

**Internationale Gewässerschutzkommission
für den
Bodensee**

Limnologischer Zustand des Bodensees

Nr. 29

**Jahresbericht Januar 2001 bis März 2002
- Untersuchungsprogramm Freiwasser, Seeboden -**

ISSN 1011-1271

ISSN 1011-1271 Jber.Int.Gewässerschutzkomm. Bodensee:Limnol.Zust.Bodensee
29 (2002)

**Internationale Gewässerschutzkommission
für den
Bodensee**

Limnologischer Zustand des Bodensees

Nr. 29

**Jahresbericht Januar 2001 bis März 2002
- Untersuchungsprogramm Freiwasser, Seeboden -**

**Bearbeiter: H. Müller
-2002-**

VORWORT

Der vorliegende Bericht der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB) enthält die Ergebnisse der regelmäßigen limnologischen Freiwasseruntersuchungen des Bodensees im Jahr 2001 / 2002. Die allgemeinen Grundlagen und limnologischen Zusammenhänge, die zum Verständnis dieses Berichtes notwendig sind, wurden im Bericht Nr. 9: Limnologischer Zustand des Bodensees - Grundlagen (2. Auflage, Stand 1993) dargestellt.

Am Bericht haben mitgearbeitet:

Dr. Heinrich Bühner, Dübendorf
Dr. Hans-Rudolf Bürgi, Dübendorf
Mag. Dietmar Buhmann, Bregenz
Dr. Heinz Ehmman, Frauenfeld
Dr. Hans Güde, Langenargen
Dr. Harald Hetzenauer, Langenargen
Dr. Eckard Hollan, Langenargen
Dr. Reiner Kümmerlin, Langenargen
Dipl.-Inform. Günther Kuhn, Langenargen (EDV)
Dr. Helmut Müller, Langenargen
Dipl.-Ing.(FH) Robert Obad, Langenargen (EDV)
Dr. Henno Roßknecht, Langenargen
Dr. Heinz Gerd Schröder, Langenargen (Vorsitz Fachbereich See)
Dr. Hans Bernd Stich, Langenargen

Die Grundlage für den Bericht bildet das Langzeit-Untersuchungsprogramm der Kommission, an dessen Durchführung die folgenden Institutionen 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, Messungen und Untersuchungen des Chemismus, des Phyto- und Zooplanktons im Obersee und Untersee-Zellersee, bakteriologische Untersuchungen, physikalische und sedimentologische 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 Obersees zur Verfügung.

Inhalt

	Abb.	Seite	Tab.	Seite
Einleitung		6		
Zustandsbeschreibung für das Seejahr				7
	1	16	1	60
Langfristige Entwicklung von				
Phosphor (Obersee)	2A	17	1	60
Sauerstoff (Obersee)	2B	17		
Stickstoff (Obersee)	2C	17		
Chlorid (Obersee)	2C	17		
Phytoplankton (Obersee)	3	18		
Zooplankton (Obersee)	4	19		
Phytoplankton (Untersee, Zellersee)	5	20		
Obersee				
Abbildungen und Tabellen				
Witterung	6	21		
Wasserstände	7	21		
Themperatur	8	22	2	64
	9	22	2	64
Sauerstoff	10	23	2	64
	11	23	2	64
Orthophosphat	12	24	2	64
	15	25	2	64
	23	29	2	64
Andere Phosphorverbindungen	13	24	2	64
	14	25	2	64
	15	25	2	64
	23	29	2	64
Nährstoffinhalte	15	25	2	64
	23	29	2	64
Nitrat	16	26	2	64
	23	29	2	64
Nitrit	17	26	2	64
	23	29	2	64
Ammonium	18	27	2	64
	23	29	2	64
Stickstoff partikulär	19	27	2	64
	24	30	2	64
Silikat	20	28	2	64
	23	29	2	64
Anorganische Kohlenstoffverbindungen und Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht	21	28	2	64
	22	29	2	64
	23	29	2	64
Eisen und Mangan	25	30	2	64

	Abb.	Seite	Tab.	Seite
Weitere Stoffdaten			2	64
Phytoplankton	26	31		
	27	32		
Zooplankton	28	33		
	29	34		
	30	35		
Bakterienplankton	31	36		

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 Phosphorverbindungen	37	40	4	68	57	52	5	70
	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- Verbindungen und Kalk- Kohlensäure-Gleichgewicht	46	45	4	68	66	57	5	70
	47	45			67	57		
Eisen	45	44	4	68			5	70

	Abb	Seite	Tab.	Seite	Abb.	Seite	Tab.	Seite
Weitere Stoffdaten	48	46	4	68			5	70
Phytoplankton	49	46	4	68	68	58	5	70
	50	47			69	58		
	51	48						

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

Obersee							3	66
Untersee							6	72

Anhang

Bericht über die Untersuchungen zum Seebodenzustand im Jahr 2001								74
---	--	--	--	--	--	--	--	----

Auskünfte

81

EINLEITUNG

Der Bericht zum Seejahr 2001 / 2002 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, Temperatur, 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 unter Verwendung der Seevolumina berechnet, die sich aus der Tiefenvermessung von 1990 ergeben haben. 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 (ISF) der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, den damit direkt befaßten Stellen zugestellt. Nachdem die datentechnischen Umstrukturierungen im Jahr 2001 abgeschlossen werden konnten, werden die Daten der IGKB nun in einer zentralen Datenbank BOWIS am Institut für Seenforschung archiviert.

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

2001/2002

Bodensee - Obersee:

Zusammenfassend zeigt sich, dass die Phosphorkonzentration im Seejahr 2001/02 weiterhin leicht abnahm und im Frühjahr 2002 noch 12 mg/m^3 betrug (2001: 13 mg/m^3). Der Gehalt an anorganischem Stickstoff - im wesentlichen Nitrat - nahm von $0,97$ auf $0,96 \text{ g/m}^3$ geringfügig ab. Die Biomasse des Phytoplanktons lag 2001 mit $6,7 \text{ g/m}^2$ deutlich unter der Höhe des Vorjahreswertes ($8,9 \text{ g/m}^2$).

Die Sauerstoffgehalte im tiefen Hypolimnion lagen von Januar 2001 bis Februar 2002 stets deutlich unter den Werten desselben Zeitraumes ein Jahr zuvor. Der Grund für diese Beobachtung ist in der unvollständigen Zirkulation im Frühjahr 2001 zu suchen. Trotz dieser insgesamt spürbar schlechteren Sauerstoffversorgung in den großen Tiefen blieb der herbstliche Minimalwert in einem Meter über Grund bei $6,1 \text{ g/m}^3$.

Die **hydrologische Situation** wurde durch einen mäßig kalten Winter 2001/2002 und den sehr warmen vorangehenden Winter geprägt.

Infolge der relativ kalten Witterung von November bis Mitte Januar 2002 setzte eine starke vertikale Vermischung ein. Da der Winter anschließend jedoch mild verlief, drang diese konvektive Vermischung nicht bis in die größte Seetiefe vor. Die tiefsten Schichten des Hypolimnions wurden daher nur teilweise erneuert. Die für die Auskühlung des Sees in der Wintersaison entscheidende Anzahl der Seefrosttage, d. h. der Tage mit einer mittleren Lufttemperatur unter 0°C , betrug 33 und wich damit nur um zwei Tage vom Mittelwert 35 für die 15 vorangegangenen Seejahre ab.

Die maximale gemessene Oberflächentemperatur in Seemitte am 23.8.2001 betrug $20,8^\circ\text{C}$. Dieser Wert war um $0,5^\circ\text{C}$ niedriger als das Vorjahresmaximum. In der warmen

Jahreshälfte waren die Monatswerte der Lufttemperatur nur im April, Juni und September 2001 niedriger als die langjährigen Monatsmittel, wobei die Abweichung von $-2,5^{\circ}\text{C}$ im September extrem groß war. Zugleich unterschritt in diesem Monat auch die mittlere Sonnenscheindauer pro Tag den langjährigen Monatswert um bis zu 2,4 h/d, so dass im September bereits eine erhebliche Auskühlung des Sees einsetzte. Während des restlichen Seejahres sanken die Monatswerte der Lufttemperatur nur noch im November und Dezember 2001 unter das langjährige Mittel. Daher blieb der Jahresmittelwert der Lufttemperatur mit $10,2^{\circ}\text{C}$ noch um $0,7^{\circ}\text{C}$ über dem langjährigen Jahresmittel. Infolge dieses Verlaufes der Lufttemperaturen nahmen die Oberflächentemperaturen bis Dezember 2001 auf $6,4^{\circ}\text{C}$ ab. Dieser Wert war um $1,1^{\circ}\text{C}$ niedriger als der Wert im Vorjahresmonat. Das Minimum der Oberflächentemperatur wurde am 26.2.2002 erreicht und lag mit $4,8^{\circ}\text{C}$ nur um $0,2^{\circ}\text{C}$ unter dem Vorjahreswert. Bis Ende März 2002 entwickelte sich allmählich die neue Deckschicht mit einer Oberflächentemperatur von $5,5^{\circ}\text{C}$ am 22.3.2002. Infolge der kalten Witterung reichte sie durch konvektive Vermischung bis in 33 m Tiefe.

Das Hypolimnion war Anfang des Seejahres oberhalb 200 m Tiefe durchgehend geschichtet aufgebaut. Dieser relativ stabile Zustand bestand bis in den Herbst fort und erreichte dabei bis über 230 m Tiefe. Durch die starke Auskühlung von November 2001 bis Mitte Januar 2002 wurde die konvektiv durchmischte Deckschicht bis 133 m mächtig und erreichte Ende Februar 2002 ihre maximale Tiefe von 200 m. Darunter waren zwei dünnere Kaltwasserschichten ins restliche Hypolimnion eingelagert, die von stärker ausgekühlten Randregionen seitlich eingeströmt waren. Mitte März 2002 war in 190 bis 220 m Tiefe ein Flusswasserkörper eingeschichtet, der den übrigen hydrographischen Aufbau durch markant erhöhte Trübung und Leitfähigkeit sowie einen geringen Temperaturanstieg unterbrach.

Fast während des ganzen Seejahres bestand eine bodenauffliegende, relativ gut durchmischte Schicht, die überwiegend durch angehobene Trübung und leicht erhöhte Leitfähigkeit gekennzeichnet war. Ihre Mächtigkeit variierte im Verlauf des Seejahres von zumeist wenigen bis zu zehn Metern und betrug nur am Anfang 40 m. Die Temperaturen über Grund nahmen von April 2001 bis Ende Januar 2002 von $4,57^{\circ}\text{C}$ monoton auf $4,67^{\circ}\text{C}$ zu. Nach geringer Verminderung auf $4,65^{\circ}\text{C}$ bis Ende Februar 2002 setzte der Anstieg wieder ein und erreichte am Ende des Seejahres den Wert von $4,70^{\circ}\text{C}$. Aus dieser Entwicklung über Grund ist zu ersehen, dass sich der See zum Beginn des neuen Seejahres in einem insgesamt relativ warmen Zustand befand.

Die Konzentration des **Gesamtphosphors** im Rohwasser betrug im Frühjahr 2002 während der Monate Februar bis April im Mittel 12 mg/m^3 (Abb. A, Konzentration

während der Vollzirkulation). Damit hat sich die leichte Phosphorabnahme der letzten Jahre fortgesetzt (Frühjahr 2001: 13 mg/m³; 2000: 14 mg/m³; 1999: 15 mg/m³).

Der **Orthophosphat - Phosphor** lag von Anfang April bis Anfang Dezember 2001 in den Messtiefen zwischen 0 und 50 m überwiegend unter 2 mg/m³. Damit verlängerte sich die Phase minimaler Phosphatwerte von Mitte November auf Anfang Dezember.

Der **anorganische Stickstoff** (N aus NO₃⁻ + NO₂⁻ + NH₄⁺) mit Nitrat als Hauptkomponente lag in 2001 im Jahresmittel mit 0,96 g/m³ auf dem Niveau des Vorjahres (2000: 0,97 g/m³; Abb. C).

Chlorid als Indikator vielfältiger Salzbelastungen blieb 2001 mit 5,0 g/m³ im Jahresmittel nur knapp unter dem Wert von 2000 (5,1 g/m³; Abb. C).

Die **Sauerstoffgehalte** lagen von Januar 2001 bis Februar 2002 im tiefen Hypolimnion des Obersees von 200 - 253 m Tiefe um 0,5 bis 2 mg/l unter jenen des Vorjahres. Die Sauerstoffversorgung im tiefen Hypolimnion von 200 bis 250 m war im März und April 2001 aufgrund der fehlenden Wassererneuerung in diesen Tiefen damit bereits zum zweiten Mal geringer als im Vorjahr. Die Messwerte ab März/April 2002 lagen jedoch über den entsprechenden Werten von 2001. Damit hat sich die Ausgangsbasis der Sauerstoffversorgung für 2002 im Hypolimnion gegenüber den beiden Vorjahren wieder spürbar verbessert.

Der gesamte Sauerstoffinhalt des Obersees überstieg in den Monaten März und April 2002 mit 520 000 Tonnen den Vorjahreswert um 11 000 Tonnen.

Die niedrigste einen Meter über Grund gemessene Sauerstoffkonzentration betrug 2001 6,1 g/m³. Sie wurde Ende Oktober erreicht (Abb. B). Dass dieser Extremwert im Vergleich zum Vorjahr, trotz der von Jahresbeginn an deutlich geringeren Sauerstoffgehalte im Hypolimnion, nicht noch stärker abfiel, kann auf die sehr geringe Biomassenproduktion zurückgeführt werden. Diese Entwicklung zeigt klar die fortschreitende Stabilisierung des Ökosystems Bodensee.

Das **Phytoplankton** im Bodensee-Obersee erreichte 2001 im Jahresmittel eine Biomasse von 6,7 g/m² (0-20 m Tiefe). Dies ist der niedrigste Wert seit Beginn der regelmäßigen Planktonzählung im Jahr 1965. In den Vorjahren wurden folgende Werte festgestellt: 2000: 8,9 g/m², 1999: 9 g/m², 1998: 12,6 g/m², 1997: 13,6 g/m² und 1996: 13,4 g/m² (0-20 m Tiefe). Seit Ende der achtziger Jahre erfolgte damit ein nahezu kontinuierlicher Abfall. Der in den letzten Jahren beobachtete Trend zu niedrigeren

Frühjahrsentwicklungen setzte sich auch 2001 fort; Anfang Mai wurde nur noch $8,6 \text{ g/m}^2$ Algenbiomasse erreicht. Nach dem Klarwasserstadium Mitte Mai trat Anfang Juni eine Fröhsommerblüte mit $11,4 \text{ g/m}^2$ auf. Das Sommer-Maximum erreichte seinen Höchstwert Anfang Juli mit $16,7 \text{ g/m}^2$. Anfang Oktober war noch eine Herbstentwicklung mit $12,6 \text{ g/m}^2$ zu beobachten. Alle Maxima lagen deutlich unter den Werten des Vorjahres.

Von Januar bis in den Juni machten die centriscen Kieselalgen den größten Anteil der Biomasse aus; die Oligotrophierungs-Anzeiger *Cyclotella cyclopuncta* und in geringerem Maß *C. pseudostelligera* dominierten die Frühjahrsentwicklung. Die Fröhsommerentwicklung enthielt einen erheblichen Anteil von *Cyclotella bodanica*, die ebenfalls als strenger Oligotrophierungs-Anzeiger anzusehen ist. Die pennaten Kieselalgen traten im Hochsommer und im Oktober in den Vordergrund, wobei vor allem *Fragilaria*, *Asterionella* und *Synedra* dominierten. Sie erreichten einen höheren Anteil an der Biomasse als im Vorjahr. Cryptomonaden sind Ubiquisten ohne Indikationswert. Sie erreichten das ganze Jahr über beträchtliche Anteile an der Biomasse und dominierten das Planktonbild im Spätsommer, Spätherbst und Winter. Die Dinoflagellaten bevorzugten das Frühjahr mit *Gymnodinium helveticum* sowie den Sommer und den Frühherbst mit *Ceratium hirundinella* und *Gymnodinium helveticum*. Die Chrysophyceen erschienen hauptsächlich während der Frühjahrsentwicklung mit *Erkenia* und im Sommer mit verschiedenen oligotraphenten *Ochromonas*-Arten sowie im Oktober mit *Uroglena*; diese Art trat 2001 zum ersten Mal in stärkerem Maß auf. Coccale Grünalgen und Blaualgen, die höhere Nährstoffkonzentrationen vorziehen, erreichten das ganze Jahr über nur noch einen unbedeutenden, gegenüber den Vorjahren nochmals reduzierten Anteil an der Biomasse (Abb. 26, 27).

Erstmals seit 1996 wurde im Jahr 2001 wieder eine deutliche Zunahme des **Crustaceenplanktons** beobachtet. Im Vergleich zu den Mittelwerten des Jahres 2000 betrug im Jahr 2001 der Anstieg der Copepodidzahlen bei *Eudiaptomus gracilis* 39 %, bei den adulten Tieren sogar 116 %. Für die cyclopoiden Copepoden betrug der Anstieg 44 % bei den Copepodiden bzw. 69 % bei den adulten Tieren. Bei der Zählgruppe "übrige Cladoceren" nahm der Jahresmittelwert um mehr als 350 % zu. Lediglich bei den Daphnien nahm der Jahresmittelwert um 14 % ab.

Der jahreszeitliche Verlauf der Individuendichten der Daphnien war im Jahr 2001 wieder durch ein Frühjahrsmaximum (Mai, Juni) und ein spätes Herbstmaximum (November) geprägt. Das Maximum lag im Monat Juni und betrug $159000 \text{ Ind m}^{-2}$ (0 -100m). Es lag somit wieder früher aber auch niedriger als im Jahr 2000 (September, $297000 \text{ Ind m}^{-2}$).

Bei den Beständen der übrigen Cladoceren (*Bosmina*, *Bythotrephes longimanus* und *Leptodora kindtii*) waren die hohen Werte im Frühjahr durch relativ hohe Bosminazahlen bedingt. Die hohen Zahlen im Spätsommer beruhten auf den hohen Populationsdichten von *Diaphanosoma brachyurum*. Von dieser Cladocere, die seit den 60 Jahren als ausgestorben galt, wurden in der ersten Jahreshälfte lediglich Einzeltiere beobachtet. In der zweiten Jahreshälfte bildete sich eine Population aus, deren Größe teilweise wesentlich höher lag als die der Daphnien. Bei *Bythotrephes longimanus*, den von Felchen bevorzugten Planktern, und *Leptodora kindtii* lagen die Individuenzahlen in der Regel niedriger als im Vorjahr.

Bei *Eudiaptomus gracilis* entsprachen die saisonalen Änderungen der Abundanz denen des Vorjahres, die Werte lagen in der Regel höher als im Vorjahr. Bei den Copepodiden hingegen war, im Gegensatz zum Vorjahr, wieder ein deutliches Frühjahrsmaximum ausgebildet. Der Maximalwert betrug 181 000 Ind m⁻² (0-100m) und lag damit 10mal höher als im Vorjahr.

Bei den cyclopoiden Copepoden lagen die Werte der erwachsenen Tiere insbesondere im Frühjahr höher als im Vorjahr. Dies wurde im wesentlichen durch einen Anstieg der adulten Tiere von *Mesocyclops leuckartii* verursacht, die als carnivor gelten. Auch bei den Copepodiden der cyclopoiden Copepoden lagen die Werte der Individuendichten in der Regel höher als im Vorjahr. Der saisonale Abundanzverlauf wurde durch ein spätes Maximum (488000 Ind m⁻², 0-100m) im November geprägt (Abb. 28-30).

Bei der **Gesamtbakterienzahl** - bestimmt durch fluoreszenzmikroskopische Direktzählung – bewegten sich die Werte im Berichtsjahr auf einem ähnlichen Niveau wie in den Vorjahren. Der bislang beobachtete Trend mit geringer ausgeprägten Frühjahrs- und Sommermaxima wurde somit bestätigt. In der Produktionszone (0 -20 m) wurde ein stetiger Anstieg von Februar bis zum Maximum im August ($4,7 \times 10^6$ Bakterien/ml) beobachtet. Nach einem Abfall im September ($3,7 \times 10^6$ Bakterien/ml) war im Oktober nochmals ein Anstieg auf $4,2 \times 10^6$ Bakterien/ml zu verzeichnen. Danach folgte ein stetiger Abfall bis zum winterlichen Minimum mit weitgehender vertikaler Gleichverteilung. Dabei wurden mit $0,9 - 1,4 \times 10^6$ Bakterien/ml etwas höhere Bakteriendichten als in den beiden Vorjahren festgestellt, jedoch liegen diese Werte im langjährig beobachteten Bereich (Abb. 31).

Für die seit 1999 an der Station Fischbach-Uttwil durchgeführte monatliche Erhebung der Vertikalverteilung von *Escherichia coli* als Vertreter der Fäkalbakterien wurden auch 2001 in der Regel bemerkenswert geringe Belastungswerte für diese Keimgruppe festgestellt. Über 85 % der Werte lagen unterhalb des Trinkwassergrenzwertes

(1 Keim/100 ml) und über 95 % unterhalb der für Oberflächengewässer immer noch als sehr gering einzustufenden Belastung von 10 Keimen/100ml. Die vereinzelt Spitzen oberhalb 10 Keime pro 100 ml (Mai 50 m, Juni 0 und 5 m, Oktober 15 m und Dezember 50 m) sind mit großer Wahrscheinlichkeit auf Einschichtung belasteten Flusswassers zurückzuführen.

Bodensee-Untersee

Die **Phosphorkonzentration** - bestimmt als Gesamtphosphor im Rohwasser - blieb 2001 im Rheinsee im Jahresmittel mit 13 mg/m^3 konstant (2000: 13 mg/m^3 ; 1999: 17 mg/m^3). Im Zellersee wurde im Vergleich zum Vorjahr eine leichte Abnahme auf 20 mg/m^3 beobachtet (2000: 22 mg/m^3 ; 1999: 23 mg/m^3).

Der Inhalt an **anorganischem Stickstoff** (N aus $\text{NO}_3^- + \text{NO}_2^- + \text{NH}_4^+$) mit Nitrat als Hauptkomponente nahm 2001 im Rheinsee auf $0,83 \text{ g/m}^3$ zu (2000: $0,67 \text{ g/m}^3$; 1999: $0,78 \text{ g/m}^3$). Im Zellersee wurde eine leichte Abnahme auf $0,96 \text{ g/m}^3$ beobachtet (2000: $1,00 \text{ g/m}^3$; 1999: $0,90 \text{ g/m}^3$).

Die **Sauerstoffsituation** hat sich 2001 im Rheinsee und im Zellersee gegenüber dem Vorjahr wenig verändert. Im Rheinsee wurde die geringste Sauerstoffkonzentration in Seebodennähe im Oktober mit $1,3 \text{ g/m}^3$ gemessen. Im Vorjahr wurde die Minimalkonzentration im November erreicht und betrug $1,2 \text{ g/m}^3$. Im Zellersee, der bis 1992 über Jahrzehnte hinweg einen zeitweiligen totalen Sauerstoffschwund aufwies, wurde auch 2001 bei allen Messungen ein geringer Sauerstoff-Restgehalt gemessen. Der niedrigste gemessene Wert lag 2001 bei $0,9 \text{ g/m}^3$ und im Vorjahr bei $0,5 \text{ g/m}^3$.

Im Zellersee ist das **Phytoplankton** im Jahr 2001 mit $12,5 \text{ g/m}^2$ (0-20m Tiefe) gegenüber den Vorjahren weiterhin deutlich zurückgegangen (2000: $15,1 \text{ g/m}^2$, 1999: $25,8 \text{ g/m}^2$, 1998: $18,7 \text{ g/m}^2$, 1997: $15,7 \text{ g/m}^2$, 1996: $15,9 \text{ g/m}^2$; 1995: $15,2 \text{ g/m}^2$). Im Gegensatz zum Vorjahr war eine Spätwinterentwicklung Ende Februar / Anfang März mit einem Maximalwert von 22 g/m^2 zu beobachten; nach einer leichten Depression entwickelte sich im April eine Frühjahrsentwicklung, deren Höhepunkt Mitte April bei $23,1 \text{ g/m}^2$ lag. Ein wenig ausgeprägtes Klarwasserstadium wurde erst Mitte Juni erreicht, danach folgte ein Anstieg Anfang Juli mit $20,6 \text{ g/m}^2$ und ein Spätsommer-Maximum Anfang September mit $33,2 \text{ g/m}^2$.

Im Untersee zeigt die Zusammensetzung des Planktons prinzipiell die gleiche Tendenz wie im Obersee; auch hier hat sich die Artenzusammensetzung des Planktons

gegenüber den Vorjahren hin zu oligotraphenten Formen geändert. *Cyclotella cyclopuncta* dominierte die Spätwinter- und die Frühjahrsentwicklung. Die große oligotraphente Art *C. bodanica* trat ebenfalls auf, ihr Anteil ist jedoch geringer als im Obersee. Die pennaten Kieselalgen waren im Hochsommer mehr im Vordergrund, wobei vor allem *Fragilaria* und *Asterionella* dominierten. Cryptomonaden erreichten wie im Obersee das ganze Jahr über beträchtliche Anteile an der Biomasse; sie dominierten das Planktonbild im Früh- und Spätherbst und im Winter. Die Dinoflagellaten traten das ganze Jahr über in messbaren Anteilen auf. Ihr Maximum erreichten sie im August, wobei hier *Peridinium aciculiferum* dominierte. Die Chrysophyceen erschienen vor allem während der Spätwinterentwicklung mit *Erkenia*, im Hochsommer mit verschiedenen oligotraphenten Dinobryon-Arten sowie *Ochromonas* und *Erkenia*; die letzteren beiden Arten traten bis in den Oktober hinein mit beträchtlichen Anteilen auf. Wie im Obersee fielen coccale Grünalgen nicht mehr ins Gewicht, jedoch trat Mitte Juni die fädige Blaualge *Oscillatoria oblique-acuminata* mit einem beträchtlichen Anteil auf (Abb. 50, 51).

Gesamtbewertung des Seezustandes

Die weitere stetige Abnahme des Phosphorgehaltes und die trotz ungünstiger Witterungsbedingungen immer noch ausreichende Sauerstoffversorgung der grundnahen Schichten unterstreichen die langfristig günstige Entwicklung des Zustands im Freiwasserbereich des Bodensee-Obersees.

Der **Phosphorgehalt** - bestimmt als Gesamtphosphor während der Zirkulationsperiode - ist seit dem Vorjahr auf 12 mg/m^3 gesunken. Diese Entwicklung zeigt, dass der durch die Sanierungsmaßnahmen eingeleitete Erholungsprozess weiter voranschreitet und noch nicht abgeschlossen ist.

Der **anorganische Stickstoffgehalt** (Nitrat-, Nitrit- und Ammoniumstickstoff) hat sich auch im vergangenen Untersuchungszeitraum kaum geändert und verbleibt seit nunmehr 13 Jahren im beobachteten Konzentrationsniveau von ca. 1 mg/l .

Stickstoff ist für Algen im Bodensee kaum wachstumsbegrenzend, kann jedoch das Artenspektrum beeinflussen. Daher muss die Entwicklung des anorganischen Stickstoffgehaltes weiterhin verfolgt werden.

Klimatische Faktoren und die Menge der pflanzlichen Produktion bestimmen die Höhe des für die Ökologie des Sees wichtigen **Sauerstoffgehalts** im tiefen Seebereich. Während die milden Witterungsverhältnisse im Winter 2001 nach dem ebenfalls milden Winter 2000 nochmals deutlich schlechtere Vorbedingungen für eine gute Sauerstoffversorgung darstellten, blieb der minimale Sauerstoffgehalt am Seegrund dennoch bei 6,1 mg/l. Für dieses Ergebnis war wohl in erster Linie die erneut zurückgegangene Algenproduktion ausschlaggebend.

In der **Phytoplankton-Zusammensetzung** zeichnet sich seit Jahren die Entwicklung hin zu einem nährstoffärmeren See ab. Der qualitative Umbau der Biocoenose schreitet weiter fort. Nach wie vor haben die Arten ohne eine Indikationsfunktion, also sogenannte Ubiquisten, einen hohen Anteil an der Biomasse. Ausgesprochene Eutrophierungsanzeiger sind mittlerweile vollständig aus dem Planktonbild verschwunden oder unbedeutend und Arten, die eine Nährstoffverarmung anzeigen nehmen inzwischen wieder beträchtliche Anteile an der Biomasse ein.

Die Biomasse lag mit einem Jahresmittel von 6,7 g/m² deutlich unter der des Vorjahres mit 8,9 g/m². Die bis Ende der 80er Jahre gehäuft über 20 g/m² liegende Algenbiomasse wurde damit auf ein Drittel reduziert.

Der schon im Vorjahr beobachtete Wandel im **Crustaceenplankton** setzt sich weiter fort. Individuendichten und saisonale Häufigkeitsverteilungen zeigen artspezifisch unterschiedliche Entwicklungen. Vor dem Hintergrund einer steigenden Gesamtpopulation scheinen die Individuendichten der bisher dominanten Fisch-Futterorganismen (Daphnien, *Bythotrephes longimanus* und *Leptodora kindtii*) langfristig abzunehmen. Gleichzeitig traten in diesem Jahr erstmals wieder *Diaphanosoma brachyurum* und *Bosmina* in nennenswerten Individuendichten im Obersee auf. Die Auswirkungen auf das Gesamtökosystem - insbesondere auf die Nahrungskette - sind noch nicht bekannt.

Durch Siedlungsabwässer eingetragene **Fäkalkeime** (*Escherichia coli*) tangieren die Freiwasserzone des Bodensees nur sehr geringfügig. Lediglich vereinzelt kam es durch eingeschichtetes Flusswasser lokal zu leicht erhöhten Keimzahlen.

Fazit und Handlungsbedarf

Der nachhaltige Erfolg der Sanierungsmaßnahmen der Staaten im gesamten Einzugsgebiet des Bodensees wird durch die Ergebnisse der Freiwasseruntersuchungen vollauf bestätigt.

Die Wasserqualität befindet sich in einem guten Zustand und die Entwicklung des Sees verläuft positiv, wie die aktuellen Daten belegen.

Die Ergebnisse zeigen auch, dass der Bodensee als komplexes ökologisches System in seinen Reaktionen nicht exakt berechenbar ist. Insofern kann der integrierte Gewässerschutz nur dann langfristig seine Erfolge sichern, wenn er kontinuierlich optimiert und weiter entwickelt wird. Die Veränderung der äußeren Einflüsse wie auch die Entwicklung des Sees selbst liefern hierbei die Handlungsgrundlage.

Der äußere Nutzungsdruck auf den See und sein Einzugsgebiet ist nach wie vor ungebrochen hoch und wird sich infolge der demographischen und ökonomischen Trends in der Zukunft noch eher verstärken. Hinzu kommen sich abzeichnende klimatische Veränderungen mit noch nicht absehbaren Folgen für die Ökologie des Sees. Die Schutzstrategie muss auch diesen Herausforderungen Rechnung tragen und eine nachhaltige Systemstabilität des Sees anstreben.

Als Nahziel der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee bleibt daher die Gewährleistung einer geringstmöglichen Abwasser- und Schadstoffbelastung des Sees weiterhin aktuell. Dies bedeutet eine Aufrechterhaltung hoher Anforderungen an die Abwasserbehandlung sowie die Reduktion diffuser Nähr- und Schadstoffeinträge in den See und eine weitere Minimierung lokaler Belastungen durch anthropogene Nutzungen.

Abbildungen

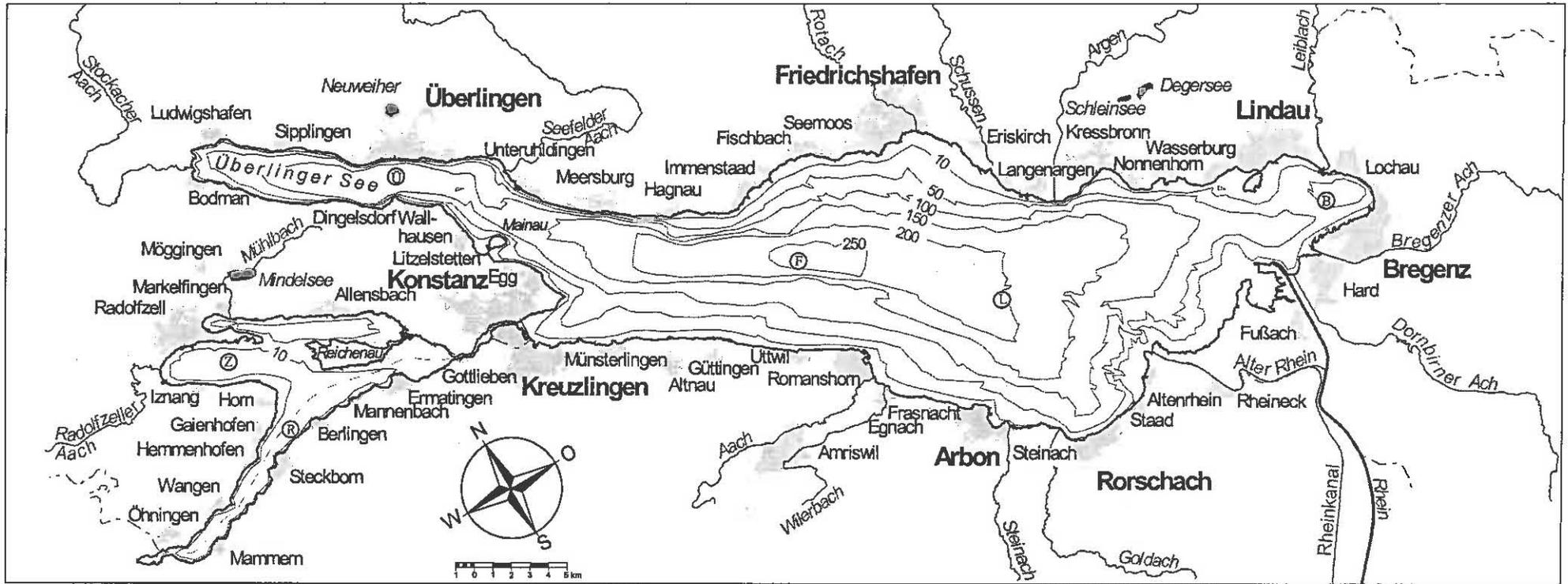


Abb. 1: Der Bodensee mit Lage der Untersuchungsstellen

a) Freiwasser

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

- Untersee: Rheinsee (R)
- Untersee: Zellersee (Z)

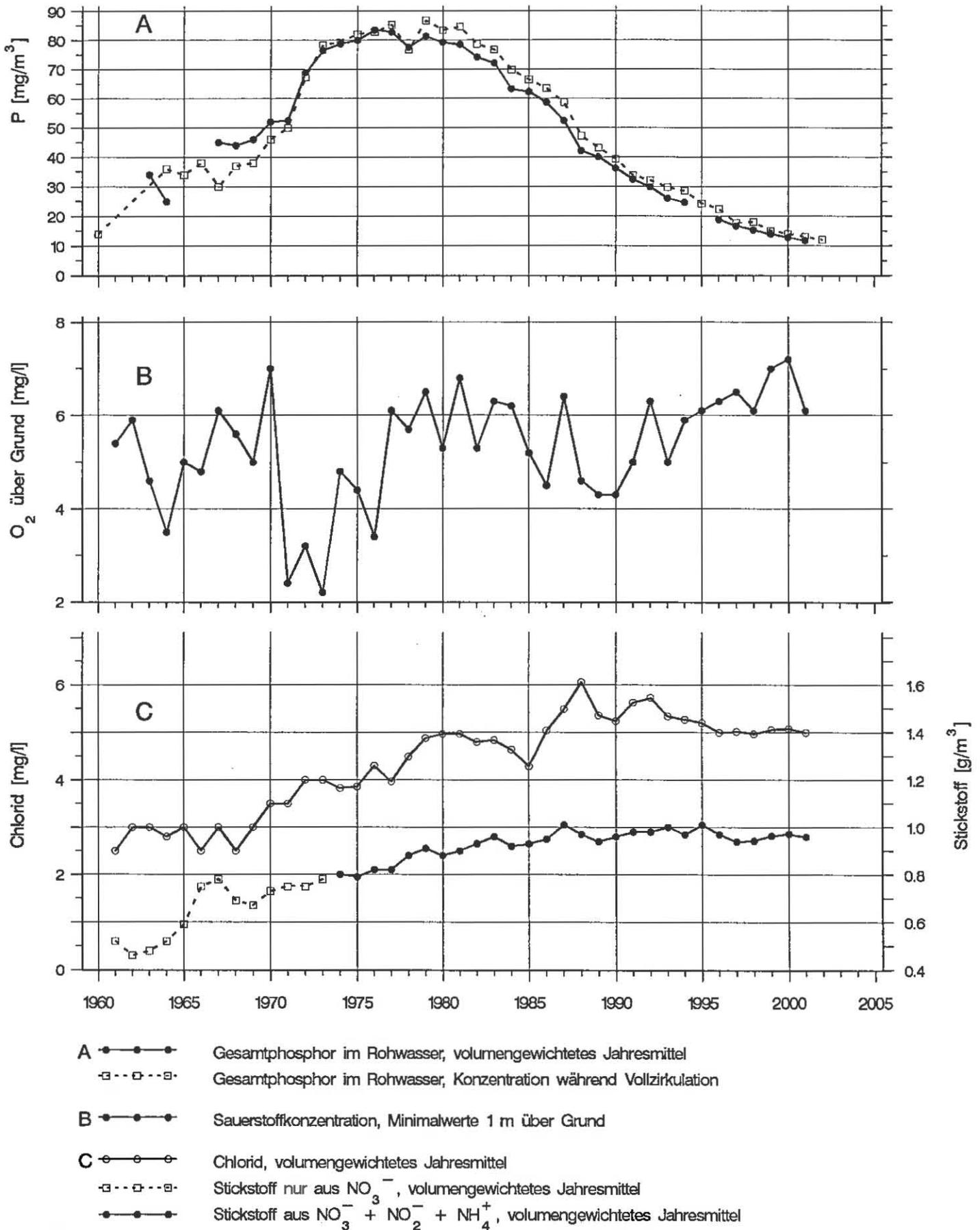


Abb. 2: Bodensee – Obersee, Fischbach–Uttwil:
 Langfristige Entwicklung der Phosphor–, Sauerstoff–,
 Stickstoff– und Chloridkonzentration

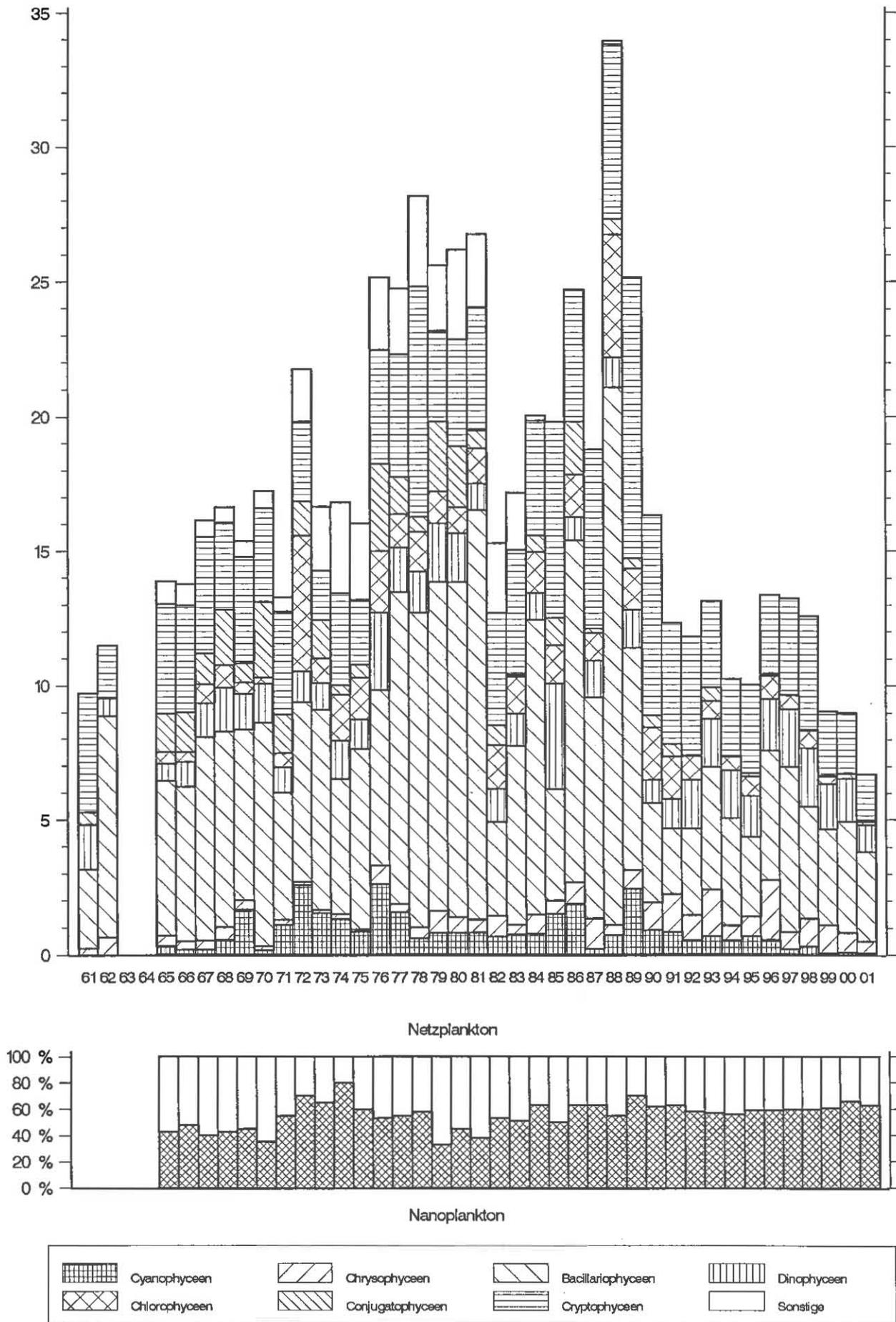


Abb. 3: Bodensee – Obersee, Fischbach–Uttwil:
 Langfristige Entwicklung des Phytoplanktons
 Biomassen in g/m² (0–20 m Tiefe), Jahresmittelwerte

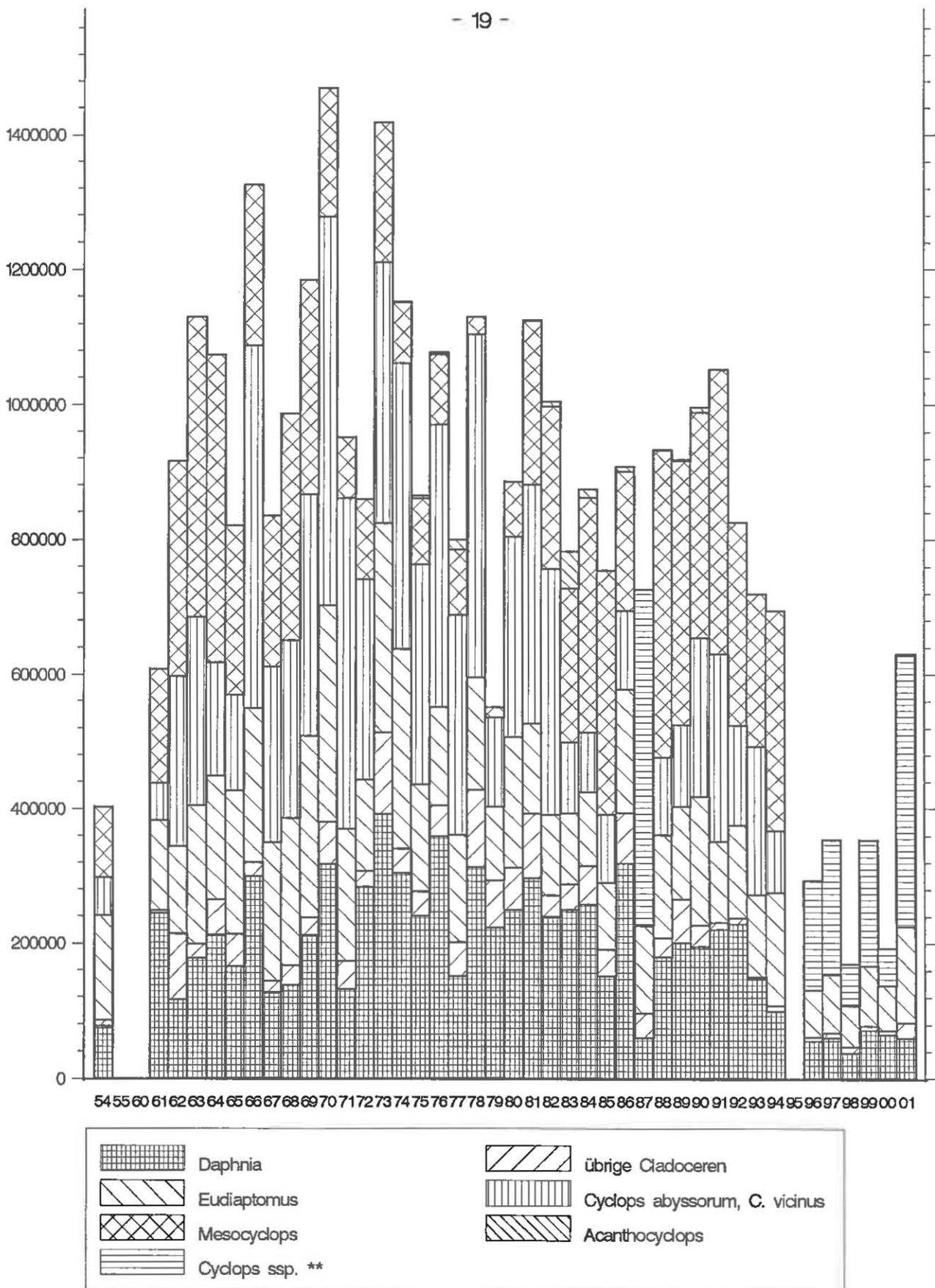


Abb. 4: Bodensee -- Obersee, Fischbach--Uttwil:

Langfristige Entwicklung des Crustaceenplanktons

Tiere/m³ gesamte Wassersäule, Jahresmittelwerte *

* Berechnung des Jahresmittelwertes für 1995 nicht möglich wegen fehlender Frühjahrswerte

** 1987 und ab 1996 einschließlich Mesocyclops

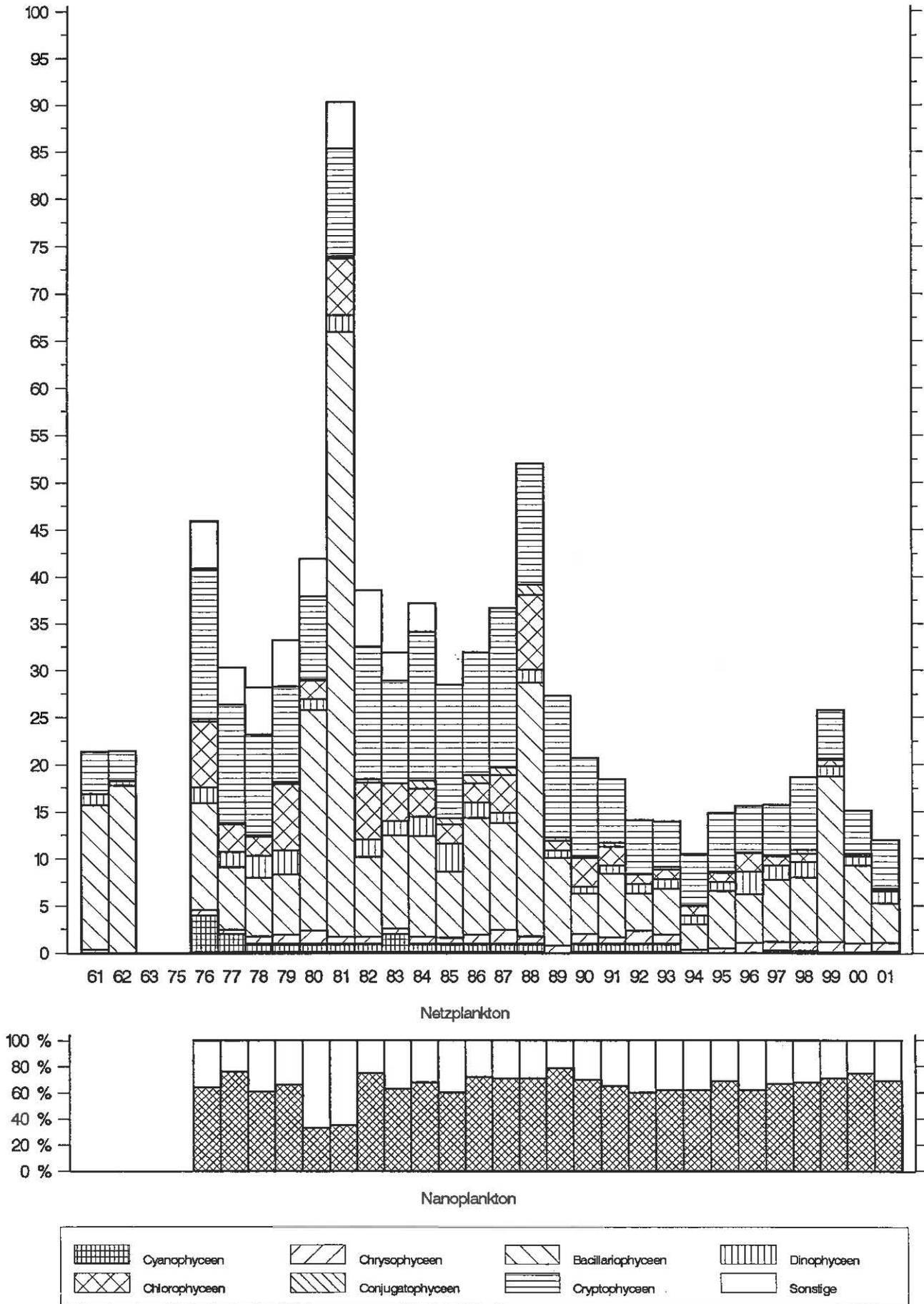
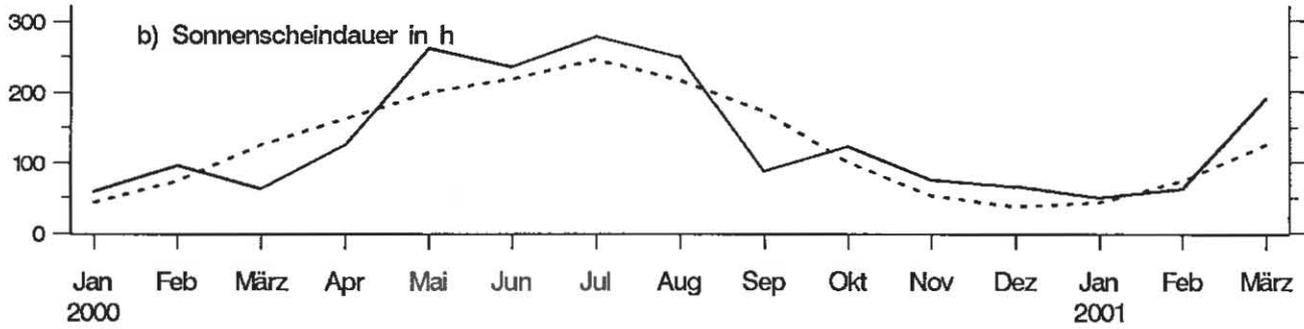
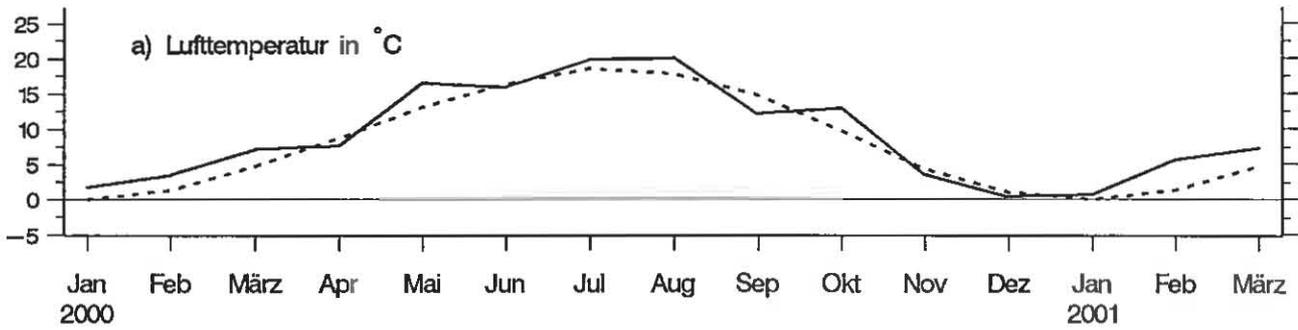


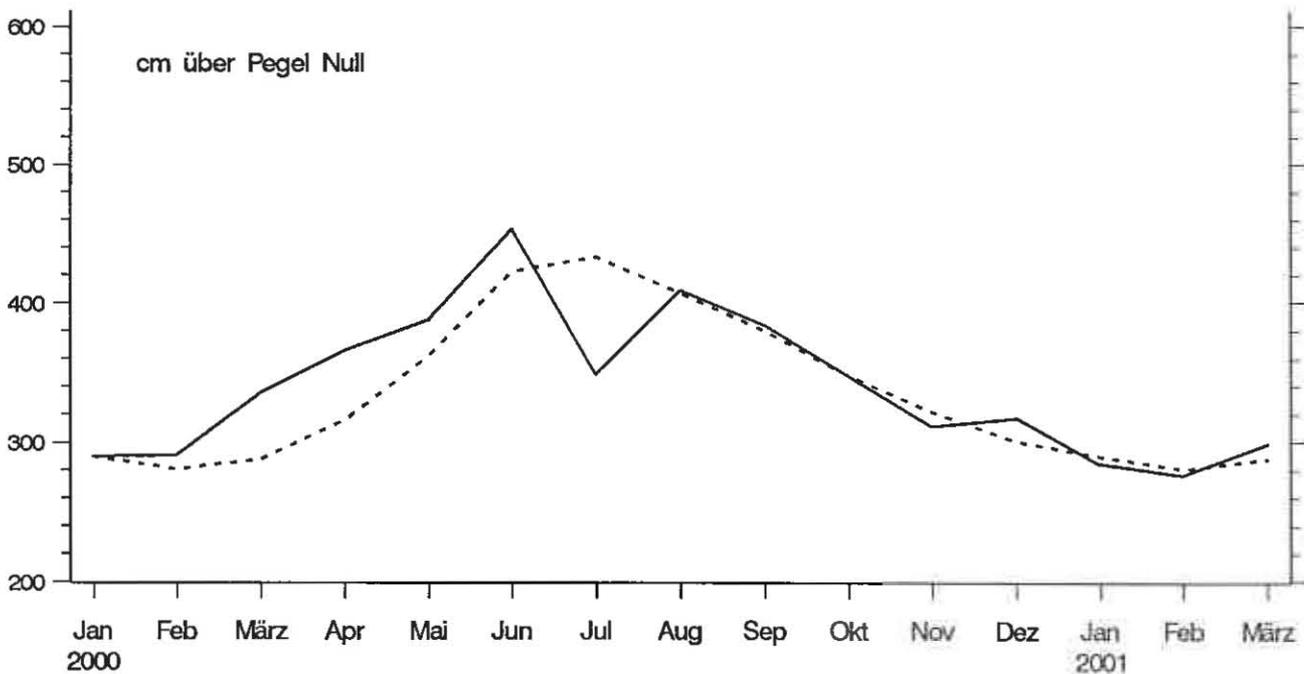
Abb. 5: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Langfristige Entwicklung des Phytoplanktons
Biomassen in g/m² (0–20 m Tiefe), Jahresmittelwerte



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

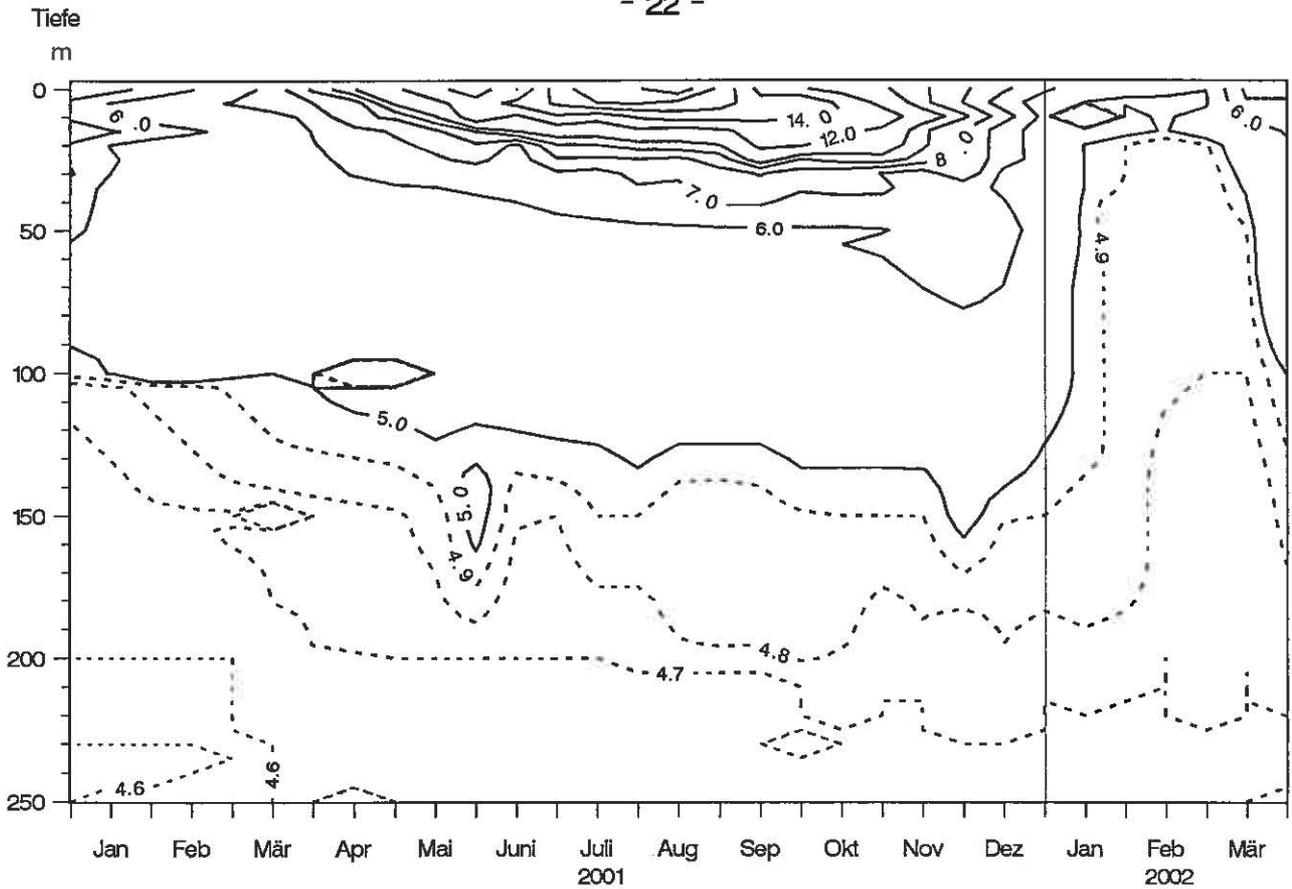


Abb. 8: Bodensee — Obersee, Fischbach—Uttwil:
Temperatur °C

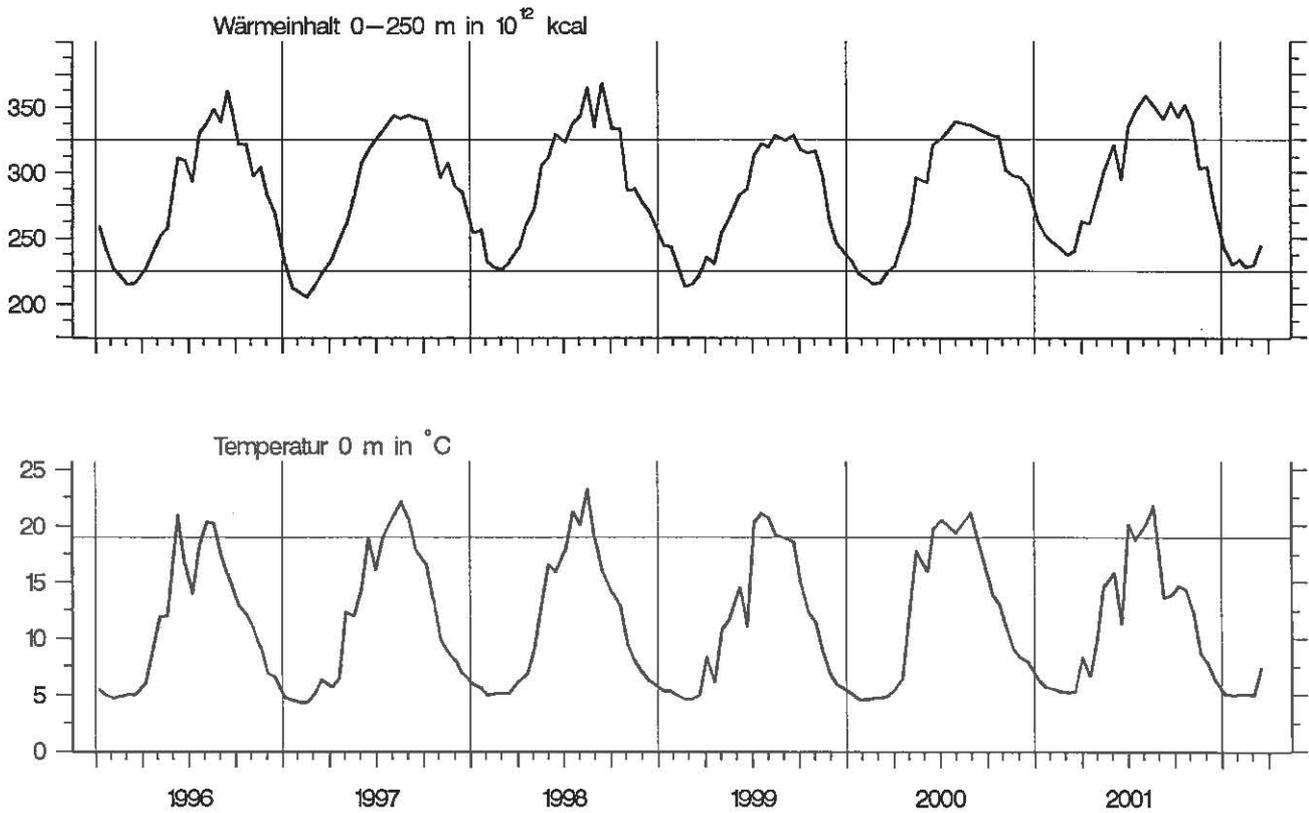


Abb. 9: Bodensee — Obersee, Fischbach—Uttwil:
Thermik

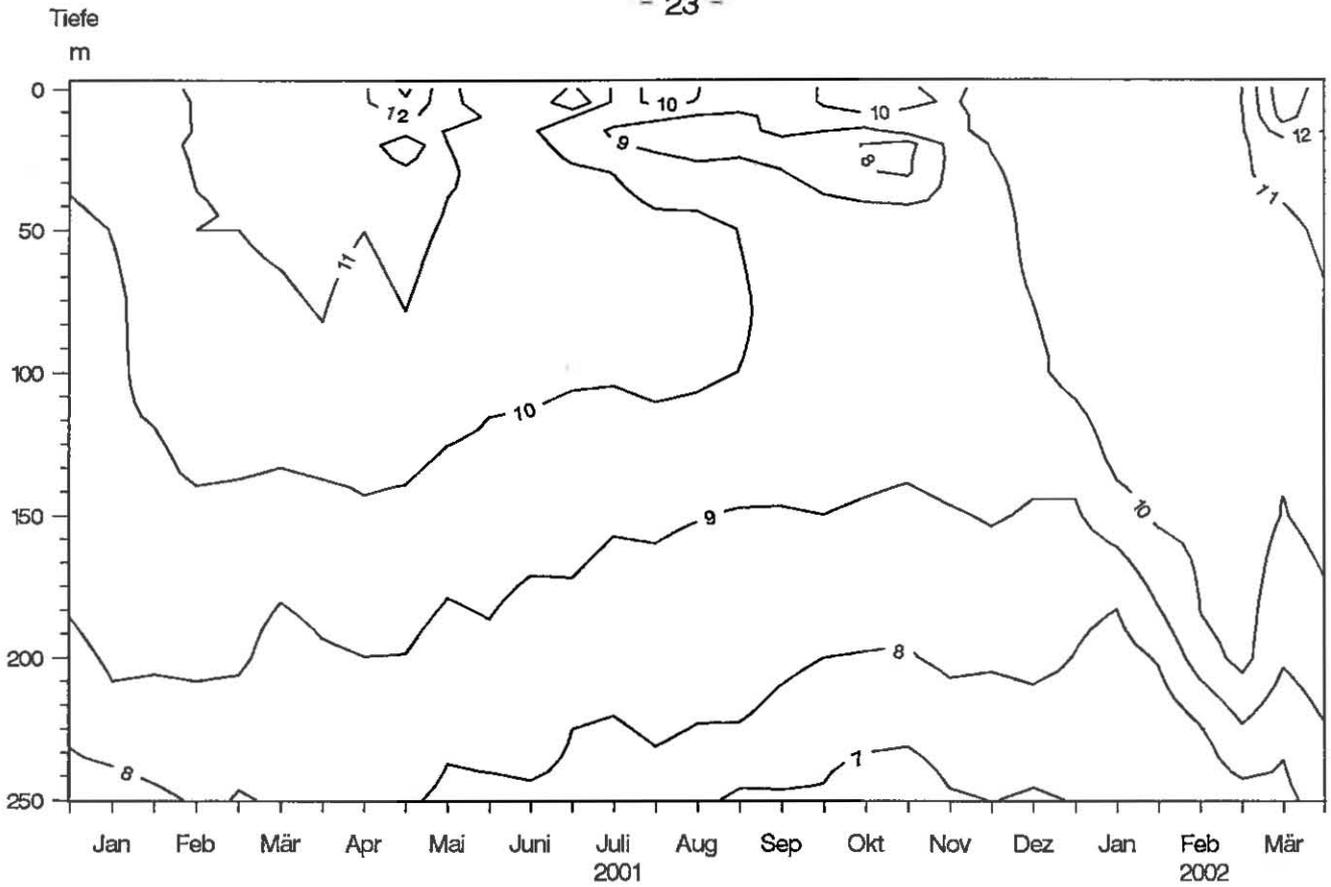


Abb. 10: Bodensee – Obersee, Fischbach–Uttwil:
Sauerstoff (mg/l)

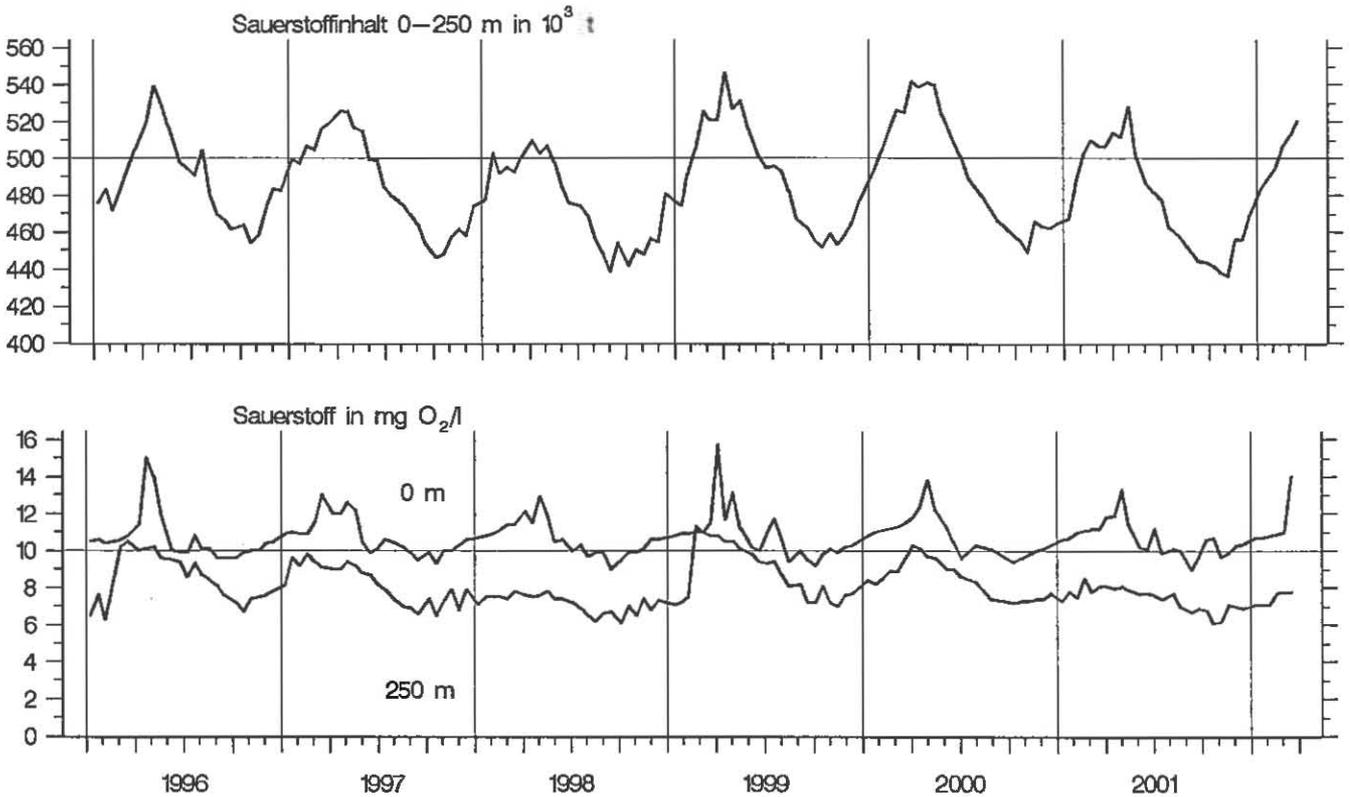


Abb. 11: Bodensee – Obersee, Fischbach–Uttwil:
Sauerstoffinhalt 0–252 m und Sauerstoffkonzentration in 0 und 250 m Tiefe

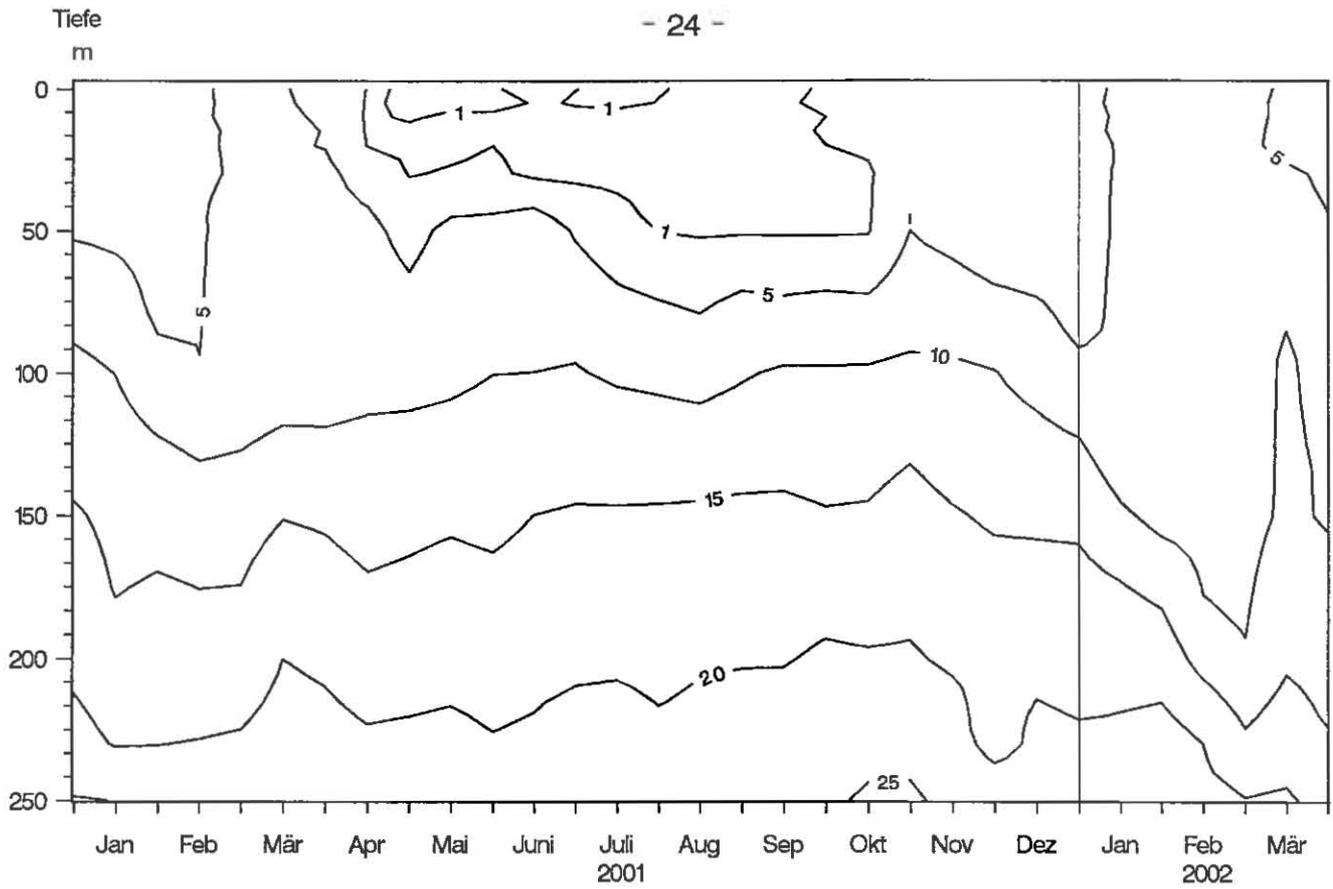


Abb. 12: Bodensee – Obersee, Fischbach–Uttwil:
Orthophosphat – Phosphor (mg/m³)

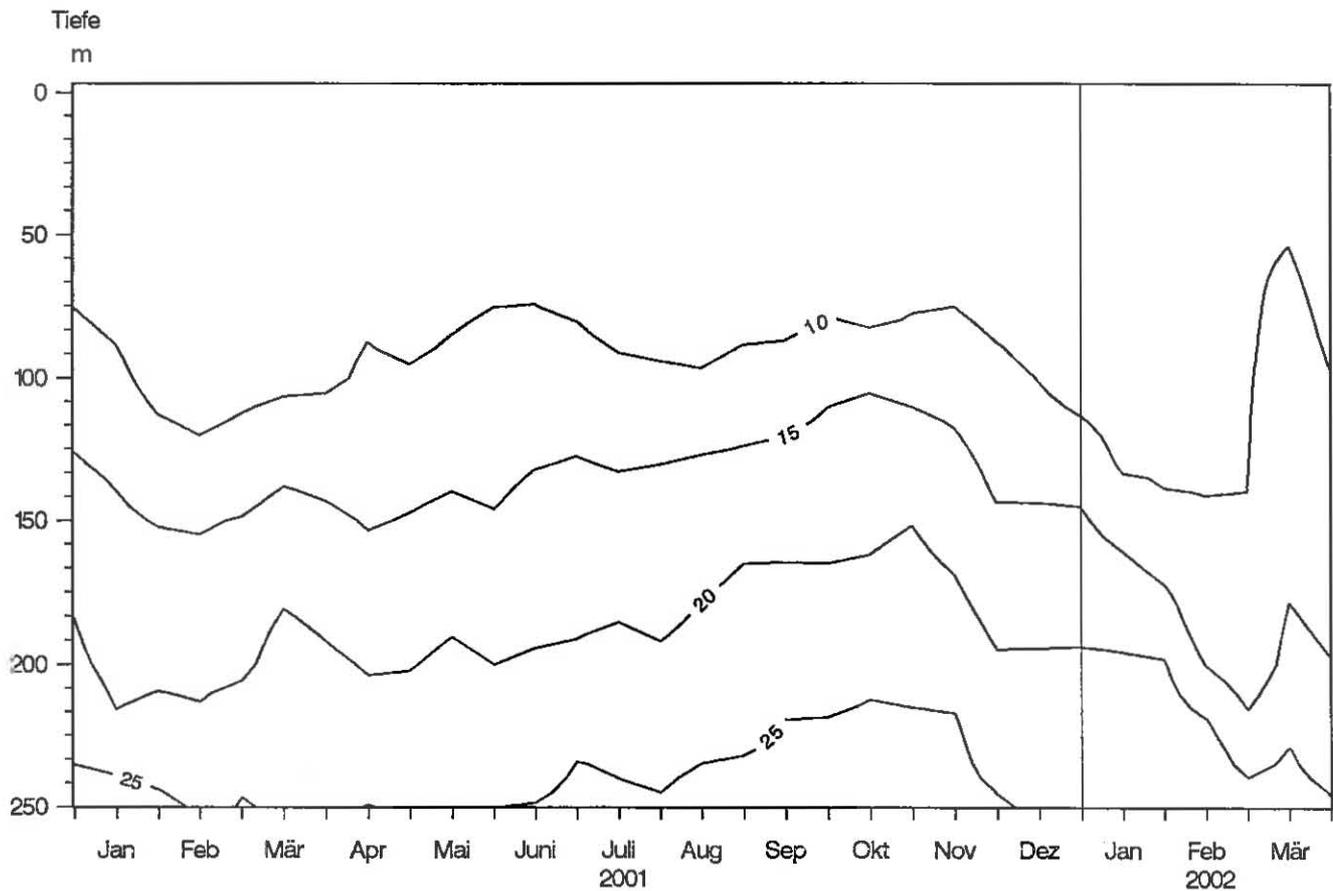


Abb. 13: Bodensee – Obersee, Fischbach–Uttwil:
Gesamt gelöster Phosphor (mg/m³)

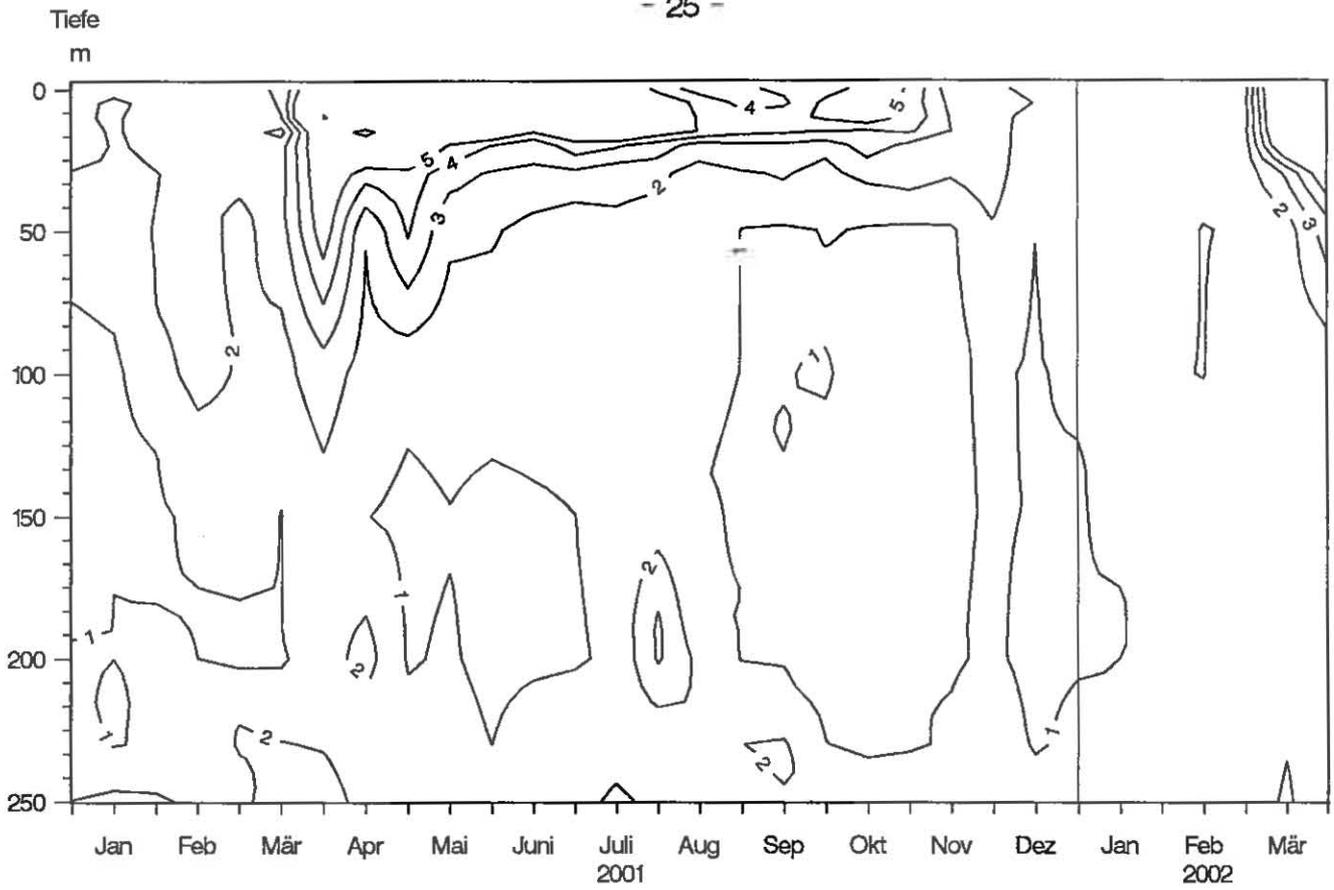


Abb. 14: Bodensee — Obersee, Fischbach—Uttwil:
partikulärer Phosphor (mg/m^3)

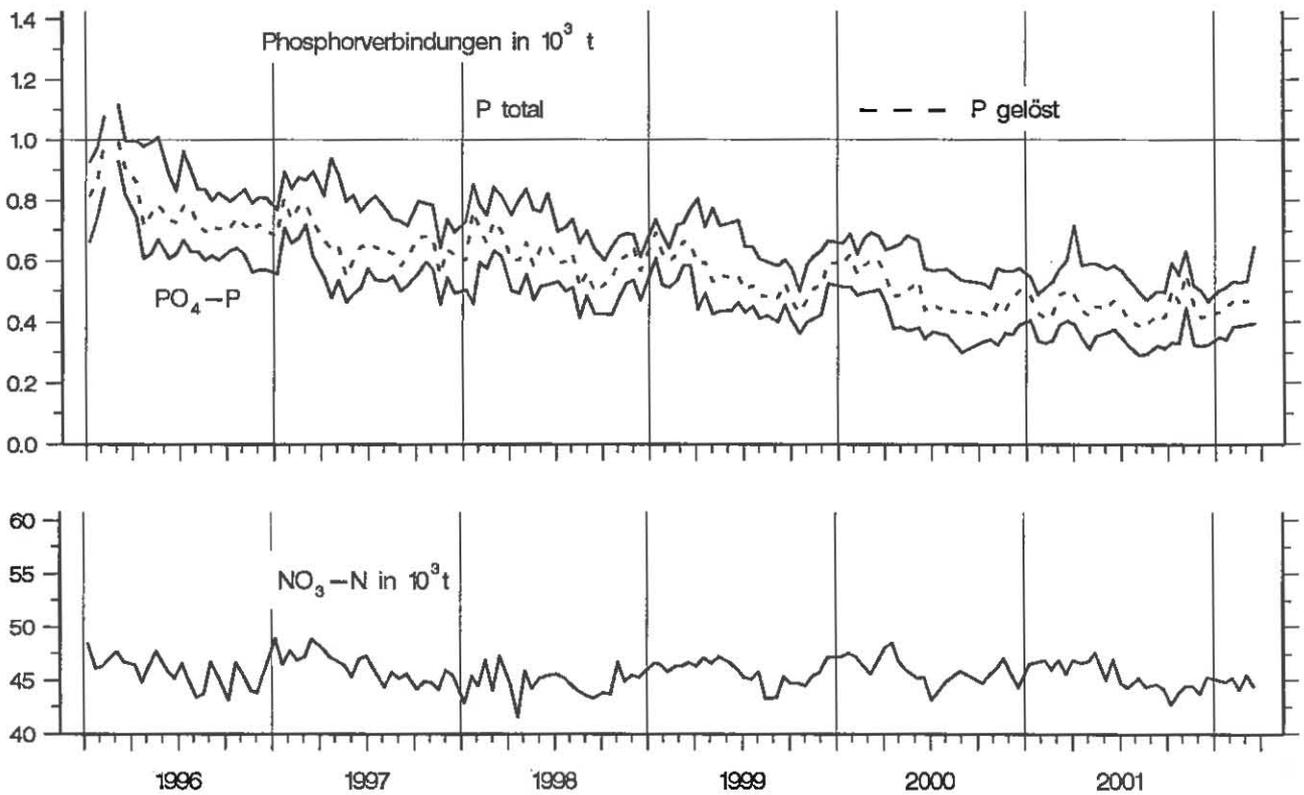


Abb. 15: Bodensee — Obersee, Fischbach—Uttwil:
Nährstoffinhalt (P, $\text{NO}_3\text{-N}$) 0–250 m Tiefe *

* wegen analytischer Probleme teilweise keine Meßdaten vorhanden

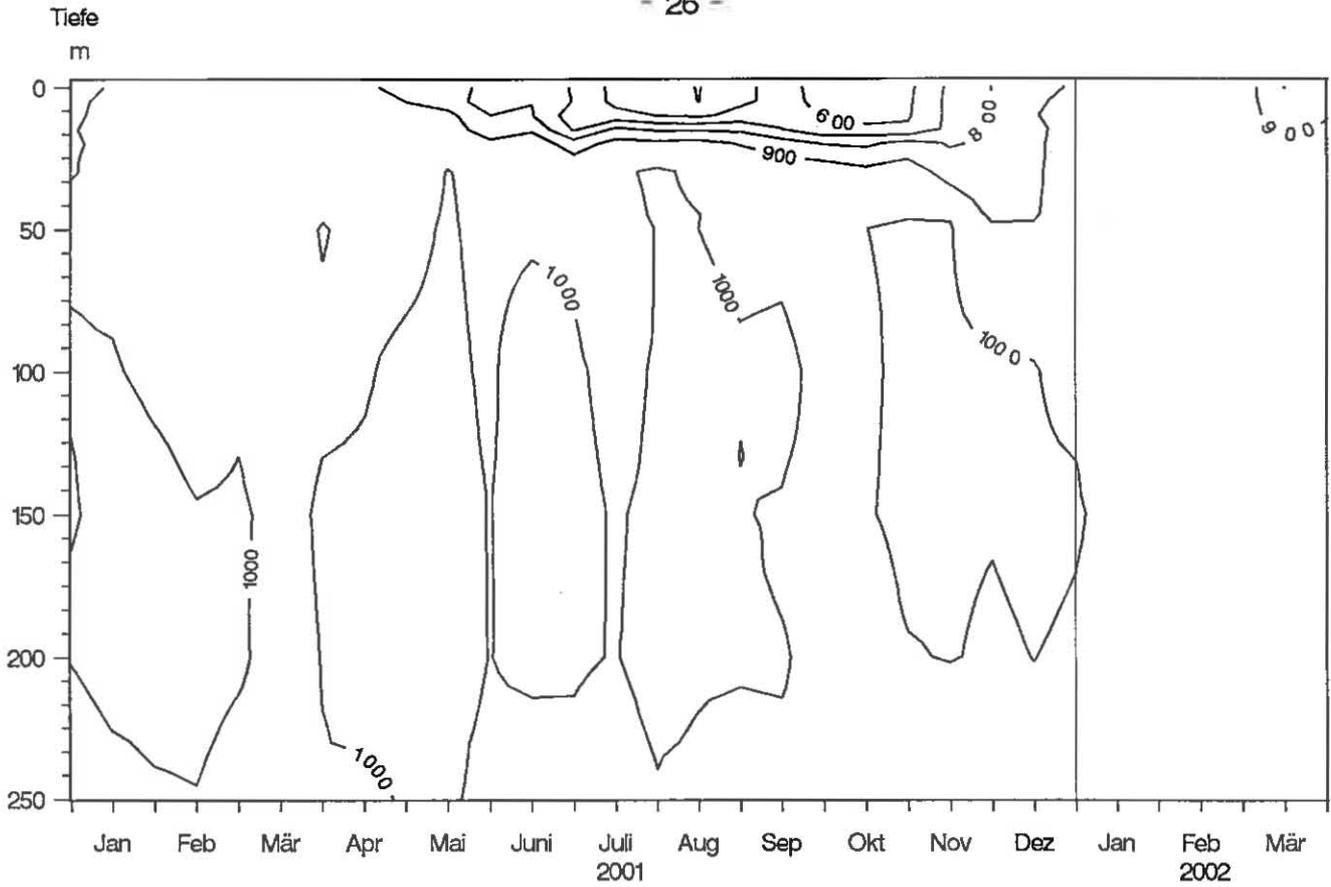


Abb. 16: Bodensee – Obersee, Fischbach–Uttwil:
Nitrat – Stickstoff (mg/m³)

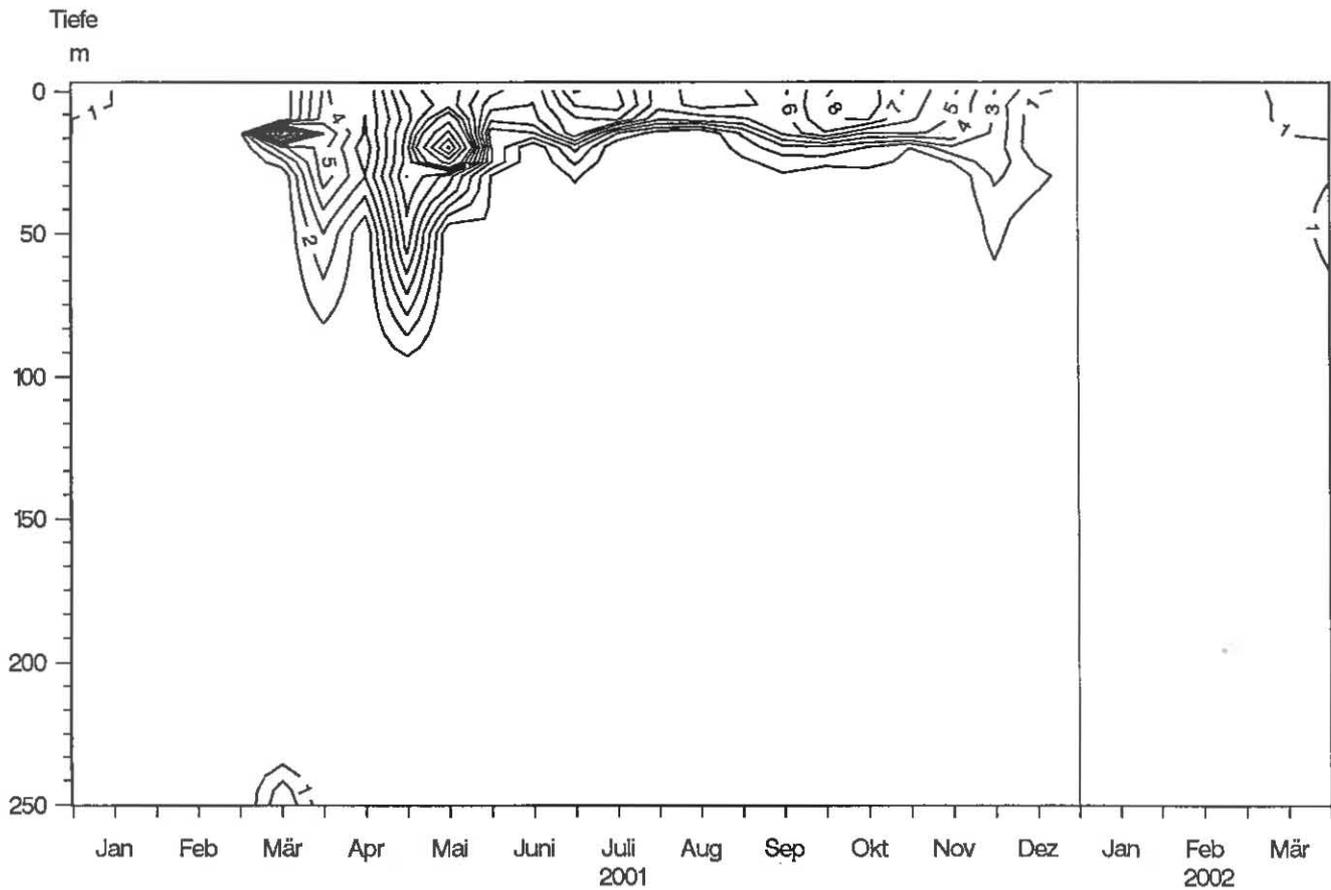


Abb. 17: Bodensee – Obersee, Fischbach–Uttwil:
Nitrit – Stickstoff (mg/m³)

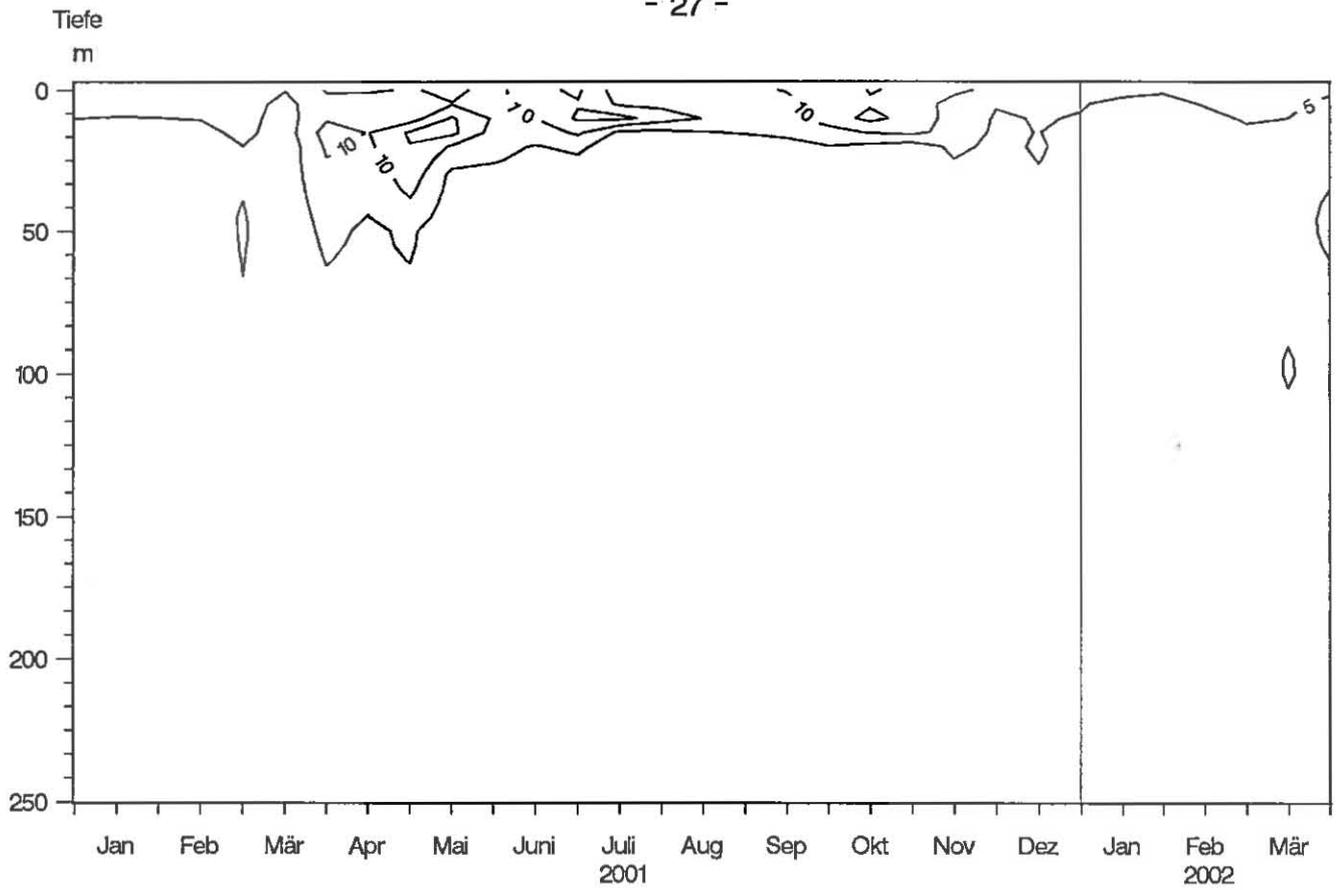


Abb. 18: Bodensee – Obersee, Fischbach–Uttwil:
Ammonium – Stickstoff (mg/m³)

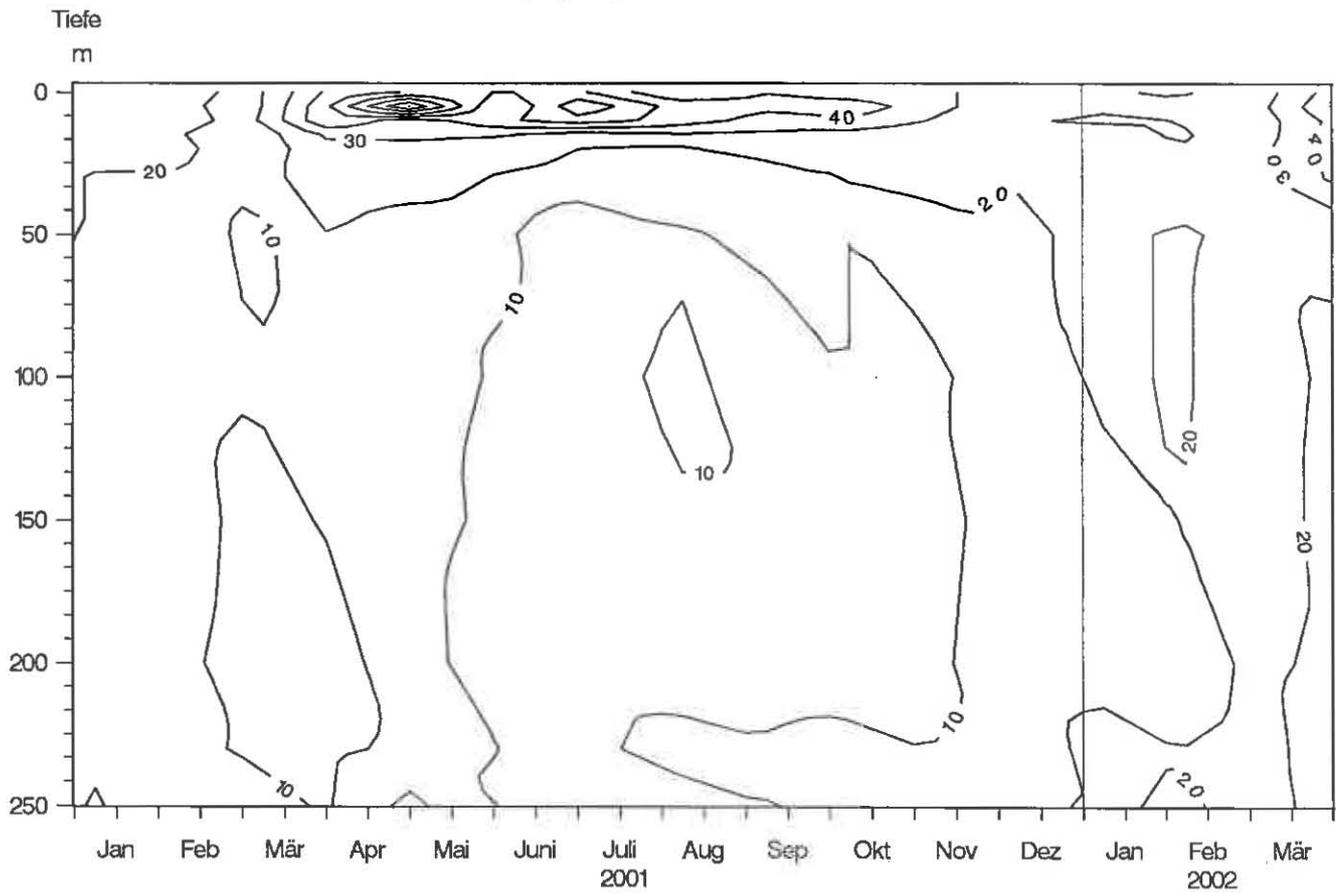


Abb. 19: Bodensee – Obersee, Fischbach–Uttwil:
Partikulärer Stickstoff (mg/m³)

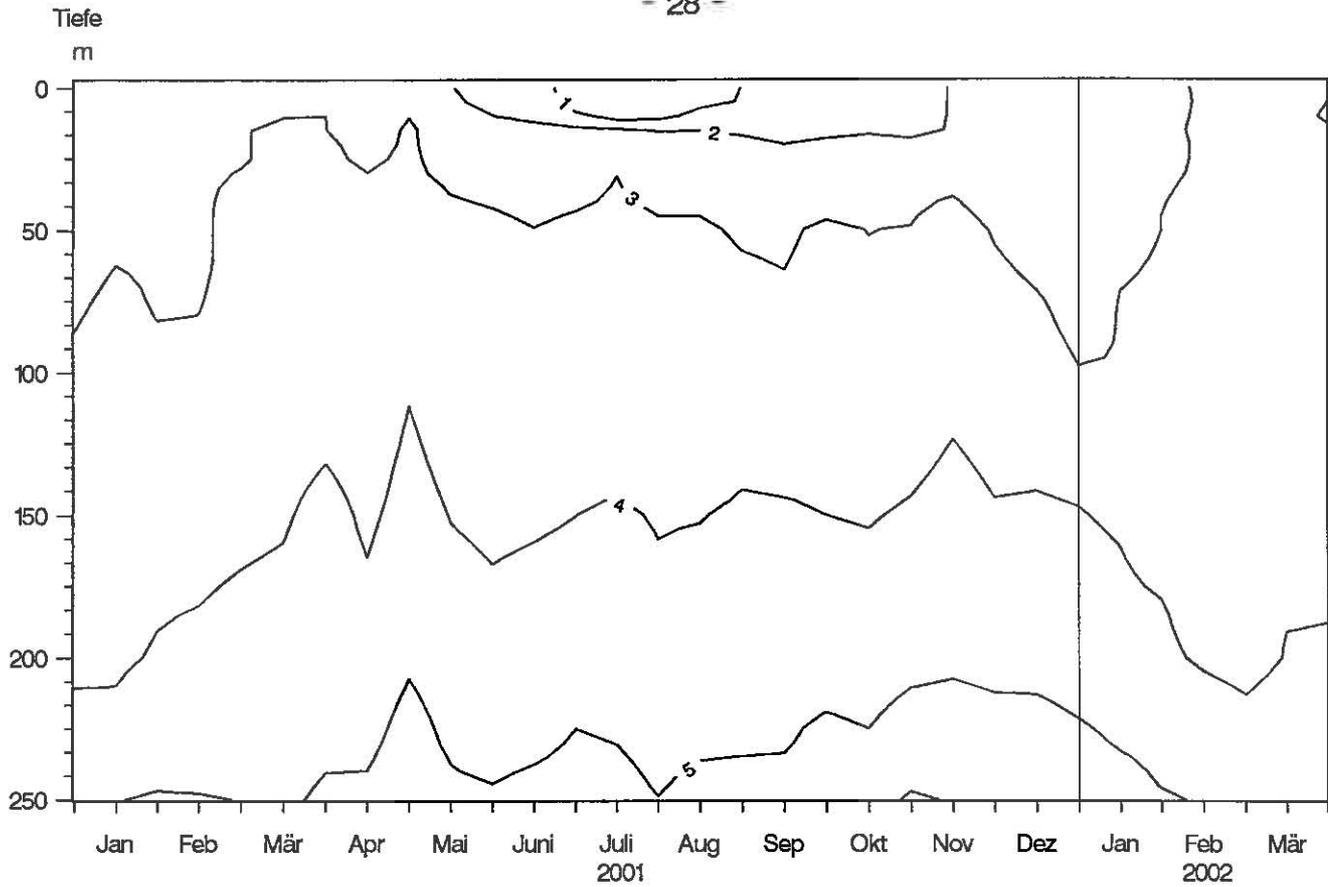


Abb. 20: Bodensee – Obersee, Fischbach–Uttwil:
Silikat (mg/l)

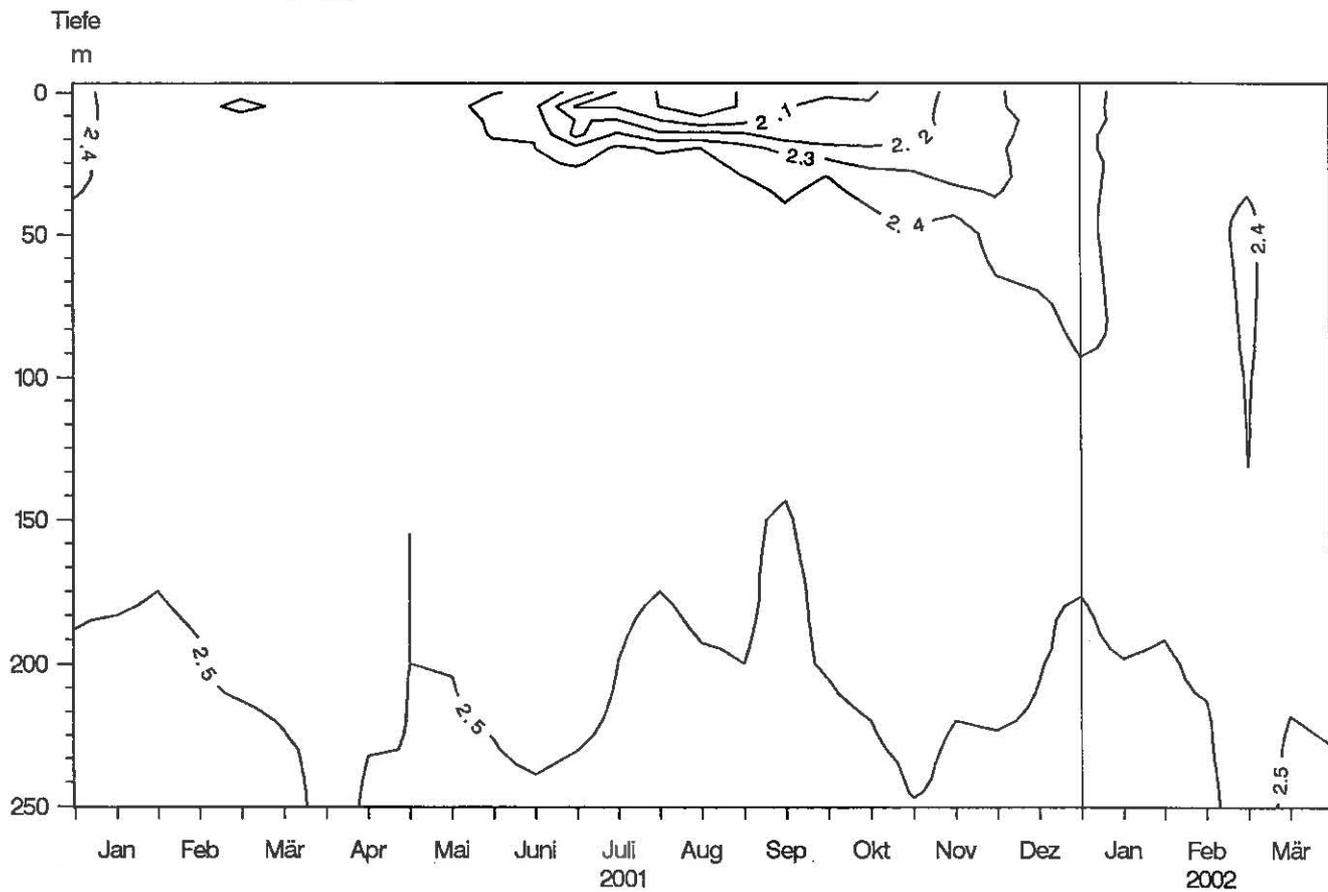


Abb. 21: Bodensee – Obersee, Fischbach–Uttwil:
Anorganischer Kohlenstoff (mmol/l)

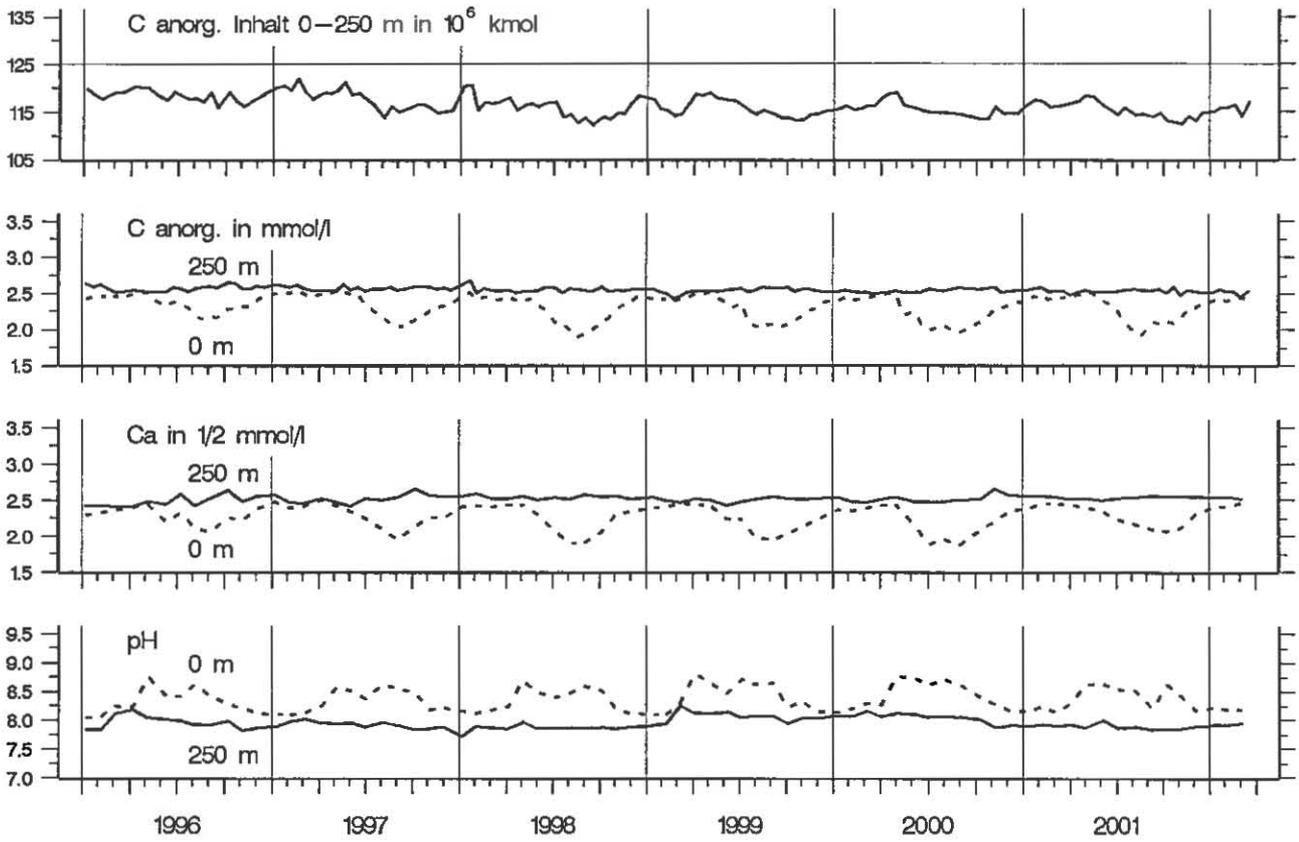


Abb. 22: Bodensee – Obersee, Fischbach–Uttwil:
Anorganischer Kohlenstoff, Inhalt 0–252 m Tiefe
Konzentration von anorg. Kohlenstoff, Calcium; pH–Wert

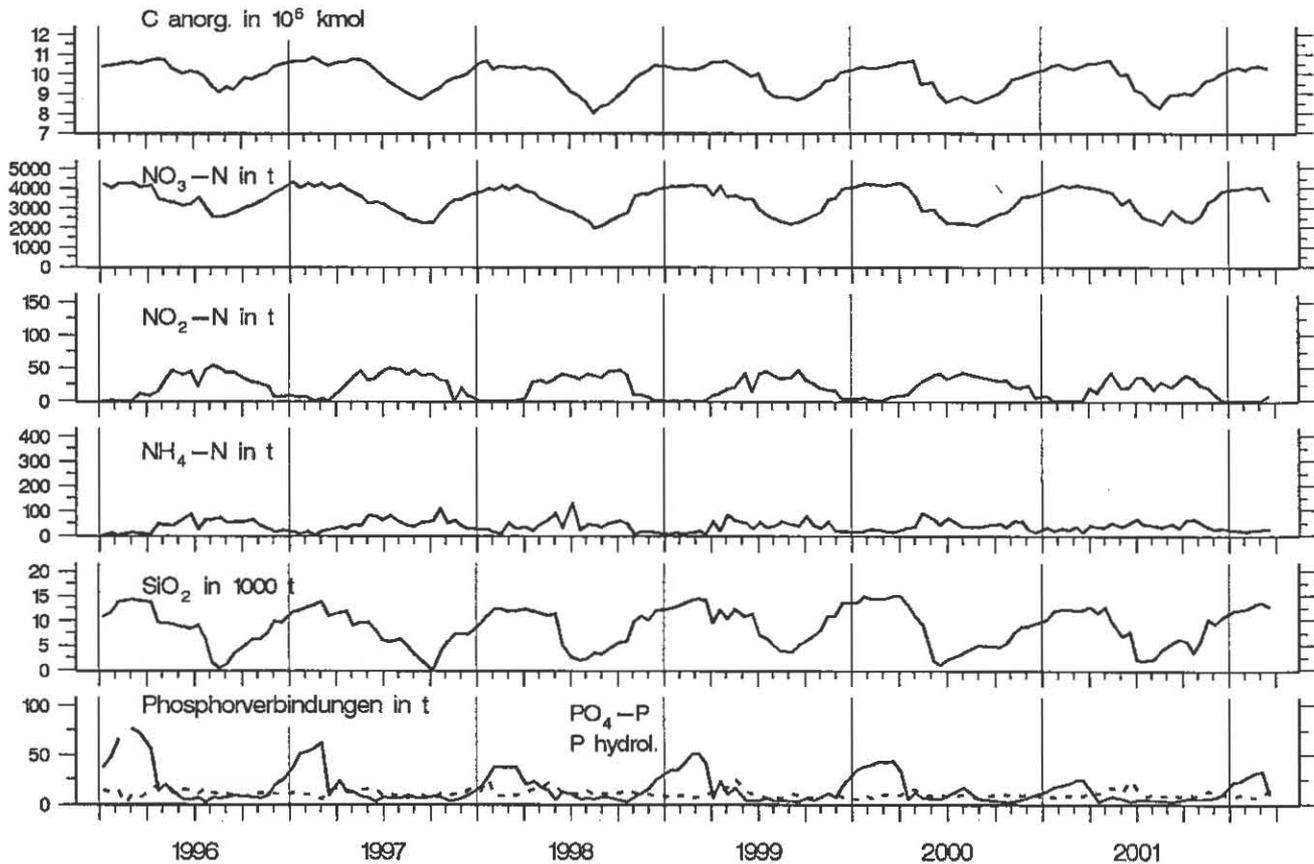


Abb. 23: Bodensee – Obersee, Fischbach–Uttwil:
Nährstoffinhalt (Phosphor, Stickstoff, Silikat,
anorg. Kohlenstoff) im Epilimnion 0–10 m Tiefe

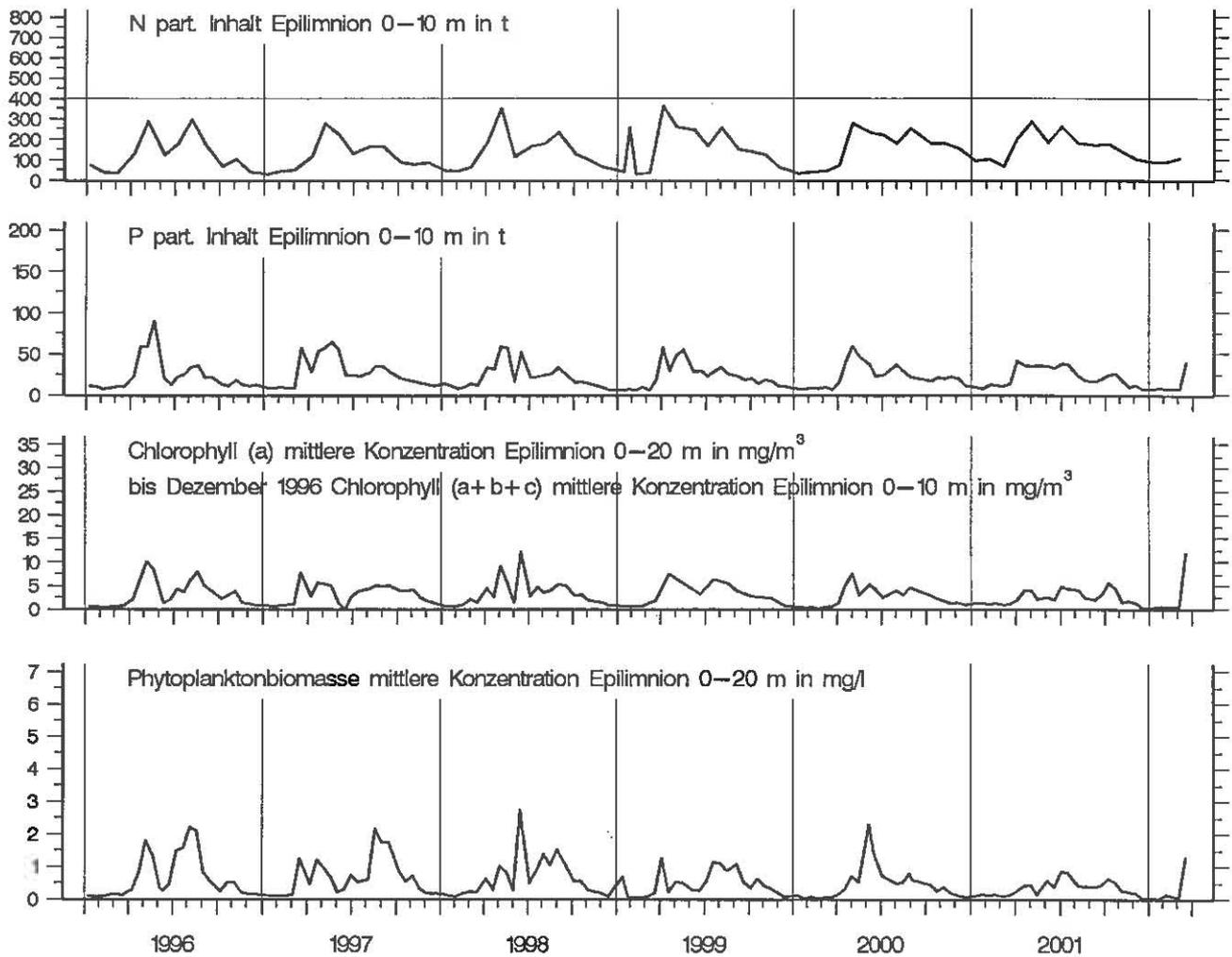


Abb. 24: Bodensee – Obersee, Fischbach–Uttwil:
Chemische Biomasseindikatoren und Phytoplanktonbiomasse

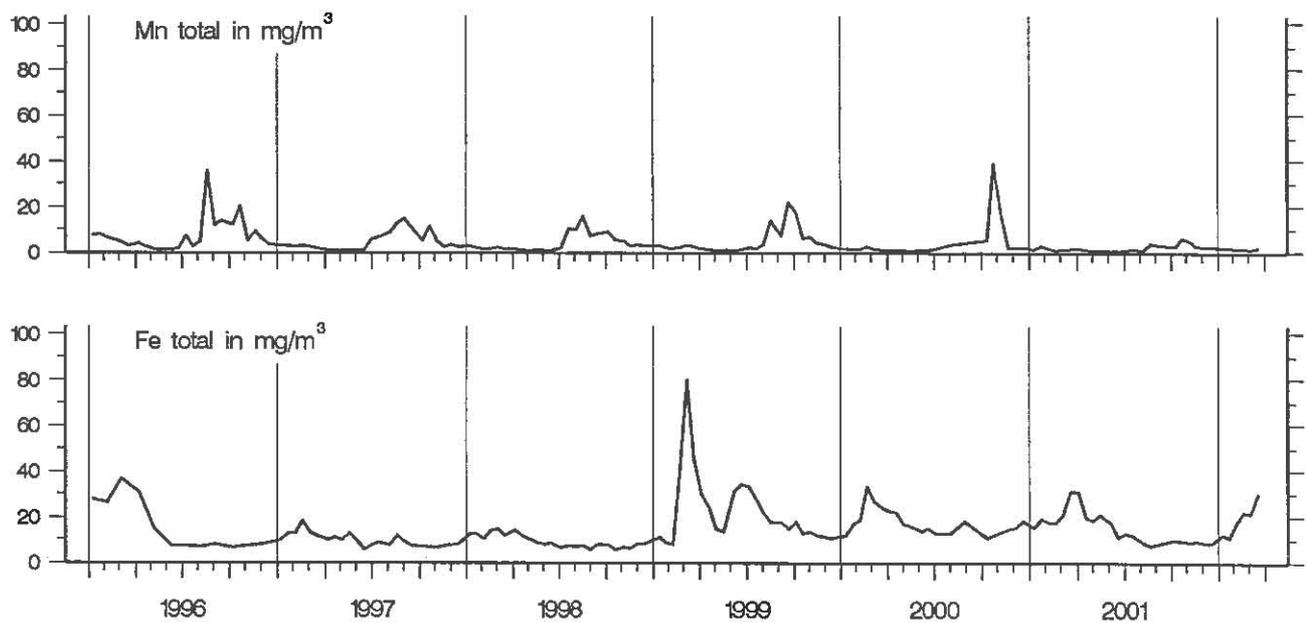


Abb. 25: Bodensee – Obersee, Fischbach–Uttwil:
Konzentration von Eisen total und Mangan total in 250 m Tiefe

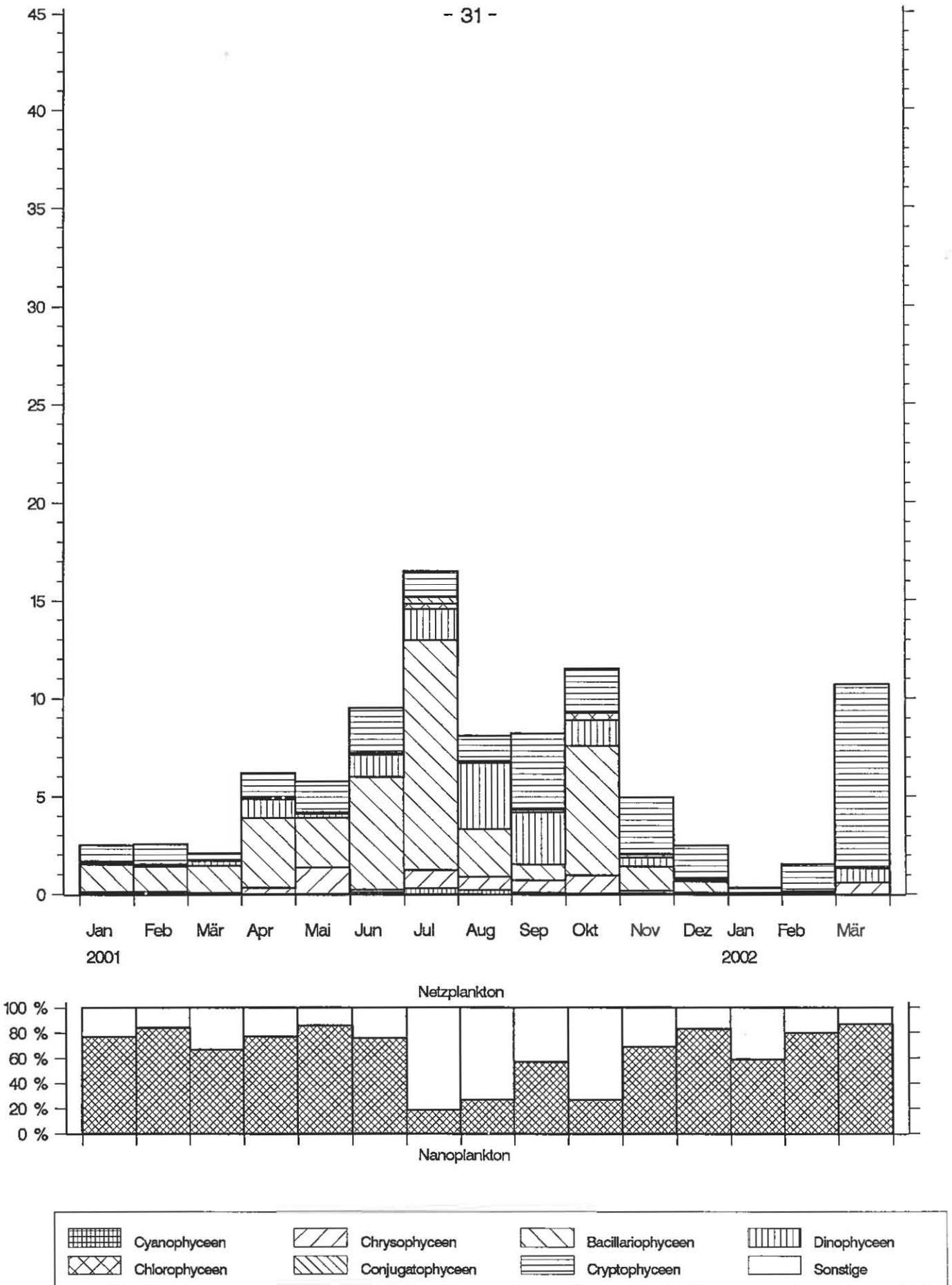


Abb. 26: Bodensee – Obersee, Fischbach–Uttwil:
 Entwicklung des Phytoplanktons
 Biomasse in g/m² (0–20 m Tiefe), Monatsmittelwerte

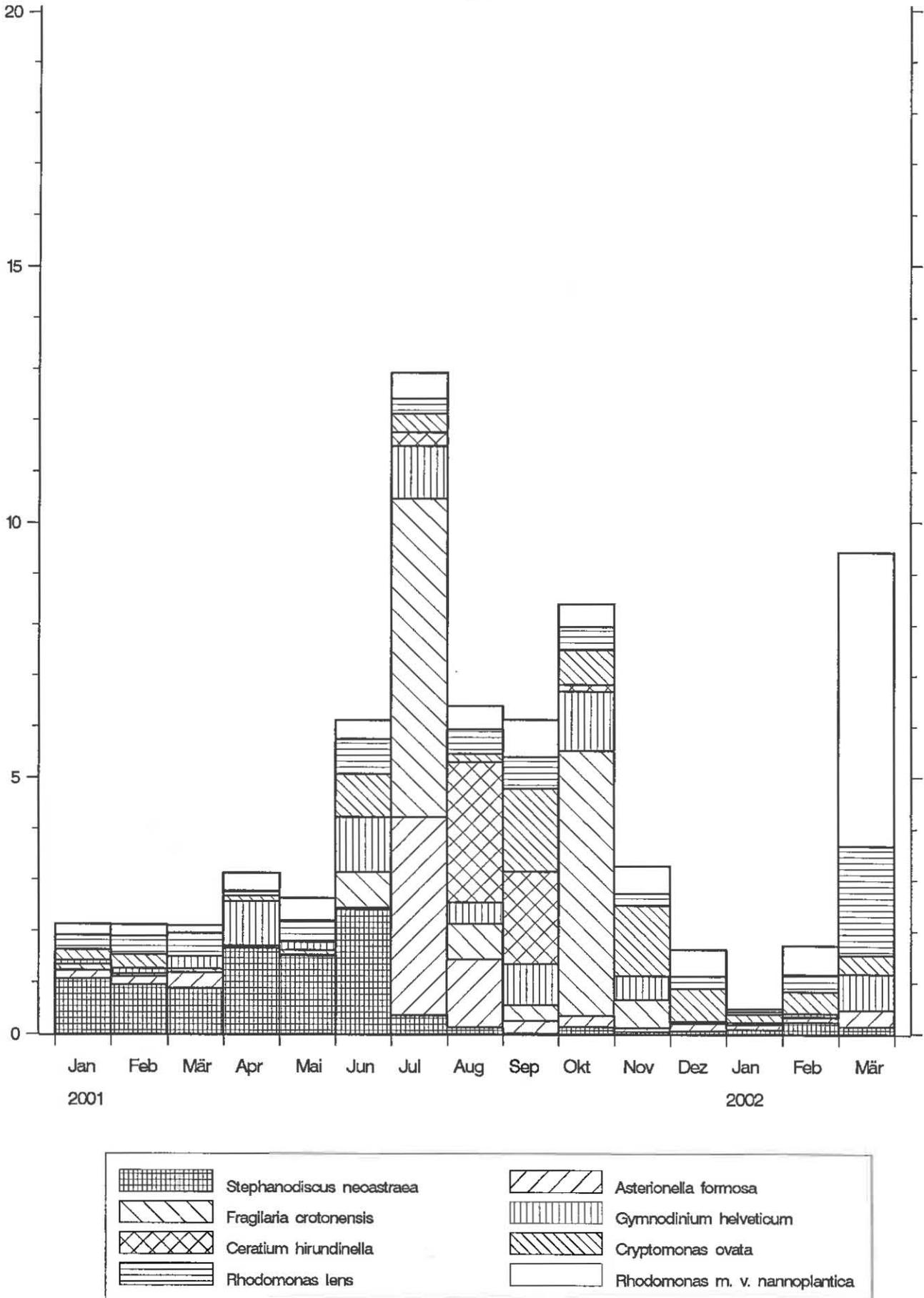


Abb. 27: Bodensee – Obersee, Fischbach–Uttwil:
Entwicklung des Phytoplanktons
Biomasse der Hauptarten in g/m² (0–20 m Tiefe), Monatsmittelwerte

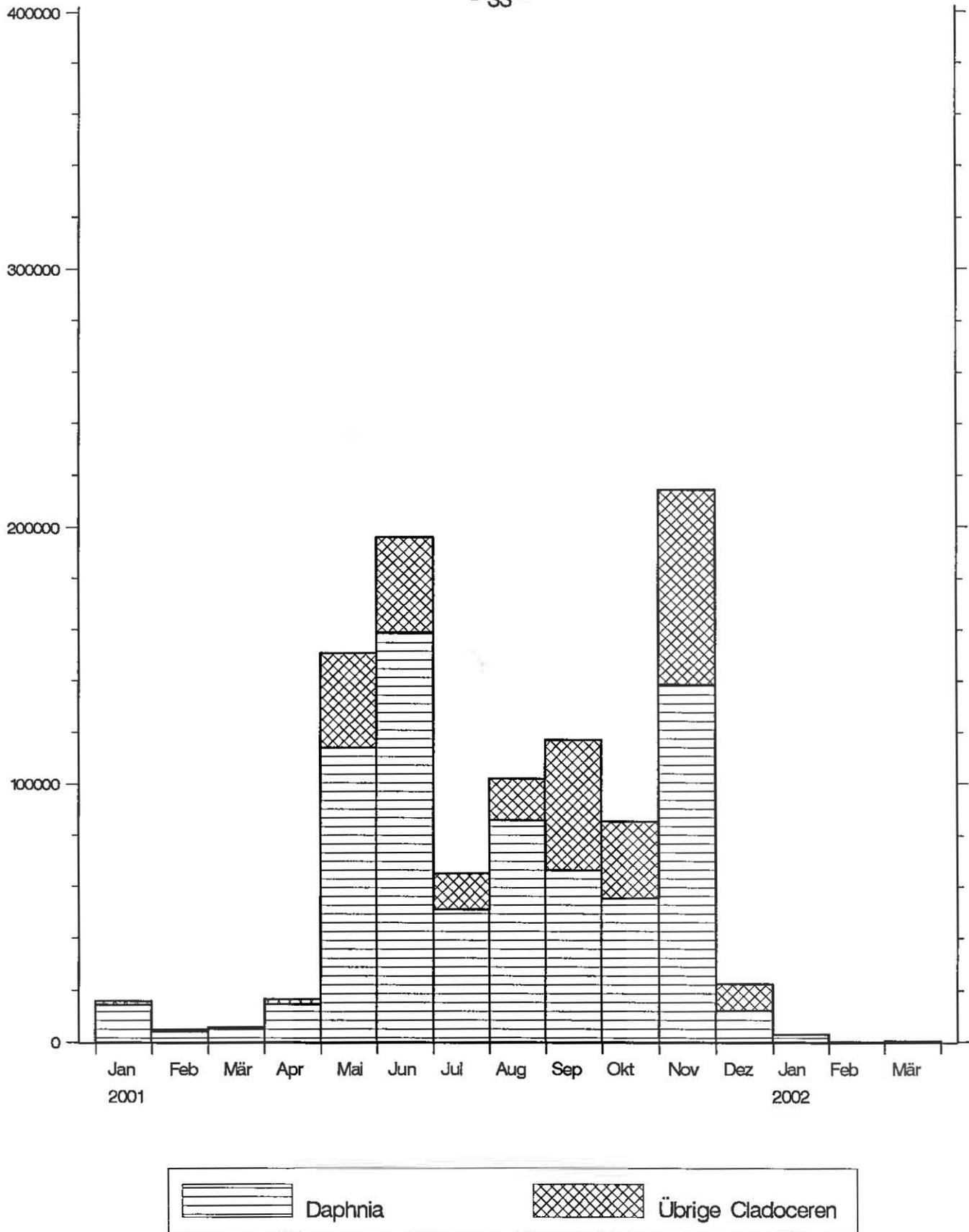
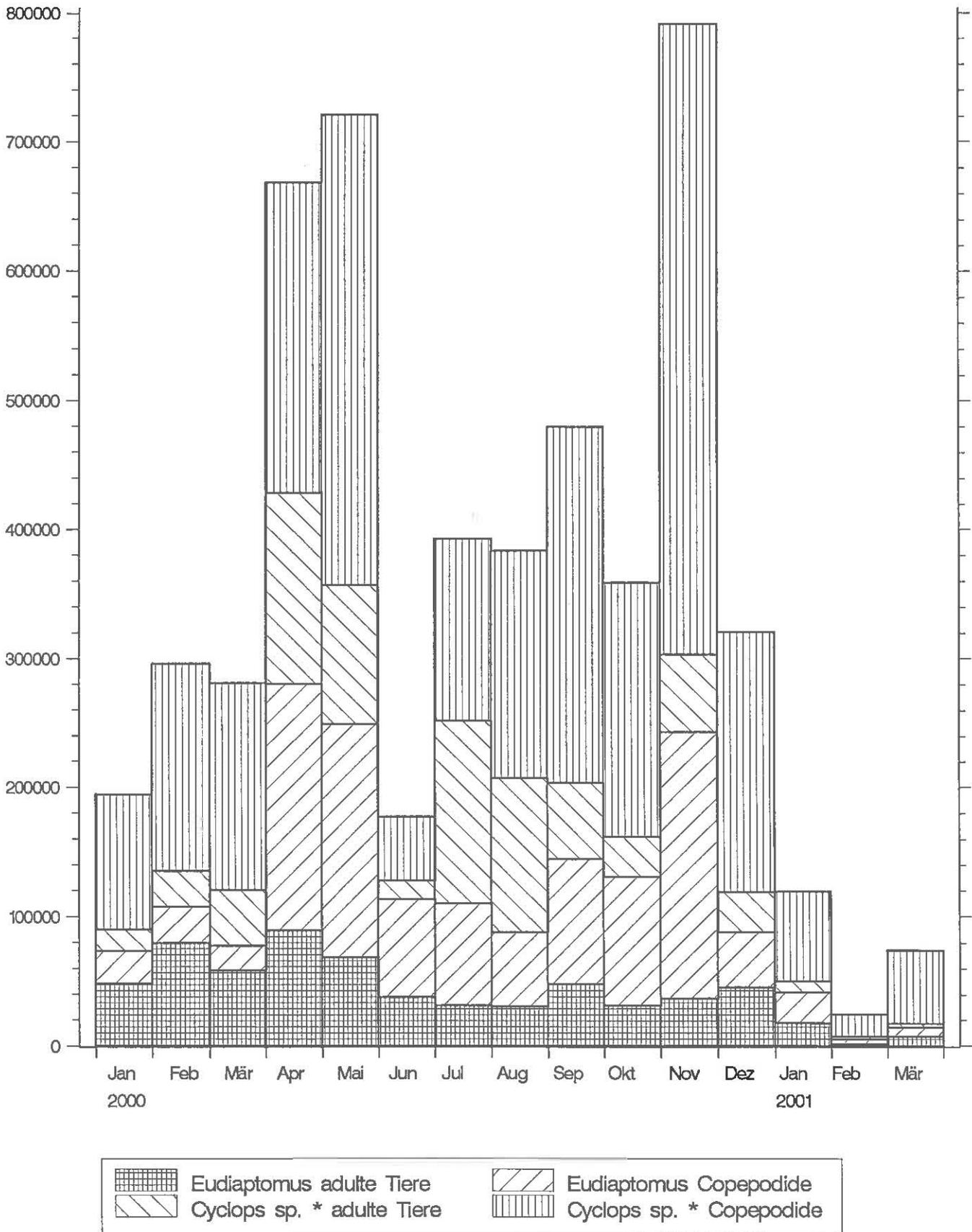


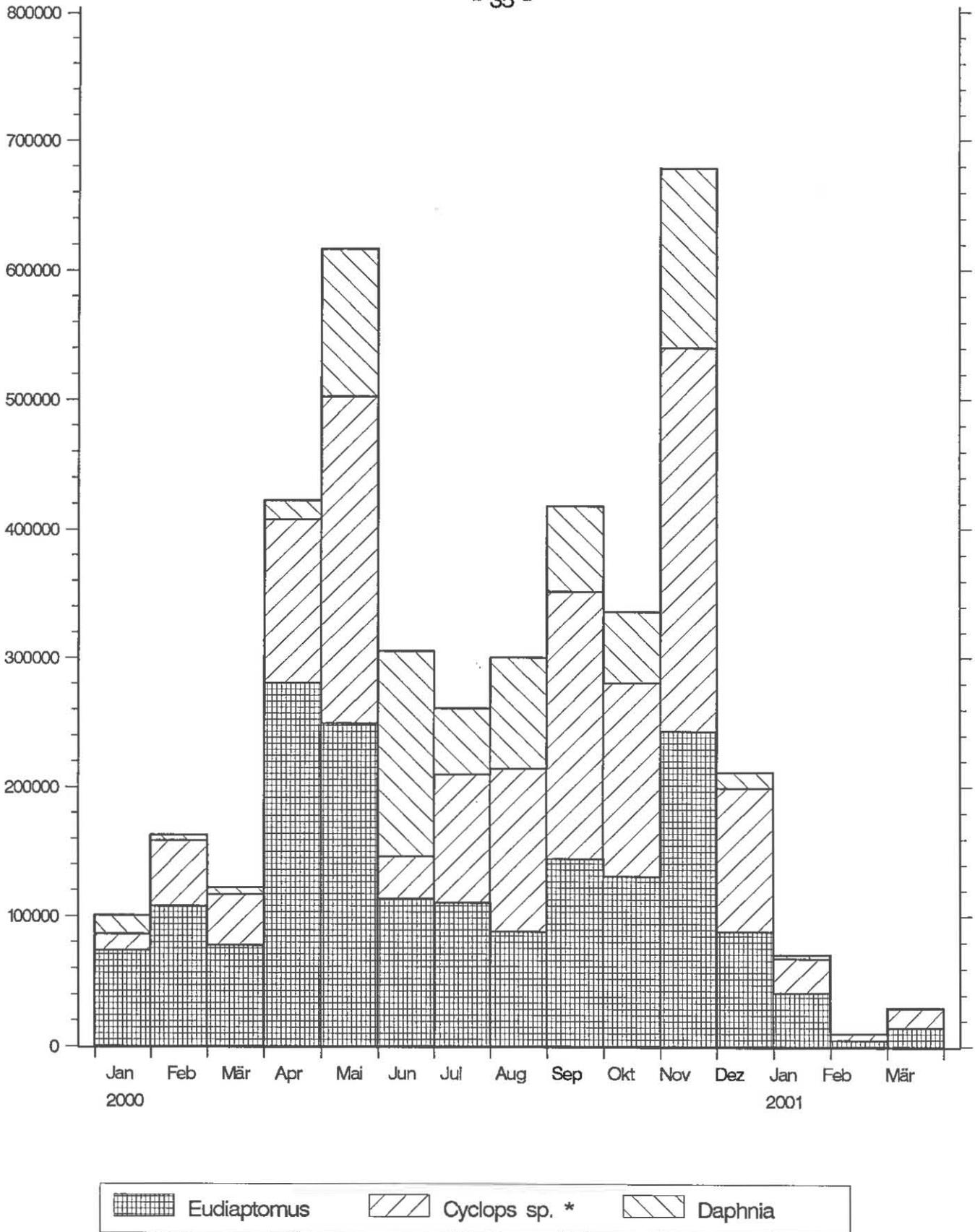
Abb. 28: Bodensee — Obersee, Fischbach—Uttwil:
Entwicklung der Cladoceren
Tiere/m², Monatsmittelwerte



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

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

Entwicklung der Copepoden, adulte Tiere und Copepodide,
Tiere/m², Monatsmittelwerte



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

Abb. 30: Bodensee — Obersee, Fischbach—Uttwil:
Entwicklung der herbivor lebenden Crustaceen,
Tiere/m², Monatsmittelwerte

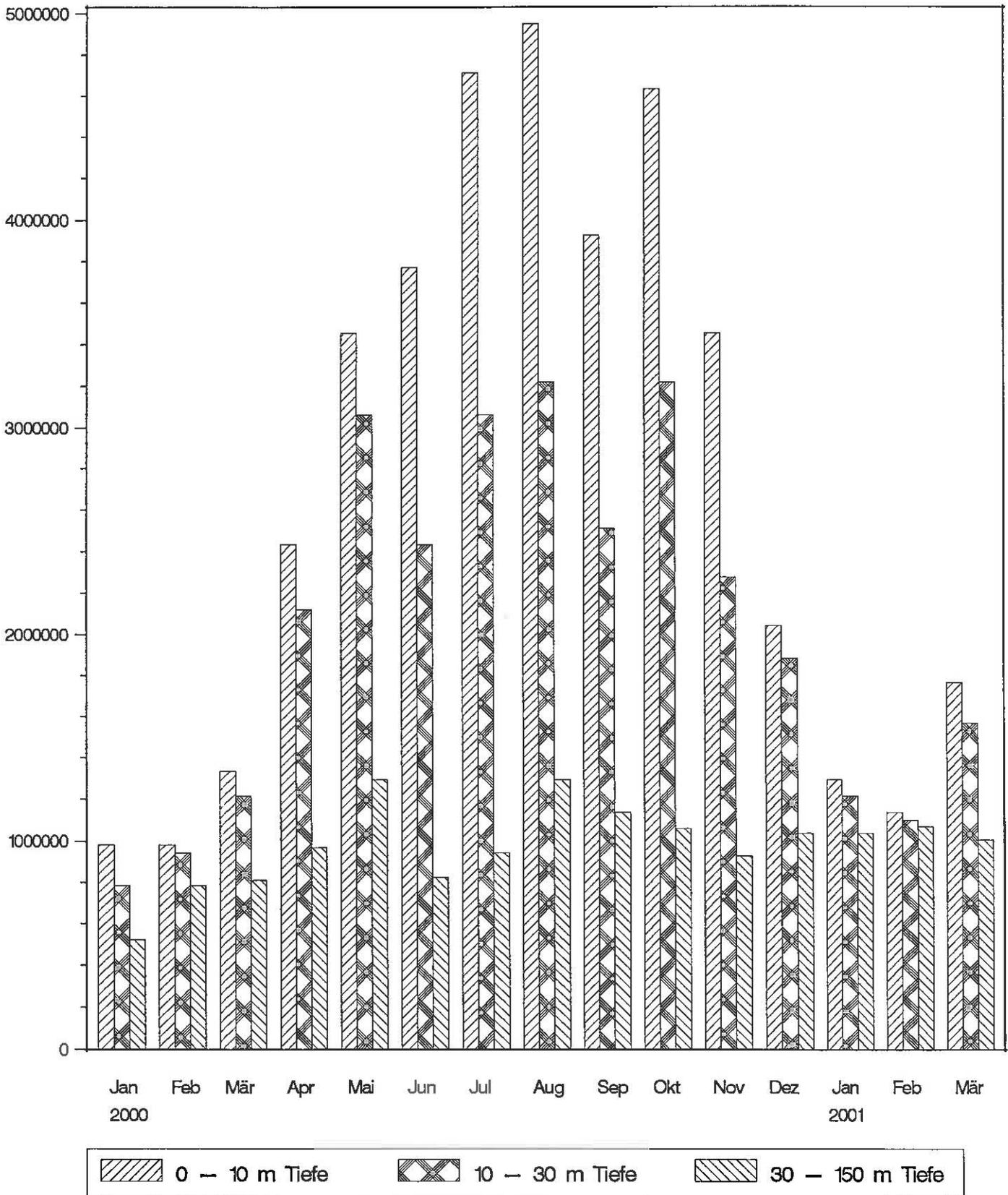


Abb. 31: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
Entwicklung des Bakterienplanktons,
Gesamtkeimzahlen (Bakterien/ml), Monatsmittelwerte

Untersee - Zellersee

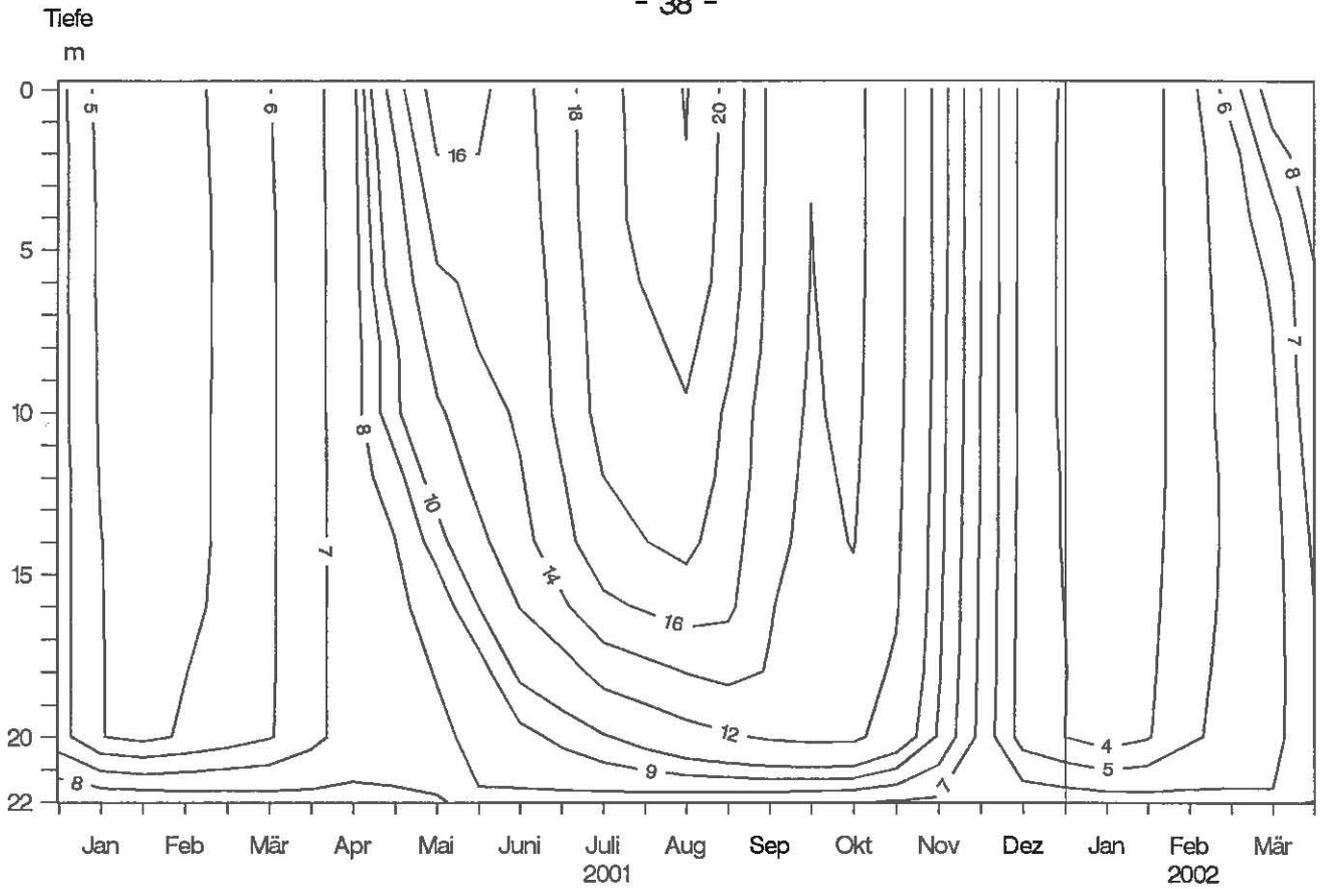


Abb. 32: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Temperatur °C

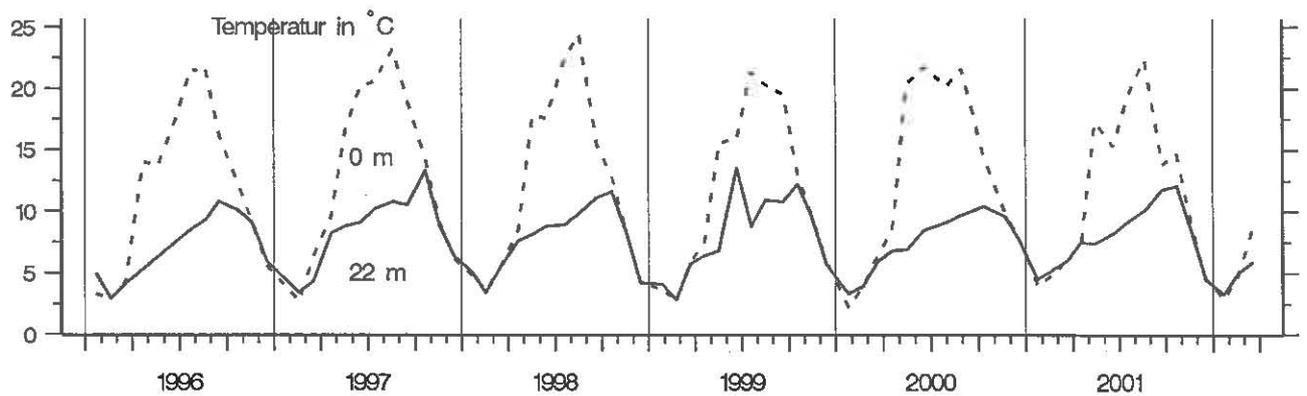
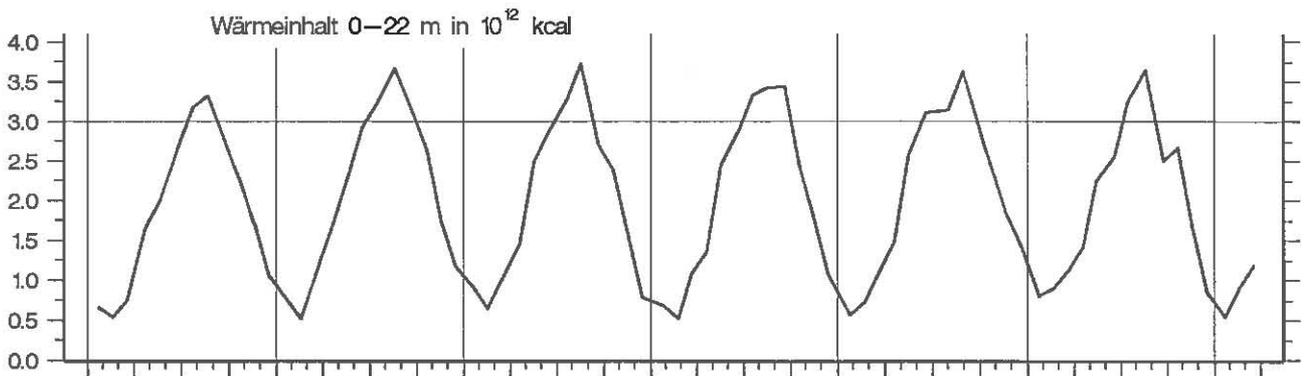


Abb. 33: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Thermik

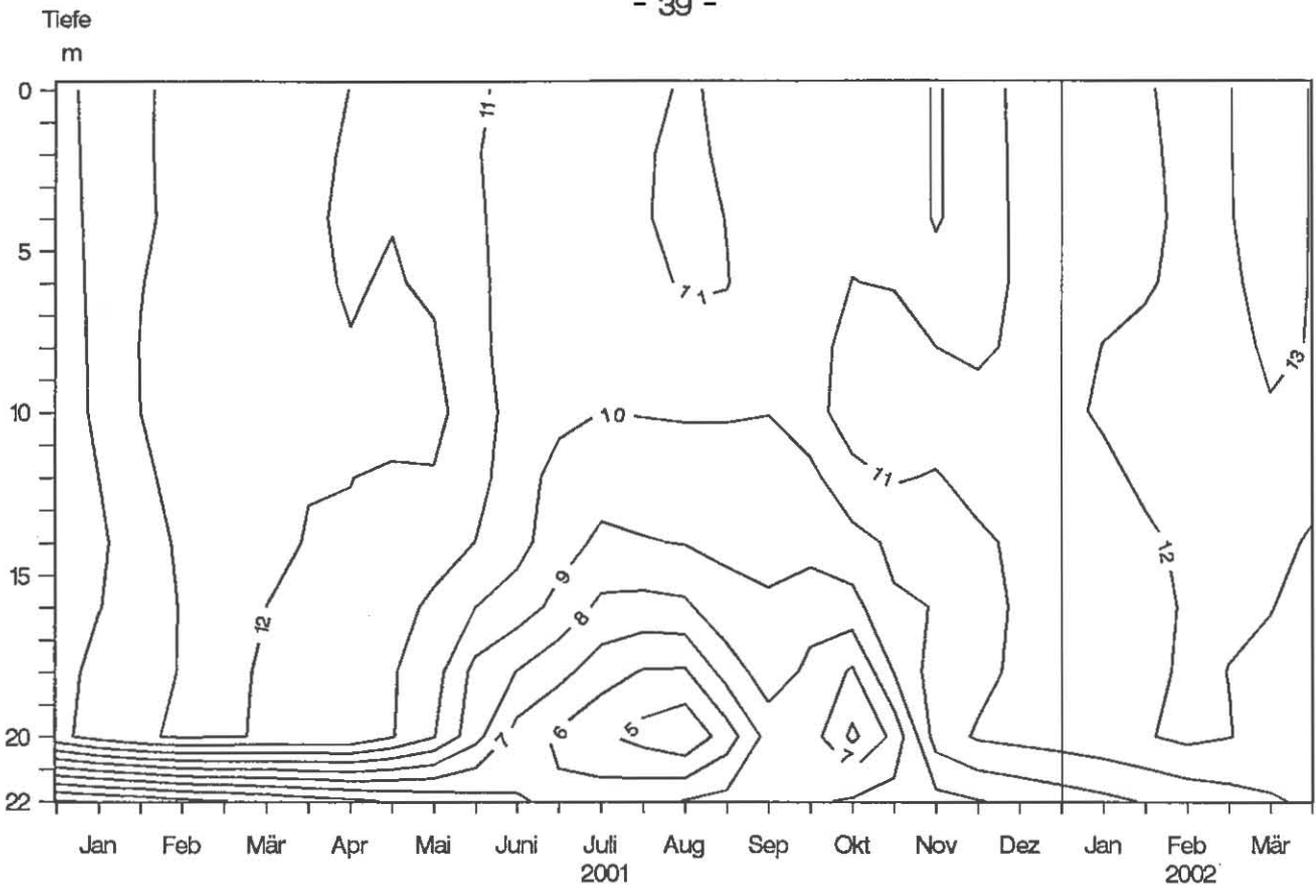


Abb. 34: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Sauerstoff (mg/l)

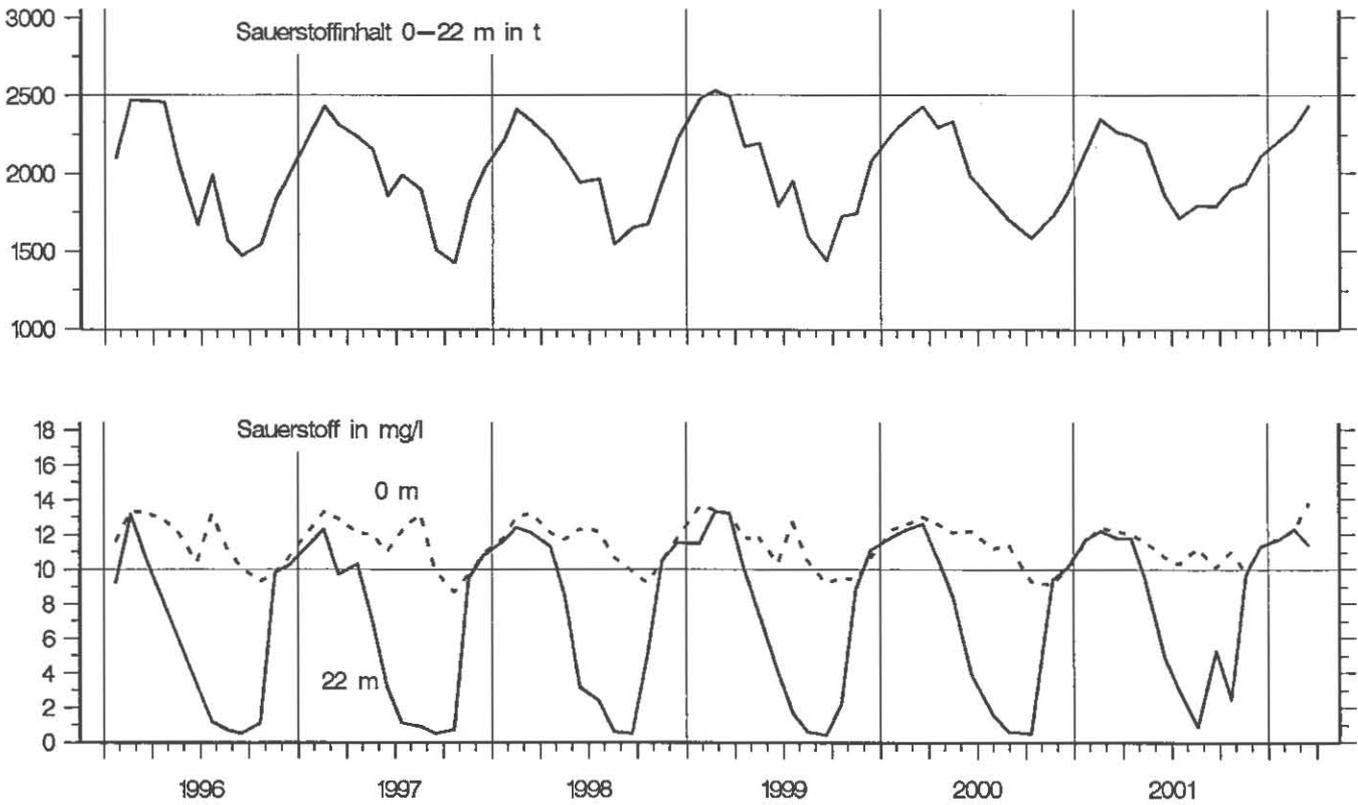


Abb. 35: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Sauerstoffinhalt 0–22 m und Sauerstoffkonzentration in 0 und 22 m Tiefe

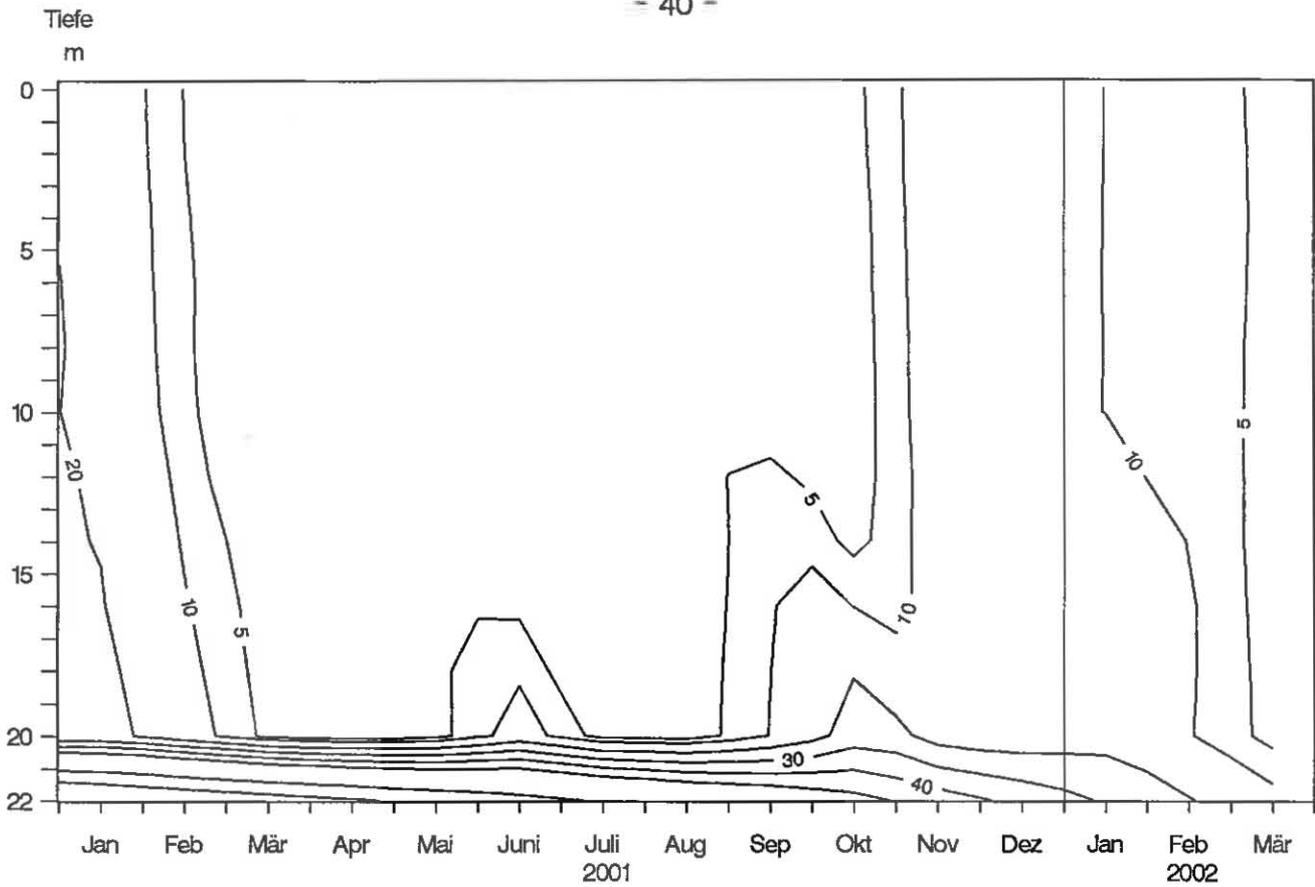


Abb. 36: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Orthophosphat – Phosphor (mg/m³)

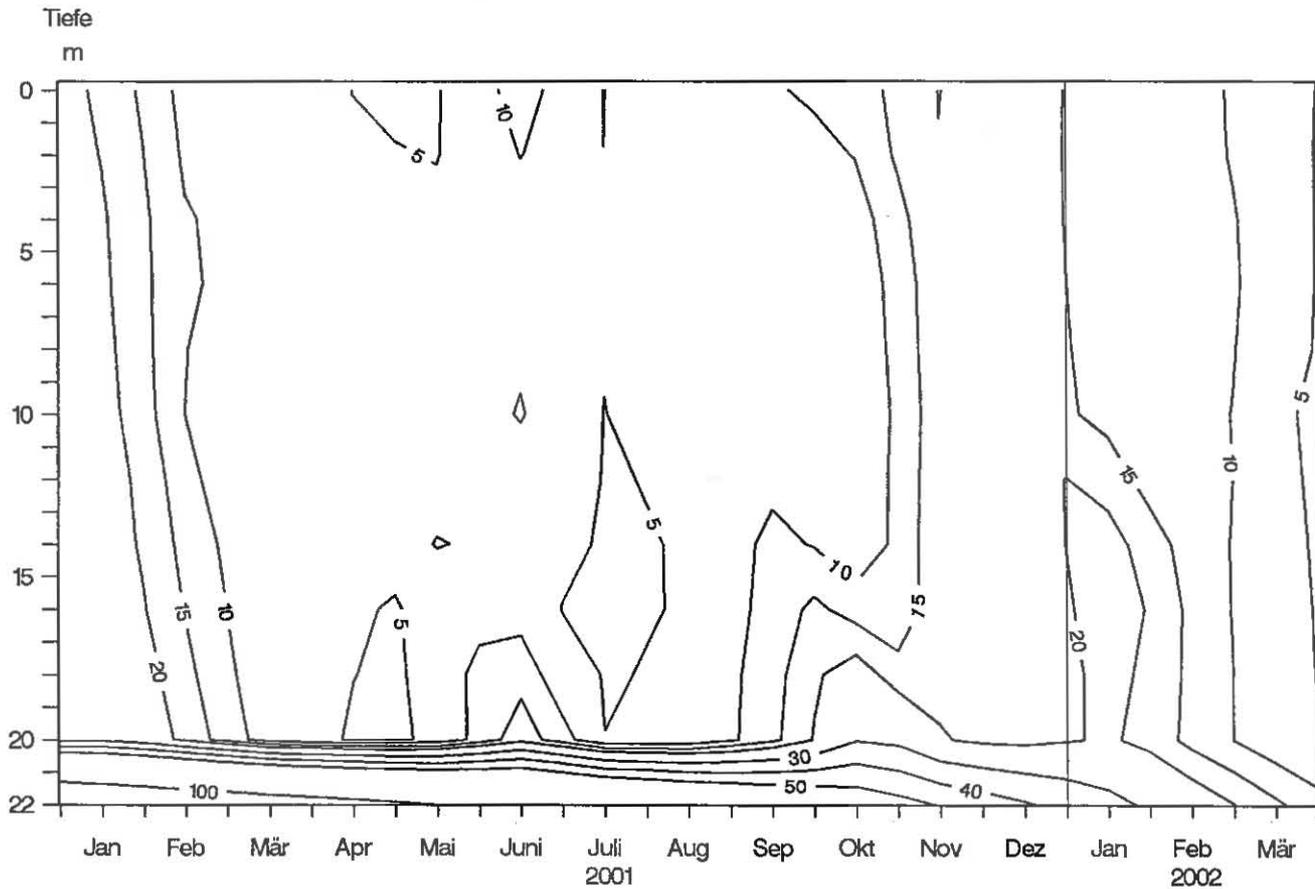


Abb. 37: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Gesamt gelöster Phosphor (mg/m³)

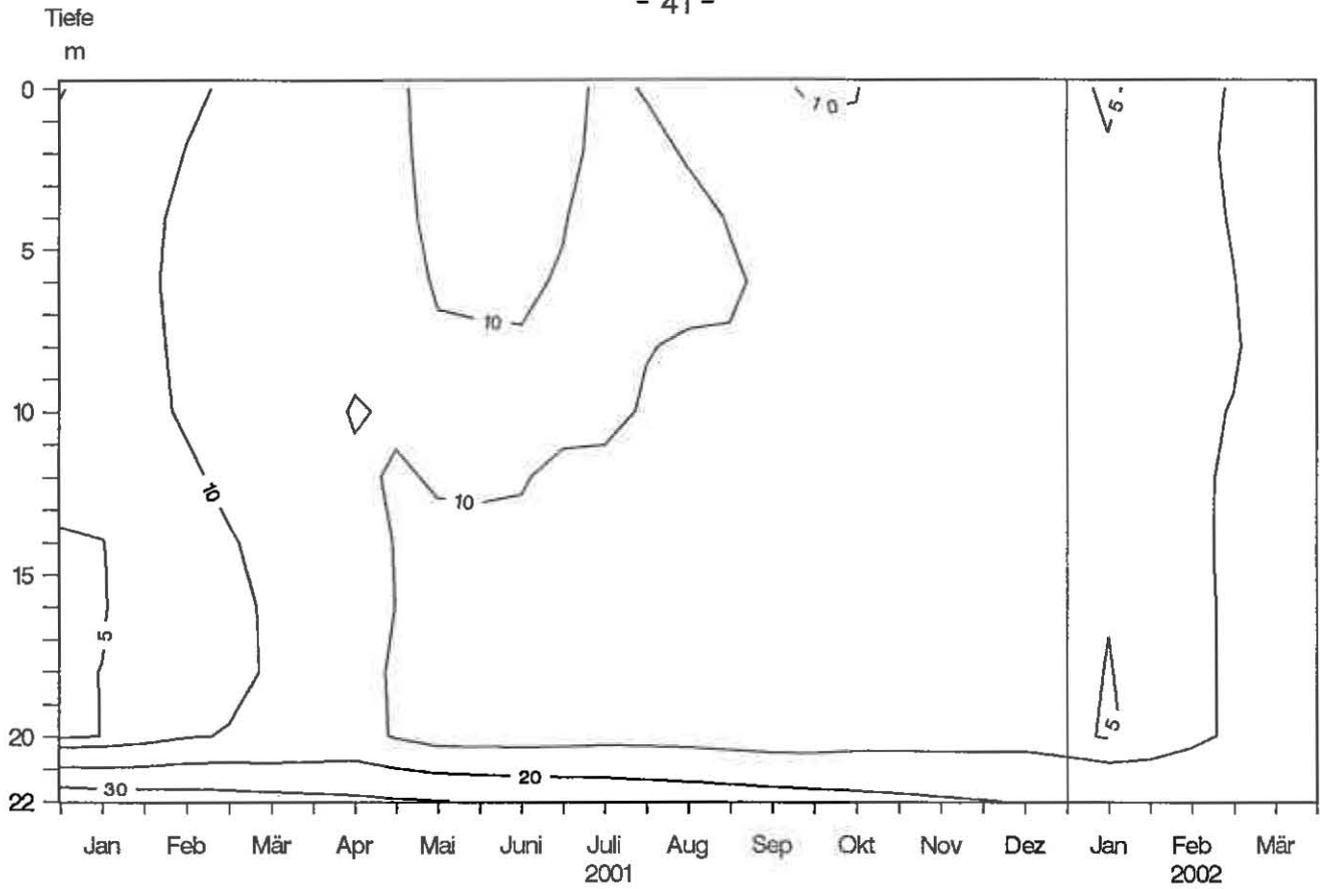


Abb. 38: Bodensee – Untersee, Zellersee:
partikulärer Phosphor (mg/m^3)

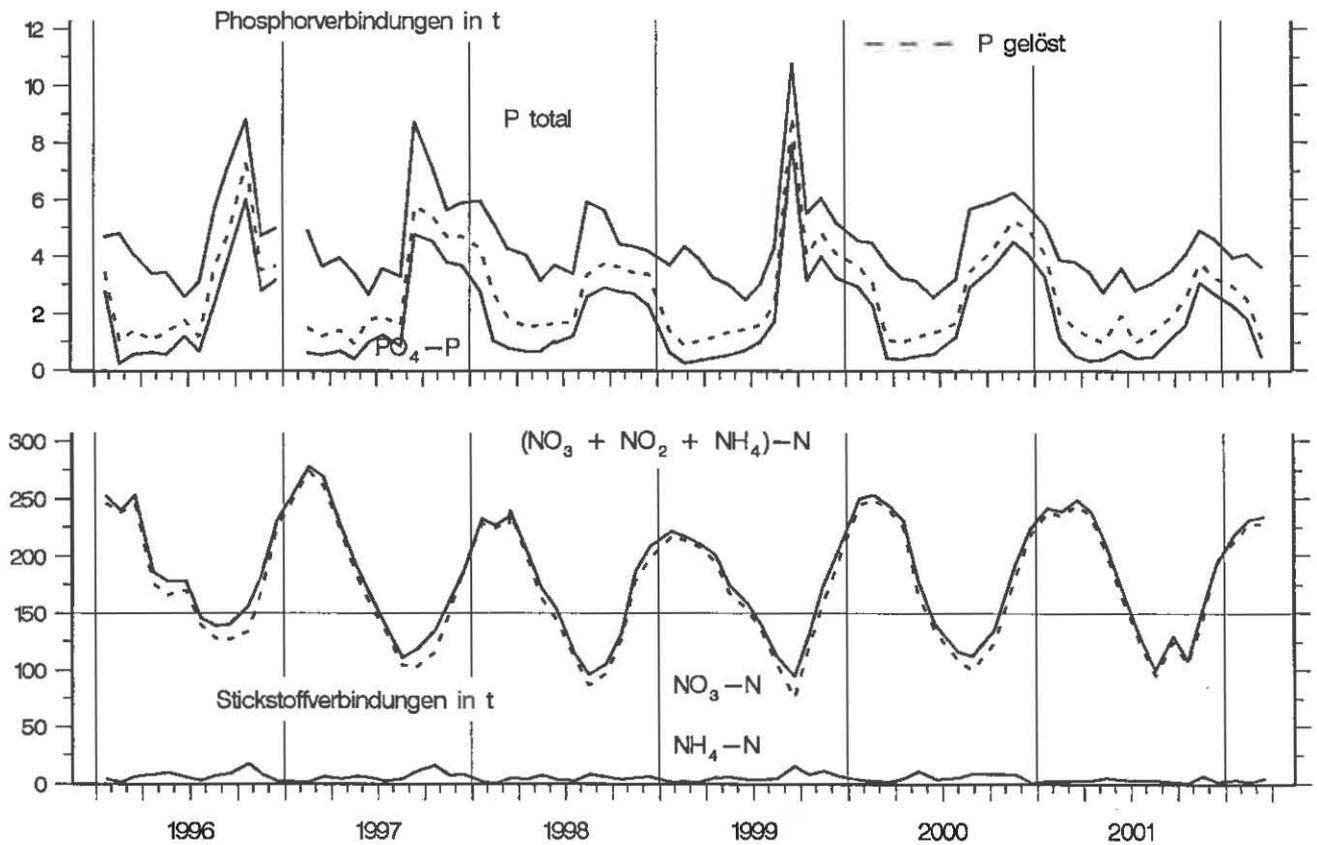


Abb. 39: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Nährstoffinhalt 0–22 m Tiefe

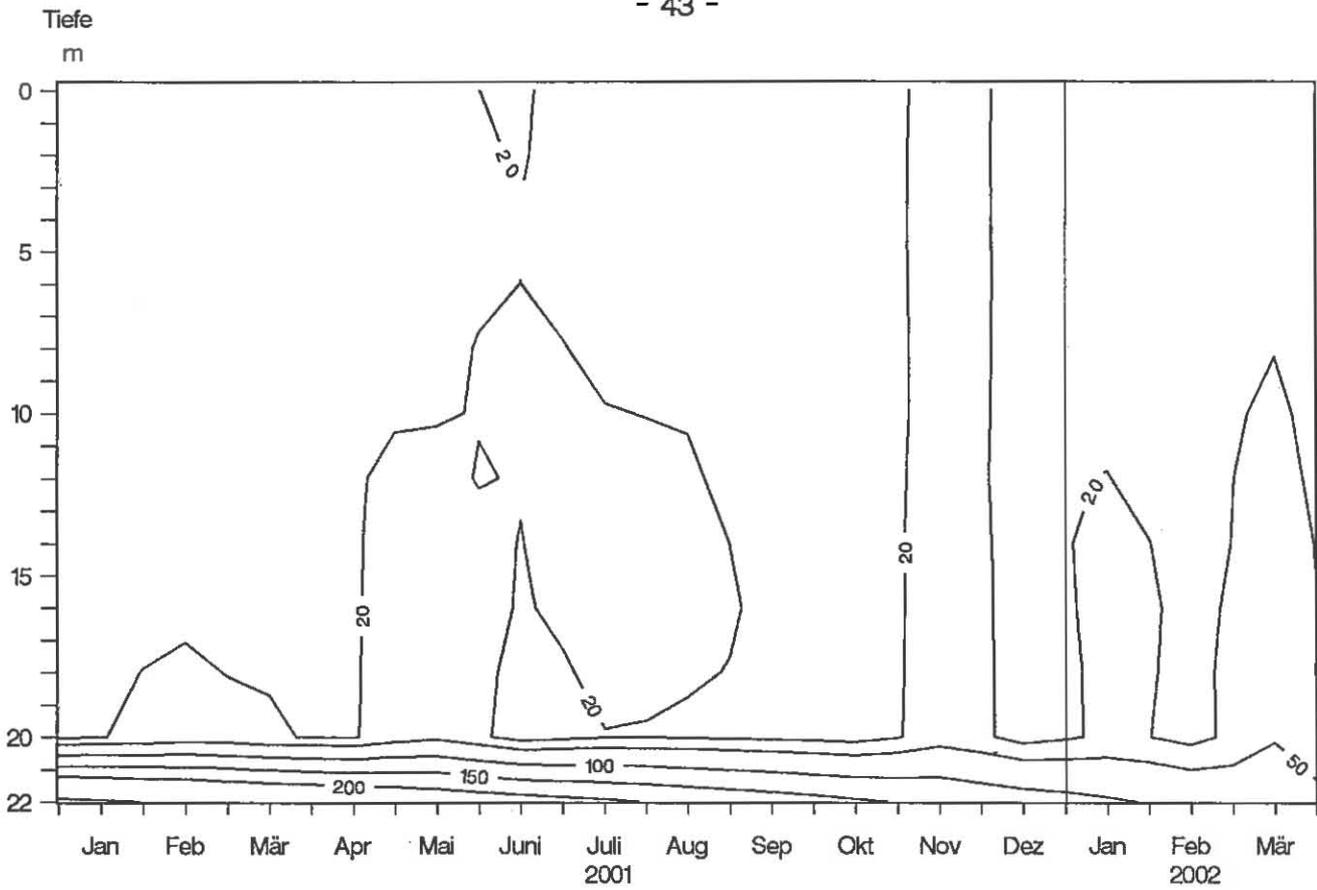


Abb. 42: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Ammonium – Stickstoff (mg/m^3)

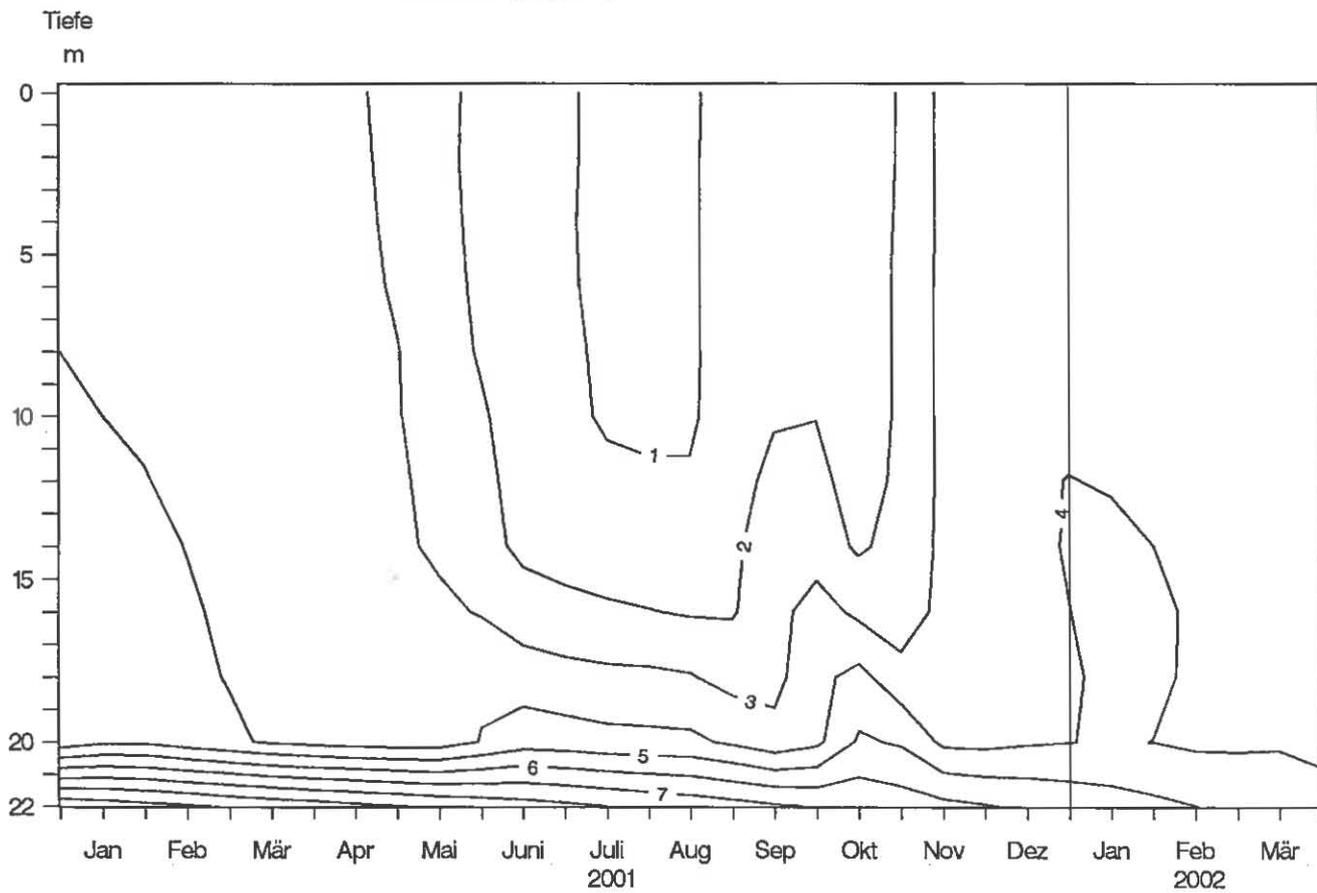


Abb. 43: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Silikat (mg/l)

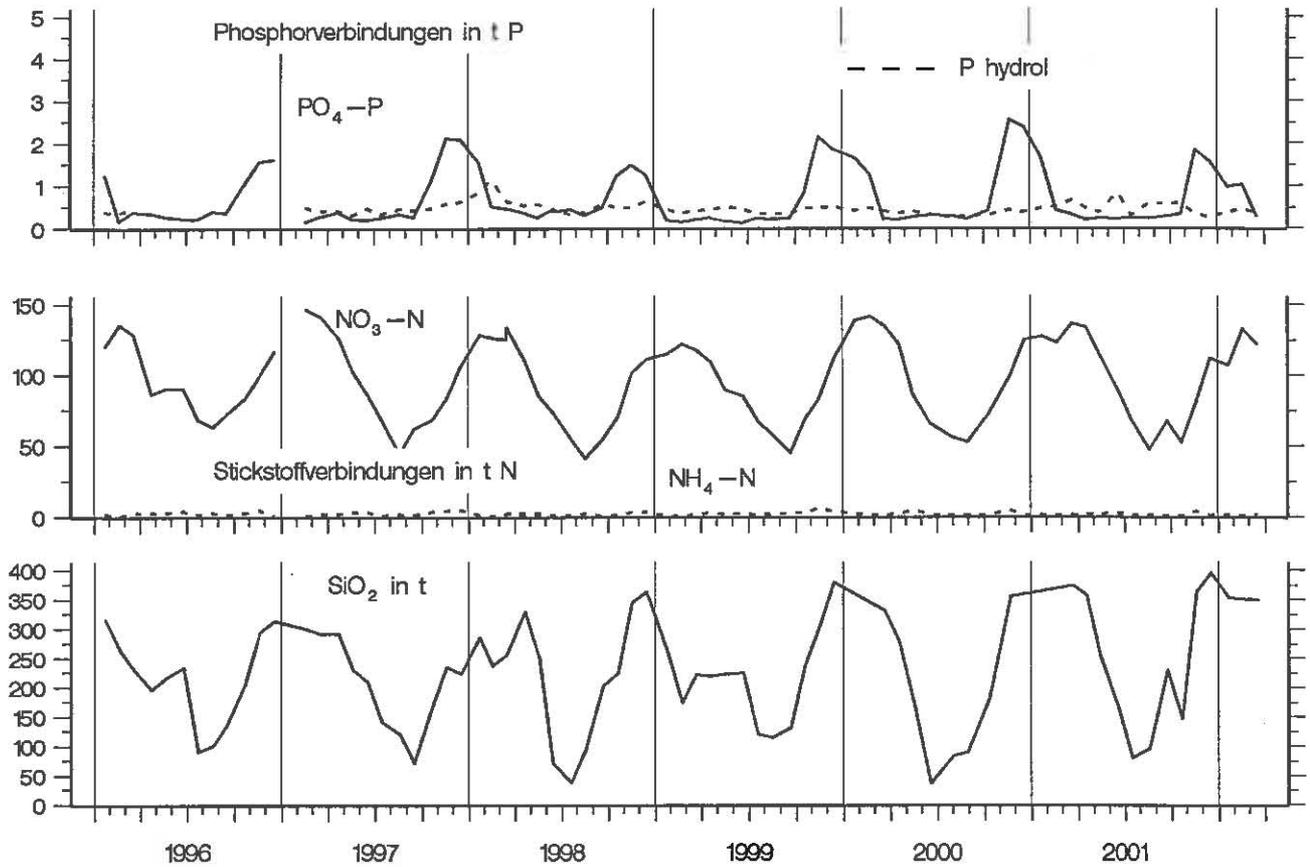


Abb. 44: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Nährstoffinhalt im Epilimnion 0–10 m Tiefe

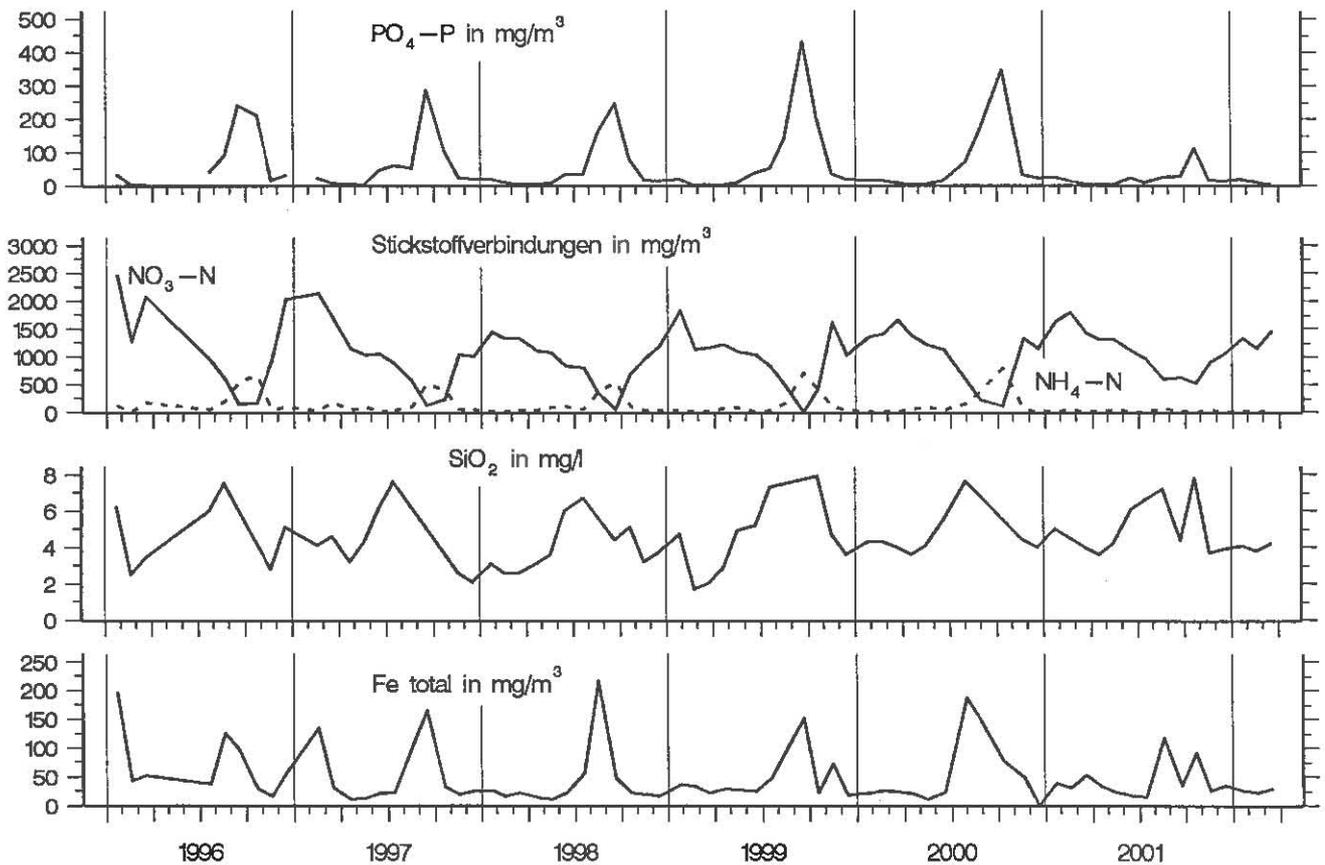


Abb. 45: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Nährstoffkonzentration in 22 m Tiefe

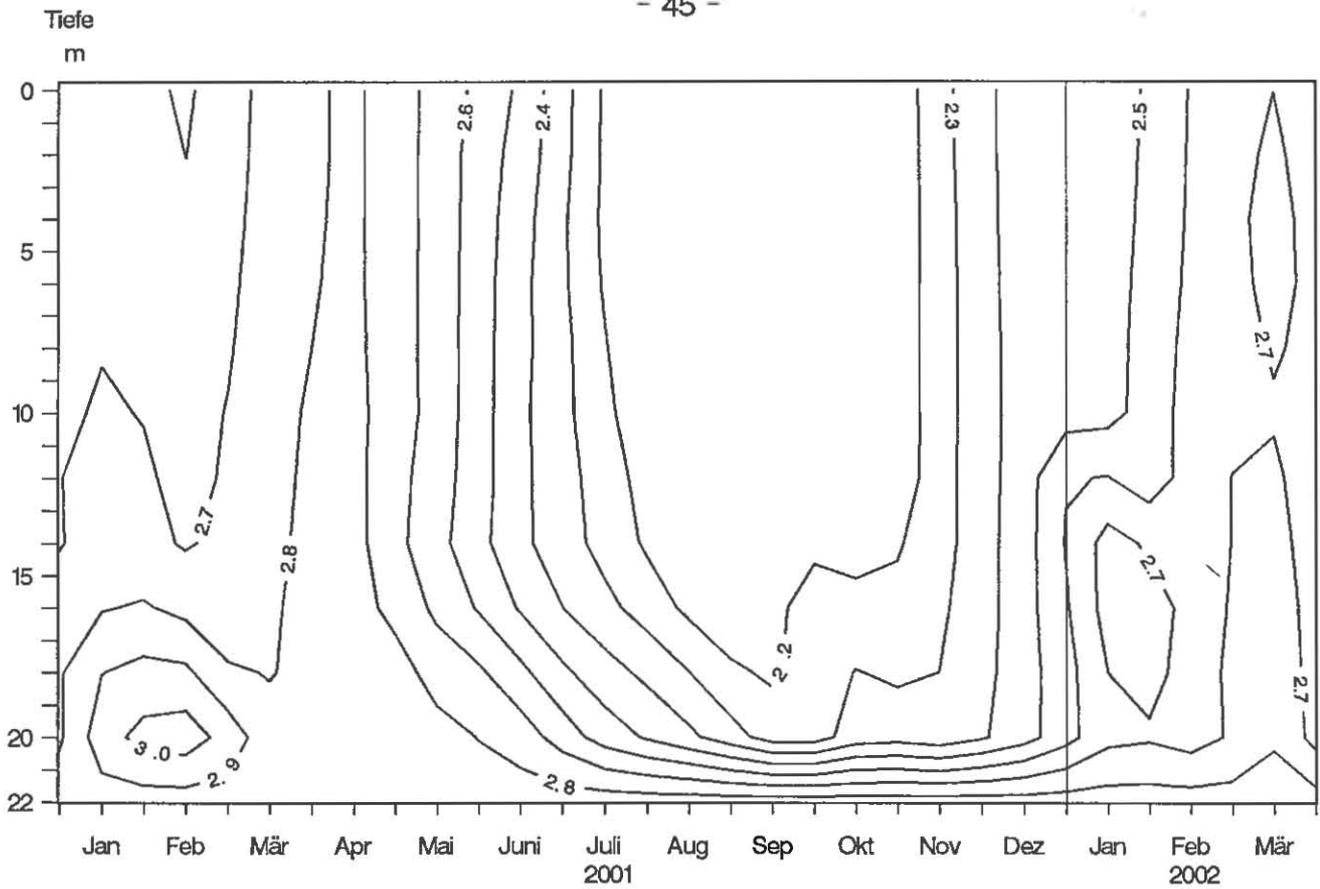


Abb. 46: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Anorganischer Kohlenstoff (mmol/l)

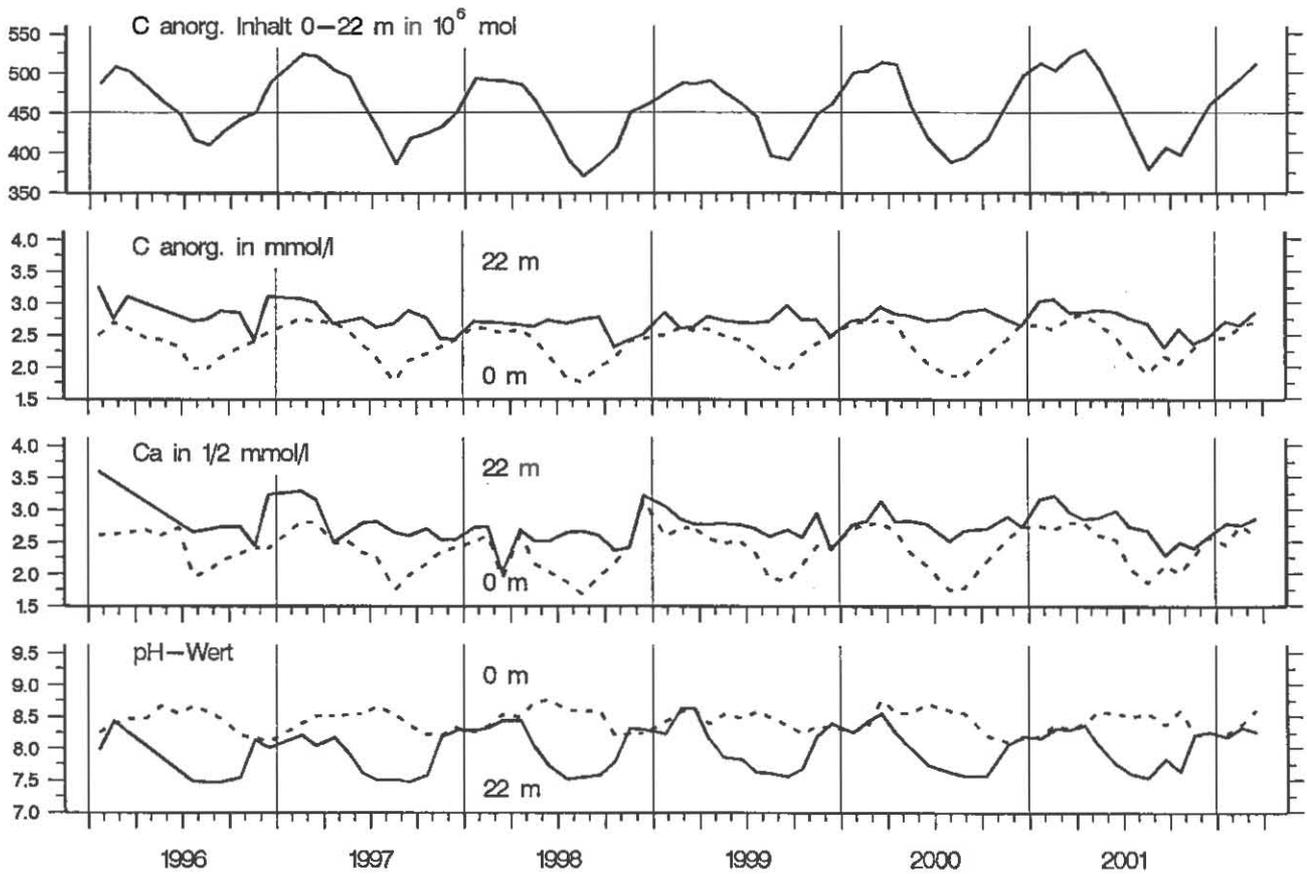


Abb. 47: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Anorganischer Kohlenstoff, Inhalt 0–22 m Tiefe
Konzentration von anorg. Kohlenstoff, Calcium; pH-Wert

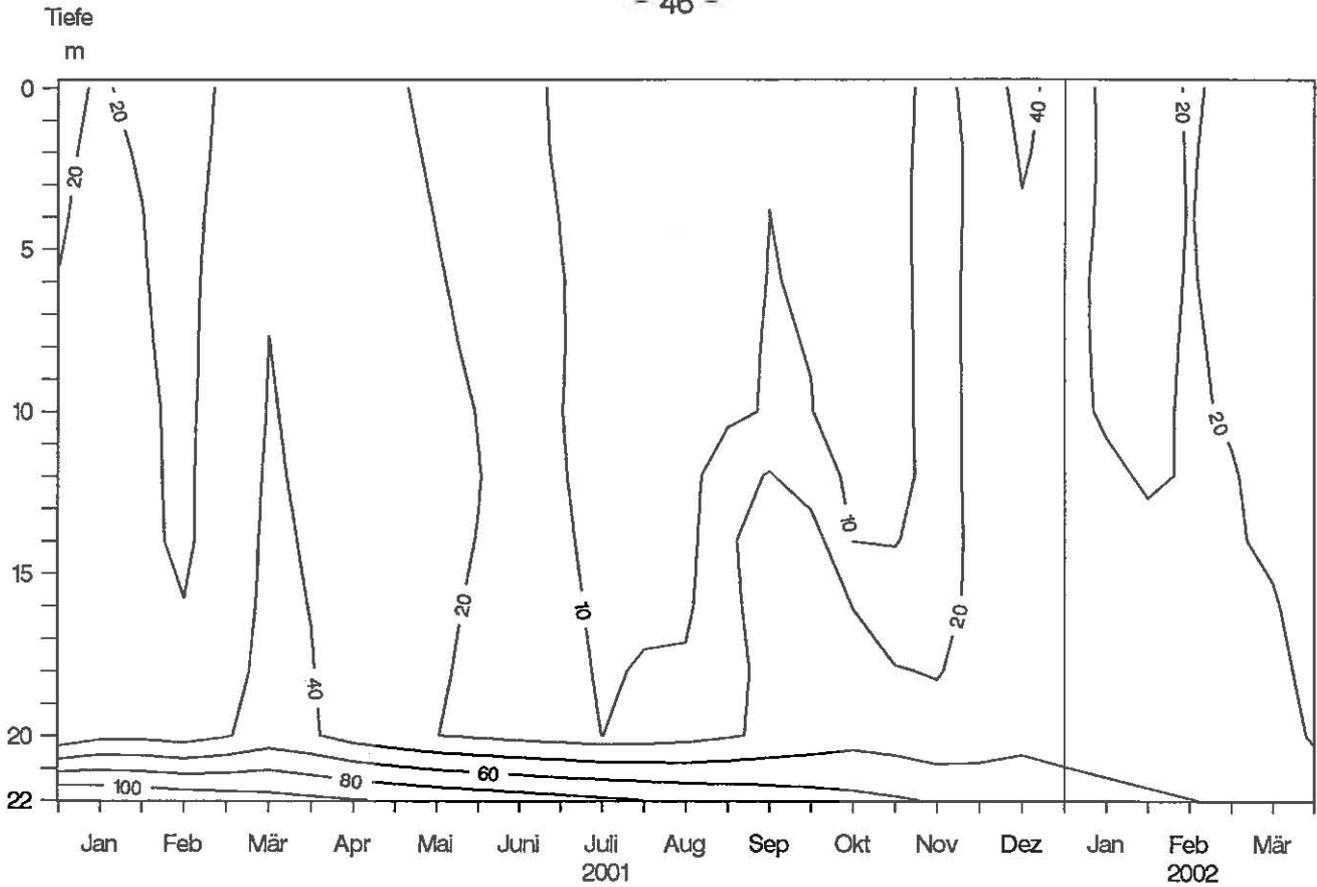


Abb. 48: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Konzentration von Eisen total (mg/m³)

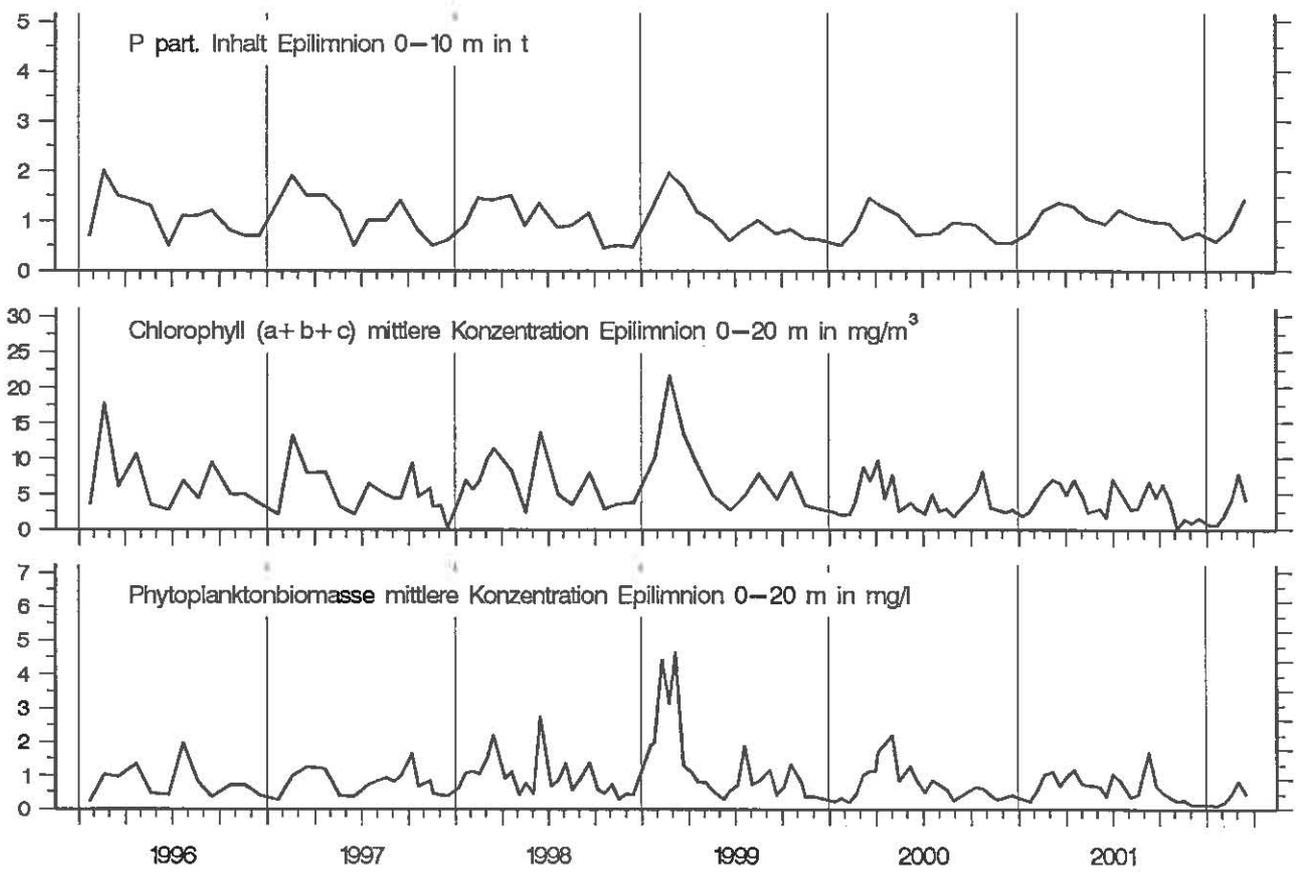


Abb. 49: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Chemische Biomasseindikatoren und Phytoplanktonbiomasse

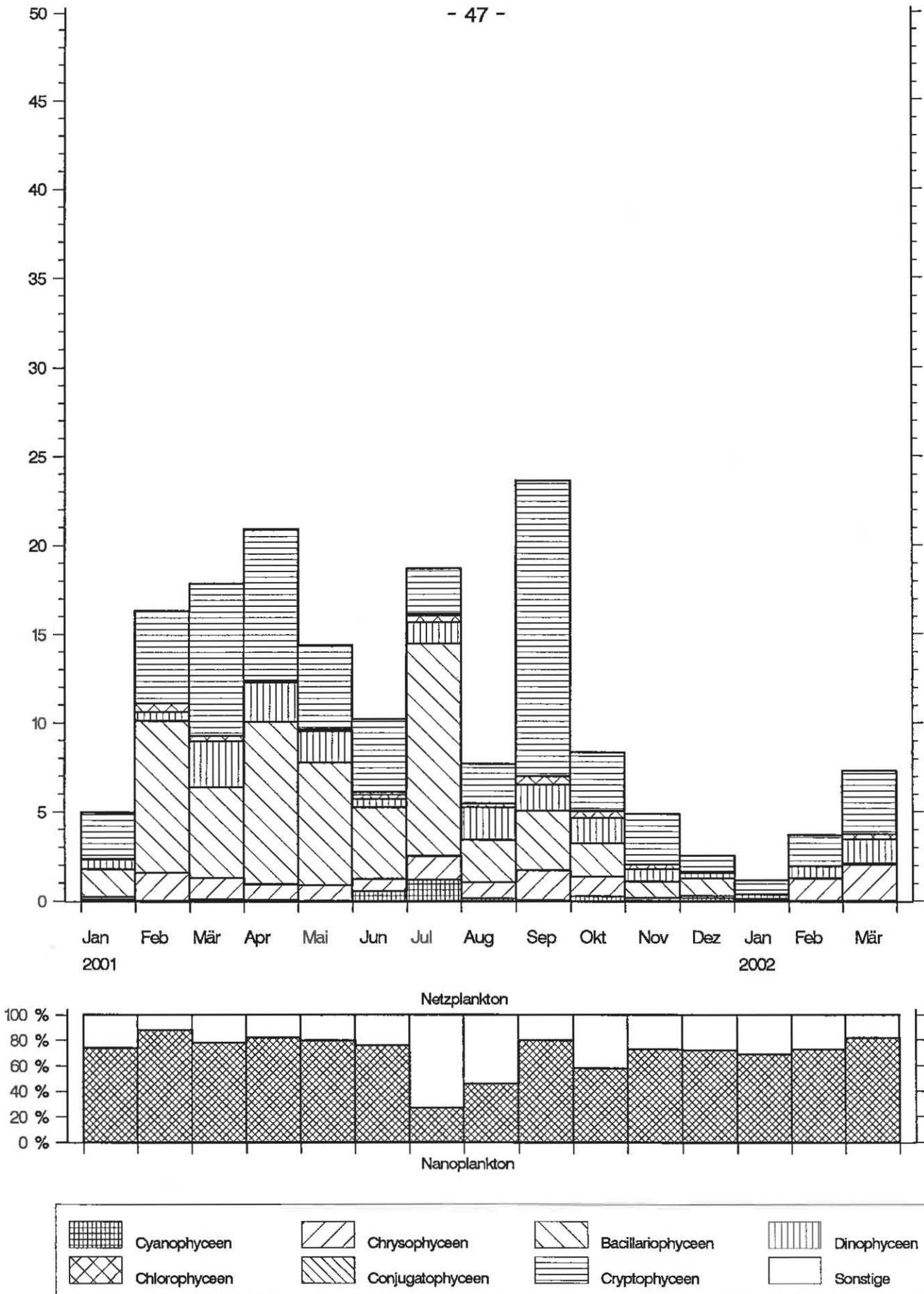


Abb. 50: Bodensee – Untersee, Zellersee:
 Entwicklung des Phytoplanktons
 Biomasse in g/m² (0–20 m Tiefe), Monatsmittelwerte

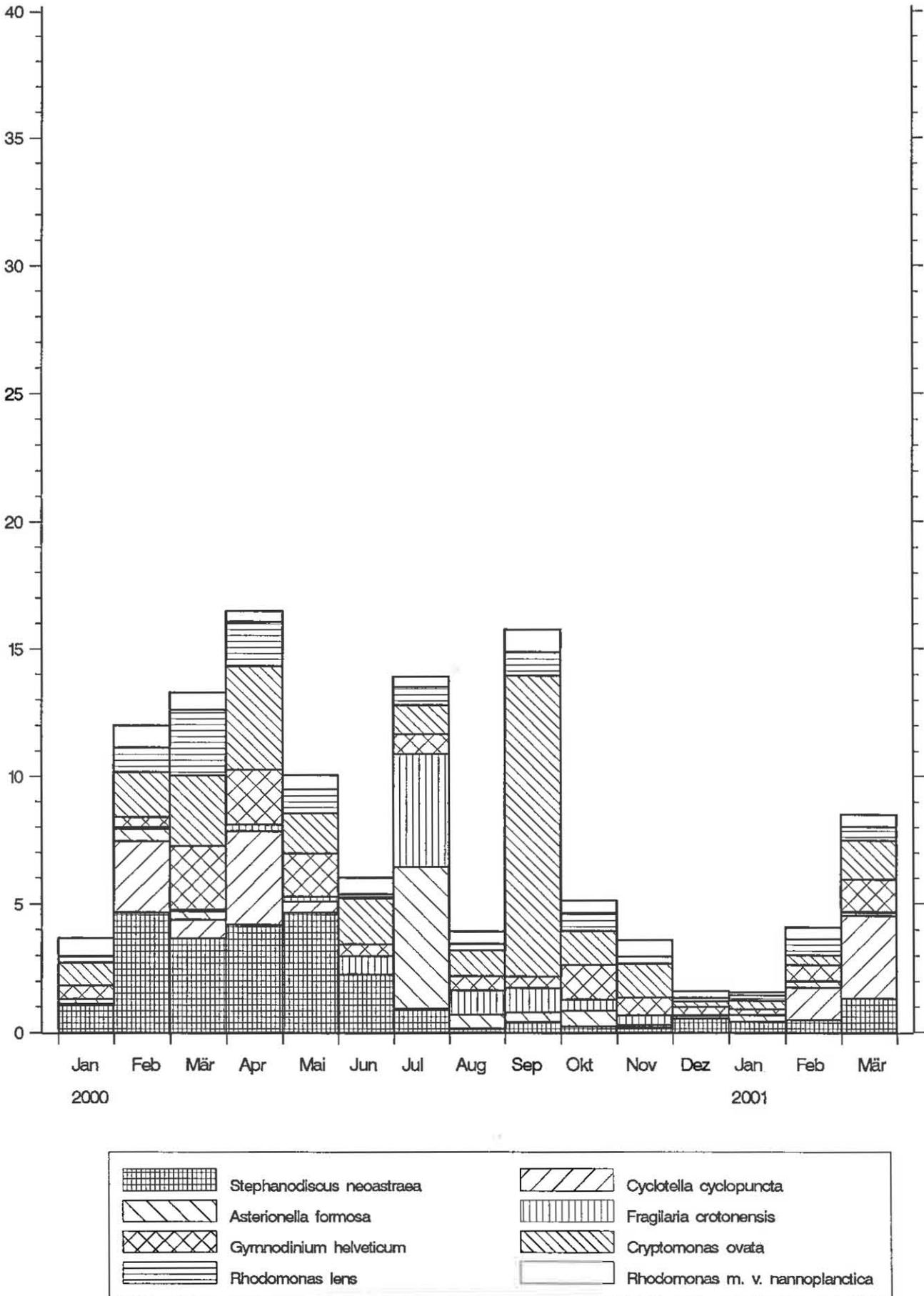


Abb. 51: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Entwicklung des Phytoplanktons
Biomasse der Hauptarten in g/m^2 (0–20 m Tiefe), Monatsmittelwerte

Untersee - Rheinsee

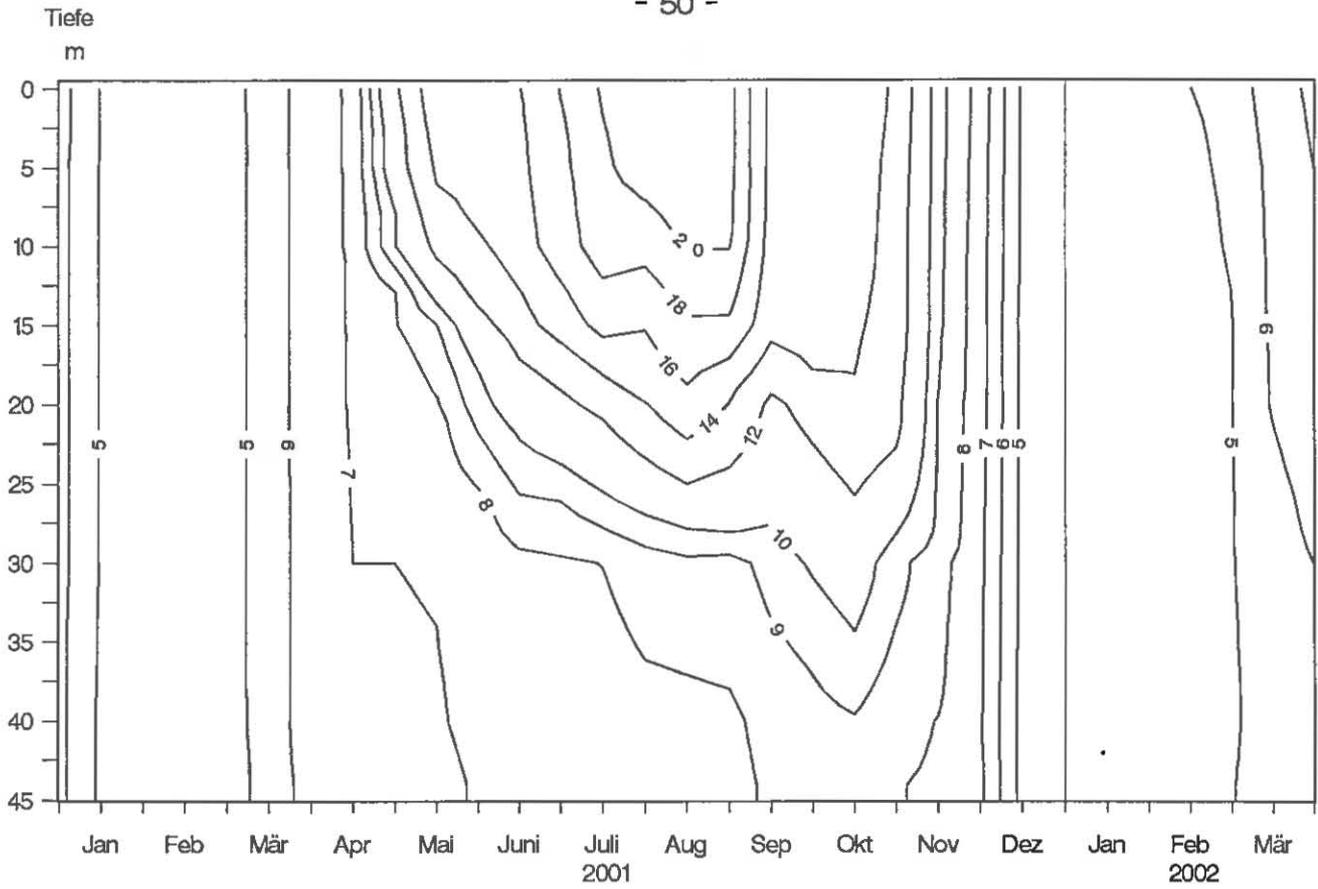


Abb. 52: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Temperatur °C

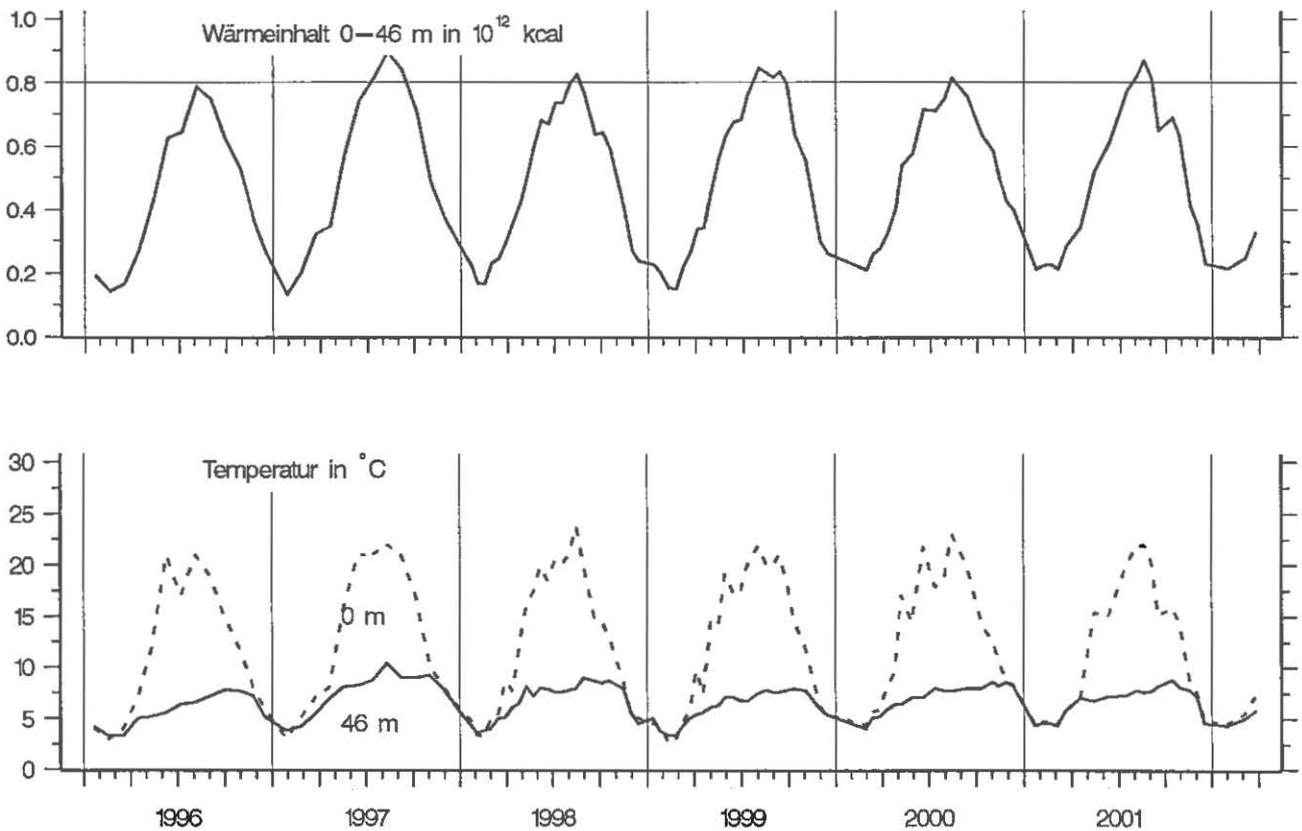


Abb. 53: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Thermik

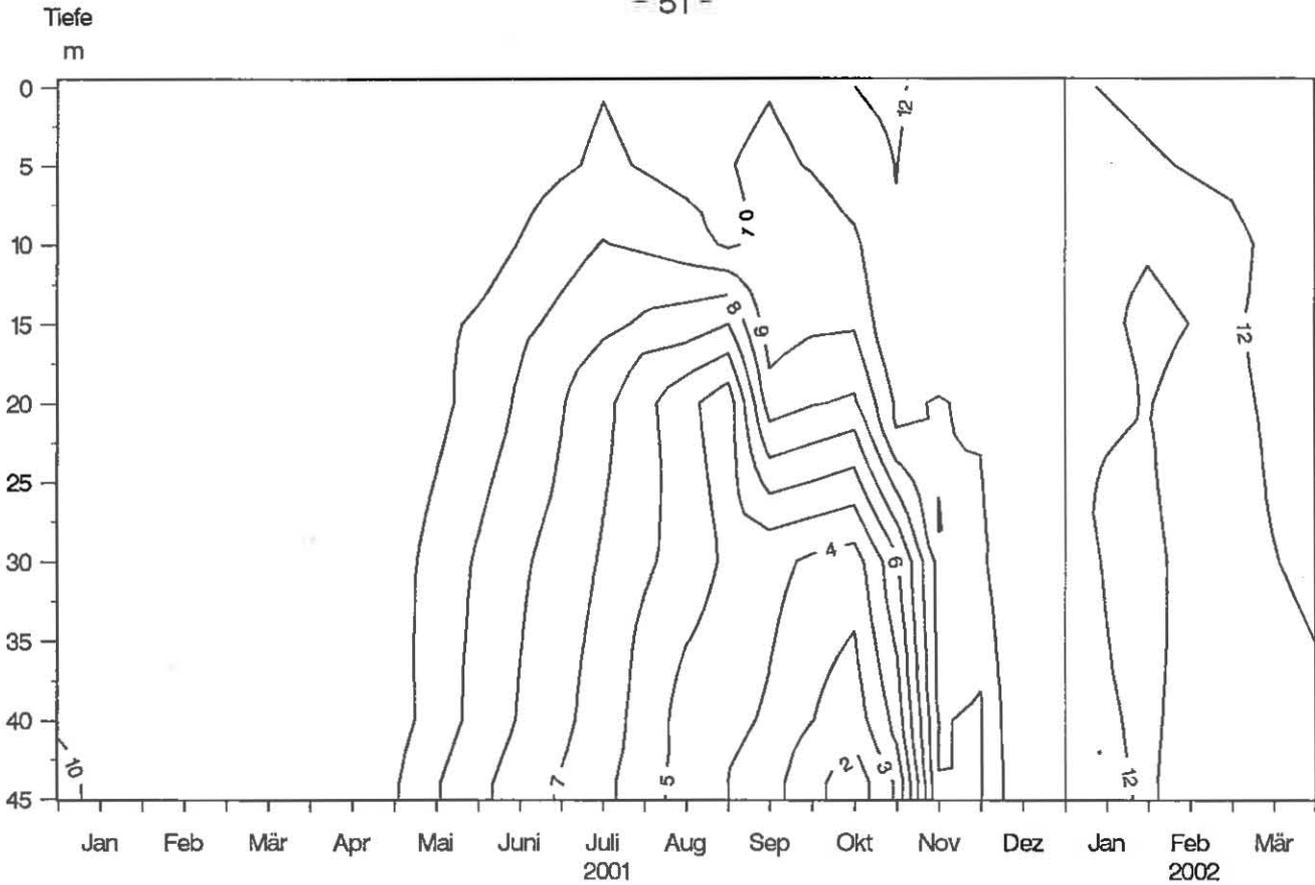


Abb. 54: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Sauerstoff (mg/l)

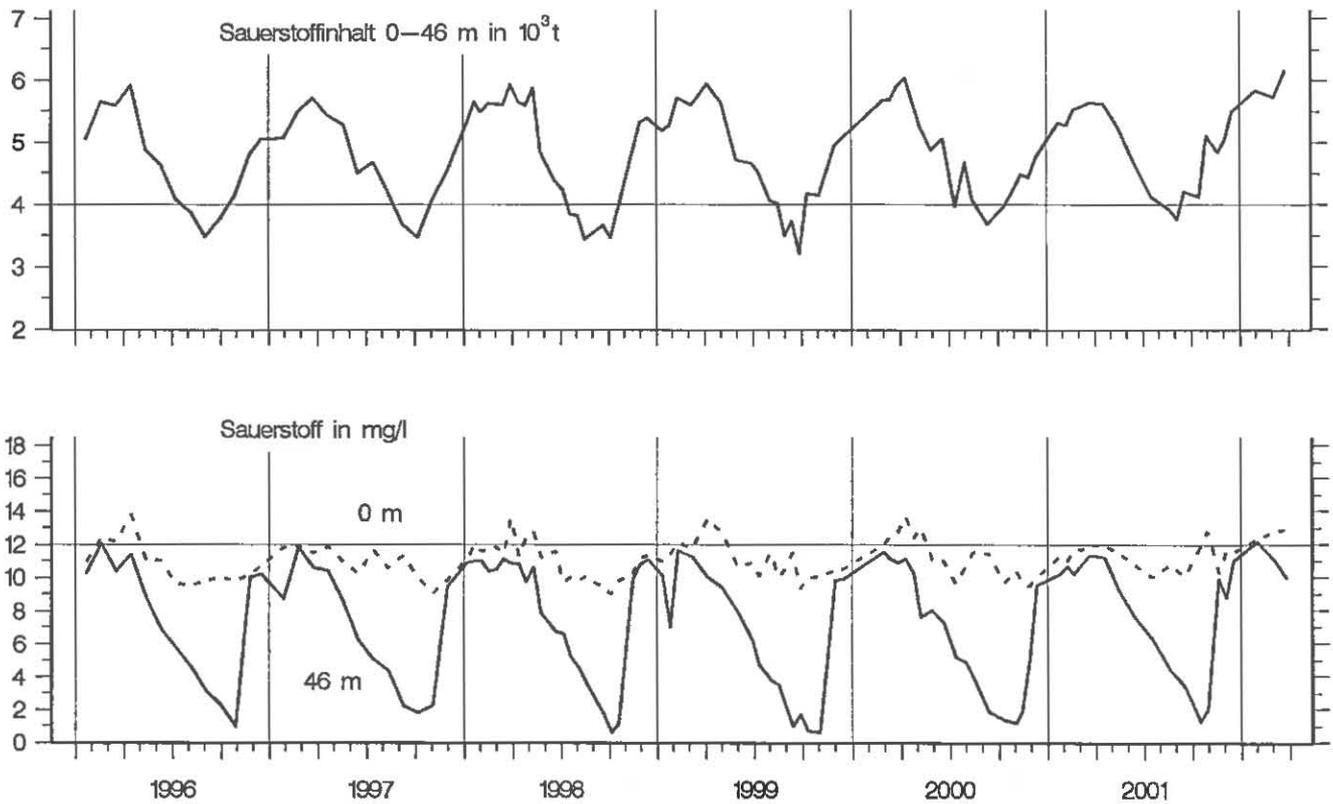


Abb. 55: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Sauerstoffinhalt 0–46 m und Sauerstoffkonzentration in 0 und 46 m Tiefe

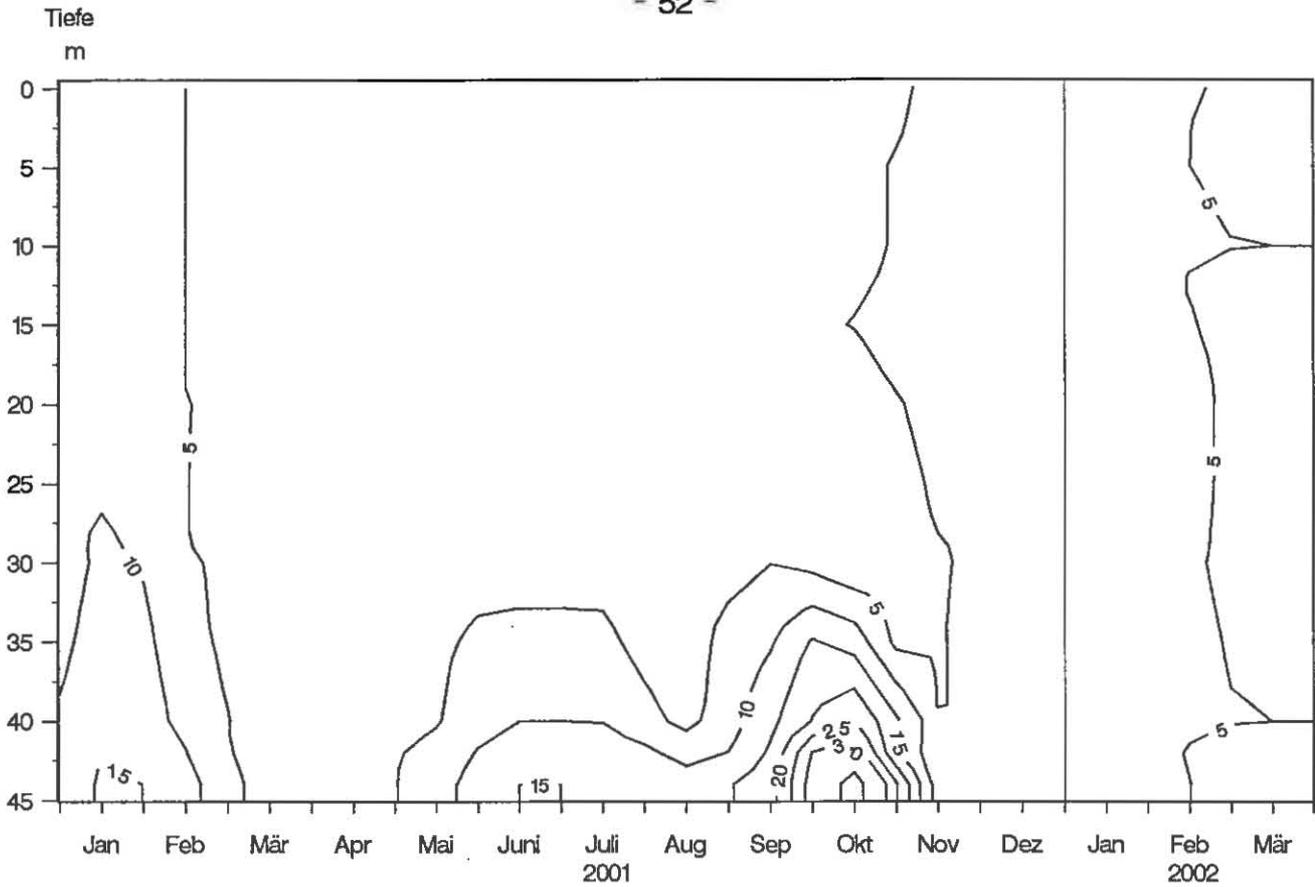


Abb. 56: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Orthophosphat – Phosphor (mg/m^3)

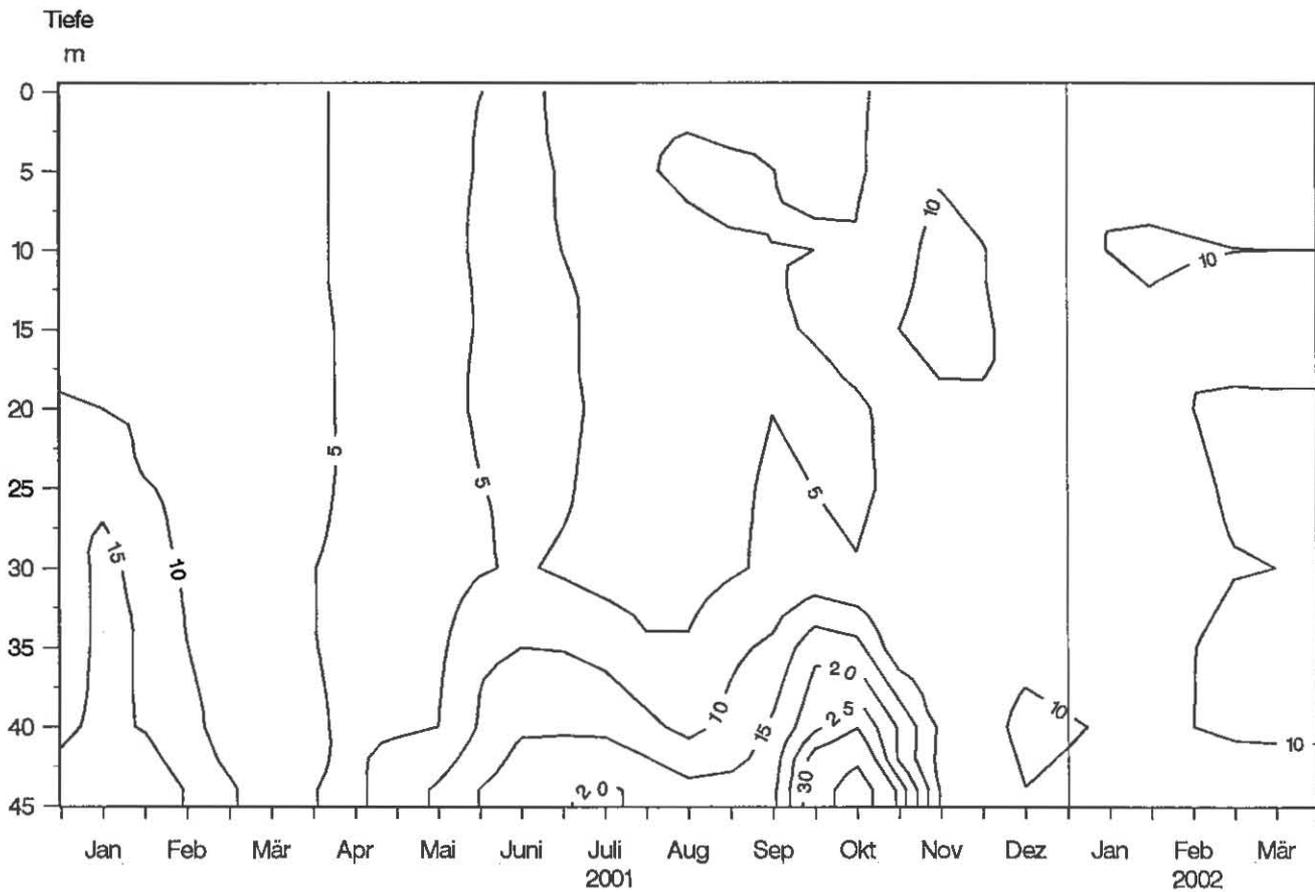


Abb. 57: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Gesamt gelöster Phosphor (mg/m^3)

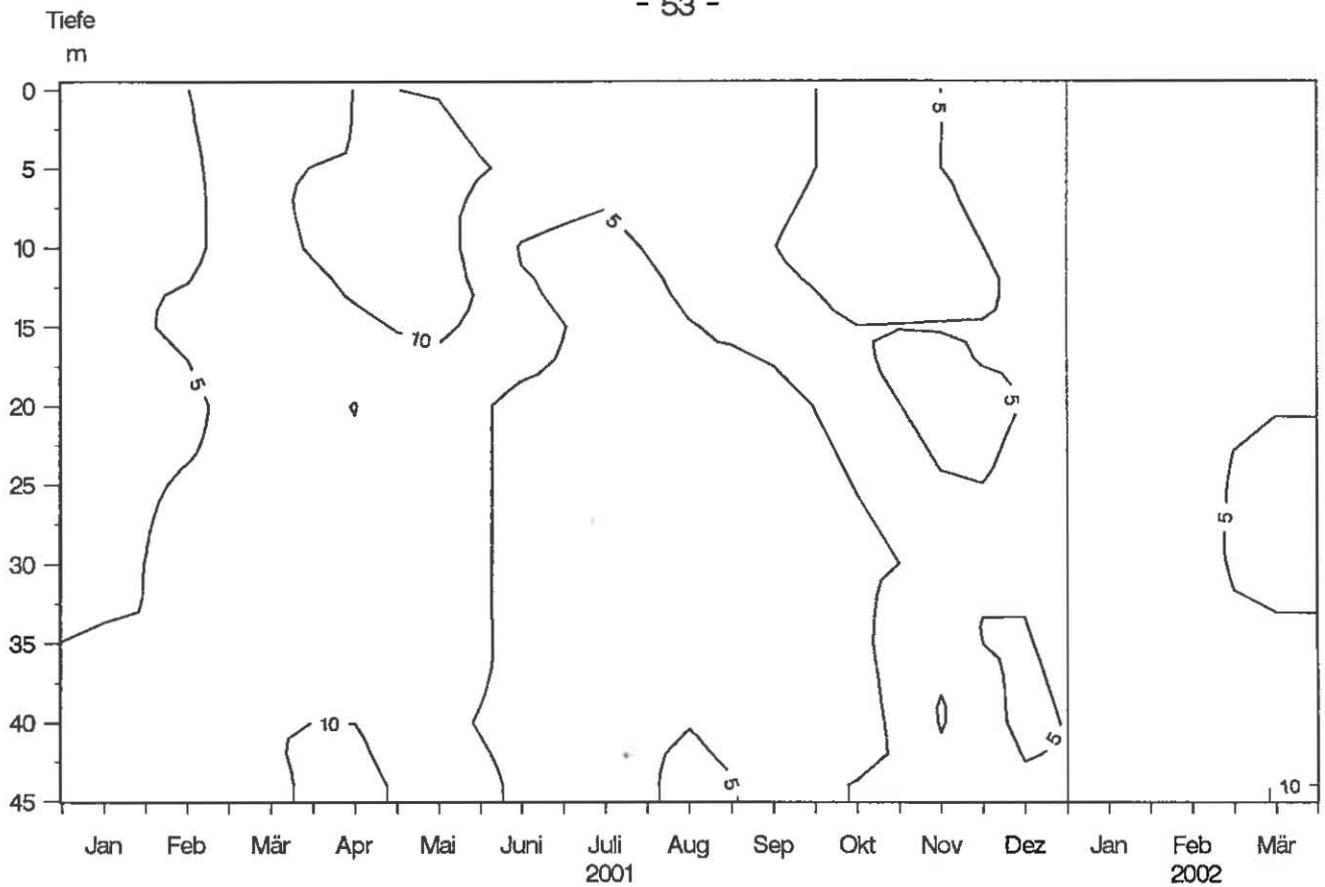


Abb. 58: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Partikulärer Phosphor (mg/m^3)

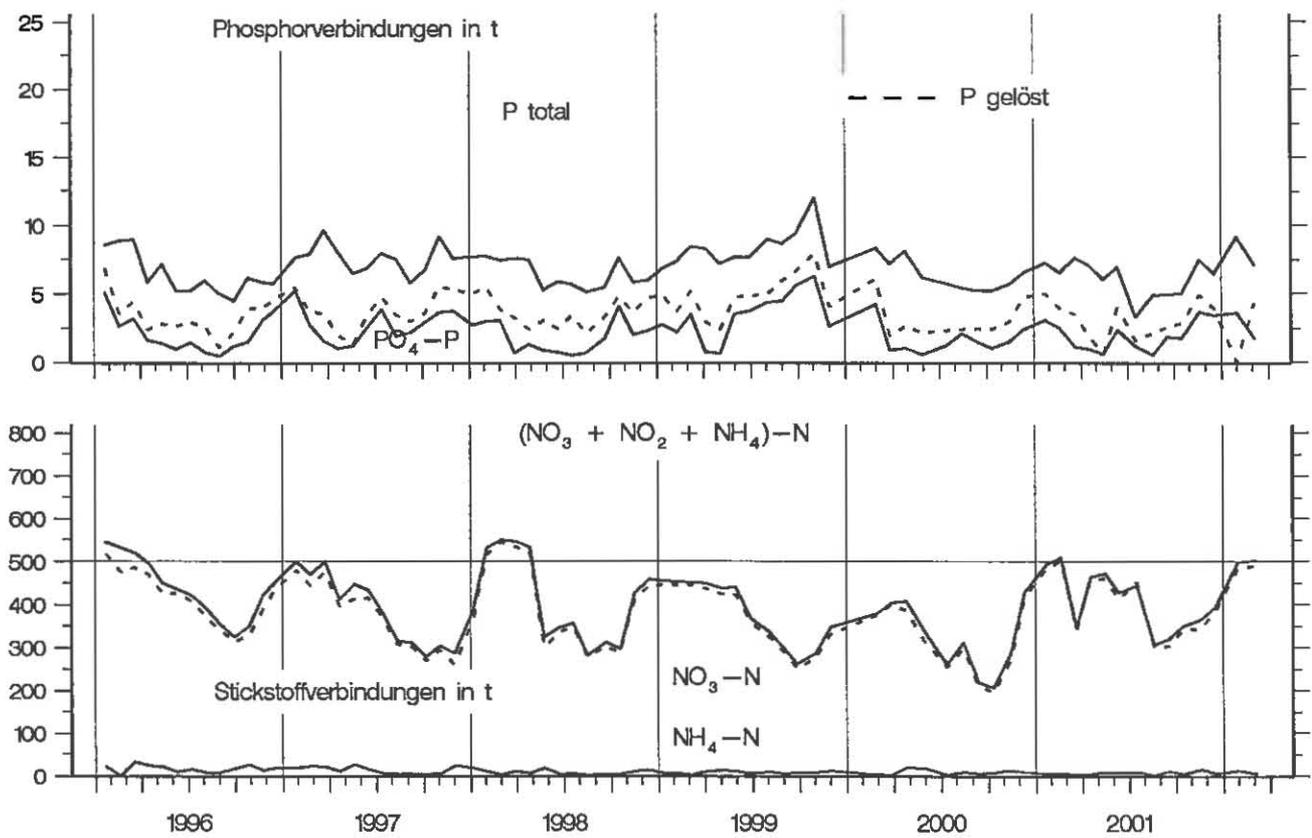


Abb. 59: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Nährstoffinhalt 0–46 m Tiefe

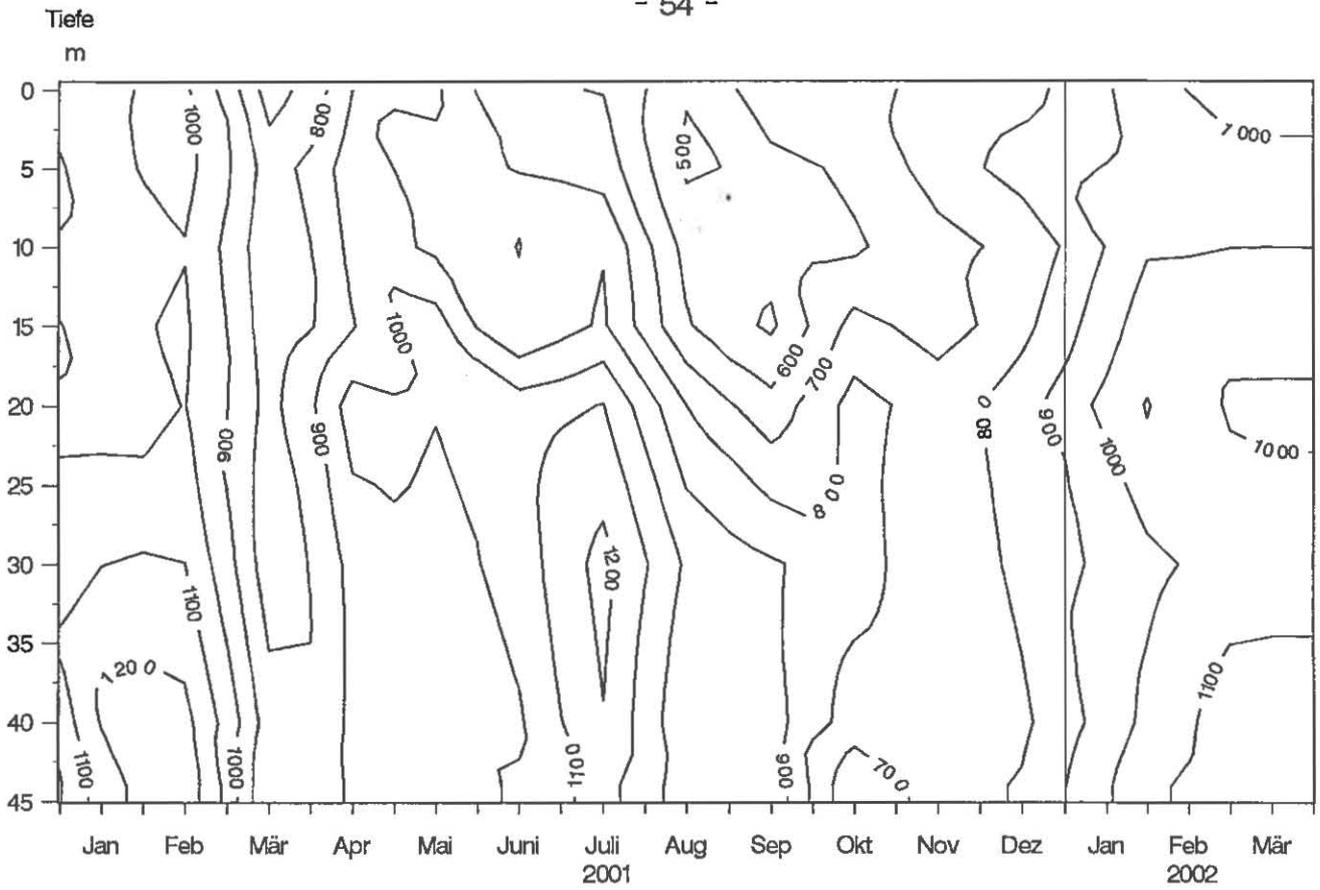


Abb. 60: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Nitrat – Stickstoff (mg/m^3)

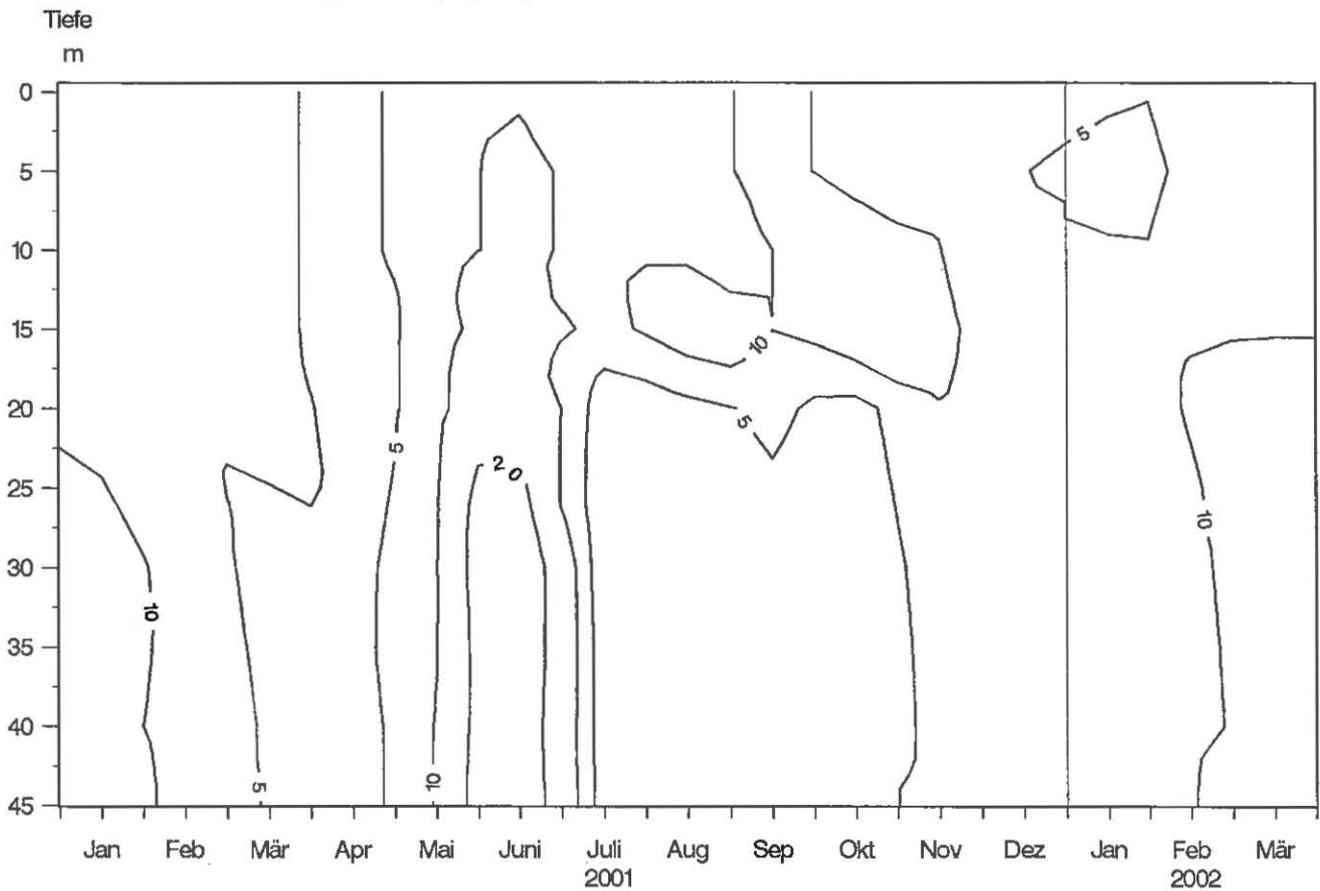


Abb. 61: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Nitrit – Stickstoff (mg/m^3)

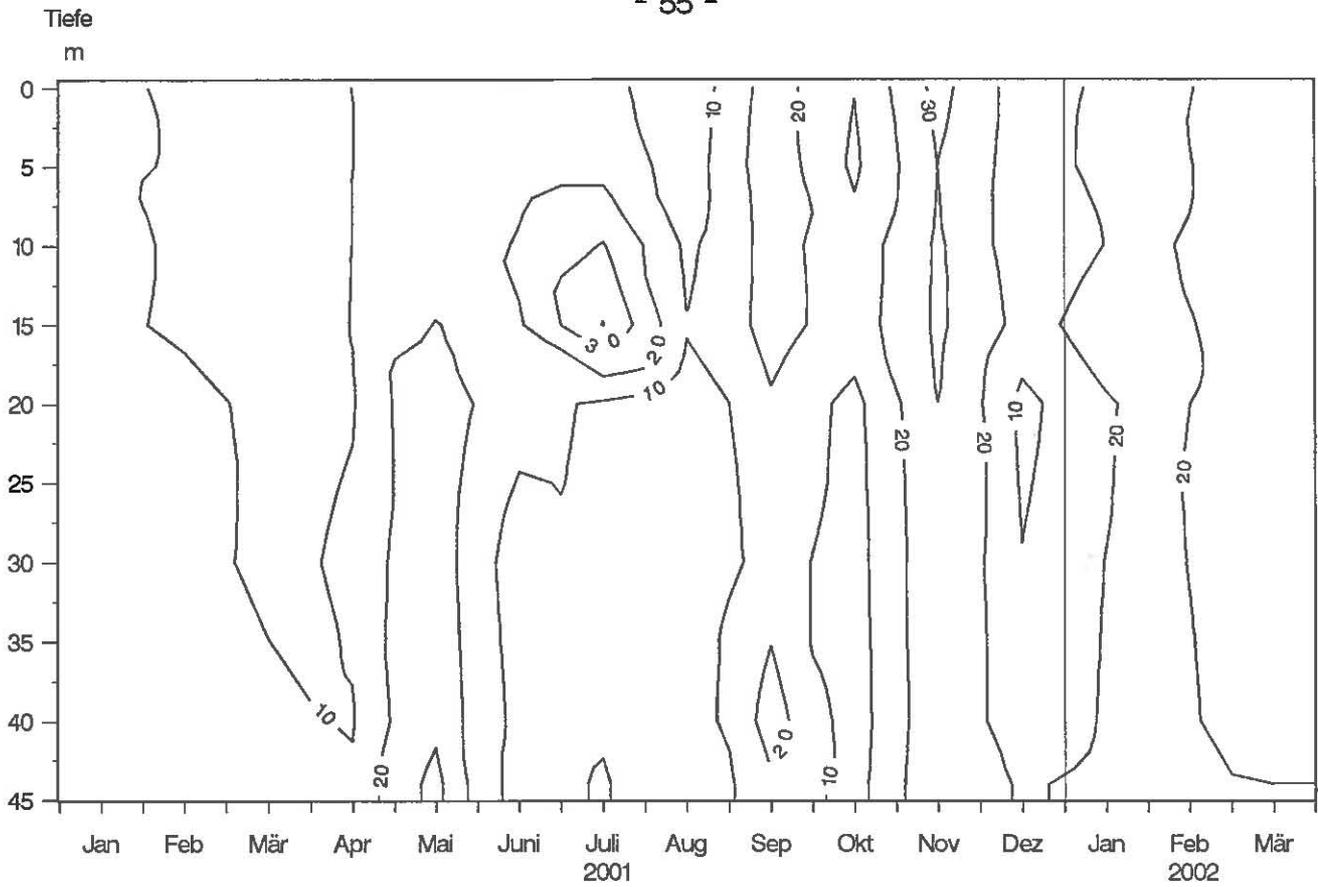


Abb. 62: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Ammonium – Stickstoff (mg/m³)

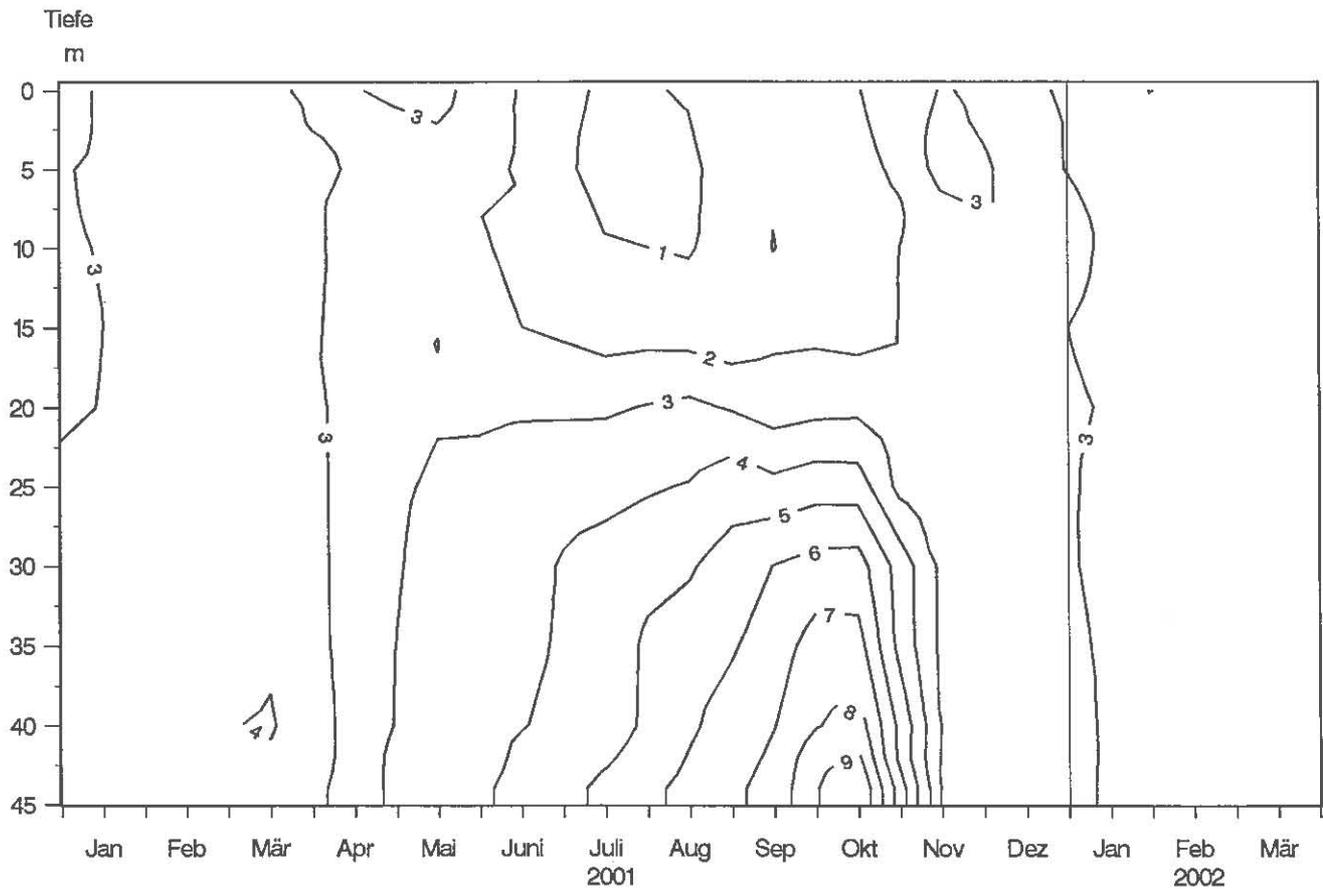


Abb. 63: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Silikat (mg/l)

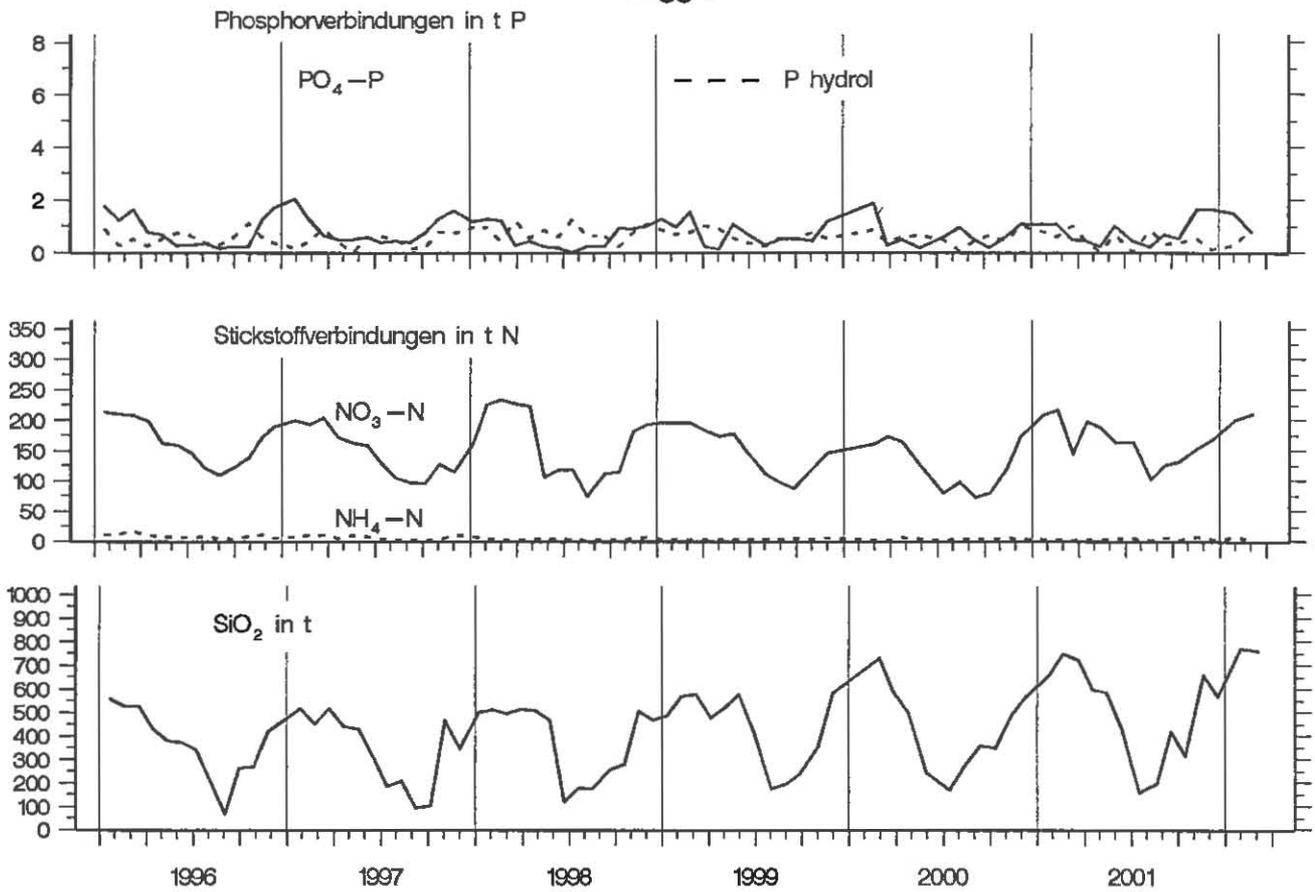


Abb. 64: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Nährstoffinhalt im Epilimnion 0–10 m Tiefe

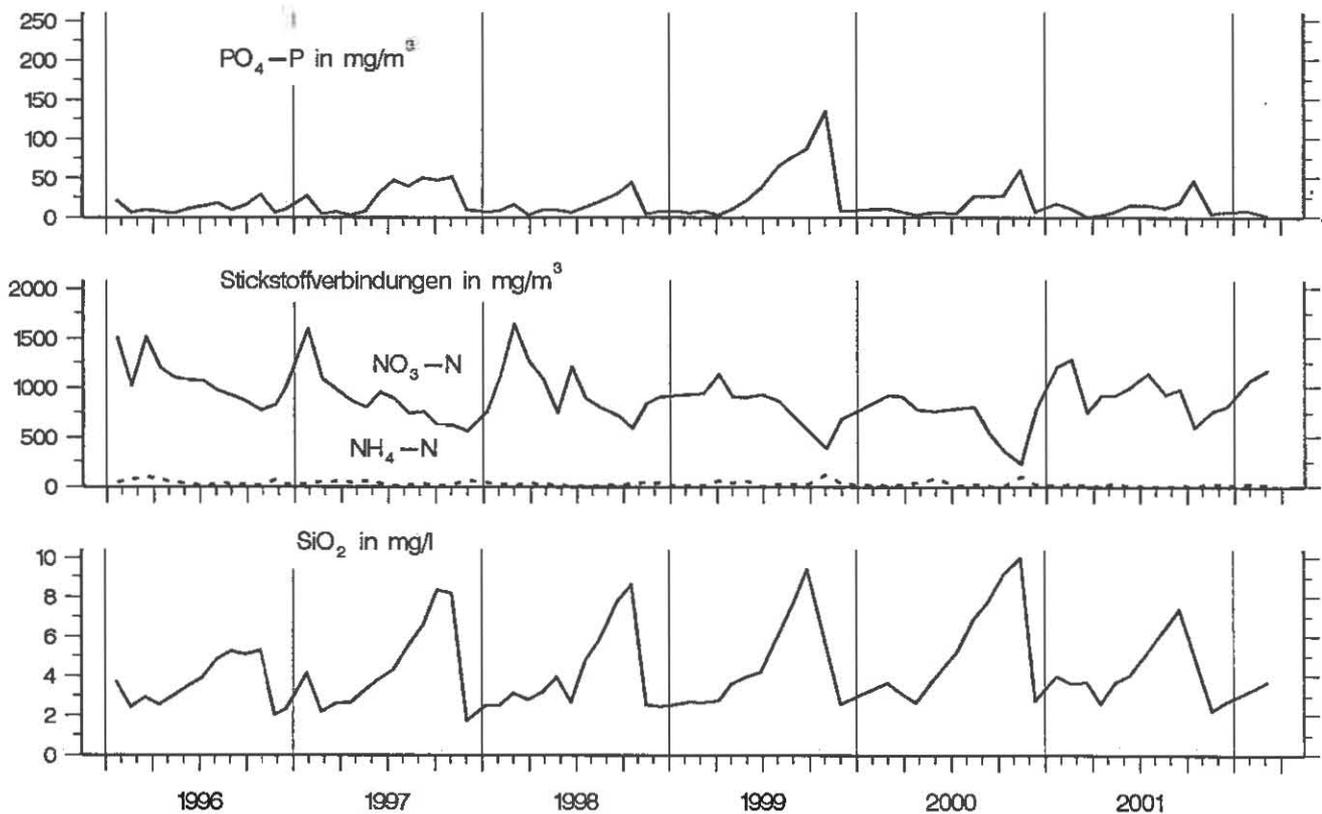


Abb. 65: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Nährstoffkonzentration in 46 m Tiefe

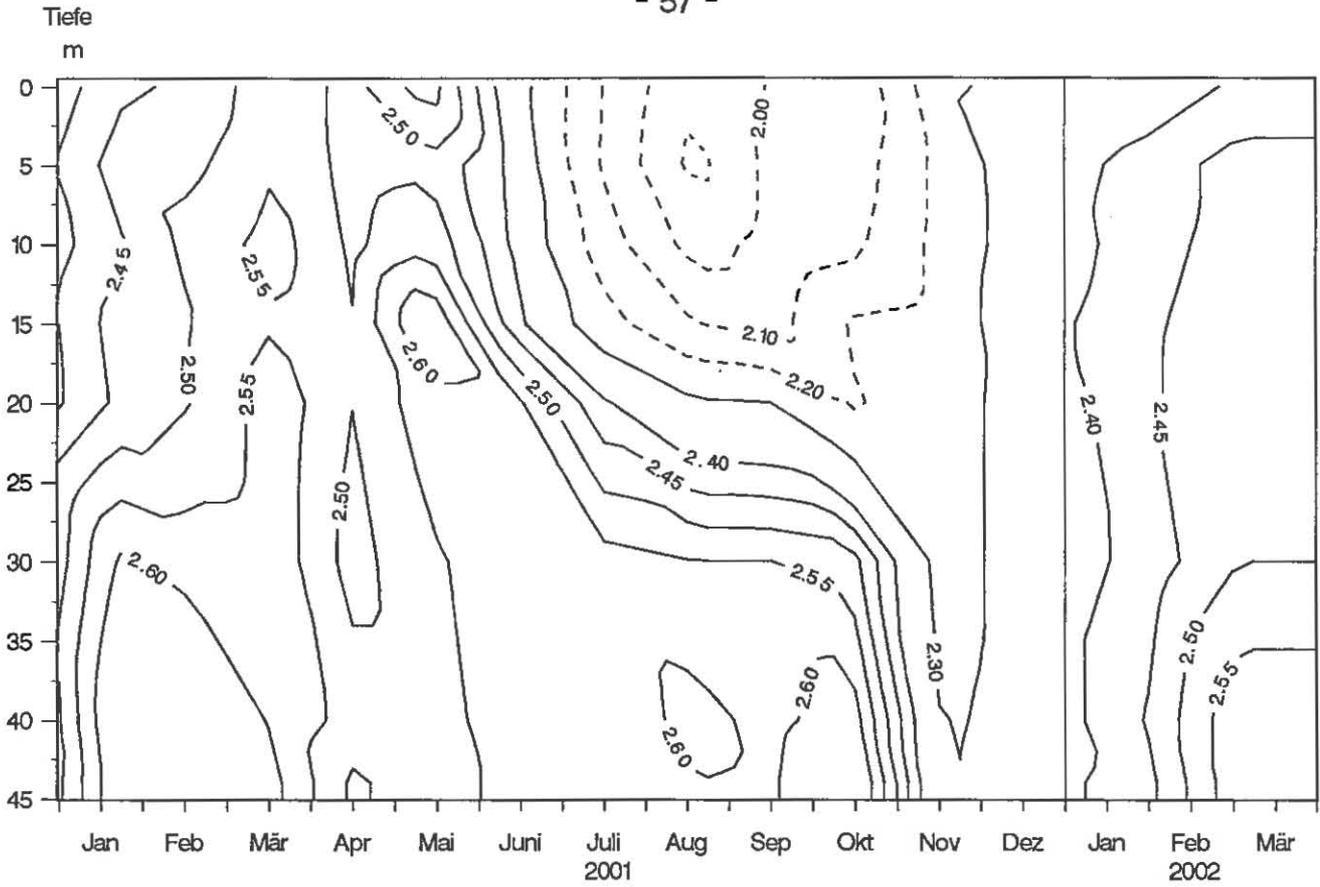


Abb. 66: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Anorganischer Kohlenstoff (mmol/l)

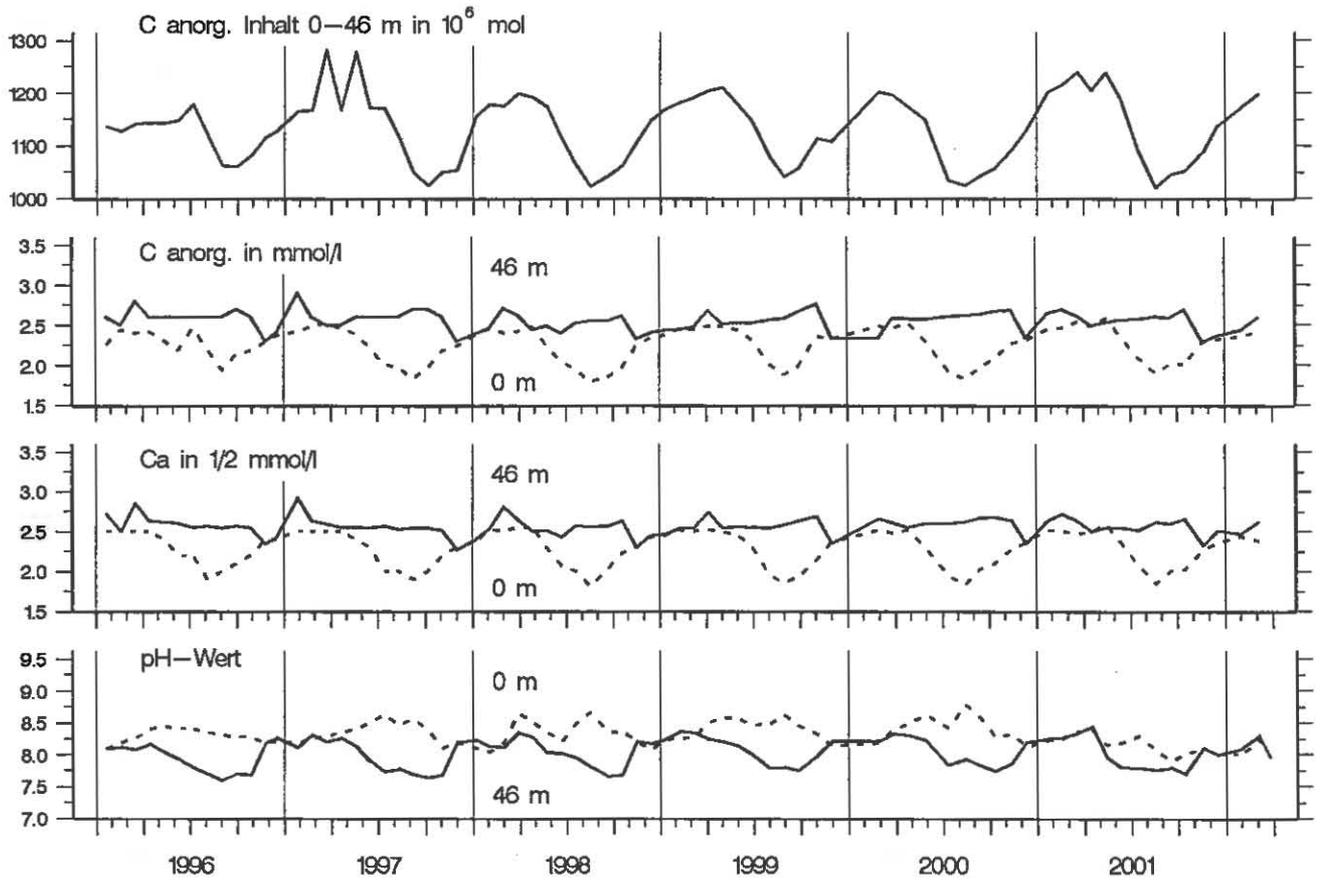


Abb. 67: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Anorganischer Kohlenstoff, Inhalt 0–46 m Tiefe
Konzentration von anorg. Kohlenstoff, Calcium; pH–Wert

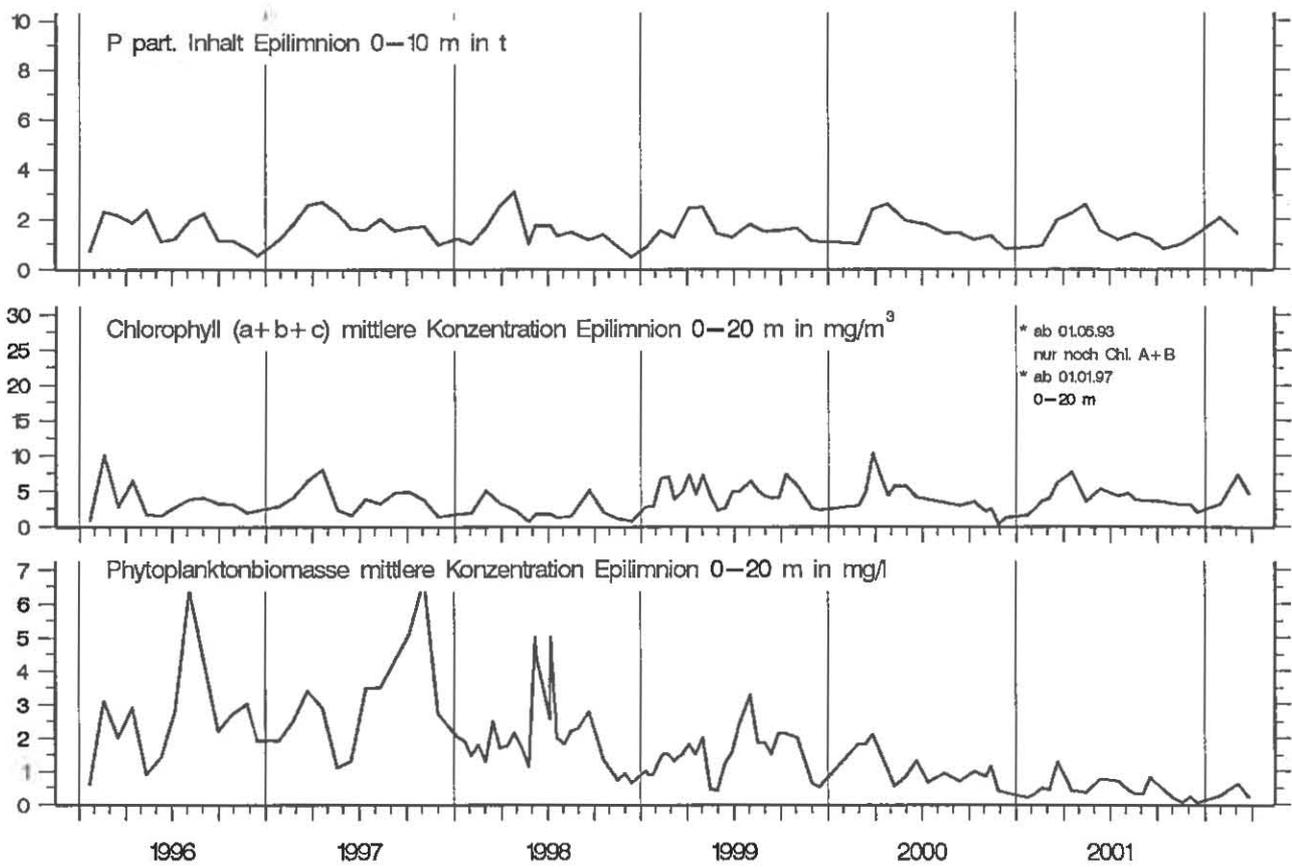


Abb. 68: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Chemische Biomasseindikatoren und Phytoplanktonbiomasse

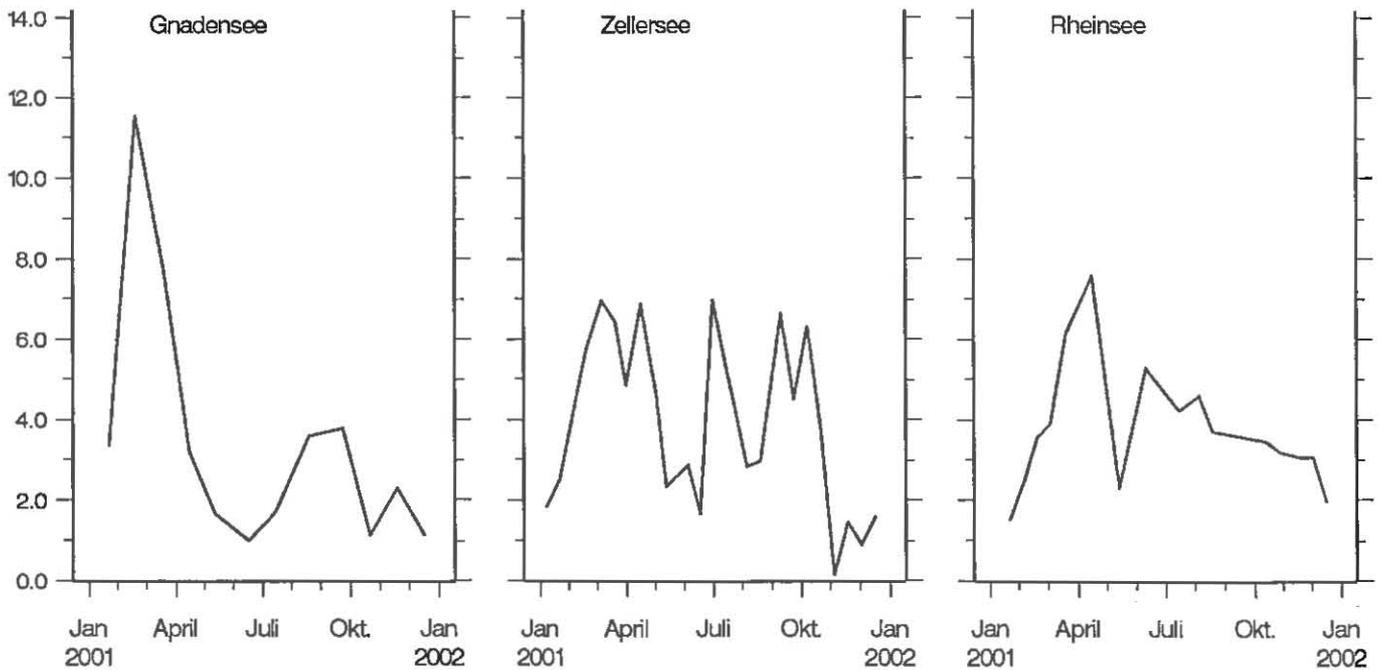


Abb. 69: Bodensee – Untersee
Chlorophyll a in mg/m³ im Gnadensee, Zellersee
und Chlorophyll a+b in mg/m³ im Rheinsee;
mittlere Konzentration 0-20 m Tiefe

Tabellen

Tabelle 1 (1)

Normal - Tiefenserien an den Stationen

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

Zellersee: 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 2001 bis März 2002 an den Stationen Fischbach-Uttwil (F),
und Bregenzer Bucht (B) und von Januar 2001 bis März 2002
an den Stationen Zellersee (Z) und Rheinsee bei Berlingen (R)

Obersee - Stationen

Untersee - Stationen

09.01.	2001	F		22.01.	2001	Z	R
25.01.			B	06.02.			R
05.02.		F		19.02.		Z	R
07.02.		F		05.03.			R
19.02.			B	21.03.		Z	R
06.03.		F		17.04.		Z	R
27.03.			B	14.05.		Z	
03.04.		F		15.05.			R
24.04.			B	12.06.			R
02.05.		F		19.06.		Z	
15.05.			B	16.07.		Z	
05.06.		F		17.07.			R
20.06.			B	06.08.			R
03.07.		F		20.08.		Z	R
04.07.				04.09.			R
17.07.			B	17.09.			R
07.08.		F		24.09.		Z	
23.08.			B	15.10.			R
11.09.		F		22.10.		Z	
02.10.			B	29.10.			R
09.10.		F		19.11.		Z	R
15.10.			B	03.12.			R
06.11.		F		17.12.		Z	R
12.11.			B	21.01.	2002	Z	
04.12.		F	B	30.01.			R
08.01.	2002	F		18.02.		Z	
14.01.			B	05.03.			R
04.02.			B	18.03.		Z	
05.02.		F		26.03.			R
05.03.		F					
25.03.			B				

Tabelle 1 (3)

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

Leitfähigkeit bei 20 °C	F	B	Z	R
pH	F	B	Z	R
Sauerstoff	F	B	Z	R
Säurekapazität KS 4,3	F	B	Z	R
Gesamthärte	F	B	Z	R
Calcium	F	B	Z	R
Magnesium	F	B		
Silikat	F		Z	R
Orthophosphat	F	B	Z	R
Phosphor gelöst (im Filtrat nach Aufschluß)	F	B	Z	R
Phosphor partikulär	F		Z	R
Phosphor total (im Rohwasser nach Aufschluß)	F	B	Z	R
Ammonium	F	B	Z	R
Nitrit	F	B	Z	R
Nitrat	F	B	Z	R
Kjeldahl - Stickstoff im Filtrat partikulärer Stickstoff direkt	F			R
Chlorophyll a	F		Z	R
Chlorophyll (a+b) - HPLC	F			R
Chlorid	F	B	Z	R
Sulfat	F	B	Z	R
Eisen total	F		Z	
Mangan total	F		Z	
Natrium	F	B		R
Kalium	F	B		R
UV – Extinktion (260 nm)				R

Berechnete Inhaltsstoffe:

pH korrigiert auf aktuelle

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

Tabelle 2: Seekennndsten

Bodensee-Obersee (Fischbach-Uttwil), Seejahr 2001 (Messdaten vom 03.04.01 bis 05.03.02)

IV-XII: Monate 2001; I, II, III-02: Monate 2002

Parameter	Messwerte				Stoffinhalt								Stoffbilanz		
	(a)				(b)								(b)		
	Epilimnion (0-10 m)		Seebodennähe (1m über Grund)		See total				Epilimnion (0-10 m)		Hypolimnion (200-252,5 m)		Beginn bis Ende Seejahr	03.04.2001 bis 11.09.2001	11.09.2001 bis 05.03.2002
	Maximum	Zeit	Maximum	Zeit	Beginn	Ende	Maximum	Zeit	Maximum	Zeit	Maximum	Zeit			
Minimum		Minimum		03.04.2001	05.03.2002	Minimum		Minimum		Minimum					
Thermik (a) °C, (b) 10 ¹² Kcal	21.8	VIII	4.7	V-III	262.4	229.7	358.2	VIII	85.2	VIII	7.7	X	-33	79	-111
	4.8	III	4.6	IV,V			228.4	II	20.9	III	7.5	IV,V			
Sauerstoff (a) mg l ⁻¹ , (b) 10 ³ t	13.3	V	8.1	IV,V	513.8	512.7	527.7	V	54.5	V	14.9	III	-1	-70	68
	8.8	VIII	6.1	X			436.4	XI	38.2	IX	8.8	I			
Orthophosphat - P (a) mg m ⁻³ , (b) t	7.9	III	25.6	XI	392.5	389.7	444.5	XI	33.3	III	37.7	XI	-3	-71	69
	0.4	IX	20.1	III			290.3	VIII	2.7	IV	23.0	III			
Phosphor, hydrolisierb. (A) mg m ⁻³ , (b) t	9.4	VI	5.9	IX	94.5	77.0	175.5	X	25.3	VI	6.1	XI	-17	5	-22
	1.4	II,III	1.2	I			77.0	III	6.4	II	2.4	II			
Phosphor, gelöst (a) mg m ⁻³ , (b) t	10.1	VI	30.8	XI	486.9	466.7	559.3	XI	40.4	III	42.6	XI	-20	-67	46
	2.2	IX	21.5	III			386.1	VIII	11.8	VIII	25.6	III			
Phosphor, partikulär (a) mg m ⁻³ , (b) t	10.5	IV	2.6	IV	227.0	68.0	227.0	IV	41.1	IV	4.1	VIII	-159	-146	-13
	1.2	XII	1.0	VIII			44.3	XII	6.7	XII,III	1.1	X			
Phosphor, total (a) mg m ⁻³ , (b) t	17.6	IV	32.9	XI	713.9	634.7	713.9	IV	69.2	IV	44.0	XI	-179	-213	34
	6.3	XII	23.0	III			466.5	XII	27.4	XII	27.9	III			
Nitrat - N (a) mg m ⁻³ , (b) t	959.0	II	1008.0	V	46915.5	45489.9	47581.5	V	4063.9	III	1638.3	V	-1426	-2285	859
	481.0	VIII	936.0	X			42710.0	X	2147.7	VIII	1517.4	II			
Nitrit - N (a) mg m ⁻³ , (b) t	12.7	V	0.0	IV-III	114.9	0.0	184.3	V	42.6	V	0.0	IV-III	-115	-66	-49
	0.0	XII-III	0.0	IV-III			0.0	I-III	0.0	I-III	0.0	IV-III			
Ammonium - N (a) mg m ⁻³ , (b) t	18.3	X	4.4	XI	265.4	131.4	286.9	V	65.5	X	4.7	XII	-134	-130	-4
	3.2	II	1.0	IV-VII,X			109.0	VIII	16.1	II	0.8	IX			
Stickstoff, partikulär (a) mg m ⁻³ , (b) t	91.0	V	24.0	III	1033.1	1142.3	1142.3	III	284.9	V	38.7	III	109	-343	453
	19.0	I,II	5.0	VIII			652.0	VII	87.4	I	10.1	VII			
Silikat (SiO₂) (a) mg l ⁻¹ , (b) 10 ³ t	3.2	III	6.3	XI	164.9	159.3	176.4	V	13.6	III	8.7	XI	-6	-26	20
	0.2	VII	4.9	VIII,II			137.1	VIII	1.9	VII	6.8	III			
Kalium (a) mg l ⁻¹ , (b) 10 ³ t	1.3	IV,V	1.3	IV-VI,VIII-IX,XI,II	61.2	60.1	61.8	V	5.5	IV,V	2.1	V,IX,XI,II	-1	-2	1
	1.0	VII,VIII	1.3	I			58.2	I	4.4	VIII	2.0	I			
Natrium (a) mg l ⁻¹ , (b) 10 ³ t	4.2	V	4.5	IV,V	202.4	190.8	202.4	IV	17.8	V	7.1	IV	-12	-11	0
	2.9	VIII	4.2	II			187.1	II	13.3	VIII	6.3	V			

Parameter	Messwerte				Stoffinhalt								Stoffbilanz		
	(a)				(b)								(b)		
	Epilimnion (0-10 m)		Seebodennähe (1m über Grund)		See total				Epilimnion (0-10 m)		Hypolimnion (200-252.5 m)		Beginn bis Ende Seejahr	03.04.2001 bis 11.09.2001	11.09.2001 bis 05.03.2002
	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit	Beginn 03.04.2001	Ende 05.03.2002	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit					
Calcium (a) mg l ⁻¹ , (b) 10 ³ t	29.9 41.3	III X	51.1 49.9	IX VI	2350.6	2351.8	2351.8	III	210.0	III	82.0	XII	1	-49	50
Magnesium (a) mg l ⁻¹ , (b) 10 ³ t	8.3 7.2	V VII	8.5 8.4	IV,VI,VIII V,VII,IX-III	395.3	388.6	395.3	IV	35.1	V	13.7	VIII	-7	-9	2
Chlorid - Cl (a) mg l ⁻¹ , (b) 10 ³ t	5.2 3.2	V VIII	5.5 5.2	V,VI X,XII,I,III	246.7	238.7	250.1	V	21.8	V	8.9	VI	-8	-15	7
Sulfat - SO4 (a) mg l ⁻¹ , (b) 10 ³ t	33.0 28.0	IV,V VIII	34.0 32.9	V VII,X	1570.6	1559.3	1594.4	V	139.6	IV	54.4	VIII	-11	-33	22
Eisen total (a) mg m ⁻³ , (b) t	60.3 4.5	IV VIII	31.0 7.5	IV VIII	2016.5	616.2	2016.5	IV	222.7	IV	38.3	II	-1400	-1530	130
Mangan total (a) mg m ⁻³ , (b) t	5.5 0.5	VII VIII,X,XII	6.2 0.8	X VI	69.1	44.6	80.4	V	9.8	VII	4.7	XI	-25	-21	-3
Kohlenstoff anorg. (a) mg l ⁻¹ , (b) 10 ³ t	29.9 22.8	V VIII	30.7 29.0	X III	1388.6	1357.2	1408.1	V	126.8	V	48.5	IX	-31	-32	1
Säurekapazität KS 4,3 (a) mmol l ⁻¹ , (b) 10 ⁶ kmol	2.5 1.9	V VIII	2.6 2.4	X III	116.7	114.0	118.3	V	10.7	V	4.1	IX	-3	-3	0
elektr. Leitfähigkeit µS cm ⁻¹ , 20 °C	293.0 230.0	IV-V VIII	303.0 298.0	X-XI VI-VII											
pH-Wert	8.6 8.2	VI XII	8.0 7.8	VI IX-X											
Chlorophyll a Mittelwert 0-20m (a) mg m ⁻³	11,77 0,34	III-02 XII	- -	- -											

Tabelle 3

Vergleich von Messwerten der verschiedenen Teile des Bodensees - Obersee
Seejahr 2001 / 2002 an den Stationen Fischbach-Uttwil (F) und Bregenzer Bucht (B)

Messwerte in " 0 " m		F	B
Temperatur in °C	Maximum	21.8	21.8
	Minimum	5.0	2.9
Sauerstoff in mg O ₂ l ⁻¹	Maximum	14.0	12.8
	Minimum	9.0	6.8
Leitfähigkeit bei 20° C in µS cm ⁻¹	Maximum	293.0	324.0
	Minimum	230.0	265.0
pH in pH-Einheiten	Maximum	8.6	8.4
	Minimum	8.2	8.1
Orthophosphat in mg PO ₄ -P m ⁻³	Maximum	7.9	8.0
	Minimum	0.5	2.0
Phosphor gelöst in mg P m ⁻³	Maximum	10.1	9.0
	Minimum	2.6	2.0
Phosphor total in mg P m ⁻³	Maximum	17.4	20.0
	Minimum	6.4	9.0
Nitrat in mg NO ₃ -N m ⁻³	Maximum	959.0	1012.0
	Minimum	481.0	483.0
Ammonium in mg NH ₄ -N m ⁻³	Maximum	17.1	31.2
	Minimum	5.2	3.9
Eisen total in mg Fe m ⁻³	Maximum	44.3	—
	Minimum	4.5	—
Kohlenstoff anorg. in mmol C l ⁻¹	Maximum	2.5	2.6
	Minimum	1.9	2.0
Phosphor partikulär in mg P m ⁻³	Maximum	9.5	—
	Minimum	1.3	—
Stickstoff partikulär in mg N m ⁻³	Maximum	52.0	—
	Minimum	19.0	—

Messwerte in Seebodennähe		F	B
		250m	60m
Temperatur in °C	Maximum	4.7	5.7
	Minimum	4.6	3.3
Sauerstoff in mg O ₂ l ⁻¹	Maximum	8.1	11.3
	Minimum	6.1	7.9
Leitfähigkeit bei 20° C in µS cm ⁻¹	Maximum	303.0	334.0
	Minimum	298.0	290.0
pH in pH-Einheiten	Maximum	8.0	8.3
	Minimum	7.8	8.0
Orthophosphat in mg PO ₄ -P m ⁻³	Maximum	25.6	12.0
	Minimum	20.1	2.0
Nitrat in mg NO ₃ -N m ⁻³	Maximum	1008.0	1104.0
	Minimum	936.0	529.0
Ammonium in mg NH ₄ -N m ⁻³	Maximum	4.5	45.2
	Minimum	1.0	1.9
Eisen total in mg Fe m ⁻³	Maximum	31.0	—
	Minimum	7.5	—
Kohlenstoff anorg. in mmol C l ⁻¹	Maximum	2.6	2.5
	Minimum	2.4	2.2
Phosphor total in mg P m ⁻³	Maximum	2.6	34.0
	Minimum	1.0	19.0

Tabelle 4: Seekennndaten

Bodensee-Untersee (Zellersee), Seejahr 2001 (Messdaten vom 22.01.01 bis 21.01.02)

I-XII: Monate 2001; I-02: Januar 2002

Parameter	Messwerte				Stoffinhalt						Stoffbilanz		
	(a)		(b)		(b)				(b)		(b)		
	Eplimnion (0 -10 m)		Seebodennähe (1m über Grund)		See total		Eplimnion (0 -10 m)		Beginn bis Ende Seejahr	22.01.2001 bis 20.08.2001	20.08.2001 bis 21.01.2002		
	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit	Beginn 22.01.2001	Ende 21.01.2002	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit			
Thermik (a) °C, (b) 10 ⁹ Kcal	22.4 2.8	VIII I	12.1 6.0	X III	0.8	0.5	3.5 0.5	VIII I	2.3 0.3	VIII I	0	3	-3
Sauerstoff (a) mg l ⁻¹ , (b) t	13.2 9.8	II XI	11.8 0.9	III,IV VIII	2023.3	2092.3	2224.7 1670.0	II VII	1343.6 1071.1	II IX	69	-254	323
Orthophosphat - P (a) mg m ⁻³ , (b) t*	17.5 1.4	XI IV	109.3 1.4	X IV	3.0	2.1	3.0 0.3	I IV	1.8 0.2	XI IV	-1	-3	2
Phosphor, hydrolysiert (A) mg m ⁻³ , (b) t*	10.4 1.6	VI XII	13.4 2.2	X VII	0.8	0.6	1.2 0.5	VI VII	0.8 0.3	VI XII	0	0	0
Phosphor, gelöst (a) mg m ⁻³ , (b) t*	21.5 3.7	I V	122.7 4.6	X V	3.8	2.7	3.8 0.9	I VII	2.2 0.5	XI VII	-1	-3	2
Phosphor, partikulär (a) mg m ⁻³ , (b) t*	13.4 4.2	III I	19.2 5.9	VIII XI	1.1	1.0	2.2 1.0	III I	1.3 0.6	III I	0	0	-1
Phosphor, total (a) mg m ⁻³ , (b) t*	27.7 13.0	I V	141.5 0.0	X I	4.9	3.7	4.9 2.6	I V	2.8 1.6	I V	-1	-2	1
Nitrat - N (a) mg m ⁻³ , (b) t	1291.0 416.0	III VIII	1430.0 524.0	III X	221.3	199.6	230.5 88.7	III VIII	136.0 47.2	III VIII	-22	-133	111
Nitrit - N (a) mg m ⁻³ , (b) t	16.5 3.3	XI XII	72.8 4.0	VI VII	2.2	2.2	2.9 0.6	IX XII	1.7 0.4	XI XII	0	0	1
Ammonium - N (a) mg m ⁻³ , (b) t	36.2 4.4	XI X	69.8 3.9	VIII VI	2.0	3.5	6.4 0.9	XI X	3.8 0.5	XI X	1	1	1
Silikat (SiO₂) (a) mg l ⁻¹ , (b) t	4.0 0.7	I VII	7.8 3.6	X IV	720.4	642.8	720.4 217.4	I VII	413.1 79.5	I VII	-78	-498	421
Calcium (a) mg l ⁻¹ , (b) t	56.3 37.3	IV VIII	59.7 45.9	VI IX	998.0	916.2	1005.2 709.2	III VIII	601.2 400.8	IV VIII	-82	-289	207
Chlorid (a) mg l ⁻¹ , (b) t	9.8 4.4	III X	10.8 5.4	III IX	1693.4	1483.1	1746.3 862.7	III VIII	1027.3 474.8	III X	-230	-831	600

Parameter	Messwerte				Stoffinhalt						Stoffbilanz		
	(a)				(b)						(b)		
	Epilimnion (0-10 m)		Seebodennähe (1m über Grund)		See total				Epilimnion (0-10 m)		Beginn bis Ende Seejahr	22.01.2001 bis 20.08.2001	20.08.2001 bis 21.01.2002
Maximum	Zeit	Maximum	Zeit	Beginn 22.01.2001	Ende 21.01.2002	Maximum	Zeit	Maximum	Zeit				
Minimum		Minimum				Minimum		Minimum					
Eisen total (a) mg m ⁻³ , (b) t	46.7	XII	117.4	VIII	4.5	3.1	7.8	III	4.4	III	-1	-3	2
	3.8	X	14.9	VII			1.1	VIII	0.4	X			
Kohlenstoff anorg. (a) mg l ⁻¹ , (b) t	33.7	IV	34.4	V	5742.9	5383.6	5970.3	IV	3587.5	IV	0	-2	1
	22.5	VIII	27.5	IX			4214.9	VIII	2428.0	VIII			
Säurekapazität KS 4,3 (a) mmol l ⁻¹ , (b) 10 ³ kmol	2.8	IV	2.9	V	482.6	452.4	501.7	IV	301.5	IV	-30	-128	98
	1.9	VIII	2.3	IX			354.2	VIII	204.0	VIII			
elektr. Leitfähigkeit µS cm ⁻¹ , 20 °C	330.0	III	341.0	III									
	231.0	VIII	274.0	IX									
pH-Wert	8.6	X	8.4	IV									
	8.2	I	7.5	VIII									
Chlorophyll a Mittelwert 0-20m mg m ⁻³	7.75	III-02	-	-									
	0.148	XI	-	-									

Tabelle 5: Seekenndaten

Bodensee-Untersee (Rheinsee, Berlingen), Seejahr 2001 (Messdaten vom 22.01.01 bis 30.01.02)

I-XII: Monate 2001; I-00: Januar 2002

Parameter	Messwerte				Stoffinhalt						Stoffbilanz						
	(a)				(b)						(b)						
	Epilimnion (0-10 m)		Seebodennähe (1m über Grund)		See total			Epilimnion (0-10 m)			Beginn bis Ende Seejahr	22.01.2001 bis 20.08.2001	20.08.2001 bis 30.01.2002				
Maximum	Minimum	Zeit	Maximum	Minimum	Zeit	Beginn 22.01.2001	Ende 30.01.02	Maximum	Minimum	Zeit	Maximum	Minimum	Zeit				
Thermik (a) °C, (b) 10 ⁹ Kcal	22.0		VIII	8.8		X	223.7	225.7	914.8		VIII	468.6		VIII	2	688	-686
	4.4		I,III	4.3		I,III			223.7		I	95.2		I			
Sauerstoff (a) mg l ⁻¹ , (b) t	12.8		X	12.2		I	5595.1	6141.1	6141.1		I	2676.9		X	546	-1482	2028
	8.9		VII	1.3		X			3959.5		IX	2092.5		VII			
Orthophosphat - P (a) mg m ⁻³ , (b) t	8.0		XI-XII	46.0		X	3.2	3.8	3.9		XI	1.7		XII	1	-3	3
	1.0		V,VIII,X	1.0		III			0.6		VIII	0.2		V,VIII			
Phosphor, hydrolisierb. (A) mg m ⁻³ , (b) t	6.0		VIII	6.0		VII	2.0	0.7	2.5		III	1.0		III	-1	0	-1
	0.0		V,VII,XII	1.0		IX,I			0.0		V	0.0		V,VII			
Phosphor, gelöst (a) mg m ⁻³ , (b) t	12.0		XI	49.0		X	5.2	4.6	5.2		I	2.2		XI	-1	-3	2
	1.0		V	4.0		IV			0.6		V	0.2		V			
Phosphor, partikulär (a) mg m ⁻³ , (b) t	13.0		V	13.0		IV	2.0	4.9	5.4		V	2.8		V	3	1	2
	3.0		VII,X	2.0		VII			1.9		VII	0.8		X			
Phosphor, total (a) mg m ⁻³ , (b) t	19.0		I	54.0		X	7.6	9.6	9.6		I	4.1		I	2	-3	5
	6.0		VII	15.0		III			3.5		VII	1.6		X			
Nitrat - N (a) mg m ⁻³ , (b) t	1040.0		II	1280.0		II	510.3	509.6	527.3		II	221.9		II	-1	-196	196
	460.0		VIII	600.0		X			317.3		VIII	104.8		VIII			
Nitrit - N (a) mg m ⁻³ , (b) t	12.0		X	32.0		VI	4.0	2.4	8.4		VI	2.3		IX	-2	0	-2
	3.0		IV	2.0		VII			1.6		IV	0.6		IV			
Ammonium - N (a) mg m ⁻³ , (b) t	35.0		XI	36.0		V	6.3	13.4	16.5		XI	7.2		XI	7	-4	11
	3.0		VIII	1.0		VIII			2.3		VIII	0.9		VIII			
Silikat (SiO₂) (a) mg l ⁻¹ , (b) t	4.0		I	10.4		X	1616.1	1754.2	1844.3		III	793.7		I	138	-586	724
	0.6		VII	2.3		XI			936.6		VII	163.2		VII			
Calcium (a) mg l ⁻¹ , (b) t	52.1		V	54.5		II	2604.3	2513.6	2621.0		II	1099.0		II	-45	-242	197
	37.1		VIII	46.7		XI			2025.2		IX	810.3		VIII			
Chlorid (a) mg l ⁻¹ , (b) t	6.8		V	8.8		II	2923.1	2865.4	3131.7		V	1303.6		V	-58	-524	466
	3.8		X	4.5		XII			2370.8		IX	838.2		X			

Parameter	Messwerte				Stoffinhalt						Stoffbilanz		
	(a)				(b)						(b)		
	Epilimnion (0-10 m)		Seebodennähe (1m über Grund)		See total			Epilimnion (0-10 m)			Beginn bis Ende Seejahr	22.01.2001 bis 20.08.2001	20.08.2001 bis 30.01.2002
Maximum	Zeit	Maximum	Zeit	Beginn 22.01.2001	Ende 30.01.02	Maximum	Zeit	Maximum	Zeit				
Minimum		Minimum				Minimum		Minimum					
Kohlenstoff anorg. (a) mg l ⁻¹ , (b) t	30.7	V	32.0	II,X	1503.6	1467.0	1551.9	III	657.2	III	-37	-237	200
	22.3	VIII	27.3	XI			1277.8	VIII	489.0	VIII			
Säurekapazität KS 4,3 (a) mmol l ⁻¹ , (b) 10 ³ kmol	2.6	V	2.7	II,X	126.4	123.3	130.4	III	55.2	III	-3	-20	17
	1.9	VIII	2.3	XI			107.4	VIII	41.1	VIII			
UV - Extinktion m ⁻¹ (260 nm), d = 5 cm	0.043	XI	0.041	I									
	0.028	IX,X	0.032	XI,I									
elektr. Leitfähigkeit µS cm ⁻¹ , 20 °C	298.0	II,V	323.0	II									
	233.0	VIII-IX	269.0	XI									
pH-Wert	8.5	IV	8.4	IV									
	7.9	IX	7.7	X									
Chlorophyll a+b mg m ⁻³	7.26	IV	7.77	IV									
	1.89	XII	0,76	VI									

Tabelle 6

Vergleich von Messwerten der verschiedenen Teile des Bodensee - Untersees
Seejahr 2001 / 2002 an den Stationen Zellersee (Z), Rheinsee Station Berlingen (R)

Messwerte in " 0 " m		Z	R
Temperatur in °C	Maximum	22.4	22.0
	Minimum	2.9	4.4
Sauerstoff in mg O ₂ l ⁻¹	Maximum	12.4	12.8
	Minimum	9.8	10
pH in pH-Einheiten	Maximum	8.6	8.4
	Minimum	8.2	7.9
Orthophosphat in mg PO ₄ -P m ⁻³	Maximum	17.5	8.0
	Minimum	1.4	1.0
Phosphor partikulär in mg P m ⁻³	Maximum	12.2	10.0
	Minimum	4.2	4.0
Nitrat in mg NO ₃ -N m ⁻³	Maximum	1262.0	1020.0
	Minimum	416.0	490.0
Ammonium in mg NH ₄ -N m ⁻³	Maximum	34.7	35.0
	Minimum	4.4	3.0
Eisen total in mg Fe m ⁻³	Maximum	46.7	—
	Minimum	3.8	—

Messwerte in Seebodennähe

		Z	R
		22 - 24m	44 - 46m
Temperatur in °C	Maximum	12.1	8.8
	Minimum	6.0	4.3
Sauerstoff in mg O ₂ l ⁻¹	Maximum	11.8	12.2
	Minimum	0.9	1.3
pH in pH-Einheiten	Maximum	8.4	8.4
	Minimum	7.5	7.7
Orthophosphat in mg PO ₄ -P m ⁻³	Maximum	109.3	46.0
	Minimum	1.4	1.0
Nitrat in mg NO ₃ -N m ⁻³	Maximum	1430.0	1280.0
	Minimum	524.0	600.0
Ammonium in mg NH ₄ -N m ⁻³	Maximum	69.8	36.0
	Minimum	3.9	1.0
Eisen total in mg Fe m ⁻³	Maximum	117.4	—
	Minimum	14.9	—

ANHANG

Bericht über die Untersuchungen zum Seebodenzustand im Jahr 2001

1. Untersuchungen im Transekt Fischbach-Uttwil

Bei der 37. Kommissionstagung im Jahr 1991 wurde beschlossen, regelmäßig Seebodenuntersuchungen am Transekt zwischen Fischbach und Uttwil (Abb.1) durchzuführen. Die Untersuchungen haben folgende Hauptziele:

- Beschreibung der Verhältnisse und Veränderungen am Seeboden
- Rekonstruktion der Ablagerungsbedingungen für verschiedene Inhaltsstoffe
- Erfassung der Reaktion des Seebodens auf Trophieänderungen im See
- Abschätzung des Phosphor Rücklösungspotentials

Nach den Bestandsaufnahmen 1992-94 und 1999 wurden die Untersuchungen im März 2001 fortgesetzt. Wie bisher wurde an 5 Stationen Sedimentmaterial mittels Gravitationslot und Greifer entnommen, dokumentiert und anschließend beprobt. Für Korngrößenanalyse und Beschreibung der mineralischen Zusammensetzung wurden die oberen 6 cm der entnommenen Sedimentkerne verwendet. Die Zusammensetzung des Oligochaetenbestandes wurde an jeder Station aus den oberen 15 cm von 3 repräsentativen Greiferproben bestimmt. Die Bestimmung der Pigmente, des Phosphorgehaltes sowie erstmals auch des Adenosintriphosphat (ATP) Gehaltes und der Bakteriendichte erfolgte in den oberen 4 cm. Die neuen Parameter wurden zur Vorerkundung für die geplante Schwerpunktuntersuchung des Seebodens (2002-2005) in die jetzige Untersuchung aufgenommen



Abb. 1: Lage der Probenpunkte

Sedimentologische Untersuchungen

Die makroskopischen Sedimentstrukturen der 2001 entnommenen Kerne gleichen denen der Kampagnen 1992-94 und 1999. Der Sedimentzuwachs seit März 1999 liegt bei den Kernen 1, 2 und 3 (nördliche Seehälfte und Seemitte) zwischen 20 und 30 mm und bei den Kernen 4 und 5 (südliche Seehälfte) bei ca 10 mm. Diese Zunahme übersteigt die langjährige Durchschnittssedimentation von 3-4mm (Stationen 1-3) bzw. 1mm (Stationen 4 und 5) um das 4 bis 5 fache und läßt sich auf den Einfluß des Hochwassers im Mai 1999 zurückführen. Insgesamt belegen die Sedimentationsraten weiterhin die Rheinzufußdominanz im nördlichen Obersee.

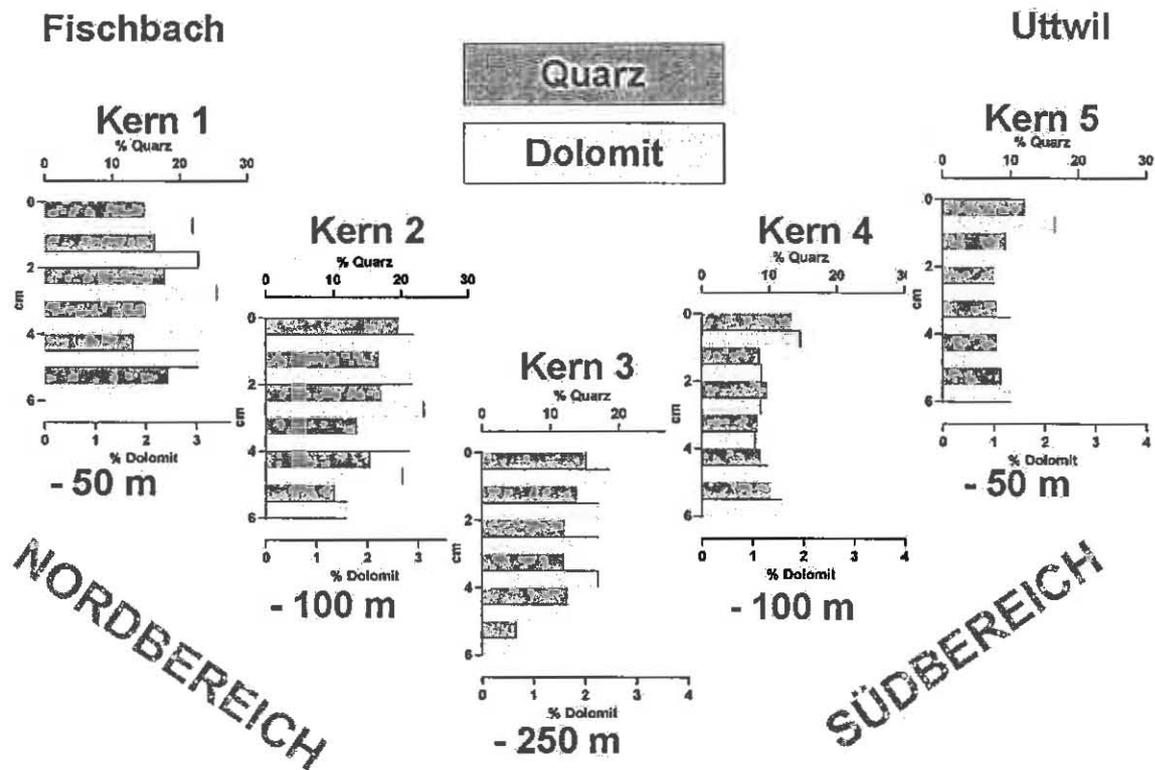


Abb. 2: Verteilung der Minerale Quarz und Dolomit

Die Messwerte für anorganischen und organischen Kohlenstoff, Gesamtschwefel und Korngrößen zeigen ähnliche Verläufe wie bei den früheren Erhebungen.

Auch die Mineralgehalte spiegeln im wesentlichen die Dominanz zuflußbürtiger Ablagerungen in der nördlichen und zentralen Seehälfte (hohe Dolomit- und Quarzgehalte) und Vorherrschen der see-eigenen Ablagerungen im südlichen Transekt (höhere Calcitgehalte aus der biogenen Kalkfällung) wider.

Bei den Südstationen 4 und 5 wurden in der obersten Sedimentschicht die höchsten seit 1993 beobachteten Werte für Dolomit und Quarz gemessen (Abb. 2). Dieser Anstieg flußbürtiger Minerale ist neben der überdurchschnittlichen Sedimentationsrate ein weiteres Indiz für Ablagerungen des Hochwassers vom Mai 1999.

Phosphor-Fraktionen

Für die P-Gehalte ergaben sich gegenüber den vorangegangenen Untersuchungen vor allem im Hinblick auf die Nord-Süd Unterschiede auffällige Änderungen. Zwar bewegten sich die Gesamtgehalte im nördlichen Bereich in ähnlichen Größenordnungen wie 1999, jedoch war der bisher stets beobachtete Abfall bei den südlichen Stationen nicht zu beobachten (Abb. 3). Die Änderungen des horizontalen Musters sind auch von auffälligen vertikalen Verteilungsänderungen der reduktiv (unter sauerstofffreien Bedingungen) löslichen P-Fraktion begleitet. Für diese wurde 2001 in der Schichten von 1 – 2 cm Tiefe ein Maximum gefunden, während sonst stets der oberste Zentimeter die Maximalkonzentration aufwies. Es liegt nahe, diese Änderungen ebenfalls im Zusammenhang des Hochwasser 1999 zu sehen, bei dem erhebliche Mengen von partikulärem (vermutlich vorwiegend Fe-gebundenen) Phosphor mit Flußschwebstoffe eingetragen wurden, deren horizontale Ablagerung sich bei diesem Ereignis offensichtlich auch verstärkt auf die südlichen Beckenbereiche erstreckt hat (siehe auch sedimentologische Befunde). Zusätzlich können solche vertikalen Änderungen auch durch fortschreitende Reoligotrophierung verstärkt werden: Mit tiefer wandernder Redoxsprungschicht wird auch die Rücklösungsschicht in untere Sedimentschichten verlagert, die als Eisenfalle wirkenden oxischen Schichten des Sedimentes werden ausgeweitet. Wegen der somit geringeren Rücklösung kommt es auch zu einer Nivellierung des Nord-Südunterschiedes.

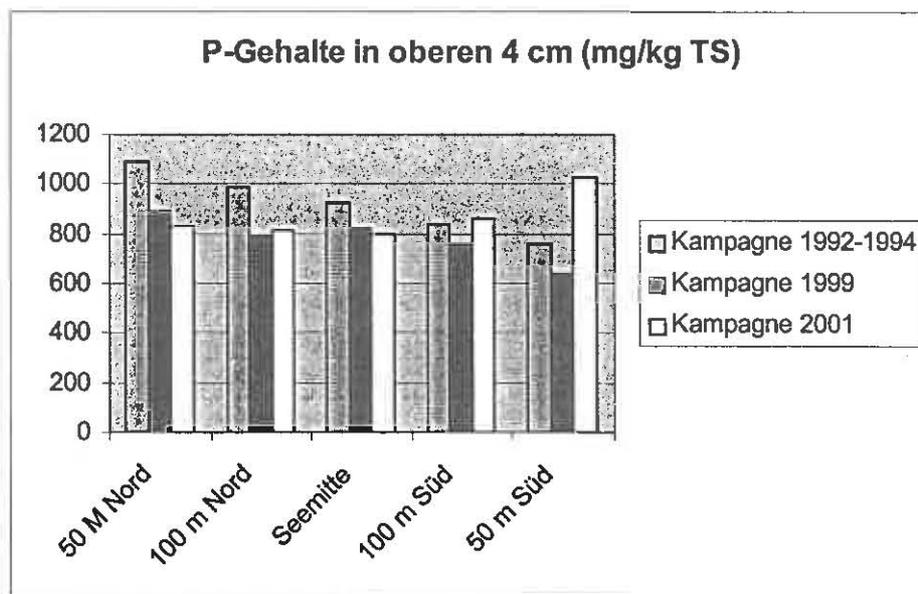


Abb. 3: Phosphorverteilung 1992, 1999, 2001

Zusammensetzung der Oligochaetenpopulationen (Schlammröhrenwürmer)

Die horizontale Verteilung der Gesamtmenge zeigte an allen Stationen deutlich höhere Individuendichten als 1992-94 und 1999, besonders ausgeprägt war der

Unterschied an Seemitte. Gleichgeblieben ist der abnehmende Trend auf den südlichen Stationen (Abb. 4). Im Vergleich zu diesen auffälligen Abundanzunterschieden blieb die Zusammensetzung der Oligochaeten unverändert. Es wurde auch das Fehlen des früher regelmäßig beobachteten *Limnodrilus profundicola* und das 1999 erstmals dokumentierte Auftreten der geringe Belastungen anzeigenden Art *Stylodrilus heringianus* bestätigt.

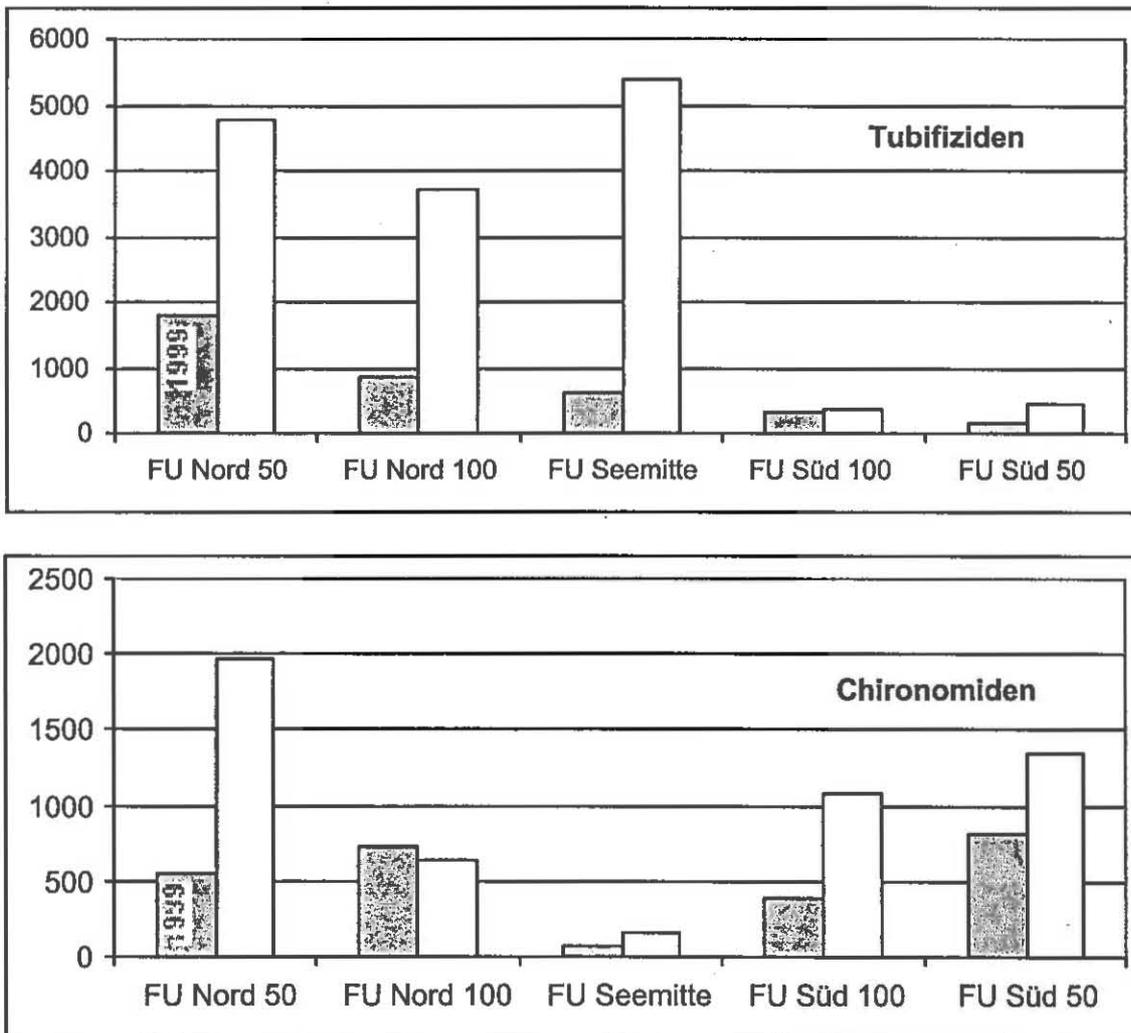


Abb. 4: Verteilung von Chironomiden und Tubificiden (Individuen/ m²)

Die Chironomiden zeigten wieder ein auffälliges Minimum in Seemitte und Zunahmen zu den ufernäheren Stationen.

Pigmente

Mit den absinkenden Algen werden auch deren Pigmente (Chlorophyllderivate und Carotinoide) in den Sedimenten abgelagert, wo sie je nach Abbaubarkeit längere oder kürzere Zeit nachzuweisen sind. Insofern sind die Pigmente einerseits sehr

gute Zeiger für autochthone Einträge und können z.T. auch für die Interpretation der Trophie-Entwicklung des Sees verwendet werden.

Ein Beispiel für ein vergleichsweise kurzlebige Pigment ist Fucoxanthin (Abb. 5). Es ist das Leitpigment für die im See häufigen Diatomeen und Chrysophyceen. Dieses hat an allen Stationen im obersten Zentimeter ein Maximum und nimmt nach unten steil ab. Ähnlich ist die Verteilung des relativ kurzlebigen Chlorophyllabbauproduktes Phaeophorbid. Demgegenüber zeigt Alloxanthin (Leitpigment für die Cryptomonaden) ein unregelmässigeres vertikales Verteilungsmuster mit einem Trend zur Zunahme nach unten (Abb. 5). Ähnliche Muster zeigen Chlorophyll a und b und das grünalgenpezifische Pigment Lutein. Insgesamt sind in der Station Seemitte die höchsten und in den südlichen Stationen höhere Pigmentkonzentrationen als in den nördlichen Stationen gefunden worden. Diese Unterschiede können am ehesten durch „Verdünnung“ mit pigmentfreien Flußschwebstoffen erklärt werden.

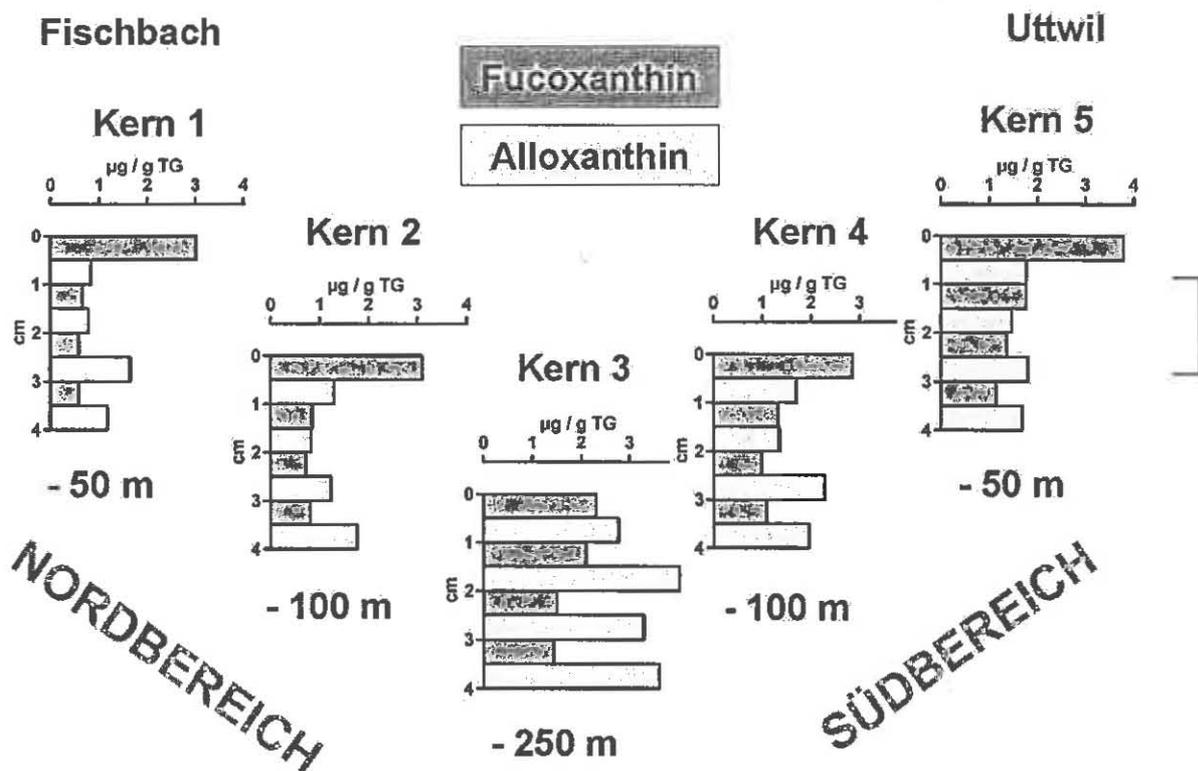


Abb. 5: Verteilung von Pigmenten

Heterotrophe mikrobielle Parameter

Sedimente sind wegen der Ablagerung organischen Materials auch Orte intensiven Abbaugeschehens. Dieses kann deshalb auch über die Erfassung mikrobieller Parameter wie Adenosintriphosphat (ATP = das Nukleotid Adenosintriphosphat) als Maß für mikrobielle Biomasse) oder Bakterienzahl angezeigt werden.

Alle Parameter (mit Ausnahme der fäkalen Streptokokken) zeigen Konzentrationsabnahmen nach unten, am stärksten bei E.coli, das nur im obersten Zentimeter nachgewiesen wurde (Abb. 6). Diese Abnahme kann als Abbild verringerter biotischer Aktivität bzw. als Hinweis auf die Kurzlebigkeit (E.coli) der Einträge interpretiert werden. Für alle Parameter wurden starke Nord-Süd-Unterschiede festgestellt: am stärksten bei Fäkalbakterien, am schwächsten bei Gesamtkeimzahl. Diese Nord-Süd-Unterschiede können durch Verdünnung (Adenosintriphosphat ATP) bzw. vorrangigen Eintrag über Flussschwebstoffe (E.coli und Streptokokken) erklärt werden. Für Adenosintriphosphat (ATP) und Gesamtbakterienzahl war ein Maximum in Seemitte festzustellen, was wie bei den Pigmenten auf einen Trichtereffekt hinweist.

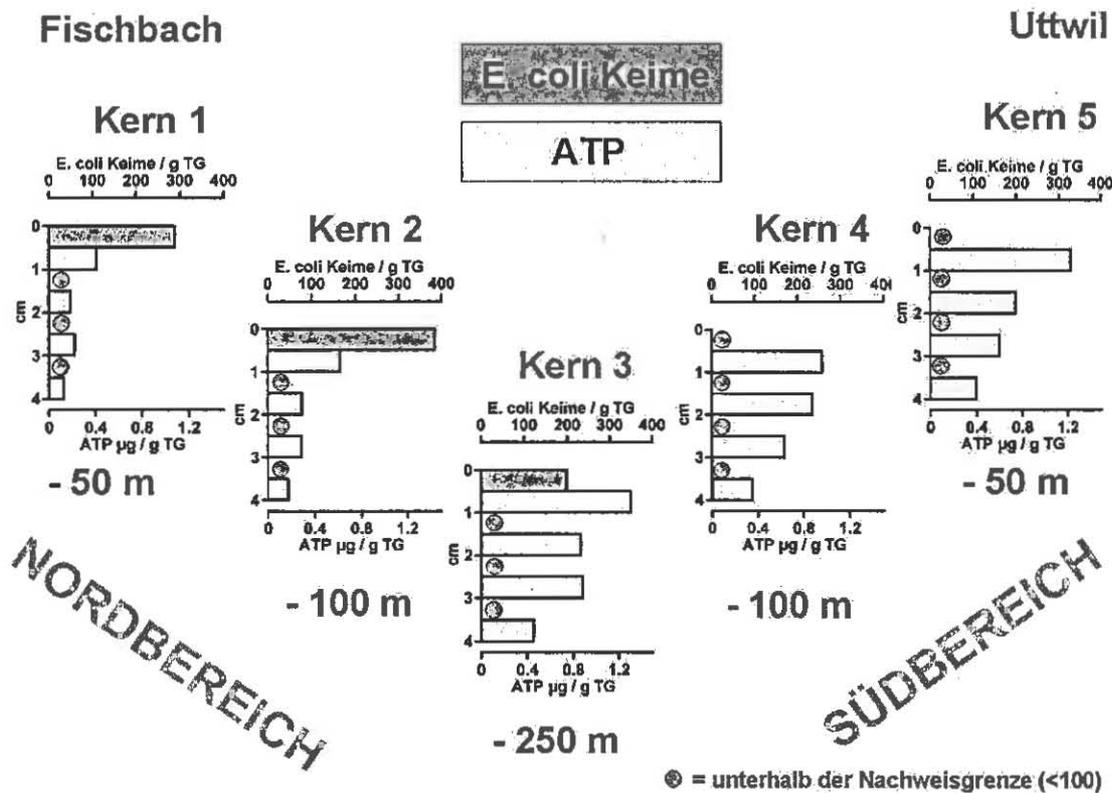


Abb. 6: Verteilung von Keimen und Adenosintriphosphat (ATP)

Zusammenfassende Bewertung

Auffällige Musteränderungen legen einen stärkeren (als bisher angenommen) Einfluß des Hochwassers 1999 auf den Seeboden nahe. Der Vergleich mit den unmittelbar nach dem Hochwasser 1999 erhobenen Sedimentbestandsaufnahmen, weist darauf hin, daß sich die Sedimentation der damals erfolgten Einträge noch über längere Zeiträume erstreckt hat und / oder dass das Hochwasser Auslöser für

veränderte Sedimentations- und Resuspensionsprozesse im See war. Insgesamt unterstreichen die Untersuchungen die Notwendigkeit der Wiederaufnahme see-weiter Bestandsaufnahmen des Seebodens, die bereits vom FB See konzeptionell vorbereitet wurde. Infolge der „Störung“ durch das Hochwasser wurden die zuvor erhaltenen Hinweise für die Auswirkungen der Reoligotrophierung des Sees 2001 (Grüner Bericht 27) teilweise verdeckt.

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 14

A-6901 Bregenz
- Schweiz: Bundesamt für Umwelt,
Wald und Landschaft (BUWAL)

CH-3003 Bern

