Internationale Gewässerschutzkommission

für den

Bodensee

Limnologischer Zustand des Bodensees

Nr. 25

Jahresbericht Januar 1997 bis März 1998

ISSN 1011-1271

ISSN 1011-1271 Jber.Int.Gewässerschutzkomm. Bodensee: Limnol.Zust.Bodensee
25 (1998)

Internationale Gewässerschutzkommission
für den
Bodensee

Limnologischer Zustand des Bodensees

Nr. 25

Jahresbericht Januar 1997 bis März 1998

Bearbeiter: H. Müller

-1998-

VORWORT

Der vorliegende Bericht der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB) enthält die Ergebnisse der regelmäßigen limnologischen Freiwasseruntersuchungen des Bodensees im Jahr 1997 / 98. 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. 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
Dipl.-Chem. Walter Schnegg, Frauenfeld
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.

I n h a l t

	Seite	Abb.	Tab
Einleitung	5	1	1
Zustandsbeschreibung für das Seejahr 1997 - 1998 (Obersee und Untersee)	6		
Langfristige Entwicklung von			
Phosphor (Obersee)		2A	
Stickstoff (Obersee)		2C	
Chlorid (Obersee)		2C	
Sauerstoff (Obersee)		2B	
Phytoplankton (Obersee)		3	
Zooplankton (Obersee)		4	
Phytoplankton (Untersee, Zellersee)		5	
Obersee			
Abbildungen und Tabellen			
Witterung		6	
Wasserstände		7	
Thermik		8, 9	2
Sauerstoff		10, 11	2
Orthophosphat		12, 15, 23	2
Andere Phosphorverbindungen		13, 14, 15, 23, 24	2
Nährstoffinhalt		15, 23	2
Nitrat		16, 23	2
Nitrit		17, 23	2
Ammonium		18, 23	2
Stickstoff partikulär		19, 24	2
Silikat		20, 23	
Anorganische Kohlenstoffverbindungen und Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht		21, 22, 23	2
Eisen und Mangan		25	2
Weitere Stoffdaten			2
Phytoplankton		26 - 27	
Zooplankton		28 - 30	
Bakterienplankton		31	

Untersee	Zellersee		Rheinsee	
Abbildungen und Tabellen	Abb.	Tab	Abb.	Tab
Thermik	32, 33	4	52, 53	5
Sauerstoff	34, 35	4	54, 55	5
Orthophosphat	36, 39, 44 45	4	56, 59, 64, 65	5
Andere Phosphorverbindungen	37, 38 39,44	4	57, 58, 59, 64	5
Nährstoffinhalt	39, 44	4	59, 64	5
Nitrat	39, 40, 44, 45	4	59, 60, 64, 65	5
Nitrit	41	4	61	5
Ammonium	39, 42, 44, 45	4	59, 62, 64, 65	5
Silikat	43, 44, 45	4		5
Anorganische Kohlenstoff - verbindungen und Kalk - Kohlensäure - Gleichgewicht	46, 47	4	66, 67	5
Eisen	45, 48	4		5
Weitere Stoffdaten		4		5
Phytoplankton	49 - 51, 69	4	68, 69	5

Vergleich des limnologischen Zustandes an verschiedenen Untersuchungsstationen im

Obersee	Tab. 3
Untersee	Tab. 6

Auskünfte

EINLEITUNG

Der Bericht zum Seejahr 1997/98 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 1997/98

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

Die Phosphorkonzentration nahm im Seejahr 1997/98 weiterhin leicht ab und betrug im Frühjahr 1998 noch 17 mg/m³ (1997: 18 mg/m³). Der Gehalt an anorganischem Stickstoff - im wesentlichen Nitrat - nahm von 0,97 auf 0,98 g/m³ unwesentlich zu. Die Biomasse des Phytoplanktons entsprach 1997 mit 13,3 g/m³ praktisch dem Vorjahreswert (13,4 g/m³). Die Sauerstoffgehalte im tiefen Hypolimnion lagen von März 1997 bis April 1998 generell unter den Werten im selben Zeitraum des Vorjahres. Der Minimalwert bei einem Meter über Grund war 1997 mit 6,5 g/m³ so hoch wie 1996.

Die **hydrologische Situation** war durch ein überdurchschnittlich warmes Jahr mit überwiegend mildem Winter gekennzeichnet. Die mittlere Lufttemperatur war im Seejahr um 0,2°C zu warm. Nur an 24 Tagen trat Frost im Tagesmittel auf gegenüber noch 38 im mäßigen Winter 1996/97.

Die Oberflächentemperatur des Sees stieg im April, der zu kalt verlief, nur bis 8,0°C an. Danach verlief die Erwärmung entsprechend den nahezu mittleren meteorologischen Verhältnissen und erreichte Mitte Juni den Wert von 19,5°C. Durch eine relativ starke Kaltluftphase bis Anfang Juli sank die Wassertemperatur bis 16,8°C ab. Während des insgesamt zu kalten Monats Juli verlief die weitere Erwärmung schwach. Infolge dieser Vorgeschichte und des überdurchschnittlich warmen Augusts trat das Maximum von 23,3°C erst zum Ende dieses Monats ein. Es lag somit einen Monat später und knapp zwei Grad höher als im Vorjahr.

Als Folge der kurzfristigen, starken Erwärmung verblieben die Oberflächentemperatur während der nur um 0,5°C zu kalten Monate September und Oktober um ungefähr zwei Grad höher und die Deckschicht um drei Meter geringer als im Vorjahr. Bis Ende November sank die Temperatur durch vier Frosttage auf 8,4°C, was ein Grad weniger im Vergleich zum Vorjahreswert war. Von Dezember an herrschten im Mittel milde Winterverhältnisse, so daß bis Ende März 1998 insgesamt höhere Temperaturen bestanden, die zeitweise bis zu einem Grad höher als im Vorjahr waren. Die niedrigste Oberflächentemperatur von 4,8°C wurde nach dem 7. Februar gemessen, als die kälteste Phase des Winters von 17 Tagen mit Tagesmitteltemperaturen unter Null beendet war.
Die vertikale Durchmischung, die während Februar und März 1996 sehr ausgeprägt und auch im Winter 1996/97 bis auf eine wenige Meter dicke Schicht über Grund fast vollständig ausgebildet war, reichte bis Anfang Februar 1998 erst 80 m tief. Sie drang

bis zur zweiten Märzhälfte nur bis 130 m vor, als sich durch die einsetzende Erwärmung bereits eine schwache neue Deckschicht gebildet hatte.

Das tiefe Hypolimnion wurde während des gesamten Winters nur durch seitliche, generell vom Boden abgehobene Zuströmungen teilweise erneuert. Ende März wies der Obersee über die gesamte Wassersäule Schichtungen auf. Die Temperaturen der bodennahen Wasserschicht nahmen während des gesamten Seejahres monoton von 4,36°C auf 4,45°C zu, ohne daß ein relatives Minimum eintrat.

Insgesamt verlief die vertikale Durchmischung 1997/98 im Vergleich zu den beiden Vorjahren sehr unvollständig.

Die Konzentration des **Gesamtphosphors** im Rohwasser betrug im Frühjahr 1998 während der Monate Februar bis April im Mittel 17 mg/m³ (Abb. 2A, Konzentration während der Vollzirkulation). Damit hat sich die Phosphorabnahme der letzten Jahre, wenn auch abgeschwächt, fortgesetzt (Frühjahr 1997: 18 mg/m³; 1996: 22 mg/m³; 1995: 24 mg/m³).

Der **Orthophosphat-Phosphor** lag von Mai bis Anfang Dezember 1997 in den Meßtiefen zwischen 0 und 20 m fast immer unter 2 mg/m³.

Der **anorganische Stickstoff** (N aus NO_3^- + NO_2^- + NH_4^+) mit Nitrat als Hauptkomponente lag 1997 im volumengewichteten Jahresmittel mit 0,98 g/m³ nur geringfügig über dem Niveau des Vorjahres (1996: 0,97 g/m³; Abb. 2C).

Chlorid als Indikator vielfältiger Salzbelastungen erreichte 1997 im volumengewichteten Jahresmittel mit 5,0 g/m³ den gleichen Wert wie im Vorjahr (Abb. 2C).

Die **Sauerstoffgehalte** waren von März 1997 bis April 1998 im tiefen Hypolimnion des Obersees von 200 - 253 m Tiefe überwiegend geringer als im gleichen Zeitraum ein Jahr davor. Auch im März und April 1998 lagen die Konzentrationen erheblich unter jenen des Vorjahres. Der einen Meter über Grund gemessene Minimalwert von 6,5 mg/l entsprach jenem von 1996 und wurde ebenfalls Ende Oktober erreicht (Abb. 2B).

Eine für den Sauerstoffgehalt des Sees so günstige und tiefgreifende Vertikalzirkulation wie im Februar/März 1996 wurde im Jahre 1997 nicht erreicht. Der damit verbundene fehlende Sauerstoffeintrag ins tiefe Hypolimnion prägte den Sauerstoffhaushalt das ganze Jahr über. Stets blieben deshalb die Sauerstoffinhalte des tiefen Hypolimnions 1997 unter jenen des Vorjahres.

Der durchschnittliche Sauerstoffinhalt des Obersees der Monate März und April 1998 lag mit 501 000 Tonnen noch niedriger als in den Vorjahren mit 520 000 (1997) und 506 000 Tonnen (1996). Dies rührt daher, daß im relativ milden Winter 1997/98 große vertikale Temperaturunterschiede erhalten blieben und daher der Tiefenwasserkörper im Vergleich zu 1997 nur sehr unvollständig in die Zirkulation eingebunden wurde (s.o.). Das Seejahr 1998 begann daher mit einem erheblichen Sauerstoffdefizit gegenüber den letzten Jahren.

Das **Phytoplankton** erreichte 1997 im Jahresmittel eine Biomasse von 13,3 g/m² (0 - 20 m Tiefe) und lag damit in Höhe des Vorjahres (13,4 g/m²). Die nach einem seit 1988 nahezu kontinuierlichen Rückgang erreichten niederen Werte von 1994 und 1995 (10,2 bzw. 10,0 g/m²) wurden damit in den beiden letzten Jahren wieder deutlich überschritten (Abb. 3).

Das Maximum der Frühjahrsentwicklung lag mit rund 24 g/m² im März und April unter dem Wert des Vorjahres (43,3 g/m²). Das Sommermaximum Mitte August war dagegen mit 43 g/m² mit dem des Vorjahres (43,9 g/m²) vergleichbar.

Während bei der Biomasse die Tendenz der weiteren Abnahme derzeit zum Stillstand gekommen ist, hat sich die qualitative Zusammensetzung des Planktons gegenüber den Vorjahren erheblich geändert: Während die Frühjahrsblüten noch in den Vorjahren von Stephanodiscus-Arten dominiert wurden, sind diese inzwischen großteils von Cyclotella-Arten verdrängt worden, die allgemein als Oligotrophierungs-Anzeiger angesehen werden. Aber auch im Hochsommer dominierten die Cyclotellen und bildeten den größten Teil des sommerlichen Maximums. Coccale Grünalgen, die zum großen Teil höhere Nährstoffkonzentrationen bevorzugen, erreichten nur noch einen unbedeutenden Anteil an der Biomasse, ebenso die Blaualgen. Die pennaten Kieselalgen traten im Hochsommer in den Vordergrund, wobei vor allem Diatoma elongatum dominierte, während Fragilaria zurücktrat. Die Chrysophyceen erschienen vor allem im Sommer mit Ochromonas und Dinobryon. Dies ist ebenfalls ein deutliches Zeichen einer qualitativen Verschiebung in der Planktonzusammensetzung zu oligotraphenten Arten hin (Abb. 26, 27).

Die Abundanz der **planktischen Crustaceen** ist im Vergleich zum Vorjahr wieder leicht angestiegen. Die Jahresmittelwerte lagen zwischen 9 % (Daphnia) und 23 % (Eudiaptomus, Cyclops) höher als 1996. Trotz dieses Anstiegs lagen die Werte aber immer noch deutlich niedriger als in früheren Jahren. Ob sich die Abundanzwerte der Crustaceen auf diesem niedrigen Niveau stabilisieren und ob dies als Effekt der Re-Oligotrophierung gewertet werden kann, bleibt abzuwarten.

Wie schon im Vorjahr stieg die Population der **Daphnien** erst relativ spät Ende Mai bis Anfang Juni an. Da die Futterkonzentrationen schon ab März günstig waren, ist der späte Populationsanstieg wohl durch die bis in den April hinein niedrigen

Wassertemperaturen unter 7°C bedingt. Nach dem Klarwasserstadium Anfang Juni stieg die Populationsdichte wegen der günstigen Futterbedingungen im Sommer bis Oktober wieder an.

Die Bestände der **übrigen Cladoceren** (Bosmina, Bythotrephes und Leptodora) lagen im Jahresmittel 15 % höher als im Vorjahr. Die saisonale Abundanzentwicklung läßt im Vergleich zum Vorjahr keine wesentliche Änderung erkennen.

Auch bei dem **Copepoden Eudiaptomus gracilis** zeigte sich in der jahreszeitlichen Populationsentwicklung kein auffälliger Unterschied zum Vorjahr. Lediglich bei den erwachsenen Tieren war die Abundanz im Mai wesentlich höher.

Bei den **cyclopoiden Copepoden** (Cyclops sp.) war die Abundanz der Copepodite (Larvenstadien) und insbesondere der erwachsenen Tiere zumindest bis September höher als im Vorjahr. Anschließend lagen die Werte wiederum besonders bei den erwachsenen Tieren niedriger. Die Frühjahrswerte 1998 zeigten eine deutliche Dominanz von Mesocyclops leuckarti, während die Individuendichten von Cyclops abyssorum und C.vicinus sehr niedrig waren. Obwohl man davon ausgehen kann, daß diese Verschiebung in der Artendominanz wahrscheinlich auch im Bodensee ein "Oligotrophierungs - Effekt" ist, muß dies durch weitere Untersuchungen bzw. gezielte Auswertung der Daten direkt nachgewiesen werden (Abb. 28 - 30).

Die **Bakterien** - bestimmt durch Direktzählung - zeigten im Berichtsjahr innerhalb der Produktionszone (0 -20 m) im Gesamtmuster einen von den langjährigen mittleren Beobachtungen kaum abweichenden Verlauf. Schon im März wurde ein erster Anstieg der Zelldichten auf 2,3 x 10^6 Bakterien/ml beobachtet. Danach fielen die Dichten - vermutlich im Zusammenhang witterungbedingter tieferer Durchmischung im April - wieder ab. Sie erreichten dann das langjährig regelmäßig Ende April bis Mitte Mai beobachtete Frühjahrsmaximum, das mit 5,4 x 10^6 Bakterien/ml im Bereich der Vorjahre lag, allerdings im Vergleich zu den entsprechenden Maxima der 80er Jahre niedriger ausfiel. Der darauffolgende Abfall auf Werte zwischen 3 und 4 x 10^6 Bakterien/ml währte vergleichsweise lange bis Ende Juli. Ein Sommermaximum Mitte August fiel mit 4,8 x 10^6 Bakterien/ml wiederum vergleichsweise schwach aus. Mit Ausnahme eines kurzen Zwischenanstieges im Oktober sanken danach die Bakteriendichten nahezu stetig bis zum Winter ab und erreichten im Februar das winterliche Minimum von 0,8 x 10^6 Bakterien/ml (Abb. 31).

Insgesamt bestätigen die im Jahr 1997 gemachten Beobachtungen einen leichten Trend zu verringerten Bakteriendichten, der wohl als indirekte Folge der verringerten Nährstoffversorgung gesehen werden kann. Allerdings zeigt sich auch, daß die Bakteriendichten insgesamt wegen der im Vergleich zu Phyto- und Zooplankton geringeren jahreszeitlichen Dynamik und der geringeren direkten Abhängigkeit von der Nährstoffversorgung nur bedingt für die Bewertung der trophischen Verhältnisse im See herangezogen werden können.

Bodensee-Untersee

Die **Phosphorkonzentration** - bestimmt als Gesamtphosphor im Rohwasser - hat 1997 im Rheinsee im Jahresmittel (volumengewichtet) auf 15 mg/m³ zugenommen (1996: 13 mg/m³; 1995: 19 mg/m³). Im Zellersee wurde ein leichter Rückgang von 26 auf 25 mg/m³ beobachtet.

Die Konzentration an **anorganischem Stickstoff** (N aus NO_3^- + NO_2^- + NH_4^+) mit Nitrat als Hauptkomponente betrug 1997 im Rheinsee 0,80 mg/l (1996: 0,84 mg/l). Im Zellersee wurde ebenfalls eine leichte Abnahme auf 0,97 mg/l beobachtet (1996: 1,02 mg/l).

Die **Sauerstoffsitutation** hat sich 1997 im Rheinsee und im Zellersee gegenüber dem Vorjahr kaum verändert. Im Rheinsee lagen die Sauerstoffkonzentrationen in Seebodennähe im Oktober bei 0,5 mg/l. Im Vorjahr hatten hier die Minimalkonzentrationen im Oktober bei 1,0 mg/l gelegen. Im Zellersee, der bis 1992 über Jahrzehnte hinweg einen zeitweiligen totalen Sauerstoffschwund aufwies, wurde auch 1997 bei allen Messungen ein geringer Sauerstoff-Restgehalt gemessen. Er lag von August bis Oktober zwischen 0,5 und 0,9 mg/l und damit etwas niedriger als im Vorjahr (0,5 und 1,1 mg/l).

Beim **Phytoplankton** im Zellersee verblieb die Biomasse im Jahresdurchschnitt mit 15,7 g/m² (0 - 20 m Tiefe) im Bereich des Vorjahreswertes (15,9 g/m²), nachdem davor nach einem Tiefpunkt von 10,5 g/m² im Jahr 1994 die Biomasse wieder angestiegen war. Das Maximum der Frühjahrsentwicklung hat sich mit 27 g/m² gegenüber dem Vorjahr (43,3 g/m²) verringert. Das Herbstmaximum erreichte Anfang Oktober 32,8 g/m².

Im Zellersee zeigt sich wie im Obersee, daß Durchschnitts-Biomasse und qualitative Zusammensetzung des Planktons derzeit eine unterschiedliche Tendenz zeigen. Auch hier hat sich die qualitative Zusammensetzung des Planktons gegenüber den Vorjahren deutlich zu oligotraphenten Formen verschoben. Während die Frühjahrsblüten in den Vorjahren von Stephanodiscus-Arten dominiert wurden, sind diese auch im Untersee inzwischen großteils von Cyclotella-Arten verdrängt worden, die als Oligotrophierungs-Anzeiger angesehen werden können. Auch im Herbstmaximum nahmen die Cyclotellen einen großen Teil der Biomaase ein. Anders als im Obersee spielen Grünalgen und pennate Kieselalgen sowohl beim Hochsommer- als auch beim Herbstmaximum generell eine wichtige Rolle, was auf die anderen hydrologischen Voraussetzungen des flacheren und wärmeren Untersees zurückzuführen ist (Abb. 50, 51).

Gesamtbewertung des Seezustandes

Der **Phosphorgehalt** im Freiwasser des Bodensees ist mit einem Absinken des Zirkulationswertes (Mittel von Februar bis April) seit dem Vorjahr von 18 mg/m³ auf 17 mg/m³ im Frühjahr 1998 weiterhin leicht rückläufig. Er war von 1996 bis 1997 von 22 mg/m³ auf 18 mg/m³ gefallen. Der für Algen unmittelbar verfügbare Orthophosphat-Phosphor lag in der Wasserschicht zwischen 0 und 20 m Tiefe, in der das Algenwachstum hauptsächlich stattfindet (trophogene Zone), von Mai bis Anfang Dezember 1997 fast immer unter 2 mg/m³. Diese lang andauernde Phosphor - Verarmung der Produktionszone deutet darauf hin, daß Phosphor in den letzten Jahren wieder zunehmend als hauptsächlich wachstumsbegrenzender Faktor unter den Düngestoffen wirkt.

Die **Phytoplankton - Biomasse** ist im Jahresdurchschnitt in den beiden letzten Jahren sowohl im Obersee als auch im Untersee (Zellersee) der abnehmenden Phosphorkonzentration nicht gefolgt. Allerdings deuten die erheblichen Verschiebungen im Artenspektrum des Phytoplanktons zu einem vermehrten Anteil oligotraphenter Arten an, daß nunmehr vermehrt Algen auftreten, welche Phosphor besser nutzen können. Dieser möglichen Anpassung der Lebensgemeinschaft des Phytoplanktons an phosphorarme Verhältnisse muß bei den Überlegungen zu dem für den See tolerierbaren Phosphorgehalt besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden.

Im Moment ist noch nicht abzusehen, welche Phosphorkonzentration sich im Gleichgewicht mit den derzeit zugeführten Phosphorfrachten im Freiwasser auf längere Sicht einstellen wird. Wichtiger ist jedoch die Frage, welcher Phosphorgehalt im See erreicht werden muß, um auch nach einer Reihe von klimatisch ungünstigen Jahren und bei den genannten Änderungen in der Qualität des Phytoplanktons ausreichende Sauerstoffverhältnisse im Tiefenwasser zu sichern. Antworten auf diese Fragen sollte das Phosphormodell nach seiner Anpassung an die neuesten See- und Zuflußdaten geben können.

Die Jahresmittelwerte der anorganischen **Stickstoffgehalte** (Ammonium-, Nitrit- und Nitrat-Stickstoff) im Freiwasser des Obersees schwanken seit 11 Jahren im Bereich von 0,96 bis 1,01 mg/l. Damit ist bei diesem Nährstoff kein weiterer Anstieg festzustellen.

Die **Sauerstoffgehalte** im tiefen Seebereich hängen vor allem vom Umfang der pflanzlichen Produktion und von klimatischen Bedingungen ab. Insbesondere starke Abkühlungen oberflächennaher Seebereiche in den Wintermonaten fördern die jährlich notwendigen Sauerstoffnachlieferungen in die großen Seetiefen.

Bleibt eine tiefgreifende Zirkulation über mehrere Jahre aus, können die grundnahen Sauerstoffgehalte auf kritische Werte absinken. Dieser Fall war zuletzt Ende der

achtziger Jahre aufgetreten. In dieser Phase waren im tiefen Hypolimnion die Phosphorwerte durch Rücklösung aus dem Seeboden vorübergehend sogar wieder angestiegen.
Infolge der weiter abnehmenden Phosphorbelastung und der damit seit Beginn der 90er Jahre erreichten reduzierten Biomassen im See ist seither die Belastung des Seebodens durch Sauerstoffzehrung deutlich vermindert. Erkennbar wird diese Entwicklung in erster Linie an einer damit verbundenen spürbar zurückgegangenen Freisetzung von Mangan aus den Seesedimenten.

Das Seejahr 1998 begann allerdings wegen der nur sehr mangelhaften Tiefenzirkulation im relativ milden Winter 1997/98 mit einem erheblichen Sauerstoffdefizit gegenüber den letzten Jahren. Das Ausmaß des zu erwartenden herbstlichen Sauerstoffminimums über Grund wird daher stark von der Intensität der diesjährigen Algenproduktion abhängen. Es wird sich im Herbst 1998 zeigen, inwieweit die inzwischen erreichte Phosphorabsenkung diese ungünstigen witterungsbedingten Voraussetzungen für den Sauerstoffhaushalt wird abmildern können. Der Risikobereich für die Entwicklung des Seezustandes ist derzeit noch nicht überwunden.

Diese Situation führt ungeachtet der bisherigen Sanierungserfolge vor Augen, wie unverzichtbar die Fortführung der Anstrengungen zum Schutz des Bodensees ist. Nur dann sind Nutzungen in verträglichem Rahmen dauerhaft gesichert. Die Reinhalterichtlinien verlangen u.a., geringstmögliche Dünge- und Schadstoffgehalte im See anzustreben. Aber auch alle anderen Belastungen wie z.B. die Ufer- und Flachwasserzone und ihr Selbstreinigungsvermögen stark beeinträchtigende strukturelle Belastungen müssen minimiert werden.

Abbildungen und Tabellen

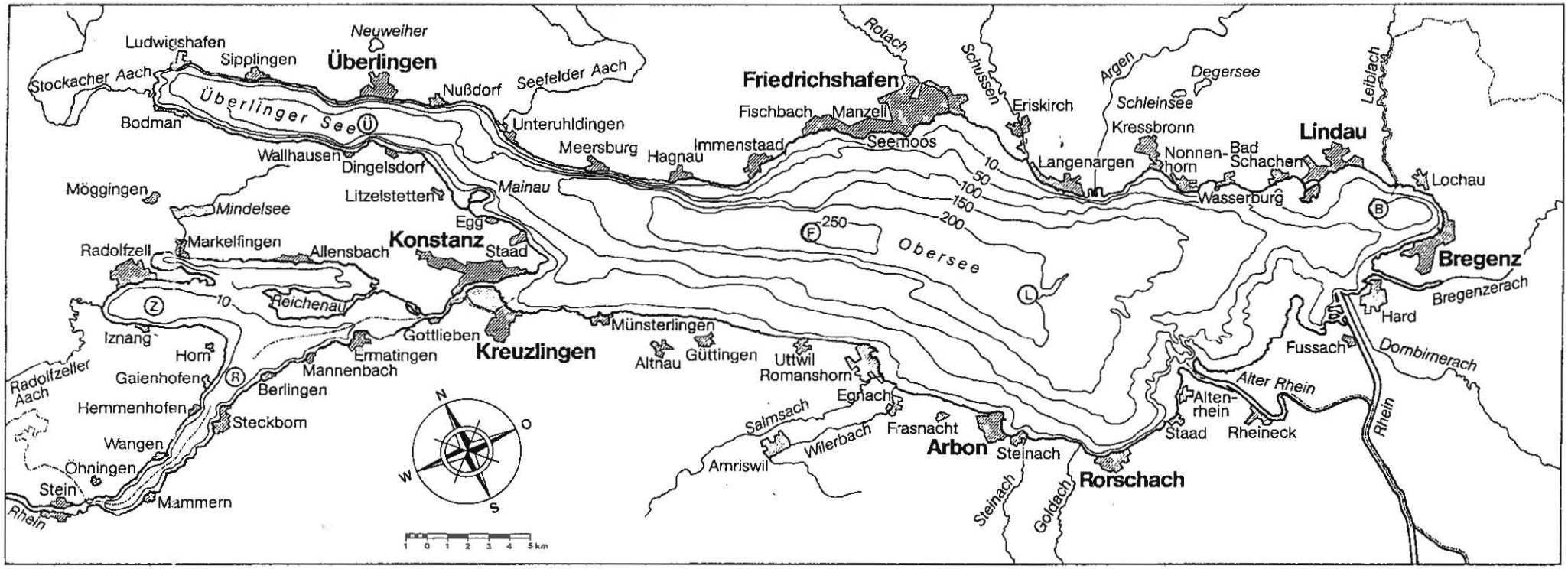
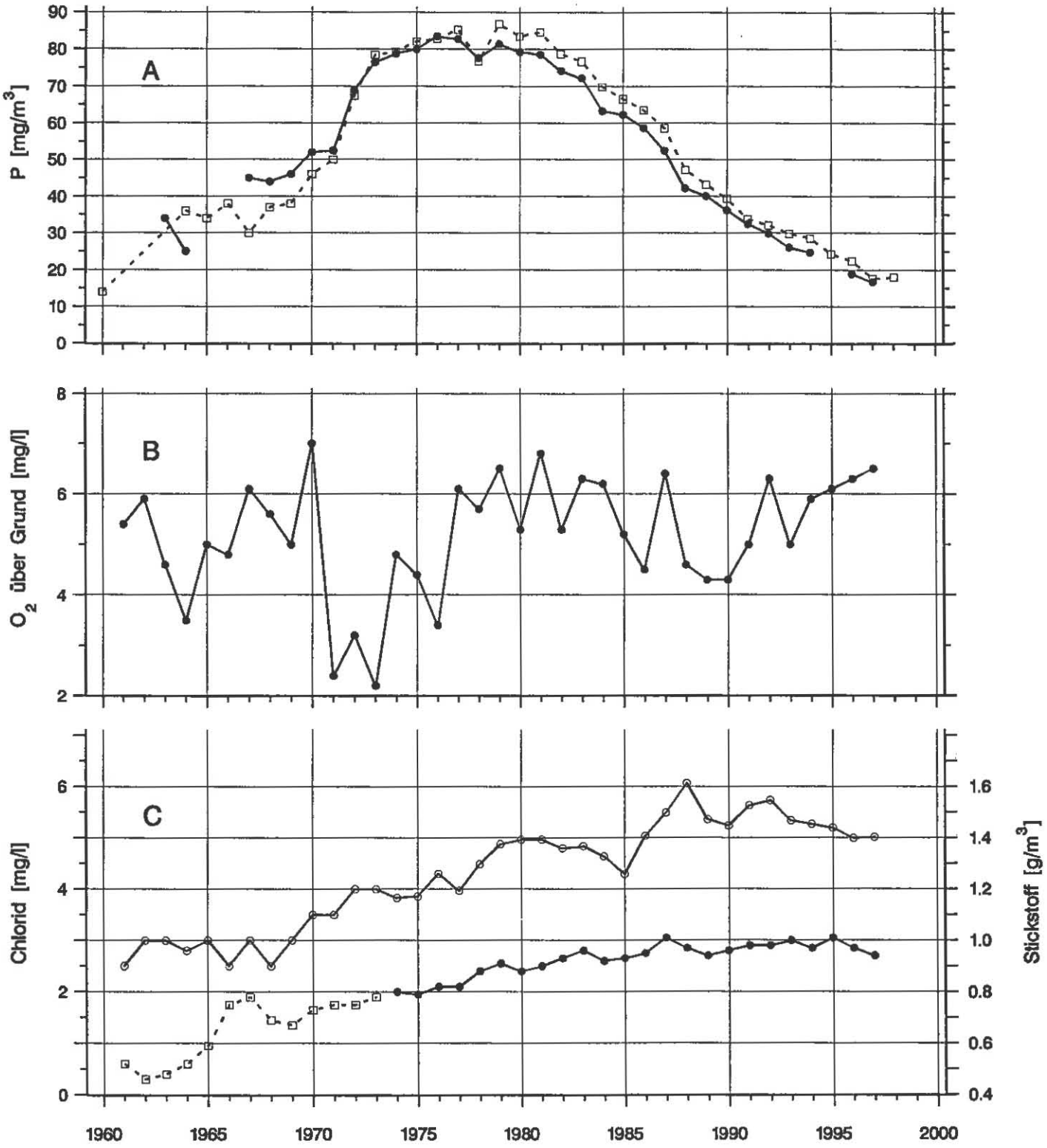


Abb. 1: Der Bodensee mit Lage der Untersuchungsstellen

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

Seeboden:
Profil Seemoos-Uttwil (S)



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

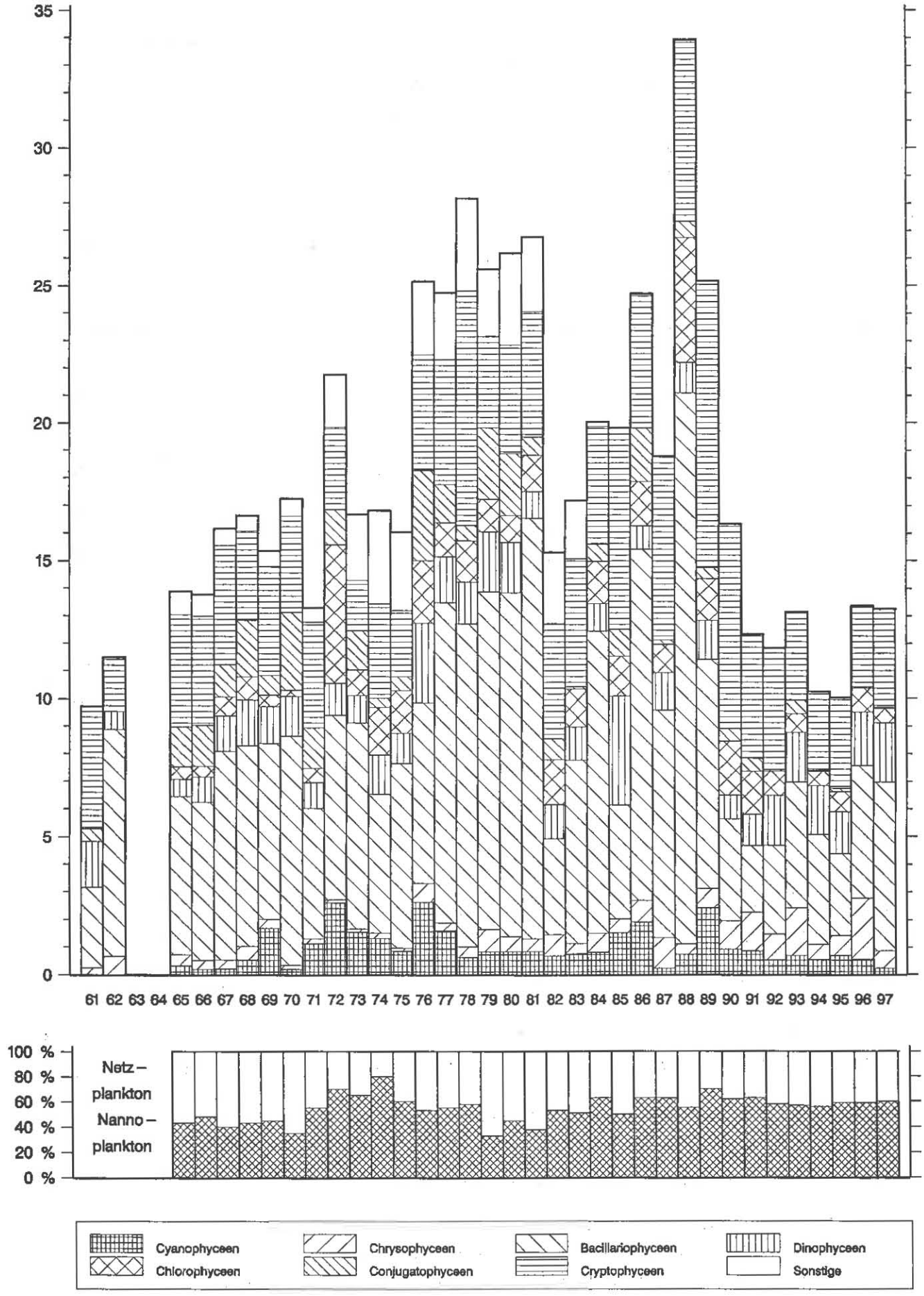


Abb. 3: Bodensee – Obersee, Fischbach–Uttwil:
Langfristige Entwicklung des Phytoplanktons
Biomassen in g/m² (0–20m Tiefe), Jahresmittel

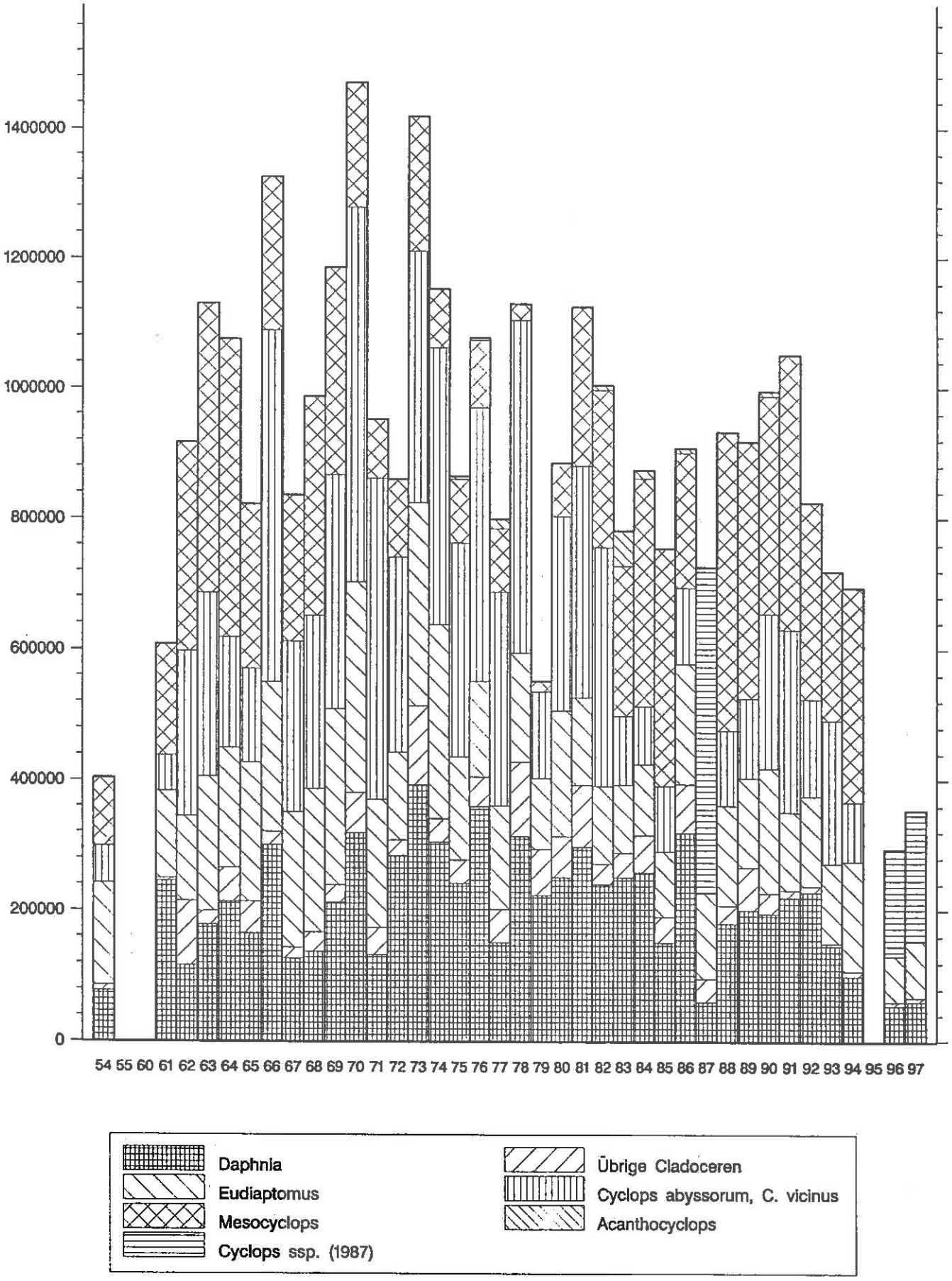


Abb. 4: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
Langfristige Entwicklung des Crustaceenplanktons
Tiere/m^2 gesamte Wassersäule, Jahresmittelwerte
* Berechnung des Jahresmittelwertes für 1995 nicht möglich wegen fehlender Frühjahrswerte

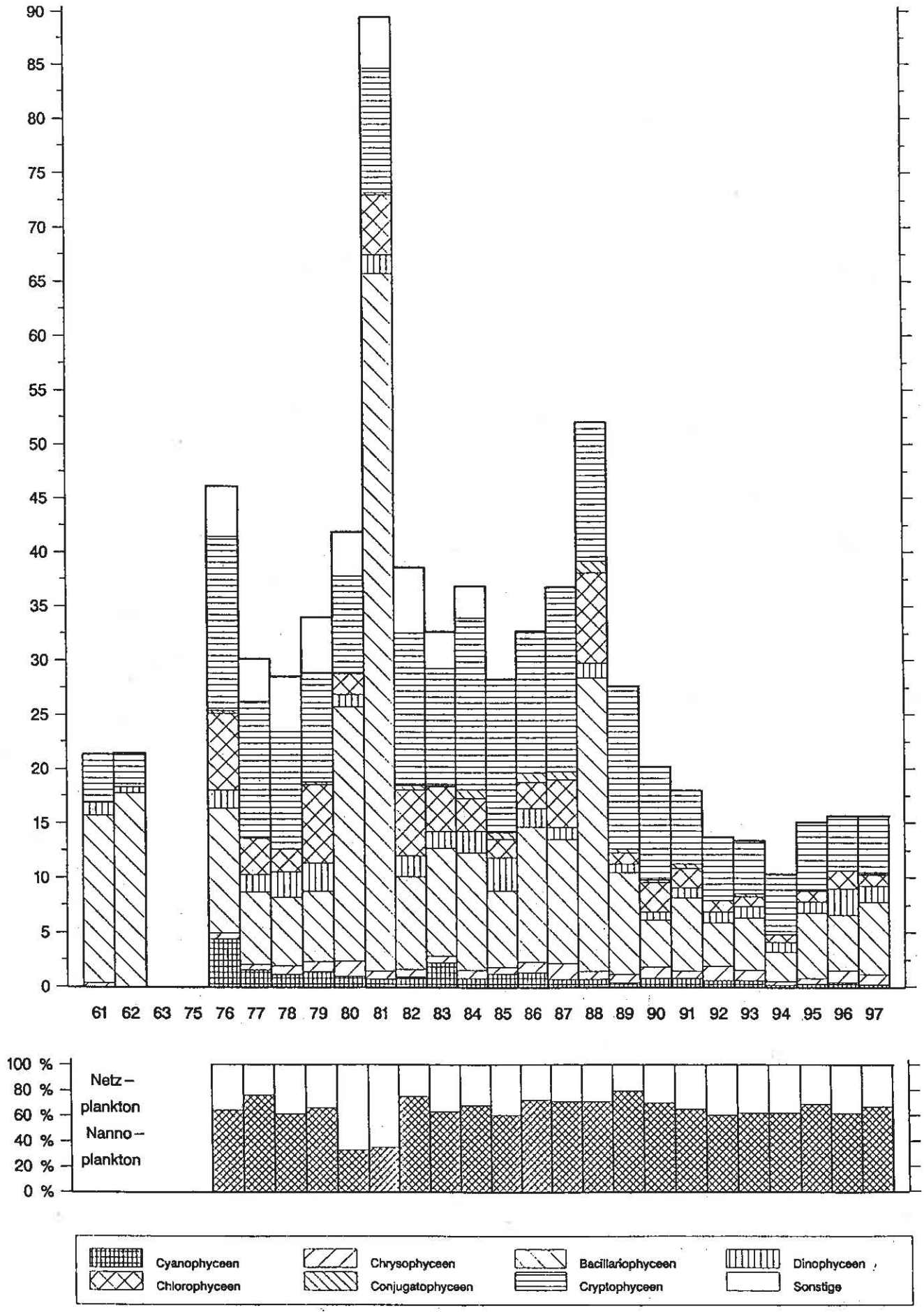
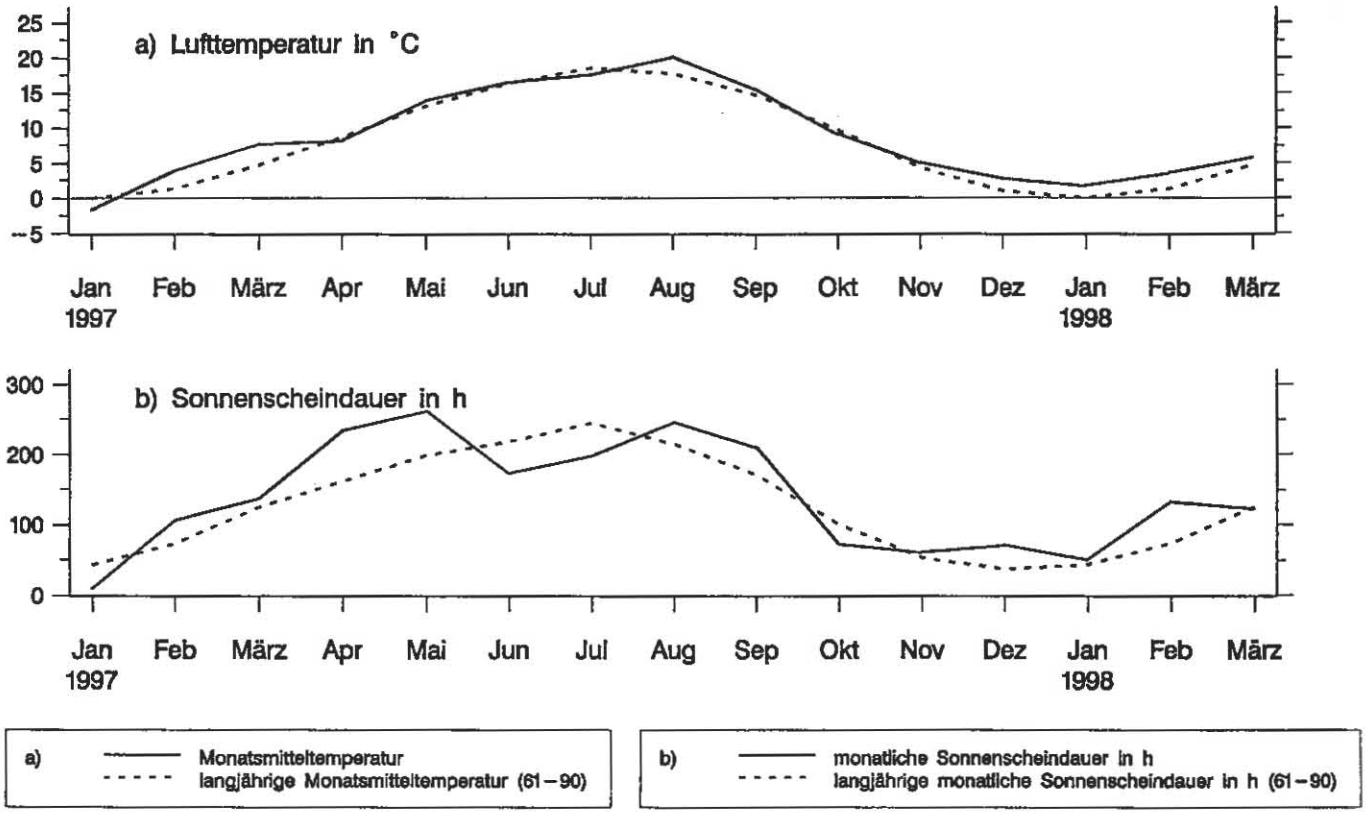


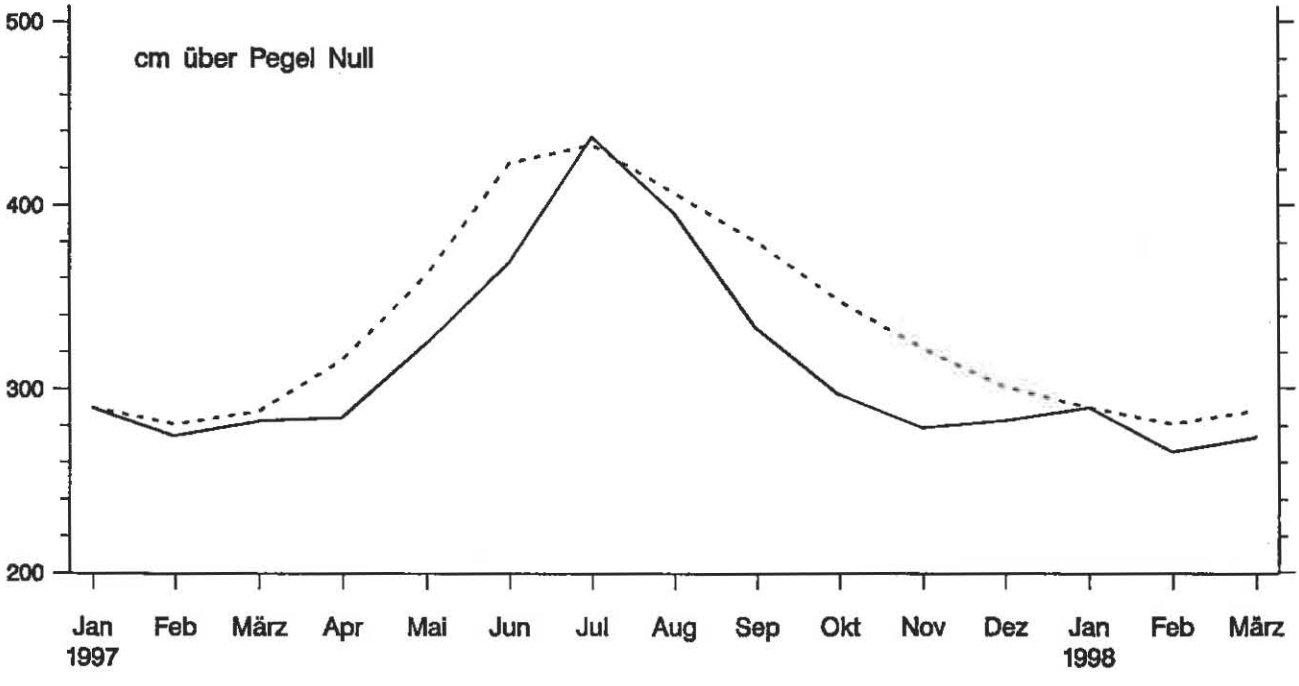
Abb. 5: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Langfristige Entwicklung des Phytoplanktons
Biomassen in g/m^2 (0–20m Tiefe), Jahresmittel



a) Monatsmitteltemperatur
langjährige Monatsmitteltemperatur (61–90)

b) monatliche Sonnenscheindauer in h
langjährige monatliche Sonnenscheindauer in h (61–90)

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



mittlerer monatlicher Wasserstand
langjähriger monatlicher Wasserstand (61–90)

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

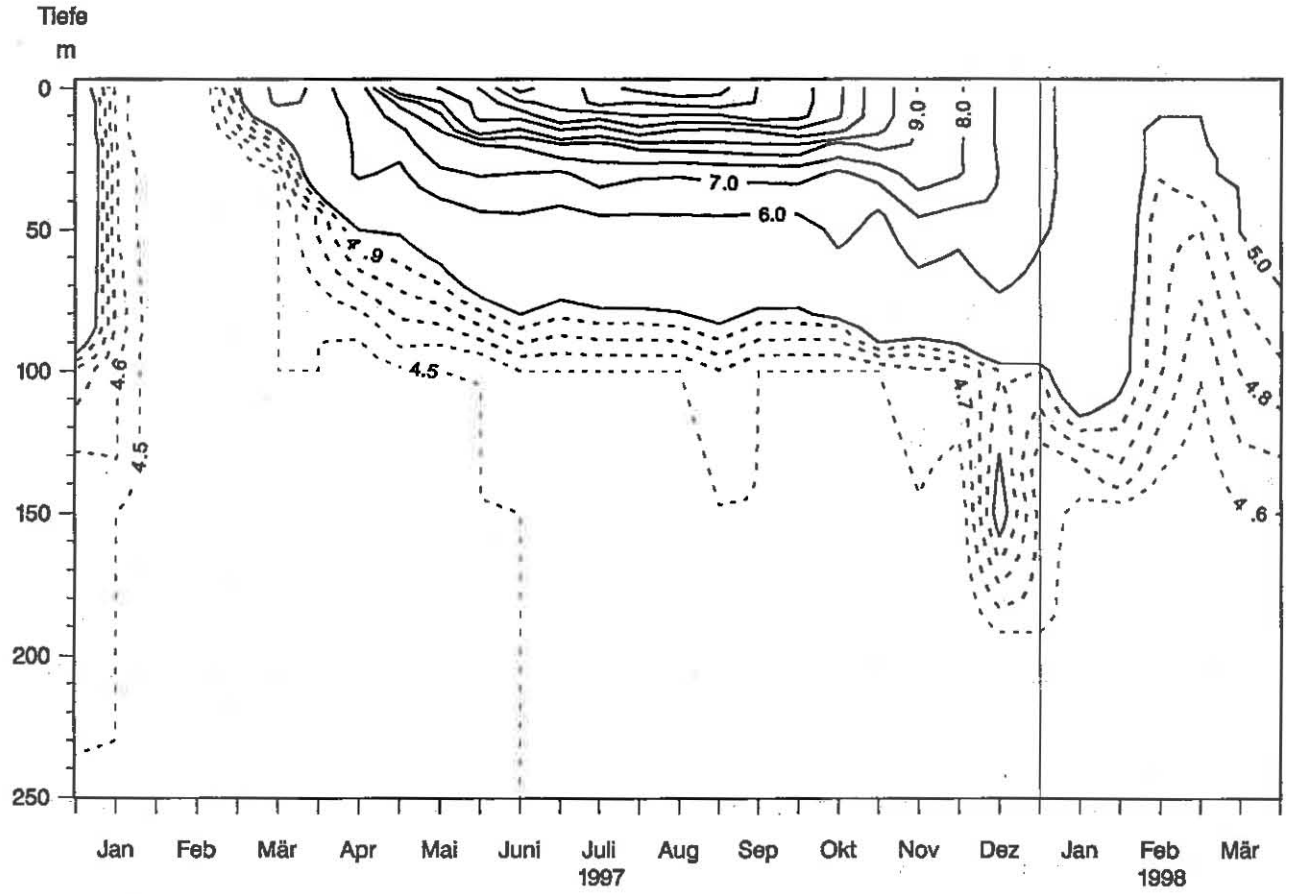


Abb. 8: Bodensee – Obersee, Fischbach–Uttwil:
Temperatur °C

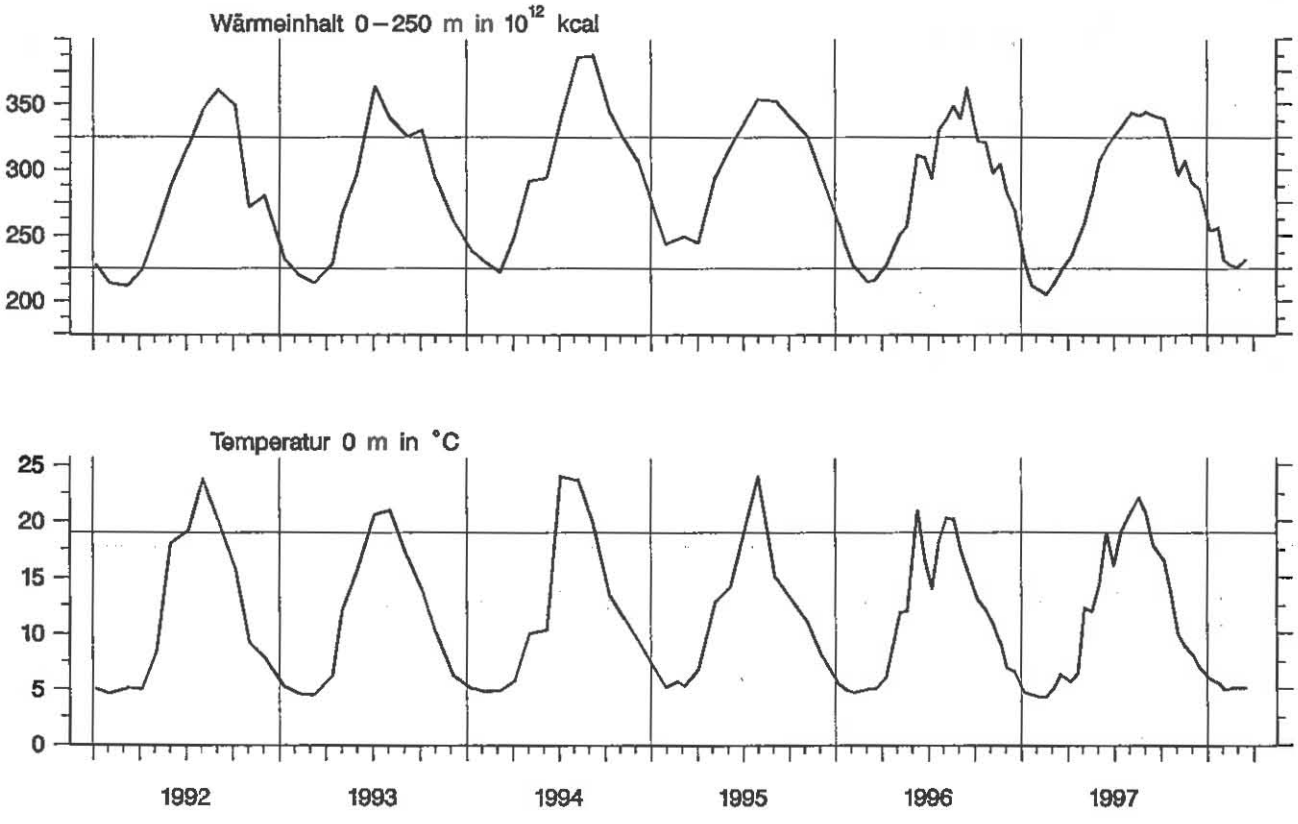


Abb. 9: Bodensee – Obersee:
Thermik

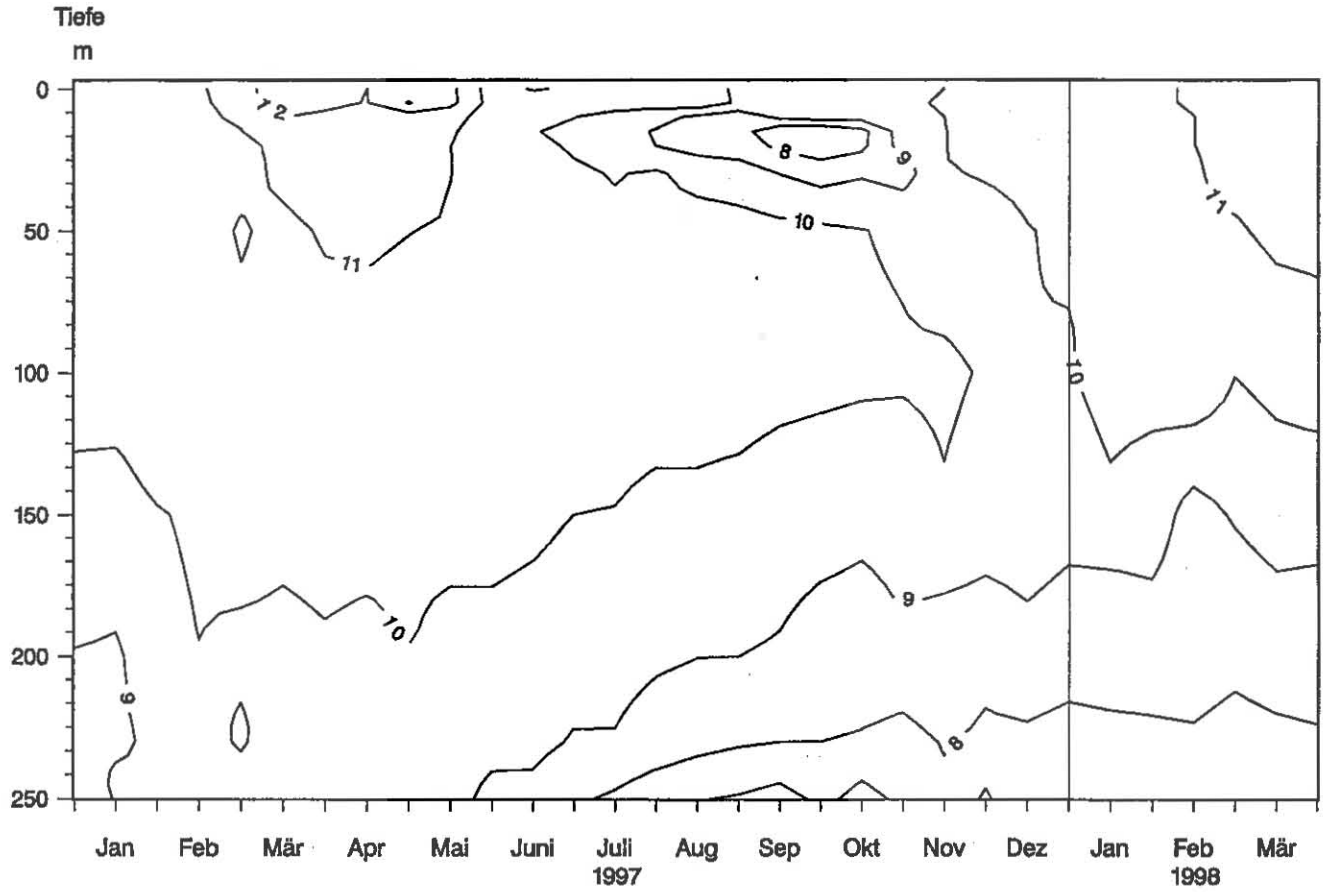


Abb. 10: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
Sauerstoff (mg/l)

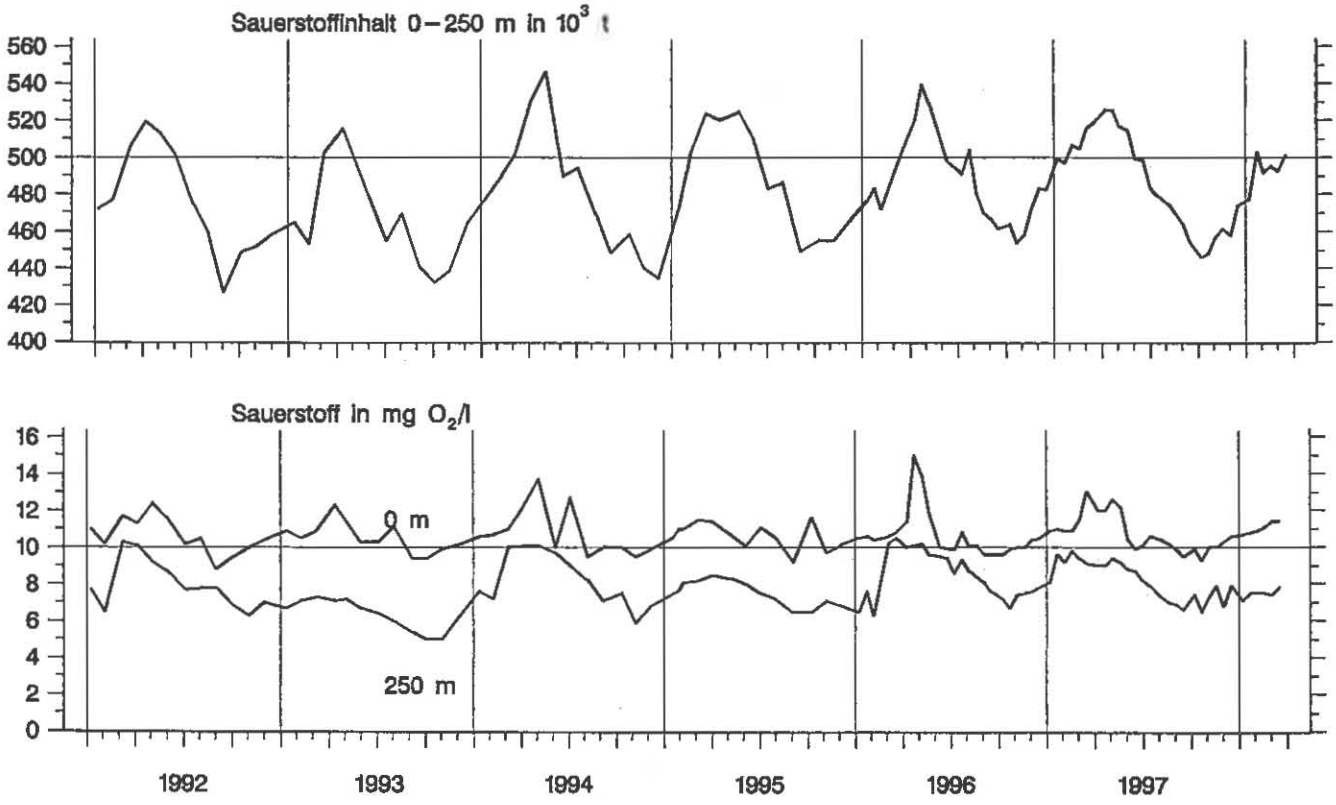


Abb. 11: Bodensee – Obersee:
Sauerstoffinhalt 0–252 m und Sauerstoffkonzentration in 0 und 250 m Tiefe

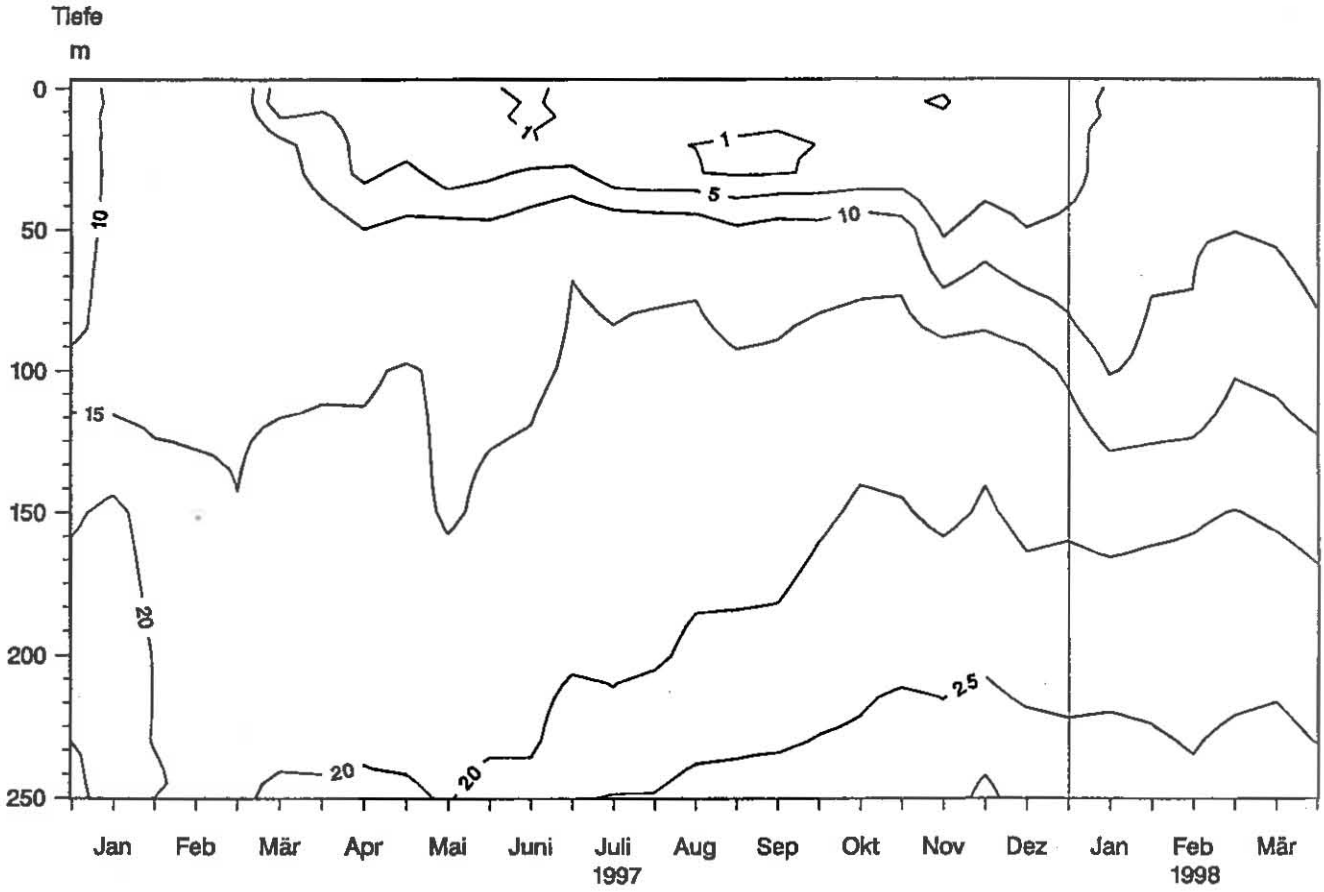


Abb. 12: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
Orthophosphat – Phosphor (mg/m^3)

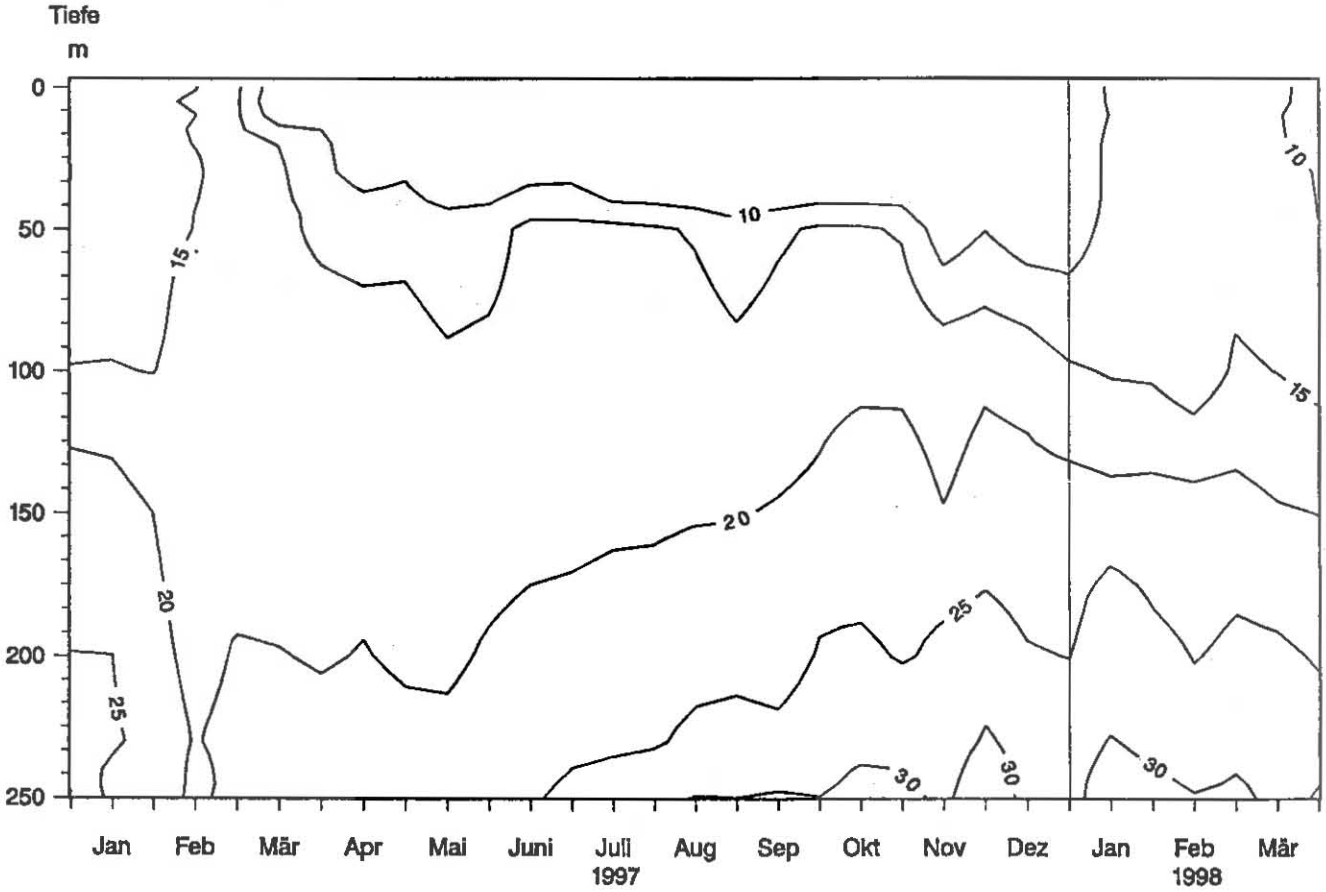


Abb. 13: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
Gesamt gelöster Phosphor (mg/m^3)

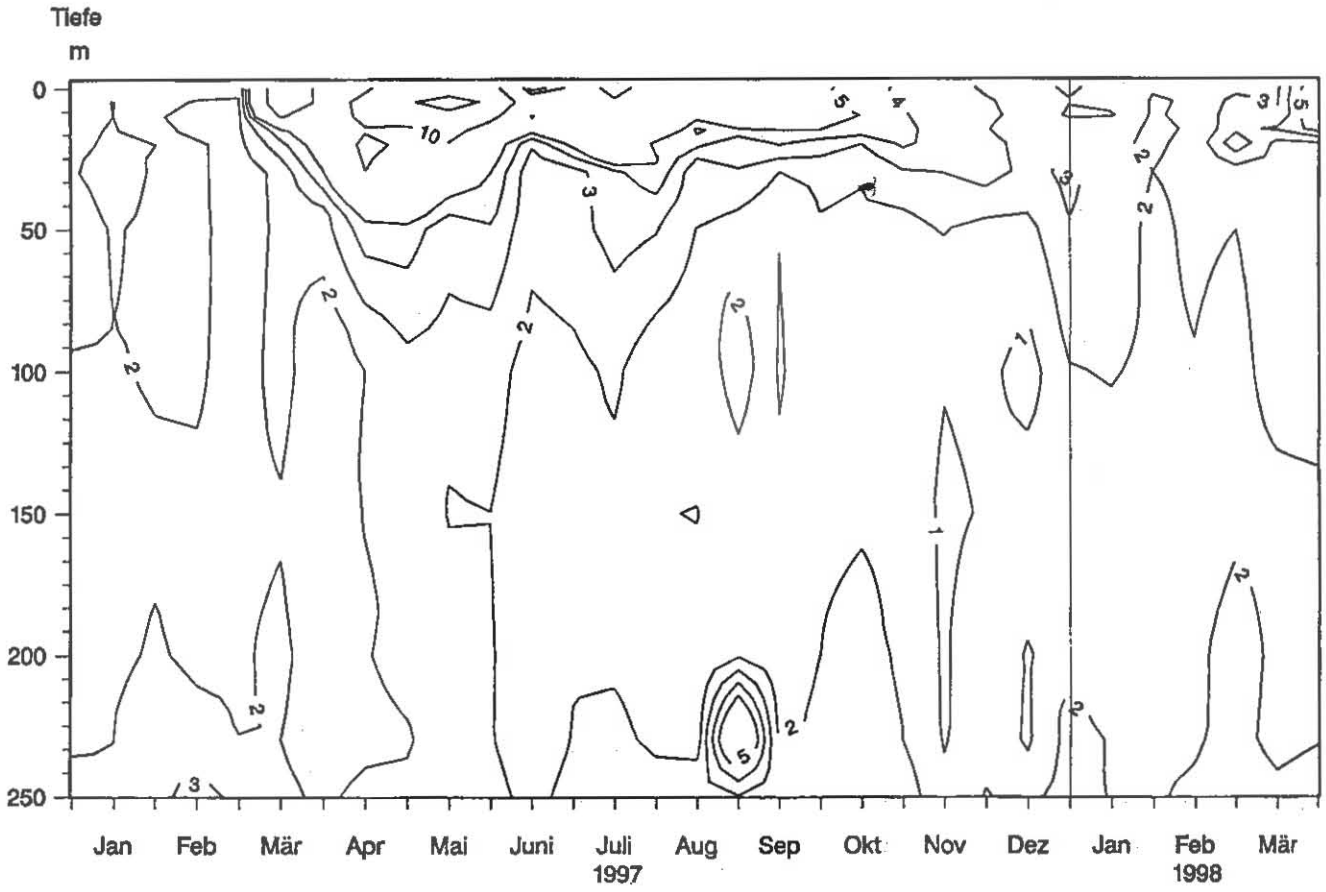


Abb. 14: Bodensee – Obersee, Fischbach–Uttwil:
partikulärer Phosphor (mg/m^3)

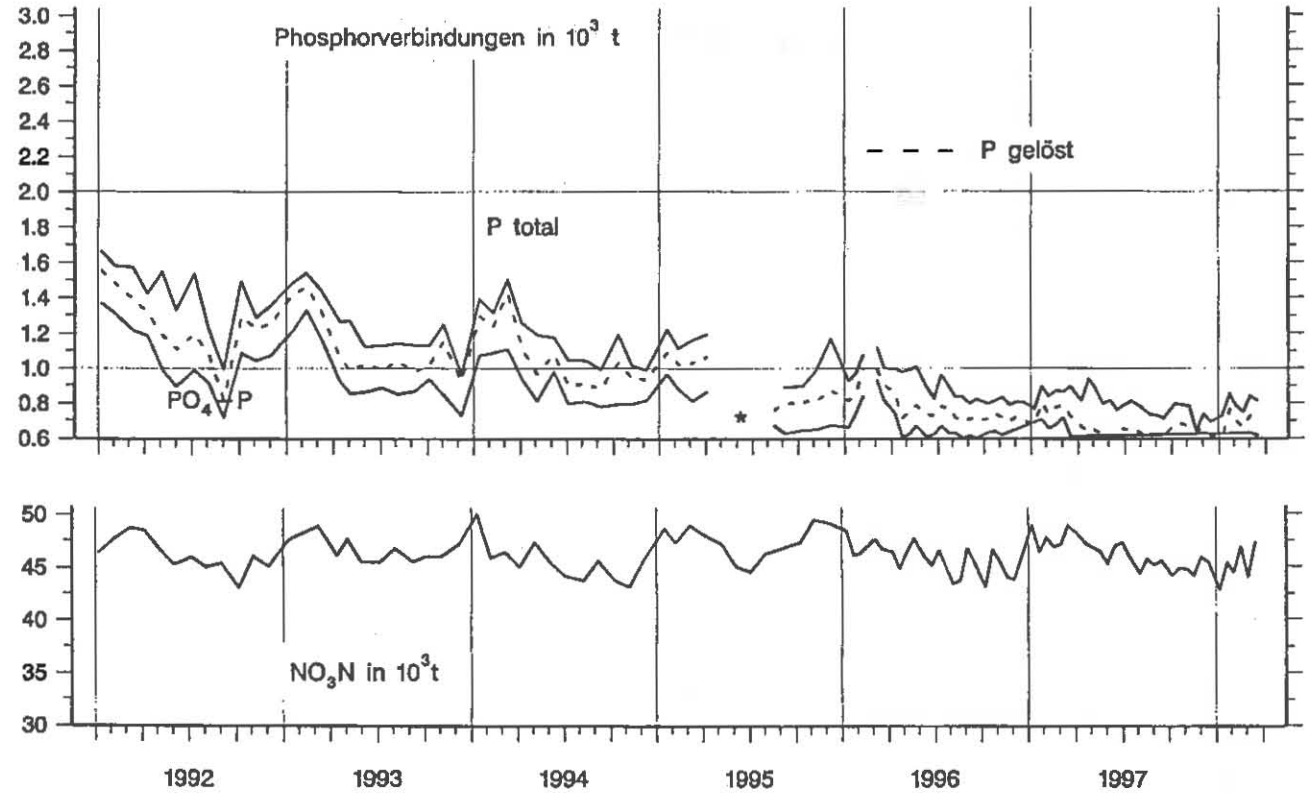


Abb. 15: Bodensee – Obersee:
Nährstoffinhalt (P, NO_3–N) 0–250 m Tiefe
* wegen analytischer Probleme teilweise keine Meßdaten vorhanden

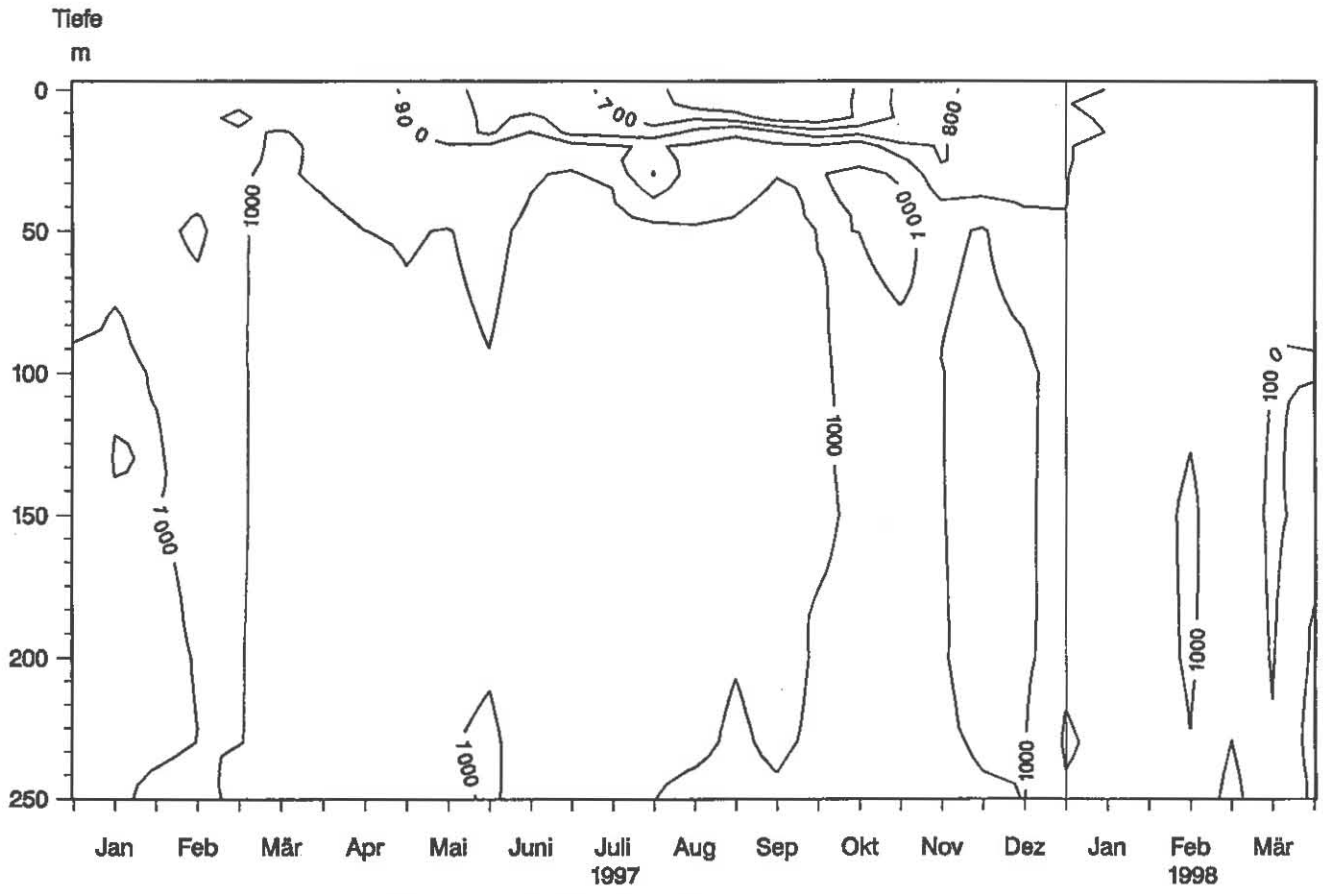


Abb. 16: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
Nitrat – Stickstoff (mg/m^3)

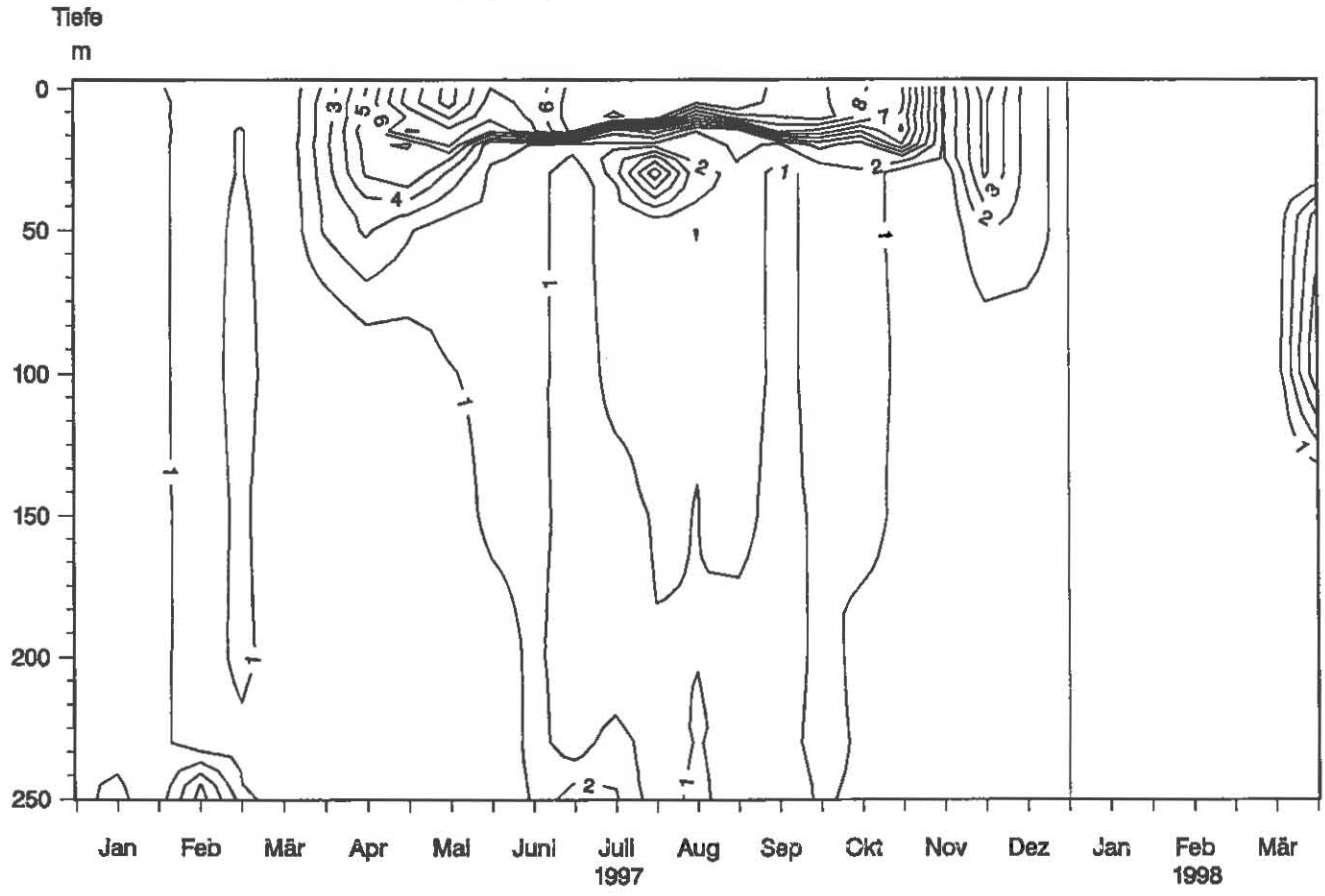


Abb. 17: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
Nitrit – Stickstoff (mg/m^3)

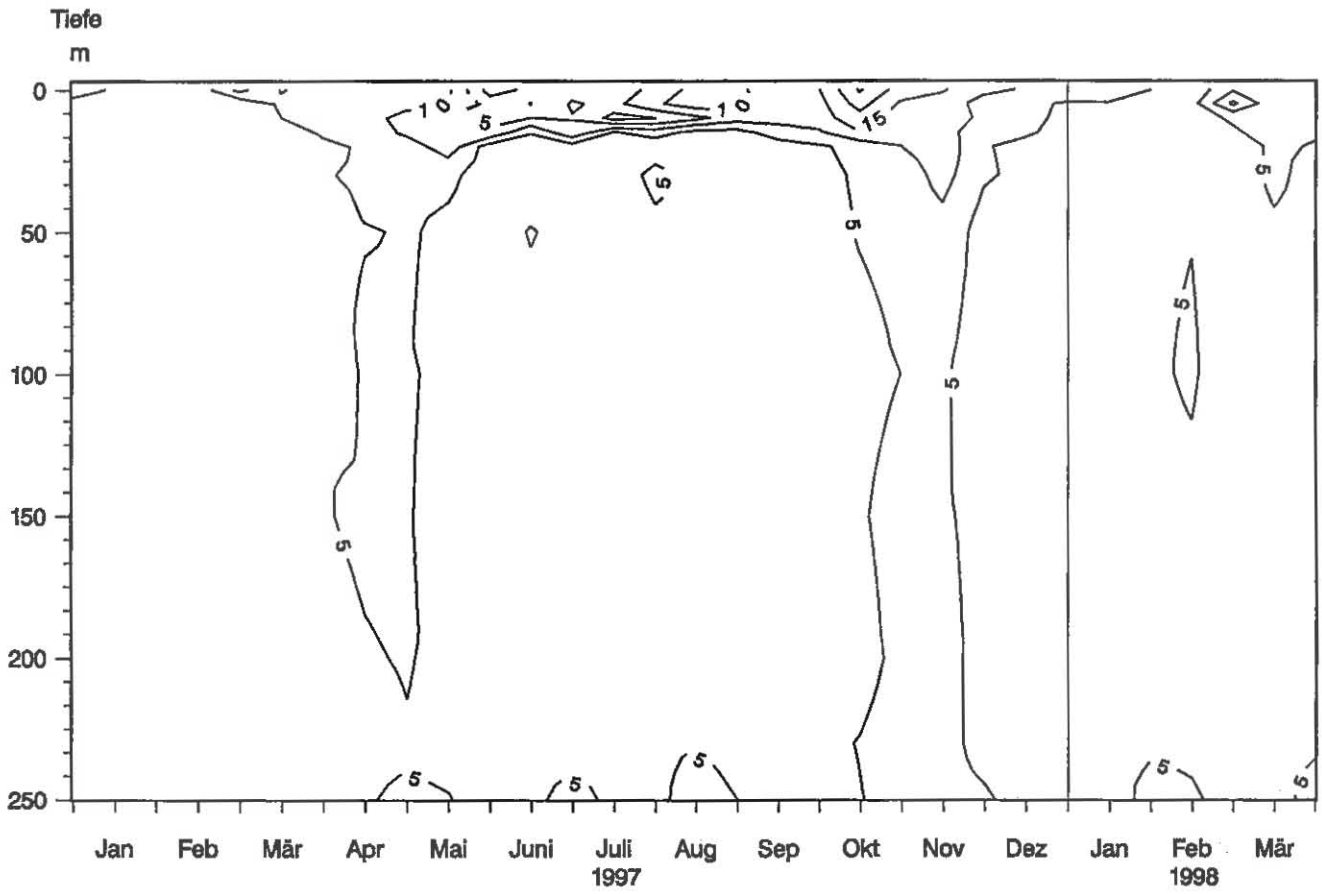


Abb. 18: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
Ammonium – Stickstoff (mg/m^3)

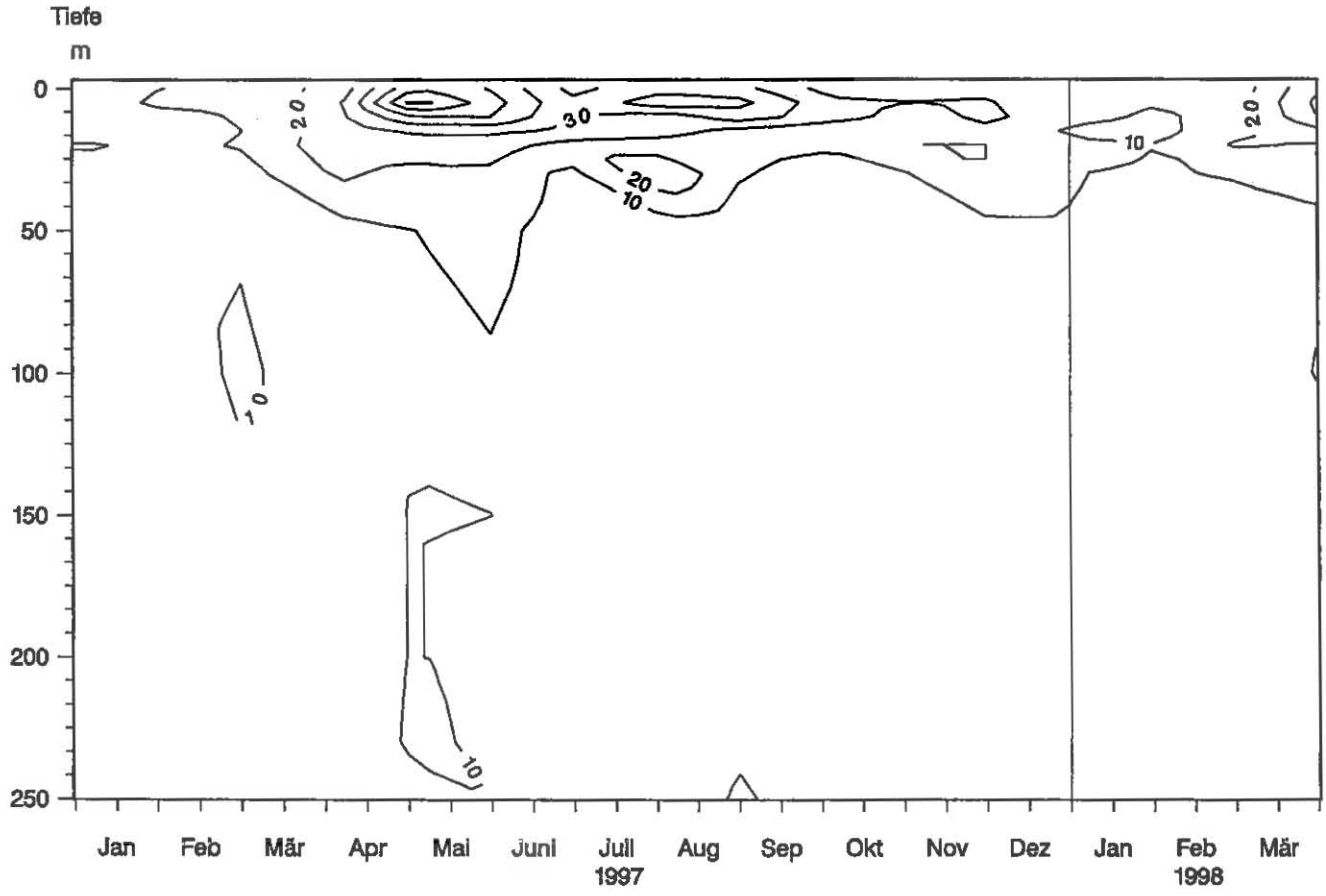


Abb. 19: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
Partikulärer Stickstoff (mg/m^3)

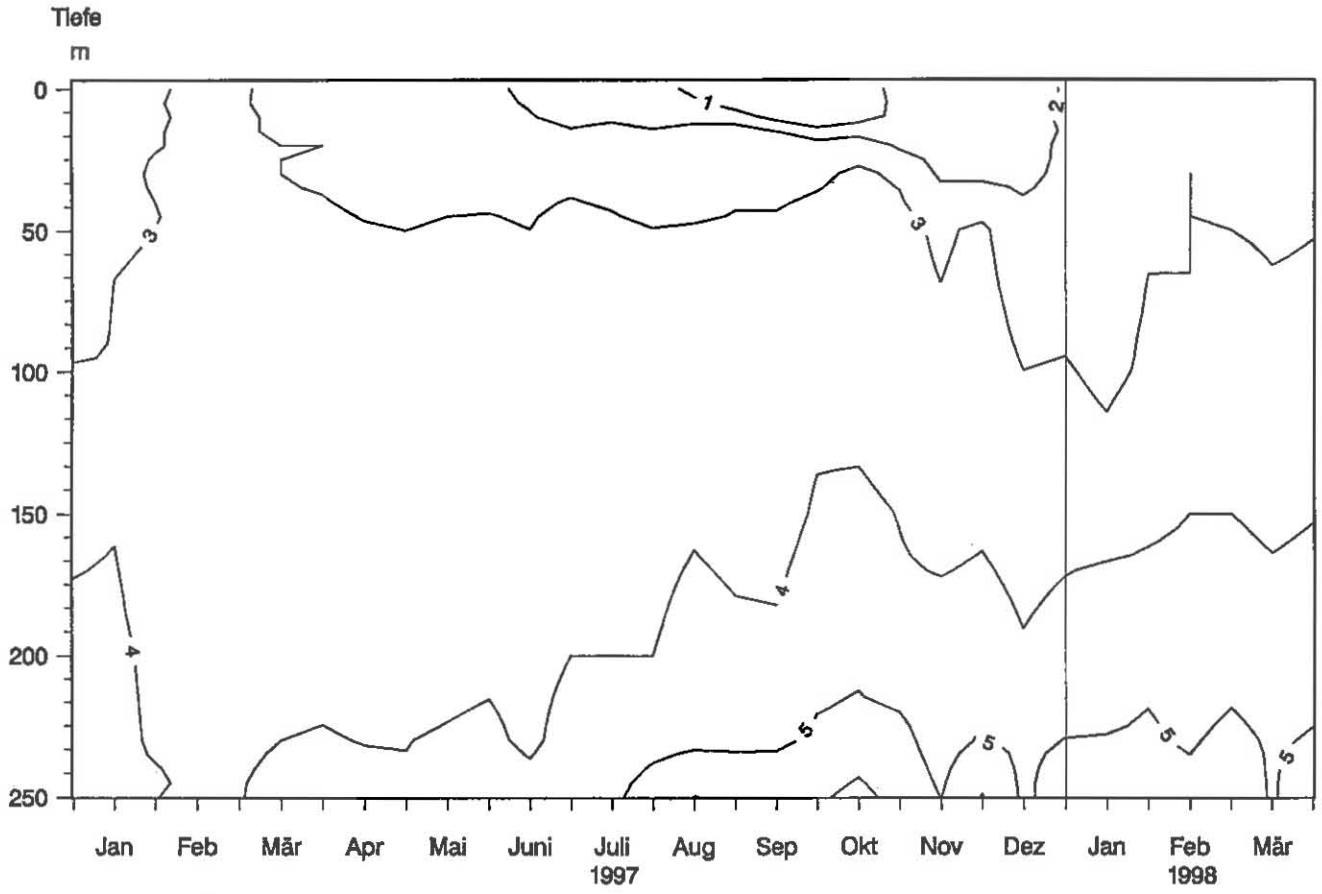


Abb. 20: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
Silikat (mg/l)

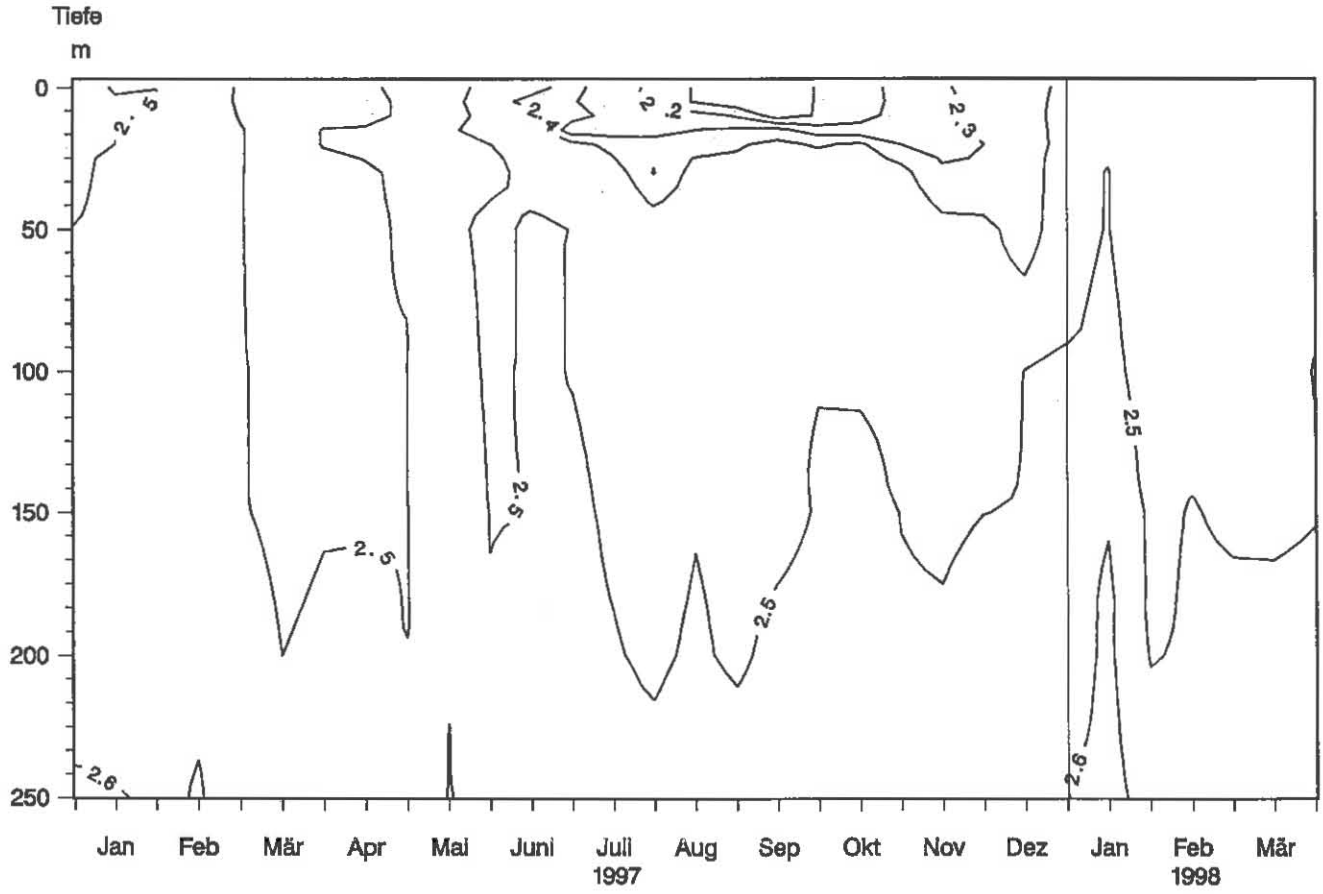


Abb. 21: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
Anorganischer Kohlenstoff (mmol/l)

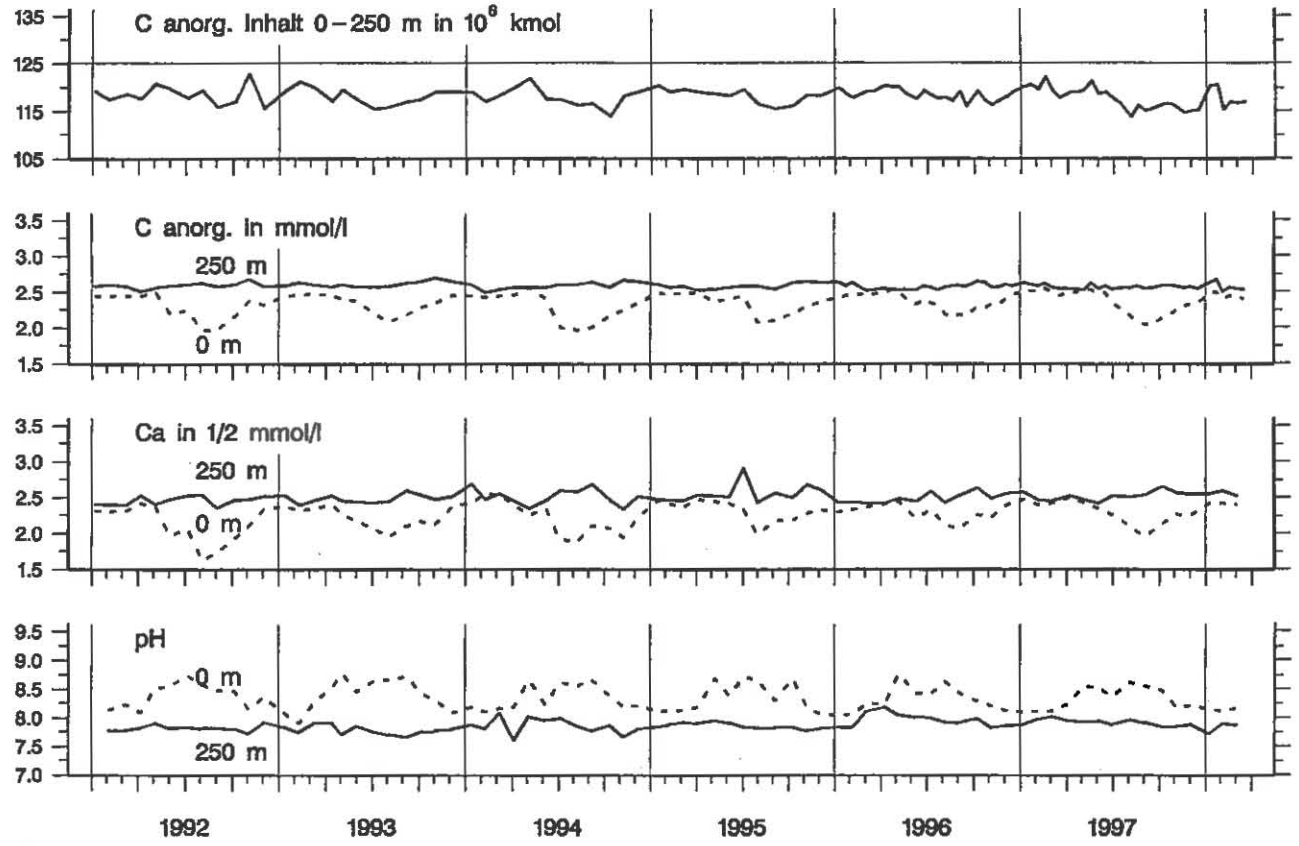


Abb. 22: Bodensee – Obersee:
Anorganischer Kohlenstoff, Inhalt 0–252 m Tiefe
Konzentration von anorg. Kohlenstoff, Calcium; pH–Wert

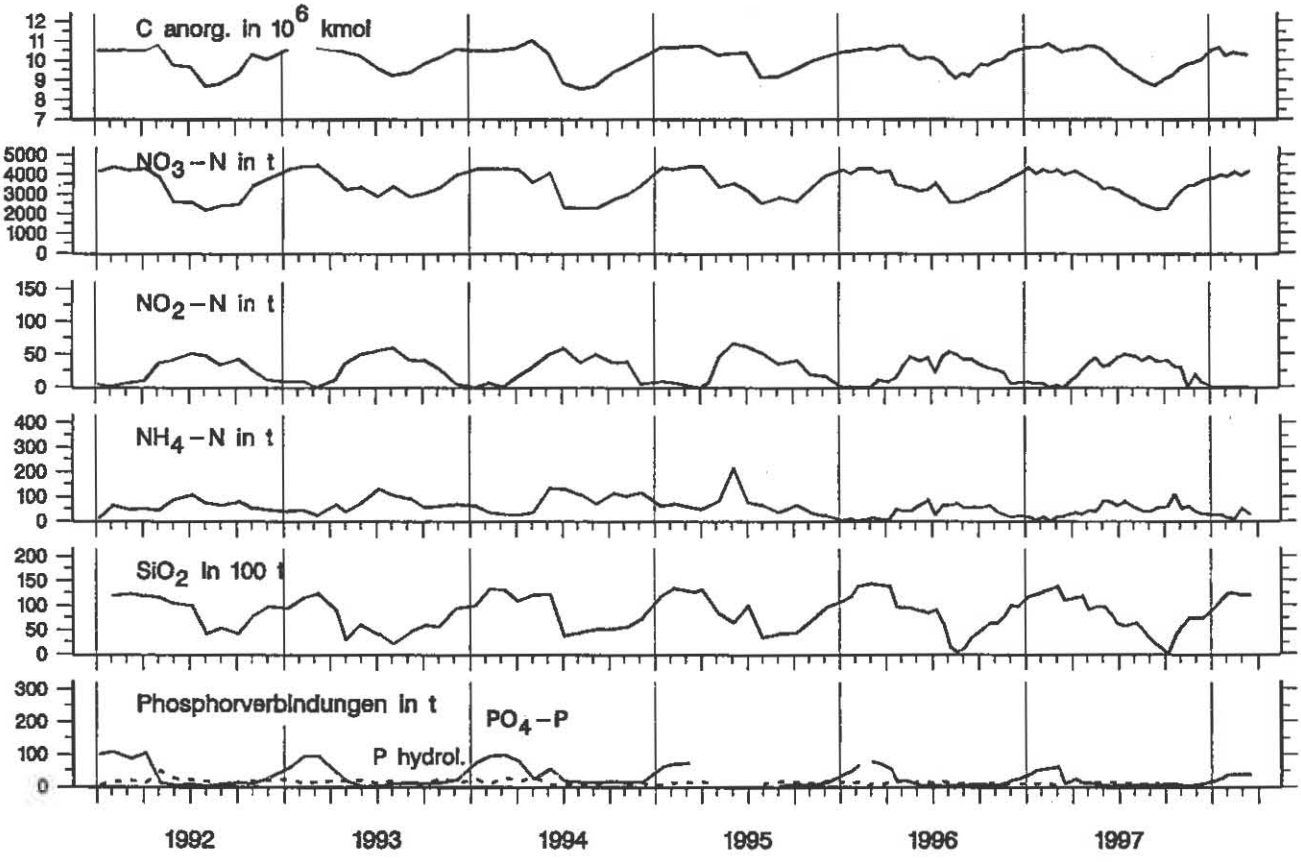


Abb. 23: Bodensee – Obersee:
Nährstoffinhalt (Phosphor, Stickstoff, Silikat,
anorg. Kohlenstoff) im Epilimnion 0–10 m Tiefe

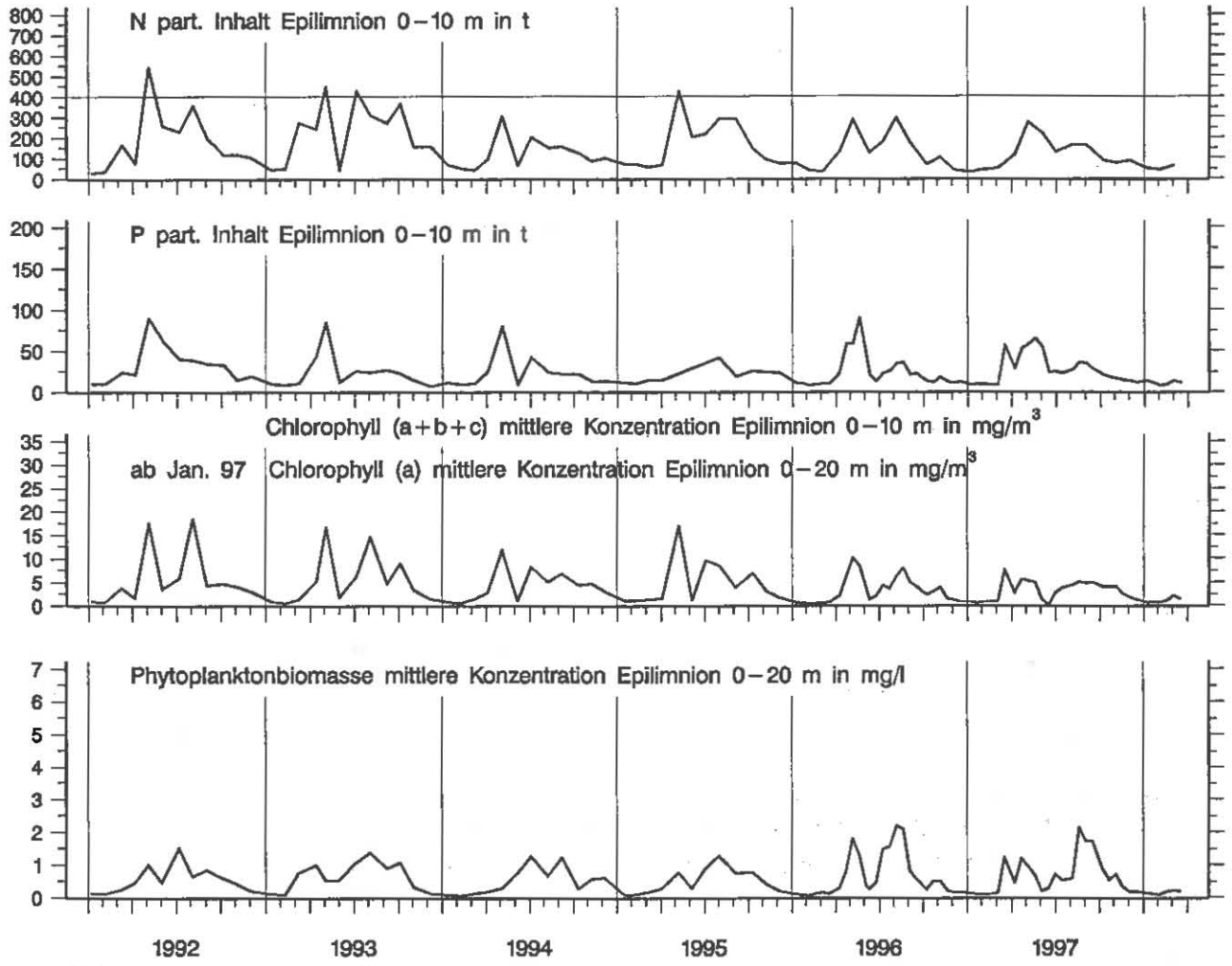


Abb. 24: Bodensee – Obersee:
Chemische Biomasseindikatoren und Phytoplanktonbiomasse

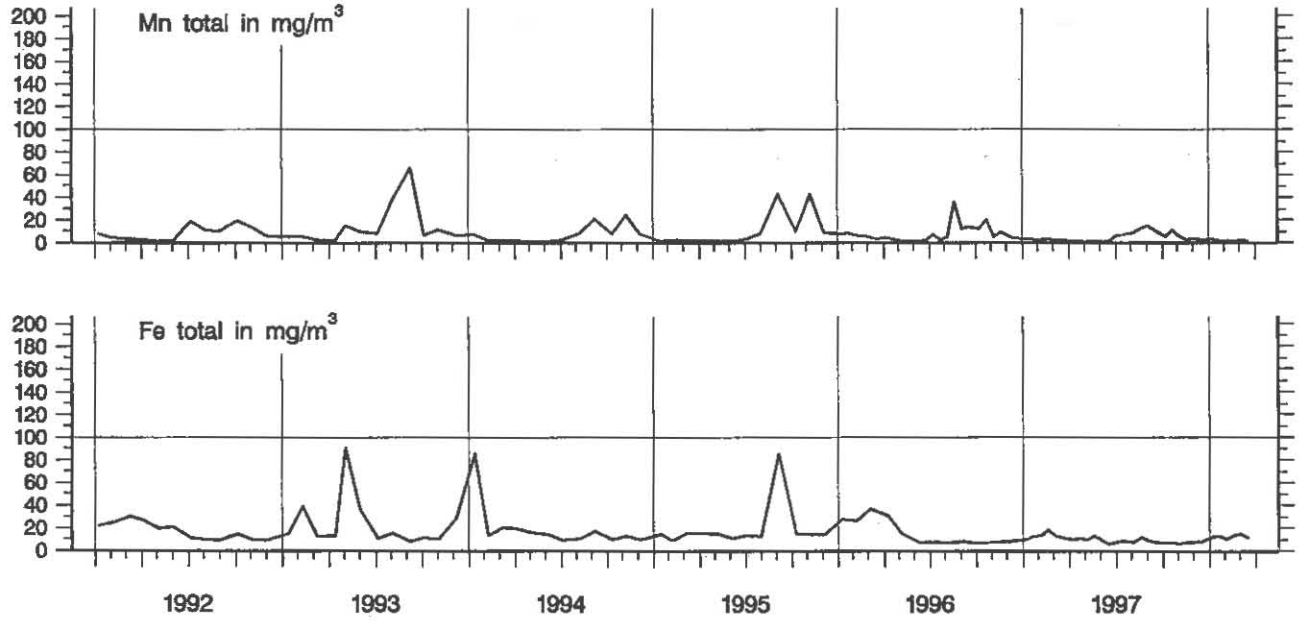


Abb. 25: Bodensee – Obersee, Fischbach–Uttwil:
Konzentration von Eisen total und Mangan total in 250 m Tiefe

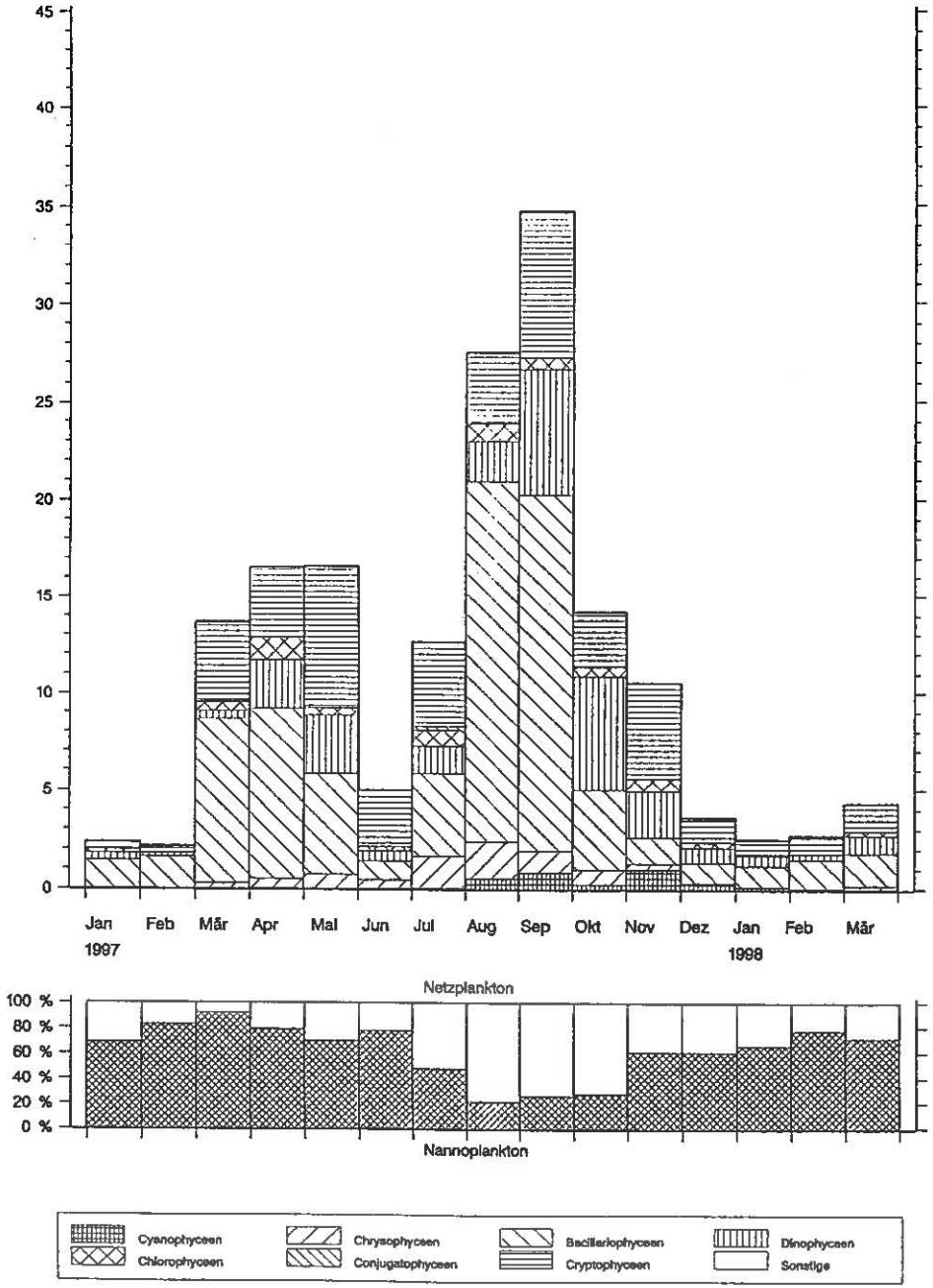


Abb. 26: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
Entwicklung des Phytoplanktons
Biomasse in g/m² (0 – 20m Tiefe), Monatsmittel 1997/98

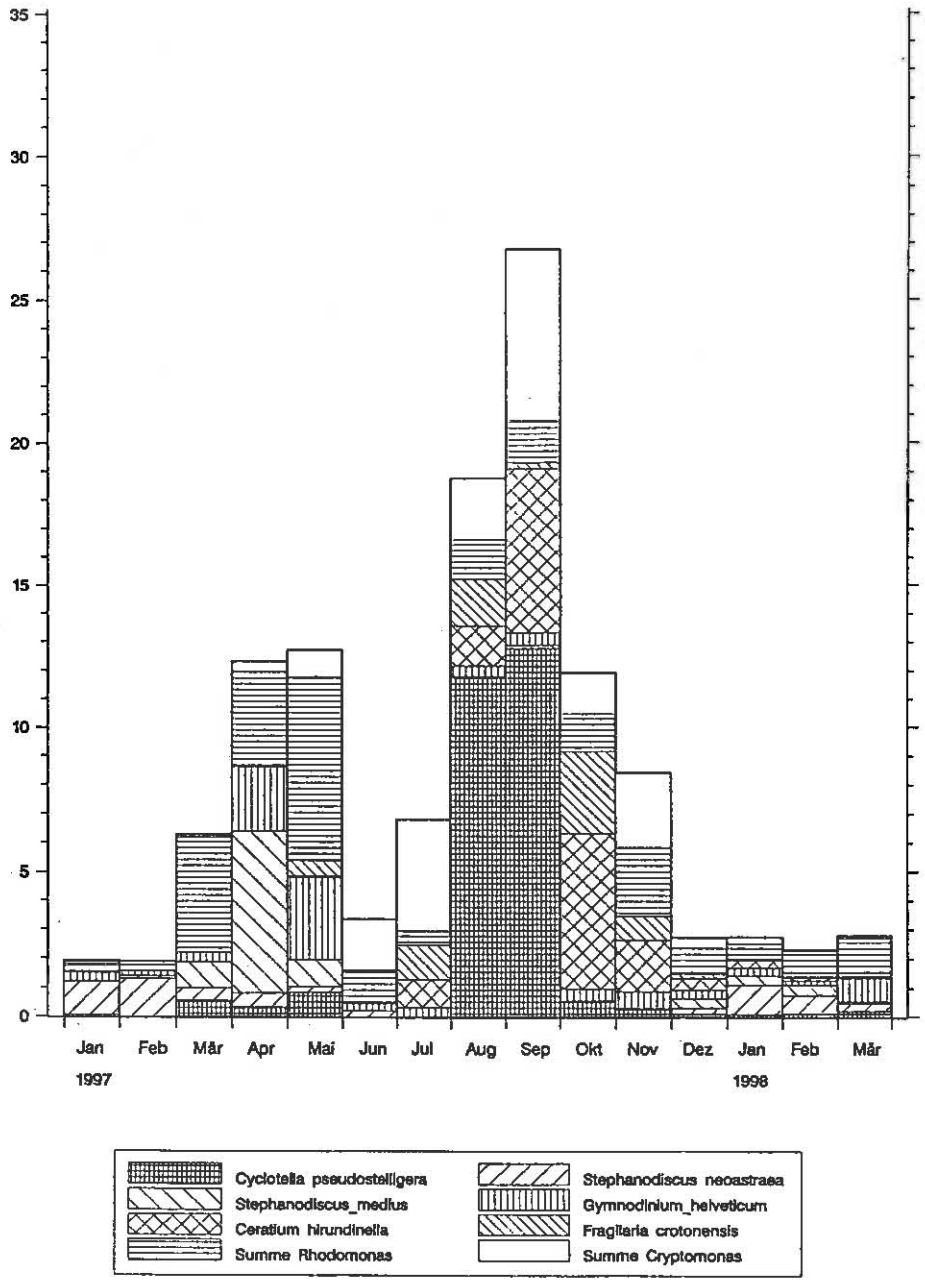


Abb. 27: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
Entwicklung des Phytoplanktons
Biomasse der Hauptarten in g/m² (0 – 20m Tiefe), Monatsmittel 1997/98

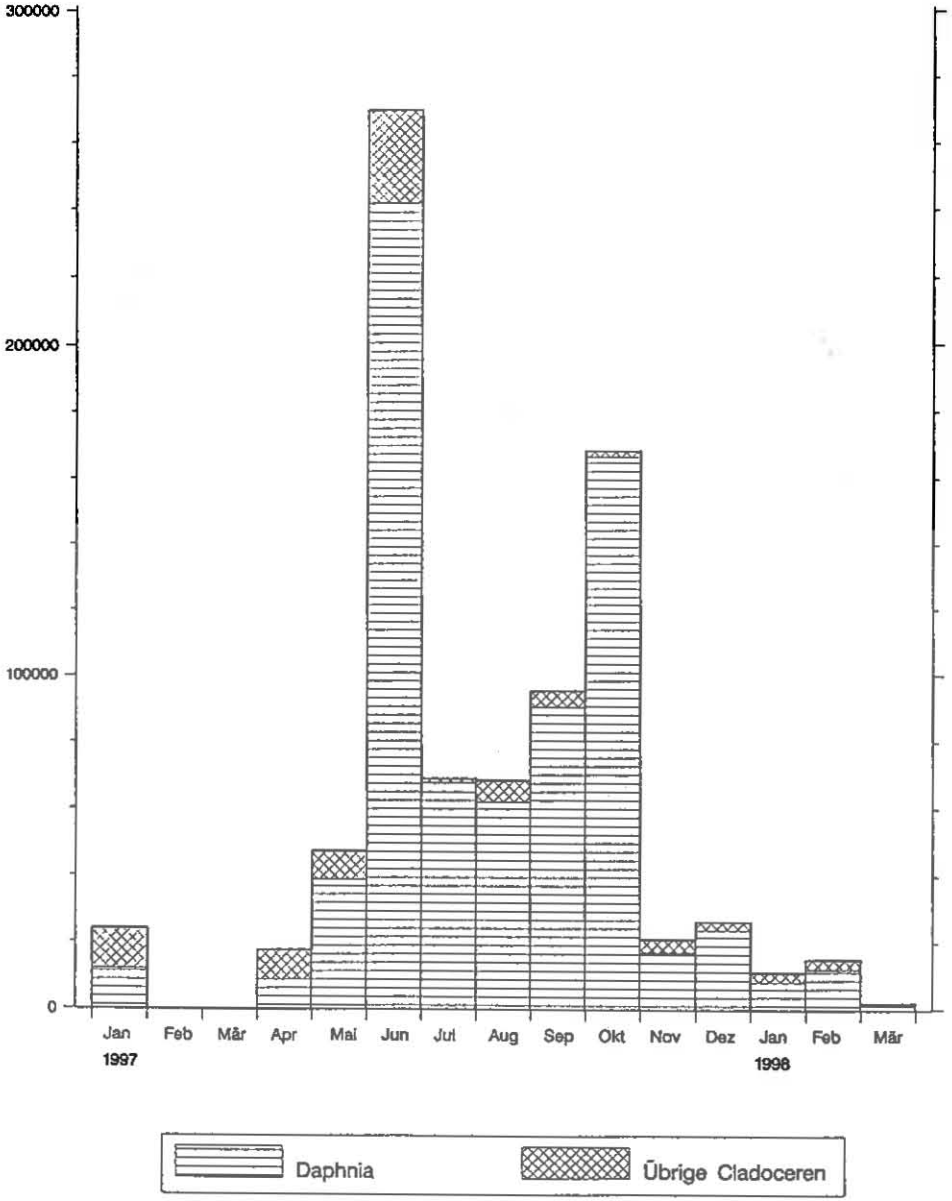
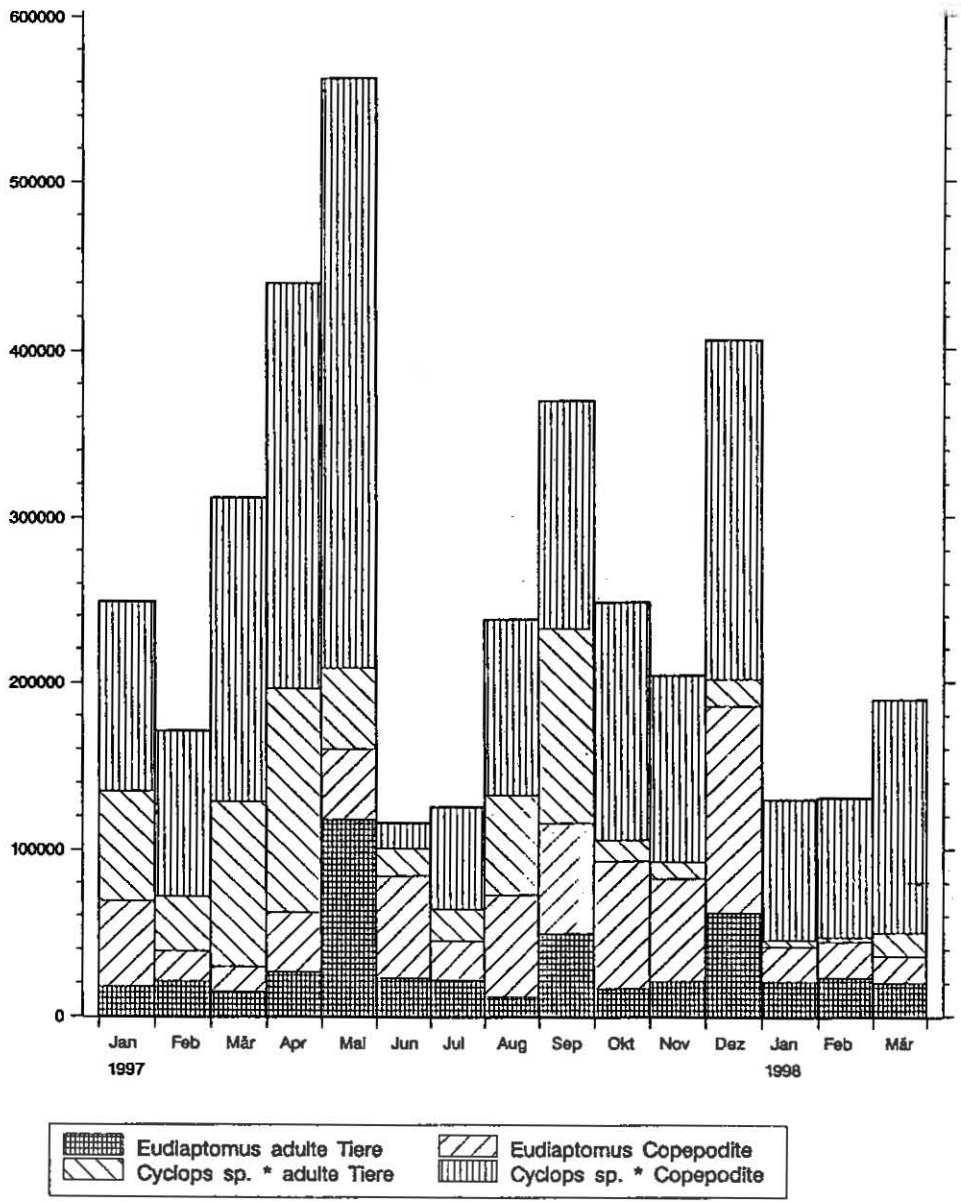
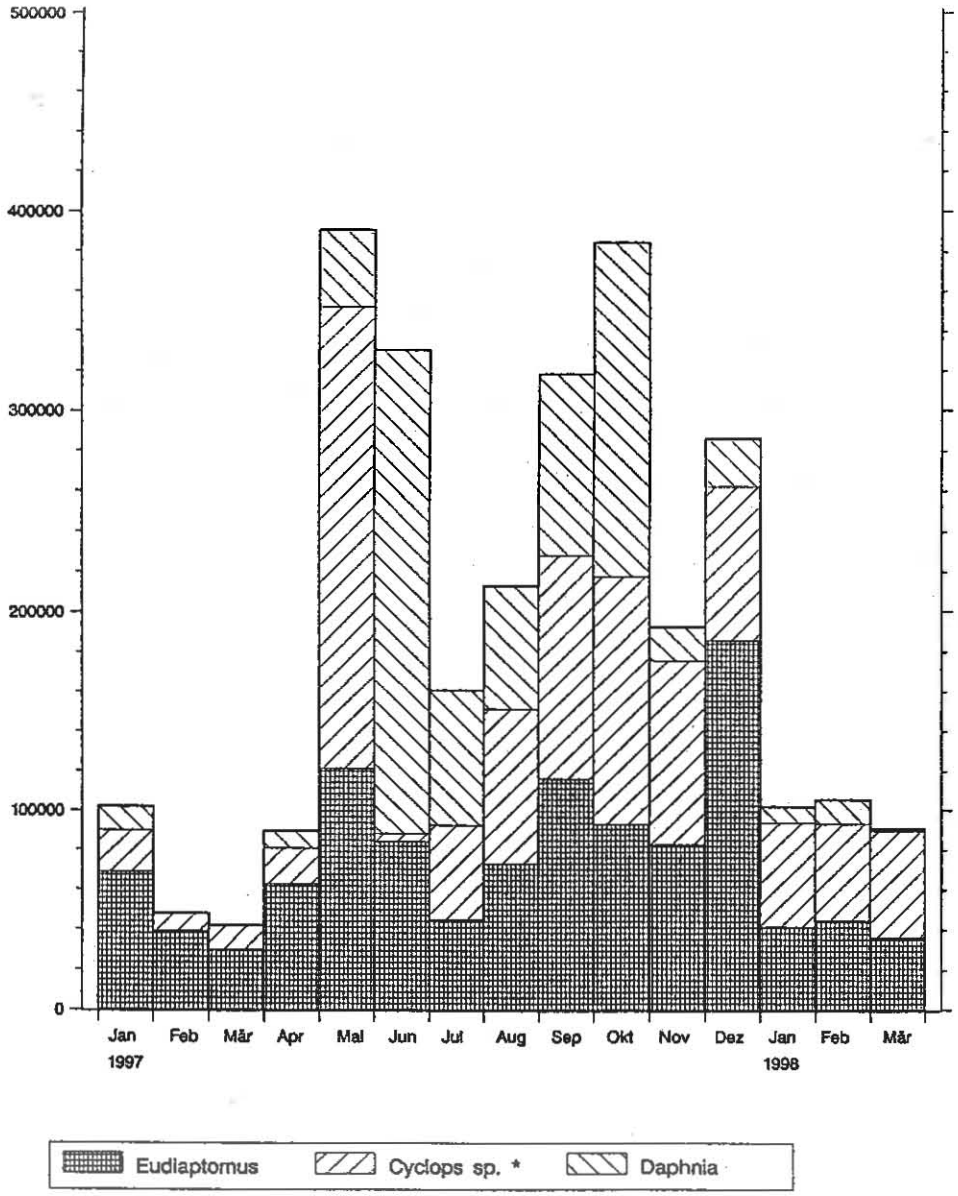


Abb. 28: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
Entwicklung der Cladoceren
Tiere/m², Monatsmittel 1997/98



* 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 1997/98



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

Abb. 30: Bodensee – Obersee, Fischbach–Uttwil:
Entwicklung der herbivor lebenden Crustaceen,
Tiere/m³, Monatsmittel 1997/98

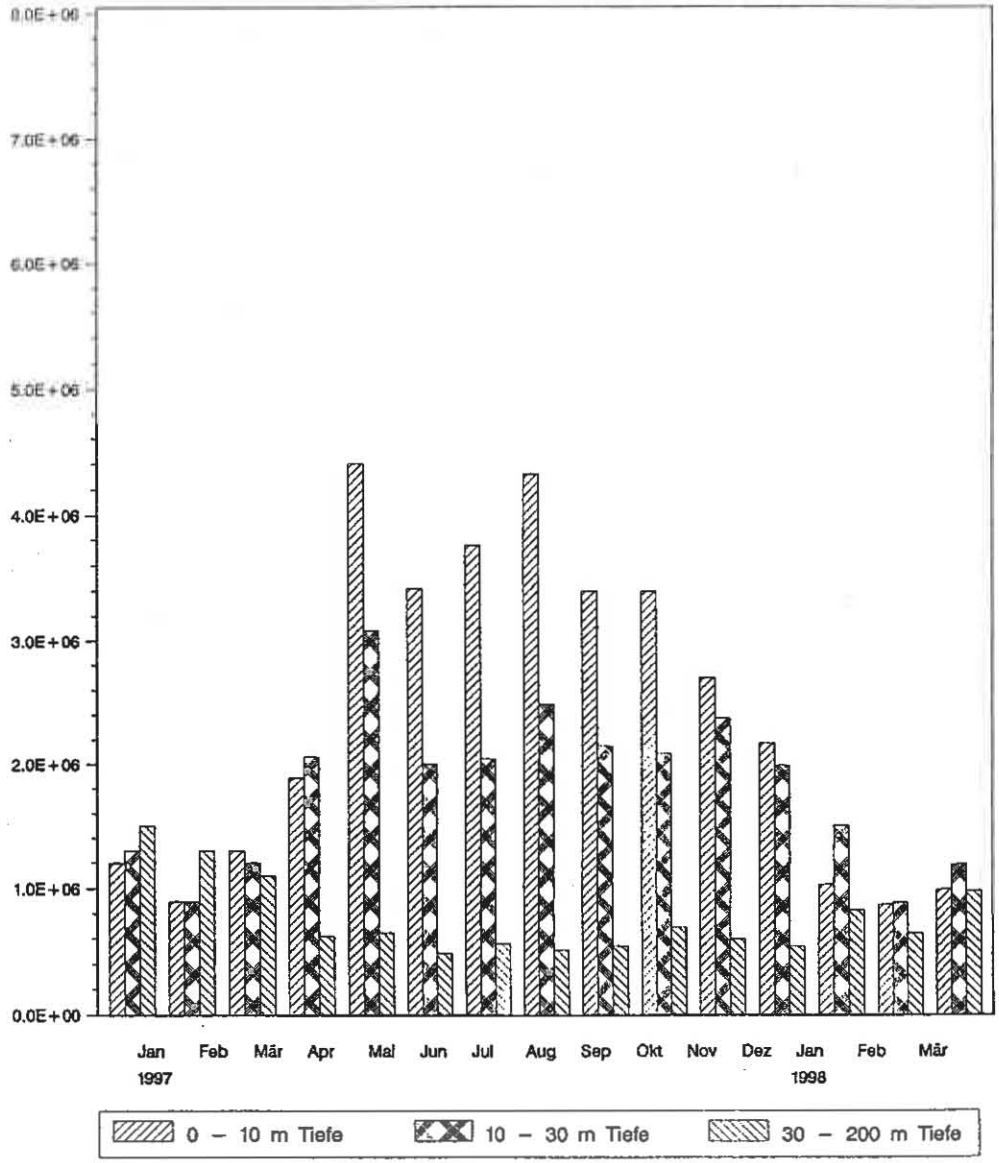


Abb. 31: Bodensee – Obersee, Langenargen–Arbon:
Entwicklung des Bakterienplanktons,
Gesamtkeimzahlen (Millionen Zellen/ml), Monatsmittel 1997/98

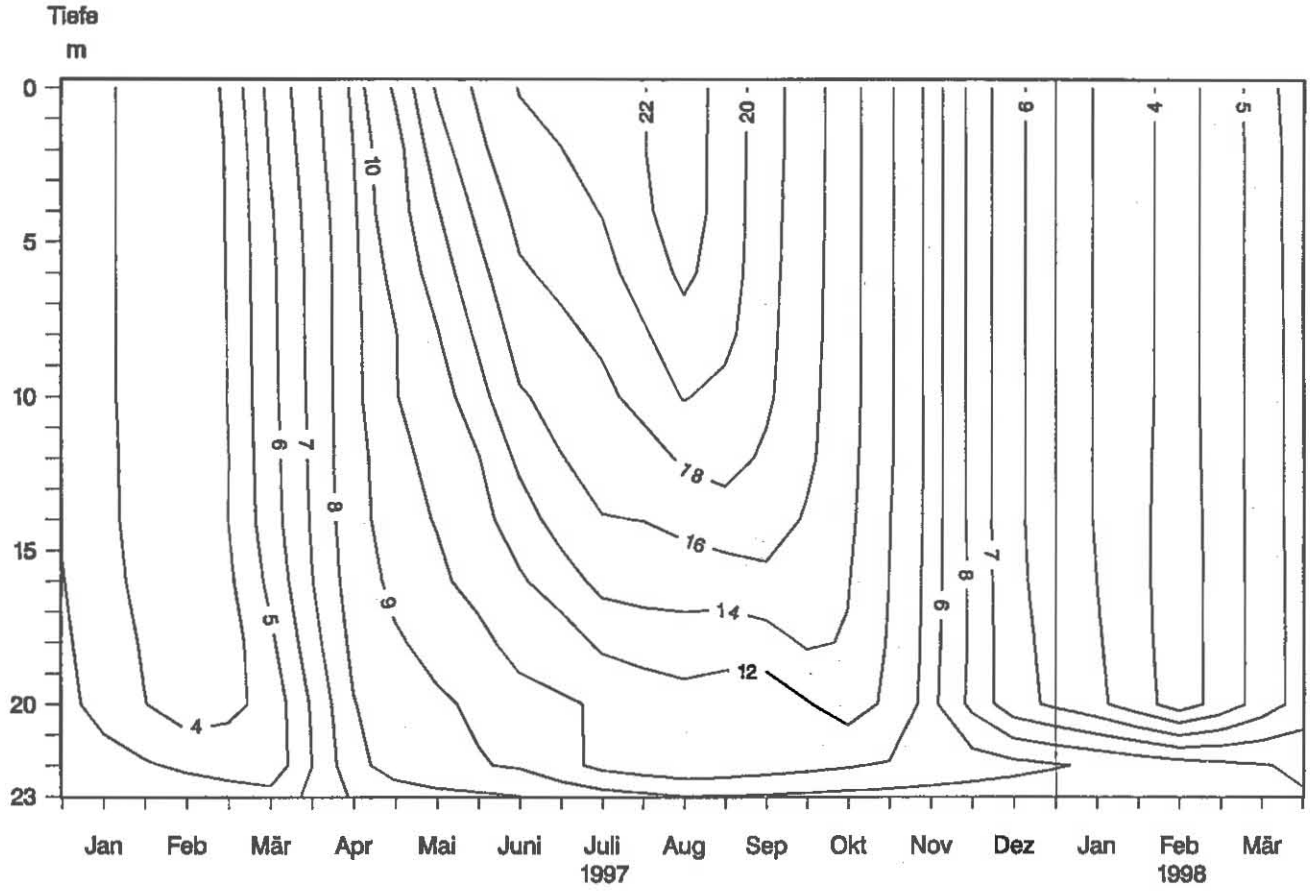


Abb. 32: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Temperatur °C

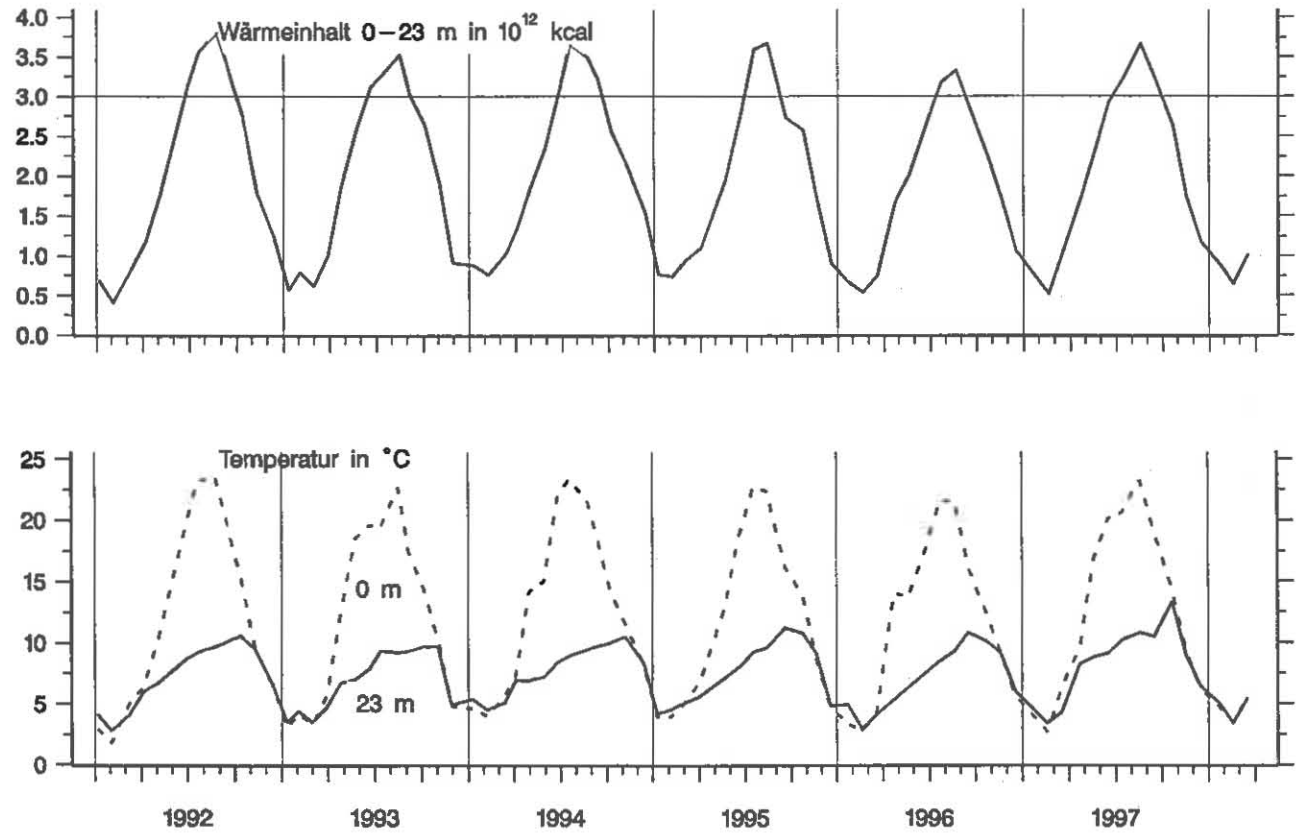


Abb. 33: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Thermik

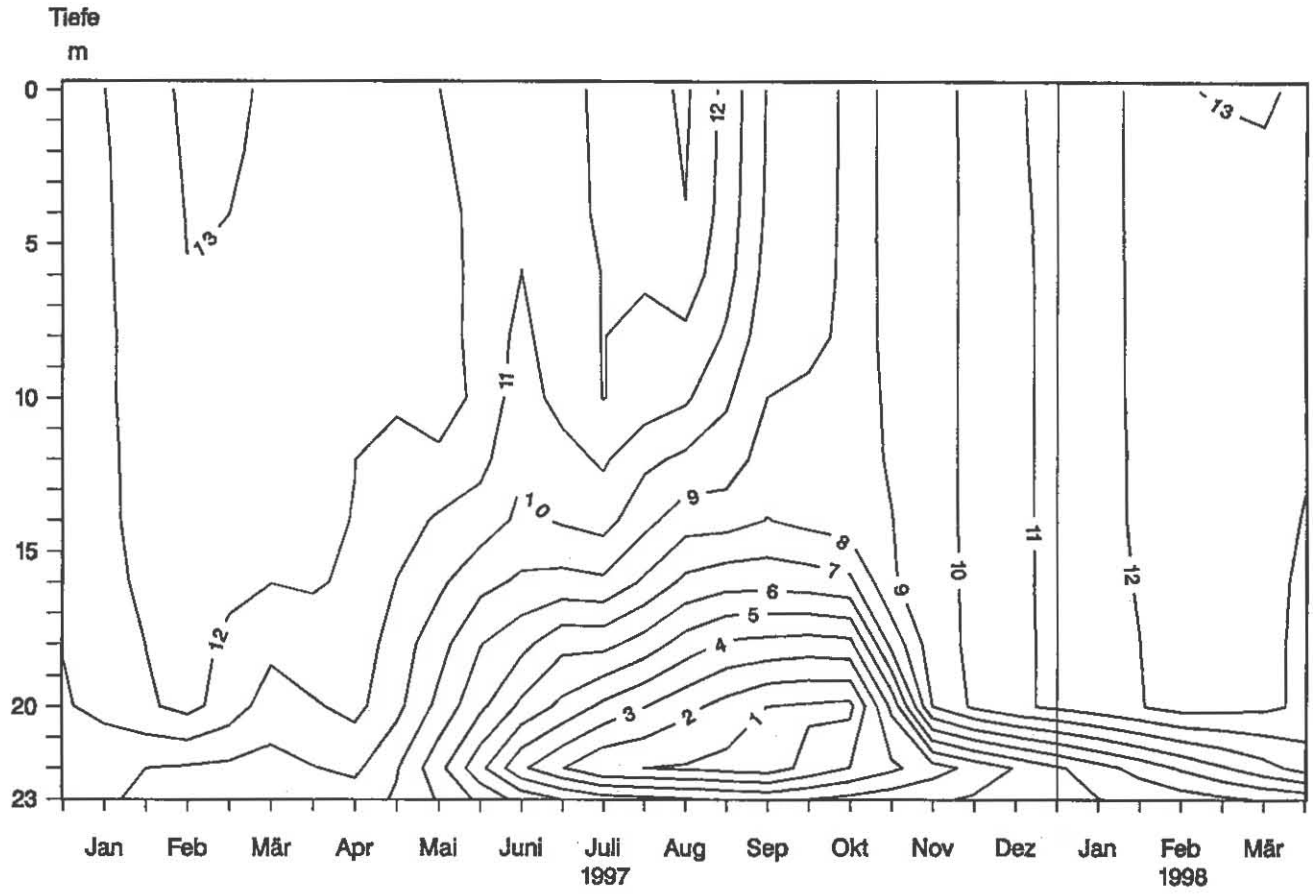


Abb. 34: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Sauerstoff (mg/l)

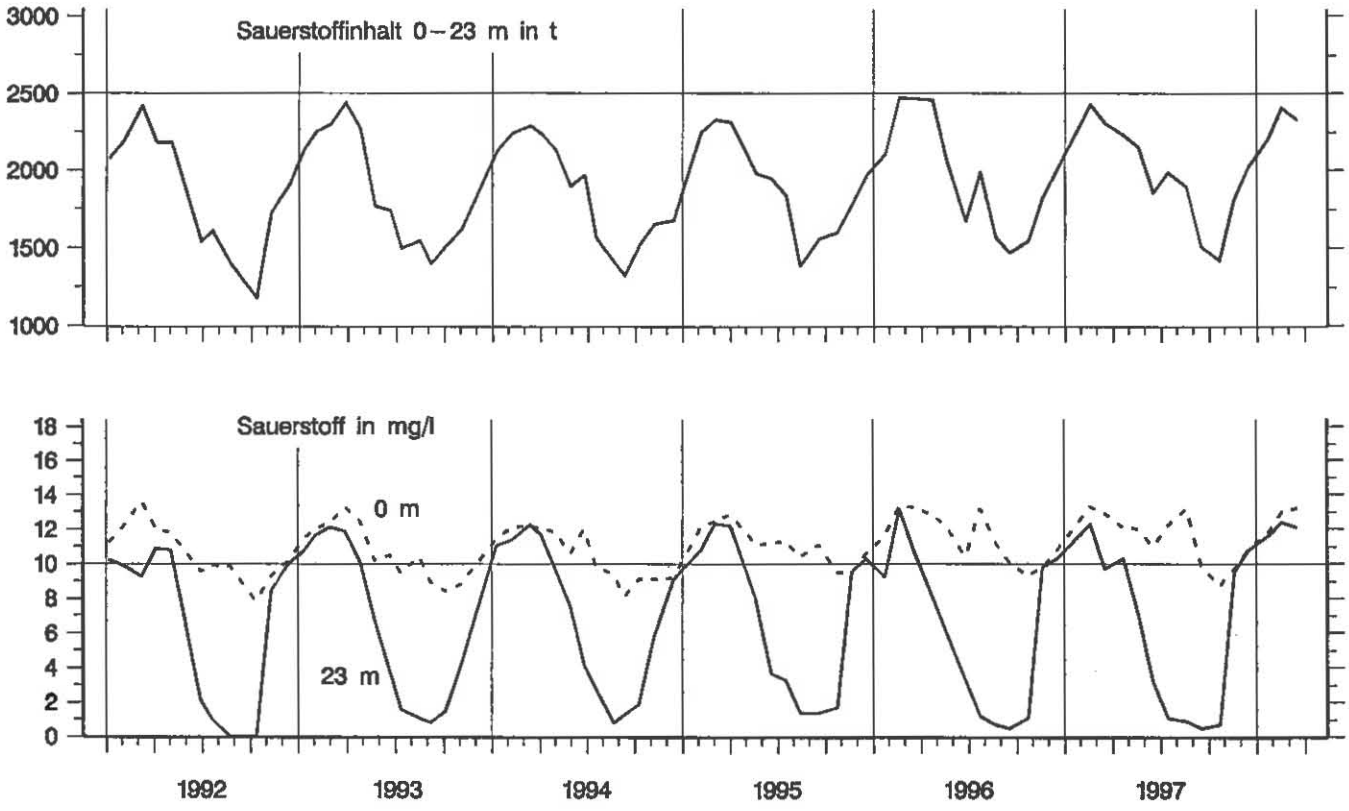


Abb. 35: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Sauerstoffinhalt 0–23 m und Sauerstoffkonzentration in 0 und 23 m Tiefe

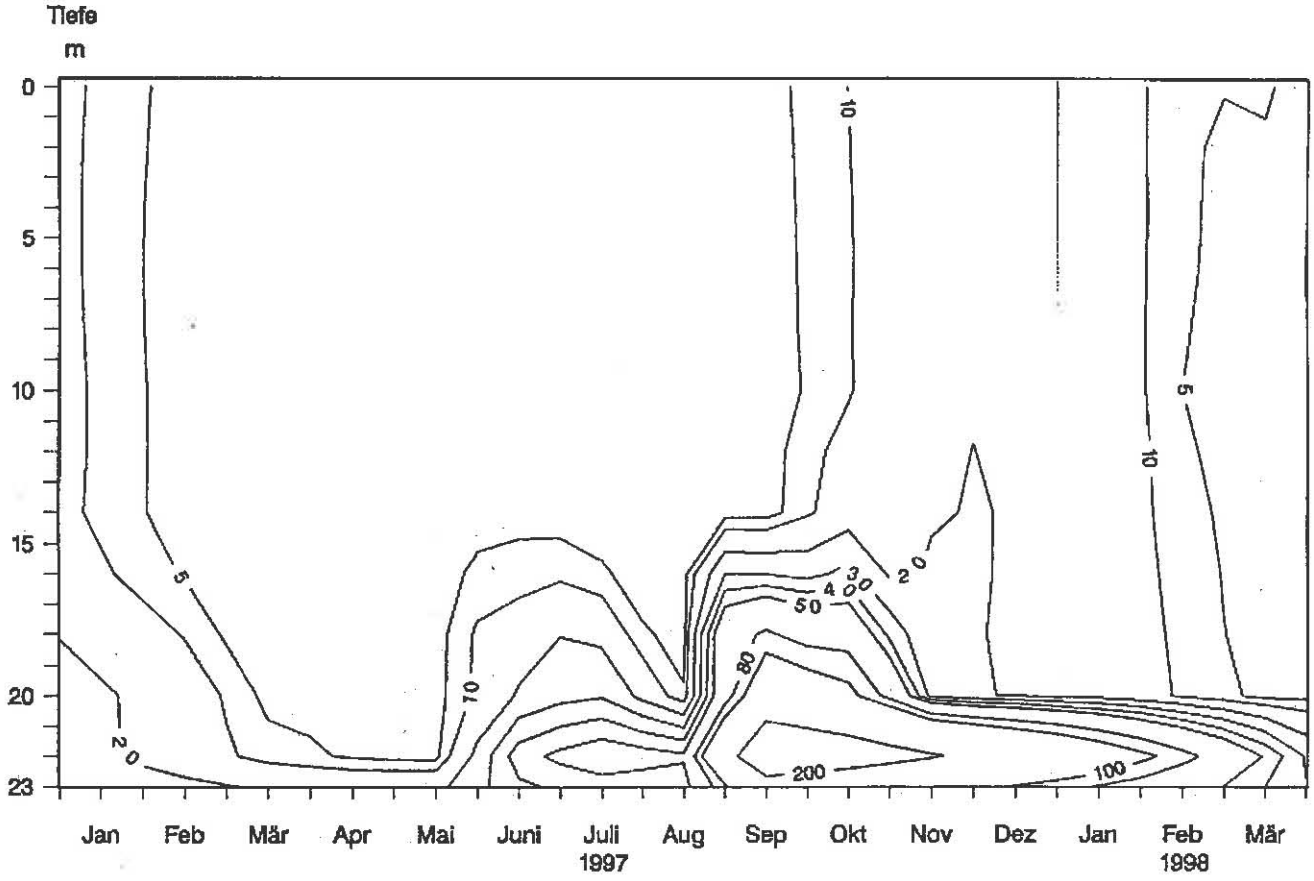


Abb. 36: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Orthophosphat – Phosphor (mg/m^3)

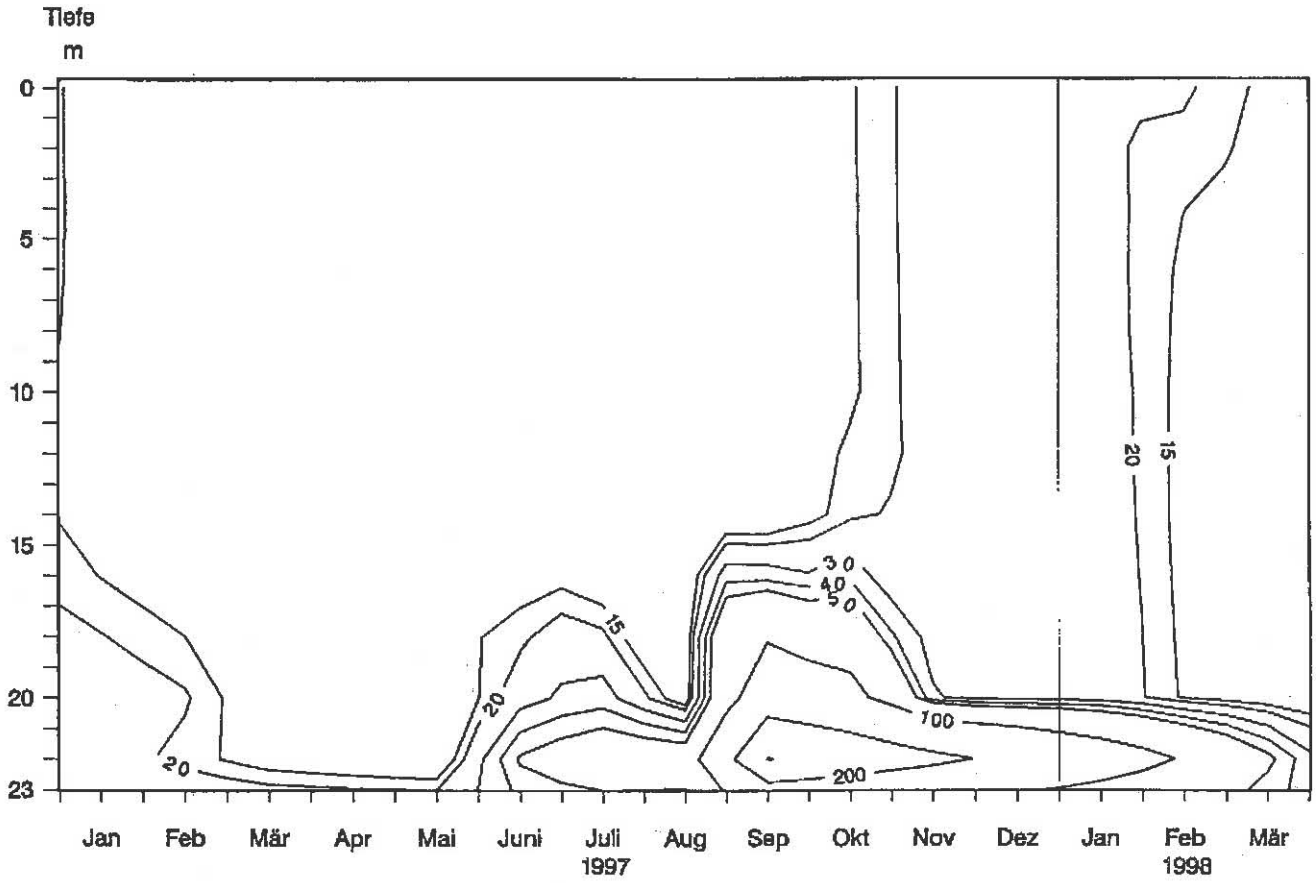


Abb. 37: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Gesamt gelöster Phosphor (mg/m^3)

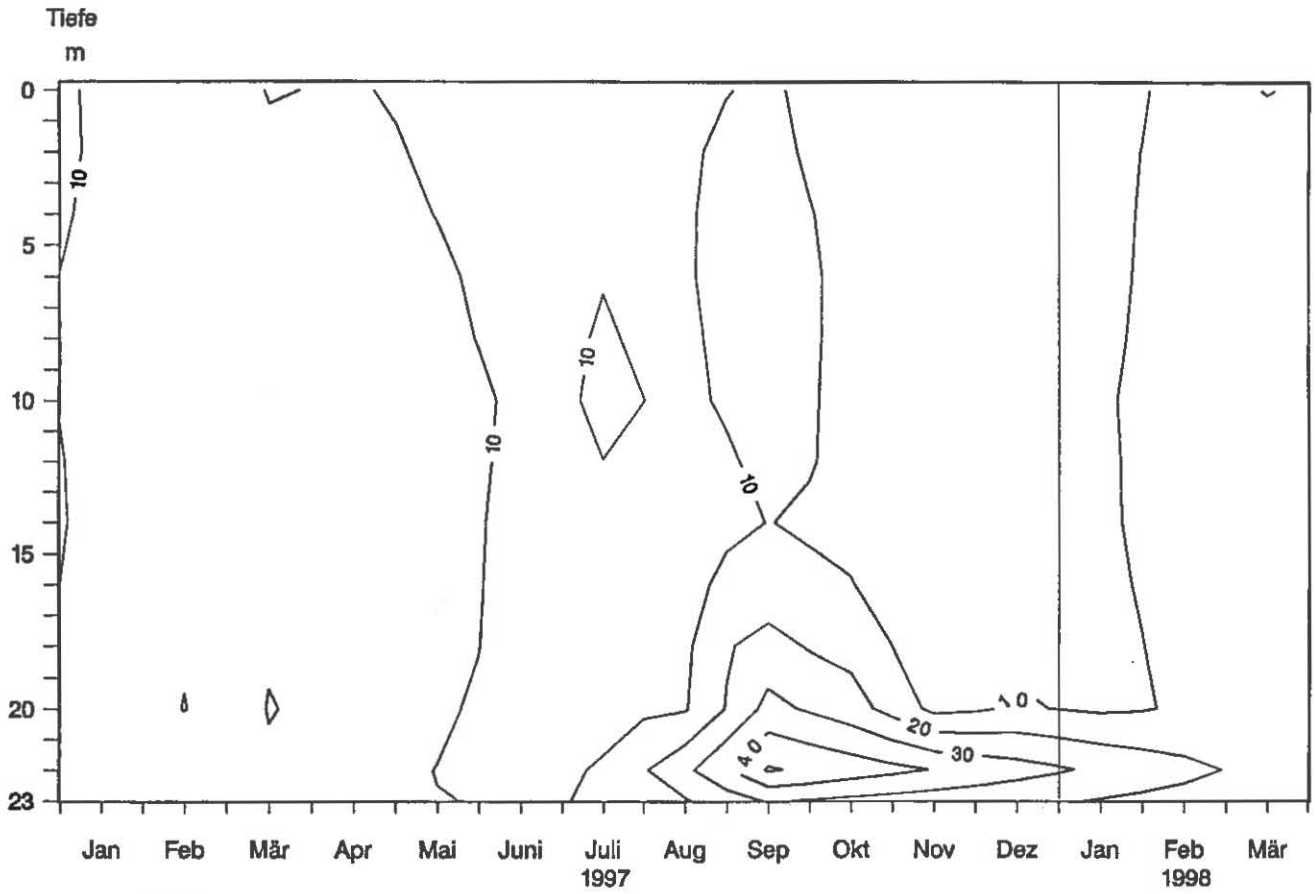


Abb. 38: Bodensee – Untersee, Zellersee: partikulärer Phosphor (mg/m³)

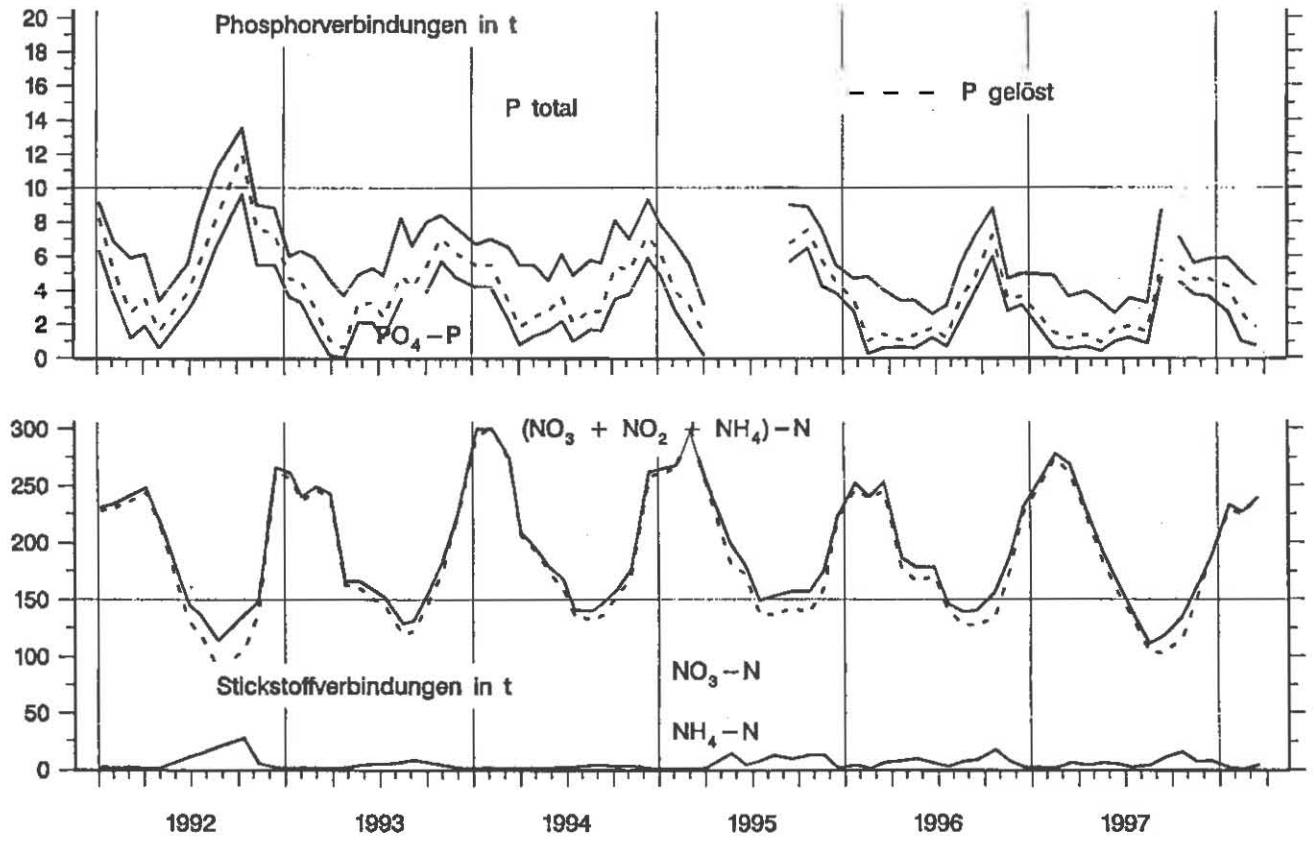


Abb. 39: Bodensee – Untersee, Zellersee: Nährstoffinhalt 0–23 m Tiefe

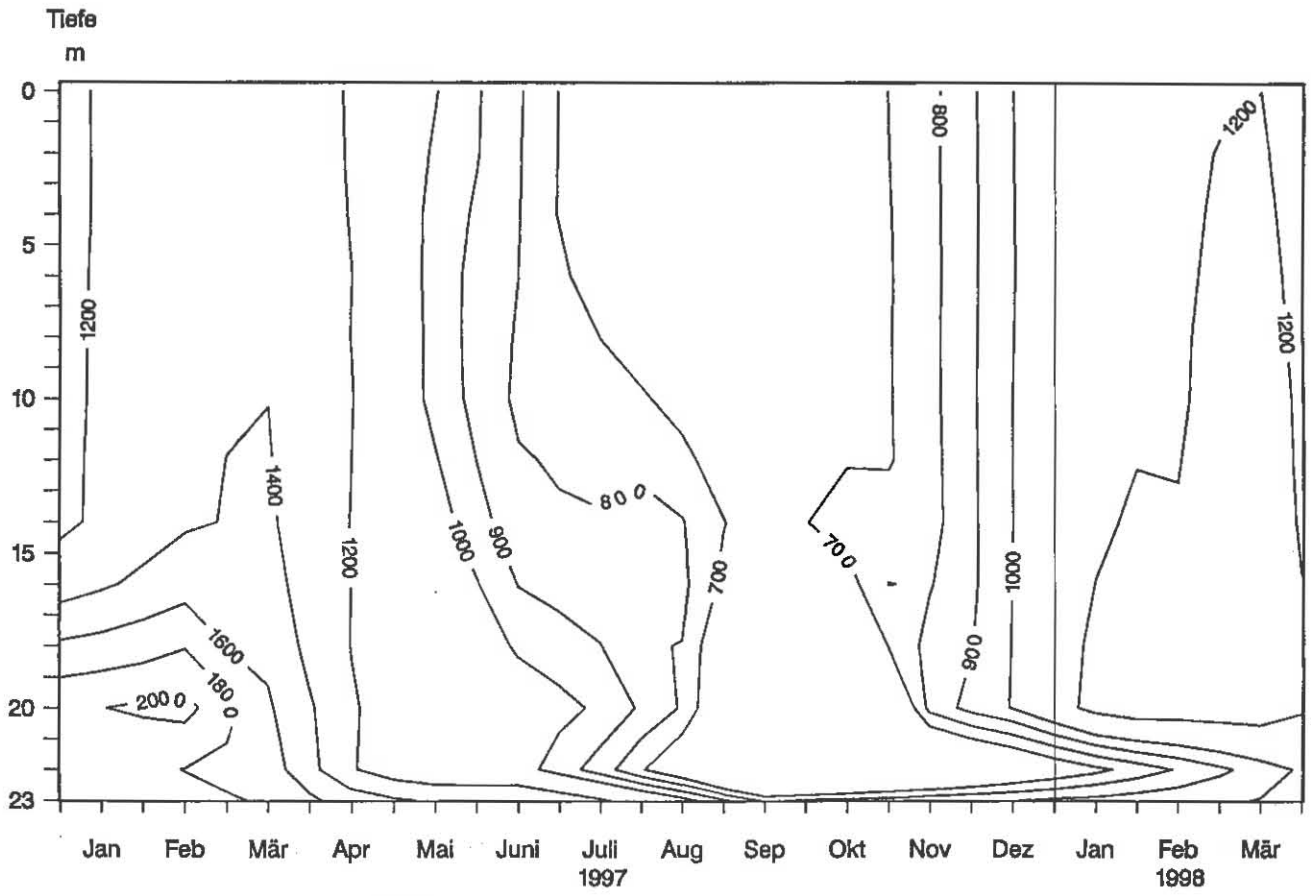


Abb. 40: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Nitrat – Stickstoff (mg/m^3)

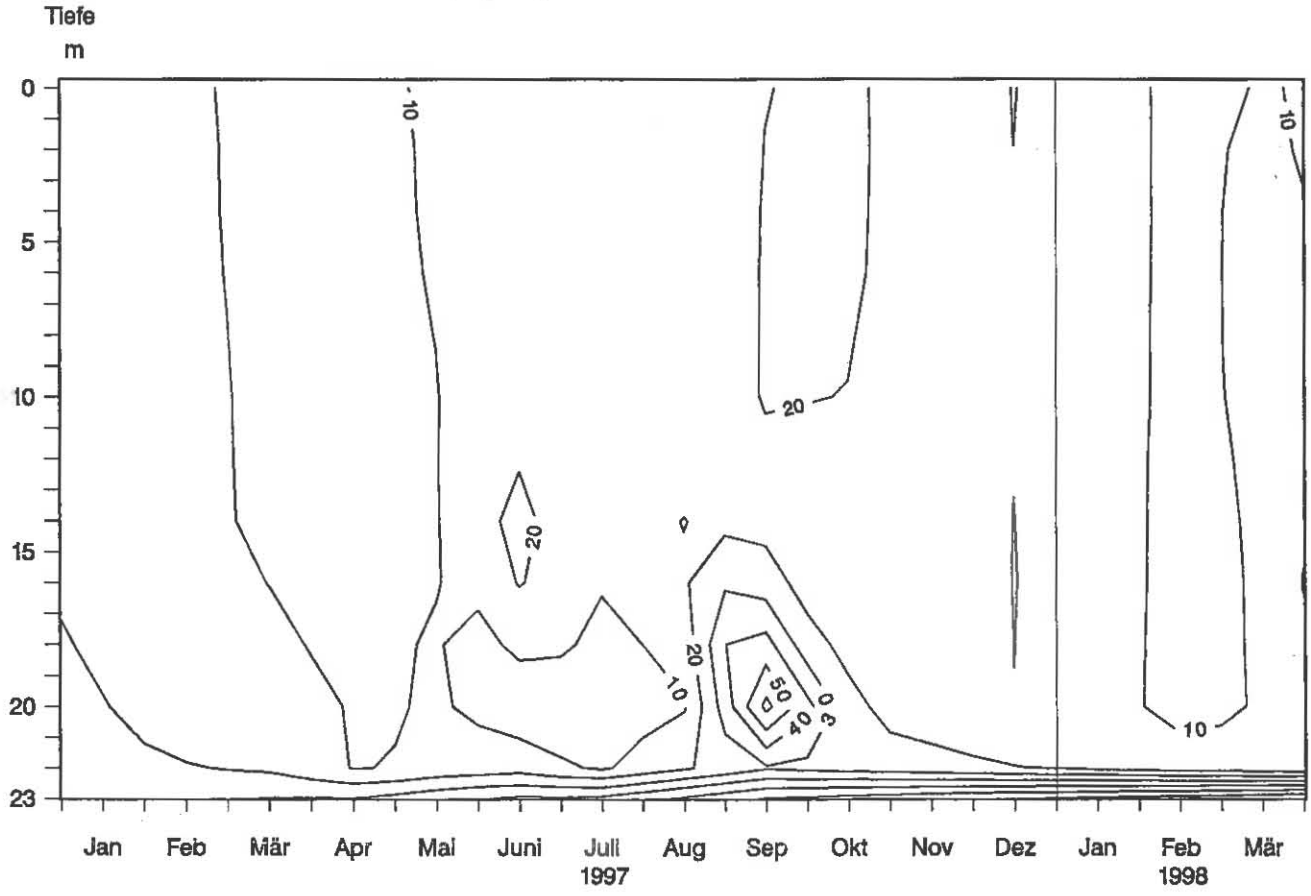


Abb. 41: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Nitrit – Stickstoff (mg/m^3)

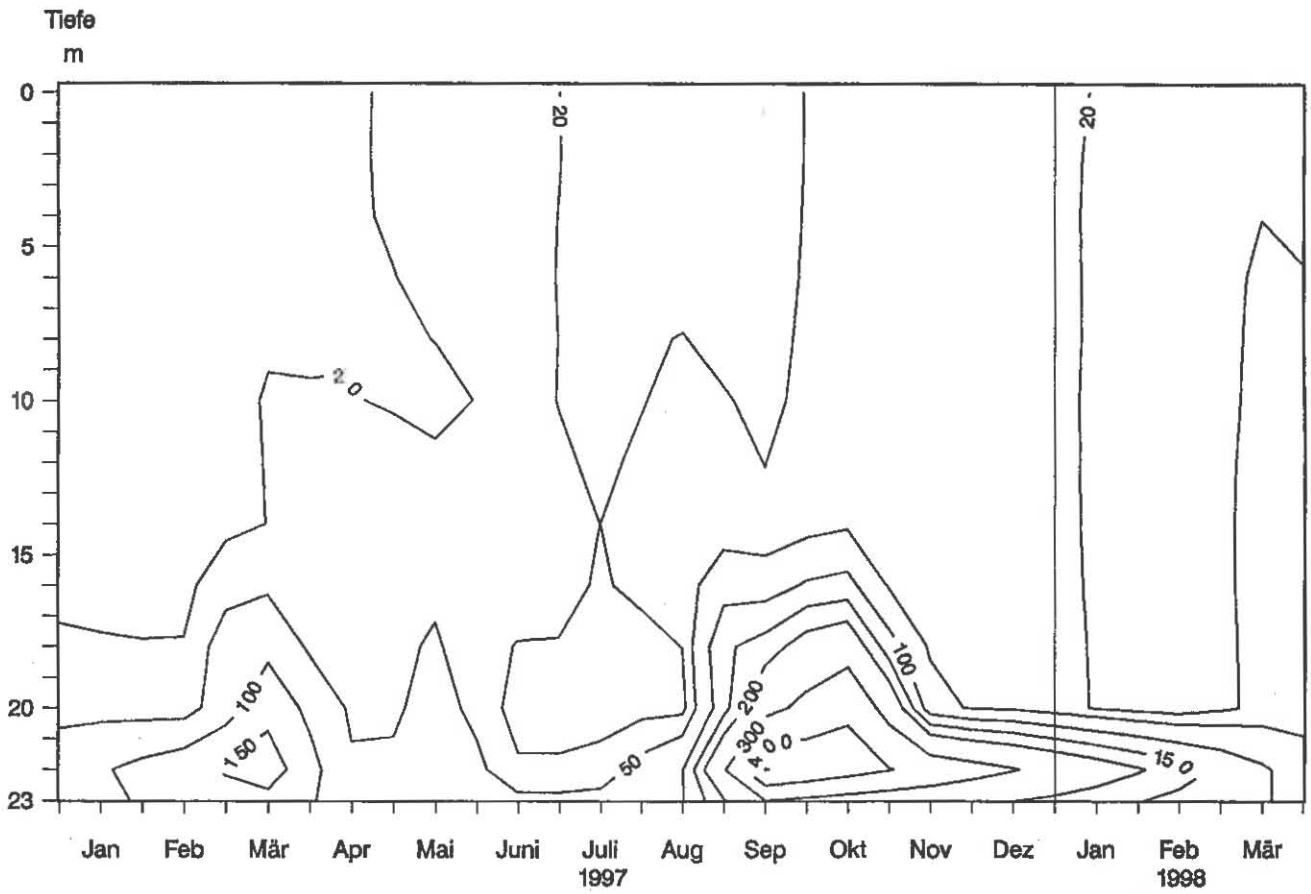


Abb. 42: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Ammonium – Stickstoff (mg/m^3)

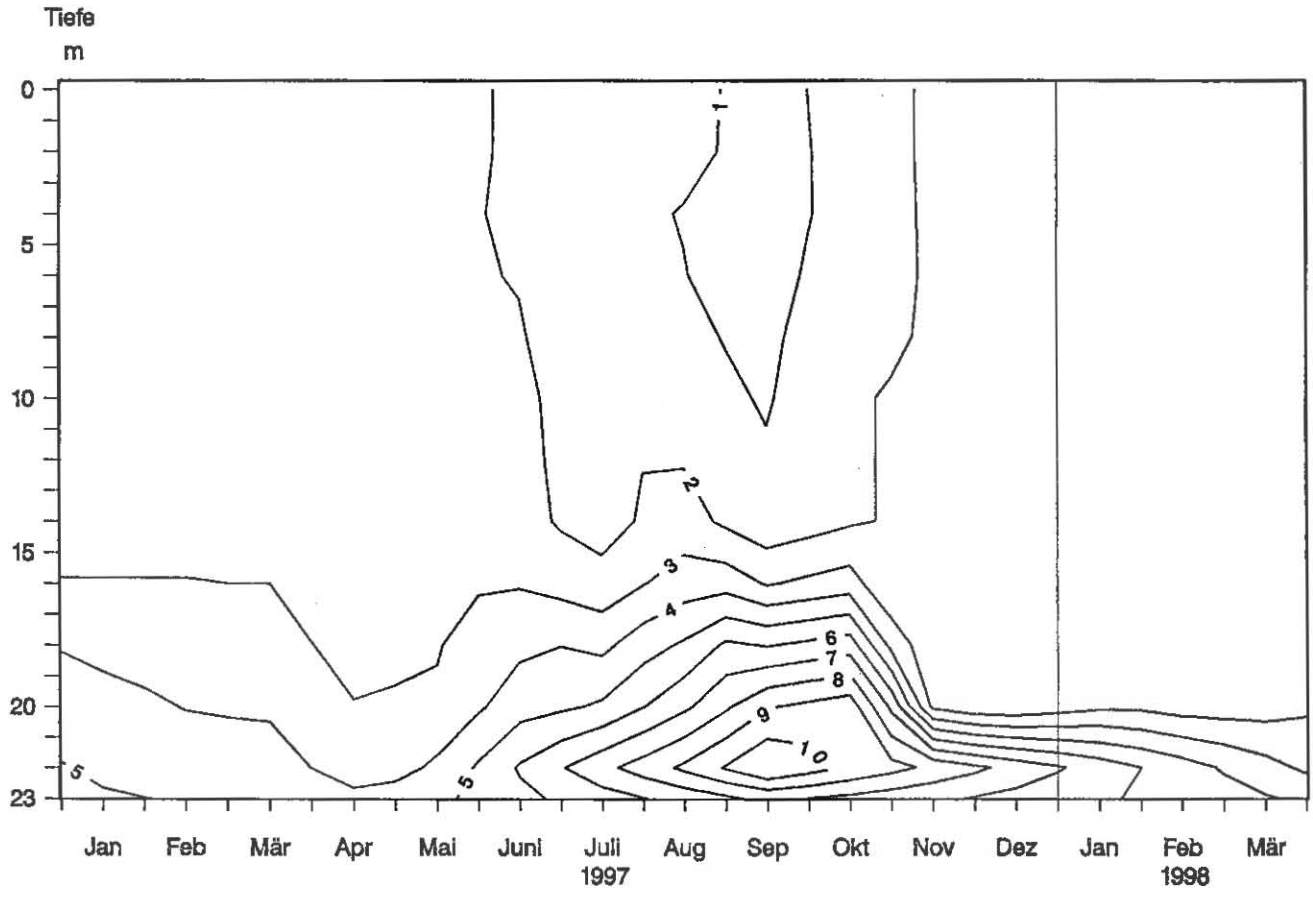


Abb. 43: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Silikat (mg/l)

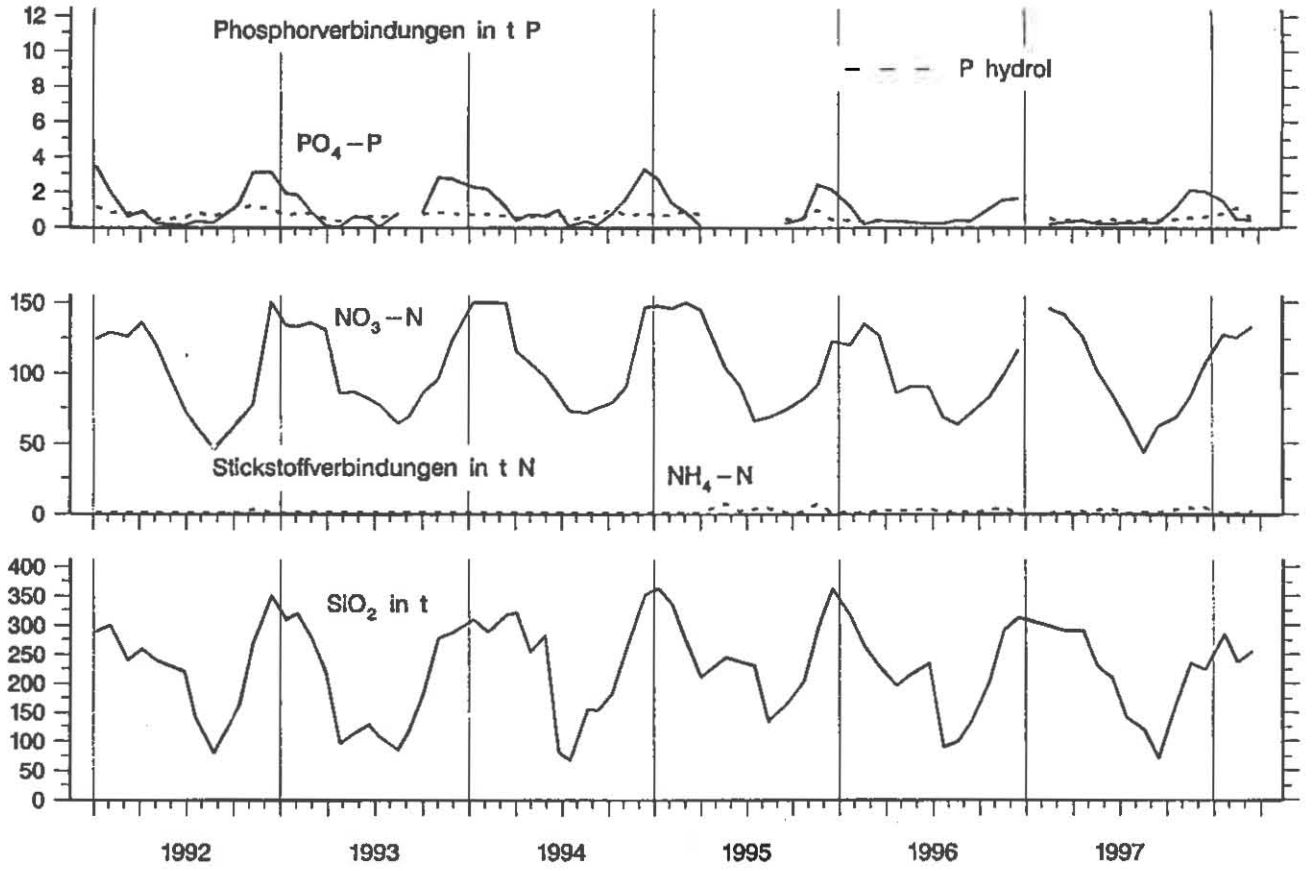


Abb. 44: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Nährstoffinhalt im Epilimnion 0–10 m Tiefe

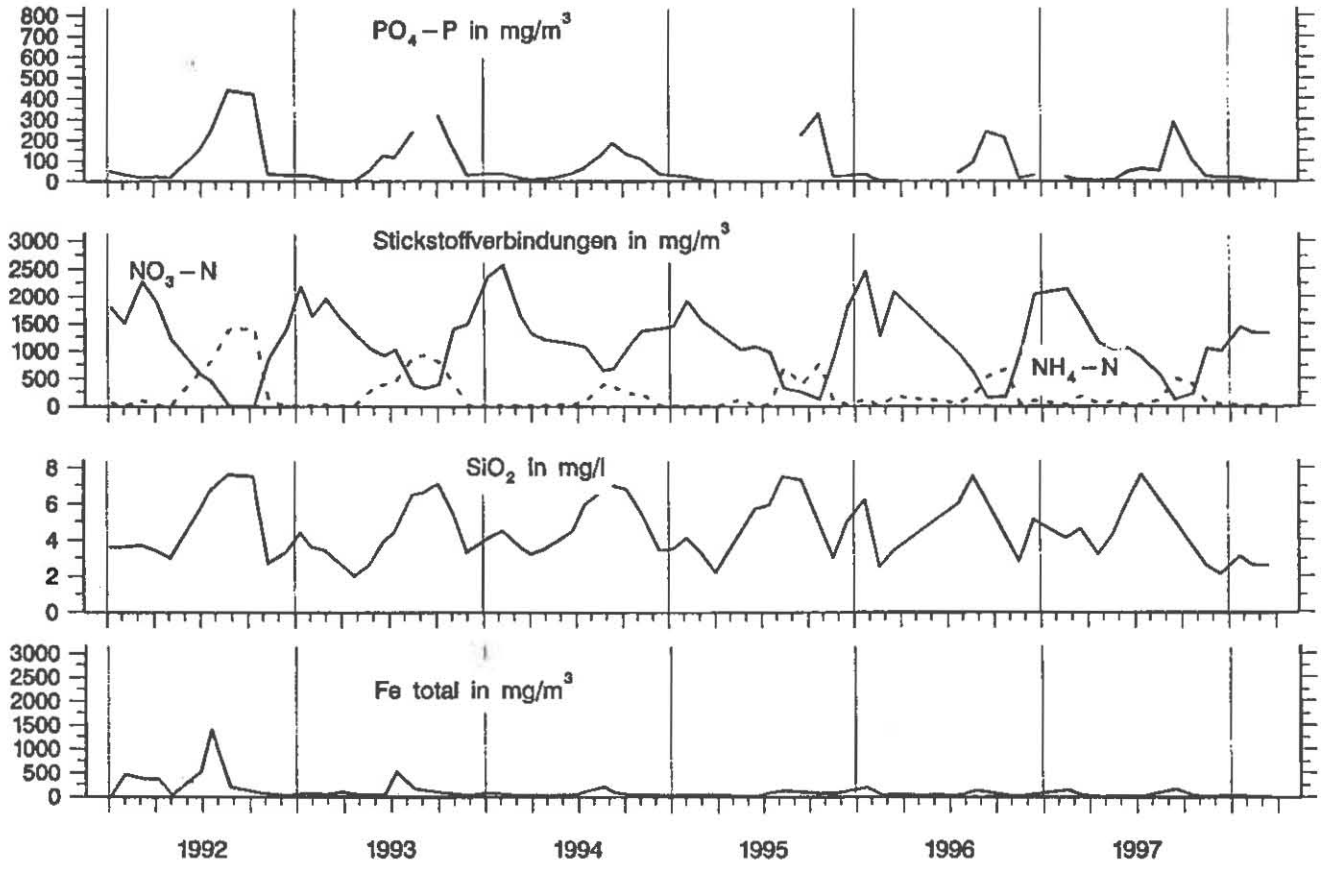


Abb. 45: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Nährstoffkonzentration in 23 m Tiefe

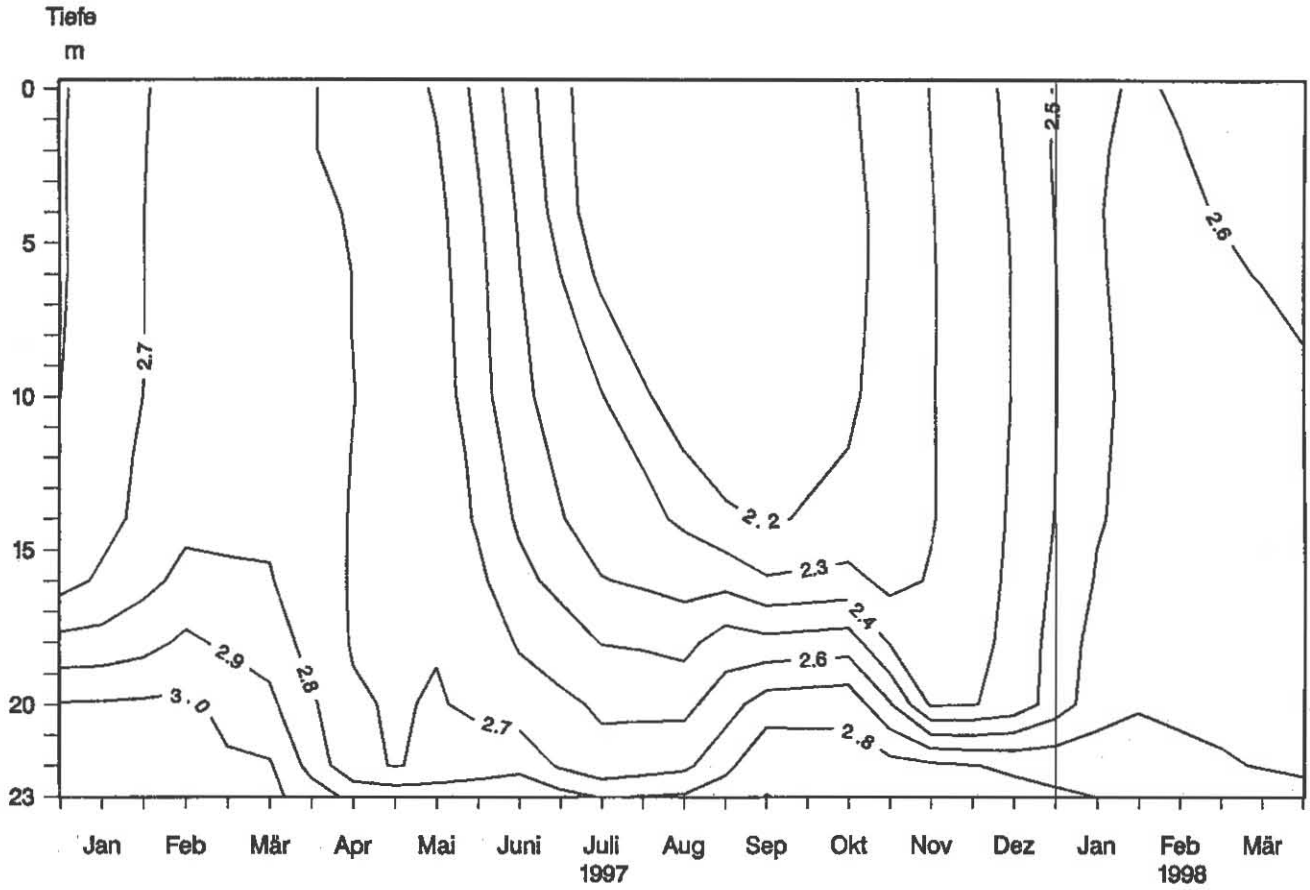


Abb. 46: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Anorganischer Kohlenstoff (mmol/l)

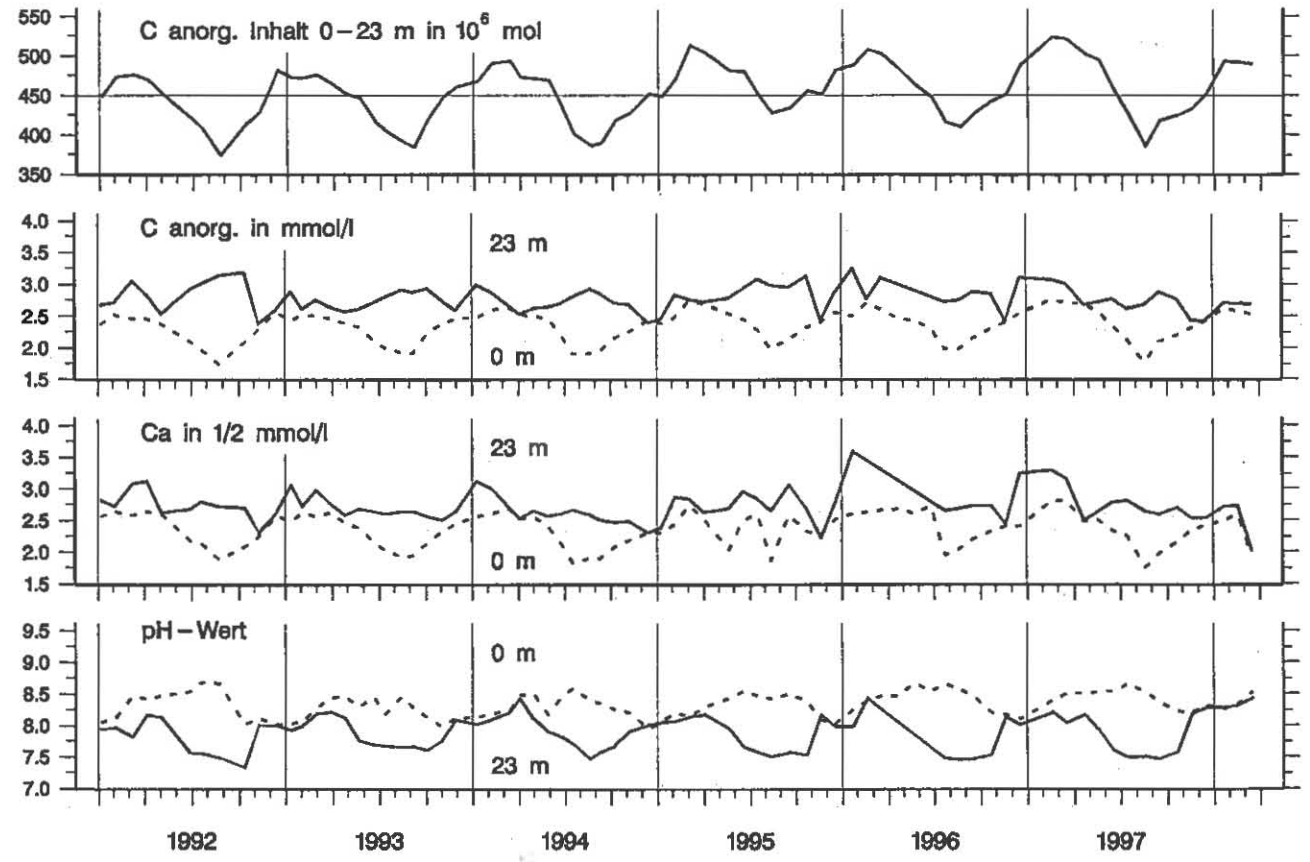


Abb. 47: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Anorganischer Kohlenstoff, Inhalt 0–23 m Tiefe
Konzentration von anorg. Kohlenstoff, Calcium; pH–Wert

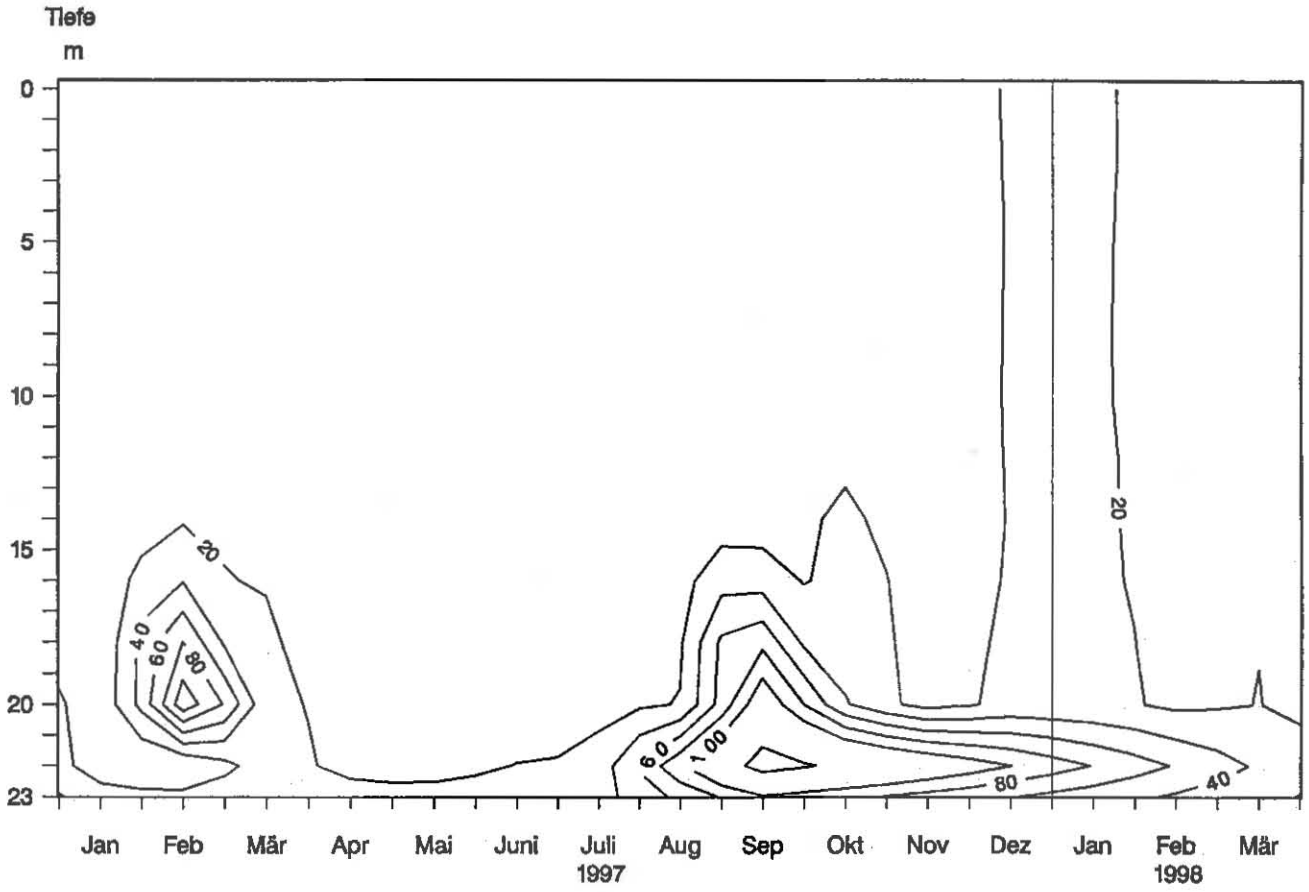


Abb. 48: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Konzentration von Eisen total (mg/m^3)

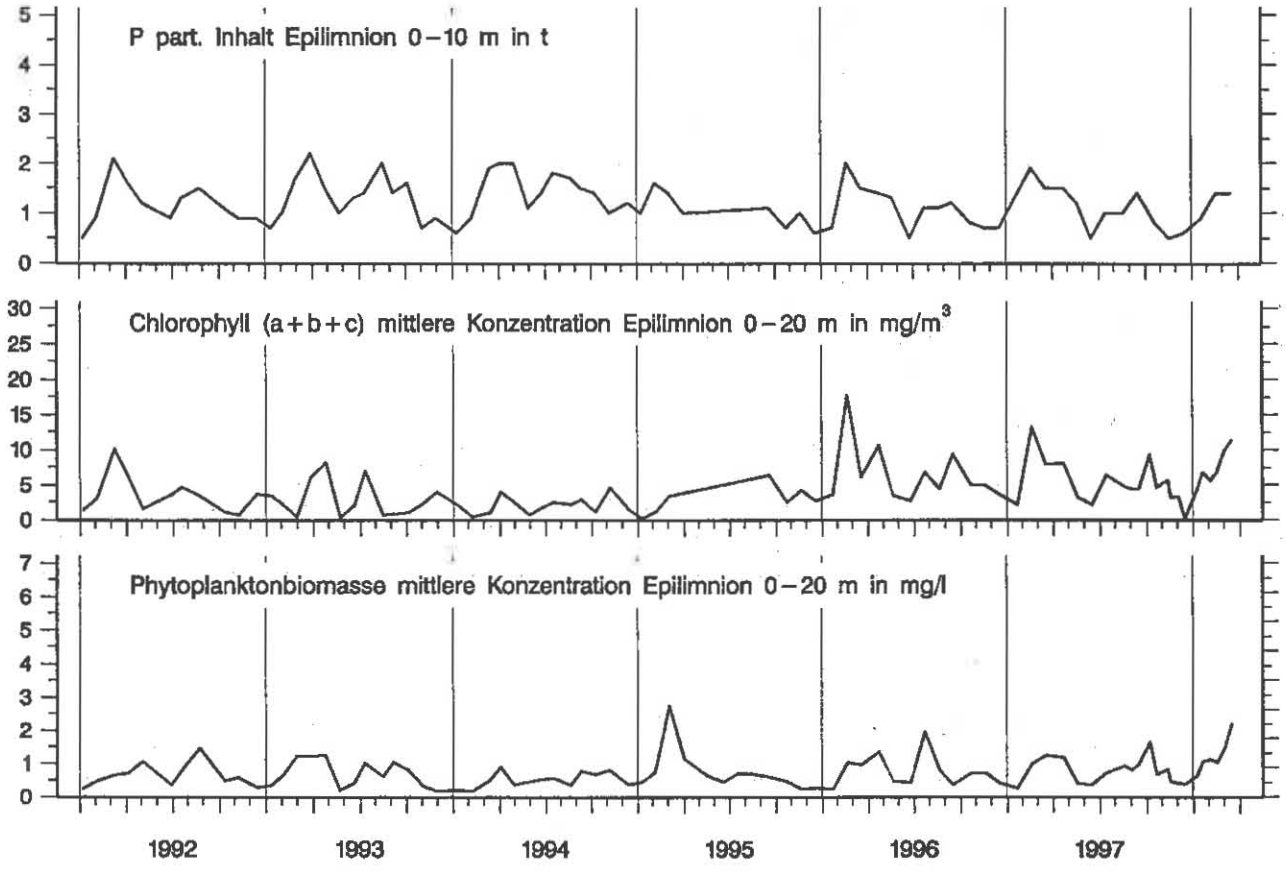


Abb. 49: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Chemische Biomasseindikatoren und Phytoplanktonbiomasse

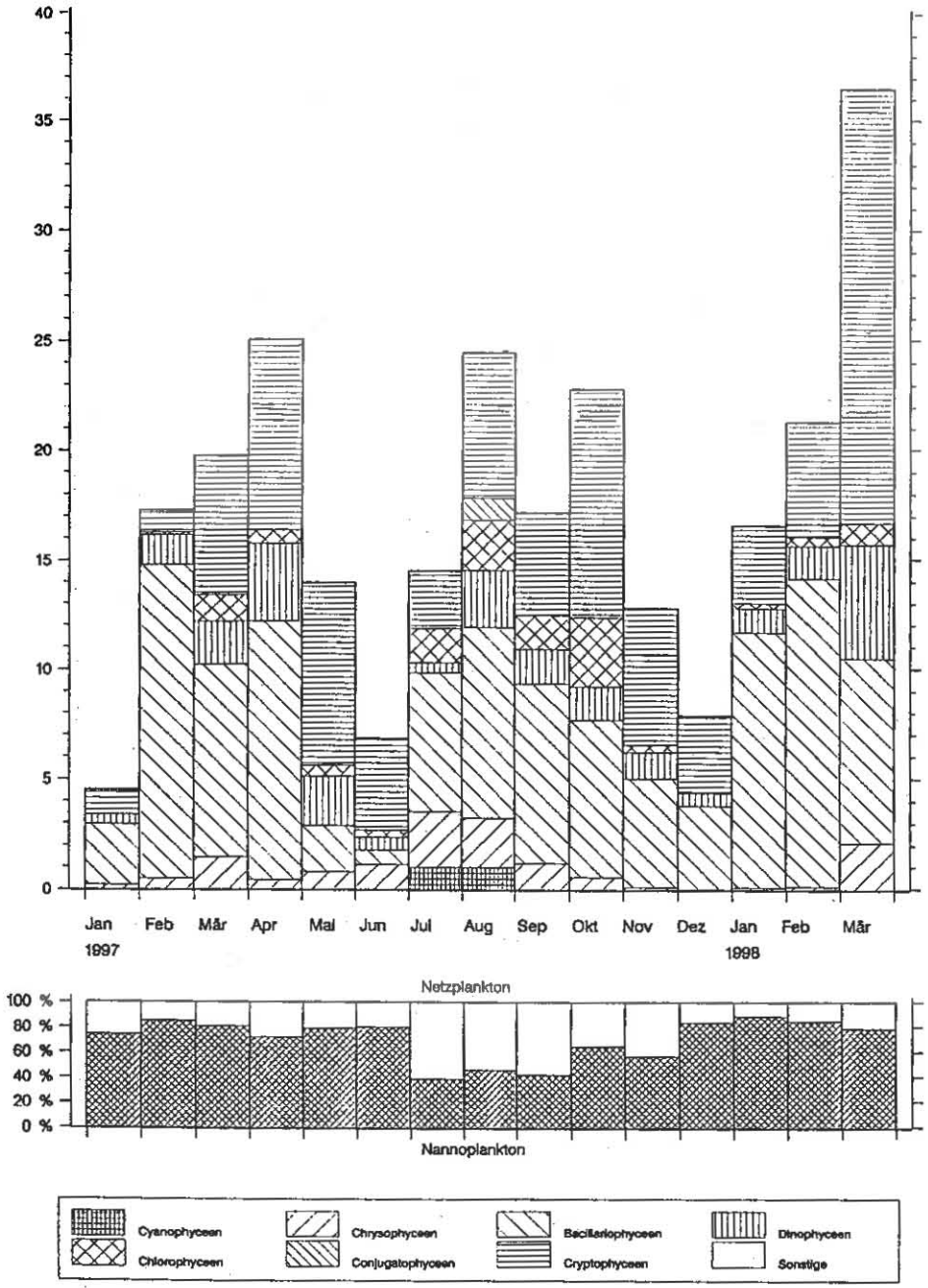


Abb. 50: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Entwicklung des Phytoplanktons
Biomasse in g/m² (0–20m Tiefe), Monatsmittel 1997/98

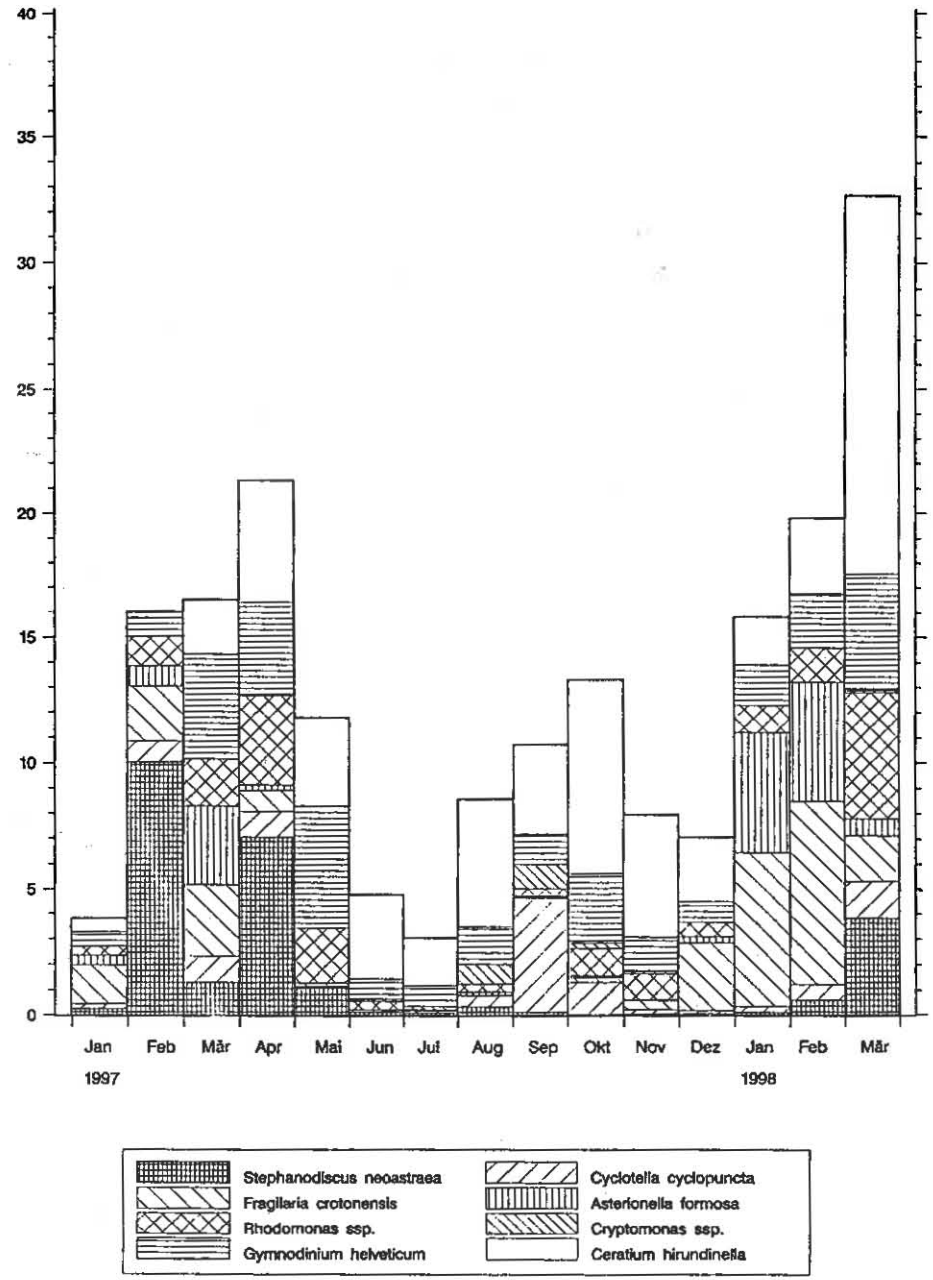


Abb. 51: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Entwicklung des Phytoplanktons
Biomasse der Hauptarten in g/m² (0–20m Tiefe), Monatsmittel 1997/98

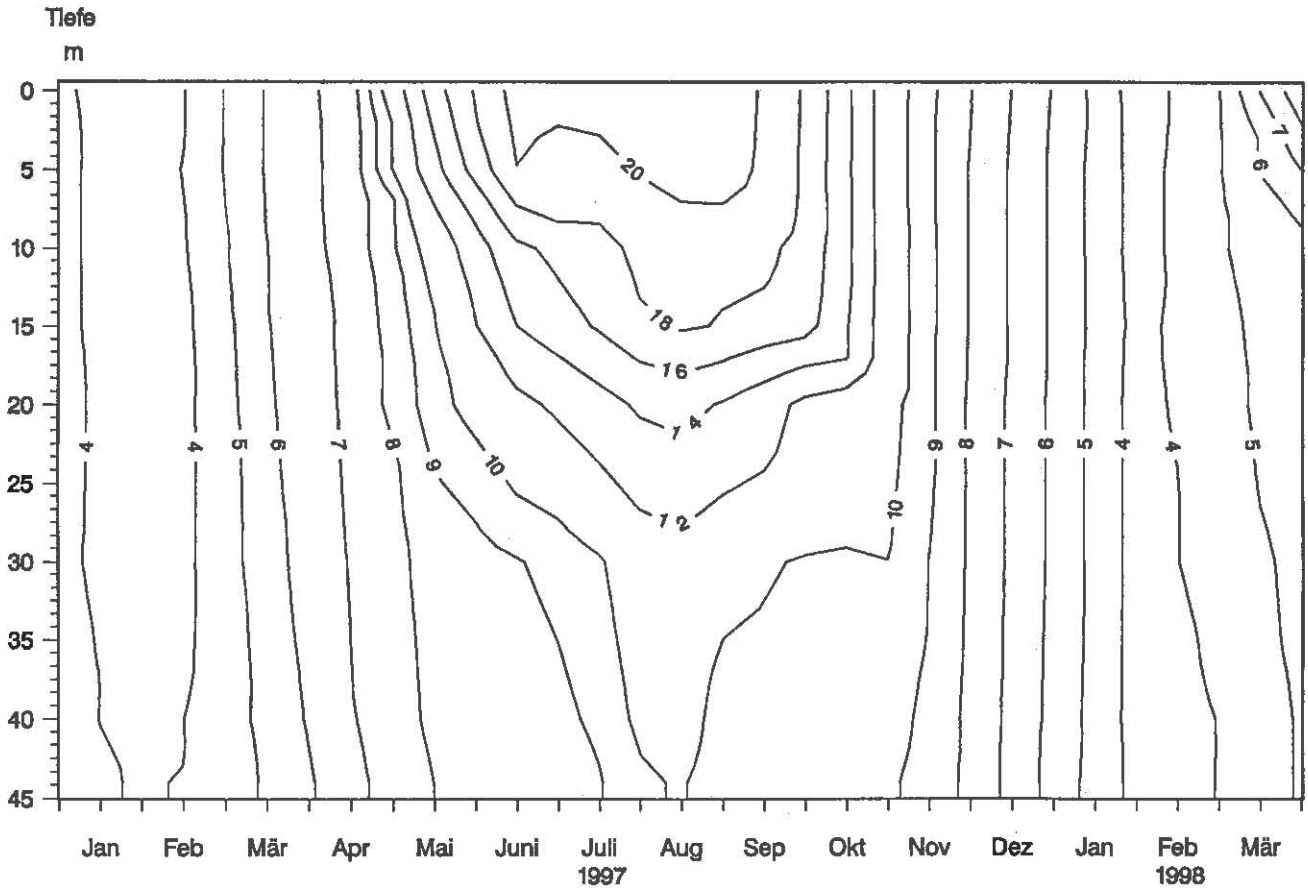


Abb. 52: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen): Temperatur °C

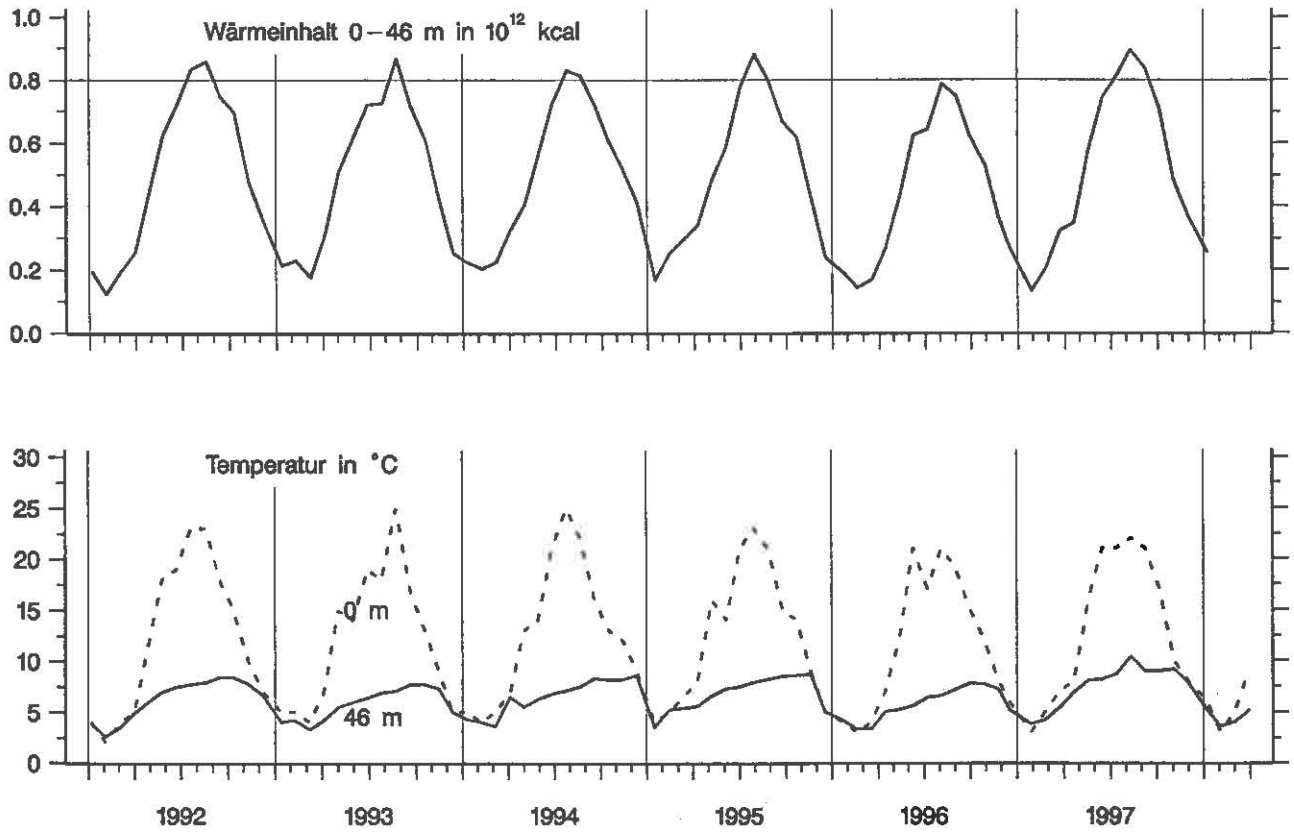


Abb. 53: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen): Thermik

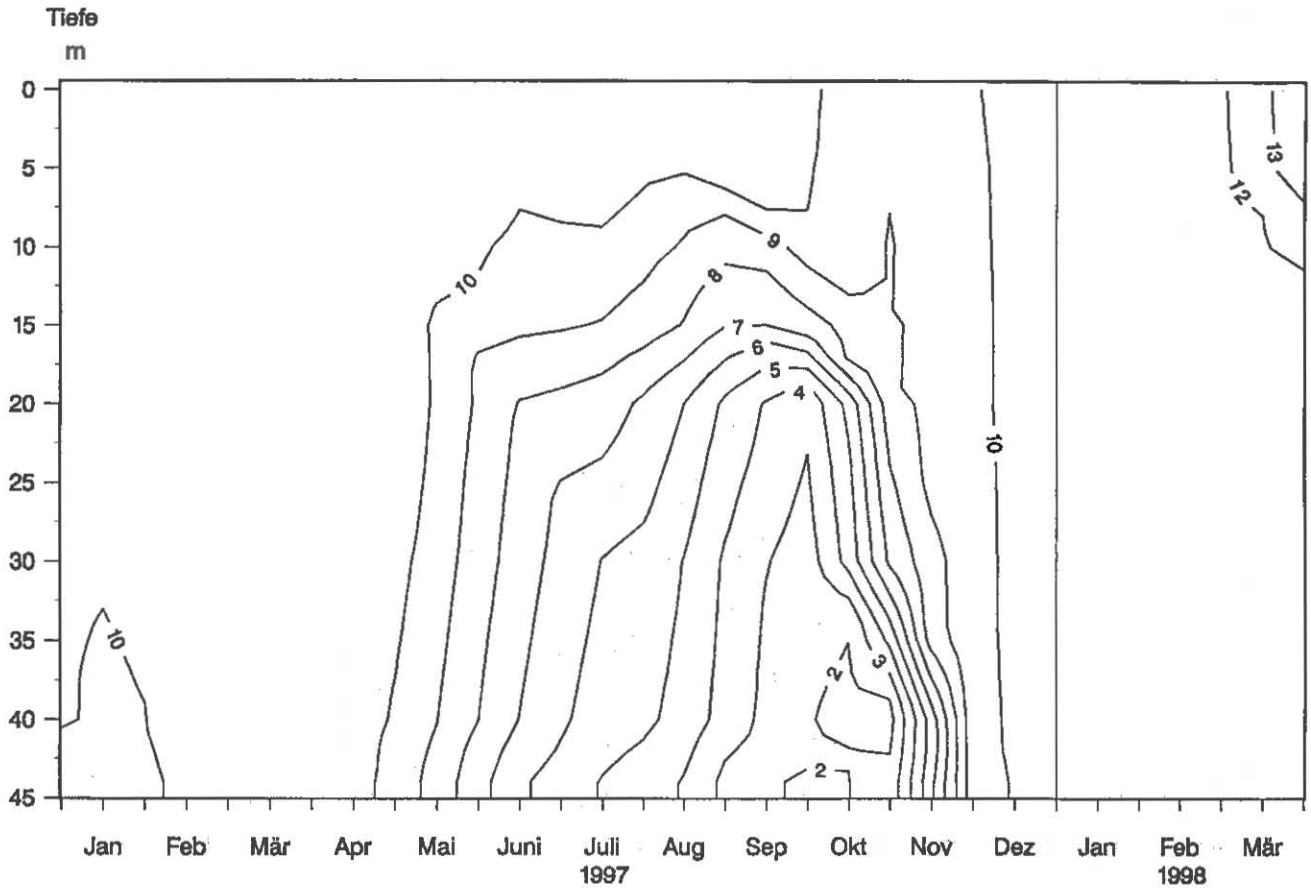


Abb. 54: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Sauerstoff (mg/l)

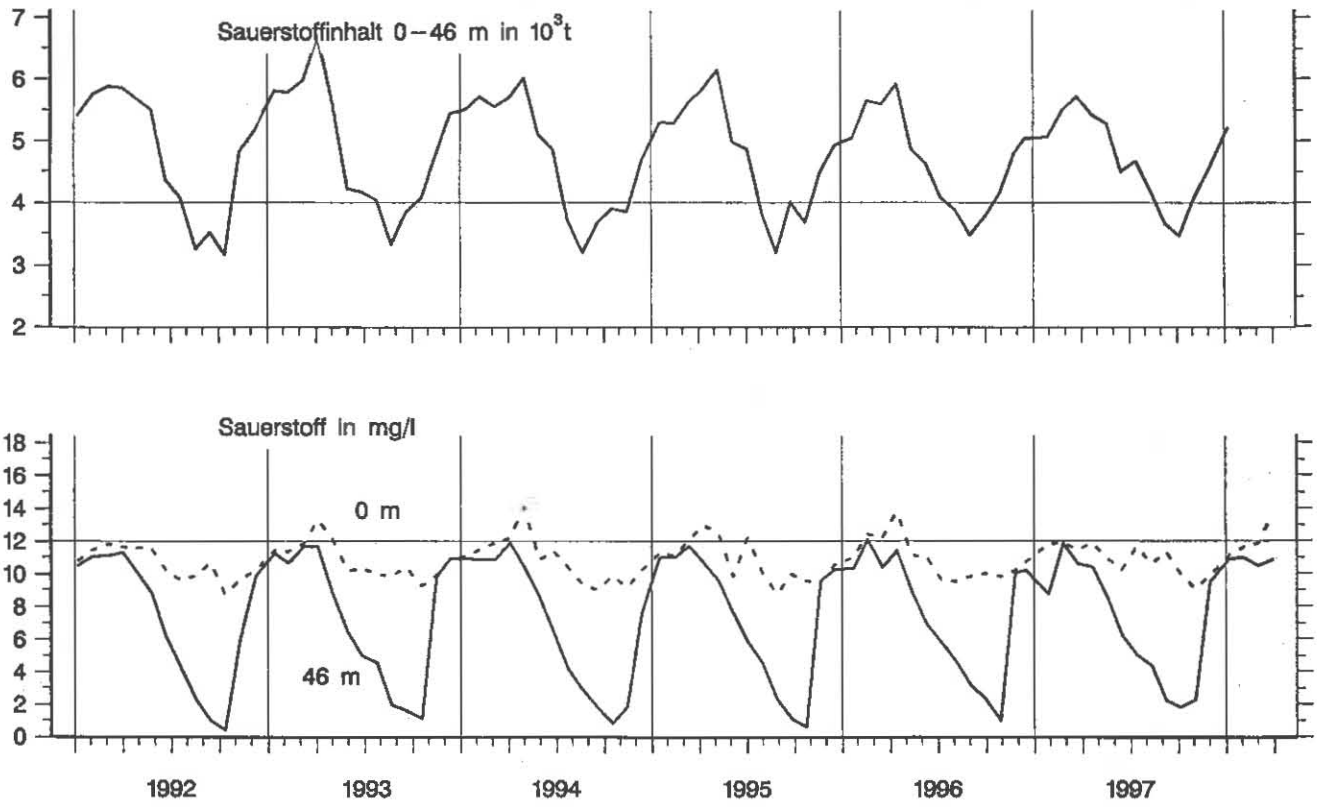


Abb. 55: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Sauerstoffinhalt 0–46 m und Sauerstoffkonzentration in 0 und 46 m Tiefe

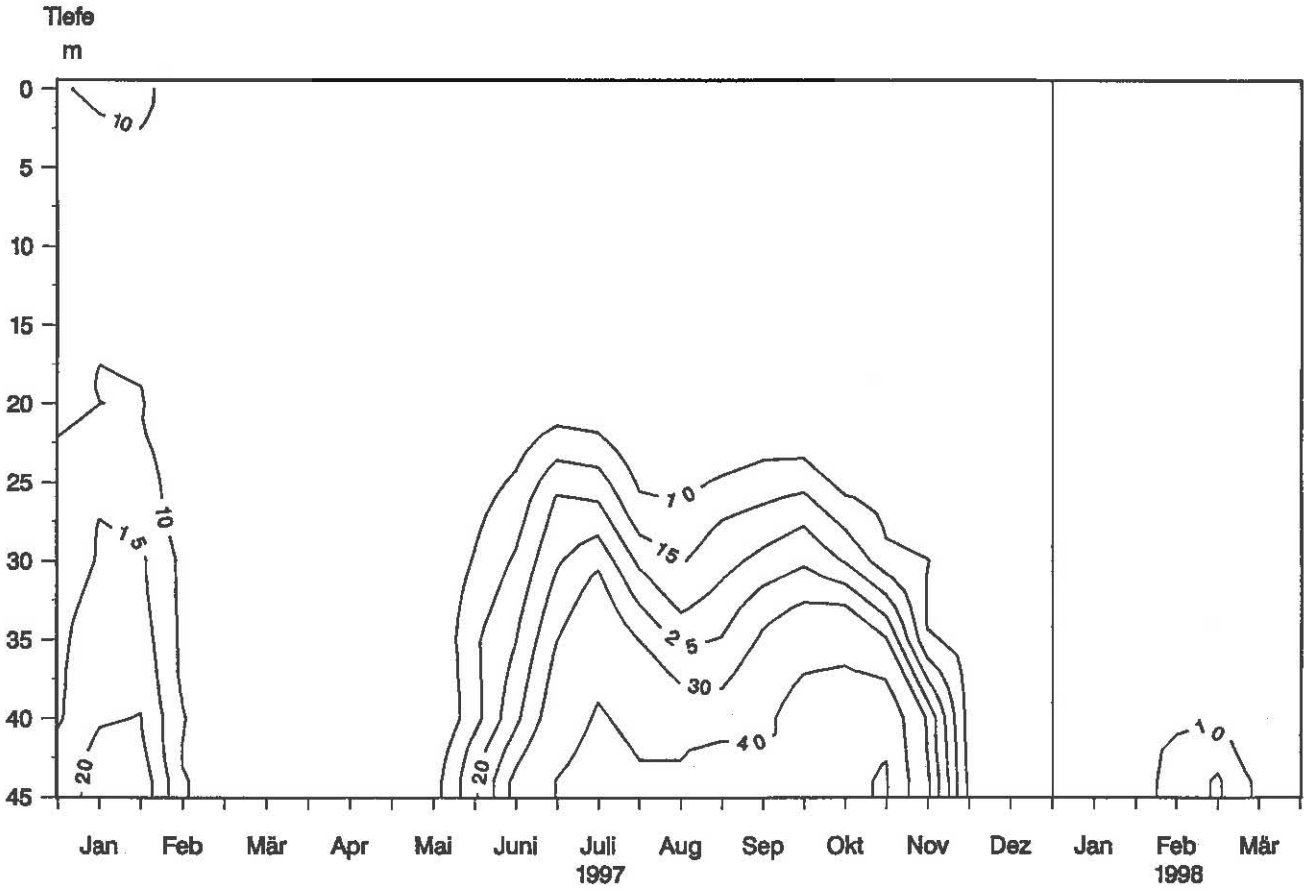


Abb. 56: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Orthophosphat – Phosphor (mg/m^3)

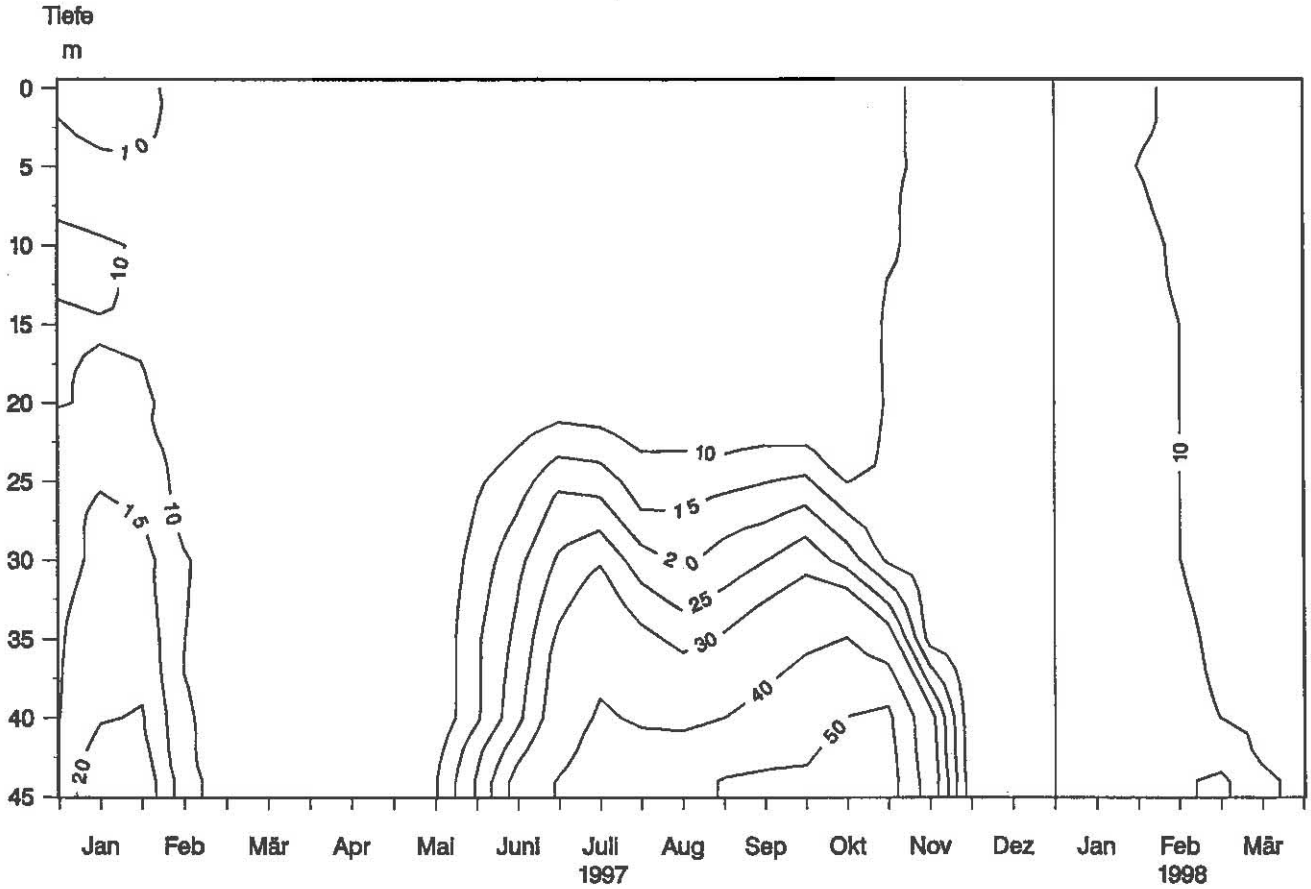


Abb. 57: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Gesamt gelöster Phosphor (mg/m^3)

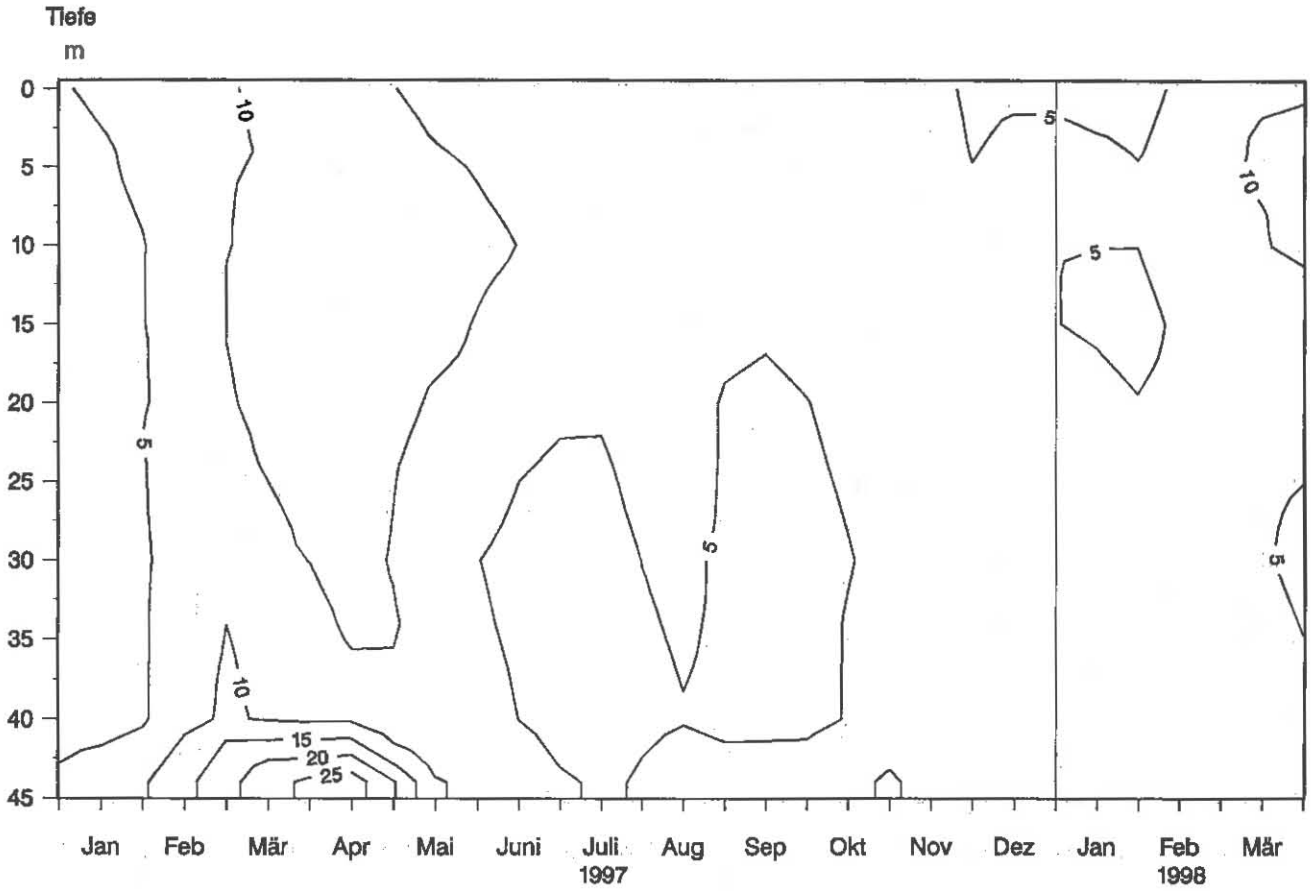


Abb. 58: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Partikulärer Phosphor (mg/m^3)

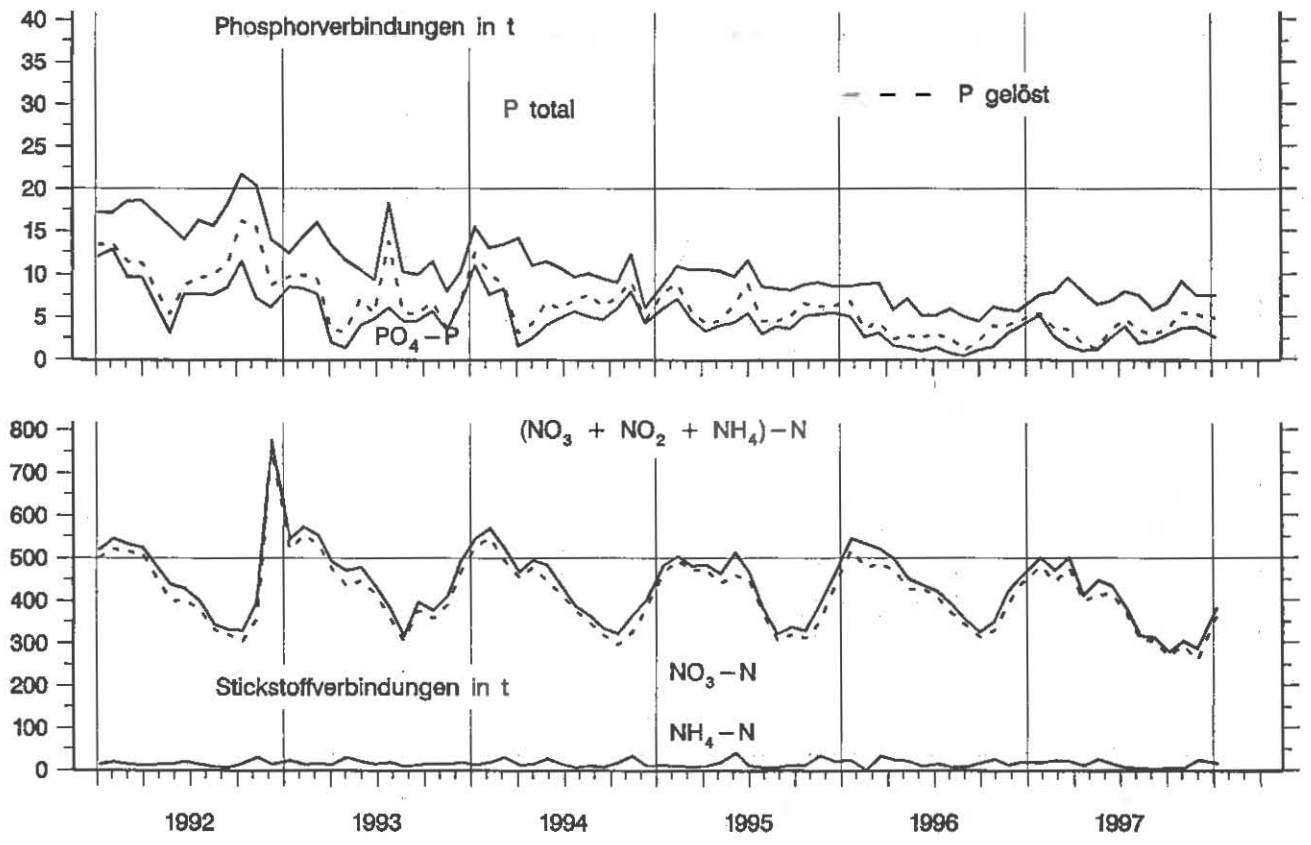


Abb. 59: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Nährstoffinhalt 0–46 m Tiefe

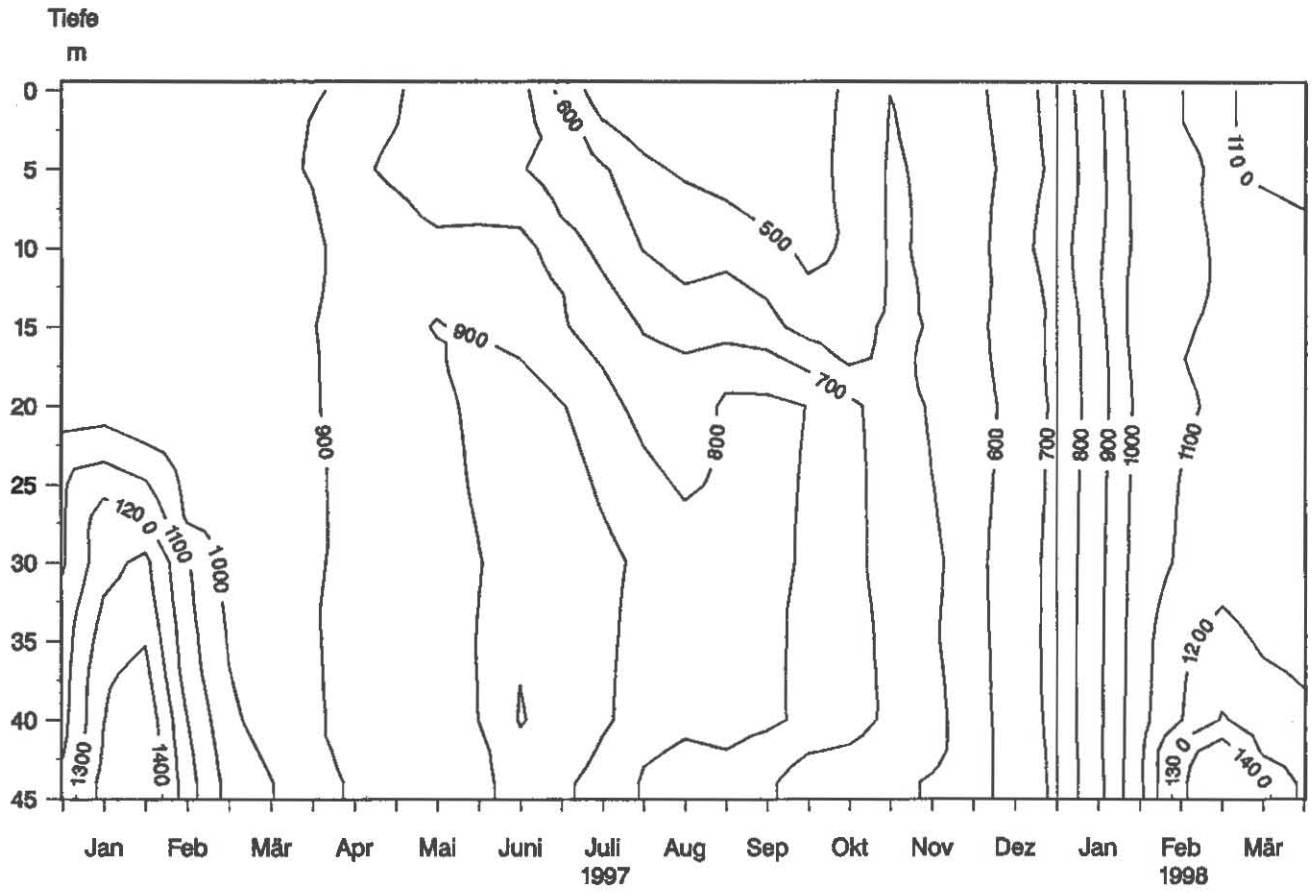


Abb. 60: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Nitrat – Stickstoff (mg/m^3)

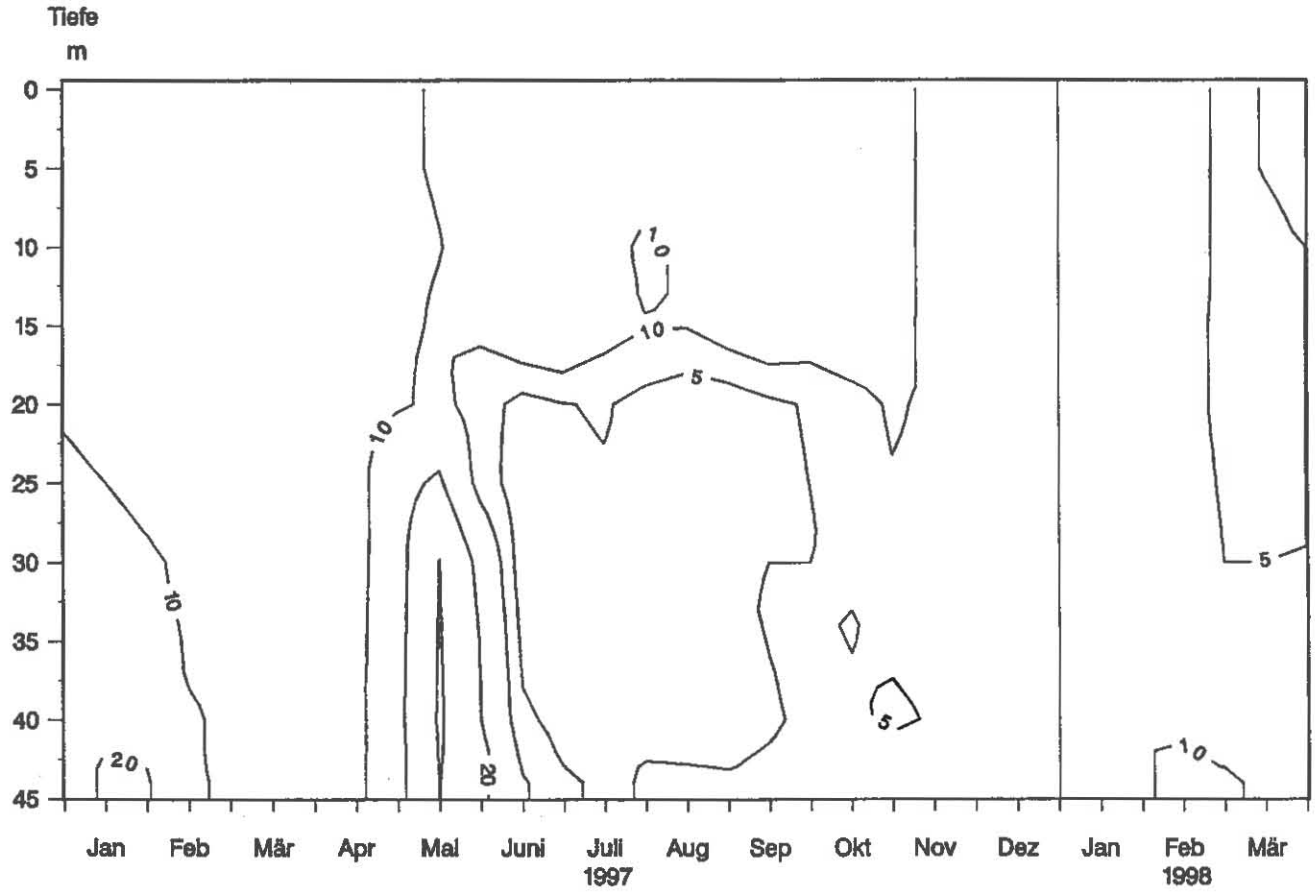


Abb. 61: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Nitrit – Stickstoff (mg/m^3)

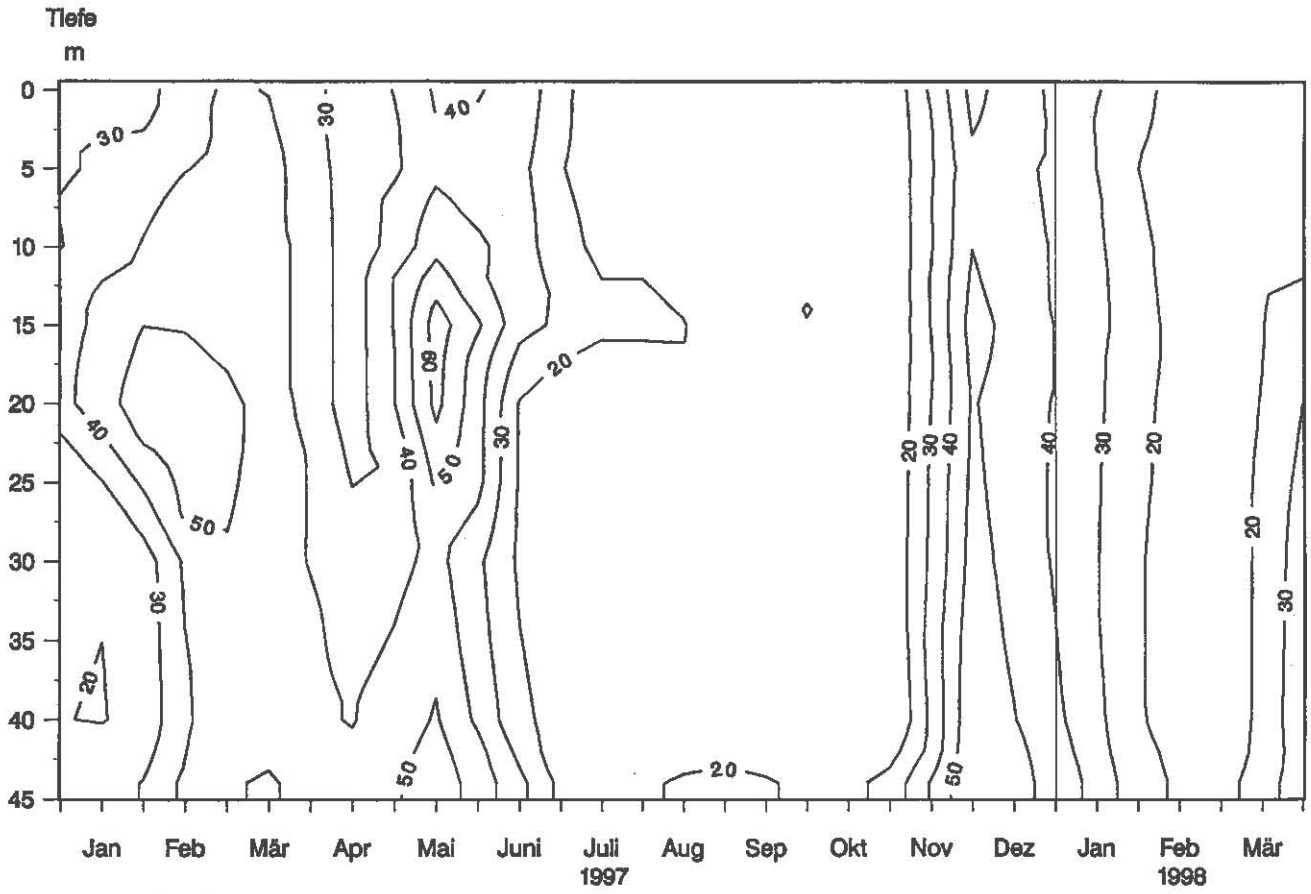


Abb. 62: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Ammonium – Stickstoff (mg/m^3)

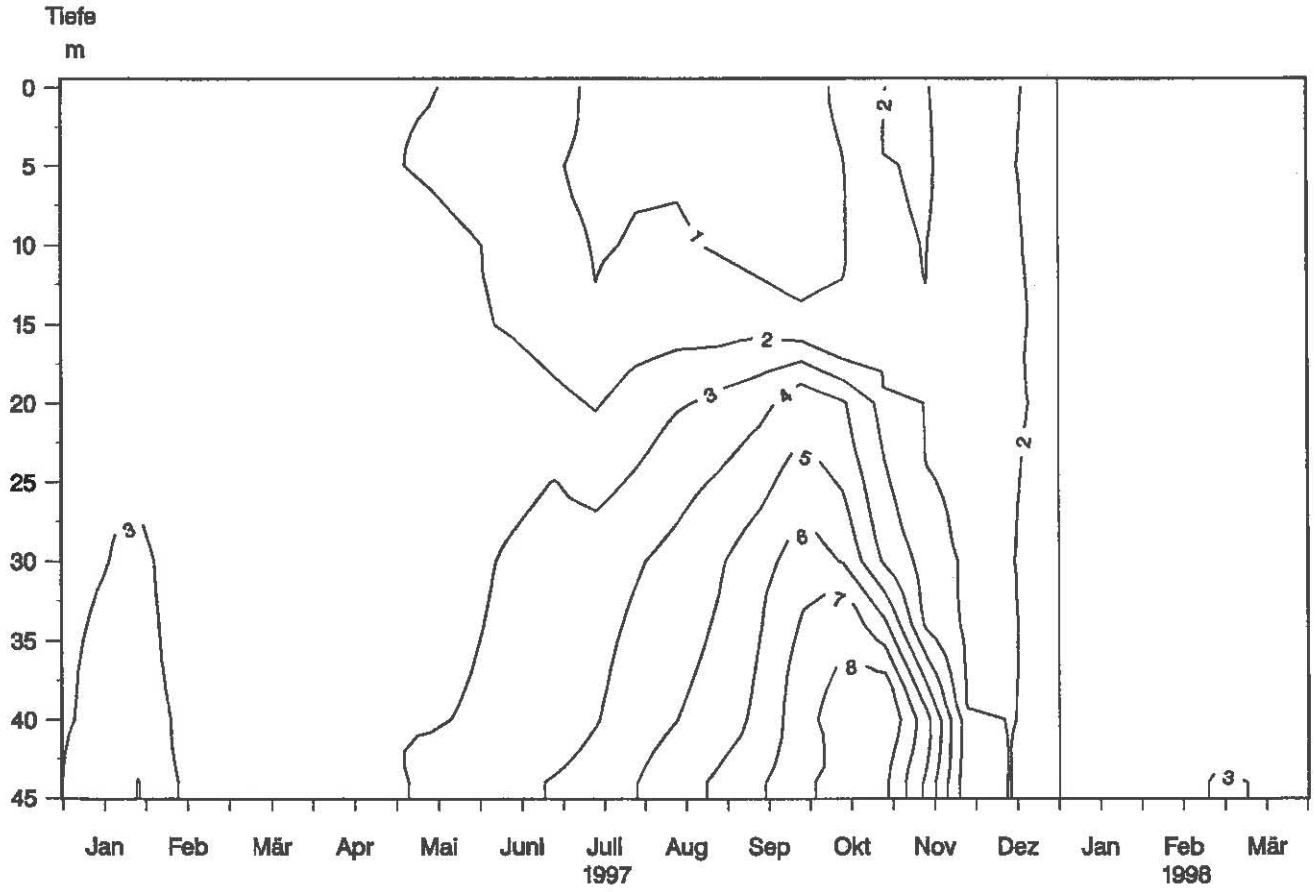


Abb. 63: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Silikat (mg/l)

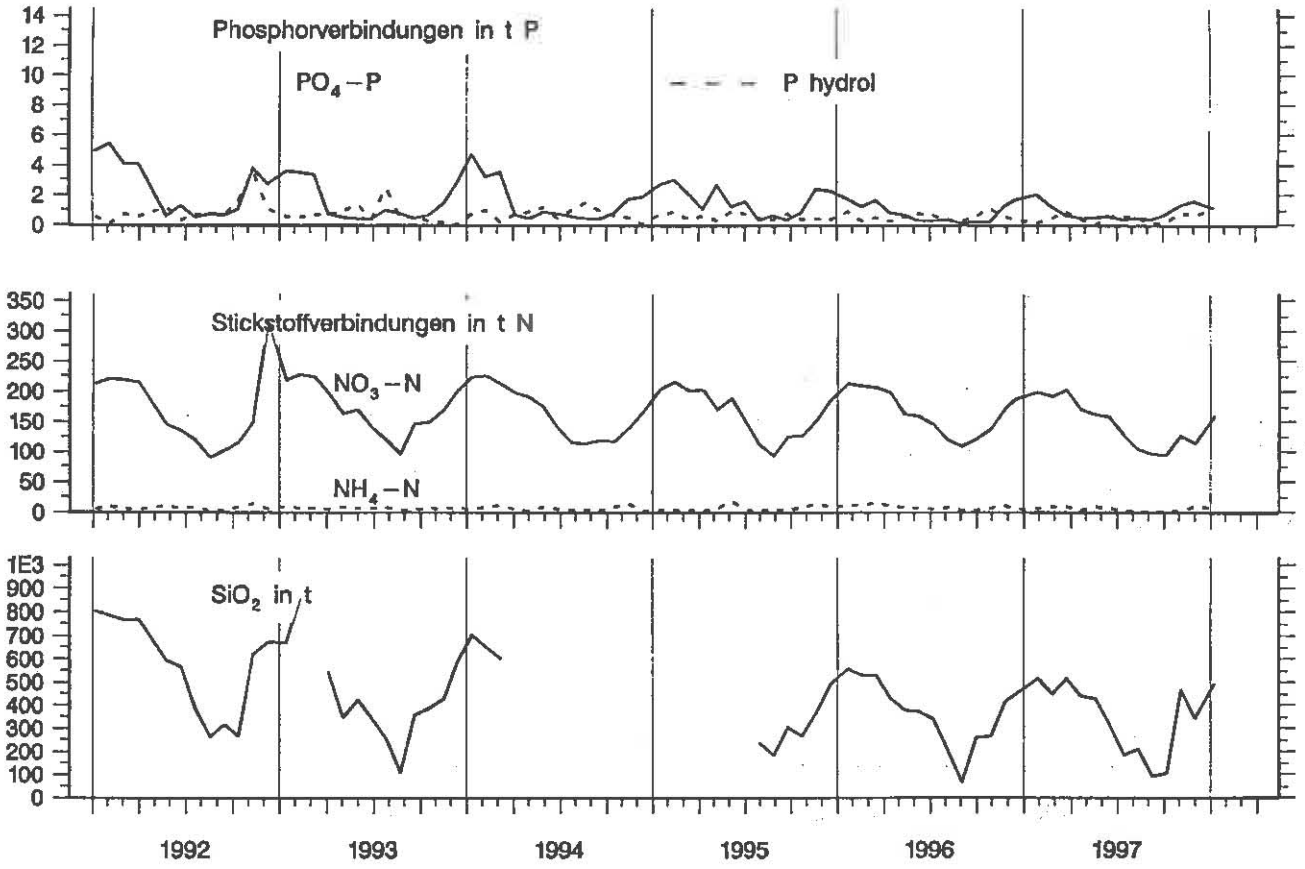


Abb. 64: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Nährstoffinhalt im Epilimnion 0–10 m Tiefe

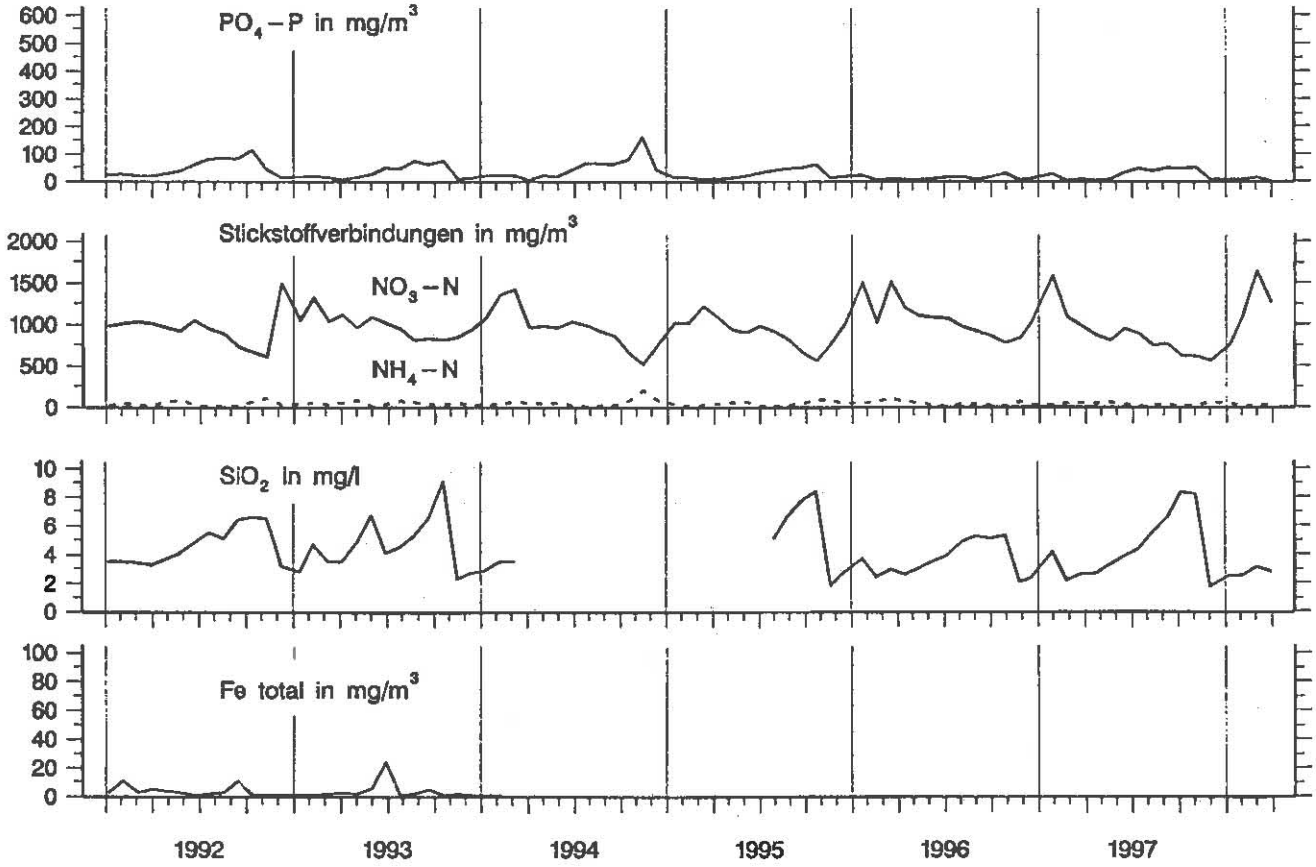


Abb. 65: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Nährstoffkonzentration in 46 m Tiefe

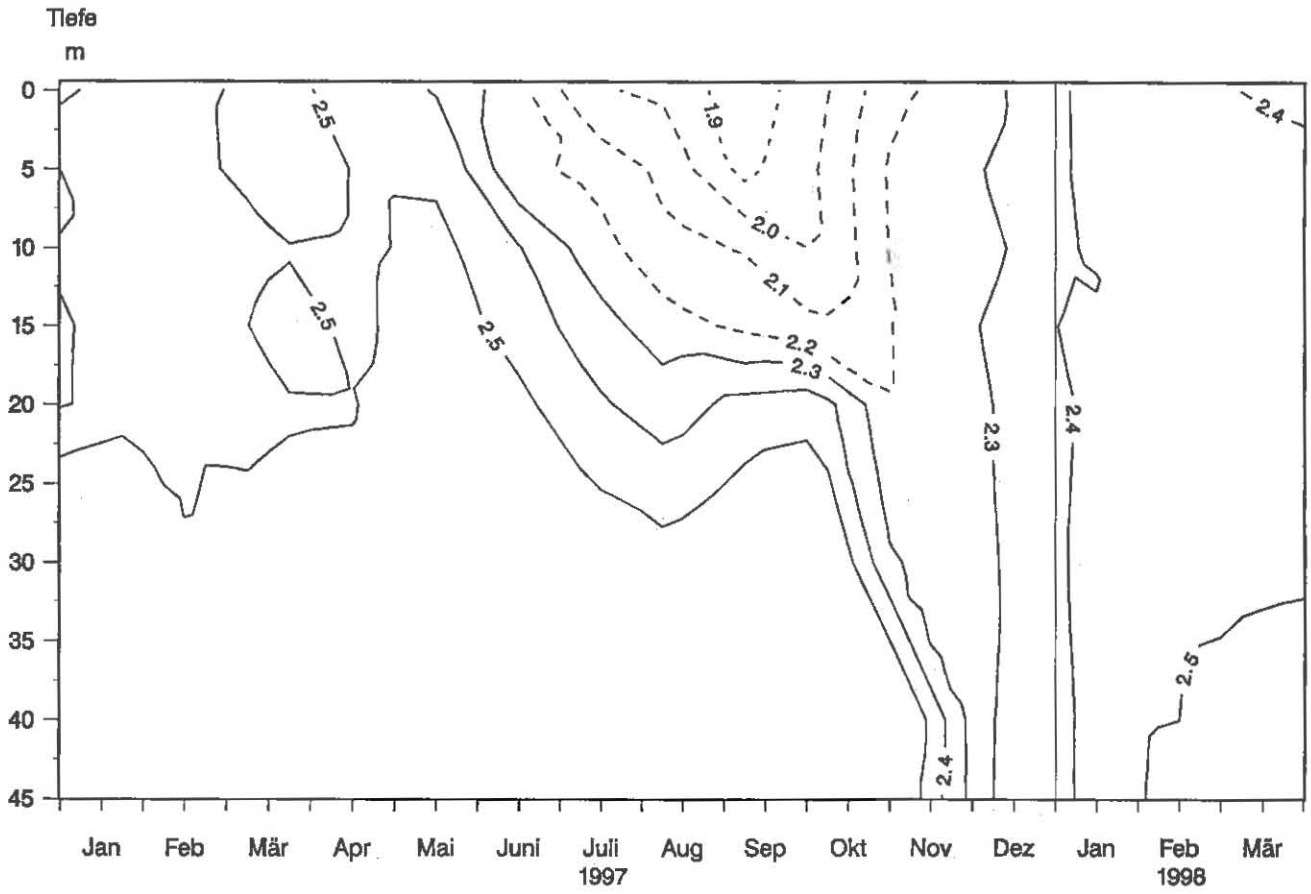


Abb. 66: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Anorganischer Kohlenstoff (mmol/l)

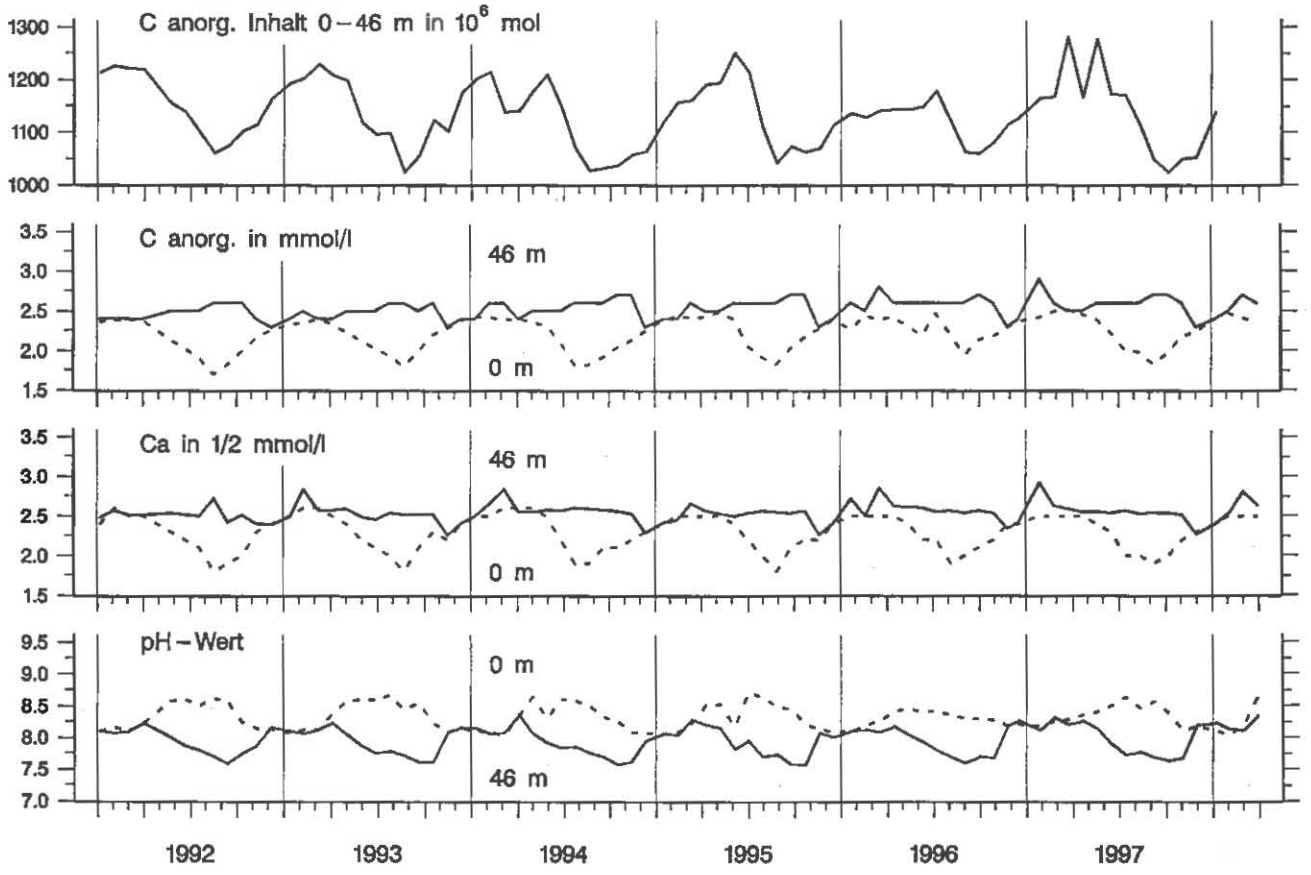


Abb. 67: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Anorganischer Kohlenstoff, Inhalt 0–46 m Tiefe
Konzentration von anorg. Kohlenstoff, Calcium; pH–Wert

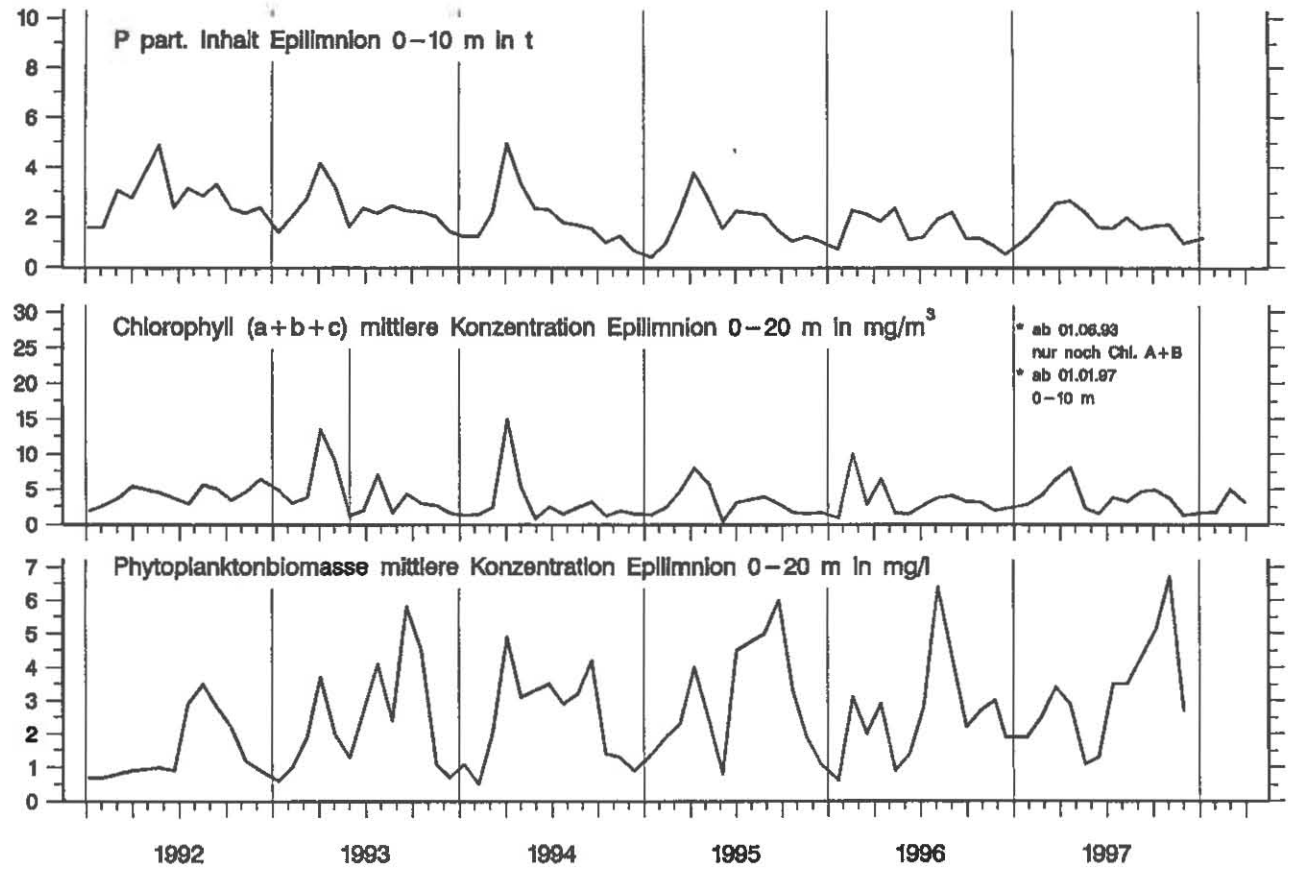


Abb. 68: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Chemische Biomasseindikatoren und Phytoplanktonbiomasse

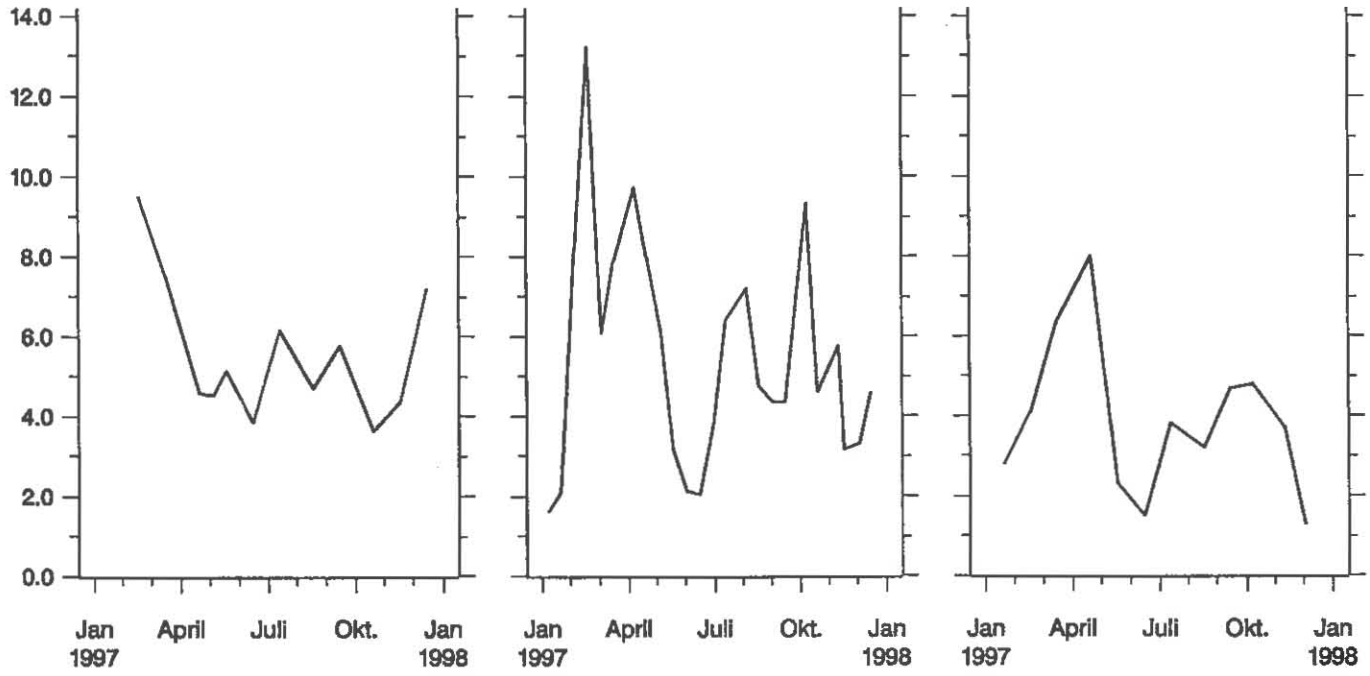


Abb. 69: Bodensee – Untersee
Chlorophyll a in mg/m³ im Gnadensee (links), Zellersee (Mitte)
und Chlorophyll a+b in mg/m³ im Rheinsee (rechts);
mittlere Konzentration 0–20 m Tiefe

Tabelle 1 (1)

Normal - Tiefenserien an den Stationen

Fischbach - Uttwil :	0, 5,10, 15, 20, 30, 50, 100, 150, 200, 230, 250 m
Langenargen - Arbon :	0, 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 m *
Rheinsee :	0, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 44 oder 45 m *

* je nach Wasserstand

Tabelle 1 (2)

Untersuchungstermine Januar 1997 bis März 1998 an den Stationen Fischbach- Uttwil (F), Langenargen - Arbon (L), Bregenzer Bucht (B) und von Januar 1997 bis März 1998 an den Stationen (Zellersee (Z) und Rheinsee bei Berlingen (R)

Obersee - Stationen					Untersee - Stationen			
07.01.	1997	F	L					
21.01.		F			27.01.	1997		R
22.01.				B	17.02.		Z	
04.02.		F	L		24.02.			R
18.02.		F			17.03.		Z	
03.03.				B	24.03.			R
04.03.		F	L		21.04.			R
18.03.		F			22.04.		Z	
08.04.		F	L		19.05.		Z	
09.04.				B	20.05.			R
22.04.		F			16.06		Z	R
05.05		F	L		14.07			R
14.05.				B	15.07.		Z	
20.05.		F			11.08.			R
03.06.		F	L		18.08.		Z	
09.06.				B	08.09.			R
17.06.		F			15.09.		Z	
01.07.		F	L		06.10.			R
02.07.				B	21.10.		Z	
15.07		F			03.11.			R
05.08.		F	L		17.11.		Z	
06.08.				B	01.12.			R
19.08		F			15.12.		Z	
02.09.		F	L		07.01.	1998		R
08.09.				B	22.01.		Z	
16.09		F			02.02			R
01.10.				B	16.02.		Z	
07.10.		F	L		02.03.			R
21.10		F			16.03.		Z	
28.10.				B	30.03.			R
04.11		F	L					
18.11		F						
24.11.				B				
02.12.		F	L					
16.12.		F						
12.01.	1998			B				
17.01.		F	L					
22.01.		F						
03.02		F	L					
16.02.				B				
17.02.		F						
03.03		F	L					
17.03.		F						

Tabelle 1 (3)

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

Leitfähigkeit bei 20 °C	F	L	B	Z	R
pH	F	L	B	Z	R
Sauerstoff	F	L	B	Z	R
Alkalinität	F	L	B	Z	R
Gesamthärte	F	L	B	Z	R
Calcium	F	L		Z	R
Magnesium	F	L			R
Silikat	F	L		Z	
Orthophosphat	F	L	B	Z	R
Phosphor gelöst (im Filtrat nach					
Aufschluß)	F	L	B	Z	R
Phosphor partikulär	F	L	B	Z	R
Phosphor total (im Rohwasser nach	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+b+c) nach Goltermann	F				
Phaeophytin nach Goltermann	F				
Chlorophyll (a+b) - HPLC					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
KMNO4 - Verbrauch	F	L	B		
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
				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		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 1997 (Meßdaten vom 08.04.97 bis 16.03.98)
IV bis XII: Monate 1997; I, II, III: Monate 1998

Parameter	Messwerte (a)				Stoffinhalt (b)								Stoffbilanz (b)		
	Epilimnion (0 - 10m)		Seebodennähe (1m über Grund)		See total				Epilimnion (0 - 10 m)		Hypolimnion (200 - 252.5 m)		Begin bis Ende Seejahr	08.04 bis 02.09 1997	02.09 bis 16.03 1998
	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit	Beginn 08.04.97	Ende 16.03.98	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit			
Thermik(a) °C, (b) 10^{12} Kcal	22,1 5,0	VIII I	4,5 4,4	VI-III IV,V	223,2	232,4	347,2 223,2	IX IV	82,5 21,7	VIII II	6,4 6,3	VI-III IV-V	+9	+124	-114
Sauerstoff (a) mg l^{-1}, (b) 10^3 t	13,3 8,4	V IX	9,3 6,5	V X	521,1	503,8	527,7 447,6	IV X	55,3 41,1	IV IX	14,1 11,5	V X	-17	-44	+27
Orthophosphat -P (a) mg m^{-3}, (b) t	9,0 0,0	III VI	32,0 20,0	XII V	550,4	618,6	627,6 444,1	III XII	39,2 3,2	I,III VI	37,5 25,5	XII V	+68	-53	+121
Phosphor, hydrolisierb. (A) mg m^{-3}, (b) t	7,0 1,0	I IV	34,0 1,0	XII VI,XI	105,5	78,3	143,2 85,9	IV VII	27,3 7,6	I III	93,0 21,0	I VI	-27	+26	-11
Phosphor, gelöst (a) mg m^{-3}, (b) t	13,0 4,0	I V	34,0 22,0	XII V	655,9	696,9	758,6 543,0	I V	55,6 13,1	I X	45,6 29,1	I V	+41	-69	+110
Phosphor, partikulär (a) mg m^{-3}, (b) t	17,0 1,0	V II	3,0 1,0	VI-IX XI	161,3	113,3	318,8 69,7	IV XII	64,0 5,5	V II	4,3 0,8	X XI	-48	-33	-15
Phopshor, total (a) mg m^{-3}, (b) t	23,0 7,0	V X,XI	36,0 24,0	XII IV,V	817,2	810,3	941,3 639,9	IV IX	88,1 30,5	V XI	44,4 32,0	IX IV	-7	-102	+95
Nitrat - N (a) mg m^{-3}, (b) t	990,0 500,0	IV IX	1050,0 860,0	IV I	48923,4	47358,2	48923,4 42923,8	IV I	4268,5 2263,4	IV IX	1481,3 1264,2	IX I	-1565	-3718	+2148
Nitrit - N (a) mg m^{-3}, (b) t	13,0 0,0	VII I-III	3,0 0,0	VI XI-III	828,0	0,0	1365,0 0,0	VI I-III	500,0 0,0	VII I-III	2,9 0,0	X XI-III	-828	+515	-1343
Ammonium - N (a) mg m^{-3}, (b) t	30,0 0,0	X I	10,0 0,0	V IV	222,5	158,2	491,0 11,4	V I	120,2 11,4	X I	14,4 0,0	XI IV,V,XII	-67	-171	+104
Stickstoff, partikulär (a) mg m^{-3}, (b) t	80,0 10,0	V I	10,0 0,0	V-IX XI	516,4	363,9	922,6 157,0	V X	294,2 87,1	V X-XII	14,4 0,0	V,VI X,XI	-153	+27	-180
Silikat (SiO_2) (a) mg l^{-1}, (b) 10^3 t	2,9 0,0	II IX	6,4 4,1	X V,X	146,3	152,6	158,6 123,1	III I	12,6 0,0	XII X	7,4 5,4	X IV	+6	-10	+16
Kalium (a) mg l^{-1}, (b) 10^3 t	1,3 1,1	IV,V VIII,IX	1,4 1,3	VIII,IX IV-VII	62,0	62,0	62,3 60,4	I VII	56,6 49,0	XII-III X	20,2 18,7	VIII IV-VII	0	-7	+7
Natrium (a) mg l^{-1}, (b) 10^3 t	4,4 3,4	V VIII	4,5 4,3	I-III IX,XI	2055,1	2095,1	2095,1 1916,5	III XI	187,3 153,6	II,III IX	64,8 59,2	II,III XII	+40	-67	+107

Parameter	Messwerte (a)				Stoffinhalt (b)								Stoffbilanz (b)		
	Epilimnion (0 - 10 m)		Seebodennähe (1 m über Grund)		See total				Epilimnion (0 - 10 m)		Hypolimnion (200 - 252.5 m)		Beginn bis Ende Seejahr	08.04 bis 02.09 1997	02.09 bis 16.03. 1998
	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit	Beginn 08.04.97	Ende 16.03.98	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit			
Calcium (a) mg l^{-1}, (b) 10^3 t	48,8 39,0	V IX	53,0 48,2	X VI	2370,2	2315,8	2401,1 2261,4	VII X	217,8 175,2	IV IX	75,5 69,4	X VI	+54	+88	-34
Magnesium (a) mg l^{-1}, (b) 10^3 t	0,9 0,7	VI X	1,0 0,8	VI X	413,2	426,7	470,1 354,1	VI X	41,5 30,5	VI X	14,1 11,3	VI X	+14	+31	-17
Clorid - Cl (a) mg l^{-1}, (b) 10^3 t	5,3 3,8	IV VIII	5,4 5,1	IV VII-IX	250,6	241,4	250,6 231,0	IV IX	22,9 16,3	IV VIII	7,6 7,3	XII VII,IX	-9	-19	+10
Sulfat - SO4 (a) mg l^{-1}, (b) 10^3 t	34,8 28,7	V VIII	34,1 32,7	IV,V IX	1619,6	1602,2	1619,6 1529,0	IV IX	148,0 127,9	V IX	49,1 47,1	IV IX	-17	-91	+74
Eisen total (a) mg m^{-3}, (b) t	23,0 4,0	VII VII,X	15,0 7,0	III X,XI	408,5	383,4	630,8 294,1	II VI	80,4 21,7	IV X	20,8 8,3	IV IX	-25	-87	+62
Mangan total (a) mgm^{-3}, (b) t	3,0 0,0	XI IX	15,0 1,0	VIII IV-V	477,0	478,0	1531,1 932,0	XII X	87,0 22,0	V,XI IX	73,0 14,0	VIII IV-VI	+1	-72	+71
Kohlenstoff anorg. (a) mg l^{-1}, (b) 10^3 t	30,1 24,1	V IX	32,6 30,7	I II	144,0	141,4	144,8 137,0	VI VIII	130,1 106,9	I IX	45,9 43,6	I II	-3	-5	+2
Alkalinität (a) mmol l^{-1},(b)10^6kmol	2,5 2,0	I IX	2,6 2,5	I V	119,1	117,1	120,6 114,7	VIII XI	10,9 8,8	VI IX	3,8 3,5	I II	-2	+5	-3
chem.Sauerstoffbed(KMnO4-Verbrauch) (a) mg l^{-1}, (b) 10^3 t	8,4 5,7	IX V	7,7 5,7	XI XII	304,1	290,7	316,8 280,3	VII V	339,0 254,0	X V	10,1 8,3	VIII XII	-14	+1	-15
UV - Extinktion 260 nm, d = 5 cm	0,167 0,127	VIII,III X	0,172 0,132	IX II											
elektr. Leitfähigkeit μS cm^{-1}, 20°C	294,0 250,0	IV IX	304,0 299,0	XII V											
pH - Wert	8,7 8,1	IX I	7,9 7,7	IX I											
Chlorophyll a (a) mg m^{-3}, 0-20m	7,4 0,5	V II	- -	- -											

Tabelle 3

Vergleich von Meßwerten der verschiedenen Teile des Bodensee - Obersee Seejahr 1997 / 98 an den Stationen Fischbach - Uttwil (F), Langenargen - Arbon (L) und Bregenzer Bucht (B)

Meßwerte in "0" m	F	L	B
Temperatur in °C			
Maximum	22,1	21,5	21,5
Minimum	4,3	4,4	3,1
Sauerstoff in mg O2 l^{-1}			
Maximum	13,0	12,7	11,4
Minimum	9,3	9,7	8,0
Leitfähigkeit bei 20 °C in µS cm^{-1}			
Maximum	293,2	294,0	329,0
Minimum	248,0	244,0	275,0
pH in pH - Einheiten			
Maximum	8,6	8,7	8,4
Minimum	8,0	8,1	8,0
Orthophosphat in mg PO_4-P m^3			
Maximum	15,0	13,8	8,0
Minimum	0,0	1,0	3,0
Phosphor gelöst in mg P m^3			
Maximum	11,0	16,8	22,0
Minimum	3,0	8,8	3,0
Phosphor total in mg P m^3			
Maximum	17,0	25,4	22,0
Minimum	7,2	6,3	8,0
Nitrat in mg NO_3-N m^3			
Maximum	970,0	990,0	4200,0
Minimum	500,0	529,0	2000,0
Ammonium in mg NH_4-N m^3			
Maximum	20,0	22,4	46,0
Minimum	0,0	0,6	5,0
Eisen total in mg Fe m^3			
Maximum	17,0	20,7	-
Minimum	4,0	2,3	-
Kohlenstoff anorg. in mmol C l^{-1}			
Maximum	2,5	2,9	5,4
Minimum	2,1	2,4	2,0
Phosphor partik. in mg P m^3			
Maximum	12,0	16,9	16,0
Minimum	2,0	0,2	3,0
Stickstoff partik. in mg N m^3			
Maximum	60,0	70,3	-
Minimum	10,0	0,0	-

Meßwerte in Seebodennähe	F 250 m	L 200 m	B 60 m
Temperatur in °C			
Maximum	4,5	4,6	5,0
Minimum	4,3	4,4	3,5
Sauerstoff in mg O_2 l^{-1}			
Maximum	9,3	9,3	11,6
Minimum	6,5	7,4	6,5
Leitfähigkeit bei 20 °C in µS cm^{-1}			
Maximum	308,0	302,0	342,0
Minimum	298,0	296,0	290,0
pH in pH - Einheiten			
Maximum	8,0	8,0	8,2
Minimum	7,7	7,8	7,8
Orthophosphat in mg PO_4-P m^3			
Maximum	32,0	30,1	17,0
Minimum	20,2	19,6	3,0
Nitrat in mg NO_3-N m^3			
Maximum	1050,0	1029,0	4600,0
Minimum	860,0	808,0	2900,0
Ammonium in mg NH_4-N m^3			
Maximum	10,0	11,0	52,0
Minimum	0,0	0,0	3,0
Eisen total in mg Fe m^3			
Maximum	15,0	35,9	-
Minimum	6,0	6,0	-
Kohlenstoff anorg. In mmol C l^{-1}			
Maximum	2,7	3,2	58,3
Minimum	2,5	3,0	2,5
Phosphor total in mg P m^3			
Maximum	36,0	44,1	44,0
Minimum	24,0	23,8	18,0

Tabelle 4: Seekenndaten
Bodensee-Untersee (Zellersee), Seejahr 1997 (Meßdaten vom 27.01.97 bis 22.01.98)
I bis XII: Monate 1997; I-98: Januar 1998

Parameter	Messwerte (a)				Stoffinhalt (b)						Stoffbilanz (b)		
	Epilimnion (0 - 10m)		Seebodennähe (1m über Grund)		See total				Epilimnion (0 - 10 m)		Beginn bis Ende Seejahr	27.01 bis 15.07 1997	15.07 bis 22.01 1998
	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit	Beginn 27.01.97	Ende 22.01.98	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit			
Thermik (a) °C, (b) 10^9 kcal	23,2 2,7	VIII II	16,7 3,4	IX II	523,6	886,8	3670,6 523,6	VIII II	2410,5 288,4	VIII II	+363	+3147	-2784
Sauerstoff (a) mg l^{-1}, (b) t	13,3 8,7	II X	12,3 0,5	II IX	2430,1	2205,8	2430,1 1515,0	II X	1403,2 925,3	II X	-225	-525	+300
Orthophosphat - P (a) mg m^{-3}, (b) t *	20,0 1,0	XII II	285,0 3,0	IX V	57,2	272,7	377,4 39,7	IX V	210,5 13,8	XI II	+215	+38	+279
Phosphor hydrolisierb. (A) mg m^{-3}, (b) t *	9,0 2,0	I IV,VIII	18,0 3,0	IX V	0,9	1,5	1,5 0,5	I-98 V	0,5 0,3	XII V,VII	0	0	0
Phosphor, gelöst (a) mg m^{-3}, (b) t *	26,0 4,0	XII III	303,0 6,0	IX V	1,5	4,3	5,7 0,9	IX V	2,6 0,5	I-98 V,VII	-3	0	-3
Phosphor, partikulär (a) mg m^{-3}, (b) t *	19,0 3,0	II VI	51,0 7,0	IX IX	3,3	1,6	3,3 0,8	II VI	1,8 0,4	II XI	-2	-2	0
Phopshor, total (a) mg m^{-3}, (b) t *	33,0 8,0	XII VI	354,0 16,0	IX V	4,8	6,0	8,6 2,6	IX VI	3,1 1,1	I-98 VI	-1	-2	+1
Nitrat - N (a) mg m^{-3}, (b) t	1400,0 340,0	III VIII	2140,0 120,0	II IX	273	228	273,3 102,8	II VIII	145,7 43,5	II VIII	-45	-170	+125
Nitrit - N (a) mg m^{-3}, (b) t	22,0 6,0	X III	29,0 8,0	IX IV,VII	2,3	2,4	4,4 1,4	VIII IV	2,2 0,7	IX III	0	0	0
Ammonium - N (a) mg m^{-3}, (b) t	50,0 10,0	XII II,VII	500,0 20,0	IX VI	23,2	19,5	112,4 22,8	X VII	47,9 10,6	XII II,VII	-4	+22	-26
Silikat (SiO_2) (a) mg l^{-1}, (b) t	2,8 0,6	II IX	11,0 2,1	IX XII	550,9	508,5	550,9 357,9	II VII	299,0 71,1	II IX	-42	-126	+84
Calcium (a) mg l^{-1}, (b) t	58,4 35,0	III VIII	65,8 48,2	II IX	1082,4	952,0	1083,8 782,8	III IX	606,8 392,8	III VIII	-136	-315	+179
Magnesium (a) ml l^{-1}, (b) t	10,9 6,4	IV VII	10,5 6,6	IV II	1400,4	1642,8	1992,4 1255,2	IV VII	1154,5 725,2	IV VII	+240	+60	+180
Chlorid (a) mg l^{-1}, (b) t	9,9 4,9	XII VIII	15,6 7,4	II VIII,IX	1902,8	1798,4	1902,8 1082,2	II IX	1006,5 550,0	II VIII	-104	-815	+711

Parameter	Messwerte (a)				Stoffinhalt (b)						Stoffbilanz (b)		
	Epilimnion (0 - 10m)		Seebodennähe (1m über Grund)		See total				Epilimnion (0 - 10 m)		Beginn bis Ende Seejahr	27.01 bis 15.07 1997	15.07 bis 22.01 1998
	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit	Beginn 27.01.97	Ende 22.01.98	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit			
Eisen total (a)mg m^{-3}, (b) t	22,0 5,0	XII,I-98 VII	164,0 10,0	IX IV	5,9	4,0	5,9 1,3	II VI	1,9 0,6	II VI	-2	-4	+2
Kohlenstoff anorg. (a) mg l^{-1}, (b) t	33,1 20,8	III VIII	37,1 29,1	IX XII	6253,8	5914,0	5211,5 3886,1	II VIII	2926,1 1949,2	II VIII	-339	-1589	+1250
Alkalinität (a) mmol l^{-1},(b)10^3kmol	2,6 1,7	V VIII	3,0 2,3	II IX	523,7	493,2	523,7 385,3	II VIII	294,4 196,9	II VIII	-30	-138	+108
UV - Extinktion 260 nm, d = 5 cm	0,185 0,132	II VII	0,352 0,149	II VII									
elektr. Leitfähigkeit μS cm^{-1}, 20°C	327,0 225,0	II VIII	372,0 294,0	II IX									
pH - Wert	8,7 8,2	IV XI	8,2 7,4	I-98 IX									
Chlorophyll a Mittelw.0-20m,mg m^{-3}	10,6 2,1	III VI	- -	- -									

Tabelle 5: SEEKENNDATEN
Bodensee-Untersee (Rheinsee, Berlingen), Seejahr 1997 (Meßdaten vom 27.01.97 bis 07.01.98)
I bis XII: Monate 1997; I-98: Januar 1998

Parameter	Messwerte (a)				Stoffinhalt (b)						Stoffbilanz (b)		
	Epilimnion (0 - 10m)		Seebodennähe (1m über Grund)		See total				Epilimnion (0 - 10 m)		Beginn bis Ende Seejahr	27.01. bis 14.07. 1997	14.07. bis 07.01. 1998
	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit	Beginn 27.01.97	Ende 07.01.98	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit			
Thermik (a) °C, (b) 10^9 Kcal	21,6 2,5	VIII I	10,4 3,8	VII I	133,0	256,3	895,8 133,0	VIII I	441,9 55,8	VIII I	+123	+679	-556
Sauerstoff (a) mg l^{-1} (b) t	11,9 8,1	II X	10,9 1,8	XI VIII	5062,1	208,0	5717,6 3472,6	III X	2463,0 1849,4	III X	+14	-39	+53
Orthophosphat - P (a) mg m^{-3}, (b) t	12,0 1,0	I VI	51,0 3,0	IX VIII	5,2	2,6	5,2 1,0	I VI	2,0 0,3	I VI	-2	-1	-1
Phosphor, hydrolisierb. (A) mg m^3, (b) t	5,0 0,0	XII IV	7,0 0,0	VI V,XII	2,4	22,2	22,2 1,2	I V	9,3 0,0	I V	+20	+7	+13
Phosphor, gelöst (a) mg m^{-3}, (b) t	12,0 2,0	I V	55,0 6,0	X II,IV	5,4	4,8	5,5 1,9	XI IV	2,2 0,4	XII V	0	0	0
Phosphor, partikulär (a) mg m^{-3}, (b) t	14,0 4,0	V I,XII	28,0 4,0	IV VII	2,1	2,6	6,0 2,2	III,IV IX	2,6 0,9	IV XI	0	+1	-1
Phopshor, total (a) mg m^{-3}, (b) t	20,0 9,0	I VII	66,0 16,0	IX XII	7,6	7,5	9,6 5,7	III IX	4,1 2,1	III IX	0	+1	-1
Nitrat - N (a) mg m^{-3}, (b) t	1000,0 420,0	I IX	1590,0 560,0	I IX	479,7	361,7	479,7 268,9	I X	202,8 95,2	III X	-118	-109	-9
Nitrit - N (a) mg m^{-3}, (b) t	15,0 5,0	VIII II,III	32,0 3,0	V VII	3,0	3,3	7,1 2,5	V II	2,9 1,0	X II	0	+2	-2
Ammonium - N (a) mg m^{-3}, (b) t	49,0 6,0	II,V VIII	60,0 6,0	IX VI	17,8	17,3	26,4 3,9	V IX	9,0 1,7	III IX	0	-11	+11
Silikat (SiO_2) (a) mg l^{-1}, (b) t	2,5 0,2	I IX	8,3 1,7	VIII IX	1238,3	1120,2	1238,3 748,4	I VI	515,1 90,9	I,III VIII	-118	-490	+372
Calcium (a) mg l^{-1} (b) t	50,8 5,2	II III	58,4 5,2	I III	2343,4	2261,6	2559,2 264,8	V III	1062,8 112,4	V III	-82	+25	-107
Magnesium (a) mg l^{-1}, (b) t	9,9 0,9	IX III	8,8 0,9	VIII,IX III	385,5	429,1	444,1 48,9	IX III	191,4 20,7	IX III	+44	+25	+19
Chlorid (a) mg l^{-1}, (b) t	6,6 4,4	I VIII	10,2 5,2	I X	2879,0	2893,0	3371,0 2330,0	IV XII	135,2 97,3	V VIII	-186	-141	-45

Parameter	Messwerte (a)				Stoffinhalt (b)						Stoffbilanz (b)		
	Epilimnion (0 - 10m)		Seebodennähe (1m über Grund)		See total				Epilimnion (0 - 10 m)		Beginn bis Ende Seejahr	27.01 bis 14.07 1997	14.07 bis 07.01 1998
	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit	Beginn 27.01.97	Ende 07.01.98	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit			
Kohlenstoff anorg. (a) mg l^{-1}, (b) t	30,6 21,9	III IX	34,4 27,2	I IX	1398,2	1365,9	1538,8 1229,5	III X	657,0 480,8	III IX	-32	8	-41
Alkalinität (a) mmol l^{-1}(b)10^3 kmol	2,5 1,8	III IX	2,8 2,2	I IX	116,0	113,1	128,2 101,4	III X	54,7 40,5	III VIII	-3	1	-2
UV - Extinktion 260 nm, d = 5 cm	0,034 0,029	V IX,X	0,038 0,030	I IX,X									
elektr. Leitfähigkeit $\mu S\ cm^{-1}$, 20°C	300,0 240,0	V IX	331,0 276,0	I IX									
pH - Wert	8,6 8,1	IX I	8,3 7,6	XII VIII									
Chlorophyll (a+b) mg/m^3	8,3 1,0	IV IX	6,5 0,1	II VI									

Tabelle 6

Vergleich von Meßwerten der verschiedenen Teile des Bodensee - Untersees
Seejahr 1997 / 98 an den Stationen Zellersee (Z), Rheinsee Station Berlingen (R)

Meßwerte in "0" m	Z	R
Temperatur in °C		
Maximum	23,2	21,6
Minimum	2,7	2,5
Sauerstoff in mg O2 l^{-1}		
Maximum	13,3	11,7
Minimum	8,7	9,0
pH in pH - Einheiten		
Maximum	8,6	8,6
Minimum	8,2	8,0
Orthophosphat in mg PO_4-P m^3		
Maximum	20,0	12,1
Minimum	1,0	1,0
Phosphor partikulär mg P m^3		
Maximum	17,0	13,0
Minimum	3,0	4,0
Nitrat in mg NO_3-N m^3		
Maximum	1360,0	1000,0
Minimum	340,0	420,0
Ammonium in mg NH_4-N m^3		
Maximum	40,0	53,0
Minimum	10,0	6,0
Eisen total in mg Fe m^3		
Maximum	22.0	-
Minimum	5,0	-

Meßwerte in Seebodennähe	Z 22 - 24 m	R 44 - 46 m
Temperatur in °C		
Maximum	13,3	10,4
Minimum	3,4	3,6
Sauerstoff in mg O_2 l^{-1}		
Maximum	12,4	11,8
Minimum	0,5	1,8
pH in pH - Einheiten		
Maximum	8,5	8,3
Minimum	7,5	7,6
Orthophosphat in mg PO_4-P m^3		
Maximum	285,0	50,0
Minimum	3,0	3,0
Nitrat in mg NO_3-N m^3		
Maximum	2140,0	1590,0
Minimum	120,0	560,0
Ammonium in mg NH_4-N m^3		
Maximum	500,0	60,0
Minimum	20,0	6,0
Eisen total in mg Fe m^3		
Maximum	164,0	-
Minimum	10,0	-

AUSKÜNFTE

Baden-Württemberg:	Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg Kernerplatz 9 D-70182 Stuttgart
Bayern:	Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft Lazarettstraße 67 D-80636 München
Österreich:	Amt der Vorarlberger Landesregierung Römerstraße 15 A-6901 Bregenz
Schweiz:	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) CH-3003 Bern