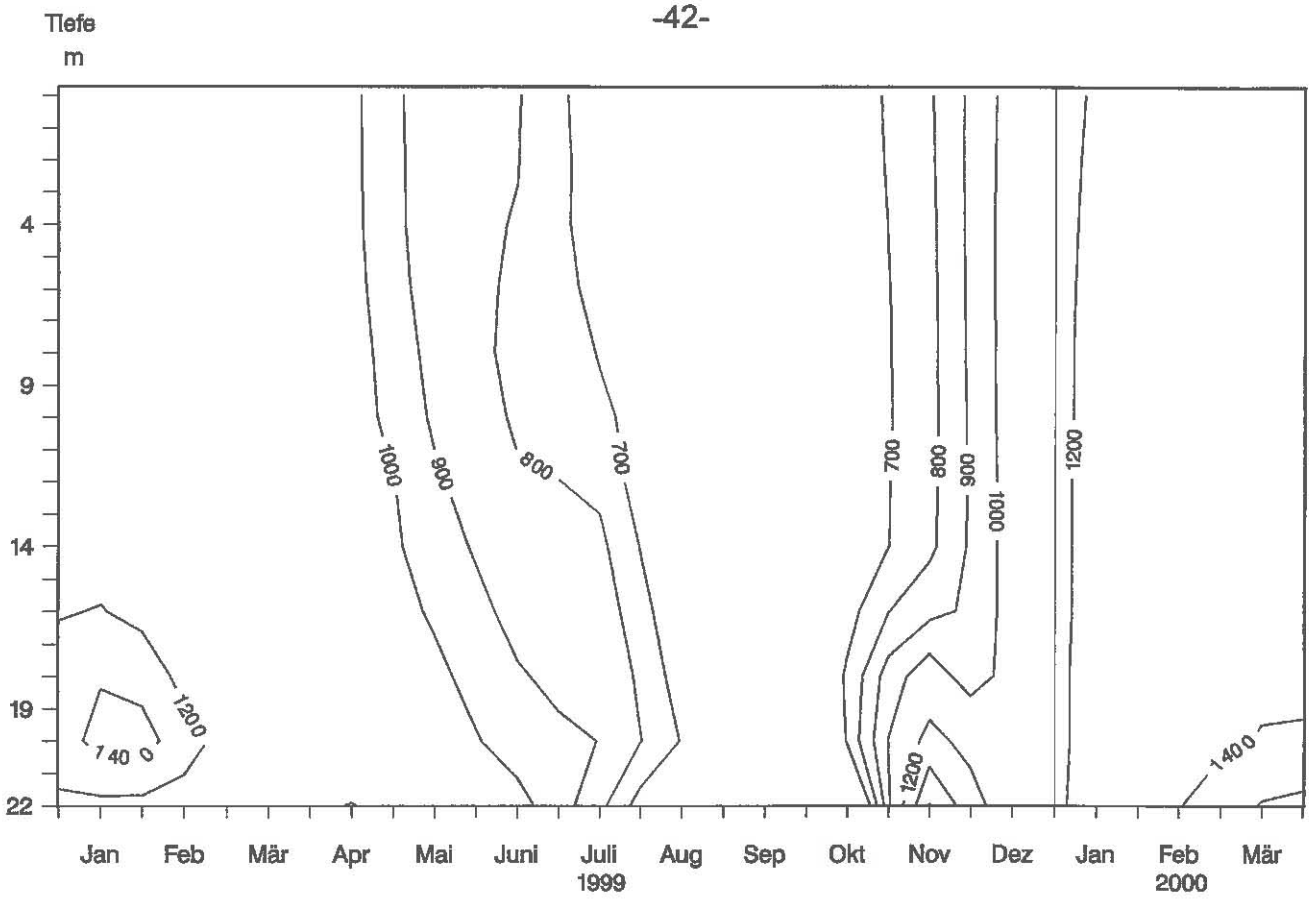


Abb. 40: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Nitrat – Stickstoff (mg/m^3)

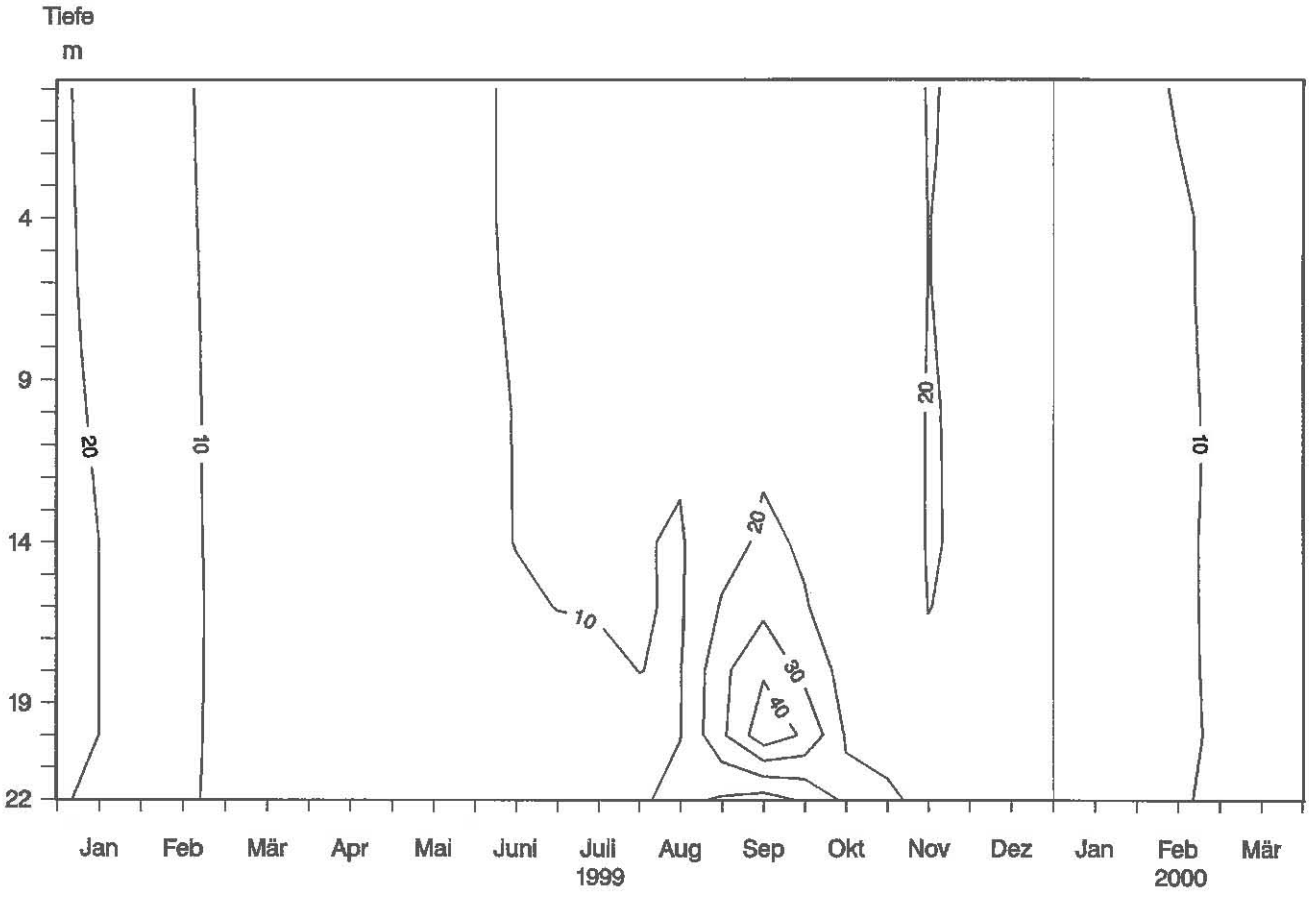


Abb. 41: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Nitrit – Stickstoff (mg/m^3)

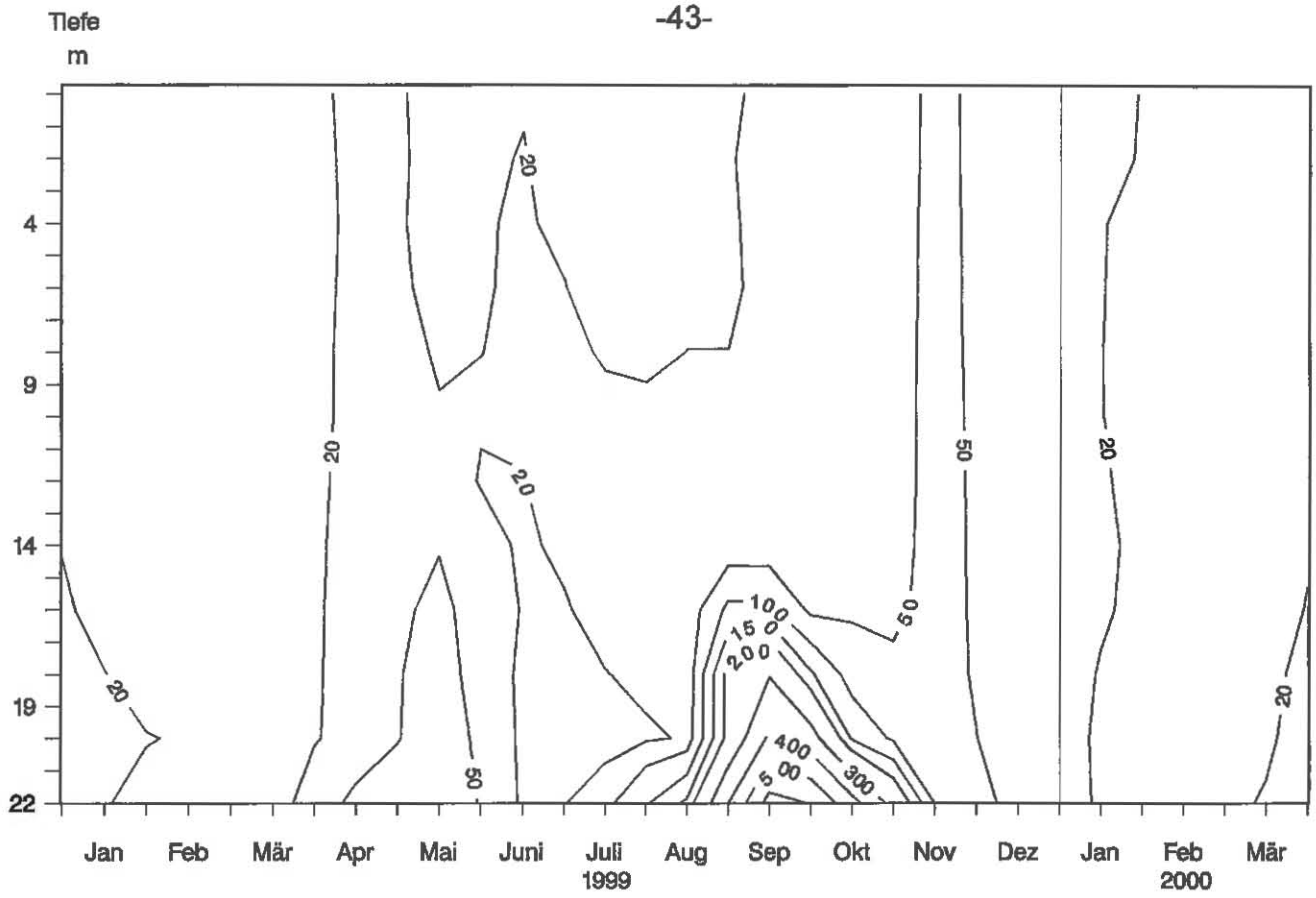


Abb. 42: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Ammonium – Stickstoff (mg/m^3)

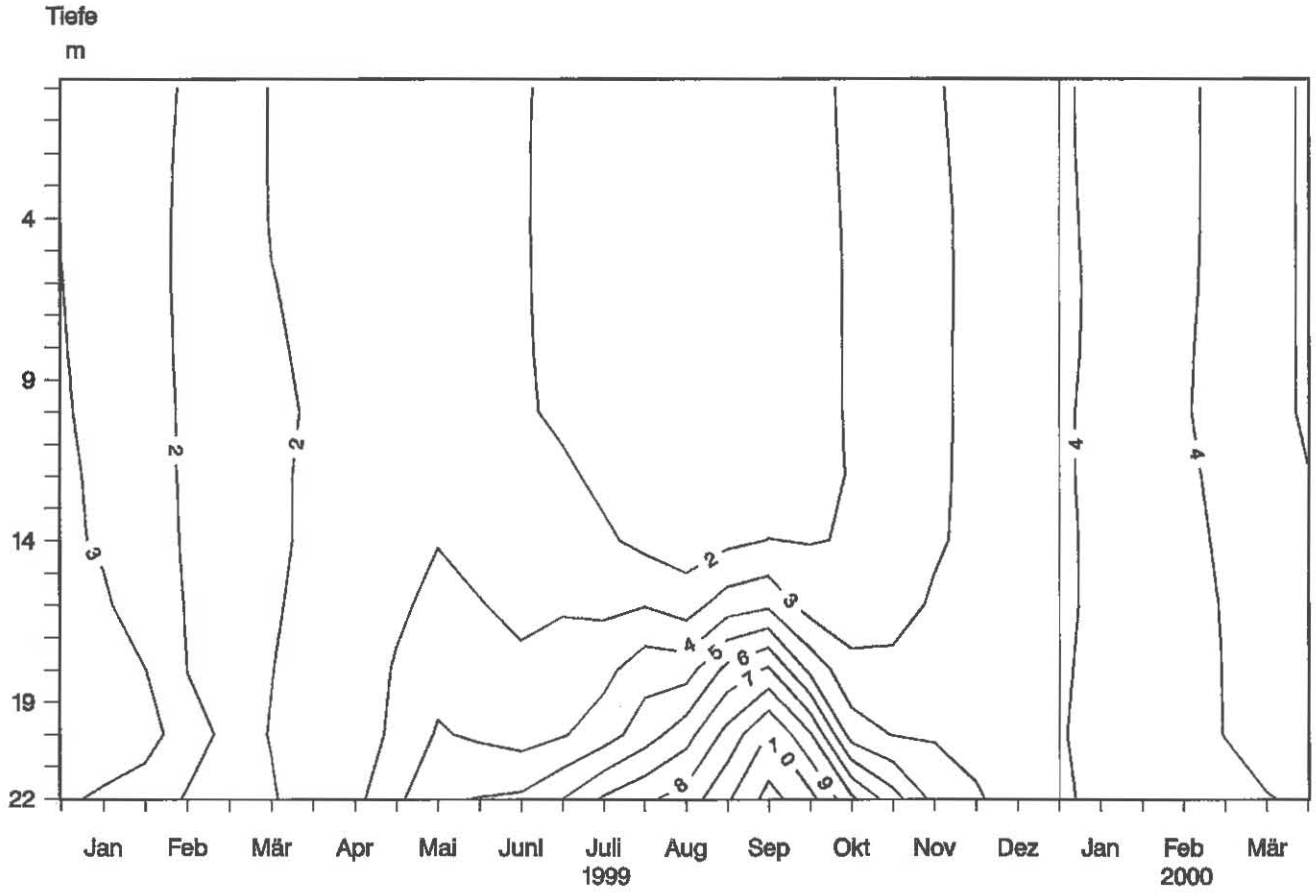


Abb. 43: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Silikat (mg/l)

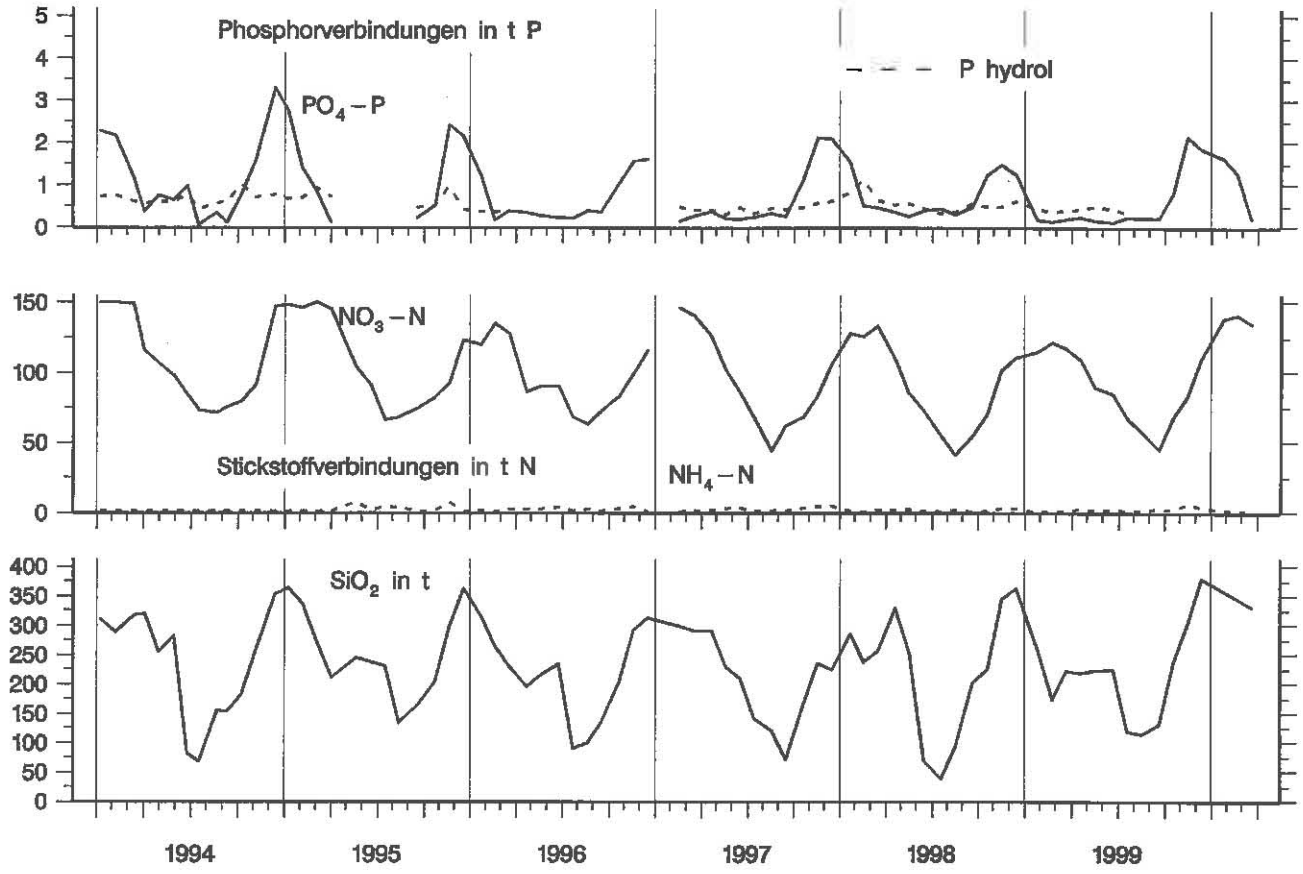


Abb. 44: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Nährstoffinhalt im Epilimnion 0–10 m Tiefe

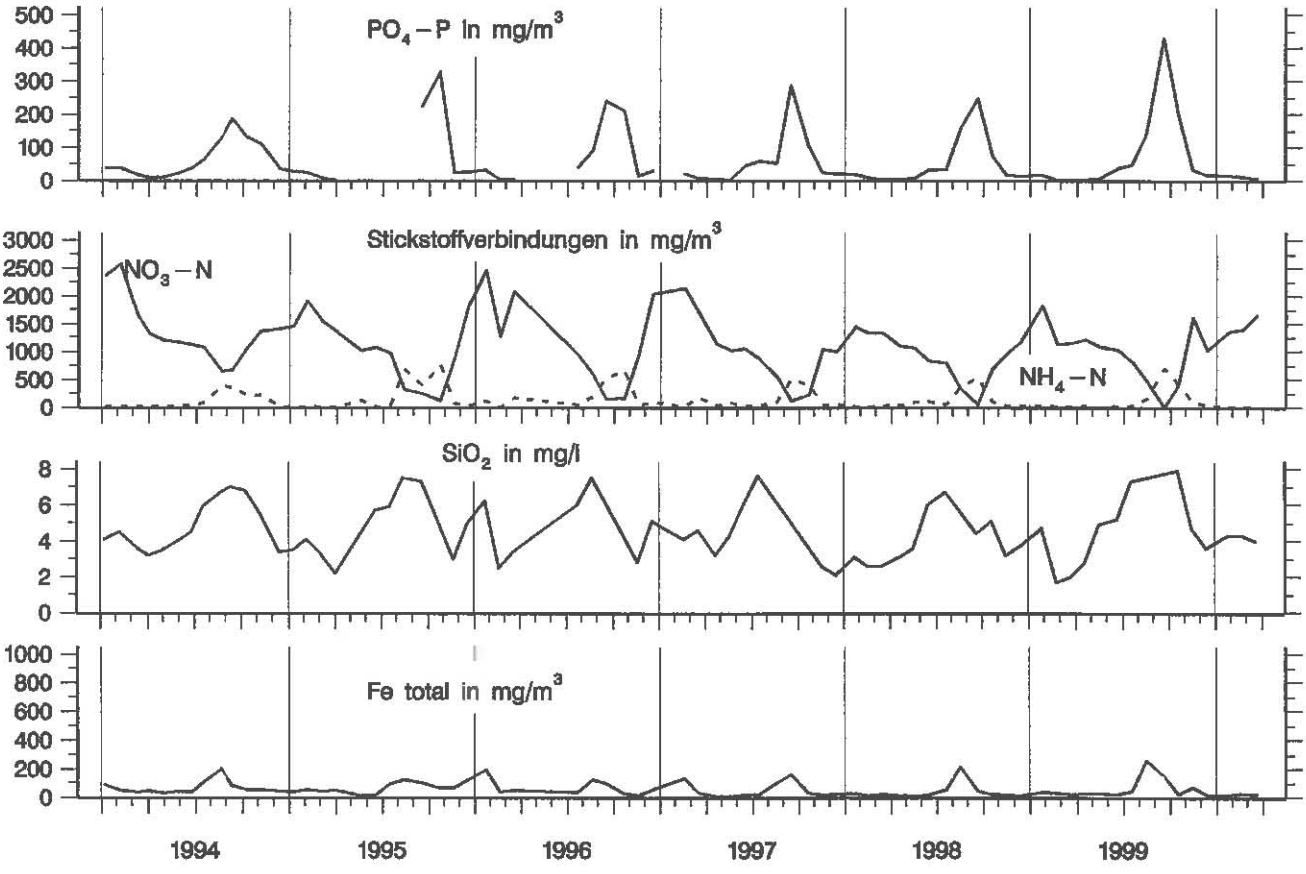


Abb. 45: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Nährstoffkonzentration in 22 m Tiefe

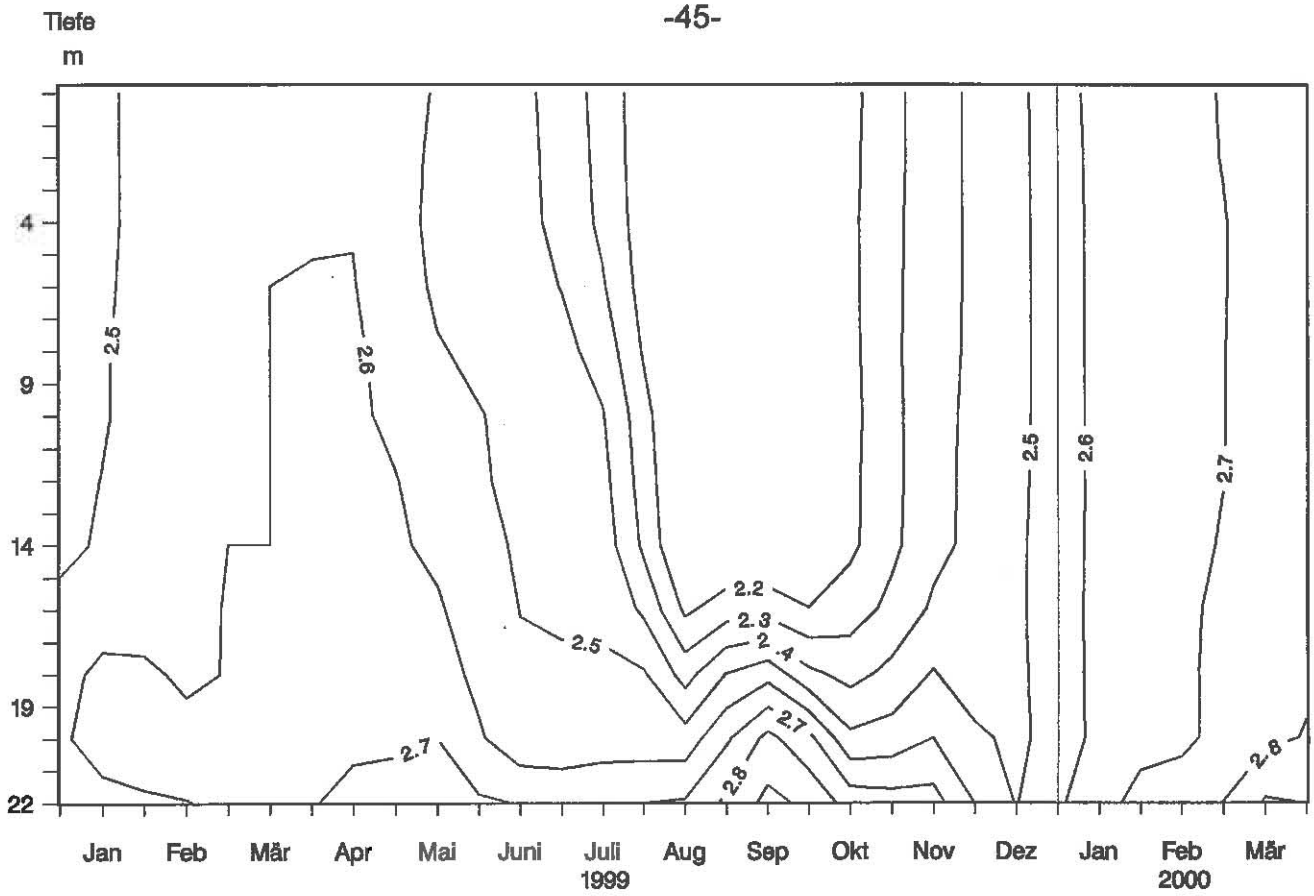


Abb. 46: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Anorganischer Kohlenstoff (mmol/l)

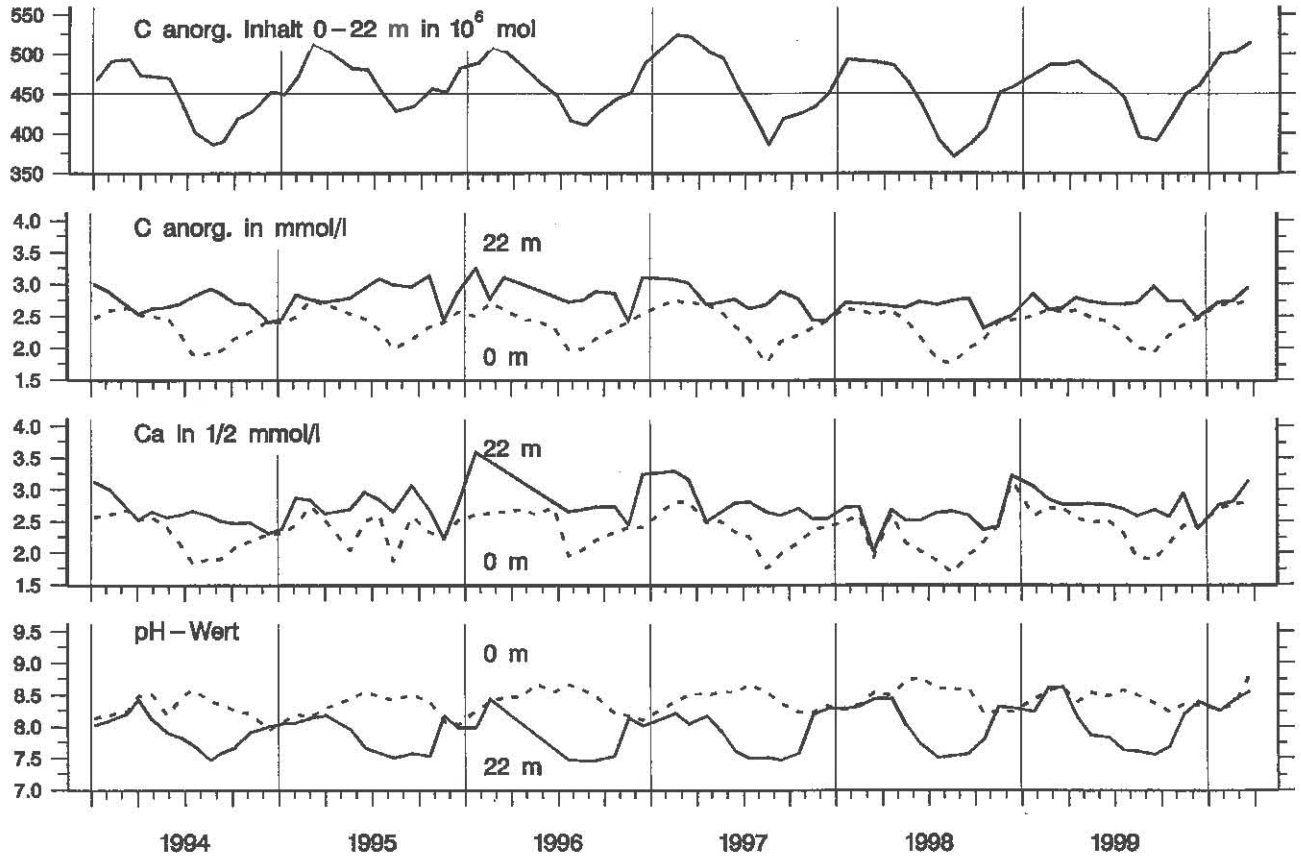


Abb. 47: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Anorganischer Kohlenstoff, Inhalt 0–22 m Tiefe
Konzentration von anorg. Kohlenstoff, Calcium; pH–Wert

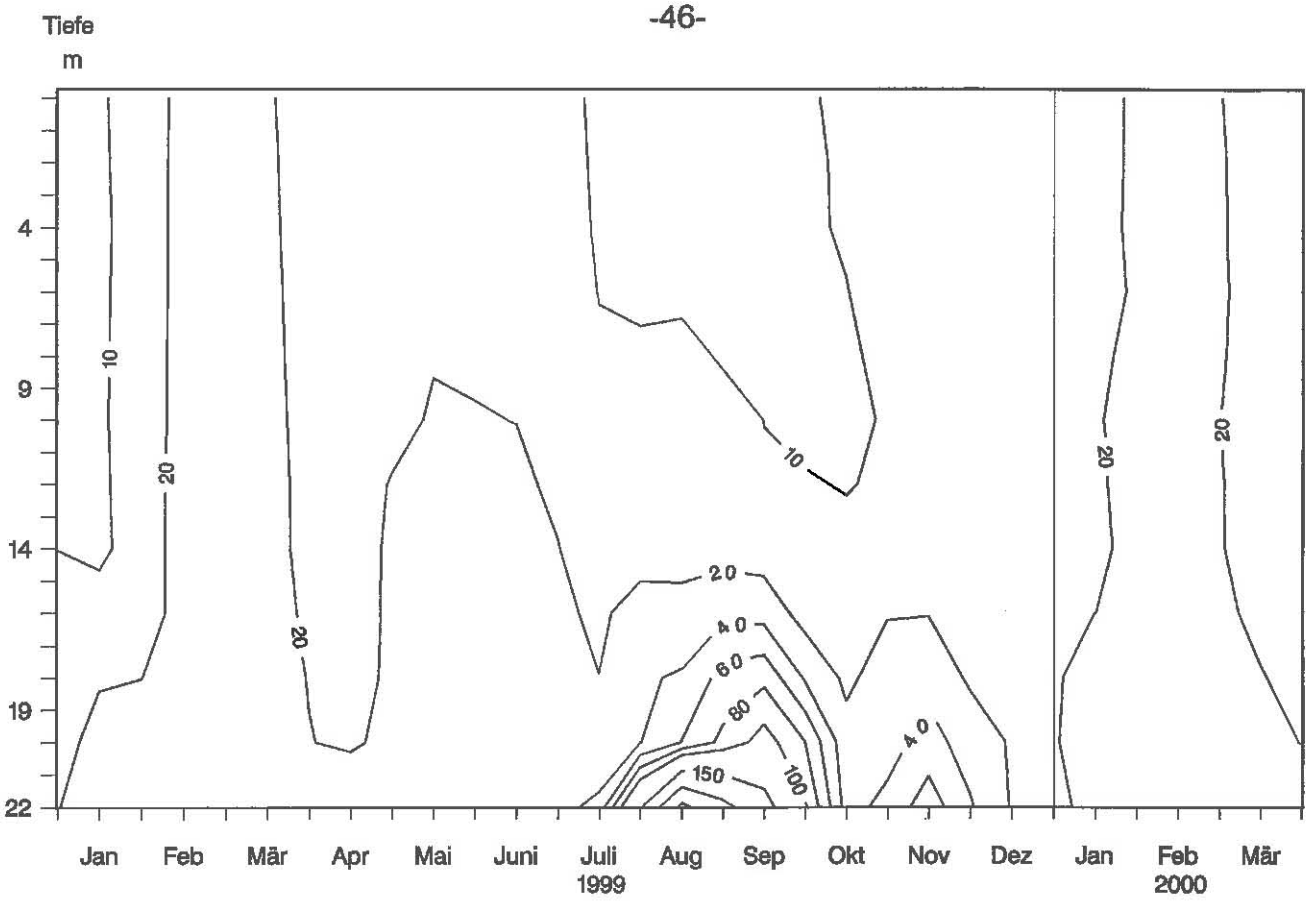


Abb. 48: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Konzentration von Eisen total (mg/m^3)

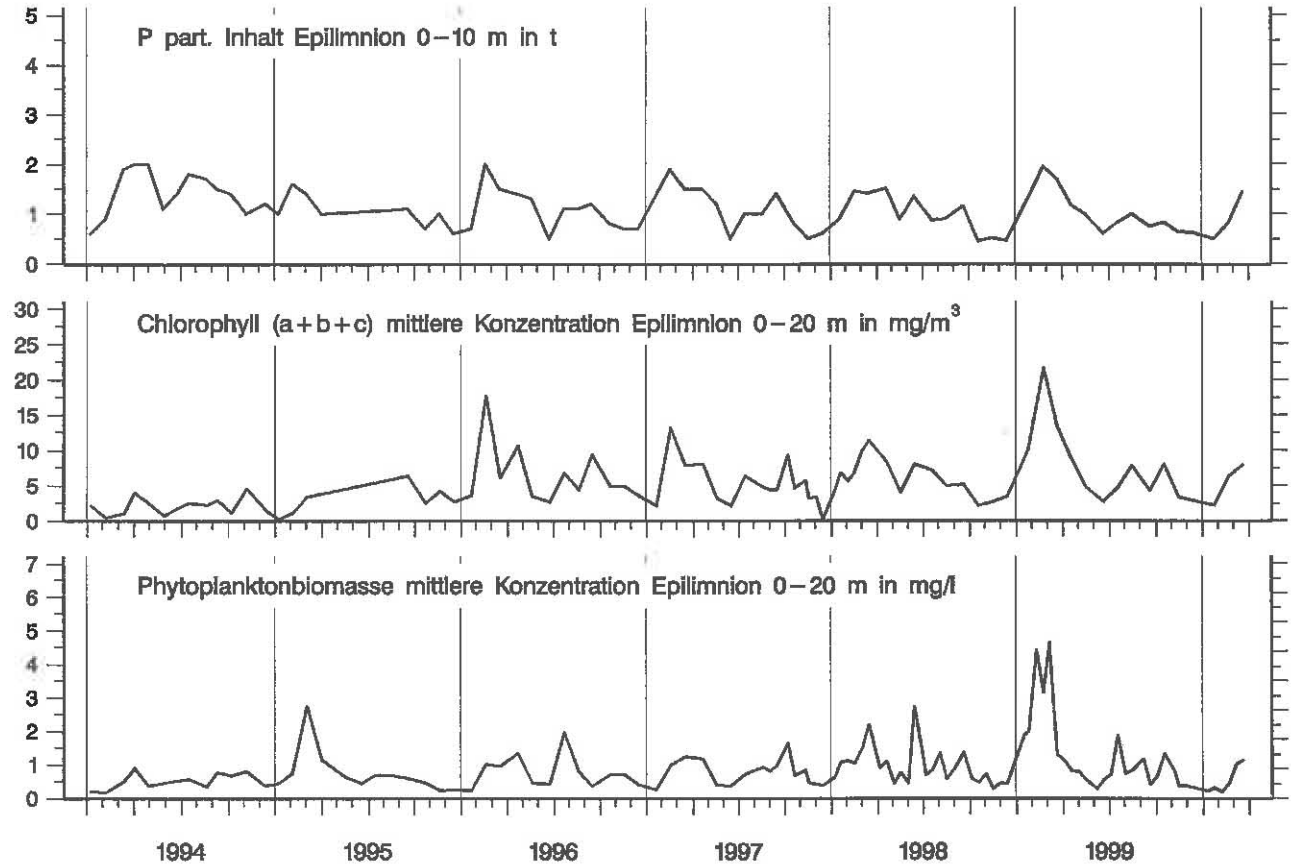


Abb. 49: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Chemische Biomasseindikatoren und Phytoplanktonbiomasse

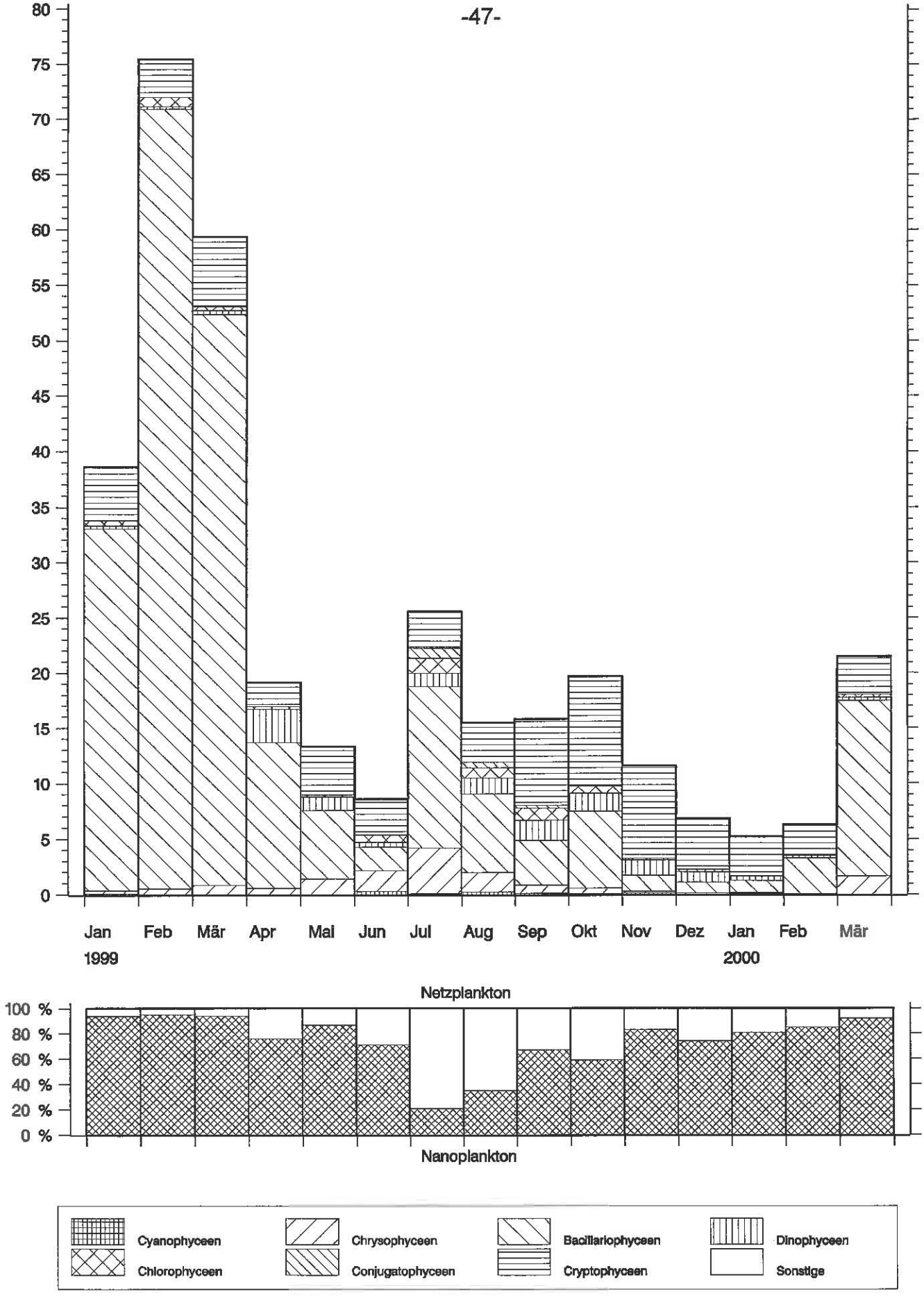


Abb. 50: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Entwicklung des Phytoplanktons
Biomasse in g/m^2 (0–20m Tiefe), Monatsmittelwerte

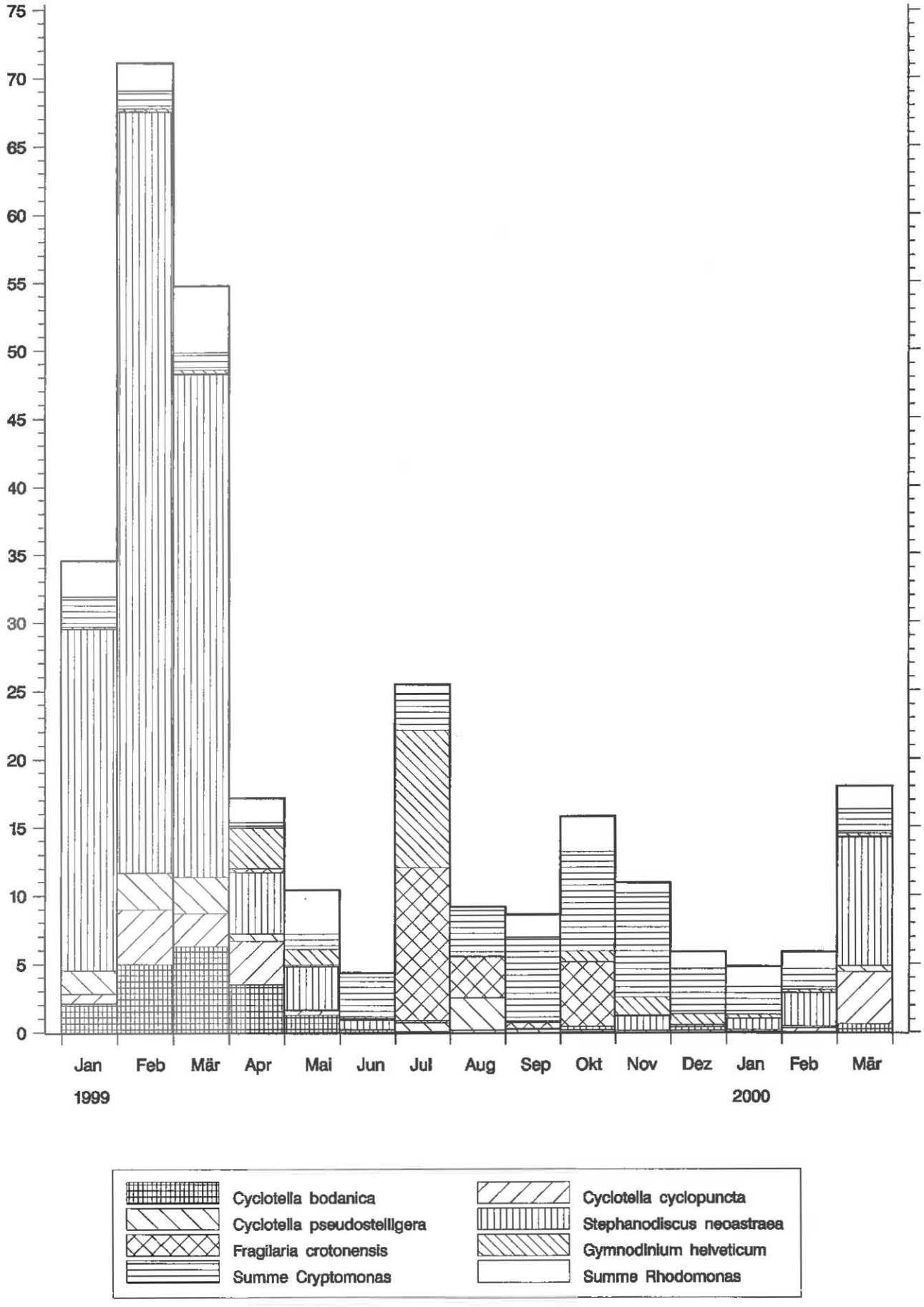


Abb. 51: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Entwicklung des Phytoplanktons
Biomasse der Hauptarten in g/m^2 (0 – 20m Tiefe), Monatsmittelwerte

---

Rheinsee

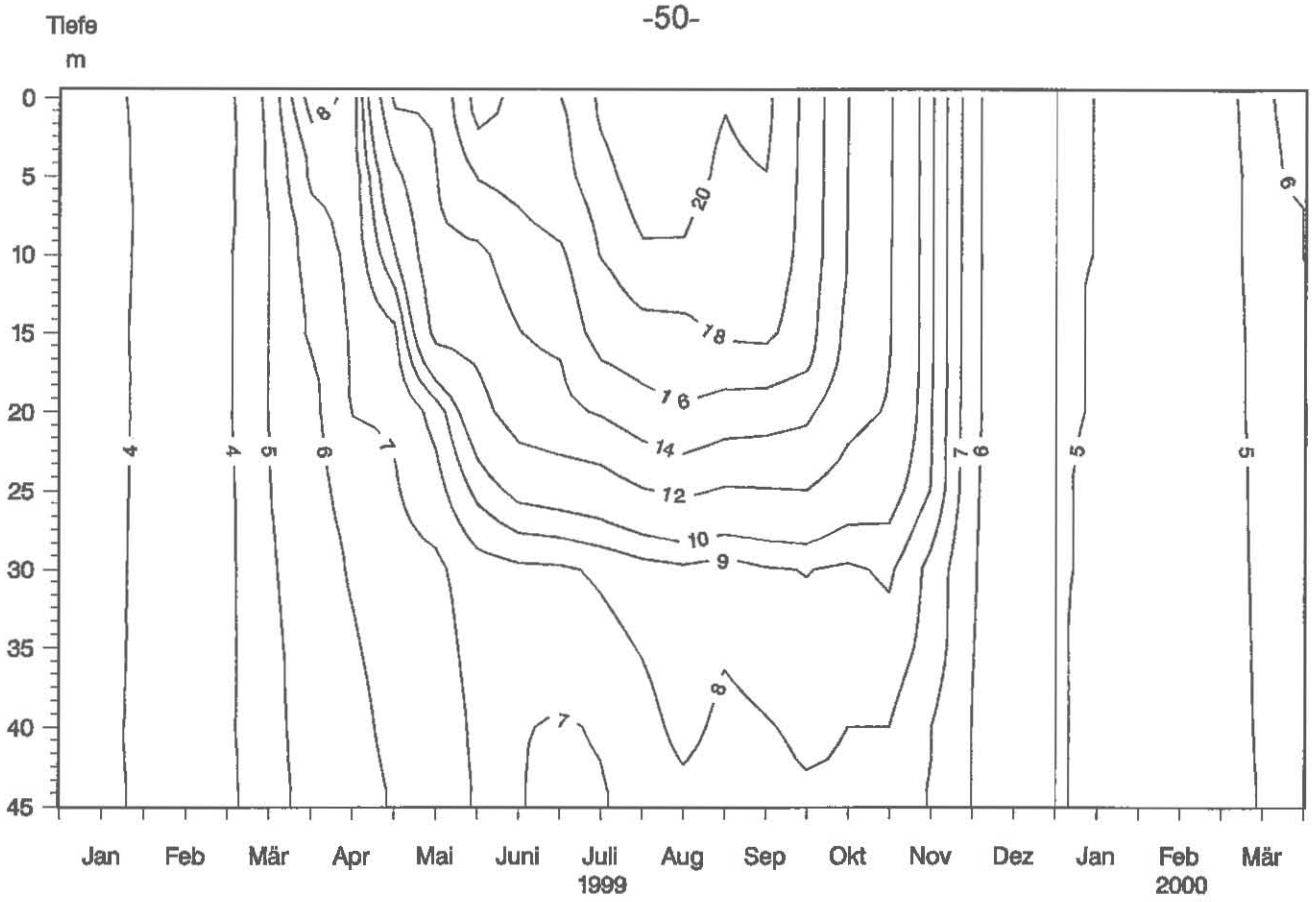


Abb. 52: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Temperatur °C

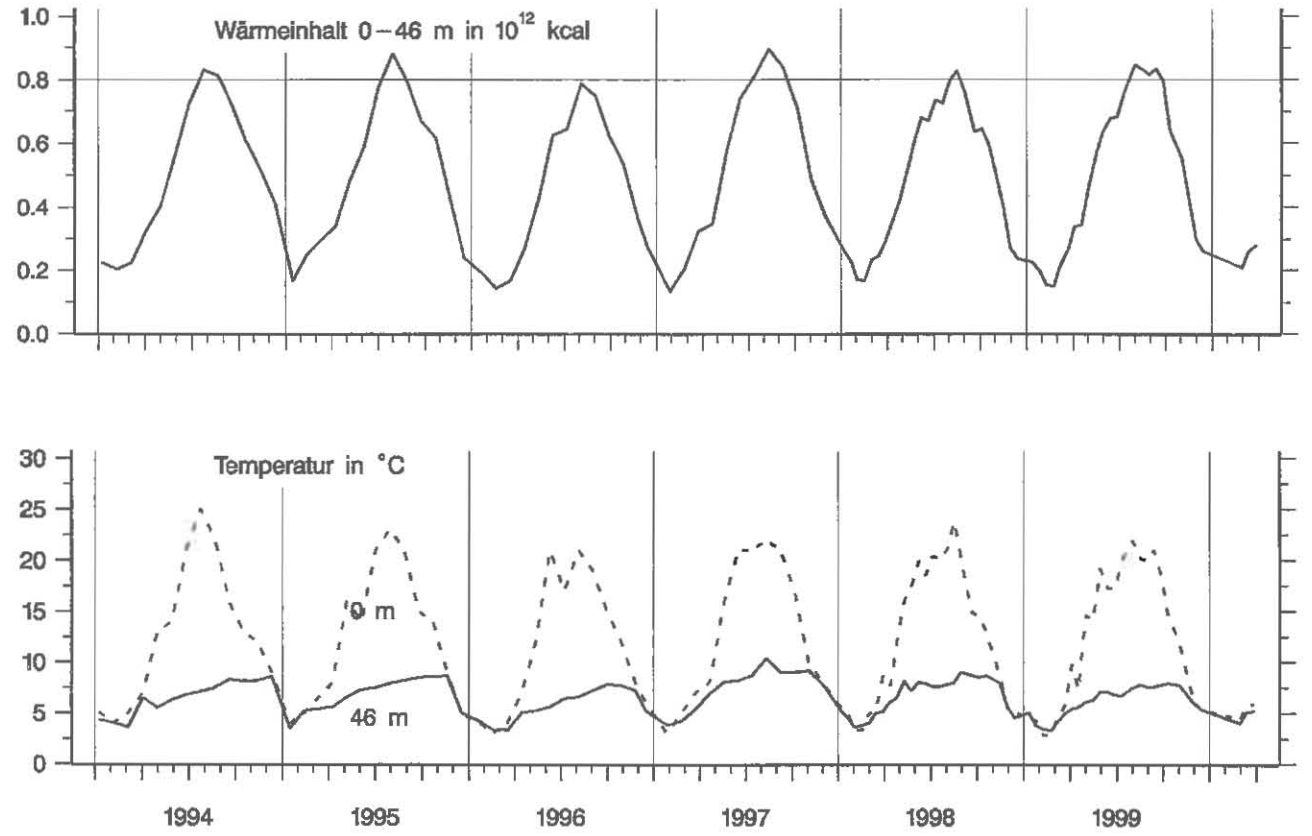


Abb. 53: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Thermik

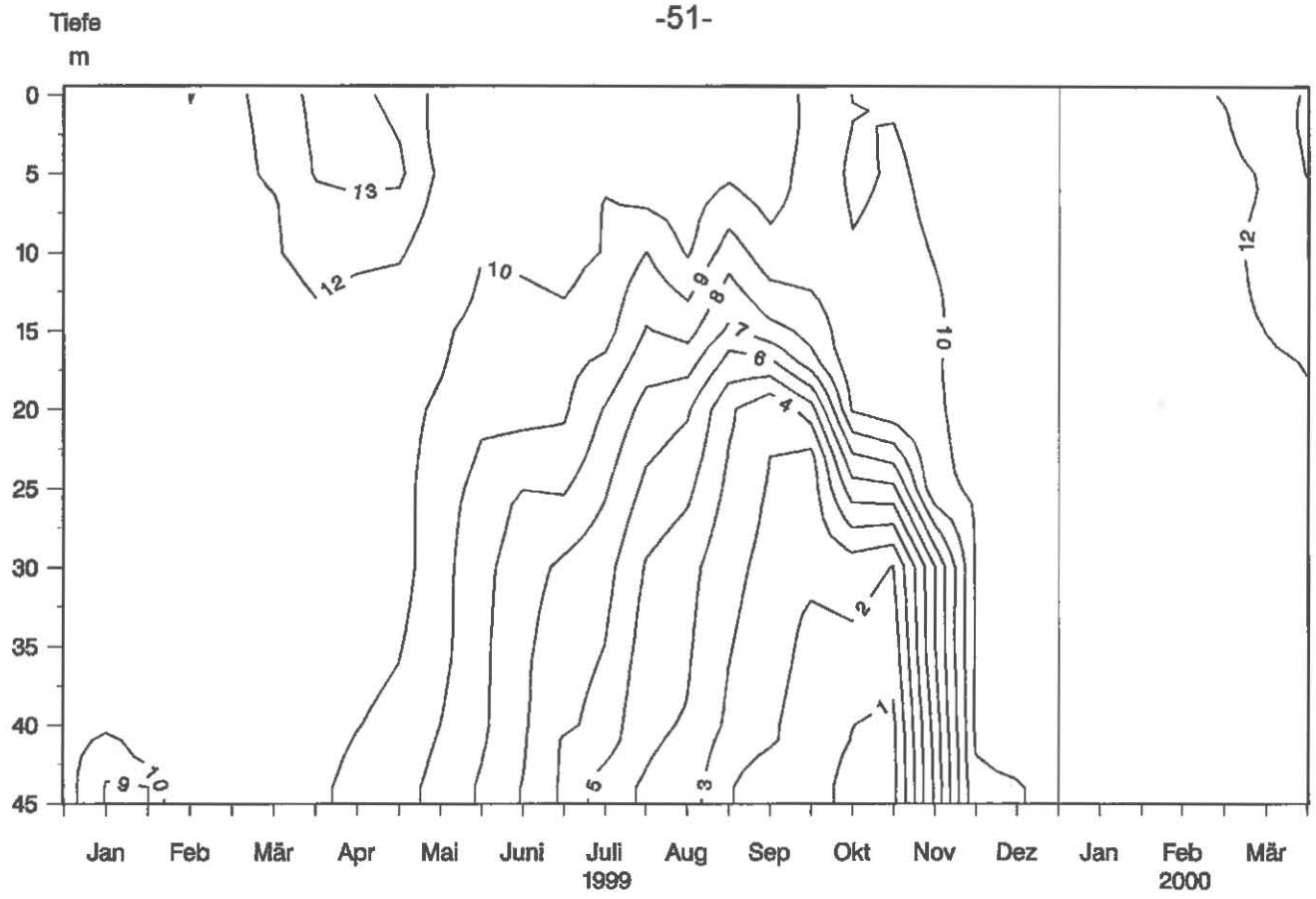


Abb. 54: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Sauerstoff (mg/l)

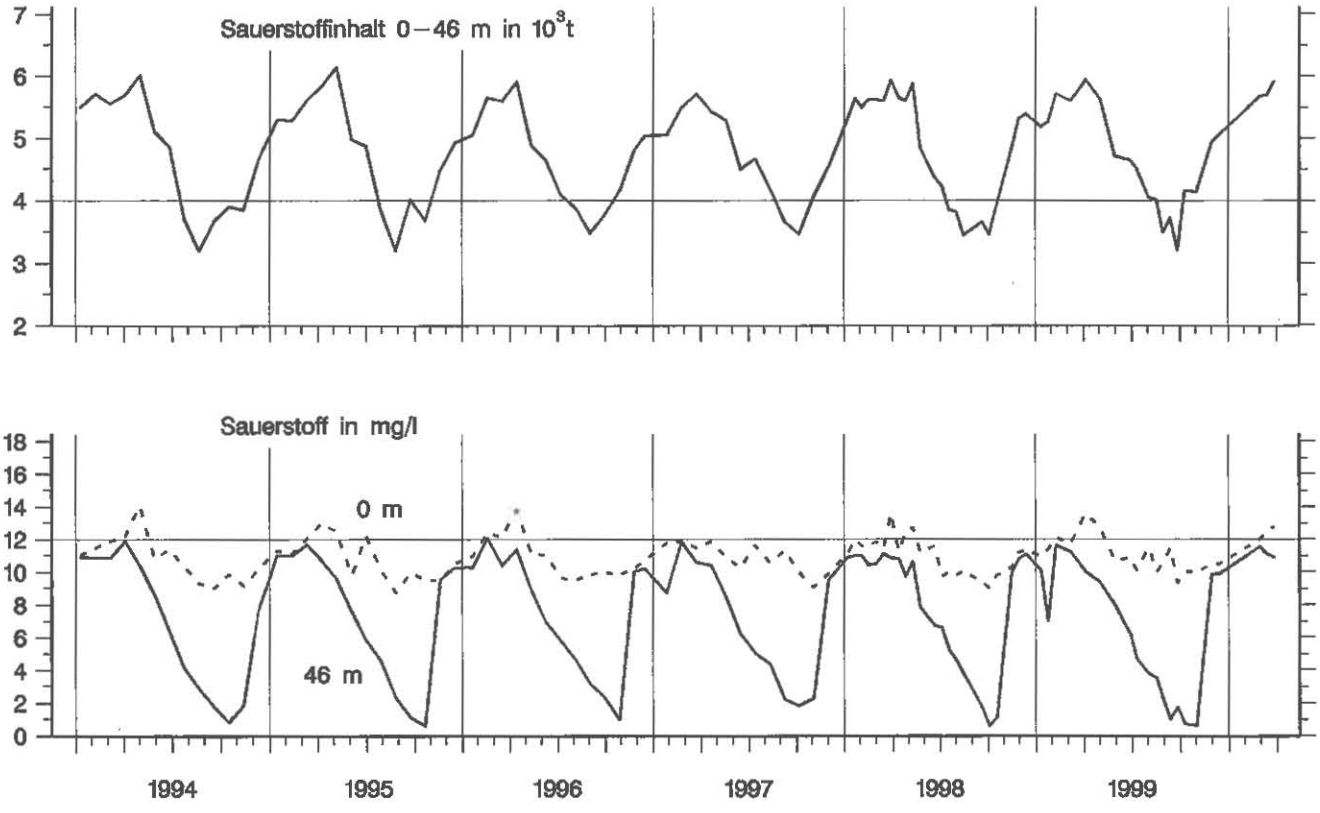


Abb. 55: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Sauerstoffinhalt 0–46 m und Sauerstoffkonzentration in 0 und 46 m Tiefe

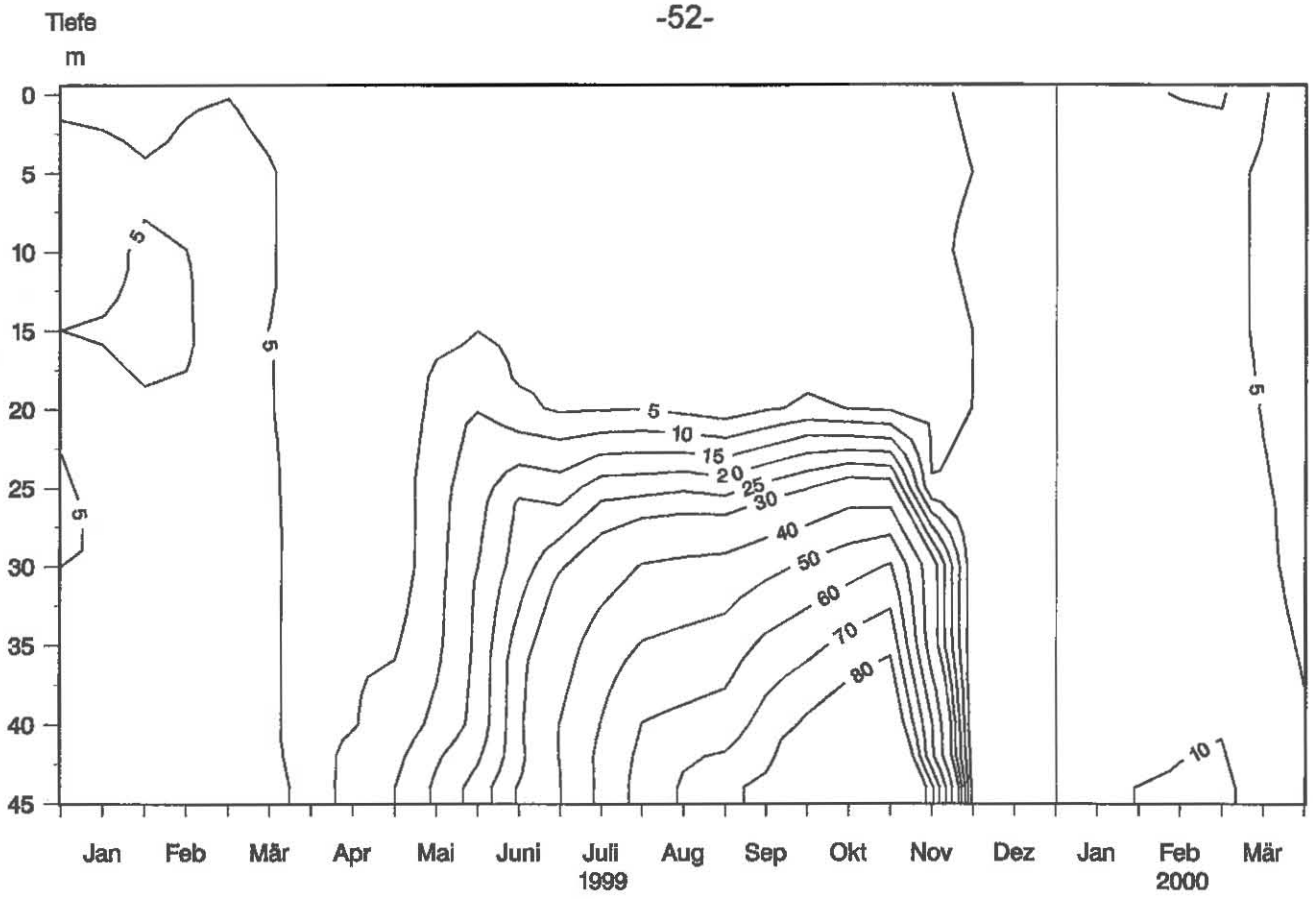


Abb. 56: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Orthophosphat – Phosphor (mg/m^3)

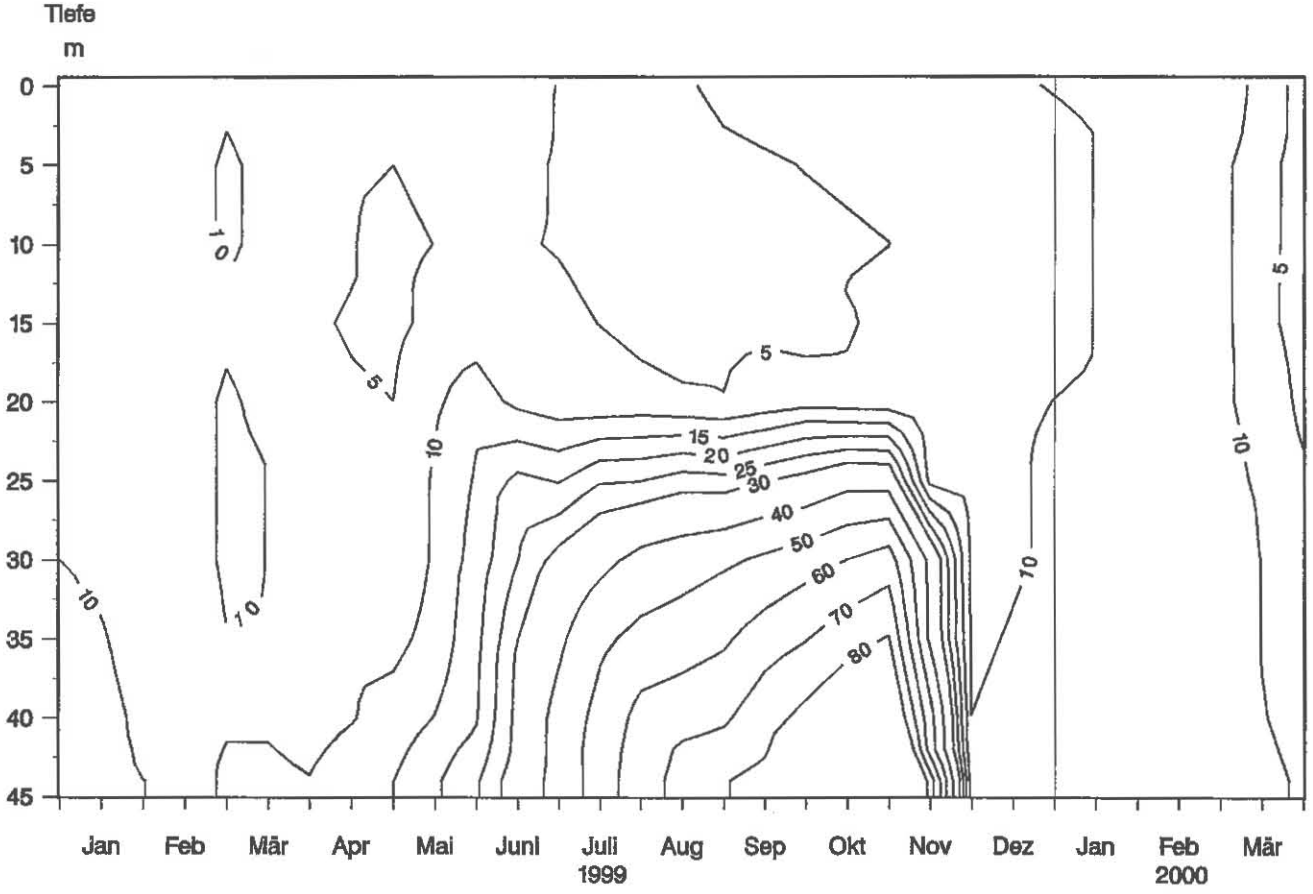


Abb. 57: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Gesamt gelöster Phosphor (mg/m^3)

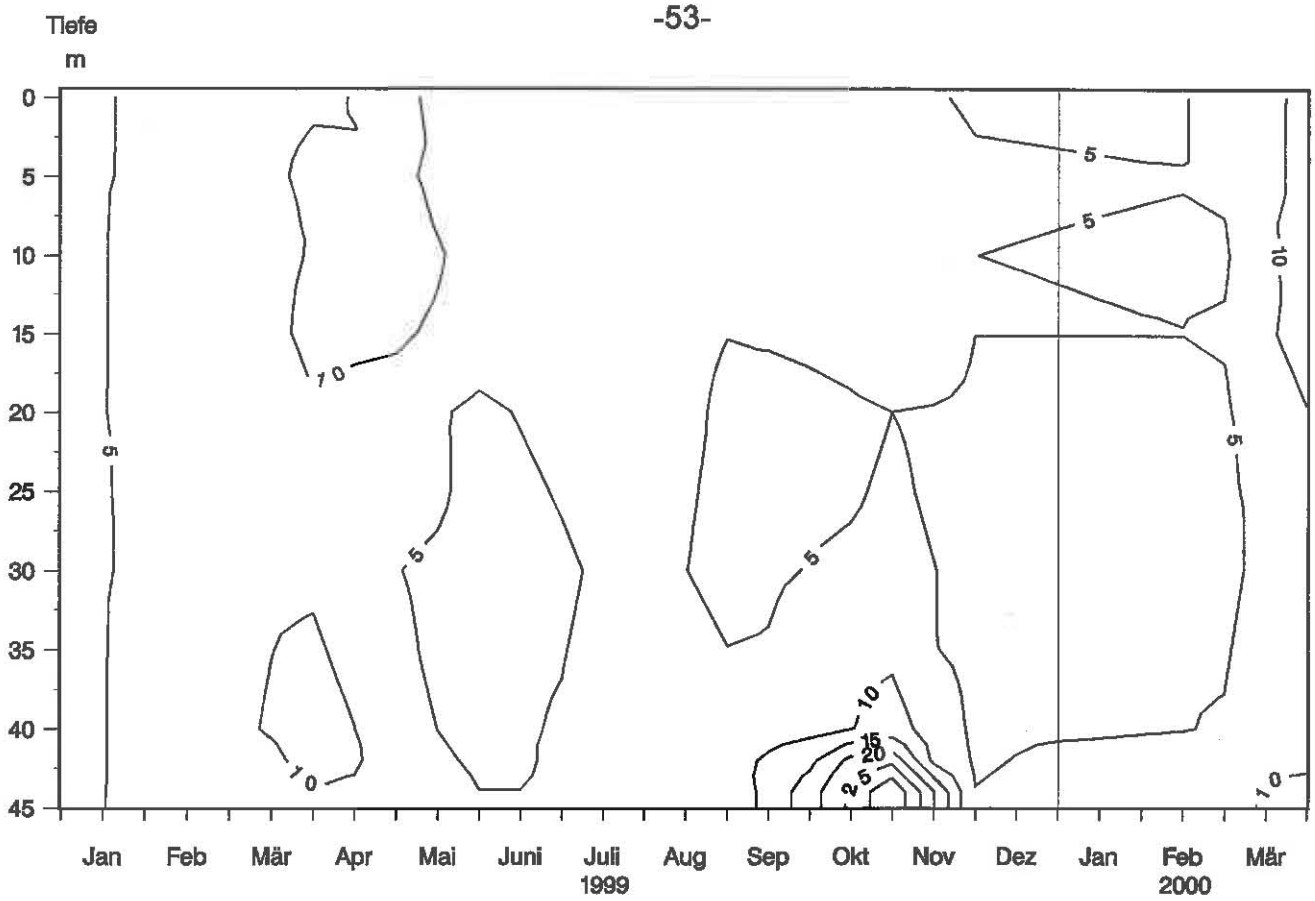


Abb. 58: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Partikulärer Phosphor (mg/m^3)

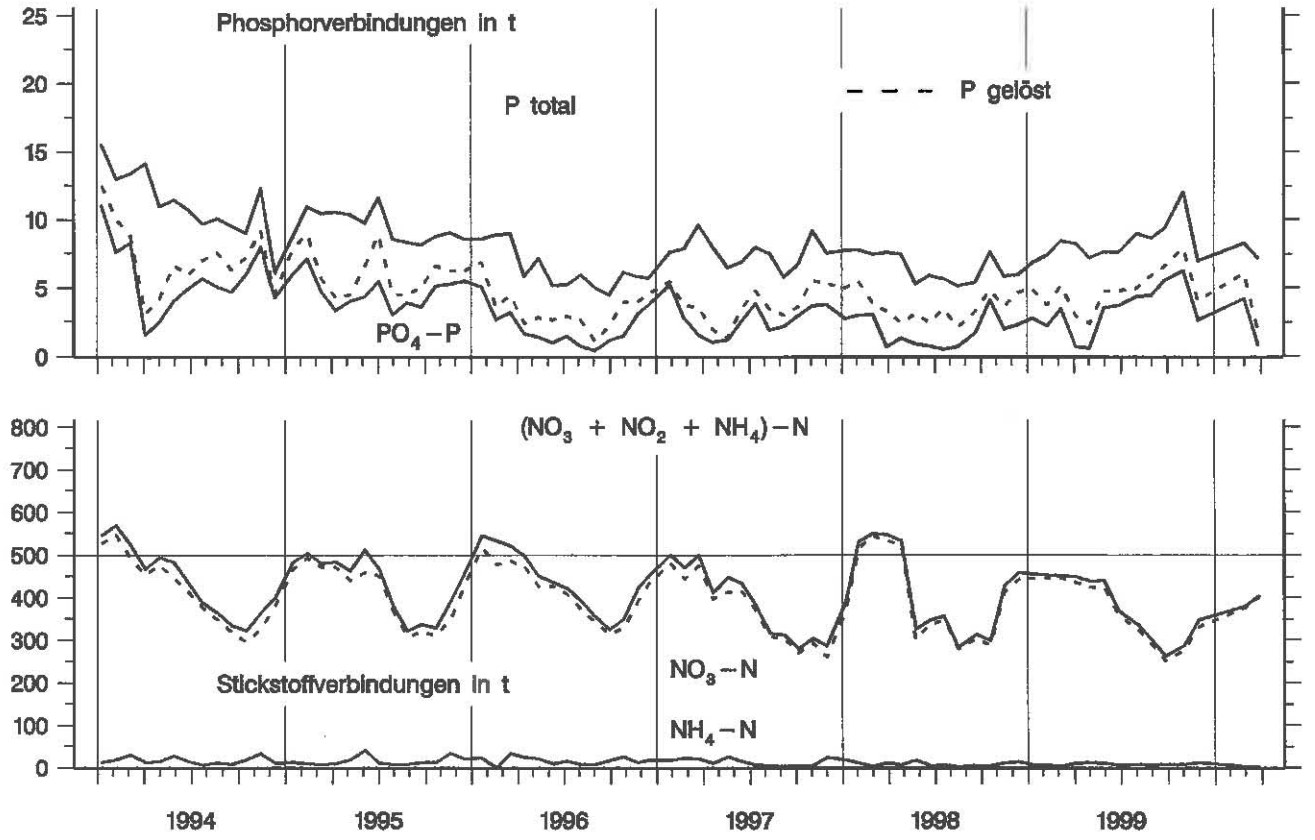


Abb. 59: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Nährstoffinhalt 0–46 m Tiefe

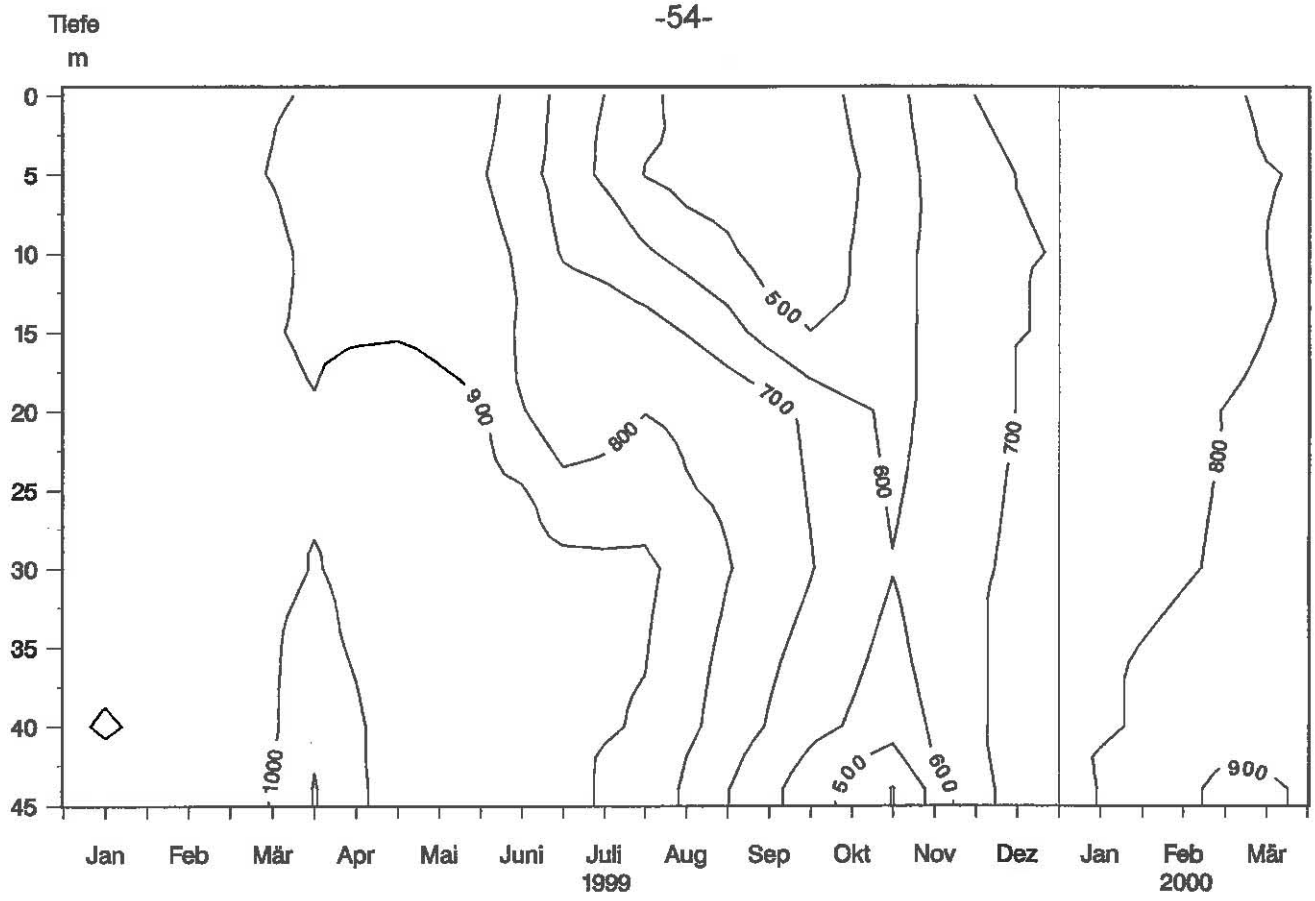


Abb. 60: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Nitrat – Stickstoff (mg/m^3)

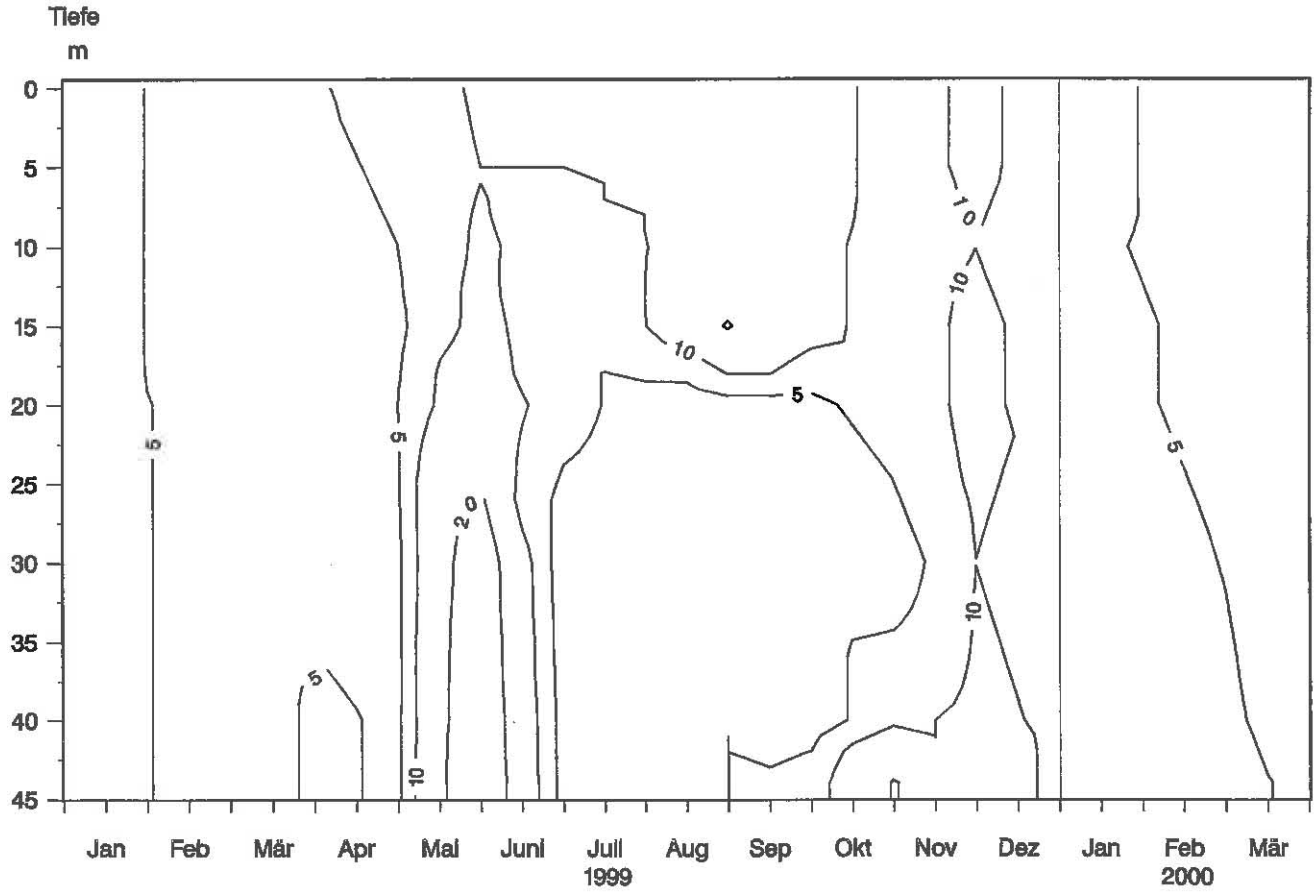


Abb. 61: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Nitrit – Stickstoff (mg/m^3)

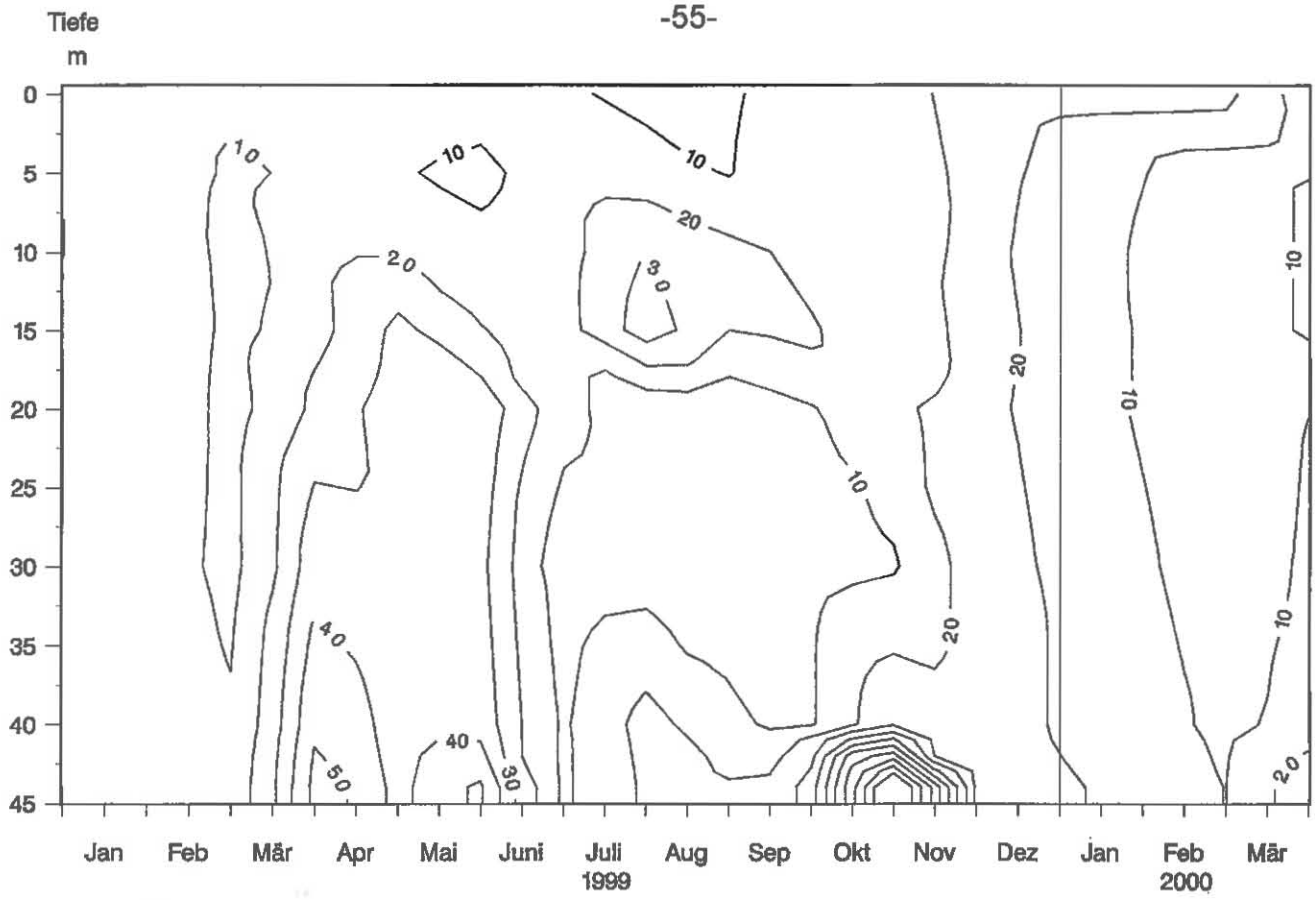


Abb. 62: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Ammonium – Stickstoff (mg/m^3)

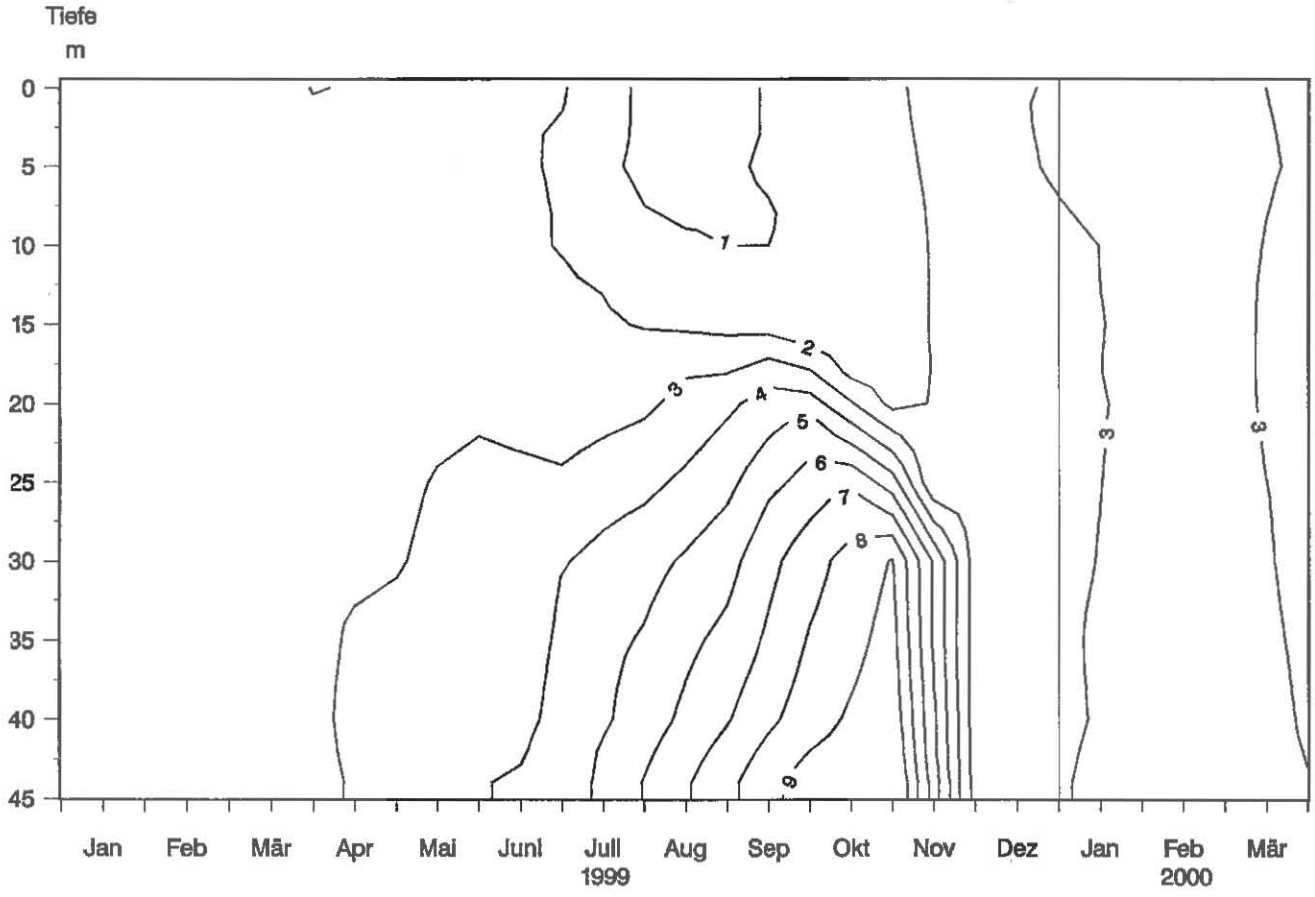


Abb. 63: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Silikat (mg/l)

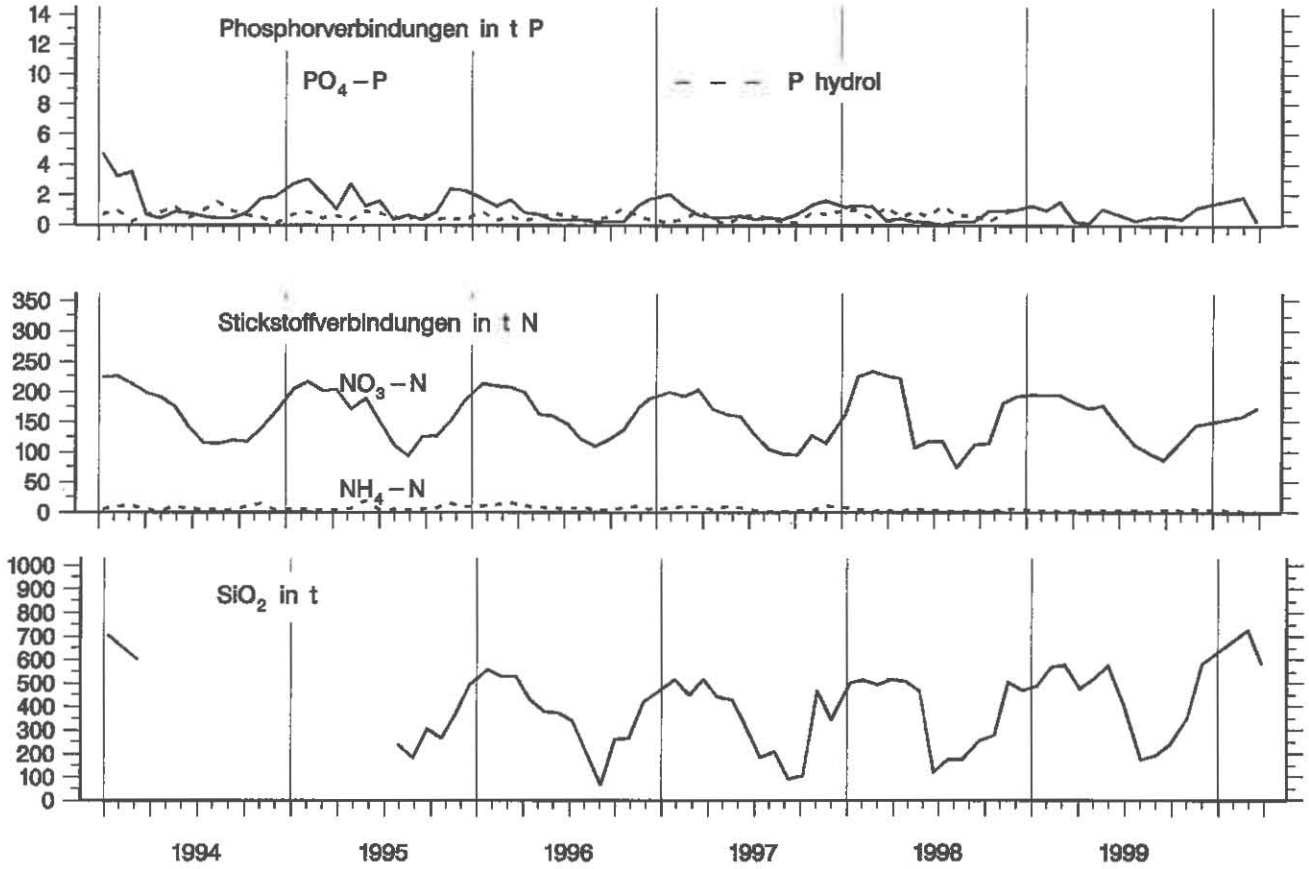


Abb. 64: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Nährstoffinhalt im Epilimnion 0–10 m Tiefe

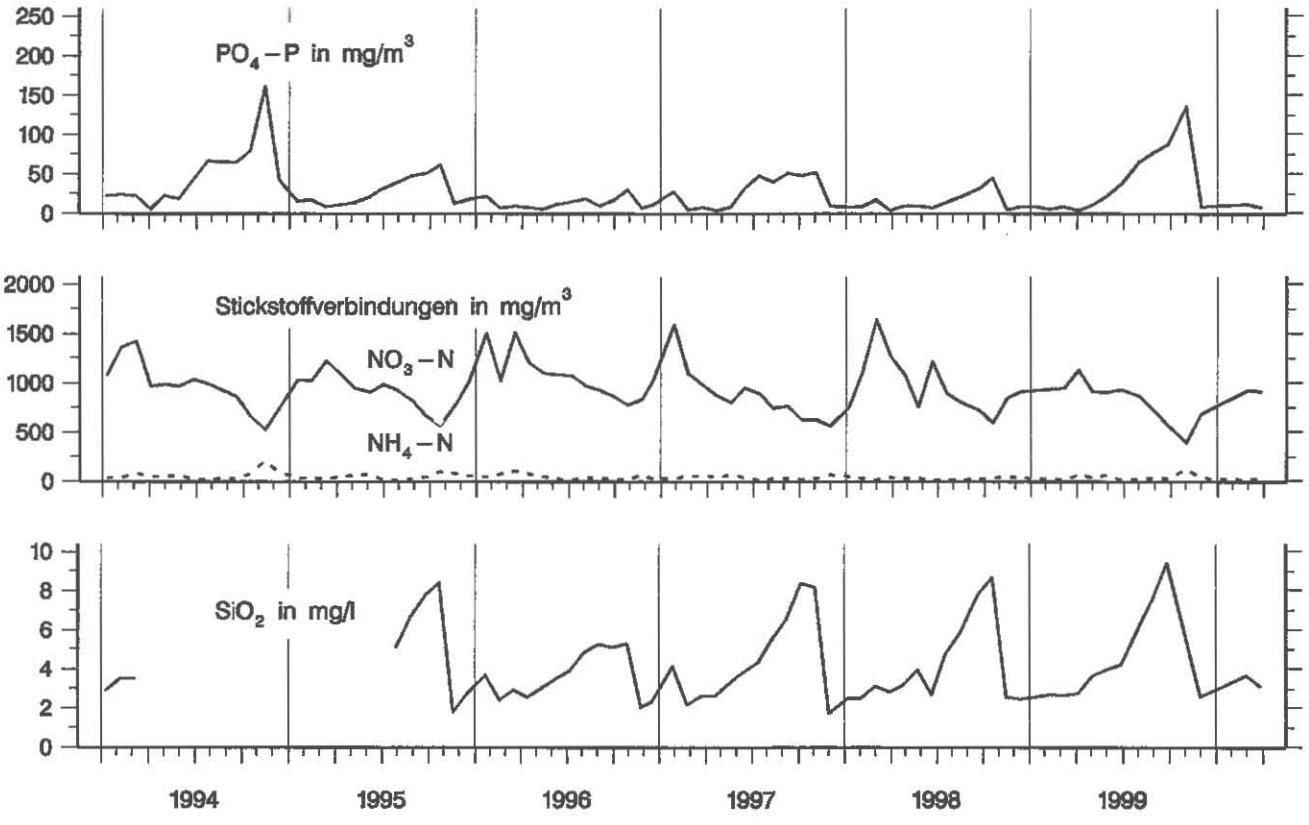


Abb. 65: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Nährstoffkonzentration in 46 m Tiefe

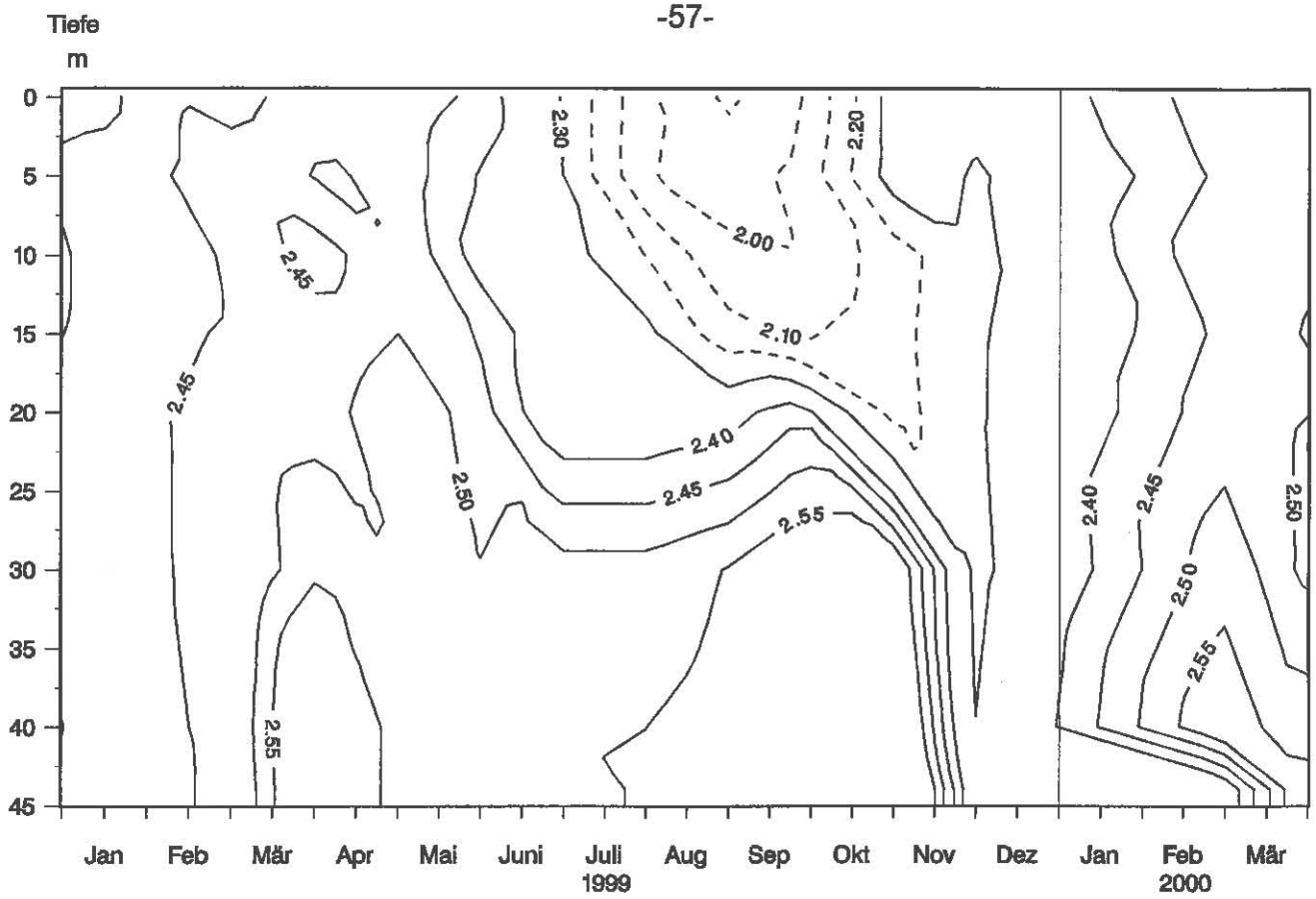


Abb. 66: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Anorganischer Kohlenstoff (mmol/l)

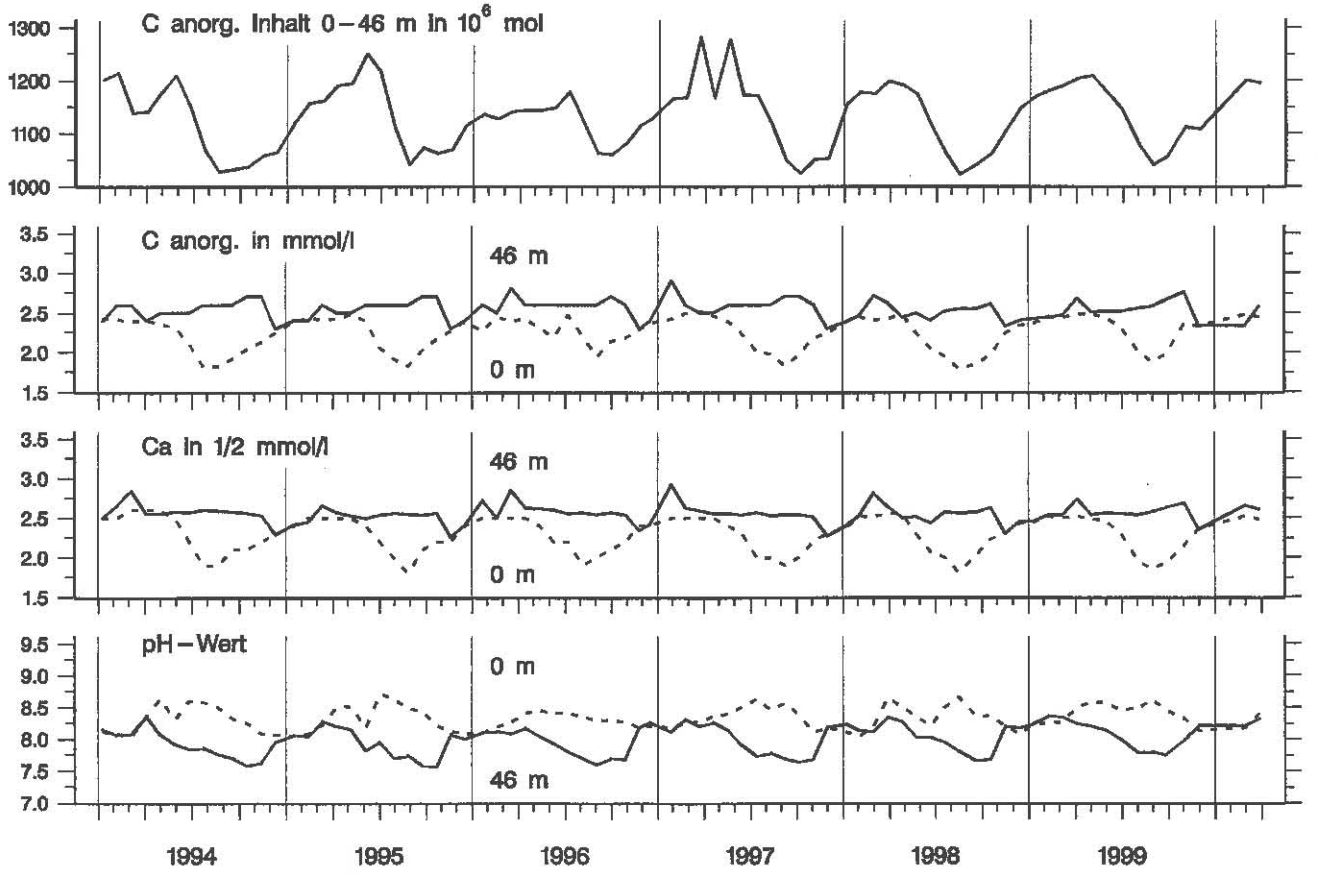


Abb. 67: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Anorganischer Kohlenstoff, Inhalt 0–46 m Tiefe
Konzentration von anorg. Kohlenstoff, Calcium; pH–Wert

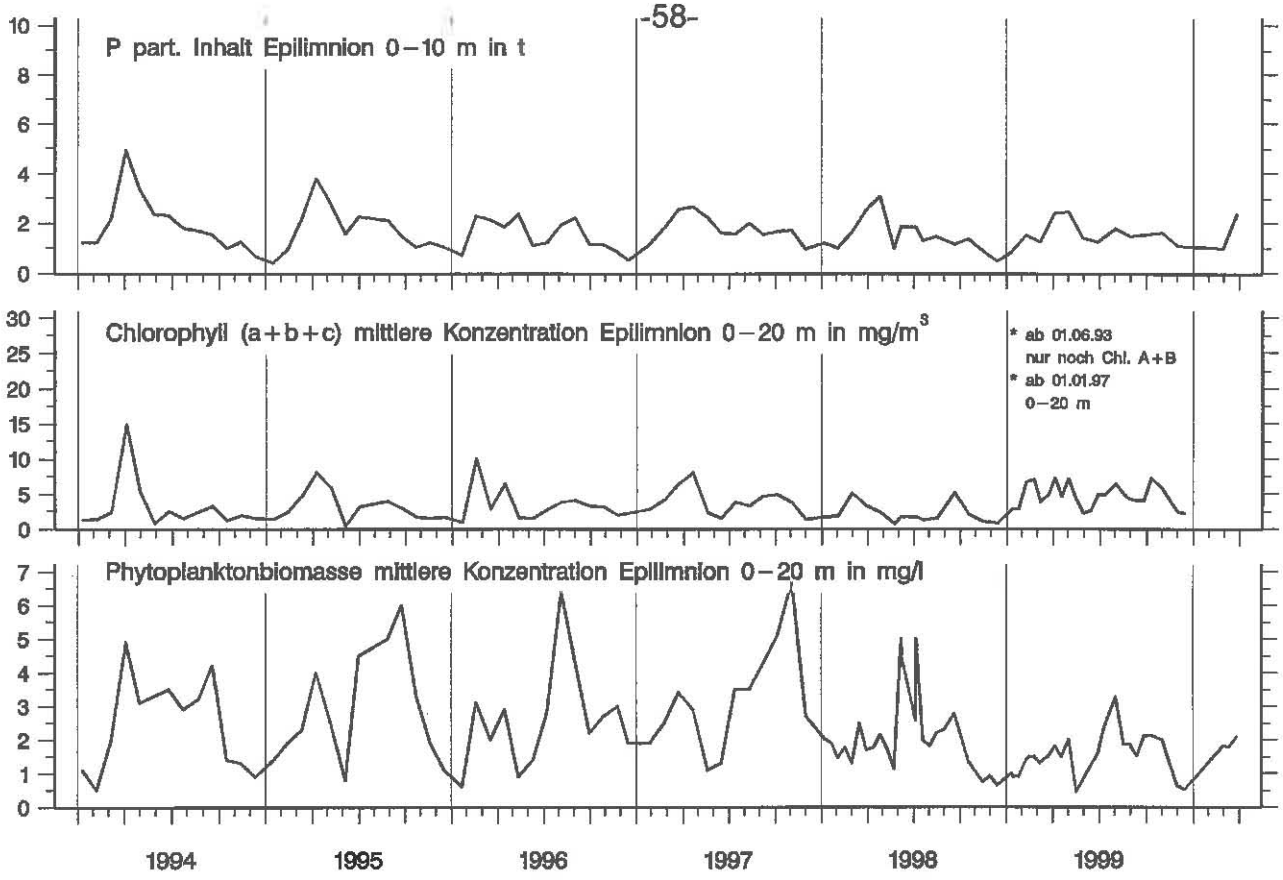


Abb. 68: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Chemische Biomasseindikatoren und Phytoplanktonbiomasse

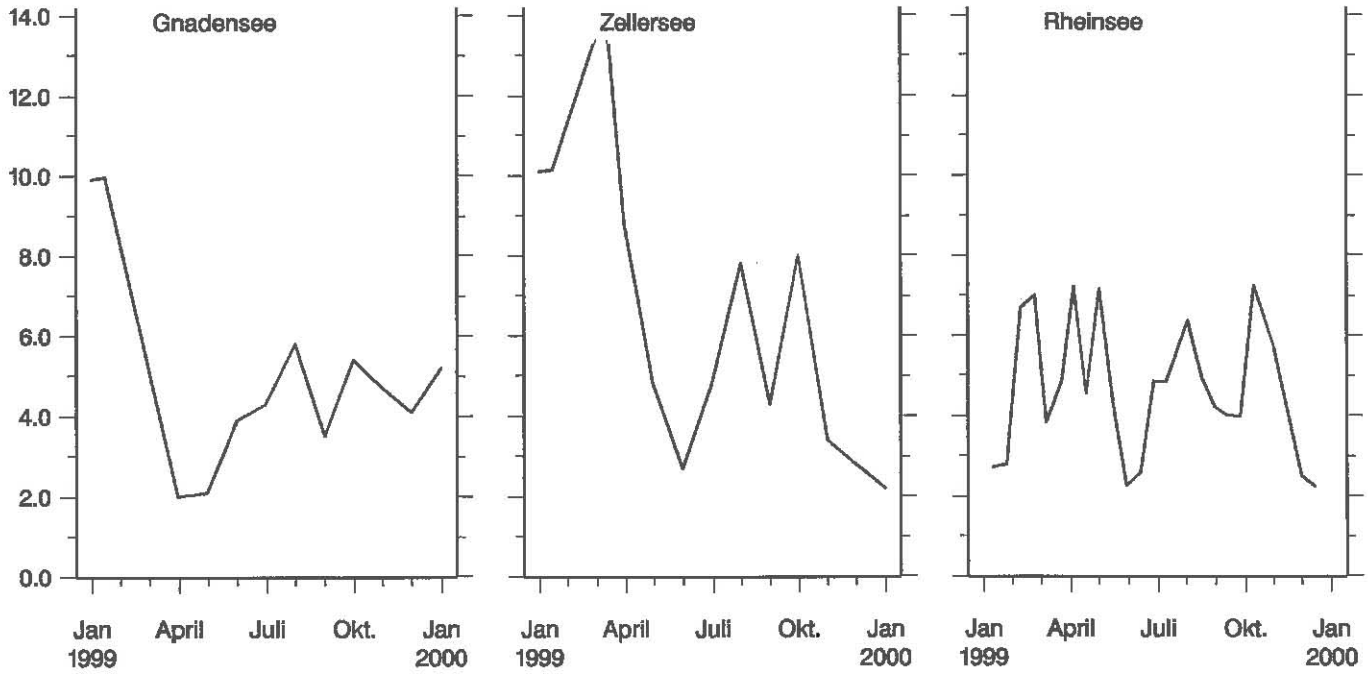


Abb. 69: Bodensee – Untersee
Chlorophyll a in mg/m^3 im Gnadensee, Zellersee
und Chlorophyll a+b in mg/m^3 im Rheinsee;
mittlere Konzentration 0–20 m Tiefe

Tabellen

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, 50, 60, 100, 140 m
Zeller See:	0, 5, 10, 15, 20, 21 oder 22 oder 23 m *
Rheinsee:	0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 44 oder 45 oder 46 m *

* je nach Wasserstand

Tabelle 1 (2)

Untersuchungstermine Januar 1999 bis März 2000 an den Stationen Fischbach-Uttwil (F), Langenargen-Arbon (L)*, Bregenzer Bucht (B) und von Januar 1999 bis März 2000 an den Stationen Zeller See (Z) und Rheinsee bei Berlingen (R)

* nur bis Januar 2000

Obersee - Stationen					Untersee - Stationen			
14.01.	1999	F	L		11.01.	1999		R
18.01.				B	25.01.			R
26.01.		F			26.01.		Z	
09.02.		F	L		09.02.			R
24.02.		F		B	24.02.		Z	R
09.03.		F	L		08.03.			R
15.03.				B	23.03.		Z	
23.03.		F			24.03.			R
06.04.		F	L		06.04.			R
20.04.		F			19.04.			R
21.04.				B	20.04.		Z	
04.05.		F	L		03.05.			R
05.05.				B	18.05.		Z	R
18.05.		F			31.05.			R
08.06.		F	L		15.06.			R
09.06.				B	22.06.		Z	
22.06.		F			29.06.			R
06.07.		F	L		12.07.			R
20.07.		F			20.07.		Z	
03.08.		F	L		03.08.			R
10.08.				B	17.08.		Z	
17.08.		F			18.08.			R
07.09.		F	L		31.08.			R
21.09.		F			01.09.		Z	
29.09.				B	13.09.			R
05.10.		F	L		21.09.		Z	
11.10.				B	27.09.			R
19.10.		F			11.10.			R
02.11.		F	L		19.10.		Z	
16.11.		F			02.11.			R
22.11.				B	16.11.		Z	
30.11.		F	L		01.12.			R
14.12.		F			14.12.		Z	
20.12.				B	15.12.			R
11.01.	2000	F			25.01.	2000	Z	
12.01.				B	22.02.		Z	
25.01.		F			29.02.			R
01.02.				B	21.03.		Z	
08.02.		F			27.03.			R
22.02.		F						
07.03.		F						
13.03.				B				
21.03.		F		B				

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	B	Z	R
Magnesium	F	L	B		
Silikat	F	L		Z	R
Orthophosphat	F	L	B	Z	R
Phosphor gelöst (im Filtrat nach Aufschluß)			B	Z	R
Phosphor partikulär	F	L		Z	R
Phosphor total (im Rohwasser nach	F	L	B	Z	R
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			Z	R
Phaeophytin nach Goltermann	F				
Chlorophyll (a+b) - HPLC	F				R
Chlorid	F	L	B	Z	R
Sulfat	F	L	B	Z	R
Eisen total	F	L		Z	
Mangan total	F	L		Z	
Natrium	F	L			R
Kalium	F	L			R
UV – Extinktion (260 nm)					R

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 Z	 R
$H_2CO_3 + CO_2$	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: Seekenndaten

Bodensee-Obersee (Fischbach-Uttwil), Seejahr 1999 (Messdaten vom 06.04.99 bis 07.03.00)

IV-XII: Monate 1999; I, II, III-00: Monate 2000

Parameter	Messwerte (a)				Stoffinhalt (b)						Stoffbilanz (b)		
	Epilimnion (0 -10 m)		Seebodennähe (1m über Grund)		See total				Epilimnion (0 -10 m)		Hypolimnion (200 -252.5 m)		
	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit	Beginn 06.04.99	Ende 07.03.00	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit	Beginn bis Ende Seejahr
Thermik	21.1	VII	4.6	VII-XI, I, II	235.0	216.2	328.5	IX	76.4	VIII	7.4	VII-XI, I, II	-19
(a) °C, (b) 10^{12} Kcal	4.6	I-III	4.4	IV, V			215.5	II	19.7	I II	7.1	IV	
Sauerstoff	15.7	IV	10.8	IV	546.2	525.0	546.2	IV	61.2	IV	17.5	IV	-21
(a) mg l^{-1}, (b) 10^3 t	7.7	IX	7.0	XI			452.0	X	39.0	IX	13.1	IX	
Orthophosphat - P	10.1	II	28.2	XI	439.8	498.4	525.7	XII	42.9	II	38.8	XI	59
(a) mg m^{-3}, (b) t	0.6	IX	12.7	IV			362.2	X	3.2	IX	19.3	IV	
Phosphor, hydrolisierb.	7.1	V	9.3	X	150.2	104.5	150.2	IV	26.0	V	9.6	X	-46
(A) mg m^{-3}, (b) t	0.8	I	1.4	V			62.6	VIII	4.8	I	0.8	VI	
Phosphor, gelöst	12.3	III	36.1	X	590.1	602.9	621.3	I	52.2	III	45.8	X	13
(a) mg m^{-3}, (b) t	2.3	VIII, X	15.5	IV			429.1	X	10.0	VIII	22.8	II	
Phosphor, partikulär	14.9	IV	3.5	VII	214.8	89.1	241.3	V	57.3	IV	5.2	VI	-126
(a) mg m^{-3}, (b) t	1.1	II	1.0	I			64.9	II	6.8	I	1.2	X	
Phosphor, total	25.1	V	38.5	X	804.8	692.0	804.8	IV	97.2	V	48.5	X	-113
(a) mg m^{-3}, (b) t	4.6	X	17.9	IV			500.6	X	24.8	X	26.8	IV	
Nitrat - N	994.0	I	1055.0	VIII	46303.4	45582.8	47517.3	I	4215.0	I	1705.4	VI	-721
(a) mg m^{-3}, (b) t	485.0	IX	934.0	III			43245.4	VIII	2193.5	IX	1554.3	III	
Nitrit - N	11.8	VII	7.4	IV	24.9	2.4	89.3	IX	46.6	IX	9.3	IV	-22
(a) mg m^{-3}, (b) t	0.0	IV, II, III	0.0	IV-III			0.0	II	0.0	II	0.0	IV-III	
Ammonium - N	23.7	V	13.4	V	409.8	250.2	626.4	V	80.8	V	22.6	V	-160
(a) mg m^{-3}, (b) t	1.7	XII	0.0	VII			57.8	IV	14.2	I	0.2	VII	
Stickstoff, partikulär	112.0	IV	14.0	IX	600.7	232.3	807.7	VI	361.4	IV	16.9	IX	-368
(a) mg m^{-3}, (b) t	7.0	I-III	3.0	IV, XI			224.3	XI	30.8	I	0.6	XI	
Silikat (SiO_2)	3.5	I	5.8	XI	155.4	162.2	176.9	I	14.9	I	7.9	XI	7
(a) mg l^{-1}, (b) 10^3 t	0.7	VIII, IX	3.5	V			143.1	V	3.7	IX	5.6	IV	
Kalium	1.3	IV	1.3	VII	61.6	60.3	61.6	IV	5.5	IV	2.1	VII	-1
(a) mg l^{-1}, (b) 10^3 t	1.0	VII	1.3	V, I-III			57.5	I	4.7	IX	2.1	I	
Natrium	4.3	IV	4.6	IV	207.9	204.9	207.9	IV	18.5	IV	7.3	IV	-3
(a) mg l^{-1}, (b) 10^3 t	2.5	VII	4.2	VII			183.3	VII	12.6	VII	6.6	VII	

01.09.99 bis 07.03.2000
90
-84
-41
-69
-110
-110
-221
-2928
27
-269
64
-6
-2
-15

Parameter	Messwerte (a)				Stoffinhalt (b)							Stoffbilanz (b)		
	Epilimnion (0 -10 m)		Seebodennähe (1m über Grund)		See total				Epilimnion (0 -10 m)		Hypolimnion (200 -252.5 m)			
	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit	Beginn 06.04.98	Ende 09.03.99	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit	Beginn bis Ende Seejahr	06.04.99 bis 01.09.99	01.09.99 bis 07.03.2000
Calcium	29.9	V	50.9	IX	2322.2	2281.0	2339.4	V	209.3	V	81.7	IX	-41	-37	-4
(a) mg l^{-1}, (b) 10^3 t	38.9	IX	48.5	VI			2245.8	VI	170.4	IX	77.8	VI			
Magnesium	8.4	IV	8.5	IV, IX	395.1	389.4	395.1	IV	35.6	IV	13.7	IV	-6	-11	5
(a) mg l^{-1}, (b) 10^3 t	7.2	VII, IX	8.3	VI, I, II			379.1	XI	30.5	VIII	13.3	I, II			
Chlorid - Cl	5.3	VI	5.8	VII, VIII	243.9	231.7	252.8	V	22.5	V	9.3	VIII	-12	-19	7
(a) mg l^{-1}, (b) 10^3 t	3.1	VII	5.1	II, III			224.9	IX	14.9	IX	8.0	II			
Sulfat - SO4	34.5	IV	34.7	IV	1626.8	1568.9	1640.2	IV	146.5	IV	55.6	IV	-58	-95	37
(a) mg l^{-1}, (b) 10^3 t	27.2	VII	32.9	II			1531.5	IX	117.9	VII	52.7	II			
Eisen total	78.0	VI	34.2	VI	493.7	694.6	2377.0	VI	283.5	VI	61.4	VI	201	-26	227
(a) mg m^{-3}, (b) t	6.1	IV	10.7	XII			393.9	XII	30.6	IV	15.3	XII			
Mangan total	2.6	X	21.9	IX	30.6	43.1	91.9	X	8.5	V	14.2	X	13	-1	14
(a) mg m^{-3}, (b) t	0.4	VII	1.0	V, VI			26.8	VII	2.4	IX	1.4	VI			
Kohlenstoff anorg.	29.8	V	30.7	VIII, X	1411.1	1382.1	1415.0	V	126.7	V	48.7	VIII	-29	-49	20
(a) mg l^{-1}, (b) 10^3 t	24.0	IX	29.9	VII, II, III			1345.3	X	103.1	IX	47.4	III			
Alkalinität	2.5	V	2.6	VIII, X	118.6	116.1	118.9	V	10.6	V	4.1	VIII	-2	-4	2
(a) mmol l^{-1}, (b) 10^6 kmol	2.0	IX	2.5	VII, II, III			113.1	X	8.7	IX	4.0	III			
elektr. Leitfähigkeit	293.0	V	304.0	X, XI											
µS cm^{-1}, 20 °C	236.0	VIII	297.0	III											
pH-Wert	8.8	IV	8.2	III											
	8.1	I	7.9	X											
Chlorophyll a	7.4	IV	-	-											
(a) mg m^{-3}	0.3	I	-	-											

Tabelle 3

Vergleich von Messwerten der verschiedenen Teile des Bodensees - Obersee Seejahr 1999 / 2000 an den Stationen Fischbach-Uttwil (F), Langenargen-Arbon (L) und Bregenzer Bucht (B)

Messwerte in " 0 " m		**F**	**L**	**B**
Temperatur in °C				
	Maximum	21.1	21.5	21.1
	Minimum	4.6	4.7	3.3
Sauerstoff in mg O_2 l^{-1}				
	Maximum	15.7	14.1	12.5
	Minimum	9.2	9.3	8.6
Leitfähigkeit bei 20° C in µS cm^{-1}				
	Maximum	293.0	292.0	334.0
	Minimum	236.0	233.0	260.0
pH in pH-Einheiten				
	Maximum	8.8	8.7	8.3
	Minimum	8.1	8.2	8.0
Orthophosphat in mg PO_4-P m^{-3}				
	Maximum	11.9	10.9	10.0
	Minimum	0.8	0.9	2.0
Phosphor gelöst in mg P m^{-3}				
	Maximum	13.8	13.0	12.0
	Minimum	2.3	2.6	3.0
Phosphor total in mg P m^{-3}				
	Maximum	21.0	24.2	28.0
	Minimum	6.6	7.1	10.0
Nitrat in mg NO_3-N m^{-3}				
	Maximum	983.0	967.0	1035.0
	Minimum	485.0	488.0	483.0
Ammonium in mg NH_4-N m^{-3}				
	Maximum	19.6	14.5	55.4
	Minimum	3.0	0.7	3.1
Eisen total in mg Fe m^{-3}				
	Maximum	61.7	26.4	—
	Minimum	6.2	7.0	—
Kohlenstoff anorg. in mmol C l^{-1}				
	Maximum	2.5	2.5	2.6
	Minimum	2.0	2.0	2.0
Phosphor partikulär in mg P m^{-3}				
	Maximum	14.9	16.2	—
	Minimum	1.3	1.2	—
Stickstoff partikulär in mg N m^{-3}				
	Maximum	112.0	89.0	—
	Minimum	6.0	3.0	—

Messwerte in Seebodennähe		F 250m	L 200m	B 60m
Temperatur in °C				
	Maximum	4.6	4.6	5.5
	Minimum	4.4	4.4	3.6
Sauerstoff in mg O_2 l^{-1}				
	Maximum	10.8	10.8	12.1
	Minimum	7.0	8.4	7.3
Leitfähigkeit bei 20° C in µS cm^{-1}				
	Maximum	304.0	301.0	338.0
	Minimum	297.0	293.0	314.0
pH in pH-Einheiten				
	Maximum	8.3	8.3	8.3
	Minimum	7.9	7.9	7.9
Orthophosphat in mg PO_4-P m^{-3}				
	Maximum	28.2	28.1	16.0
	Minimum	10.3	12.2	6.0
Nitrat in mg NO_3-N m^{-3}				
	Maximum	1055.0	1039.0	1058.0
	Minimum	944.0	978.0	897.0
Ammonium in mg NH_4-N m^{-3}				
	Maximum	17.1	17.1	66.3
	Minimum	0.0	0.0	2.3
Eisen total in mg Fe m^{-3}				
	Maximum	79.9	101.3	—
	Minimum	8.1	9.2	—
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	38.5	56.9	34.0
	Minimum	15.0	17.3	19.0

Tabelle 4: Seekenndaten

Bodensee-Untersee (Zeller See), Seejahr 1999 (Messdaten vom 26.01.99 bis 25.01.00)

I-XII: Monate 1999; I-00: Januar 2000

Parameter	Messwerte (a)				Stoffinhalt (b)						Stoffbilanz (b)		
	Epilimnion (0-10 m)		Seebodennähe (1m über Grund)		See total				Epilimnion (0-10 m)				
	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit	Beginn 26.01.99	Ende 25.01.00	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit	Beginn bis Ende Seejahr	26.01.99 bis 20.07.99	20.07.99 bis 25.01.2000
Thermik	21.3	VII	14.0	VI	0.6	0.6	3.4	IX	2.1	VIII	0	3	-3
(a) °C, (b) 10^9 Kcal	2.2	I	2.8	II			0.5	II	0.3	II			
Sauerstoff	13.9	II	13.3	II	2360.2	2261.2	2528.3	II	1443.3	II	-218	-450	232
(a) mg l^{-1}, (b) t	9.0	VIII	0.6	IX			1438.1	IX	975.0	IX			
Orthophosphat - P	20.2	XI	291.1	IX	0.5	2.9	8.2	IX	2.1	XI	2	0	2
(a) mg m^{-3}, (b) t*	1.0	VI	1.3	II			0.2	II	0.1	VI			
Phosphor, hydrolisierb.	6.2	X	19.9	IX	0.7	0.7	1.0	IX	0.5	XII	0	0	0
(A) mg m^{-3}, (b) t*	2.3	VIII	3.7	VIII			0.6	VII	0.3	VII			
Phosphor, gelöst	24.9	XI	311.0	IX	1.2	3.7	9.2	IX	2.6	XI	2	0	2
(a) mg m^{-3}, (b) t*	3.9	VIII	5.3	II			0.9	II	0.5	II			
Phosphor, partikulär	20.1	II	29.5	IX	2.2	0.9	3.5	II	2.0	II	-1	-1	-1
(a) mg m^{-3}, (b) t*	3.5	I	3.4	I			0.9	I	0.5	I			
Phosphor, total	31.2	XI	340.5	IX	3.4	4.5	11.0	IX	3.3	XI	1	-1	2
(a) mg m^{-3}, (b) t*	10.0	VII	16.7	V			2.5	VI	1.2	VI			
Nitrat - N	1312.0	I	1572.0	I	200.1	244.7	244.7	I	138.3	I	31	-75	106
(a) mg m^{-3}, (b) t	417.0	IX	0.0	IX			75.2	IX	44.9	IX			
Nitrit - N	20.3	XI	52.0	IX	3.0	2.1	4.0	IX	2.2	XI	-1	-1	0
(a) mg m^{-3}, (b) t	4.1	V	3.2	VI			0.9	V	0.5	V			
Ammonium - N	58.6	XI	476.1	IX	1.0	3.2	15.4	IX	6.2	XI	2	2	0
(a) mg m^{-3}, (b) t	2.9	I	6.7	VI			1.0	I	0.4	I			
Silikat (SiO_2)	4.3	I	10.6	IX	462.6	806.9	806.9	I	459.3	I	302	-168	469
(a) mg l^{-1}, (b) t	1.0	VII, VIII	1.7	II			304.9	II	114.0	VIII			
Calcium	55.7	III	57.9	I	932.7	1016.0	1035.4	III	587.8	III	29	-85	113
(a) mg l^{-1}, (b) t	37.7	IX	48.1	XII			758.0	IX	404.6	IX			
Chlorid	10.0	II	13.3	I	1586.0	1788.3	1869.1	II	1065.2	II	107	-621	728
(a) mg l^{-1}, (b) t	4.8	VI	5.7	VI			961.4	VIII	541.8	IX			

Parameter	Messwerte (a)				Stoffinhalt (b)						Stoffbilanz (b)		
	Epilimnion (0 -10 m)		Seebodennähe (1m über Grund)		See total				Epilimnion (0 -10 m)				
	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit	Beginn 07.01.98	Ende 11.01.99	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit	Beginn bis Ende Seejahr	26.01.99 bis 20.07.99	20.07.99 bis 25.01.2000
Eisen total	4.5	XI	212.4	IX	2.4	3.2	5.8	II	0.4	XI	2	0	2
(a) mg m^{-3}, (b) t	0.2	IX	2.0	II			1.8	I	0.1	VII			
Kohlenstoff anorg.	31.9	I	34.2	IX	5332.4	5957.4	5957.4	I	3397.5	I	306	-351	658
(a) mg l^{-1}, (b) t	23.0	IX	29.3	XII			4656.9	IX	2457.4	IX			
Alkalinität	2.7	I	2.9	IX	448.1	500.6	500.6	I	285.5	I	26	-30	55
(a) mmol l^{-1}, (b) 10^3 kmol	1.9	IX	2.5	XII			391.3	IX	206.5	IX			
elektr. Leitfähigkeit	322.0	I	342.0	I									
µS cm^{-1}, 20 °C	236.0	IX	291.0	VI									
pH-Wert	8.7	VII	8.6	III									
	8.2	X	7.6	IX									
Chlorophyll a	8.8	IV	-	-									
Mittelwert 0-20m mg m^{-3}	2.7	VI	-	-									

Tabelle 5: Seekenndaten

Bodensee-Untersee (Rheinsee, Berlingen), Seejahr 1999 (Messdaten vom 11.01.99 bis 29.02.00)

I-XII: Monate 1999; I-00: Januar 2000

Parameter	Messwerte (a)				Stoffinhalt (b)						Stoffbilanz (b)		
	Epilimnion (0 -10 m)		Seebodennähe (1m über Grund)		See total				Epilimnion (0 -10 m)				
	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit	Beginn 11.01.99	Ende 29.02.00	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit	Beginn bis Ende Seejahr	11.01.99 bis 20.07.99	20.07.99 bis 29.02.2000
Thermik	21.9	VIII	7.9	X	237.1	219.7	890.1	VIII	460.2	VIII	-19	650	-669
(a) °C, (b) 10^9 Kcal	2.8	II	3.3	II			158.5	II	64.8	II			
Sauerstoff	13.6	IV	11.6	II	5456.3	5972.8	6248.5	IV	2852.6	IV	475	-1199	1674
(a) mg l^{-1}, (b) t	8.4	VIII	0.6	XI			3385.2	IX	1990.3	IX			
Orthophosphat - P	11.0	II	135.0	XI	2.9	4.4	6.6	XI	1.9	II	1	1	0
(a) mg m^{-3}, (b) t	0.0	V	3.0	IV			0.7	V	0.1	V			
Phosphor, hydrolisierb.	6.0	I	7.0	I, IV	2.2	2.0	2.3	IV	1.0	IV	0	-2	1
(A) mg m^{-3}, (b) t	0.0	VIII	0.0	IX			0.7	VIII	0.2	VIII			
Phosphor, gelöst	15.0	II	137.0	XI	5.1	6.4	8.3	XI	2.8	II	1	0	1
(a) mg m^{-3}, (b) t	2.0	VIII	8.0	II			2.5	V	0.5	VIII			
Phosphor, partikulär	13.0	IV, V	35.0	XI	2.0	2.3	5.6	IV	2.5	V	0	2	-2
(a) mg m^{-3}, (b) t	4.0	I, XII, II	4.0	I			2.0	I	0.9	I			
Phosphor, total	20.0	II	174.0	XI	7.2	8.7	12.6	XI	3.7	IV	1	2	-1
(a) mg m^{-3}, (b) t	10.0	VIII	16.0	II			7.2	I	2.3	VIII			
Nitrat - N	930.0	I, III	1130.0	IV	468.7	395.9	469.7	III	200.3	I	-76	-129	53
(a) mg m^{-3}, (b) t	400.0	IX	390.0	XI			264.2	IX	89.3	IX			
Nitrit - N	13.0	IX	21.0	XI	3.7	1.4	7.3	V	2.8	IX	-2	0	-2
(a) mg m^{-3}, (b) t	2.0	II	3.0	III, VI			1.4	III	0.4	II			
Ammonium - N	31.0	VIII	122.0	XI	6.5	2.8	12.3	V	5.3	XII	-4	2	-6
(a) mg m^{-3}, (b) t	2.0	II	7.0	VI			2.8	II	1.9	III			
Silikat (SiO_2)	3.5	II	10.3	XI	1184.6	1750.7	1750.7	II	750.6	II	553	-179	732
(a) mg l^{-1}, (b) t	0.7	VIII	2.5	I			1026.4	VIII	179.7	VIII			
Calcium	50.7	III	54.9	IV	2503.1	2586.0	2574.6	V	1091.5	III	22	-146	168
(a) mg l^{-1}, (b) t	37.3	VIII	47.1	XII			2162.7	VIII	829.5	VIII			
Chlorid	6.1	III-V	9.4	IV	2878.3	2853.7	3008.7	IV	123.0	III	-51	-553	502
(a) mg l^{-1}, (b) t	3.8	VIII	5.3	XII			2219.8	VI	83.9	VIII			

Parameter	Messwerte (a)				Stoffinhalt (b)						Stoffbilanz (b)		
	Epilimnion (0 -10 m)		Seebodennähe (1m über Grund)		See total				Epilimnion (0 -10 m)				
	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit	Beginn 21.01.98	Ende 11.01.99	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit	Beginn bis Ende Seejahr	11.01.99 bis 20.07.99	20.07.99 bis 29.02.2000
Kohlenstoff anorg.	29.9	IV	32.8	XI	1463.5	1504.1	1514.2	V	639.8	V	30	-124	154
(a) mg l^{-1}, (b) t	22.4	VIII	27.8	XII II			1303.7	VIII	502.7	VIII			
Alkalinität	2.5	IV	2.8	XI	123.0	126.4	127.2	V	53.8	V	3	-10	13
(a) mmol l^{-1}, (b) 10^3 kmol	1.9	VIII	2.3	XII II			109.6	VIII	42.2	VIII			
UV - Extinktion	0.05	V	0.04	VIII									
m^{-1} (260 nm), d = 5 cm	0.03	VIII, XII	0.03	IV									
elektr. Leitfähigkeit	299.0	III	330.0	IV									
µS cm^{-1}, 20 °C	230.0	IX	280.0	XII									
pH-Wert	8.6	VIII	8.4	II									
	8.1	XII	7.8	IX									
Chlorophyll a+b	7.2	X	7.0	II									
mg m^{-3}	2.2	XII	0.4	V									

Tabelle 6

Vergleich von Messwerten der verschiedenen Teile des Bodensee - Untersees Seejahr 1999 / 2000 an den Stationen Zeller See (Z), Rheinsee Station Berlingen (R)

Messwerte in " 0 " m		**Z**	**R**
Temperatur in °C			
	Maximum	21.3	21.9
	Minimum	2.2	4.4
Sauerstoff in mg O_2 l^{-1}			
	Maximum	13.0	13.6
	Minimum	9.2	9.3
pH in pH-Einheiten			
	Maximum	8.8	8.6
	Minimum	8.2	8.1
Orthophosphat in mg PO_4-P m^{-3}			
	Maximum	19.7	11.0
	Minimum	1.1	1.0
Phosphor partikulär in mg P m^{-3}			
	Maximum	23.5	15.0
	Minimum	4.6	3.0
Nitrat in mg NO_3-N m^{-3}			
	Maximum	1319.0	880.0
	Minimum	420.0	410.0
Ammonium in mg NH_4-N m^{-3}			
	Maximum	57.2	26.0
	Minimum	5.1	5.0
Eisen total in mg Fe m^{-3}			
	Maximum	22.9	—
	Minimum	7.4	—

Messwerte in Seebodennähe		**Z** **22 - 24m**	**R** **44 - 46m**
Temperatur in °C			
	Maximum	13.5	7.9
	Minimum	3.3	4.0
Sauerstoff in mg O_2 l^{-1}			
	Maximum	12.6	11.6
	Minimum	0.4	0.6
pH in pH-Einheiten			
	Maximum	8.6	8.3
	Minimum	7.6	7.8
Orthophosphat in mg PO_4-P m^{-3}			
	Maximum	430.1	135.0
	Minimum	2.9	3.0
Nitrat in mg NO_3-N m^{-3}			
	Maximum	1650.0	1130.0
	Minimum	0.0	390.0
Ammonium in mg NH_4-N m^{-3}			
	Maximum	706.4	122.0
	Minimum	6.7	7.0
Eisen total in mg Fe m^{-3}			
	Maximum	260.5	—
	Minimum	18.3	—

ANHANG

Bericht über die
Untersuchungen zum Seebodenzustand im Jahr 1999

1. Untersuchungen im Transekt Fischbach-Uttwil

Die bei der 37. Kommissionstagung im Jahr 1991 beschlossenen Seebodenuntersuchungen wurden nach einer ersten Untersuchungsserie in den Jahren 1992-1994 (Blauer Bericht Nr. 45) im März 1999 fortgesetzt. Es wurde wieder ein Transekt zwischen Fischbach und Uttwil mit 5 Stationen beprobt (Abb.1). Die oberen 5 cm der entnommenen Sedimentkerne wurden im Hinblick auf Korngröße, mineralische Zusammensetzung, Verteilung unterschiedlicher P-Fraktionen und Besiedlung durch Oligochaeten untersucht. Besondere Aufmerksamkeit wurde darauf verwendet, auch die oberste „jüngste" Sedimentschicht zu erfassen.

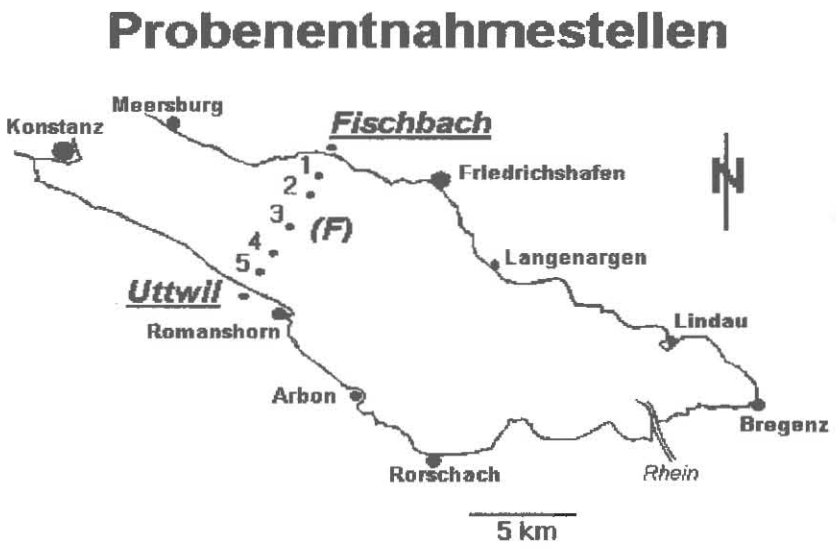


Abb. 1: Lage der Probenpunkte

Sedimentologische Untersuchungen

Die makroskopischen Sedimentstrukturen der 99er Kerne gleichen denen der Kampagnen 1992-94. Der Sedimentzuwachs seit 1994 liegt bei den Kernen 1, 2 und 3 (nördliche Seehälfte und Seemitte) bei rund 1,4 cm und bei den Kernen 4 und 5 (südliche Seehälfte) bei 0,4 cm. Dies entspricht den durch Cäsiummessungen bestimmten Sedimentationsraten und belegt weiterhin die Rheinzuflußdominanz im nördlichen Obersee.

Die Messwerte der beprobten oberen 5cm (anorganischer und organischer Kohlenstoff, Schwefel, Korngrößen) zeigen ähnliche Verläufe wie die früheren Erhebungen (Abb. 2). Die 99er Schwefelwerte sind an der Sedimentoberfläche bei allen Kernen geringfügig niedriger als in den Jahren 92-94. Im Gegensatz zu den Gehalten von organischem Kohlenstoff zeigen alle Kerne zur Oberfläche hin einen Rückgang der Schwefelgehalte. Dieser Effekt wurde auch schon bei den Messungen 92-94 beobachtet und dürfte auf diagenetische Prozesse (Lösung / Verlagerung) zurückzuführen sein.

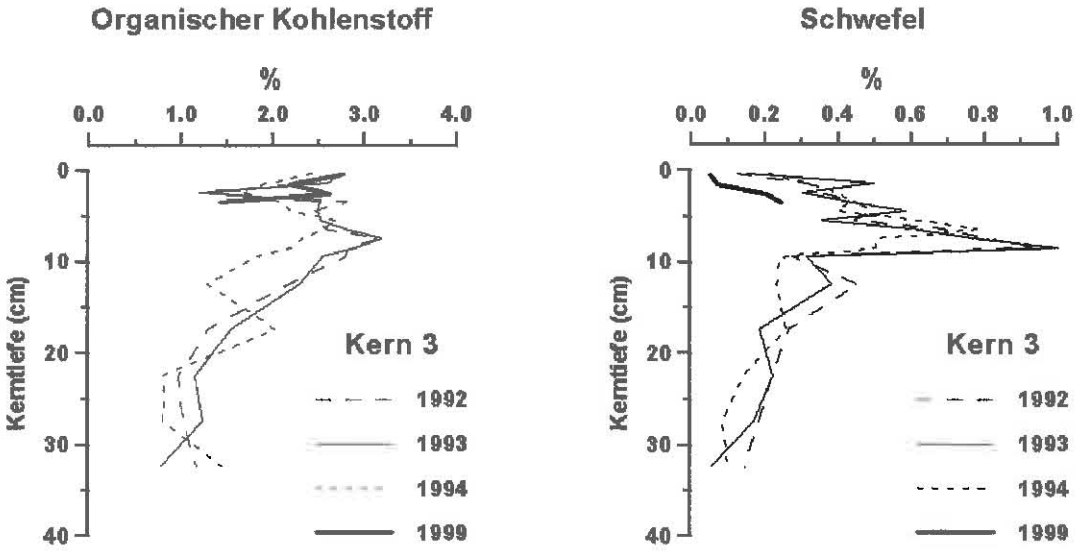


Abb. 2: Gehalte von organischem Kohlenstoff und Schwefel in Sedimentkern 3 (Position Seemitte / -252 m)

Die Sedimente von Kern 5 zeigen charakteristische Calcitpartikel, die aus der seeinternen Calcitfällung stammen. Durch Algen verursachte Lochmuster und eingewachsene Diatomeengehäuse (Abb. 3) belegen die biogen induzierte Herkunft der Minerale. An einzelnen Gehäusen der Grünalge *Phacotus* finden sich calcitische Kristall-Aufwuchs-Strukturen, die ebenfalls im Zuge der biogenen Kalkfällung entstanden sein können (Abb. 4).

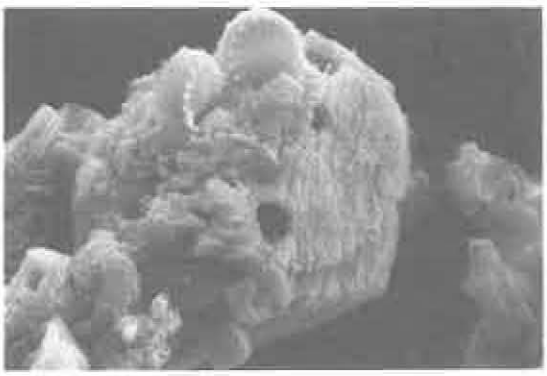


Abb 3: Calcitkristall mit Gehäusen von Kieselalgen und Löchern (Bildbreite: 38 µm)

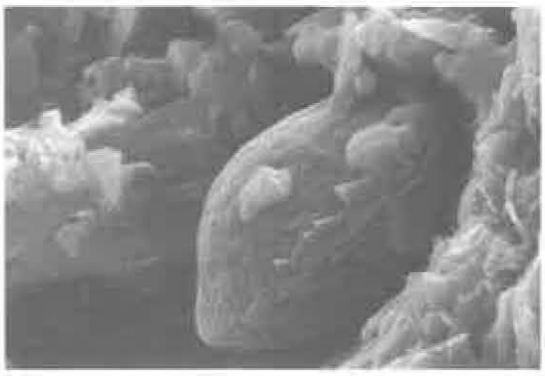


Abb. 4: Gehäuse der Grünalge *Phacotus* mit aufgewachsenen Calciten (Bildbreite: 25 µm)

Phosphor-Fraktionen

Auch hier ergab sich ein im Grundsatz ähnliches Bild wie bei der vorangegangenen Untersuchungsserie 1992-94 mit einer Abnahme der Gesamt-Phosphorgehalte von Nord-nach Süd.
Bemerkenswert ist jedoch, dass in allen Proben im Vergleich zum entsprechenden Mittelwert der vorangegangenen Kampagne 1992-94 um bis zu 20 %. niedrigere P-Gesamtmengen gefunden wurden (Abb. 5). Dieser Rückgang ist insbesondere eine Abnahme der reduktiv (unter sauerstofffreien Bedingungen) löslichen P-Fraktion in den Schichten unterhalb des ersten Zentimters bedingt. Der oberste Zentimeter wies dagegen vergleichbar hohe P-Konzentrationen wie 1992-94 auf . Diese Phosphor-Anreicherung im obersten Zentimeter kann mit reduktiver Rücklösung im sauerstofffreien Milieu der unteren Zentimeterschichten und Wiederausfällung im oberen sauerstoff-haltigen Zentimeter erklärt werden. Danach kann der sich abzeichnende Trend zur Abnahme der Gesamt- P-Gehalte in den oberen Sedimentschichten so erklärt werden, daß sich in den letzten Jahren die Rücklösung aus den unteren Sedimentschichten gleichbleibend fortgesetzt hat, während der Nachschub des auf den Seeboden sedimentierenden Phosphors aus der absinkenden Planktonbiomasse abgenommen hat. Diese Folgerung wird durch die im Rahmen der Intensivuntersuchungen 1995/96 durchgeführten direkten Messungen der P-Sedimentation gestützt.

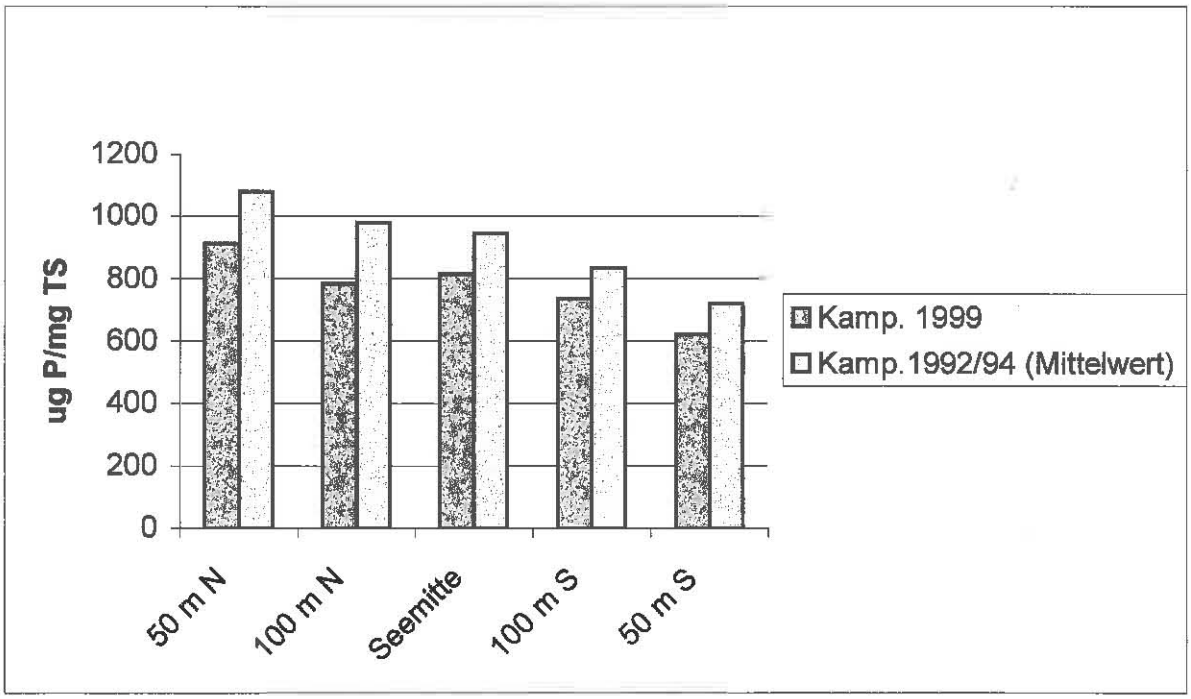


Abb. 5: Vergleich der Gesamt P-Gehalte in den oberen 4 cm Sedimentschichten des Transekts Fischbach-Uttwil

Zusammensetzung der Oligochaetenpopulationen (Schlammröhrenwürmer)

Die horizontale Verteilung der Gesamtmenge war ähnlich wie 1992-94 mit abnehmenden Individuendichten von Nord nach Süd (Abb. 6). Dabei zeigten aber die Gesamtmengen einen abnehmenden Trend im Vergleich zu früheren Untersuchungen. Bemerkenswert waren einige Verschiebungen in der Zusammensetzung der Lebensgemeinschaft, die vor allem durch eine Abnahme des Anteils von *Tubifex tubifex* zugunsten von *Potamothrix heuscheri* (Nordstationen) und *Potamothrix hammonensis* (Südstationen), sowie durch das Fehlen des früher regelmäßig beobachteten *Limnodrilus profundicola* gekennzeichnet war. Bemerkenswert war auch, dass erstmals die nur geringe Belastungen anzeigende Art *Stylodrilus heringianus* beobachtet wurde. Wegen der insgesamt geringen Individuenzahlen ist jedoch die statistische Basis für verallgemeinernde Aussagen noch unzureichend.

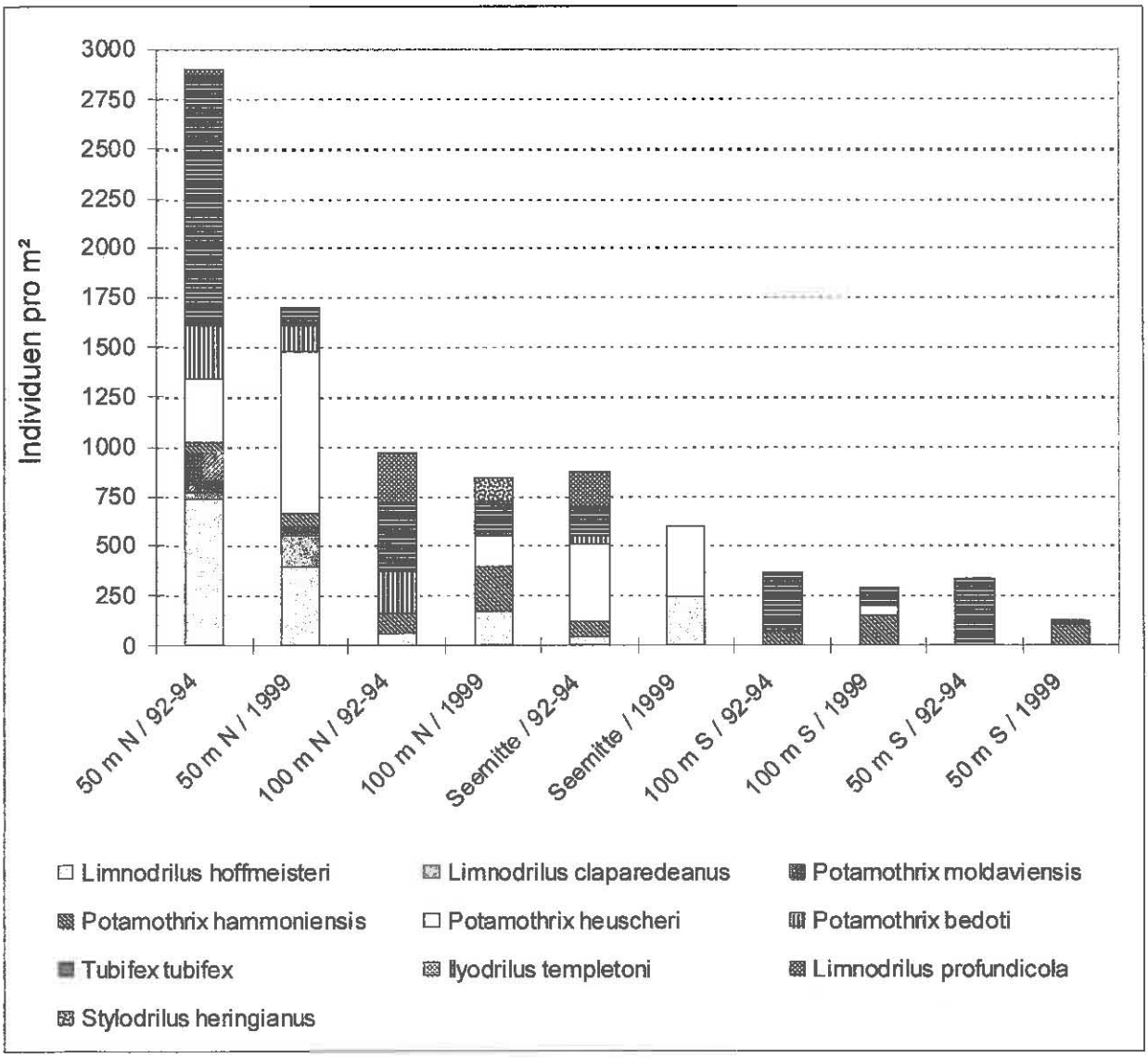


Abb. 6: Vergleich von Abundanz und Zusammensetzung der Oligochaeten im Transekt Fischbach-Uttwil

2. Probenkampagne nach dem Hochwasser 1999

Nach dem Jahrhunderthochwasser 1999 wurden in einer Kampagne im September 11 Sedimentkerne im östlichen und zentralen Obersee außerhalb des Rheindeltas entnommen und auf mögliche hochwasserbürtige Ablagerungen untersucht.
Die Strukturen des Seemitte-Kerns (Position IGKB Kern 3) zeigten keine markanten Hochwasserauflagen, und aktuelle Cäsiummessungen ergaben auch keine Hinweise auf erhöhten Sedimenteintrag in diesem Gebiet (Abb7.). Hieraus läßt sich schließen, daß im Gegensatz zum Hochwasser 1987 der Rhein beim 1999er Hochwasser zum Feststoffeintrag nach Seemitte weniger beigetragen hat.
Ein Sedimentkern aus 102 m Wassertiefe vor Wasserburg zeigt zwar eine deutliche Ablagerung des Hochwassers 1999, sie fällt jedoch mit 5 cm Mächtigkeit deutlich geringer aus als die 10 cm dicke Hochwasserablagerung aus dem Jahr 1987 (Abb. 8).

Bodensee - Obersee
Seemitte Fischbach / Uttwil - 253 m
Juli 1999

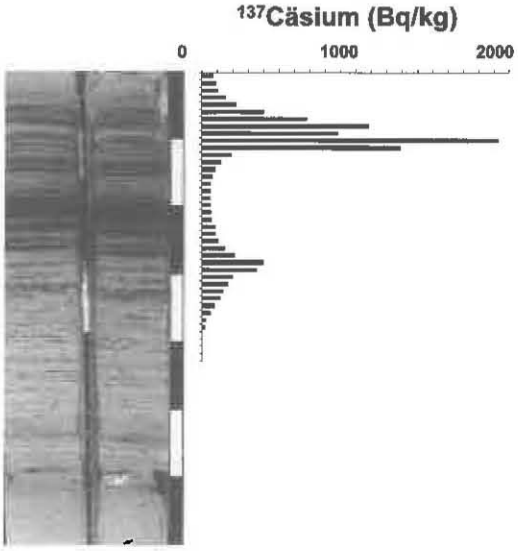


Abb. 7: Sedimentkern 3
Kernlänge 35 cm)

Bodensee - Obersee
vor Wasserburg - 102 m
September 1999

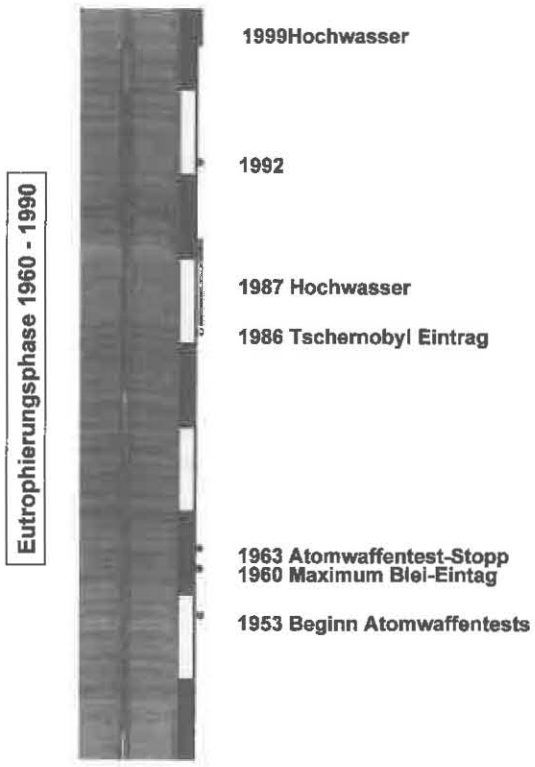


Abb. 8: Sedimentkern der Station
Wasserburg (Kernlänge 90 cm)

Beide Hochwasserschichten, die aus dem Jahre 1987 und die aus dem Jahre 1999, sind deutlich strukturiert. Sie bestehen aus mehreren unterschiedlich dicken und verschieden gefärbten Sedimentlagen und sind jeweils an der Basis aus grobkörnigeren Lagen aufgebaut, die von feinkörnigen Ablagerungen überdeckt werden. Hieraus läßt sich ablesen, daß die Hochwässer in mehreren Schüben abgelaufen sind, die jeweils unterschiedliche Materialien antransportiert haben.
In den 1999er Hochwasserablagerungen des Wasserburger Kerns steigt der Calcitgehalt zur Oberfläche hin deutlich an, gleich-zeitig sinken Dolomitgehalt und Gehalt an organischem Kohlenstoff.

Hieraus läßt sich erkennen, daß offensichtlich mit der ersten Hochwasserwelle organisches Material und Dolomit stärker eingetragen wurden.
Die regionalen Verteilungen der Schichtmächtigkeiten der Hochwasserablagerungen von 1987 und 1999 sind sehr unterschiedlich. Während die Mächtigkeiten der Sedimente des 1987er Hochwassers im Osten des Obersees zur Rheinmündung hin am größten sind und zum zentralen See hin abnehmen, sind die Ablagerungen des 1999er Hochwassers im Nordosten stärker und nehmen nach Südwesten ab. Dies ist ein weiteres Indiz für die dominante Rolle des Rheins beim Hochwasser 1987 und den starken Anteil kleinerer Zuflüsse aus dem Nordosten beim Hochwasser 1999.

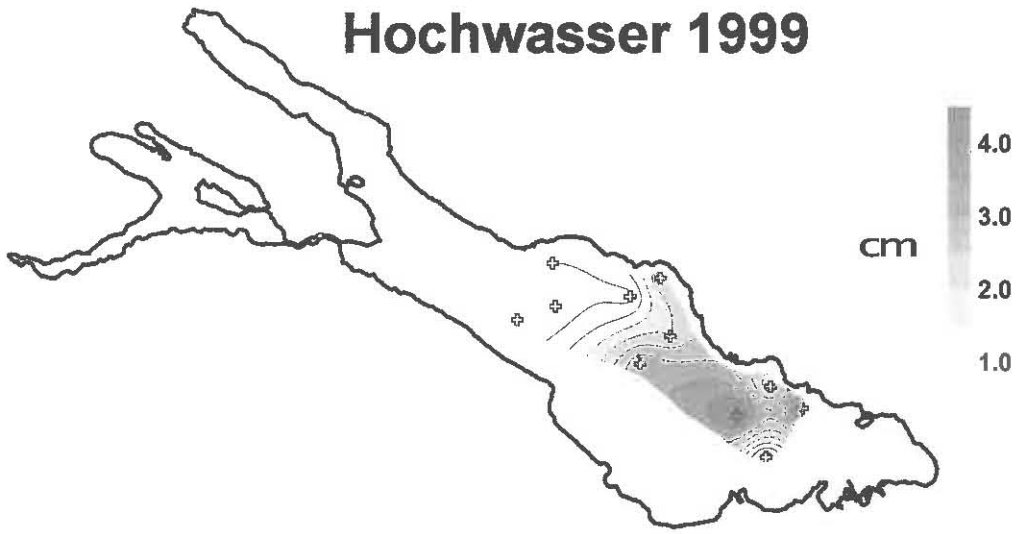


Abb. 10: Schichtmächtigkeiten der Hochwasserlage 1999

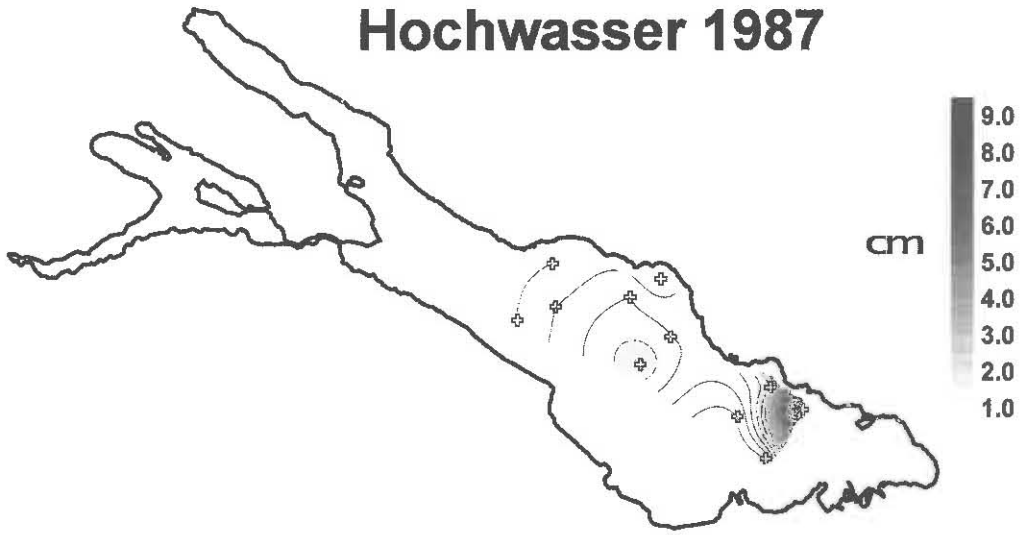


Abb. 11: Schichtmächtigkeiten der Hochwasserlage 1987

Zusammenfassende Bewertung:

Insgesamt ergaben die Untersuchungen 1999 hinsichtlich ihrer Nord-Süd-Verteilung und der vertikalen Schichtung sedimentologischer Parameter zwar ein grundsätzlich ähnliches Bild wie 1992-94. Dennoch können sowohl ein sich abzeichnender Rückgang des Phosphorgehalts in den oberen Sedimentschichten als auch eine mit Artverschiebungen verbundene Abnahme der Gesamtmenge der Schlammröhrenwürmer als erste Anzeichen dafür gesehen werden, dass die Re-Oligotrophierung nun auch mit langer Verzögerung am Seeboden sichtbar wird. Durch eine Wiederholung der Untersuchungskampagne im Jahr 2001 soll geprüft werden, ob sich dieser Trend bestätigt.

Das Hochwasser 1999 hat zu geringeren Sedimentablagerungen als das Hochwasser von 1987 geführt, die sich zudem vorzugsweise in den Sedimentkernen der nordöstlichen Seeareale und weniger im zentralen Seebereich niederschlugen. Diese Befunde weisen darauf hin, daß der Beitrag des Rheins zum Hochwasser 1999 im Vergleich zu dem von 1987 zurücktritt.

AUSKÜNFTE

Baden-Württemberg:	Institut für Seenforschung der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg Argenweg 50/1 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

Berichtigung

Im Grünen Bericht Nr. 26 wurde in der Gesamtbewertung des Seezustands unter Punkt 3. Schadensabwehr (Seite 13) der Anteil der wassergefährdenden Stoffe mit 50 % angegeben. Diese Angabe wird wie folgt berichtigt: „Rund 90% dieser Gefahrgüter sind wassergefährdend".