Internationale Gewässerschutzkommission

für den

Bodensee

Limnologischer Zustand des Bodensees

Nr. 24

Jahresbericht Januar 1996 bis März 1997

ISSN 1011-1271

ISSN 1011-1271 Jber.Int.Gewässerschutzkomm. Bodensee: Limnol.Zust.Bodensee
24 (1998)

Internationale Gewässerschutzkommission
für den
Bodensee

Limnologischer Zustand des Bodensees

Nr. 24

Jahresbericht Januar 1996 bis März 1997

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 1996/97. 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. Dietmar 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 (Gesamtkoordination)
Dr. Henno Roßknecht, Langenargen
Dipl.-Chem. Walter Schnegg, Frauenfeld
Dr. Hans Bernd Stich, Langenargen
Dr. Benno Wagner, Bregenz

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 Umweltschutz und Wasserwirtschaft des Kantons Thurgau, Frauenfeld:
Terminfahrten, Messungen und Untersuchungen des Chemismus und des Phytoplanktons im Untersee-Rheinsee.

Institut für Seenforschung der Landesanstalt für Umweltschutz Baden- Württemberg, Langenargen:
Terminfahrten und Messungen, Untersuchungen des Chemismus, des Phyto- und Zooplanktons im Obersee und Untersee-Zellersee, bakteriologische Untersuchungen; 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..

I n h a l t

	Seite	Abb.	Tab.
Einleitung	5	1	1
Zustandsbeschreibung für das Seejahr 1996/1997 (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)			
Obersee			
Abbildungen und Tabellen			
Witterung		6	
Wasserstände		7	
Thermik		8, 9	2
Sauerstoff		10, 11	2
Orthophosphat		12, 15, 23	2
Andere Phosphorverbindungen		13, 14, 15, 23, 24	2
Nährstoffinhalt		15, 23	2
Nitrat		16, 23	2
Nitrit		17, 23	2
Ammonium		18, 23	2
Stickstoff partikulär		19, 24	2
Silikat		20, 23	
Anorganische Kohlenstoffverbindungen und Kalk-Kohlensäure-Gleichgewicht		21, 22, 23	2
Eisen und Mangan		25	2
Weitere Stoffdaten			2
Phytoplankton		26 - 28	
Zooplankton		29 - 31	
Bakterienplankton		32	

Untersee	Zellersee		Rheinsee	
Abbildungen und Tabellen	Abb.	Tab	Abb.	Tab
Thermik	33, 34	4	53, 54	5
Sauerstoff	35, 36	4	55, 56	5
Orthophosphat	37, 40, 45, 46	4	57, 60, 65, 66	5
Andere Phosphorverbindungen	38, 39, 40, 45	4	58, 59, 60, 65	5
Nährstoffinhalt	40, 45	4	60, 65	5
Nitrat	40, 41, 45, 46	4	60, 61, 65, 66	5
Nitrit	42	4	62	5
Ammonium	40, 43, 45, 46	4	60, 63, 65, 66	5
Silikat	44, 45, 46	4		5
Anorganische Kohlenstoff - verbindungen und Kalk - Kohlensäure - Gleichgewicht	47, 48	4	67, 68	5
Eisen	46, 49	4		5
Weitere Stoffdaten		4		5
Phytoplankton	50 - 52, 71	4	69, 70	5

Vergleich des limnologischen Zustandes an verschiedenen Untersuchungsstationen im

Obersee	Tab. 3
Untersee	Tab. 6

Auskünfte

EINLEITUNG

Der Bericht zum Seejahr 1996/97 enthält eine kurze Beschreibung des aktuellen Seezustandes, ergänzt durch langfristige Entwicklungskurven der wichtigsten Größen, die von Jahr zu Jahr fortgeschrieben werden.

Die dann folgenden Abbildungen und Tabellen geben eine Übersicht über Örtlichkeiten, Wassertiefe und Zeitpunkt der Probenahme und Messungen sowie über die Klimabedingungen, Thermik, chemische und biologische Verhältnisse im Freiwasser. Für den Bodensee-Obersee beschränken sich diese Darstellungen hauptsächlich auf die zentrale Untersuchungsstation Fischbach-Uttwil. Aus den Ergebnissen dieser Untersuchungsstelle wurden auch die Stoffinhalte des Obersees unter Verwendung der in Tabelle 1 des Berichtes Nr. 9 (grüner Bericht, 1. Aufl. 1985) mitgeteilten Seevolumina berechnet. Quervergleiche zwischen verschiedenen Obersee-Untersuchungsstationen werden nur für einige ausgewählte Parameter durchgeführt.

Für den Bodensee-Untersee werden die Zustände im Zellersee und Rheinsee behandelt. Für die Tabellen wurden charakteristische Summenwerte, z. B. der Stoffinhalt des ganzen Sees, eines Seeteils oder bestimmter Wasserschichten sowie Konzentrationsmaxima und -minima in der Oberflächenschicht oder über dem Seeboden ausgewählt.

Die Datentabellen mit den gesamten Meßwerten für den Freiwasserbereich (Physik, Chemie, Phytoplankton) wurden nach Archivierung auf Datenträgern bei der Eidgenössischen Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EAWAG) und beim Institut für Seenforschung der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, den damit direkt befaßten Stellen zugestellt.

Das jeweilige limnologische Zustandsbild des Freiwassers wird stark durch die Witterungserscheinungen geprägt. Zustandsänderungen von Jahr zu Jahr dürfen daher nicht von vornherein als Ausdruck einer Entwicklungstendenz interpretiert werden. Dazu sind längere Zeitreihen in Form von Trendkurven notwendig. Dies ist beim Vergleich der Verhältnisse aufeinanderfolgender Jahre zu beachten.

ZUSTANDSBESCHREIBUNG FÜR DAS SEEJAHR

1996/1997

Bodensee-Obersee:

Zusammenfassend ist festzustellen, daß die Phosphorkonzentration im Seejahr 1996/97 weiter abnahm und im Frühjahr 1997 18 mg/m³ erreichte (1996: 22 mg/m³). Der Gehalt an anorganischem Stickstoff - im wesentlichen Nitrat - reduzierte sich leicht von 1,01 auf 0,97 g/m³. Die Biomasse des Phytoplanktons lag 1996 mit 13,4 g/m² über dem Vorjahreswert, jedoch noch im Schwankungsbereich der Vorjahre. Die Sauerstoffgehalte im tiefen Hypolimnion lagen von März 1996 bis Februar 1997 dank der wirkungsvollen Zirkulation im Frühjahr 1996 generell höher als im selben Zeitraum ein Jahr zuvor. Der Minimalwert in einem Meter über Grund war 1996 mit 6,5 g/m³ ebenfalls höher als 1995 (6,1 g/m³).

Die **hydrologische Situation** war trotz des nur mäßig kalten Winters und der über das Seejahr insgesamt nur um 0,3°C zu kalte Lufttemperatur von einer durchgreifenden Abkühlung gekennzeichnet. Diese Abkühlung war durch den sehr kalten Winter im vorangegangenen Seejahr 1995/96, nach einer vorangegangenen sehr warmen Gesamtsituation des Sees, eingeleitet worden. Insgesamt waren im vergangenen Winter 38 Tage mit Frost im Tagesmittel zu verzeichnen gegenüber 63 im Winter 1995/96.

Die Oberflächentemperaturen des Sees waren bis Anfang September niedriger als im gleichen Vorjahreszeitraum, lediglich Ende April 1996 lag sie - bedingt durch warme Witterung - mit 11,7 °C um über 4°C höher als im Vorjahr. Das Maximum trat mit 21,4°C Ende Juli 1996 ein. Die kälteren Oberflächentemperaturen, verglichen mit der Vorjahressituation, setzten sich Anfang September 1996 wieder fort. Durch die strenge Frostperiode ab Weihnachten 1996 bis zur 2. Hälfte Januar 1997 sank die Oberflächentemperatur bis zur 1. Hälfte Februar 1997 auf den minimalen Wert des Seejahres von 4,3°C.

Die Deckschicht hatte sich bis zum Einsetzen der massiven Abkühlung Weihnachten 1996 bis 35 m Tiefe erstreckt, was nur etwa der halben Mächtigkeit des entsprechenden Vorjahreswertes entsprach. Durch die Frostperiode bis zur 2. Hälfte Januar 1997 vertiefte sich die Deckschichtkonvektion bis auf 90 m.

Das Hypolimnion wurde durch zunehmende seitliche Kaltwassereinmischungen ab Mitte dieses Monats, als das Wasser in Bodennähe noch die in diesem Seejahr höchste Temperatur von 4,47°C erreichte, teilweise erneuert. Infolge der tiefen, z.T. auch abgehoben vom Boden verlaufenden seitlichen Zuströmungen, trat das Temperaturminimum in der bodennahen Wasserschicht Mitte Februar 1997 mit 4,28°C ein. Zu diesem Zeitpunkt war die Deckschicht bis 110 m Tiefe vorgedrungen. Die kälteste Situation mit Anzeichen voller vertikaler Durchmischung - bis auf eine wenige Meter dünne Schicht leicht wärmeren Wassers von 4,35°C am Boden - wurde Anfang März angetroffen. Die minimale Temperatur wurde hierbei mit 4,32°C im Tiefenhorizont von 200 m erreicht. Dabei hatte sich bereits bis 6 m Tiefe eine auf 4,9°C schwach erwärmte Deckschicht gebildet.

Der gegenüber dem langjährigen Mittel wärmere März 1997 bewirkte, daß die Deckschicht bis gegen das Monatsende auf 30 m Tiefe eindrang, aber bei 4,9°C verblieb. Im Hypolimnion wurde die nach der vollen Durchmischung ausgeglichene vertikale Temperatur insgesamt leicht angehoben, so daß die minimale Temperatur in 200 m Tiefe auf 4,33°C und diejenige am Boden auf 4,36°C stieg.

Die Konzentration des **Gesamtphosphors** im Rohwasser betrug im Frühjahr 1997 während der Monate Februar bis April im Mittel 18 mg/m^3 (Abb. 2A, Konzentration während der Vollzirkulation). Damit hat sich die Phosphorabnahme der letzten Jahre fortgesetzt (Frühjahr 1996: 22 mg/m^3; 1995: 24 mg/m;^{3} 1994: 29 mg/m^3).

Der **Orthophosphat-Phosphor** fiel von Ende Juni bis Anfang September 1996 in den Meßtiefen zwischen 0 und 20 m zeitweise unter 1 mg/m^3. Insgesamt wurden in diesem Tiefenbereich 2 mg/m^3 von Juni bis November nur selten überschritten.

Der **anorganische Stickstoff** (N aus NO_3^- + NO_2^- + NH_4^+) mit Nitrat als Hauptkomponente lag 1996 im volumengewichteten Jahresmittel mit 0,97 g/m^3 etwa auf dem Niveau der beiden Vorjahre (1995: 1,01 g/m^3; 1994: 0,97 g/m^3; Abb. 2C).

Chlorid als Indikator vielfältiger Salzbelastungen hat 1996 im volumengewichteten Jahresmittel mit 5,0 g / m^3 erneut leicht abgenommen (1995: 5,2 g / m^3; 1994: 5,3 g / m^3; Abb. 2C).

Die **Sauerstoffgehalte** waren von März 1996 bis Februar 1997 im tiefen Hypolimnion des Obersees von 200 - 253 m Tiefe überwiegend höher als im gleichen Zeitraum ein Jahr davor. Im März und April 1997 lagen hingegen die Konzentrationen unter jenen des Vorjahres. Der einen Meter über Grund gemessene Minimalwert (6,5 mg/l) wurde 1996 erst Ende Oktober erreicht, 1995 bereits im September mit 6,1 mg/l (Abb. 2B).

Das für den Sauerstoffgehalt des Sees entscheidende Ereignis im vergangenen Jahr war die tiefgreifende und sehr wirkungsvolle Zirkulation im Februar / März 1996. Der damit verbundene Sauerstoffeintrag ins tiefe Hypolimnion prägte die Sauerstoffentwicklung bis Februar 1997. Die anschließende Nachlieferung von Sauerstoff während der Zirkulation 1997 war nicht so umfangreich wie 1996, aber deutlich besser als 1995.

Der durchschnittliche Sauerstoffinhalt des Obersees der Monate März und April lag 1997 mit 520.000 t höher als im Vorjahr mit 506.000 t und etwas niedriger als 1995 mit 522.000 t. Dies rührt daher, daß vor allem im März 1996 von der Seeoberfläche bis in etwa 150 m Wassertiefe relativ geringe Sauerstoffkonzentrationen auftraten. Die bessere Sauerstoffversorgung der volumenmäßig weniger gewichtigen, für den See aber entscheidenden Tiefenzone von 150 m bis zum Grund konnte diesen Fehlbetrag nicht ausgleichen. Deshalb spiegelt sich die sehr gute grundnahe Situation 1996 im Sauerstoffinhalt des Sees nicht wider.

Das **Phytoplankton** im Bodensee-Obersee erreichte 1996 im Jahresmittel eine Biomasse von 13,4 g/m^2 (0-20 m Tiefe). Diese lag damit wieder höher als im Jahr 1995 mit einer Durchschnittsbiomasse von 10,0 g/m^2 (0-20 m Tiefe) und 1994 mit 10,2 g/m^2. Die Abnahme

der Durchschnittsbiomasse, die mit Ausnahme des Jahres 1993 kontinuierlich seit 1988 erfolgte, hat damit vorerst einen Stillstand erreicht (1993: 13,7 g/m^2; 1992: 11,8 g/m^2; 1991: 12,3 g/m^2; 1990: 16,3 g/m^2; 1989: 25,1 g/m^2; 1988: 29,9 g/m², Abb 3).

Im Laufe des Jahres 1996 erfolgten drei Maxima: Im Mai trat eine ausgeprägte Frühjahrsblüte auf mit einem Höchstwert von 35,8 g/m^2 am 7. Mai. Sie bestand vor allem aus Chrysophyceen, daneben auch aus centrischen Kieselalgen und Cryptophyceen. Während des Klarwasserstadiums im Juni fiel die Planktonkonzentration auf Werte um 5 g/m^2. Das folgende, länger andauernde Sommermaximum mit maximal 43,9 g/m^2 Anfang August bestand im Juli vor allem aus Chrysophyceen. Später traten pennate Kieselalgen und Dinoflagellaten in den Vordergrund. Anfang August waren auch kettenbildende Blaualgen beteiligt. Nach einem zweiten Minimum Anfang Oktober mit 4,8 g/m^2 folgte ein Herbstmaximum Ende Oktober / Anfang November mit Werten um 10 g/m^2. Dieses dritte Maximum bestand zum größten Teil aus pennaten Kieselalgen und Cryptophyceen. Die Biomasse sank Ende November auf 4 g/m^2 ab; Ende Dezember waren 3 g/m^2 erreicht (Abb. 27, 28).

Beim **Crustaceenzooplankton** weisen die vorliegenden Monatsmittelwerte auf eine weitere, wenn auch geringfügige Abnahme der monatlichen Abundanzen der Tiere hin. Wie auch bereits im Untersuchungszeitraum 1995/1996 sind die Werte auf die etwas niedrigeren Bestandsdichten der Copepoden zurückzuführen.

Auch die Jahresmittelwerte der Cladoceren waren 1996 etwas geringer. Bedingt durch die hohen Frühjahrsabundanzen (März bis Mai) war das Klarwasserstadium 1996 wieder deutlich ausgeprägt. Die Bestände der übrigen Cladocerengruppen (Bosmina, Bythotrephes, Leptodora) wiesen keine deutlichen Änderungen zu den Beständen im Untersuchungszeitraum 1995/96 auf.

Die Abnahme in den Bestandsdichten der Copepoden hat sich abgeschwächt, die herbivoren Copepodidstadien zeigten wieder einen leichten Anstieg der Abundanzen.

Auch bei carnivor lebenden Copepodengruppen unterschieden sich die Bestände nicht wesentlich von den Vorjahreswerten. Während des Frühjahrs (März bis Mai) konnte zwischen dem carnivoren Cyclops vicinus und den Rädertieren, insbesondere Synchaeta, eine signifikante Räuber - Beute - Beziehung nachgewiesen werden (Abb. 29 - 31).

Die **Bakterien** - bestimmt durch Direktzählung - zeigten innerhalb der Produktionszone (0 - 20 m) schon zu Ende März einen ersten Anstieg der Zelldichten und erreichten mit 9,6 x 10^6 Bakterien/ml im ersten Maidrittel das Frühjahrsmaximum. Das darauf folgende Minimum im Klarwasserstadium war mit 3,4 x 10^6 Bakterien/ml ausgeprägter als im Vorjahr. Dagegen bewegten sich die Konzentrationswerte während der Sommermonate durchweg zwischen 4 und 5 x 10^6 Bakterien/ml ohne Entwicklung eines ausgeprägten Maximums. Auch der sonst oft beobachtete kurzfristige herbstliche Zwischenanstieg wurde 1996 nicht beobachtet. Vielmehr sanken die Dichtewerte kontinuierlich ab September und erreichten schon im Januar das winterliche Minimum von 0,9 x 10^6 Bakterien/ml (Abb. 32).

Bodensee-Untersee:

Die **Phosphorkonzentration** - bestimmt als Gesamtphosphor im Rohwasser - hat 1996 im Rheinsee im Jahresmittel (volumengewichtet) auf 13 mg/m^3 abgenommen (1995: 19 mg/m^3; 1994: 22 mg/m^3). Im Zellersee wurde ein Rückgang von 33 auf 26 mg/m^3 beobachtet.

Der Inhalt an **anorganischem Stickstoff** (N aus NO_3^- + NO_2^- + NH_4^+) mit Nitrat als Hauptkomponente betrug 1996 im Rheinsee 0,84 mg/l (1995: 0,85 mg/l). Im Zellersee wurde eine leichte Abnahme auf 1,02 mg/l beobachtet (1995: 1,11 mg/l).

Die **Sauerstoffsituation** hat sich 1996 im Rheinsee und im Zellersee gegenüber dem Vorjahr kaum verändert. Im Rheinsee lagen die Sauerstoffkonzentrationen in Seebodennähe im Oktober bei 1,0 und im September bei 2,3 mg/l. Im Vorjahr hatten hier die Minimalkonzentrationen im Oktober bei 0,6 und im September bei 1,1 mg/l gelegen. Im Zellersee, der bis 1992 über Jahrzehnte hinweg einen zeitweiligen totalen Sauerstoffschwund aufwies, wurde auch 1996 bei allen Messungen ein geringer Sauerstoff - Restgehalt gemessen. Er lag von August bis Oktober zwischen 0,5 und 1,1 mg/l und damit etwas niedriger als im Vorjahr (1,4 und 1,7 mg/l).

Beim **Phytoplankton** im Zellersee setzte sich der bereits im Vorjahr (1995) beobachtete Aufwärtstrend fort. Die Biomasse im Jahresmittel stieg auf 15,9 g/m^2 (0 - 20 m Tiefe) an nach 15,2 g/m^2 im Jahr 1995 (1994: 10,5 g/m^2; 1993: 13,8 g/m^2; 1992: 13,7 g/m^2; 1991: 18 g/m^2, 1990: 20,2 g/m^2; 1989: 27,6 g/m^2, 1988: 52,1 g/m^2).

Bereits Anfang Februar 1996 stieg die Biomasse auf Werte um 18 g/m^2 an, Ende Februar auf 21,8 g/m^2. Vor allem centrische Diatomeen und Cryptophyceen bildeten den Hauptanteil. Nach einem kurzen Absinken Anfang März setzte eine sehr starke und den ganzen März und Anfang April andauernde Frühjahrsblüte ein, die ihr Maximum Mitte April mit 43,3 g/m^2 erreichte. Sie bestand hauptsächlich aus pennaten und centrischen Kieselalgen, Cryptophyceen und Dinoflagellaten. Das Klarwasserstadium wurde erst Mitte Juni erreicht und war sehr ausgeprägt mit einem Minimalwert von 5,6 g/m^2. Ende Juli trat ein drittes, etwas niedrigeres Maximum mit 39,3 g/m^2 ein, das vor allem aus Grünalgen, pennaten Kieselalgen und Chrysophyceen bestand. Nach einem leichten Absinken Ende August erfolgte Anfang September das vierte Maximum mit Werten um 20 g/m^2. Es bestand hauptsächlich aus Cryptophyceen. Mitte September sank die Biomasse wieder leicht ab, stieg dann Ende Oktober wieder an und erreichte Anfang November das fünfte Maximum mit 14,5 g/m^2, das vor allem aus Cryptophyceen bestand. Die Biomasse sank dann auf Werte um 7 g/m^2 ab, stieg Anfang Dezember auf ein sechstes Maximum mit Werten um 11 g/m^2 an und sank Mitte Dezember auf 8 g/m^2 ab. Die Blaualgen spielten im Untersee während des gesamten Jahres 1996 nur eine untergeordnete Rolle (Abb. 51, 52).

Gesamtbewertung des Seezustands

1. Grundlagen

Das größte Problem der letzten Jahrzehnte war die Eutrophierung des Sees durch steigende Zufuhr von Phosphorverbindungen. Die Verminderung des Phosphoreintrages steht daher seit der Gründung der IGKB im Vordergrund der Reinhaltemaßnahmen. Zur Effektivitätskontrolle dieser Maßnahmen ist der Verlauf der Phosphorkonzentration ein wichtiger Indikator. Der eigentliche Sanierungserfolg kann jedoch nur an der Reaktion des gesamten Seezustandes auf die verminderte Phosphorzufuhr abgelesen werden. Der Zustand des Ökosystems Bodensee wird allerdings auch von weiteren Faktoren wie z.B. den Witterungsbedingungen und vielfältigen Nutzungen wesentlich mitbestimmt. Sie sind daher bei einer Gesamtbewertung ebenfalls zu berücksichtigen.

Bei der folgenden Bewertung steht die trophische Entwicklung des Sees im Mittelpunkt. Sie baut vor allem auf den kontinuierlich erhobenen Daten der Freiwasseruntersuchungen auf. Zusätzlich werden die Ergebnisse der in den letzten Jahren durchgeführten Seebodenuntersuchungen und der Makrophytenkartierung in der Flachwasserzone herangezogen. Auch bakterielle Verunreinigungen und Maßnahmen zur Schadensabwehr werden mit einbezogen. Weitere wesentliche Einflußbereiche wie z.B. Landwirtschaft, Tourismus, Verkehr, Schiffahrt und Siedlungsentwicklung werden bei einer späteren umfassenden Gesamtbeurteilung berücksichtigt.

2. Leitziel

Gemäß den Richtlinien für die Reinhaltung des Bodensees vom 27.5.1987 soll der See in einen Gütezustand zurückgeführt werden, der sowohl gegenüber anthropogenen Einflüssen als auch gegenüber ungünstigen Witterungsbedingungen stabil ist. Dazu ist die Qualität des Freiwassers, der Flachwasserzone und des Seebodens der Tiefenzone zu verbessern. Anzustreben sind dazu u.a. ein geringstmöglicher Gehalt an Dünge- und Schadstoffen im See, ausreichender Sauerstoffgehalt im Tiefenwasser und intakte Flachwasserbereiche. Im Sinne einer Erfolgskontrolle müssen daher diese Bereiche im Zentrum einer Zustandsbewertung stehen.

Nur bei einem ökologisch intakten See sind Nutzungsansprüche wie z.B. Trinkwassergewinnung, Fischerei und Freizeitaktivitäten in einem verträglichen Rahmen dauerhaft gesichert.

3. Trophischer Zustand

3.1 Nährstoffverhältnisse

Der **Phosphorgehalt** im Freiwasser des Bodensees ist weiterhin rückläufig. Der Zirkulationswert (Mittel von Februar bis April) ging von 1996 bis 1997 von 22 auf 18 mg/m³ zurück. Dies ist in erster Linie den gemeinsamen Anstrengungen aller Staaten im Einzugsgebiet des Bodensees zu verdanken.

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, auf welchen Wert der Phosphorgehalt im See weiter gesenkt werden muß, um auch nach einer Reihe von klimatisch ungünstigen Jahren gute Sauerstoffverhältnisse im Tiefenwasser zu sichern. Zur Beantwortung dieser Frage wurde ein dynamisches Simulationsmodell entwickelt, das die Eingrenzung einer "tolerierbaren

Phosphorfracht" ermöglichen soll (IGKB-Blauer Bericht Nr. 44; 1993). Dazu muß es jedoch zunächst an die neuesten See- und Zuflußdaten angepaßt werden. Hinweise auf eine anzustrebende geringstmögliche Phosphorkonzentration geben auch die im See vor der Eutrophierung gemessenen Werte, die sogar noch zu Beginn der 50er Jahre im Bereich unter 10 mg/m³ lagen.

Die Jahresmittelwerte des anorganischen **Stickstoffgehaltes** (Ammonium-, Nitrit- und Nitratstickstoff) im Freiwasser des Obersees schwanken seit 9 Jahren im Bereich von 0,97 bis 1,01 mg/l. Damit ist offensichtlich ein weiterer Anstieg vorerst gebremst. Wegen der Rolle des Phosphors als hauptsächlich wachstumslimitierendem Düngestoff haben die Stickstoffverbindungen, abgesehen vielleicht von lokalen Belastungssituationen, kaum einen Einfluß auf das Algenwachstum. Möglicherweise wird jedoch das Artenspektrum der Algen durch das gegenüber früheren Jahren veränderte N:P-Verhältnis beeinflußt (vgl. IGKB - grüner Bericht Nr. 16, 1990).

3.2 Plankton-Lebensgemeinschaften

Änderungen in der **Qualität** der Artenzusammensetzung des Phytoplanktons zeigten schon sehr frühzeitig eine biologische Reaktion im See auf die Reduktion der Phosphorzufuhr an (IGKB - Blauer Bericht Nr. 39; 1989). Seit Mitte der 80er Jahre wurden zunehmend auffällige Verschiebungen hin zu Arten beobachtet, die zuletzt vor der Eutrophierungsphase vorhanden waren und für nährstoffärmere Verhältnisse charakteristisch sind.

Im Gegensatz dazu lagen aber trotz der erreichten Phosphorabnahme lange keine gesicherten Hinweise für die als Hauptziel der Phosphorreduktion angestrebte Abnahme der **Quantität** der Biomasse und ihrer Produktion im See vor. Noch bis Ende der 80er Jahre bewegte sich die durchschnittliche Algenbiomasse bei großer Schwankungsbreite gehäuft über 20 g/m², einem vergleichbar hohen Niveau wie während des P-Maximums 1975-80. Allerdings zeigten sich bereits in den 80er Jahren deutliche Änderungen der **zeitlichen Verteilung** der Biomasse. Vor allem wurden während der Sommermonate in der Regel keine starken Algenentwicklungen mehr beobachtet. Seit Beginn der 90er Jahre zeichnen sich jedoch auch deutliche Wirkungen auf die Gesamtbiomassenentwicklung ab. Seit 1992 liegen die Jahresdurchschnittswerte zwischen 10 und 14 g/m². Die **Primärproduktion**, die 1984/85 72 bzw. 79 mg/m²/h C im Mittel betrug, lag 1995/96 bei 45 bzw. 47 mg/m²/h C (C=fixierter Kohlenstoff durch die Algen).

Verringerte Biomasse und Produktion haben zu einem Rückgang der absinkenden Reste der biologischen Produktion des Sees geführt. Dies wird durch die 1995/96 durchgeführten Sedimentationsmessungen im Vergleich zu 1985/86 bestätigt.

Auch beim **Crustaceen - Zooplankton** ist neben Verschiebungen im Artenspektrum ein immer deutlicher werdender Rückgang der Individuendichten festzustellen.

3.3 Sauerstoffverhältnisse und Seebodenzustand

Die Sauerstoffgehalte im tiefen Seebereich hängen vor allem vom Umfang der pflanzlichen Produktion und von klimatischen Bedingungen ab. Insbesondere starke Abkühlungen und das dadurch verursachte Absinken oberflächennaher Wasserschichten und tief einschichtende Zuflüsse 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.und kann sich jederzeit wiederholen. In dieser Phase waren die Phosphorwerte im tiefen Hypolimnion durch Rücklösung aus dem Sediment sogar wieder angestiegen.

Infolge der weiter abnehmenden Phosphorbelastung und der damit verbundenen reduzierten Biomassen im See ist die Sauerstoffversorgung des Seebodens seit Beginn der 90er Jahre deutlich verbessert. Diese **Entlastung des Seebodens** wird durch die seit 1992 erheblich verringerte Rücklösung von Mangan aus den Sedimenten dokumentiert.
Aus der Struktur der Sedimente selbst kann man allerdings noch nicht verläßlich auf die Wirkungen der laufenden Oligotrophierung schließen, wie die 1992-1994 durchgeführten Seebodenuntersuchungen ergeben haben. Es zeigte sich, daß in der oberen Sedimentschicht erhebliche Phosphorreserven vorhanden sind, die bei kritischen Sauerstoffverhältnissen in der Sediment-Wasser-Grenzschicht zu einer Rücklösung von Phosphorverbindungen ins Wasser führen. Bei dem allerdings unwahrscheinlichen Extremfall sauerstofffreier Verhältnisse über dem Sediment wäre mit einer zusätzlichen internen P-Belastung des Sees zu rechnen, die mindestens in der Größenordnung der derzeitigen jährlichen externen P-Zufuhr über die Zuflüsse liegt.

Der im Seejahr 1996/97 festgestellte Minimalwert des Sauerstoffs 1 m über Grund ist mit 6,5 mg/l zufriedenstellend. Allerdings wären beim derzeitigen Seezustand und ungünstigen klimatischen Bedingungen ohne weiteres wieder erheblich schlechtere Werte zu erwarten, die aerobe Abbauverhältnisse nicht in genügendem Umfang aufrechterhalten und damit auch wieder eine verstärkte P-Rücklösung aus dem Seeboden bewirken würden.

Die Besiedlungsdichte und Zusammensetzung der Bestände an **Oligochaeten** (Schlammröhrenwürmer) haben sich in den untersuchten Arealen im Vergleich zu den vorangegangenen Untersuchungen noch nicht erkennbar verändert.

3.4 Makrophyten

Die Ergebnisse der 1993 durchgeführten Makrophyten-Bestandsaufnahme in der **Flachwasserzone** des Bodensees im Vergleich mit den 1967 und 1978 durchgeführten Erhebungen dokumentieren in klarer Weise einen Rückgang der Trophie auch in diesem ökologisch sehr wertvollen Teilbereich des Sees. Sie gibt jedoch auch Hinweise darauf, daß örtliche Belastungen immer noch vorhanden sind und weiterer Handlungsbedarf zur Behebung solcher Beeinträchtigungen besteht.

4. Bakterielle Verunreinigungen

Die für fäkale Verunreinigungen typischen Indikatorbakterien Escherichia coli und coliforme Keime zeigen im Seewasser einen langfristig ansteigenden Trend (Mäckle et al.; 1997, im Druck). Sie fallen besonders im Bereich von Flußmündungen auf. Die Hauptursache liegt in einer noch unzureichenden Rückhaltung von Regenwasser in Kanalsystemen und damit in erhöhten Einträgen aus Überläufen. Da bei solchen Ereignissen verdünntes Rohabwasser in die Zuflüsse und damit in den See gelangt, steigt nicht nur die bakterielle Verunreinigung, sondern auch die Verunreinigung durch alle abwasserbürtigen Stoffe zumindest lokal an.

5. Schadensabwehr

In Entsprechung der Richtlinien zur Reinhaltung des Bodensees hat die Schadensabwehr einen wichtigen Beitrag zum Schutz des Sees vor Unfällen mit wassergefährdenden Stoffen geleistet. Durch die laufende Verbesserung der Ausbildung der Einsatzkräfte, die Anpassung der Einsatzgeräte und -mittel an den Stand der Technik mit Sicherstellung der erforderlichen Ölsperren konnten im Einzelfall nennenswerte Schadstoffeinträge durch Unfälle in den Bodensee abgewehrt bzw. wirkungsvoll bekämpft werden. Die Einstellung des Ölförderbetriebes durch die ENI zwischen Ferrera/Italien und Ingolstadt/BRD mit 28.1.1997 führte zu einer Reduzierung des Gefahrenpotentials auch für den Bodensee.

6. Fazit und Schlußfolgerungen

Insgesamt ist als Folge der verminderten Phosphorzufuhr in allen Seebereichen eine Entwicklung hin zu nährstoffärmeren Verhältnissen offensichtlich. Dies gilt sowohl für den chemischen als auch für den biologischen Zustand des Sees.

Allerdings garantiert dieser erfreuliche Befund noch keine Sicherheit. Wie die Ergebnisse Ende der achtziger Jahre zeigen , kann eine Folge von mehreren klimatisch ungünstigen Jahren die Redoxverhältnisse am Seeboden erheblich verschlechtern. In diesem Fall muß erneut mit hohen Freisetzungsraten von Phosphorverbindungen und anderen teilweise belastenden Stoffen aus dem Sediment gerechnet werden.

Wichtig für die weitere Entwicklung des ganzen Sees wird deshalb die dauerhafte Sicherung eines ausreichend niedrigen Phosphorniveaus sein. Wo dieses liegen muß, wird im Rahmen der vorgesehenen Anpassung des bestehenden Phosphormodells (IGKB-Blauer Bericht 44; 1993) an die neuesten Daten zu diskutieren sein.

Für die Bewertung des Ist-Zustandes 1997 bleibt festzuhalten, daß der Phosphorgehalt derzeit immer noch ein mehrfaches über dem Niveau liegt, welches bis zur Mitte dieses Jahrhunderts im See herrschte. Auch was die Reaktion der Lebensgemeinschaft anbelangt, ist der jetzt erreichte trophische Zustand noch weit entfernt von dem, der durch die ersten nachvollziehbaren Planktonuntersuchungen der 20er und 30er Jahre ausgewiesen ist. Das gilt in gleicher Weise auch für das Zooplankton. Folgerichtig ist die für den See entscheidende Versorgung mit Sauerstoff in den tiefen Zonen immer noch erheblich schlechter als noch vor 50 Jahren. Dies gilt, obwohl der See bereits damals und lange davor durch anthropogene Einflüsse belastet wurde.

Weiterhin ist zu berücksichtigen, daß der Phosphorgehalt zwar den trophischen Zustand des Sees überwiegend bestimmt, den Seezustand aber keineswegs umfassend beschreibt. Unter anderem erreichen zahlreiche weitere kritisch zu bewertende Stoffe und mikrobielle Verunreinigungen tagtäglich den See in unterschiedlichen Mengen über ganz verschiedene Eintragspfade. Solchen Verunreinigungen muß zukünftig vermehrte Beachtung zukommen.

Bei der Verhinderung und Bekämpfung von **Unfällen mit wassergefährdenden Stoffen** wurden große Fortschritte erzielt.

Ungeachtet der bisherigen Sanierungserfolge zeigen diese Beispiele, wie unverzichtbar die Fortführung der Anstrengungen zum Schutz des Bodensees ist. Nur dann sind Nutzungen in verträglichem Rahmen dauerhaft gesichert. Leitziel aller Bemühungen muß der "unbelastete See" sein. In diesem Sinne verlangen die Reinhalterichtlinien u.a., geringstmögliche Dünge- und Schadstoffgehalte im See anzustreben. Aber auch alle anderen Belastungen wie z.B. die Ufer- und Flachwasserzone stark beeinträchtigende strukturelle Belastungen müssen minimiert werden. Auch auf EU-Ebene werden Forderungen gestellt, die sich an dem Bewertungsgrundsatz der "ungestörten Bedingungen in dem betreffenden Ökosystem" orientieren. In diesem Zusammenhang wird eine Fortschreibung der inzwischen zehn Jahre alten Richtlinien zur Reinhaltung des Bodensees sowohl in den Grundsätzen als auch in Einzelanforderungen für notwendig gehalten.

Abbildungen und Tabellen

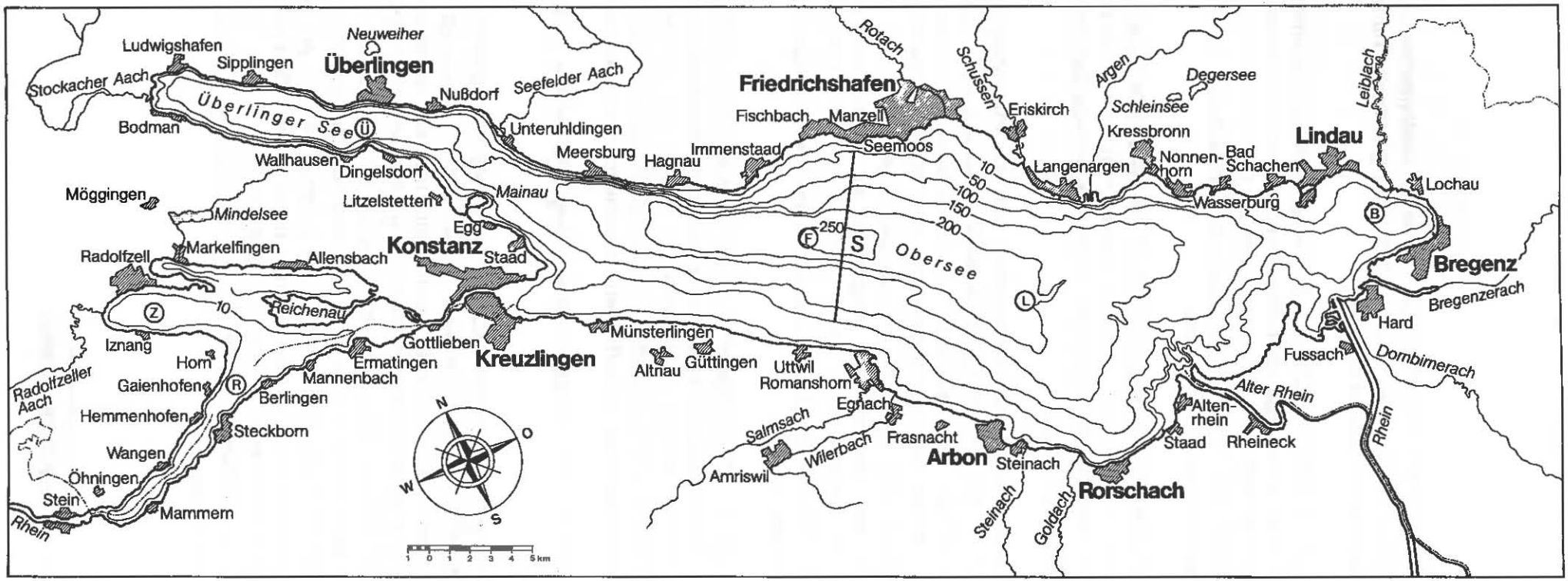
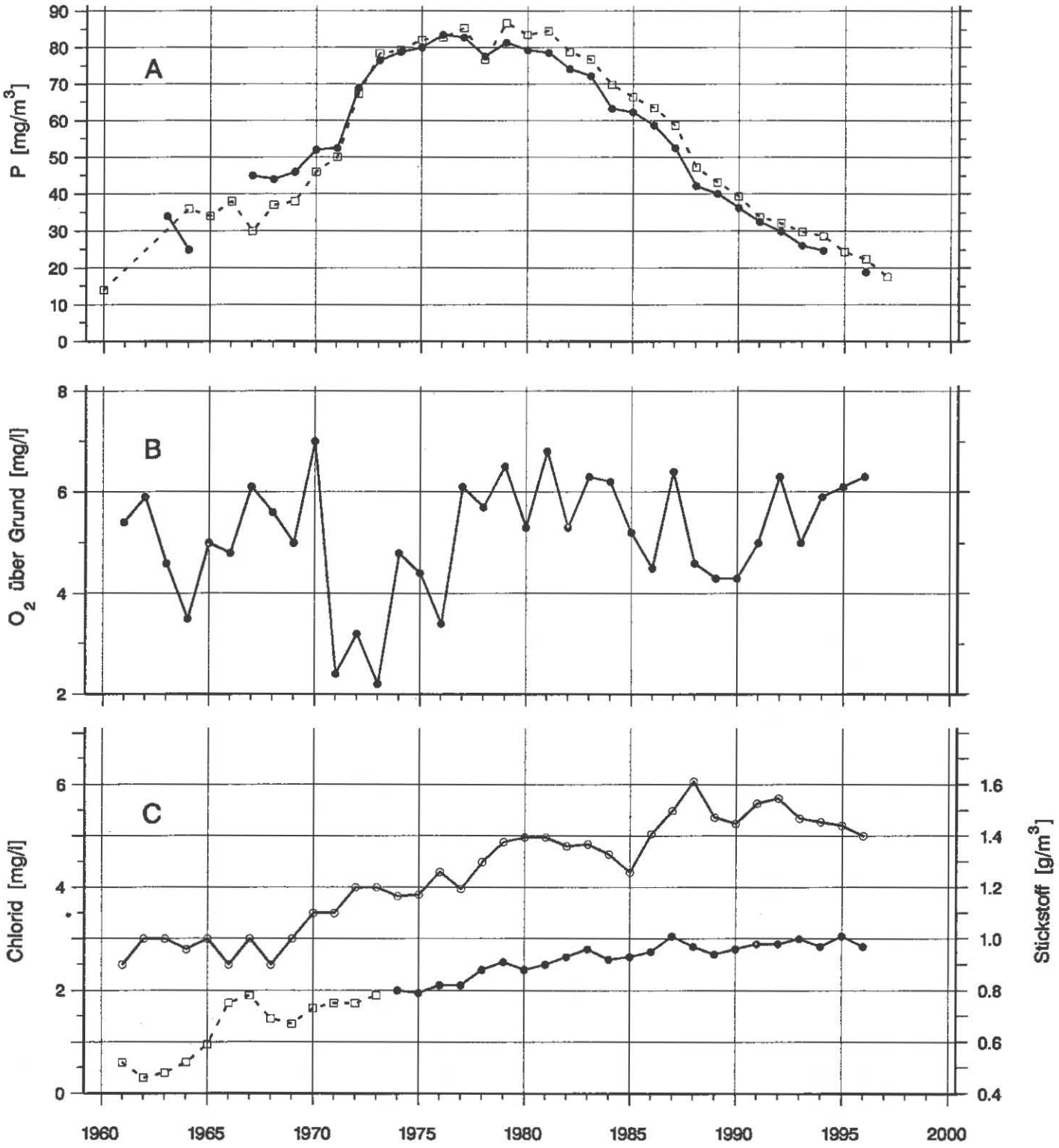


Abb. 1: Der Bodensee mit Lage der Untersuchungsstellen

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

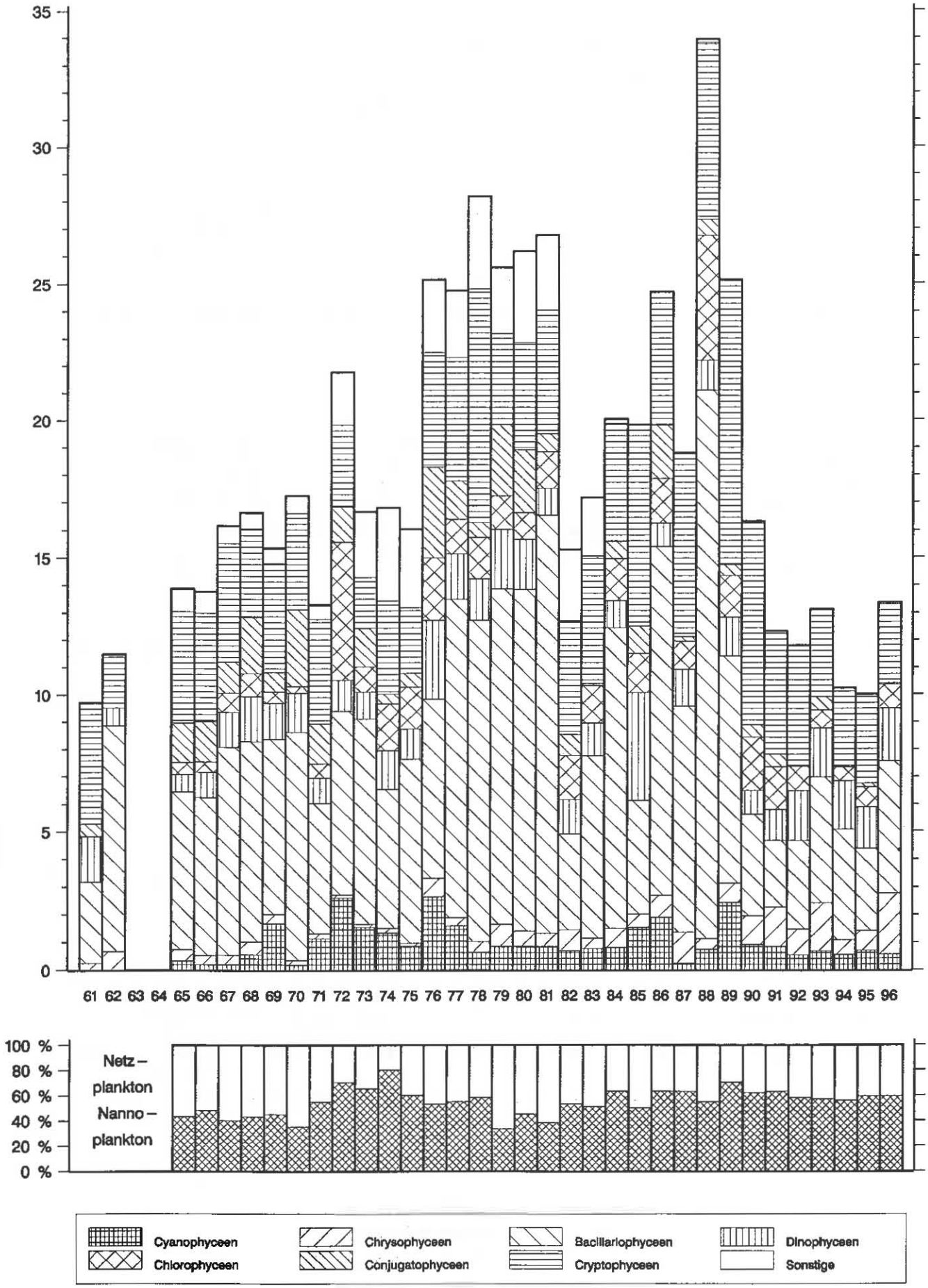


Abb. 3: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
Langfristige Entwicklung des Phytoplanktons
Biomassen in g/m^2 (0 – 20m Tiefe), Jahresmittel

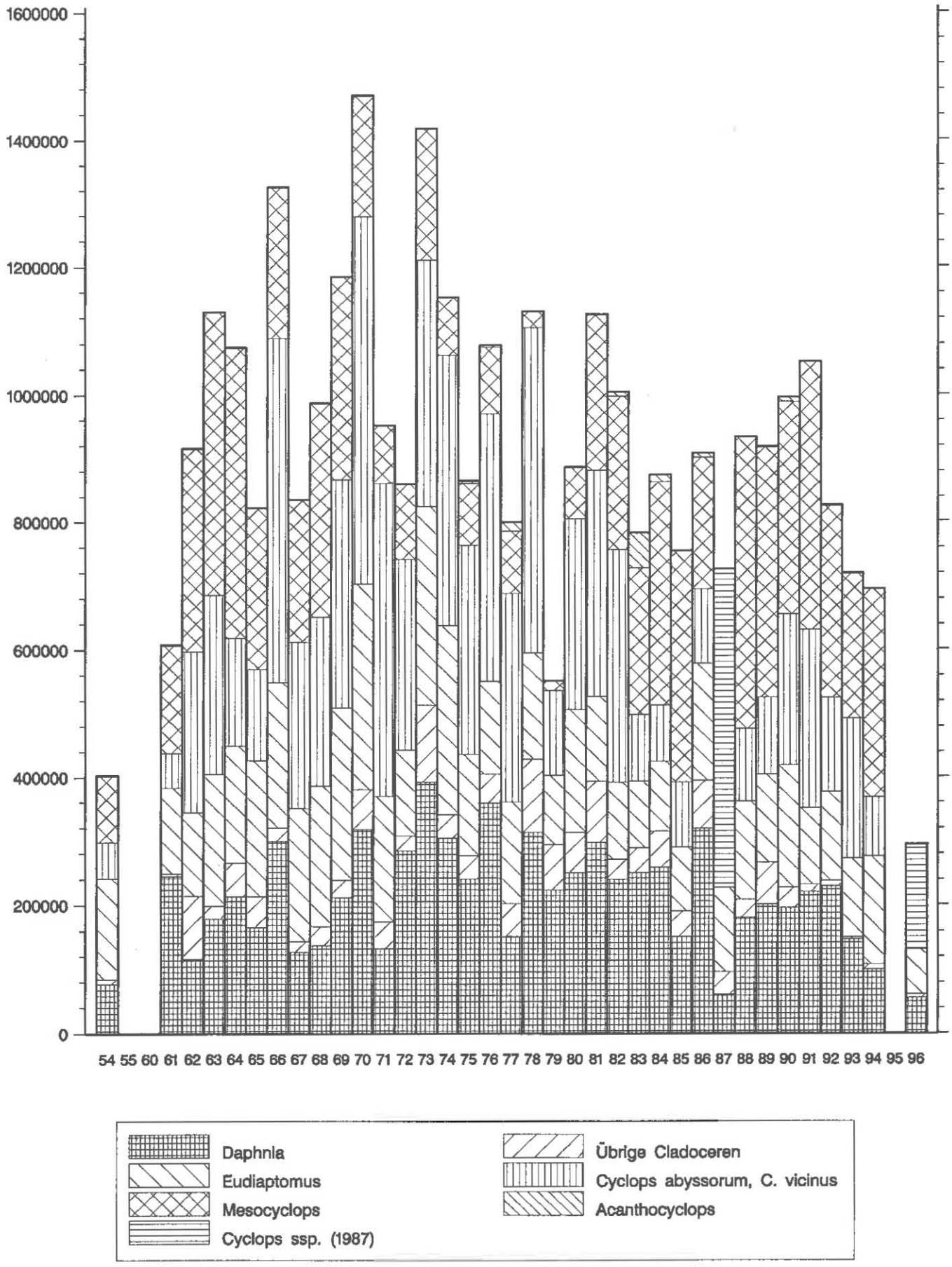


Abb. 4: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
Langfristige Entwicklung des Crustaceenplanktons
Tiere/m² gesamte Wassersäule, Jahresmittelwerte *

* Berechnung des Jahresmittelwertes für 1995 nicht möglich wegen fehlender Frühjahrswerte

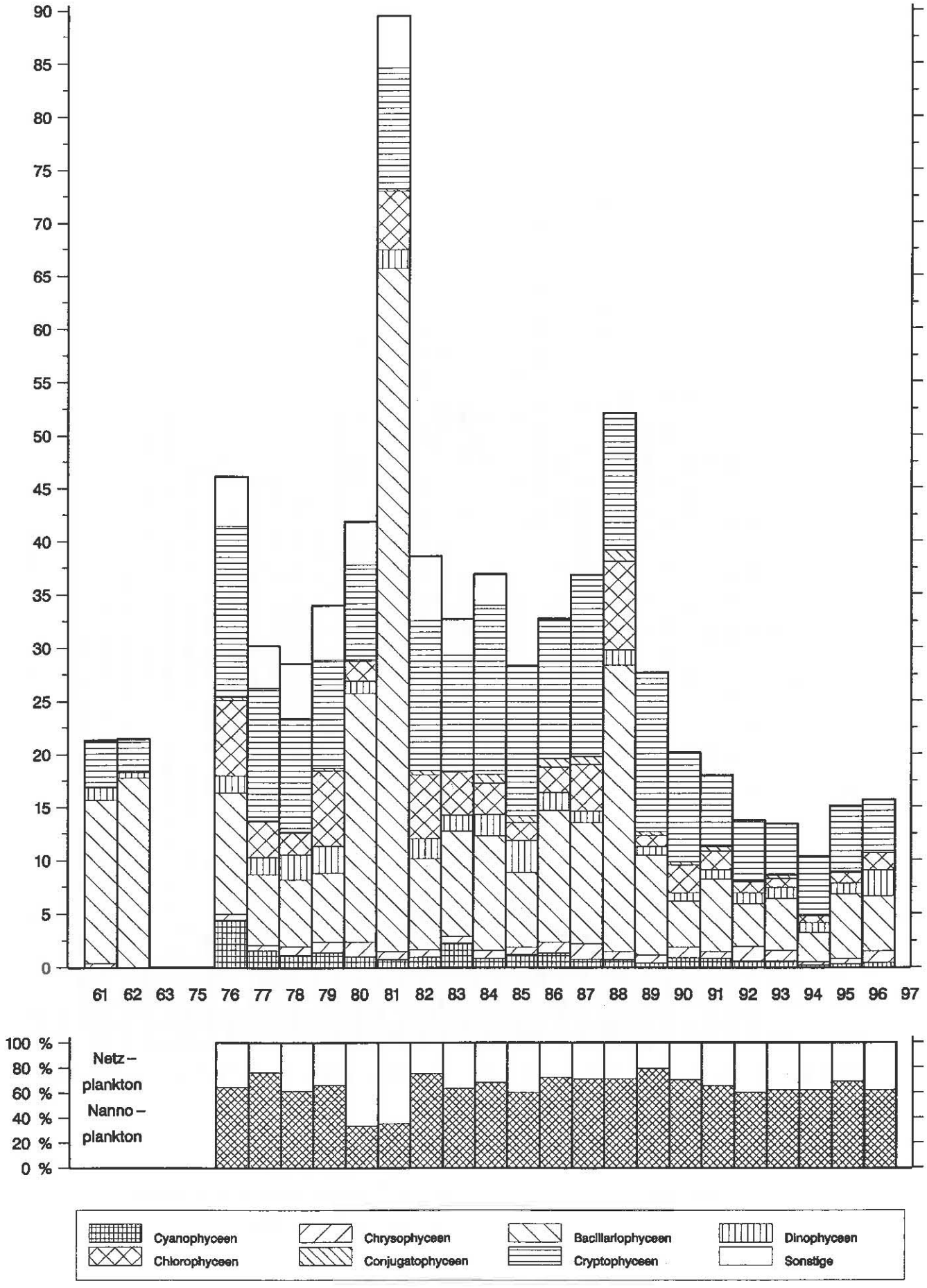


Abb. 5: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Langfristige Entwicklung des Phytoplanktons
Biomassen in g/m² (0–20m Tiefe), Jahresmittel

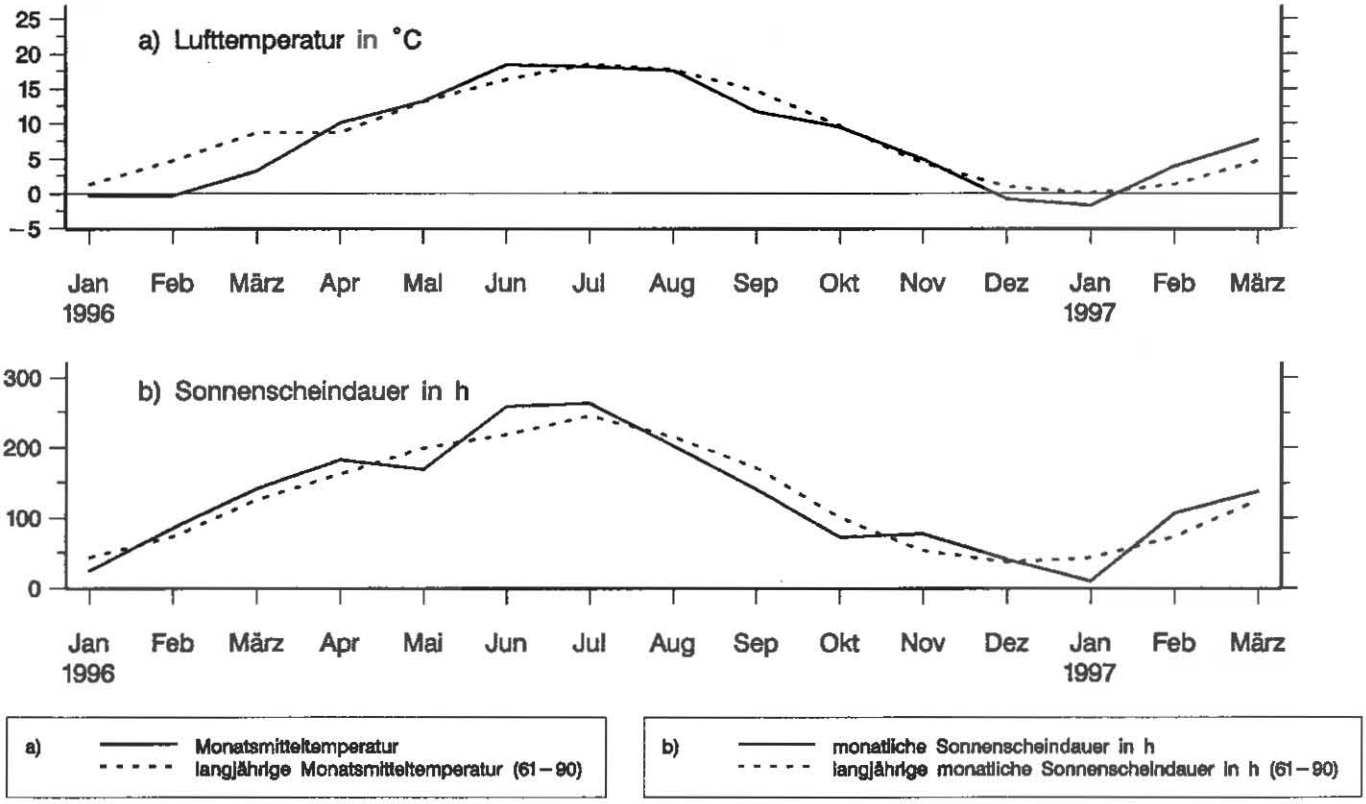


Abb. 6: Bodensee – Obersee:
Klimadaten der Wetterwarte Konstanz

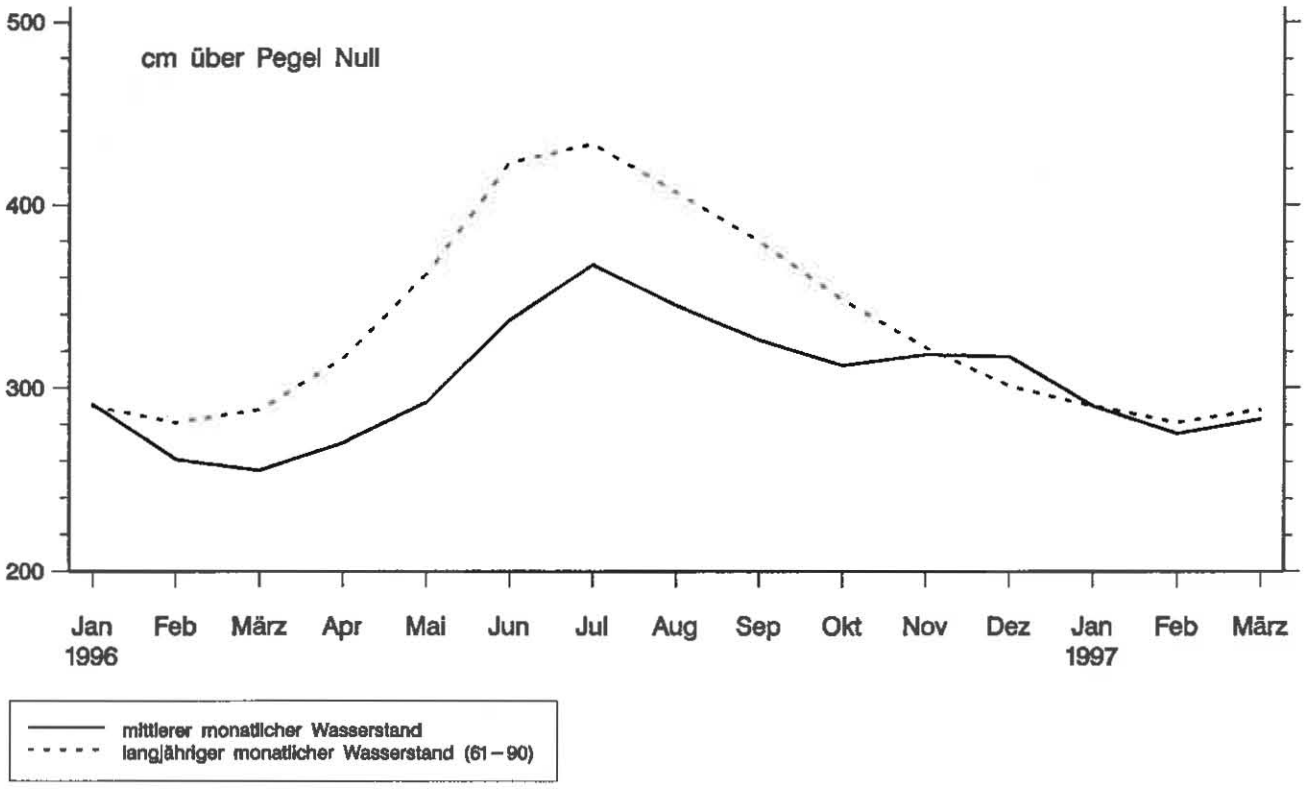


Abb. 7: Bodensee – Obersee:
Wasserstand am Pegel Konstanz

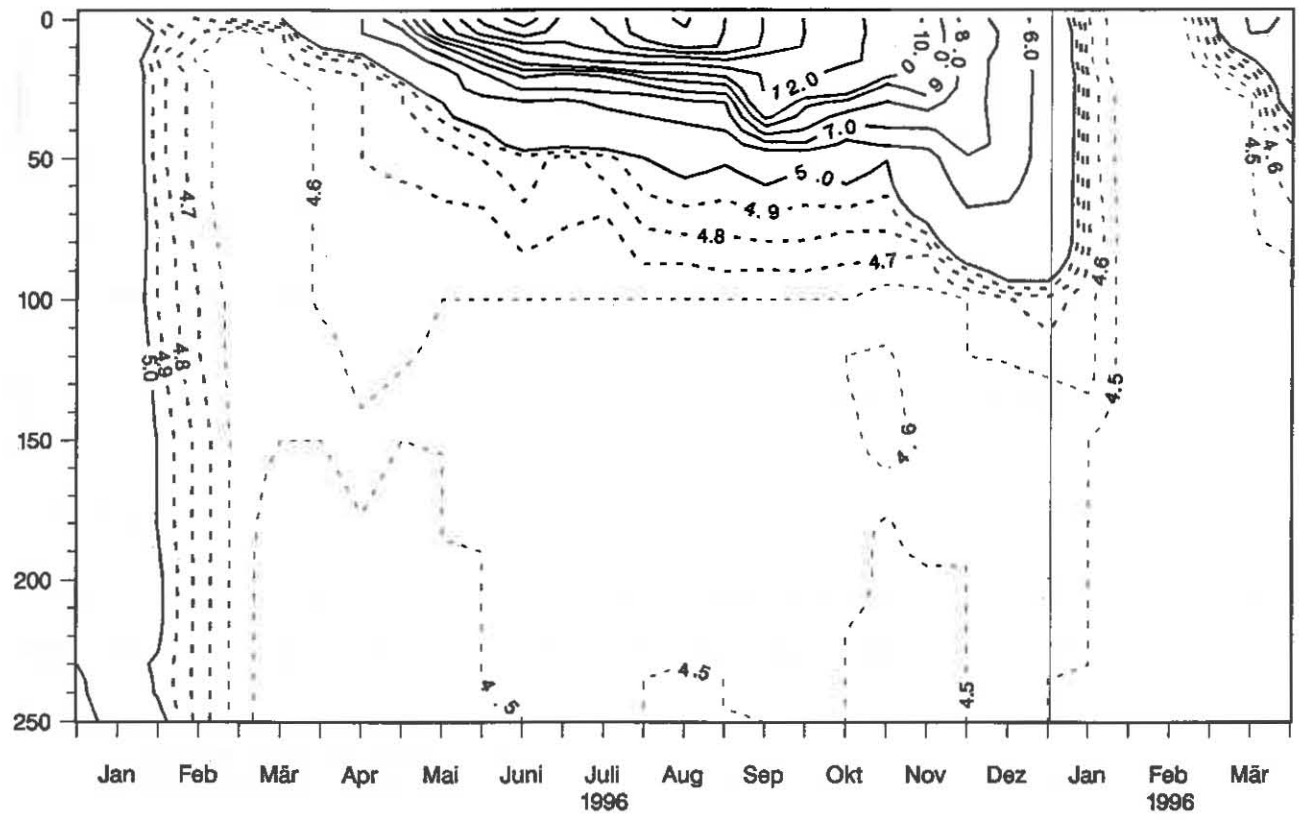


Abb. 8: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
Temperatur °C

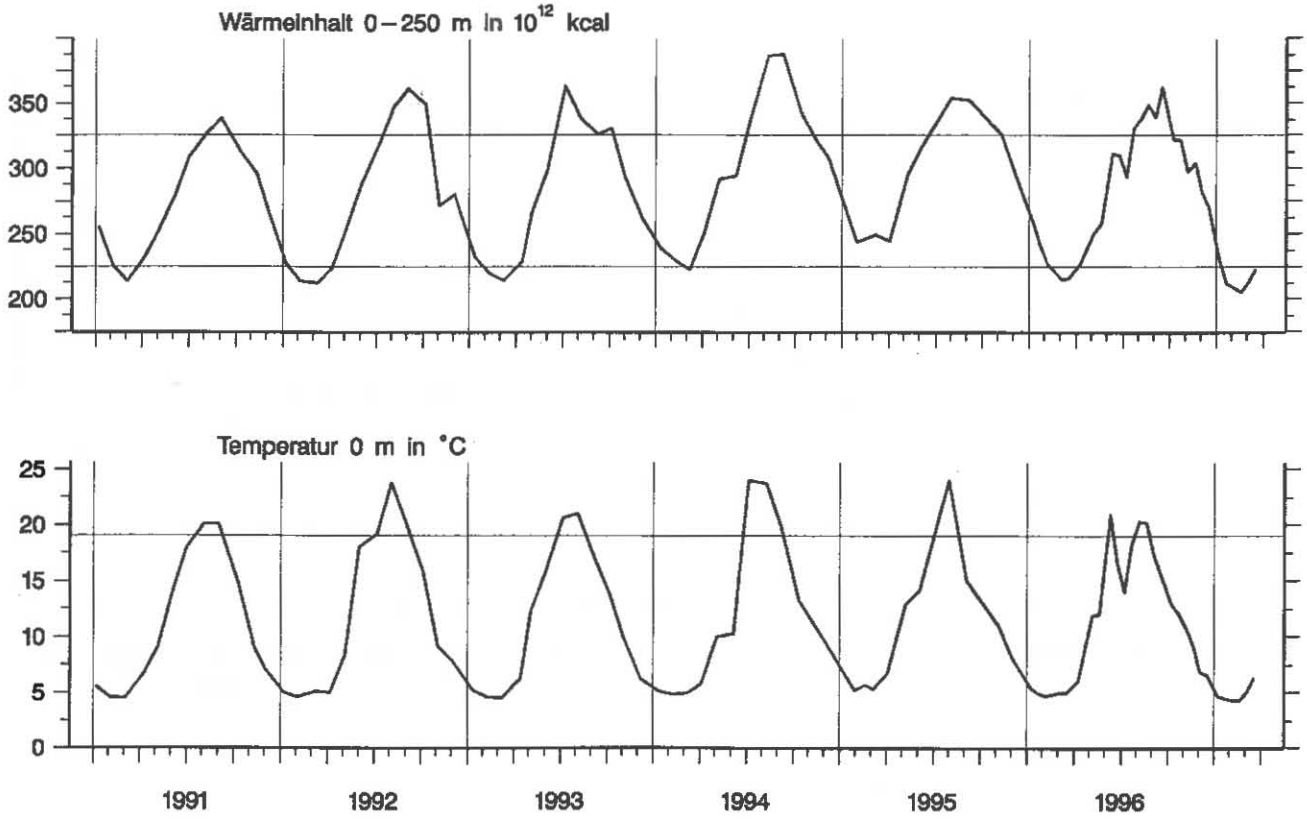


Abb. 9: Bodensee – Obersee:
Thermik

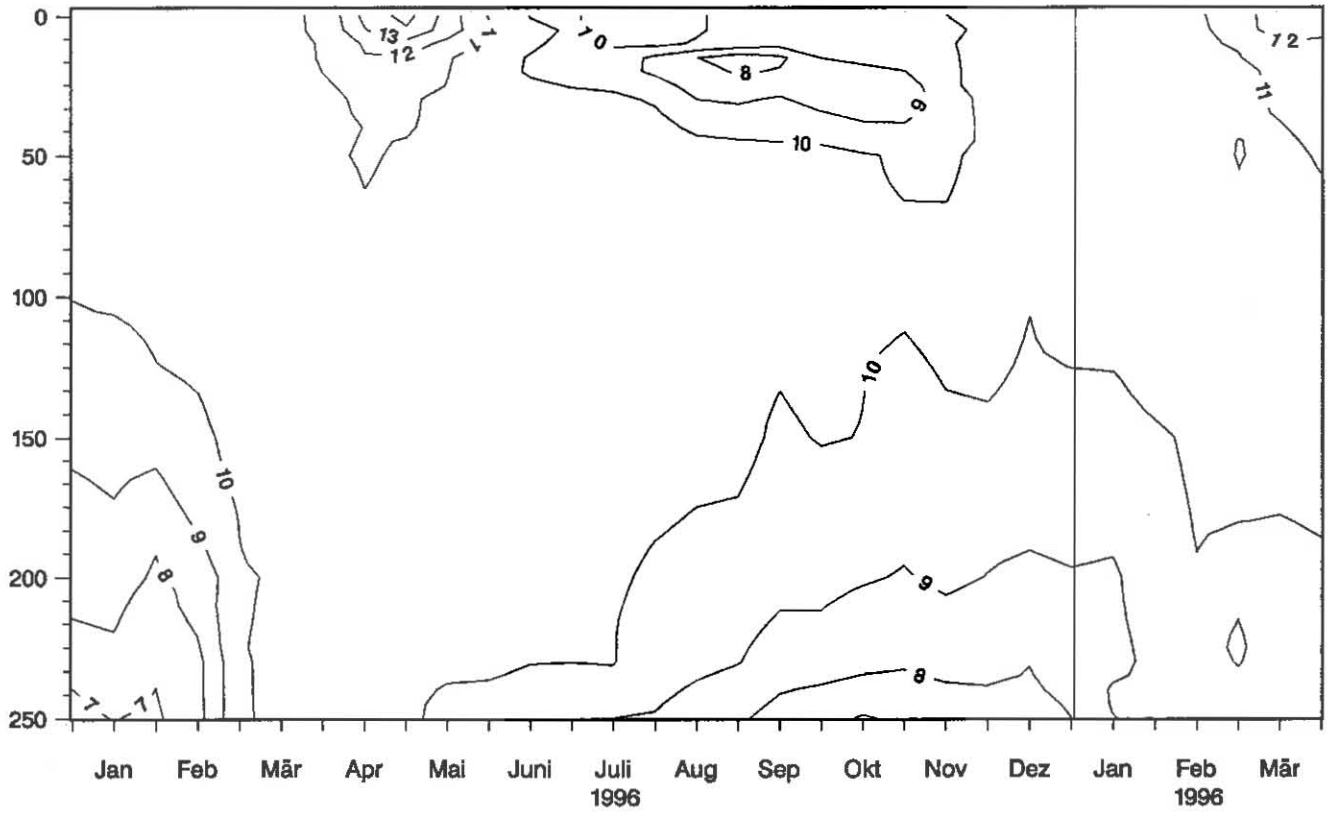


Abb. 10: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
Sauerstoff (mg/l)

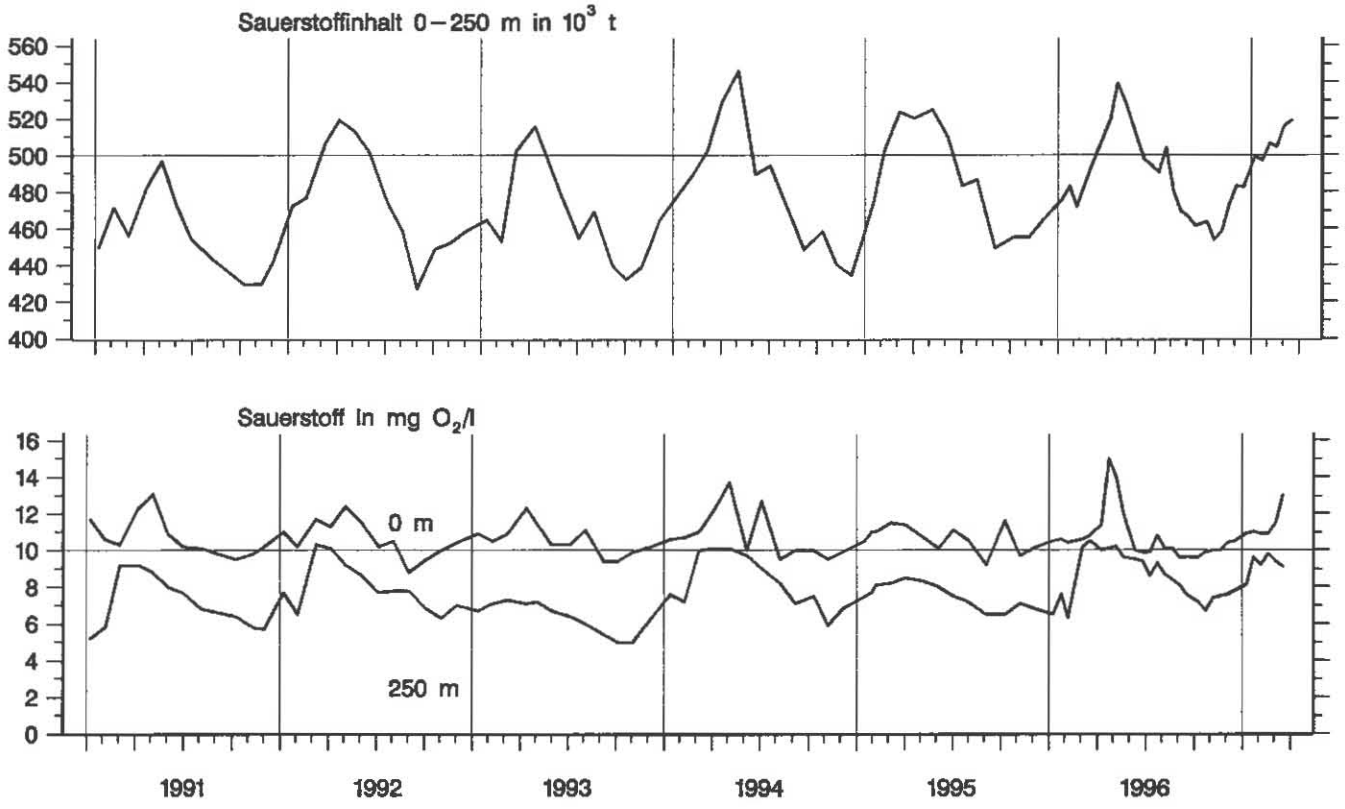


Abb. 11: Bodensee – Obersee:
Sauerstoffinhalt 0 – 252 m und Sauerstoffkonzentration in 0 und 250 m Tiefe

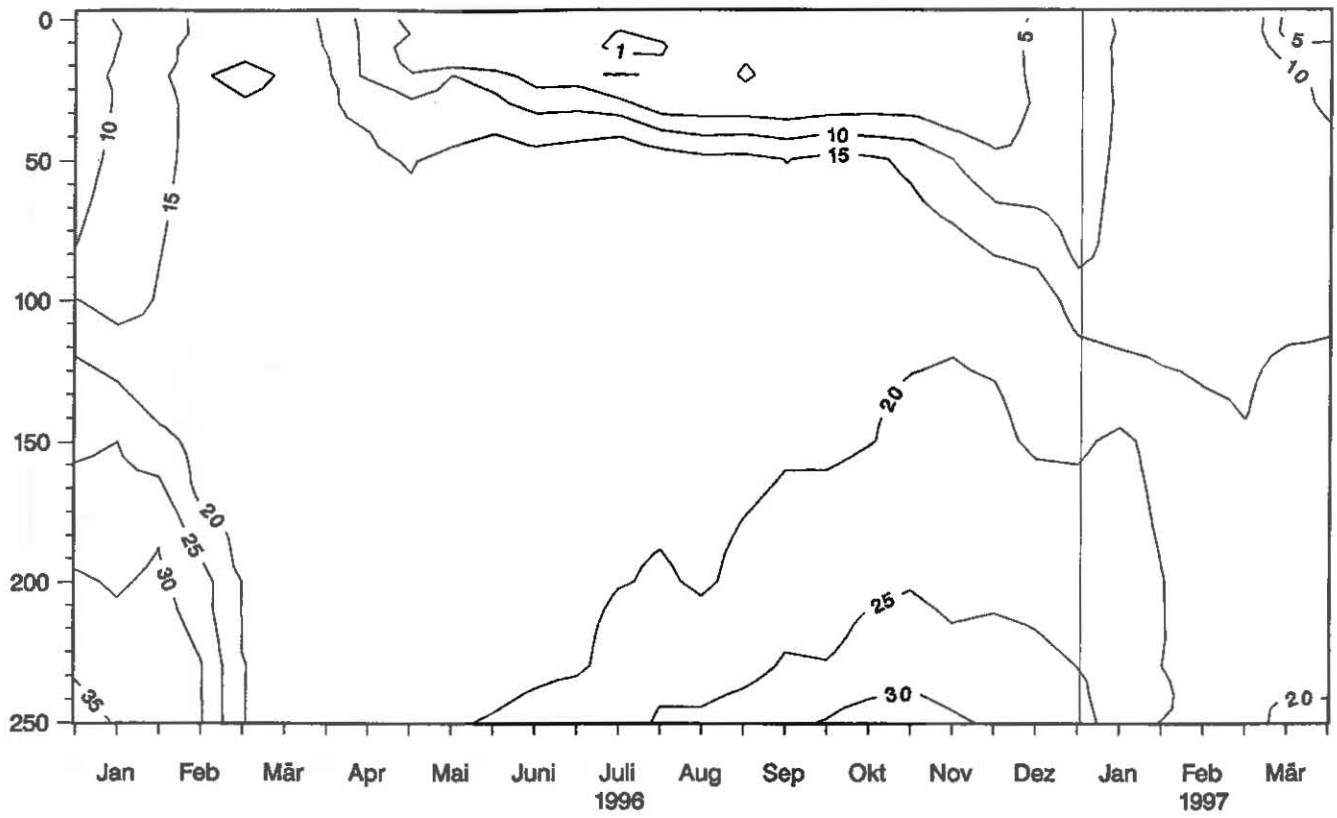


Abb. 12: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
Orthophosphat – Phosphor (mg/m^3)

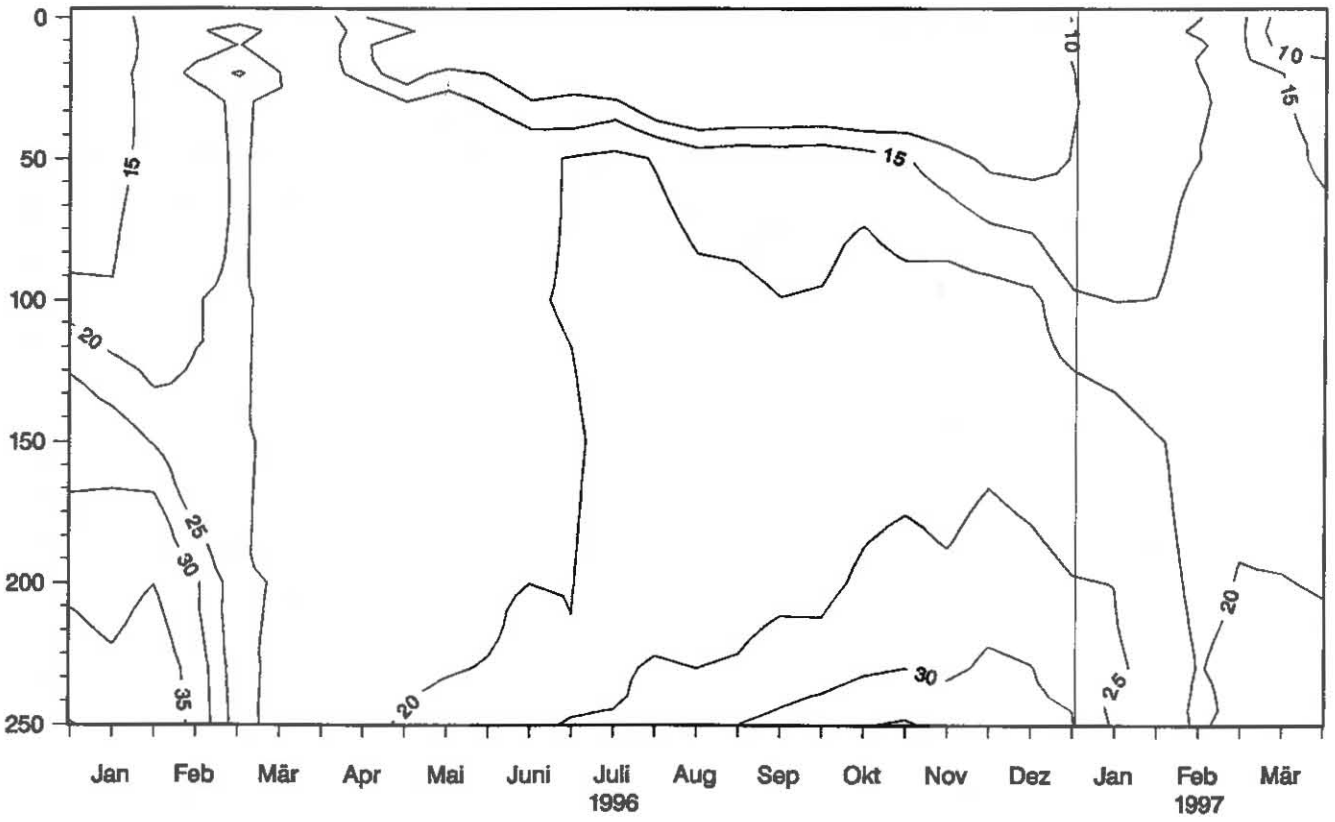


Abb. 13: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
Gesamt gelöster Phosphor (mg/m^3)

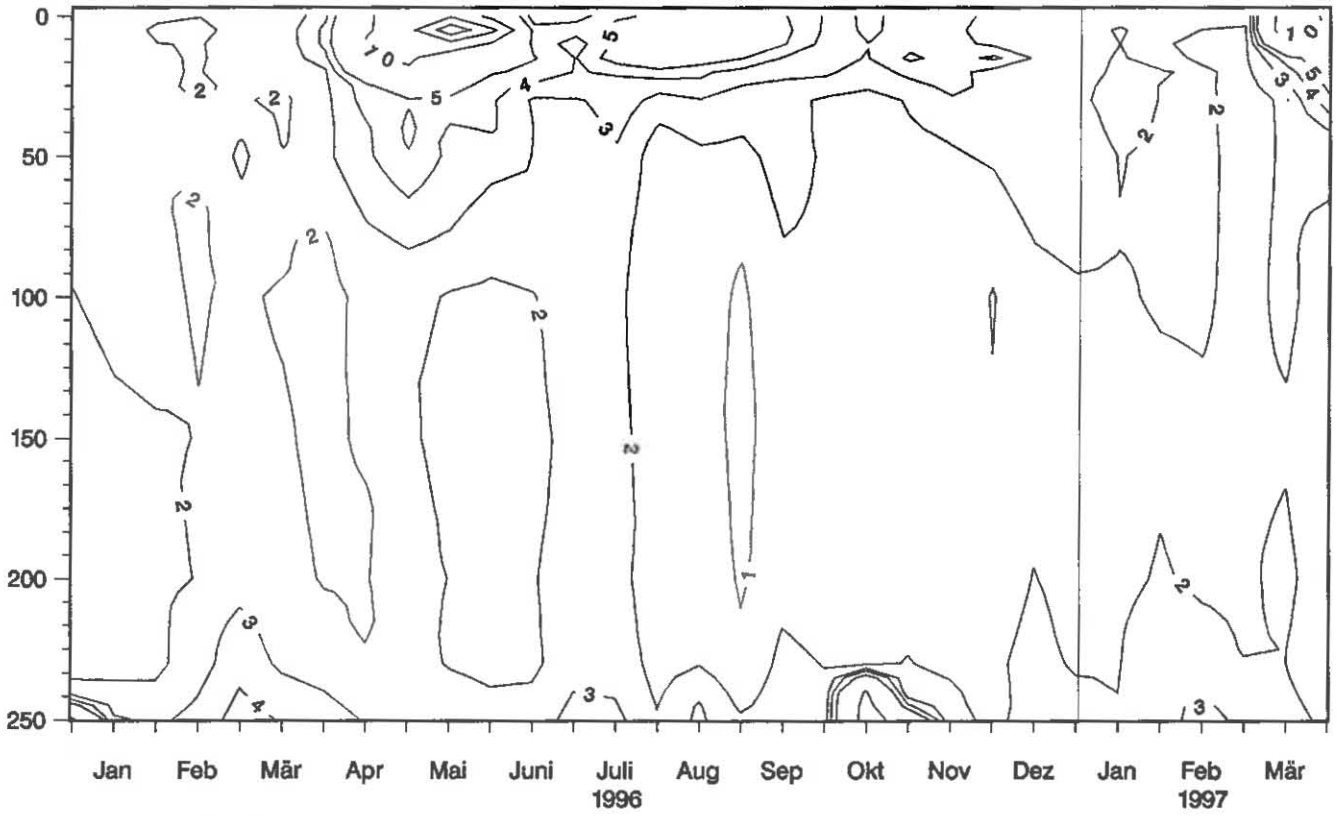


Abb. 14: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
partikulärer Phosphor (mg/m^3)

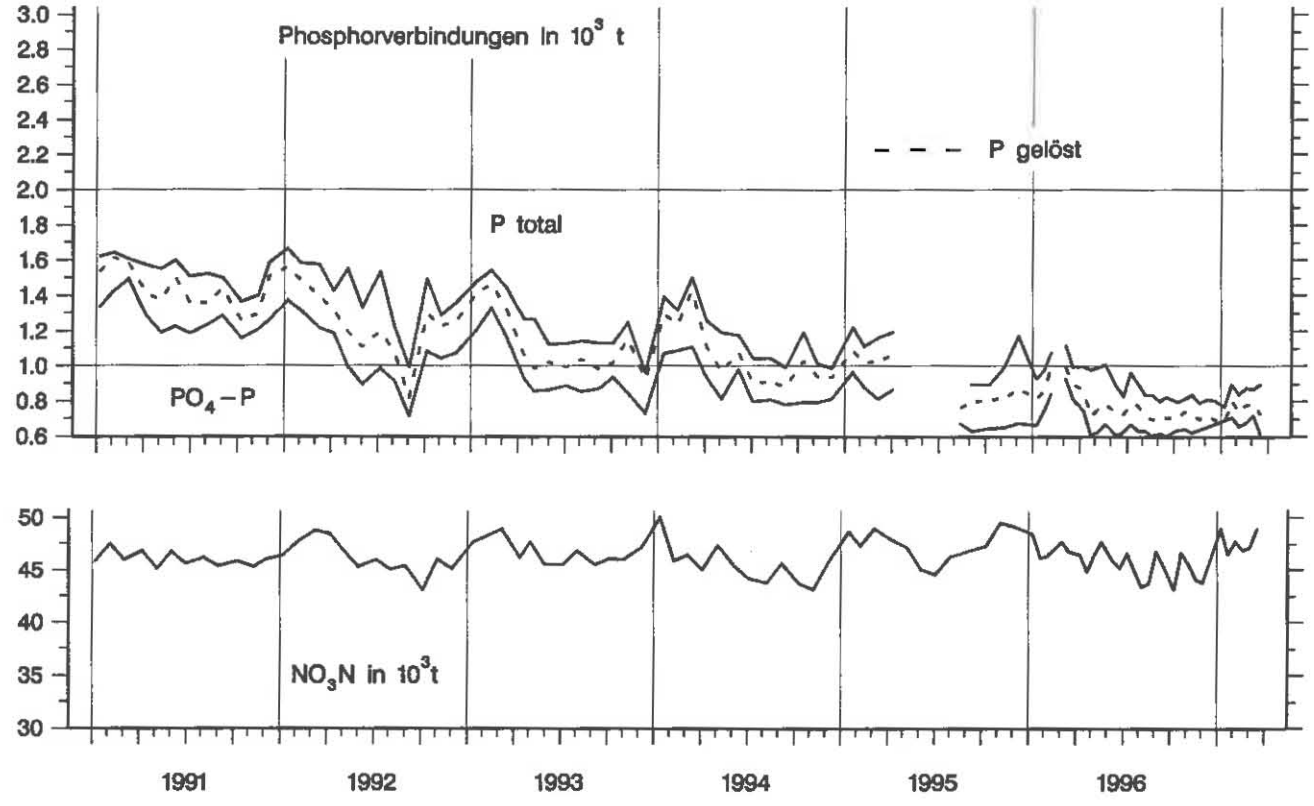


Abb. 15: Bodensee – Obersee:
Nährstoffinhalt (P, NO_3–N) 0–250 m Tiefe *

* wegen analytischer Probleme teilweise keine Meßdaten vorhanden

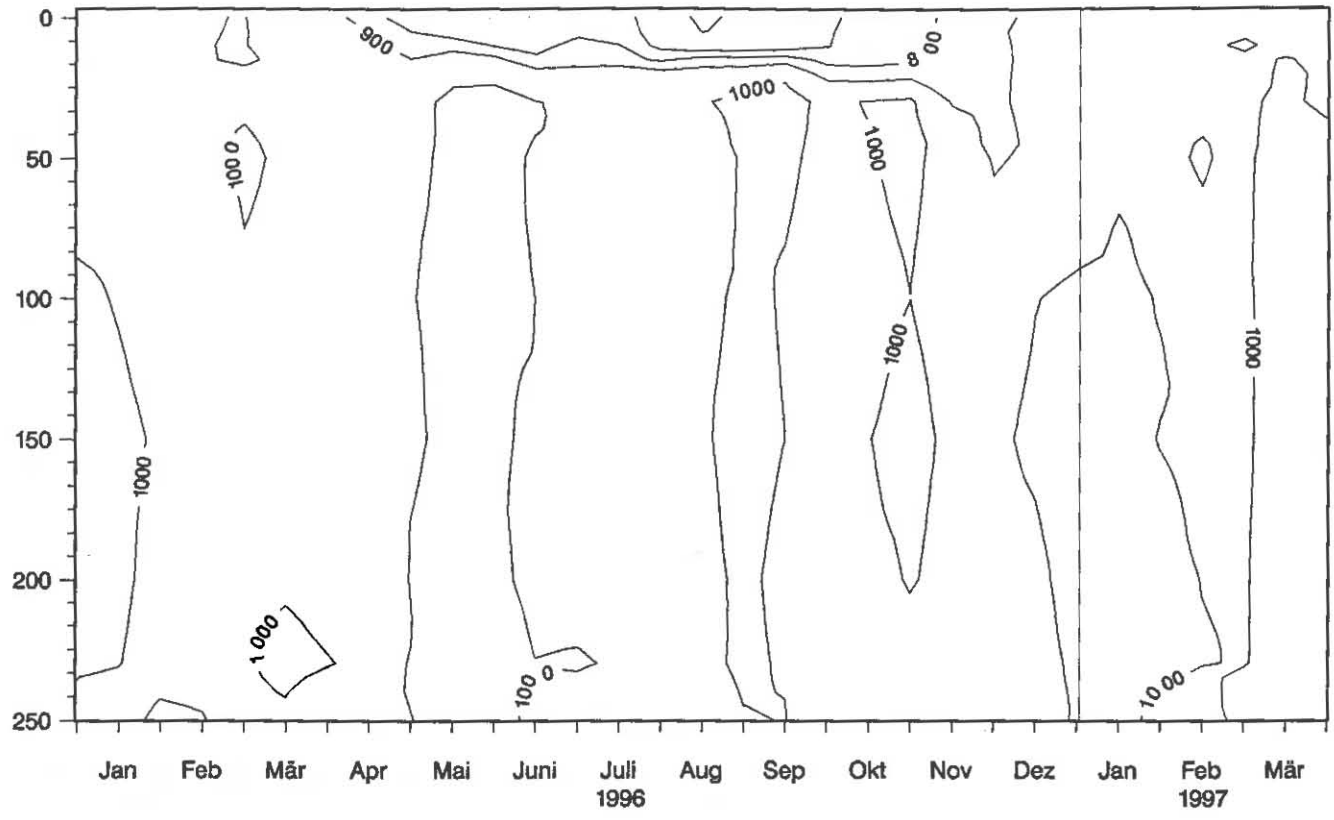


Abb. 16: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
Nitrat – Stickstoff (mg/m^3)

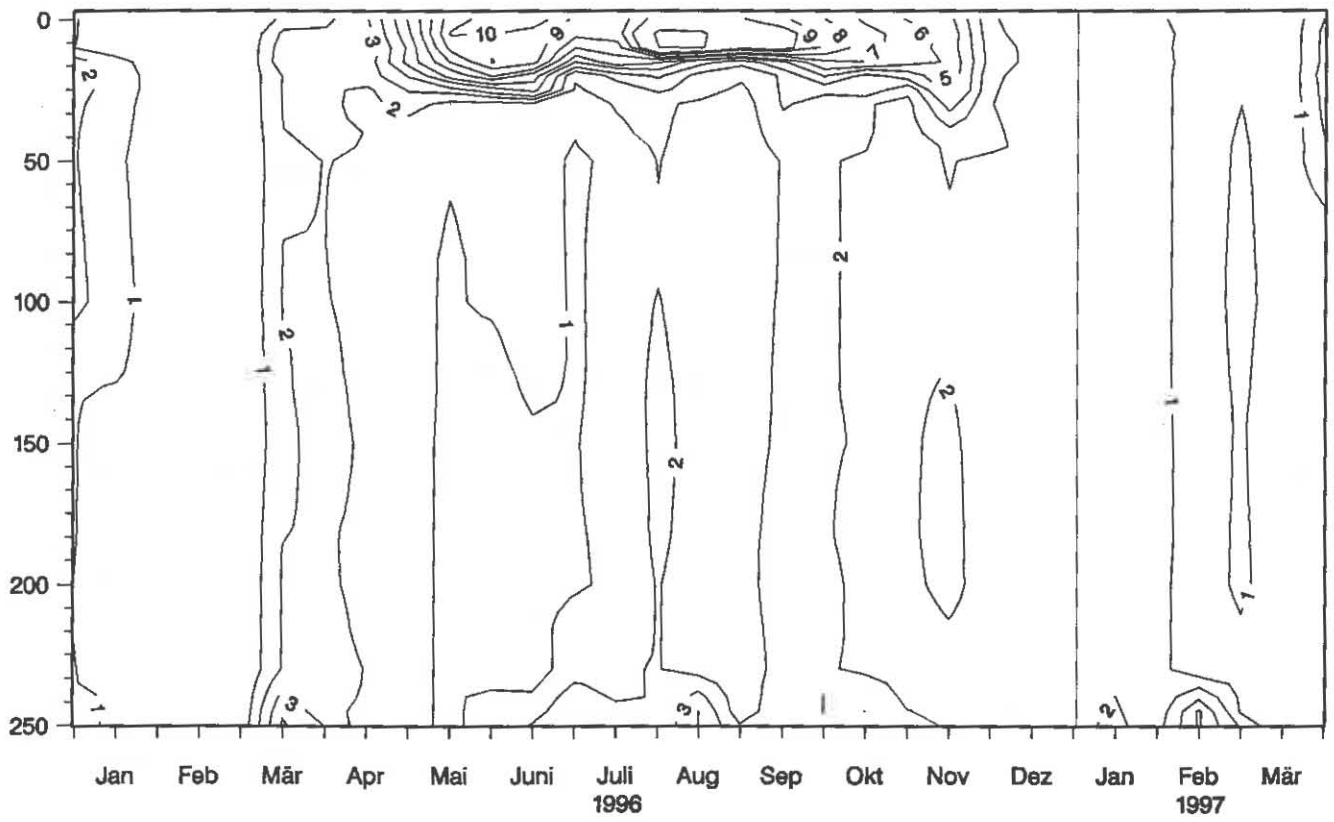


Abb. 17: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
Nitrit – Stickstoff (mg/m^3)

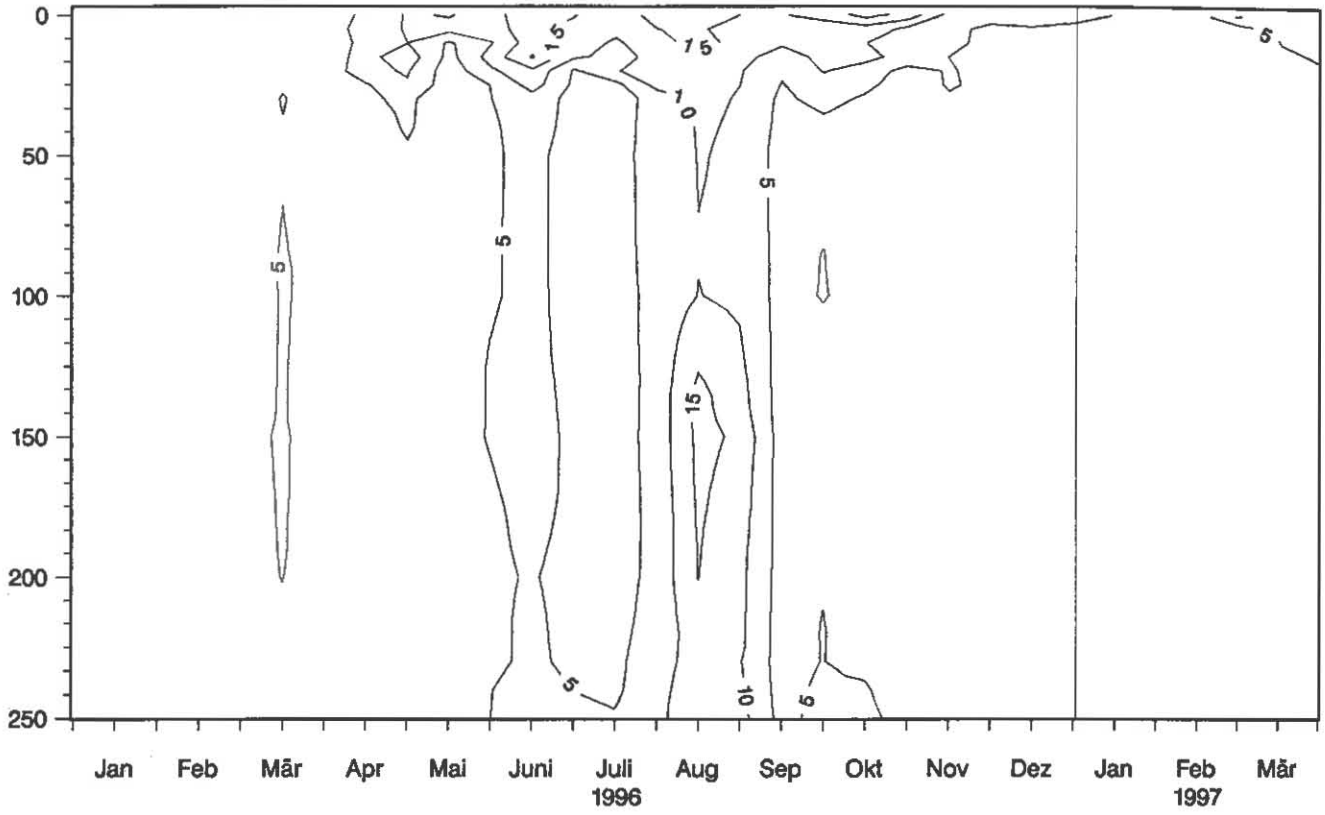


Abb. 18: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
Ammonium – Stickstoff (mg/m^3)

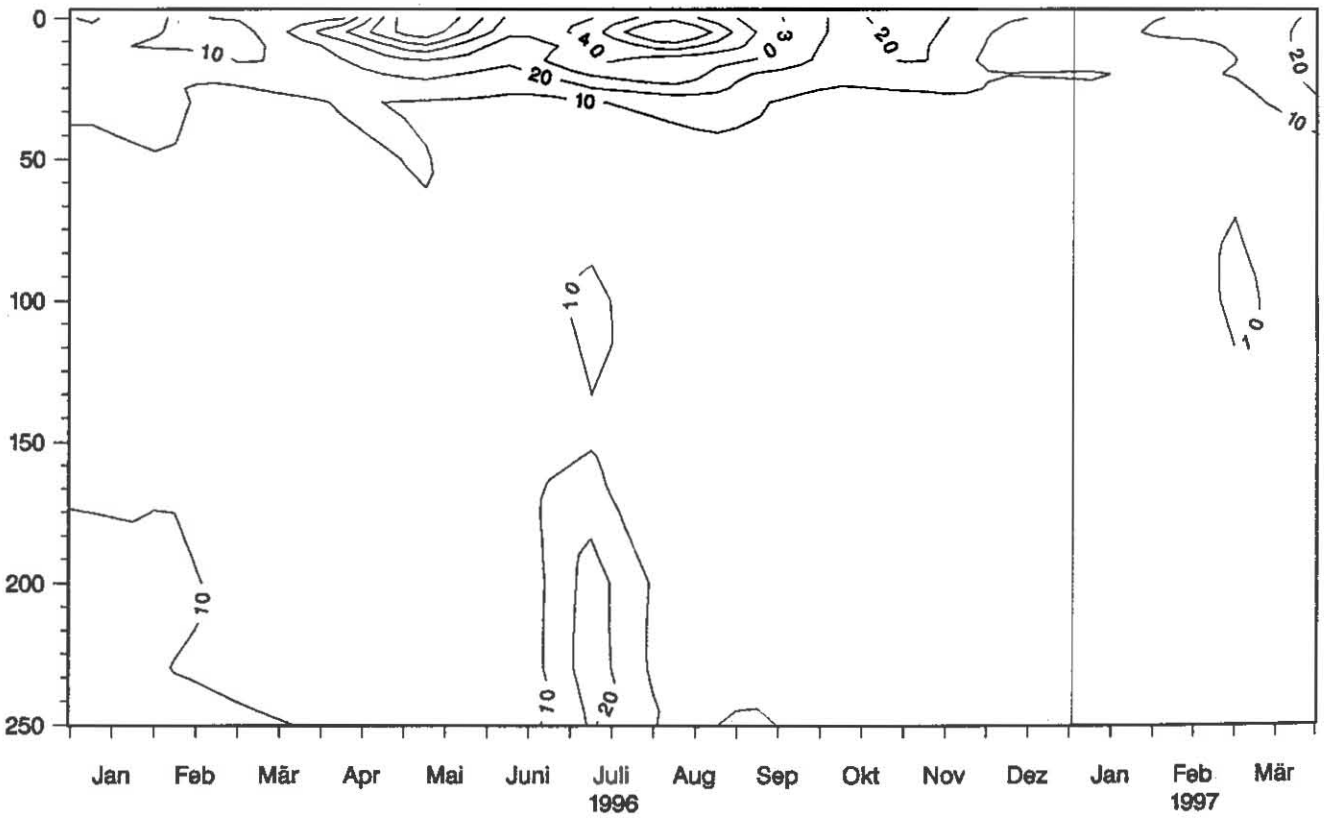


Abb. 19: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
Partikulärer Stickstoff (mg/m^3)

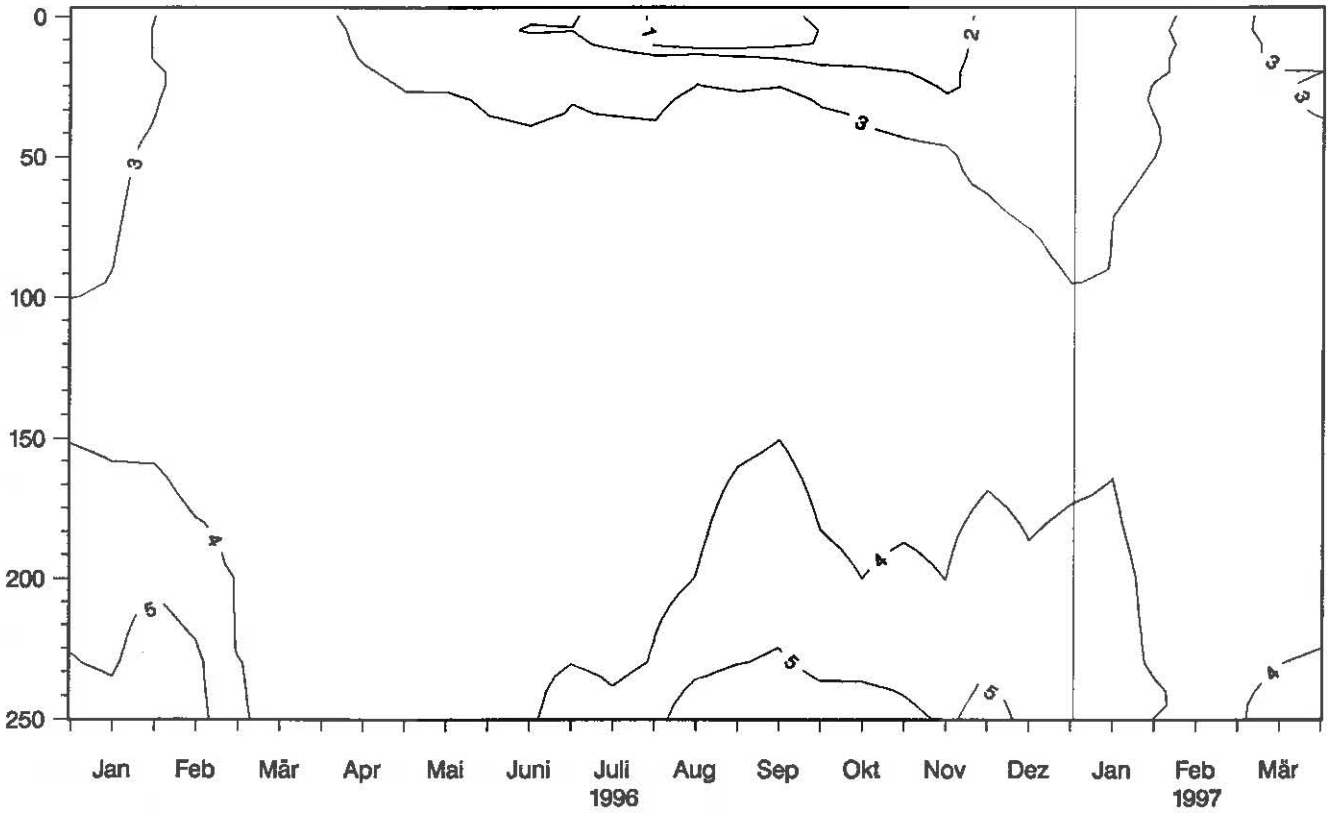


Abb. 20: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
Silikat (mg/l)

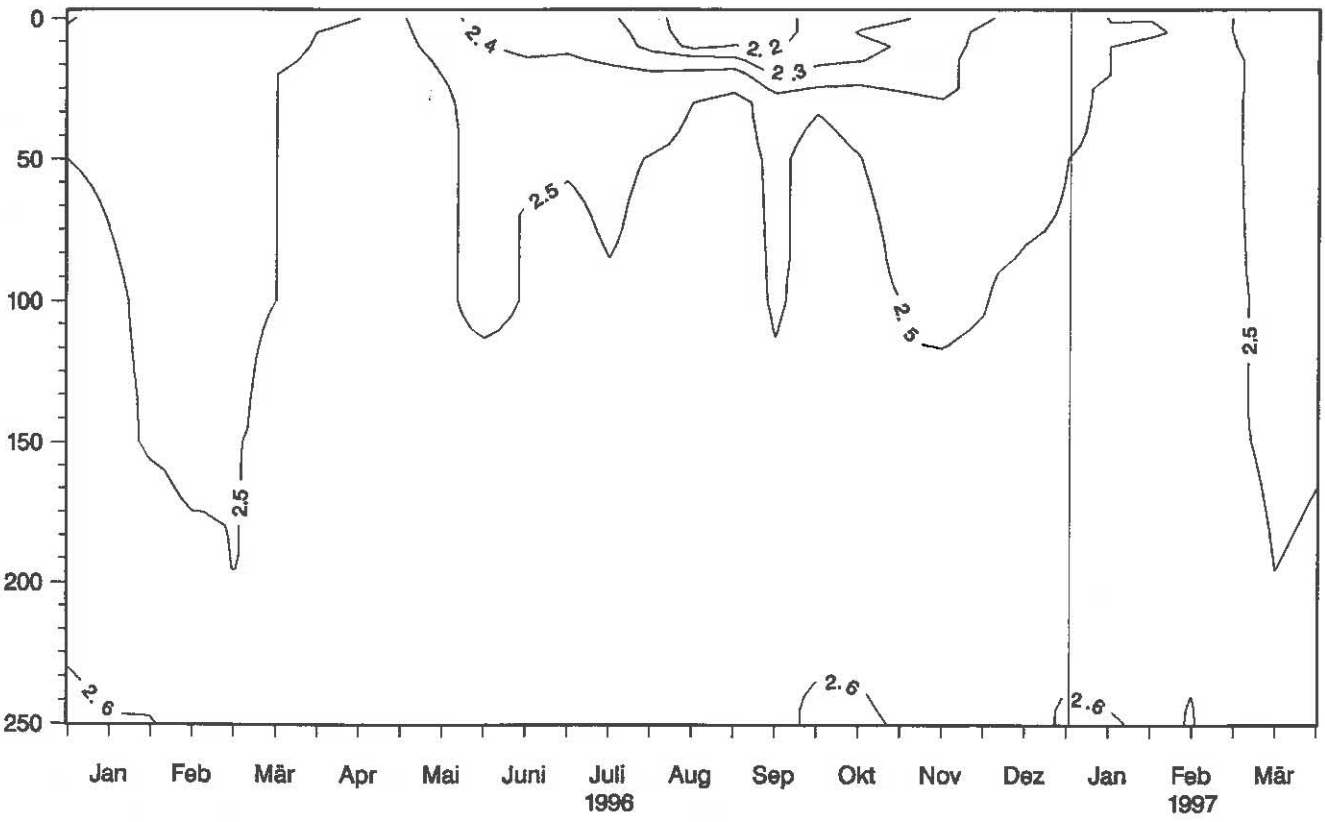


Abb. 21: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
Anorganischer Kohlenstoff (mmol/l)

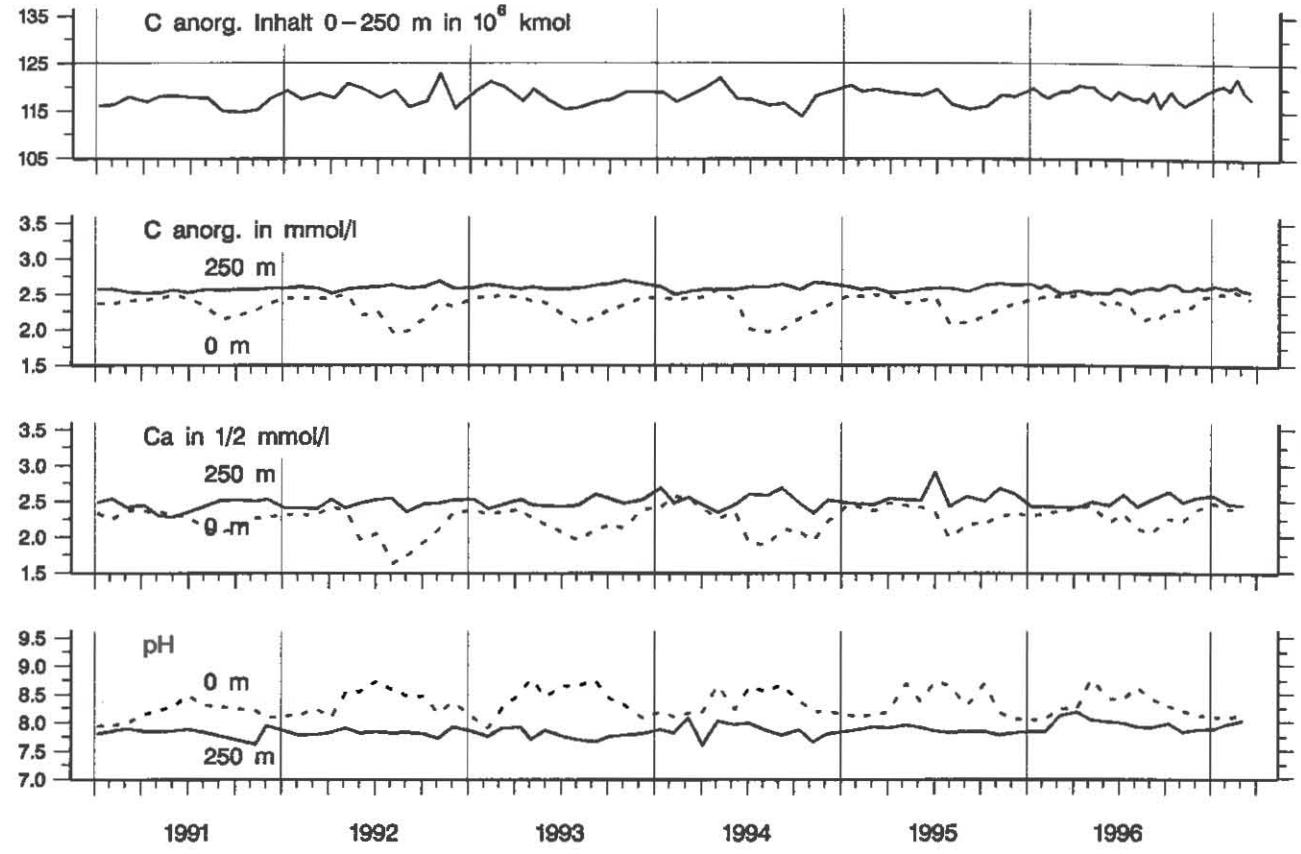


Abb. 22: Bodensee – Obersee:
Anorganischer Kohlenstoff, Inhalt 0–252 m Tiefe
Konzentration von anorg. Kohlenstoff, Calcium; pH–Wert

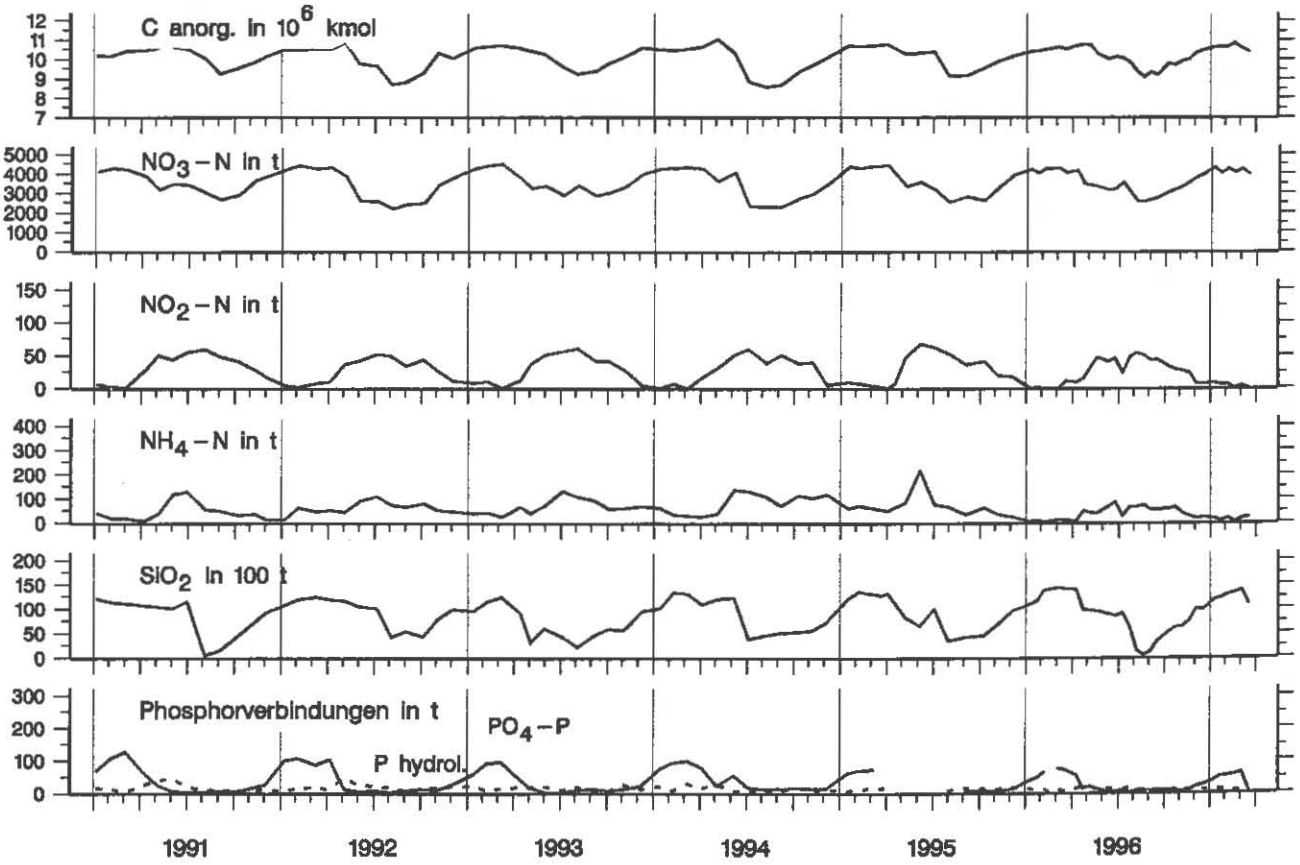


Abb. 23: Bodensee – Obersee:
Nährstoffinhalt (Phosphor, Stickstoff, Silikat,
anorg. Kohlenstoff) im Epilimnion 0–10 m Tiefe

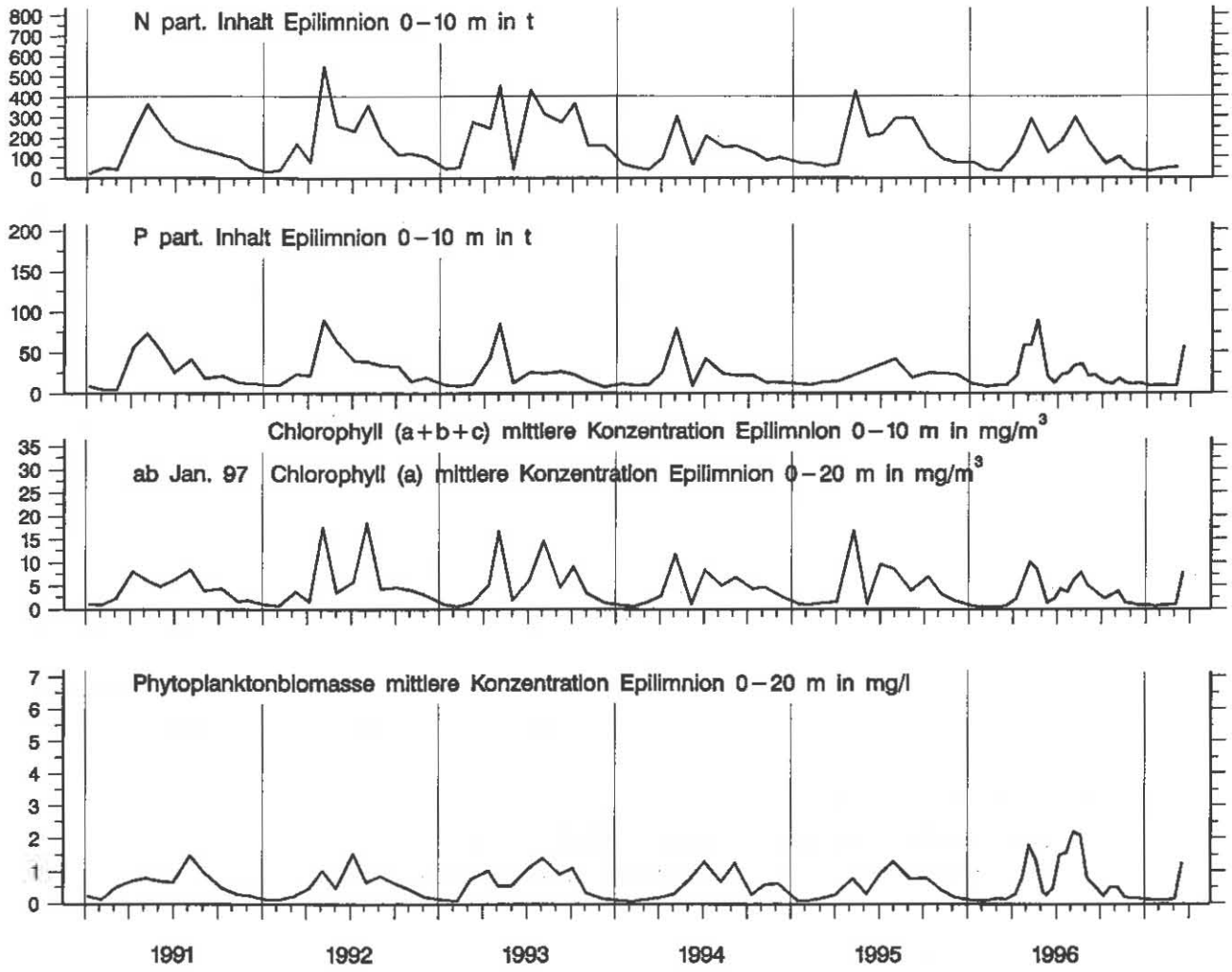


Abb. 24: Bodensee – Obersee:
Chemische Biomasseindikatoren und Phytoplanktonbiomasse

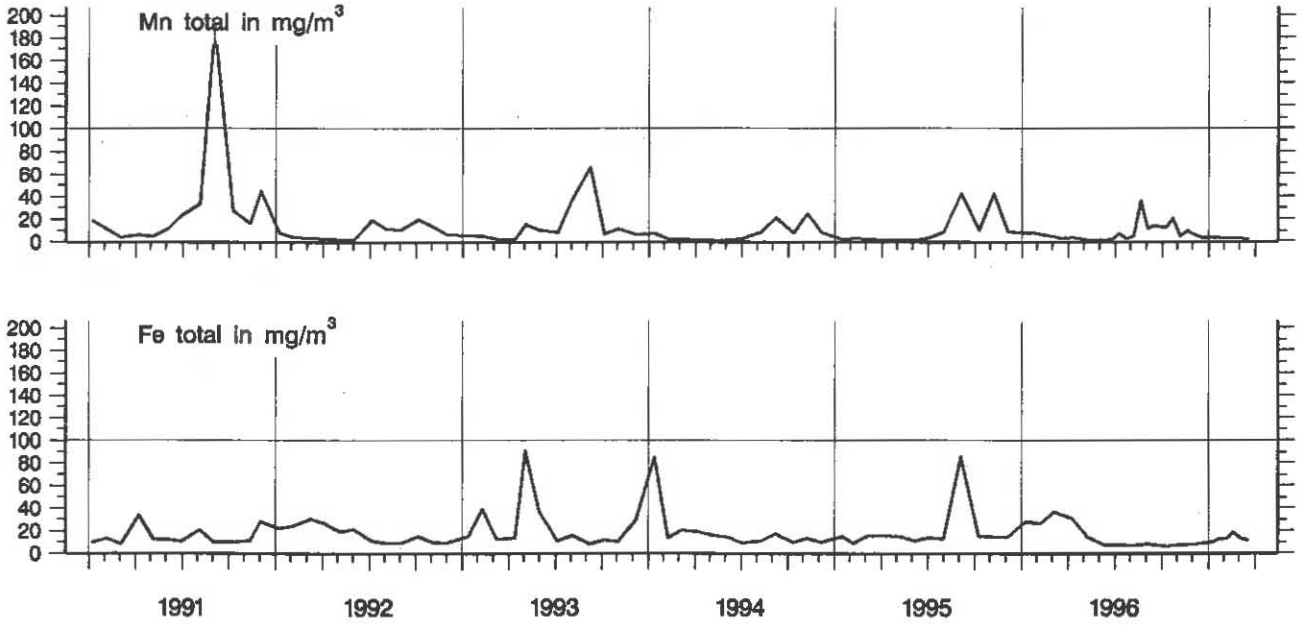


Abb. 25: Bodensee – Obersee, Fischbach–Uttwil:
Konzentration von Eisen total und Mangan total in 250 m Tiefe

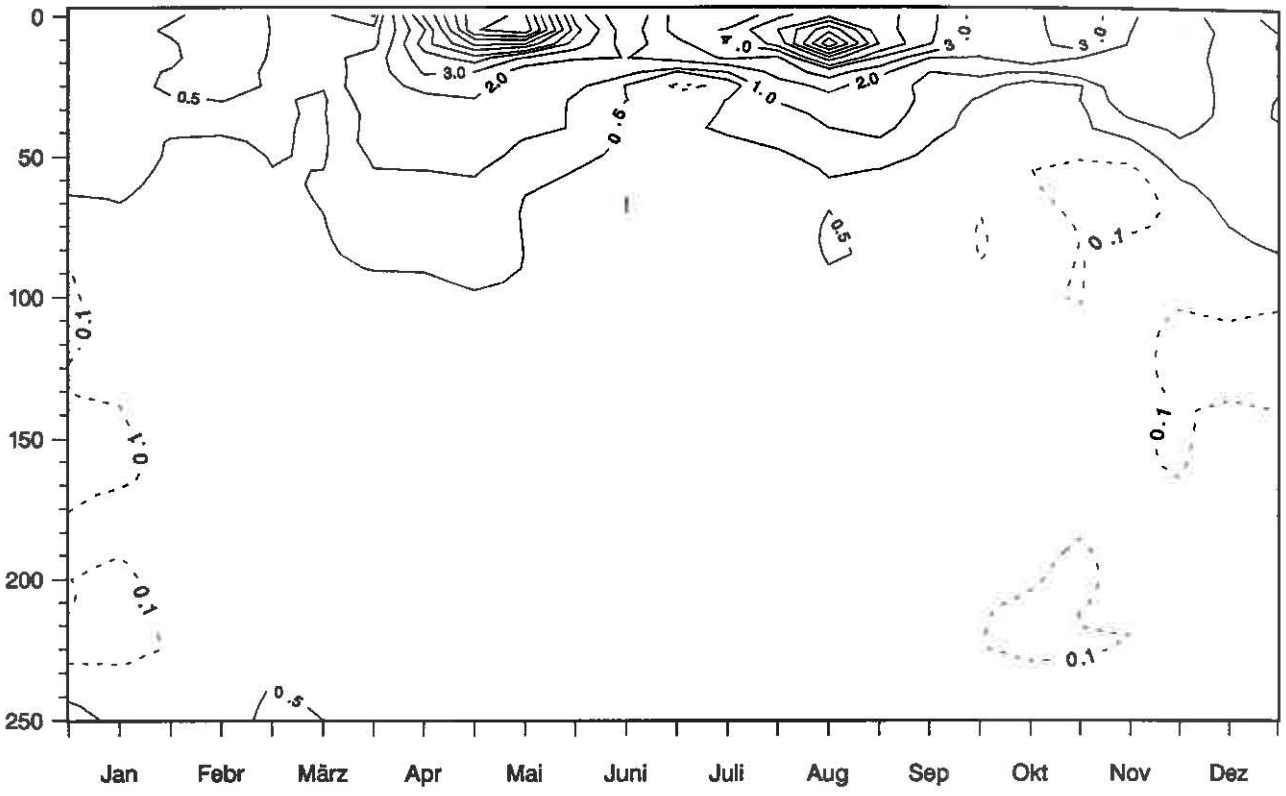


Abb. 26: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
Chlorophyll a (mg/m^3)

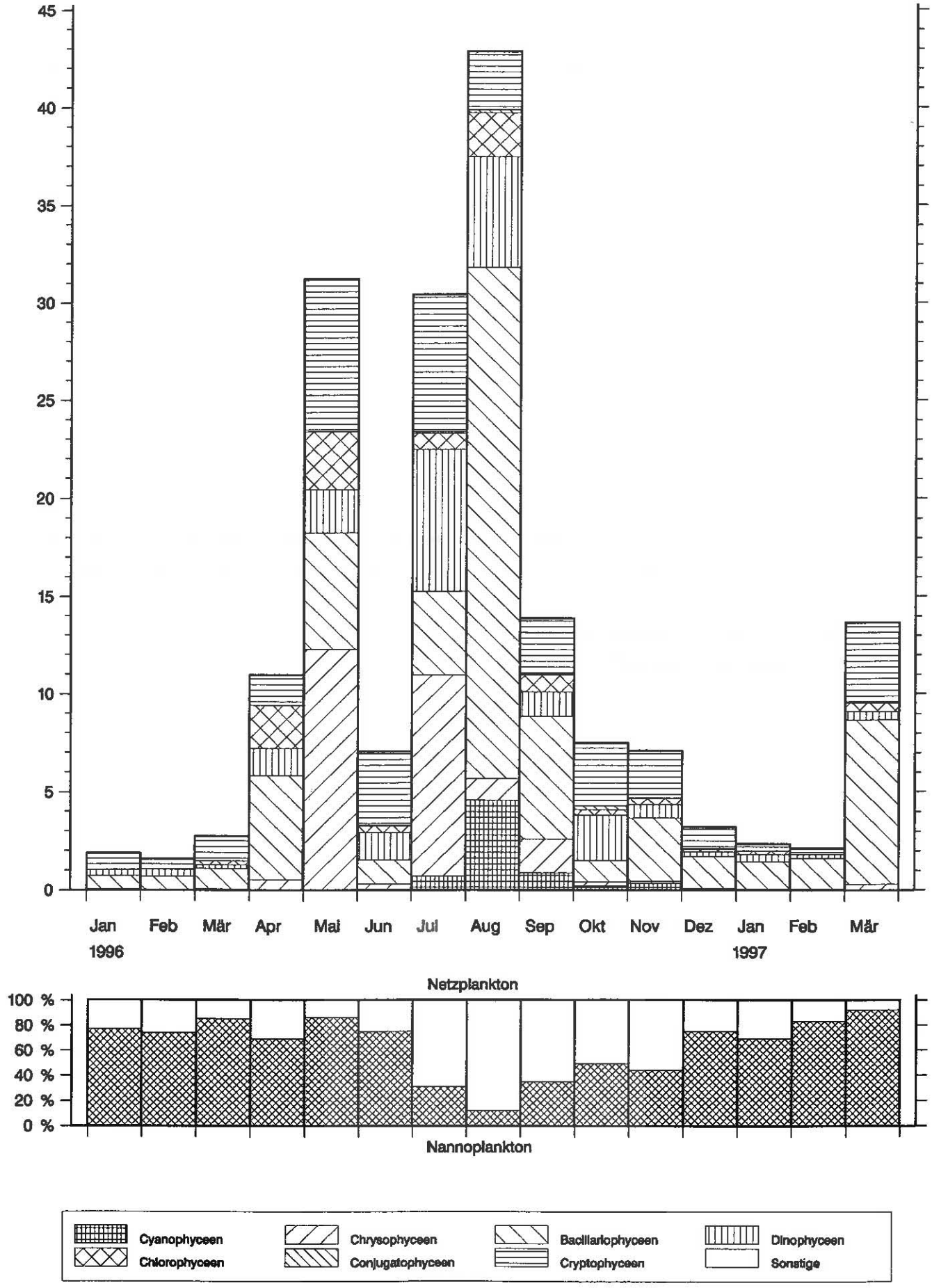


Abb. 27: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
Entwicklung des Phytoplanktons
Biomasse in g/m^2 (0 – 20m Tiefe), Monatsmittel 1996/97

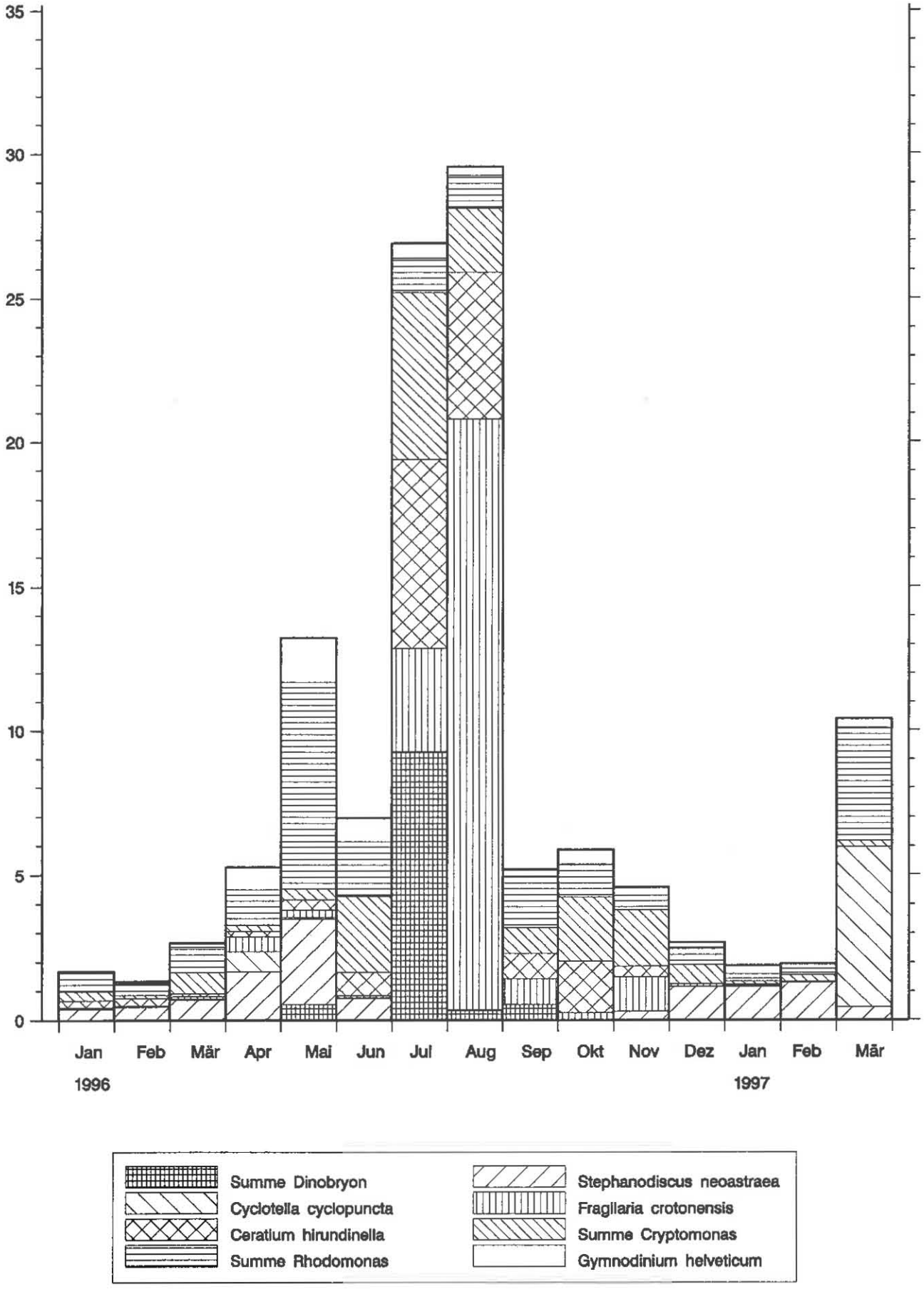


Abb. 28: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
Entwicklung des Phytoplanktons
Biomasse der Hauptarten in g/m^2 (0 – 20m Tiefe), Monatsmittel 1996/97

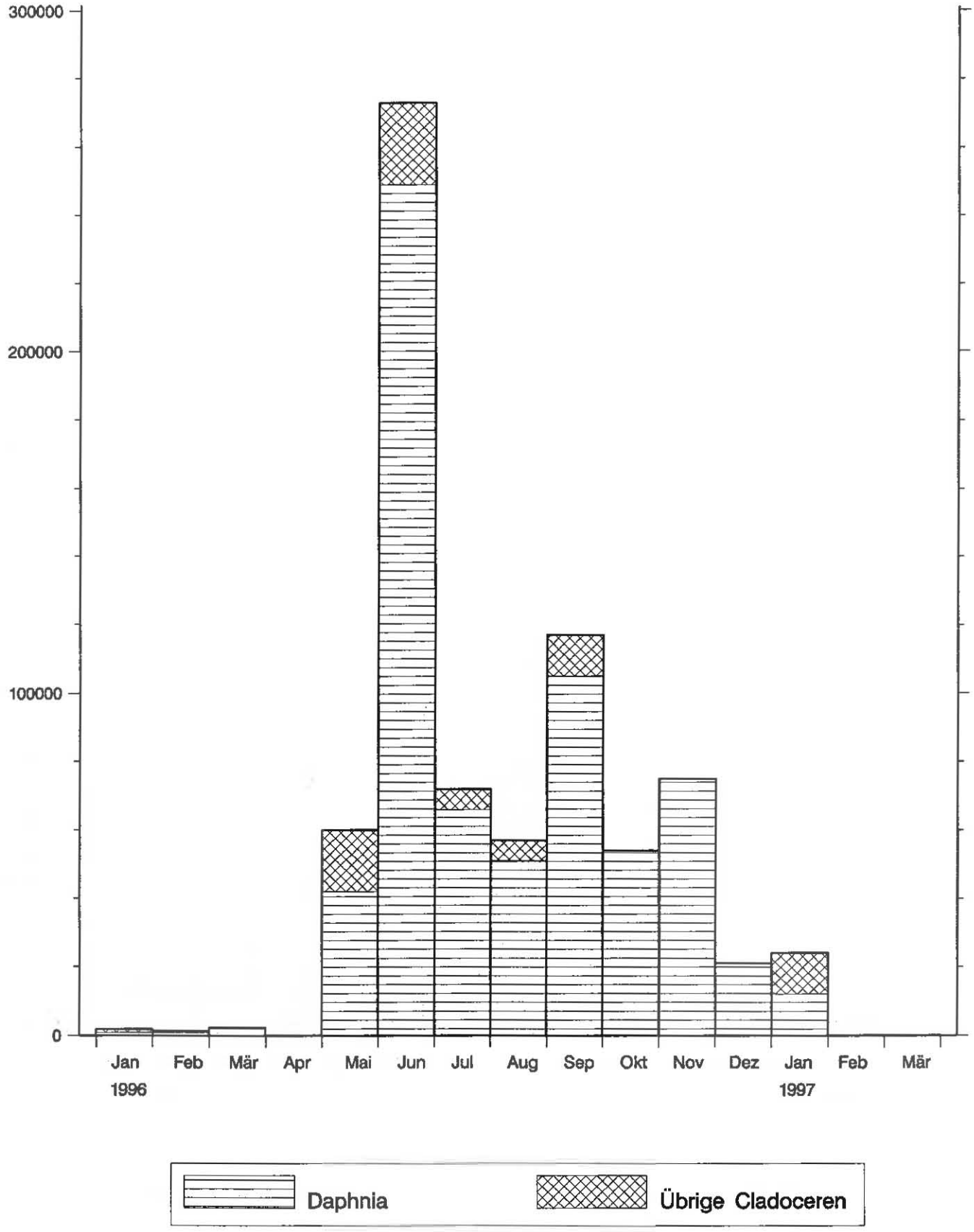
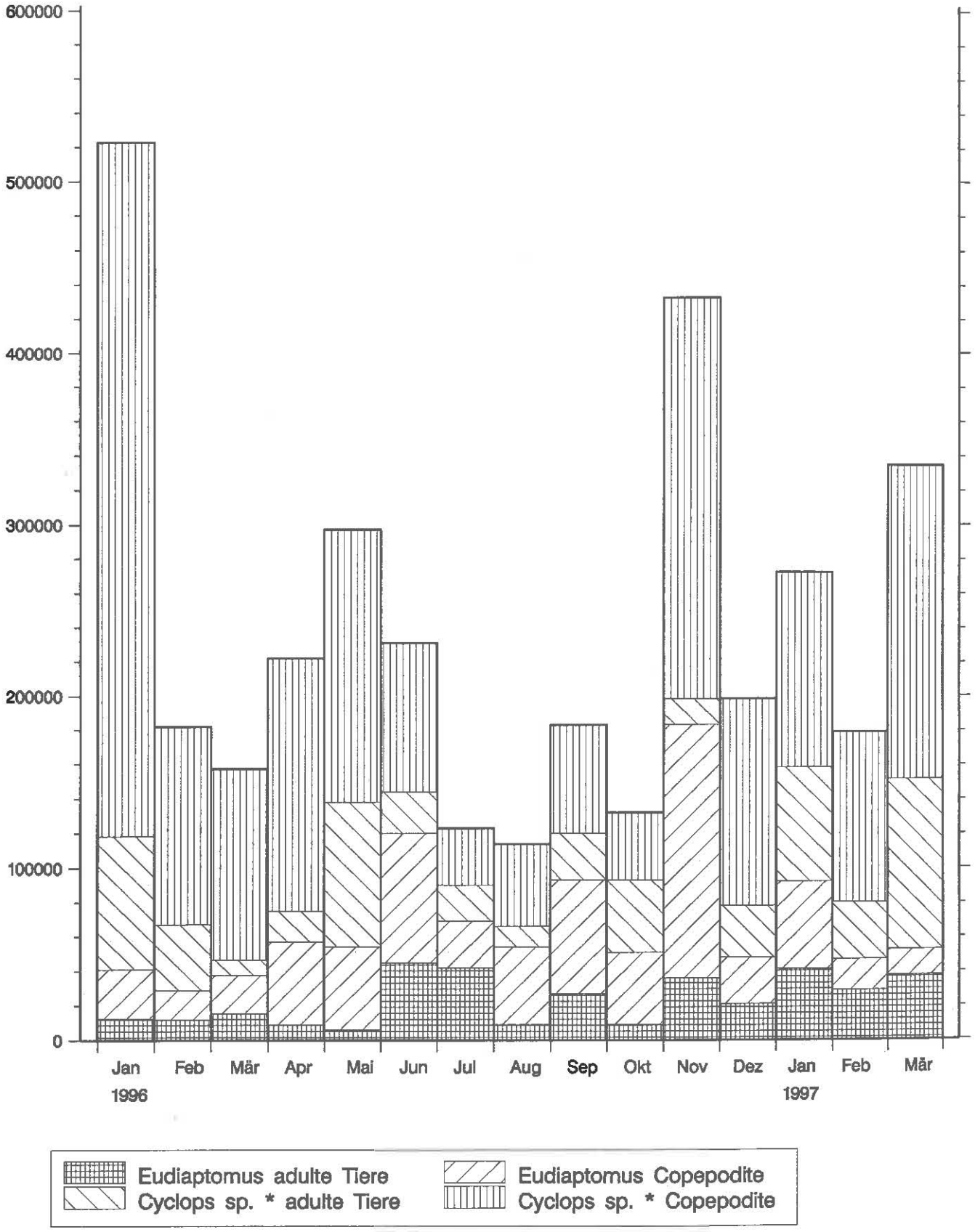
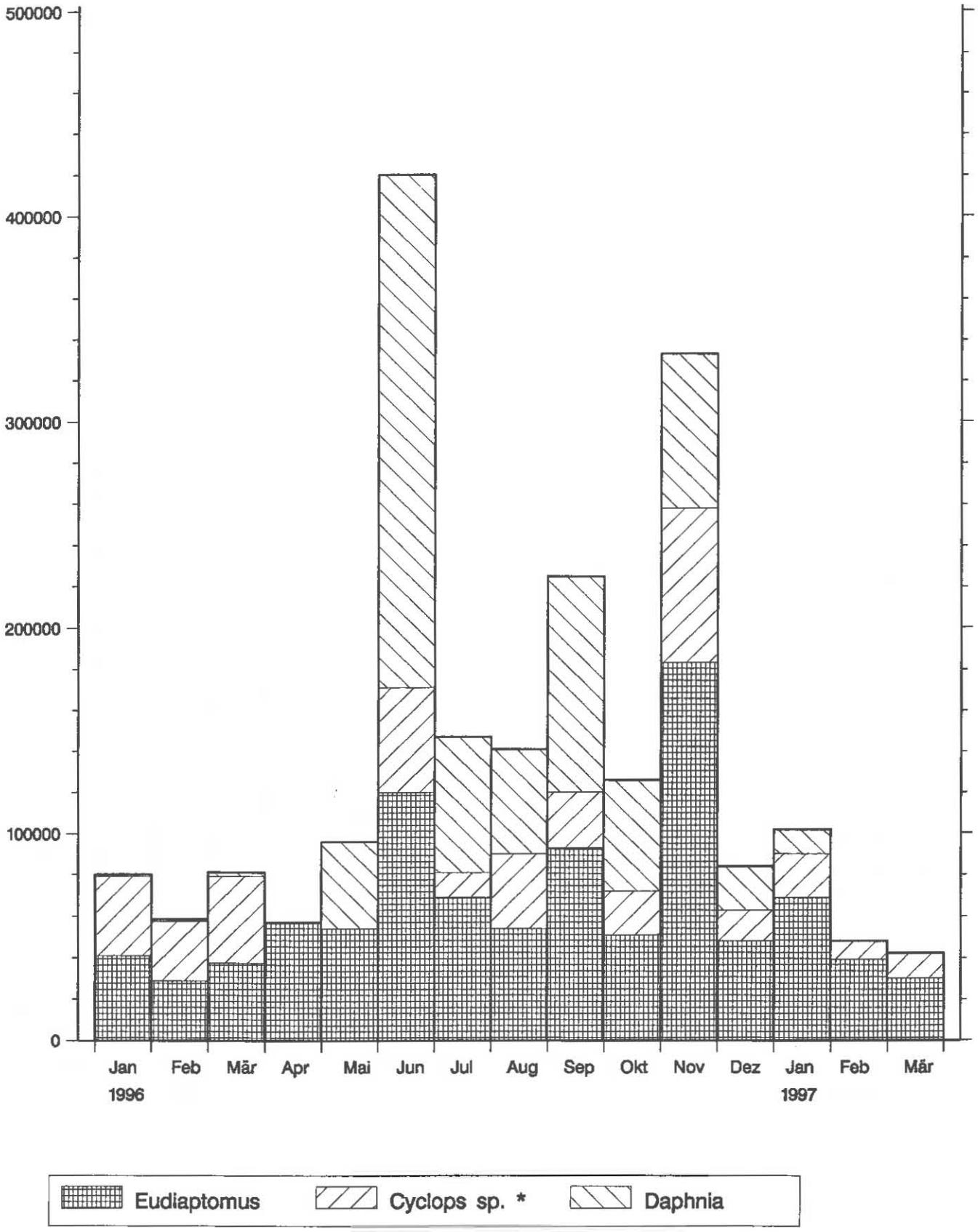


Abb. 29: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
Entwicklung der Cladoceren
Tiere/m^2, Monatsmittel 1996/97



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

Abb. 30: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
Entwicklung der Copepoden, adulte Tiere und Copepodite,
Tiere/m^2, Monatsmittel 1996/97



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

Abb. 31: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
Entwicklung der herbivor lebenden Crustaceen,
Tiere/m^2, Monatsmittel 1996/97

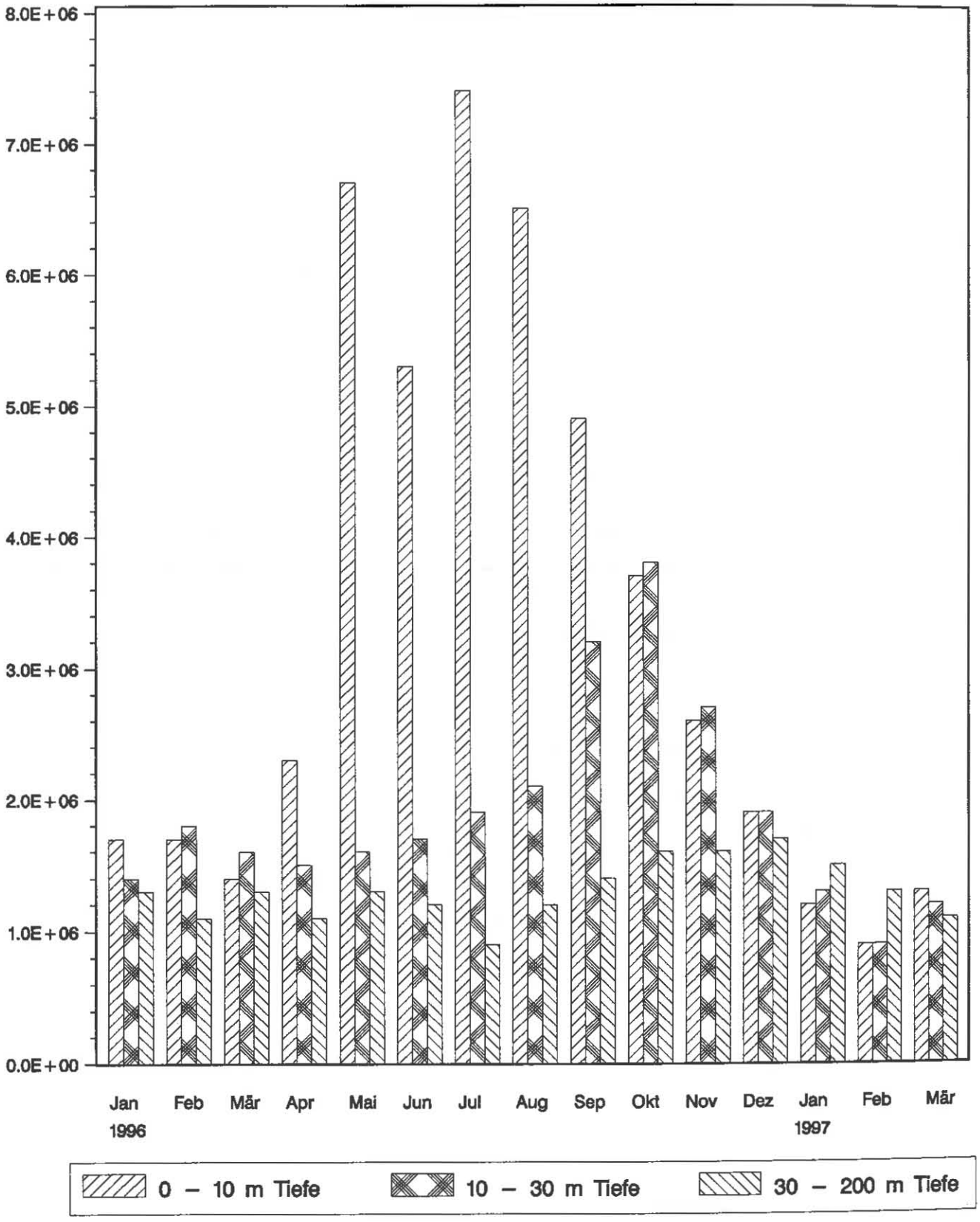


Abb. 32: Bodensee – Obersee, Langenargen – Arbon:
Entwicklung des Bakterienplanktons,
Gesamtkeimzahlen (Millionen Zellen/ml), Monatsmittel 1996/97

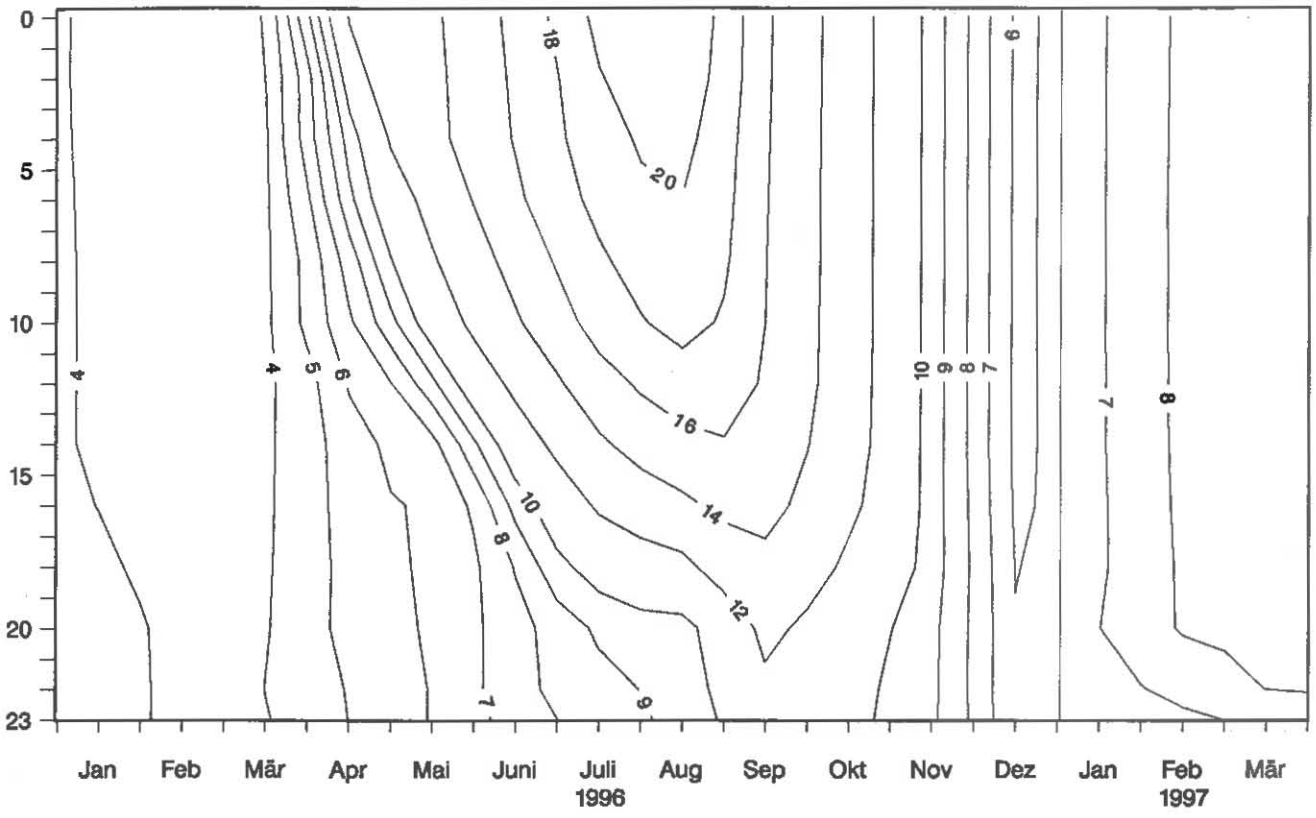


Abb. 33: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Temperatur °C

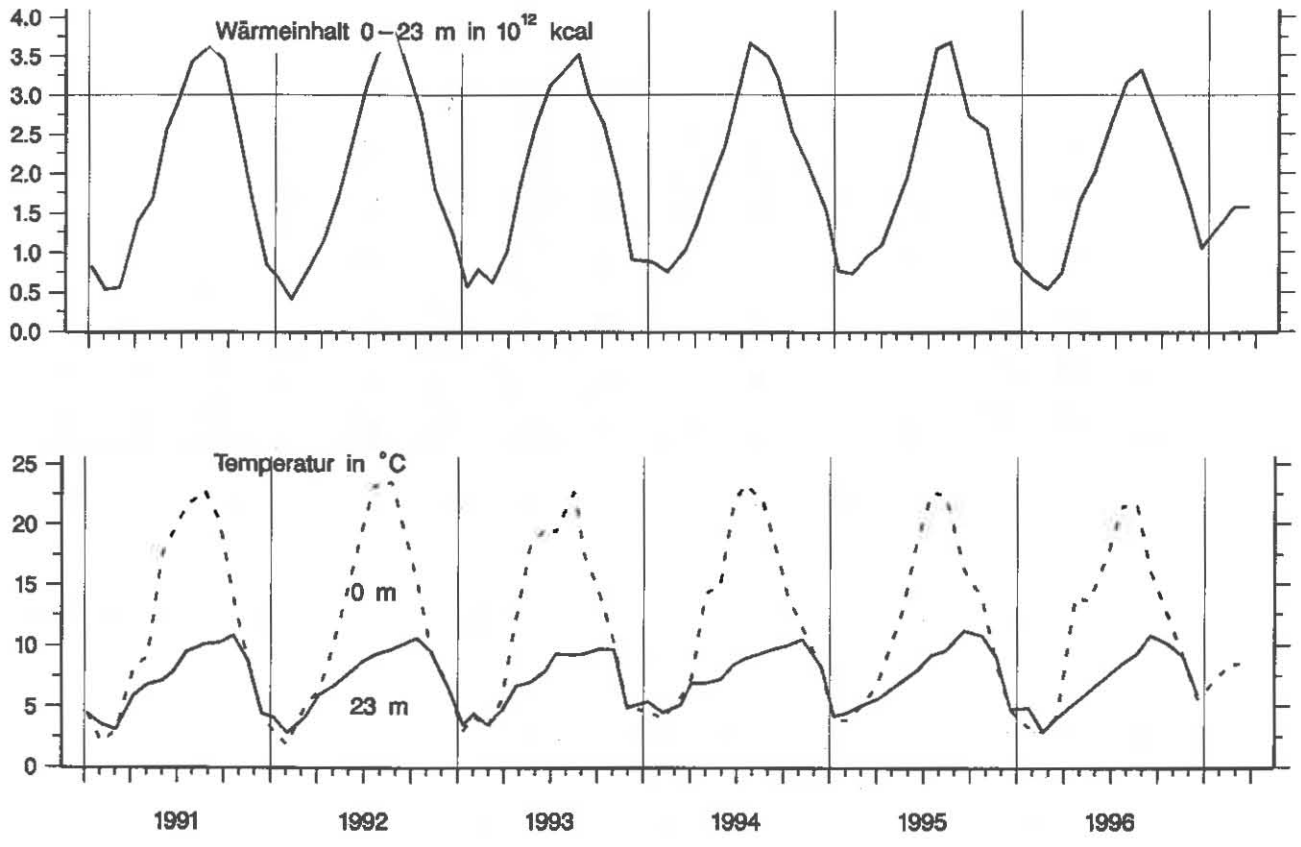


Abb. 34: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Thermik

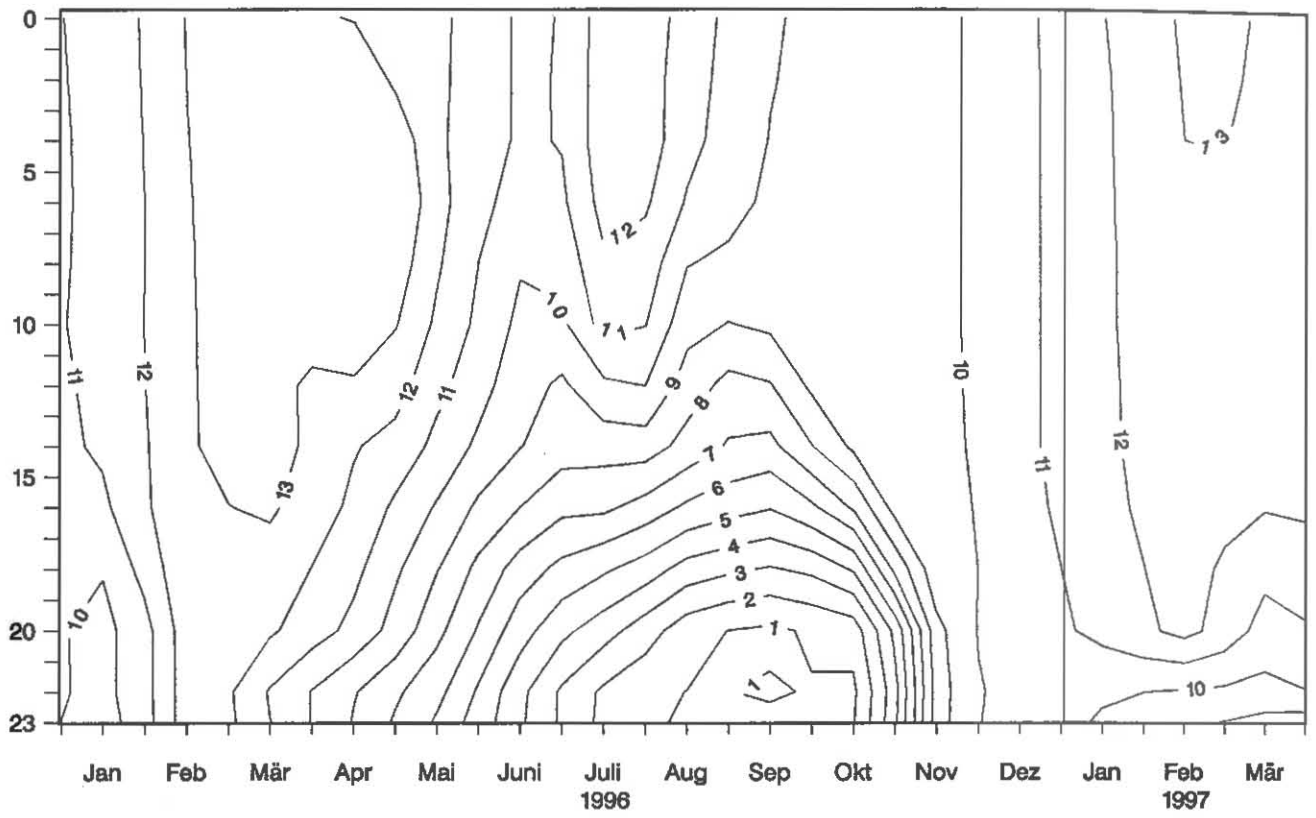


Abb. 35: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Sauerstoff (mg/l)

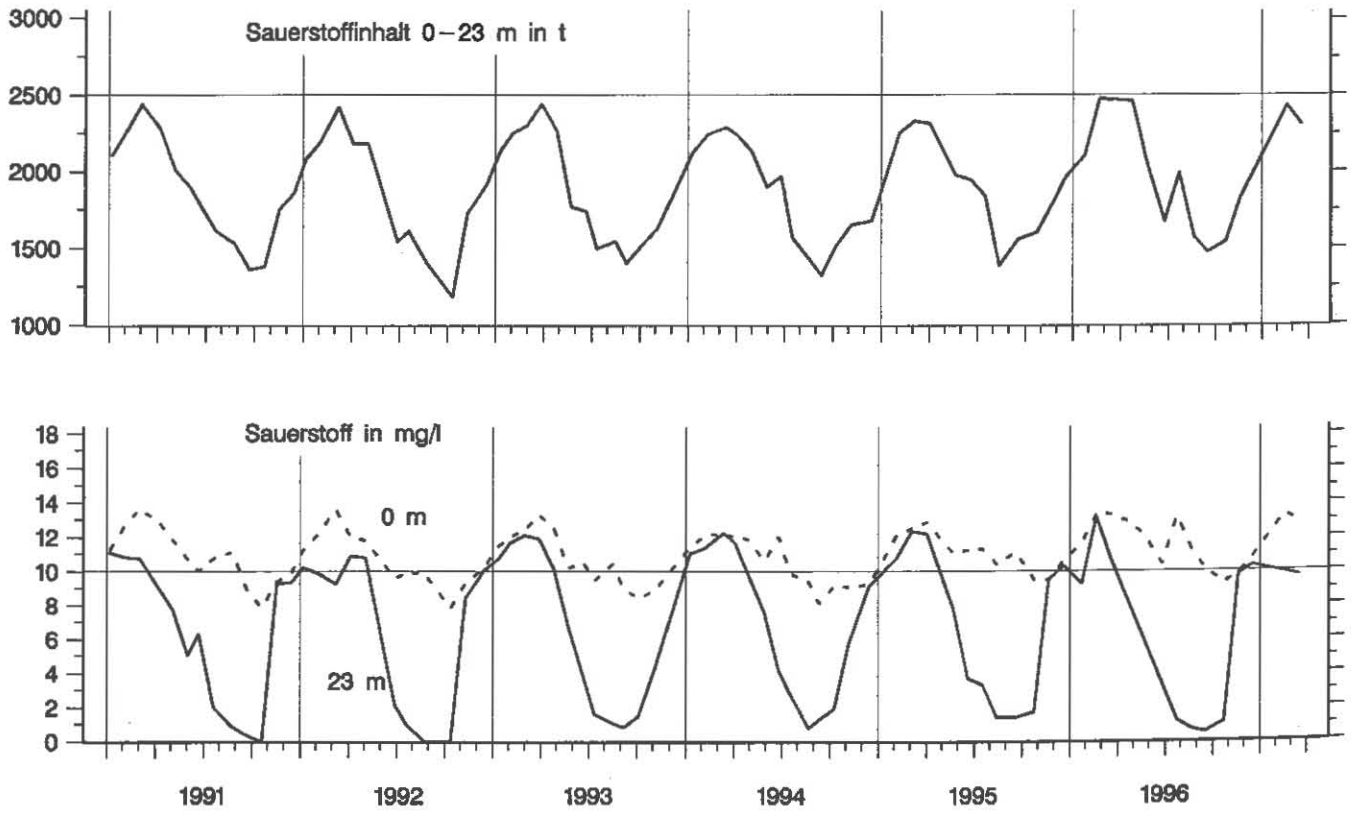


Abb. 36: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Sauerstoffinhalt 0–23 m und Sauerstoffkonzentration in 0 und 23 m Tiefe

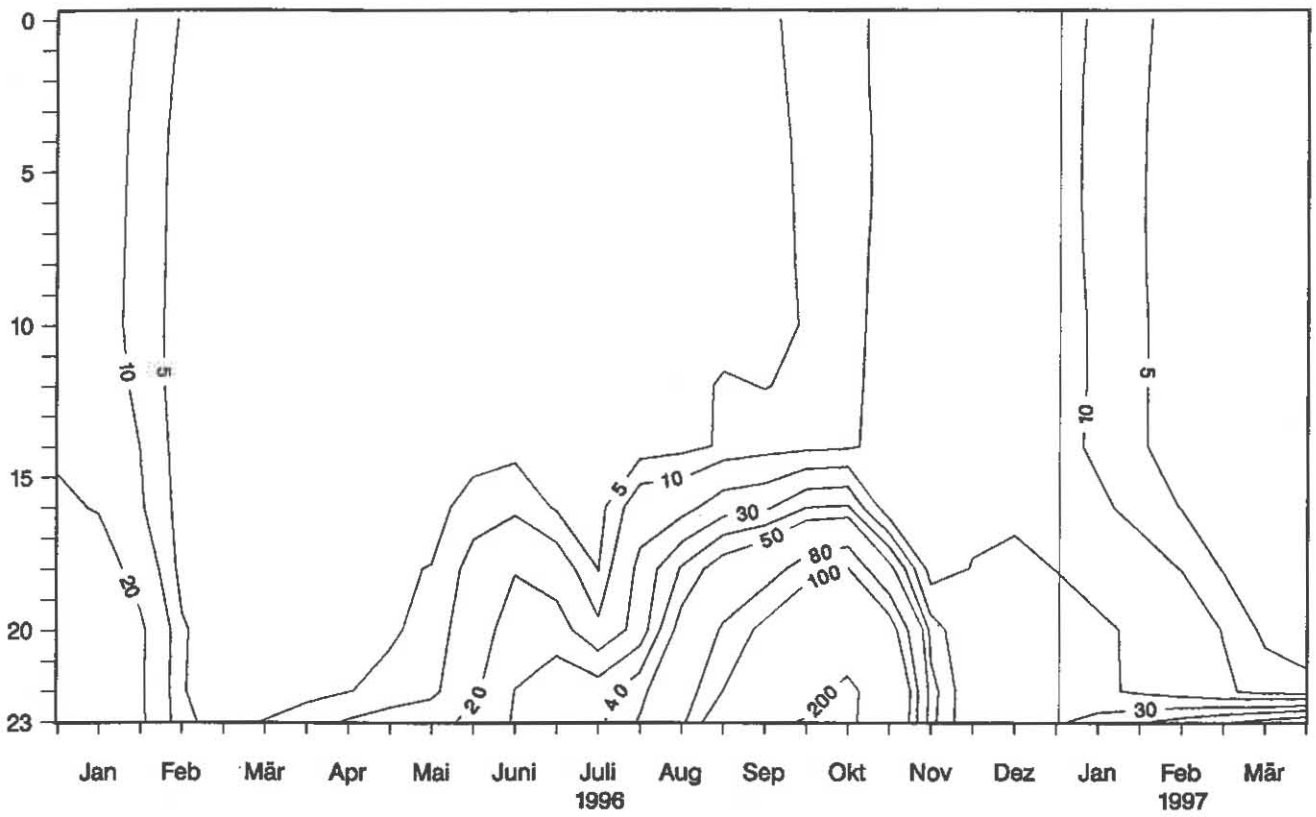


Abb. 37: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Orthophosphat – Phosphor (mg/m^3)

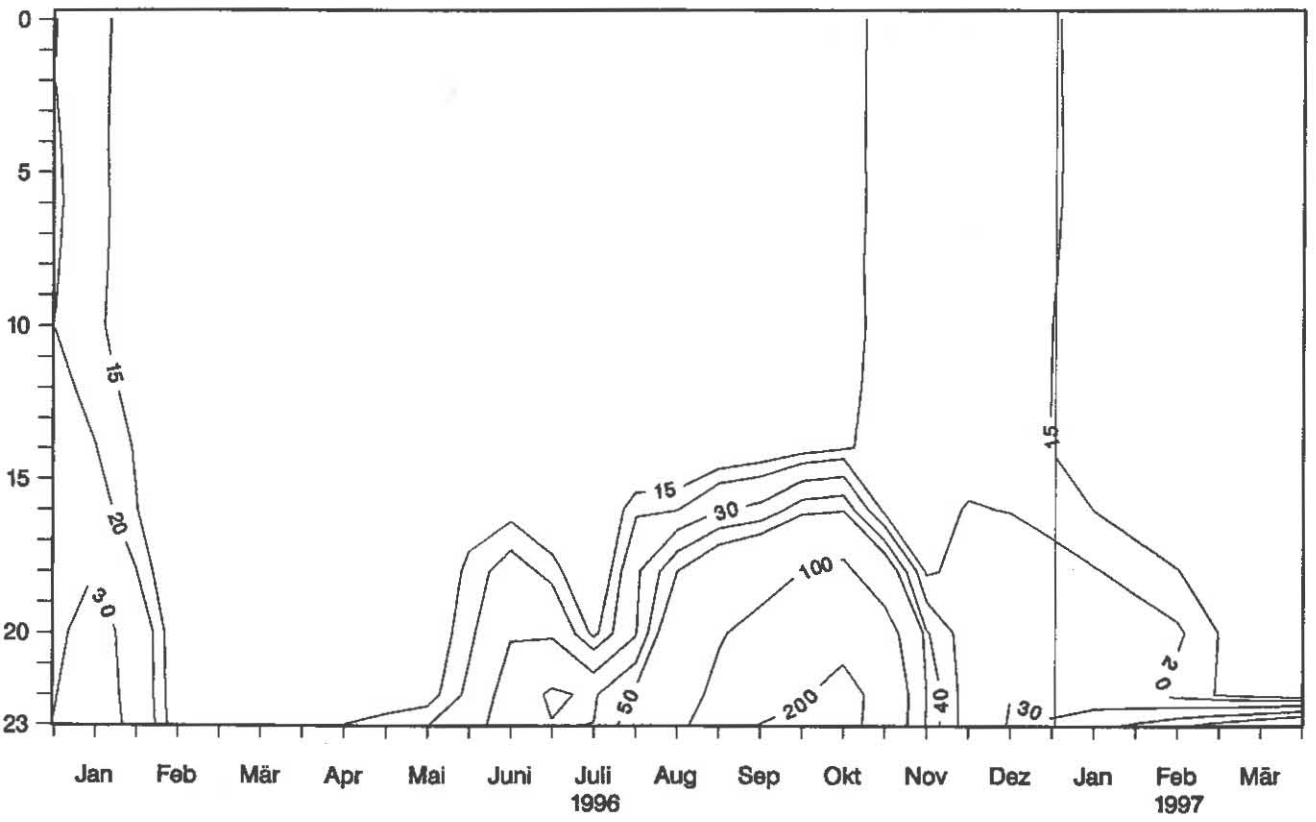


Abb. 38: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Gesamt gelöster Phosphor (mg/m^3)

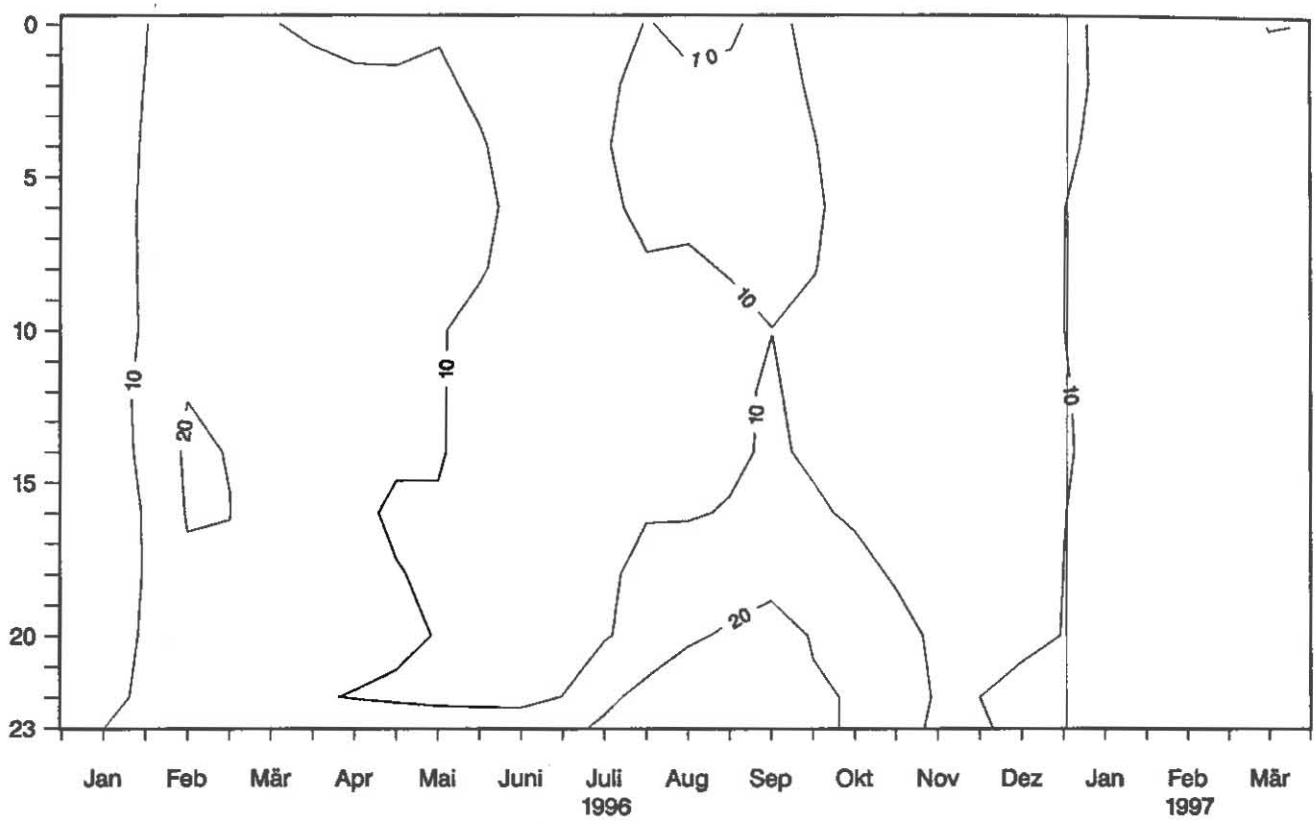


Abb. 39: Bodensee – Untersee, Zellersee:
partikulärer Phosphor (mg/m^3)

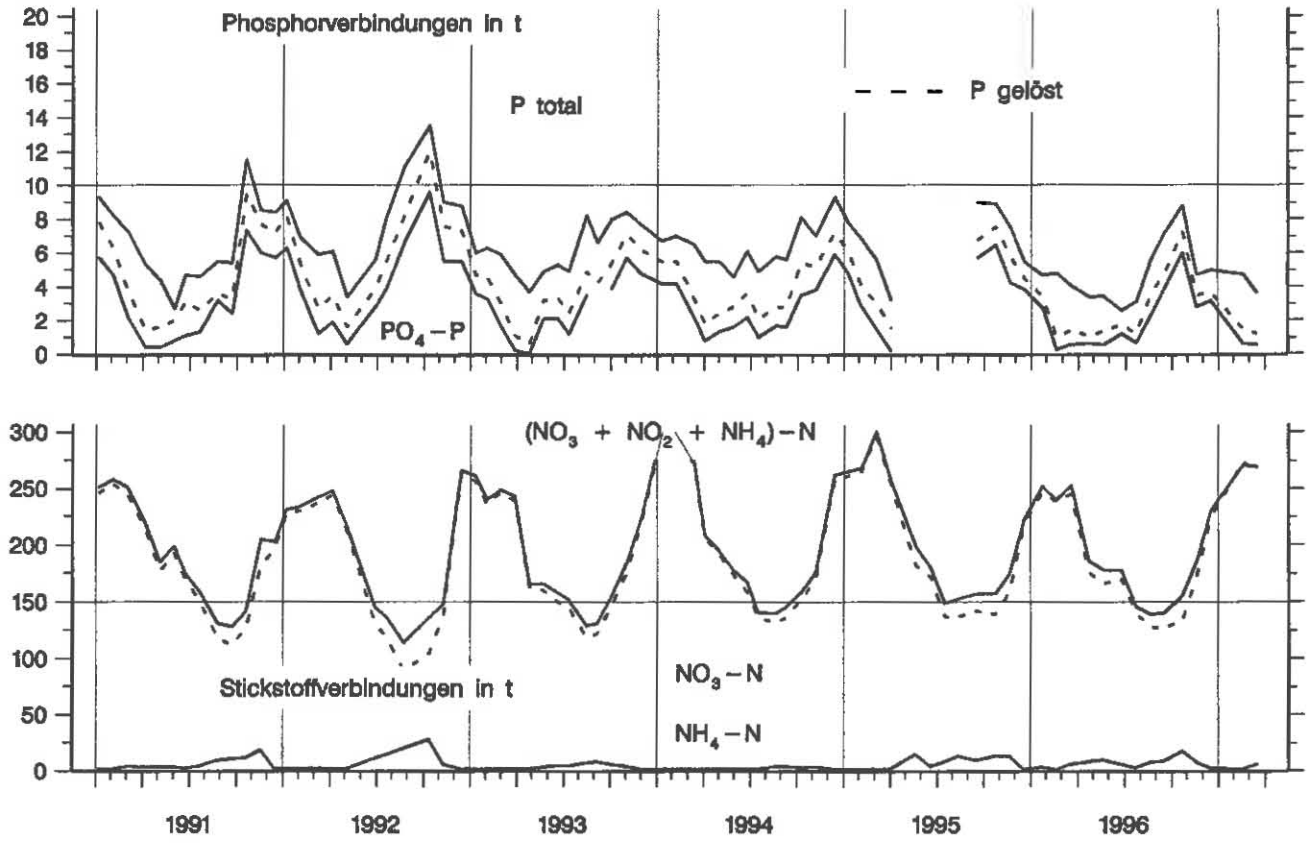


Abb. 40: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Nährstoffinhalt 0 – 23 m Tiefe

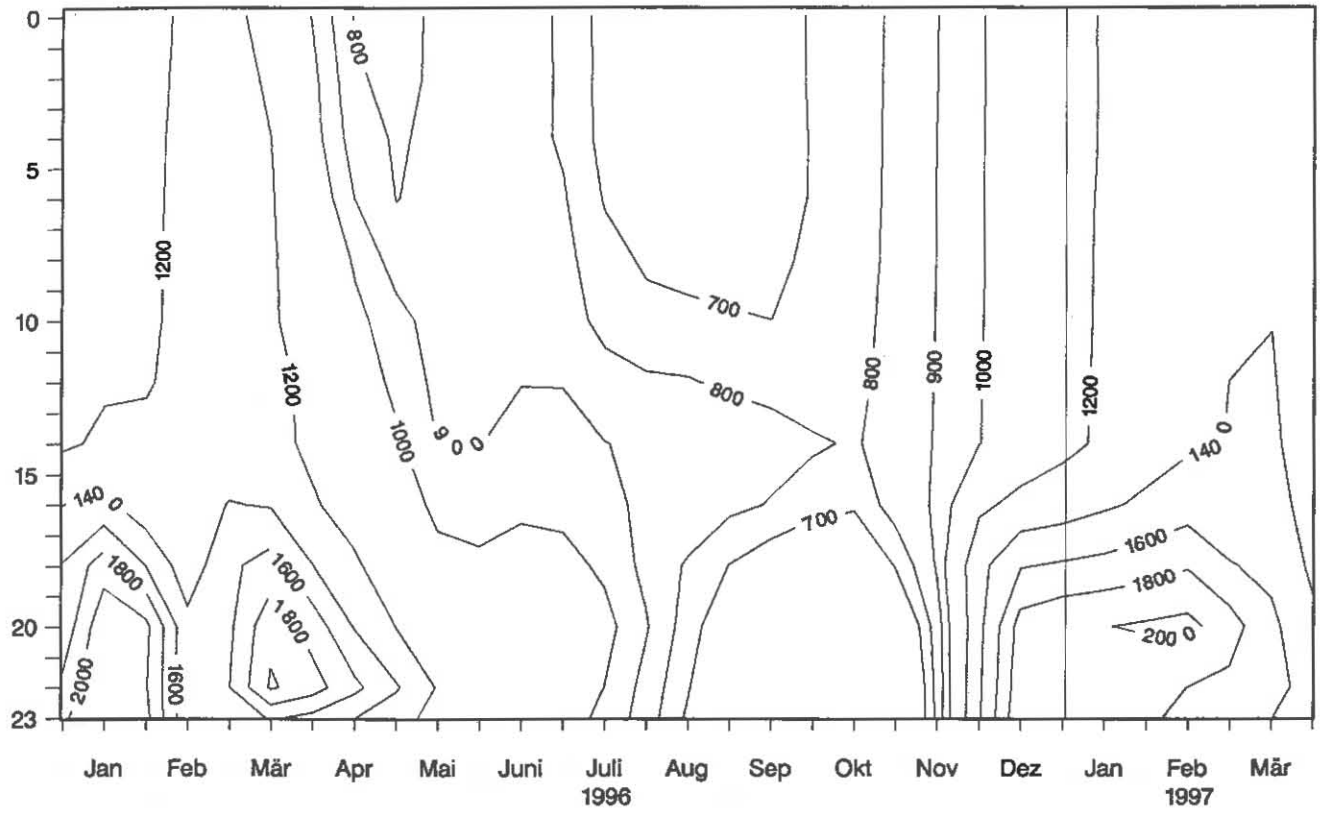


Abb. 41: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Nitrat – Stickstoff (mg/m^3)

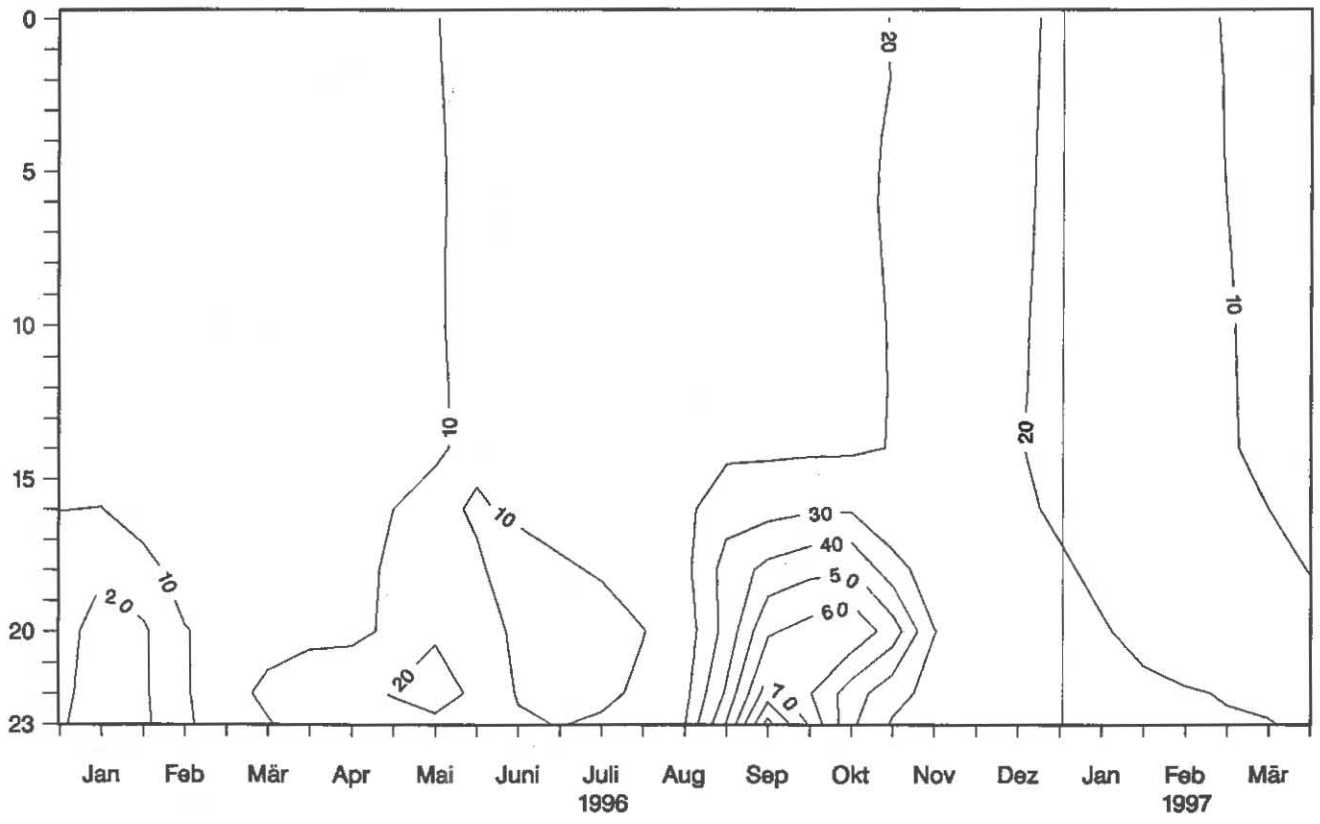


Abb. 42: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Nitrit – Stickstoff (mg/m^3)

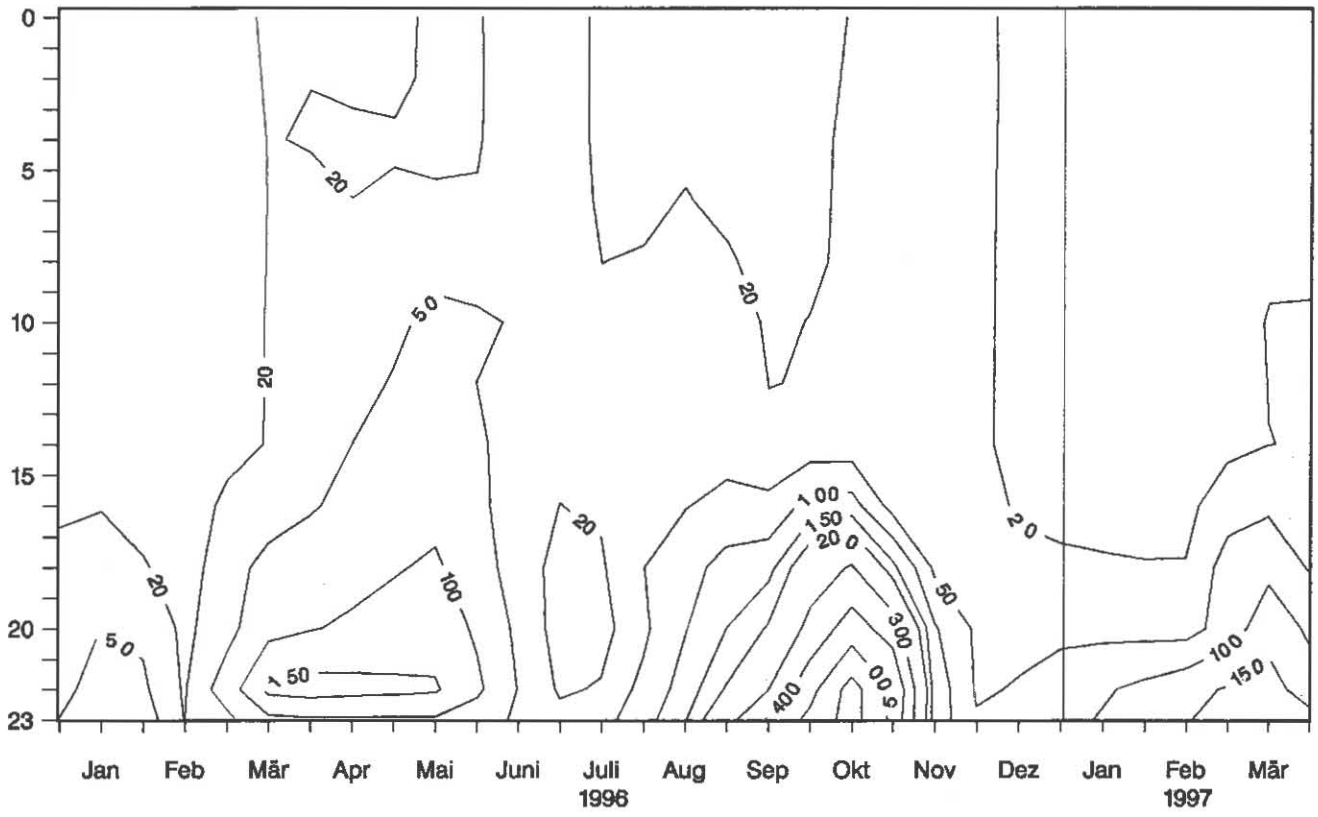


Abb. 43: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Ammonium – Stickstoff (mg/m^3)

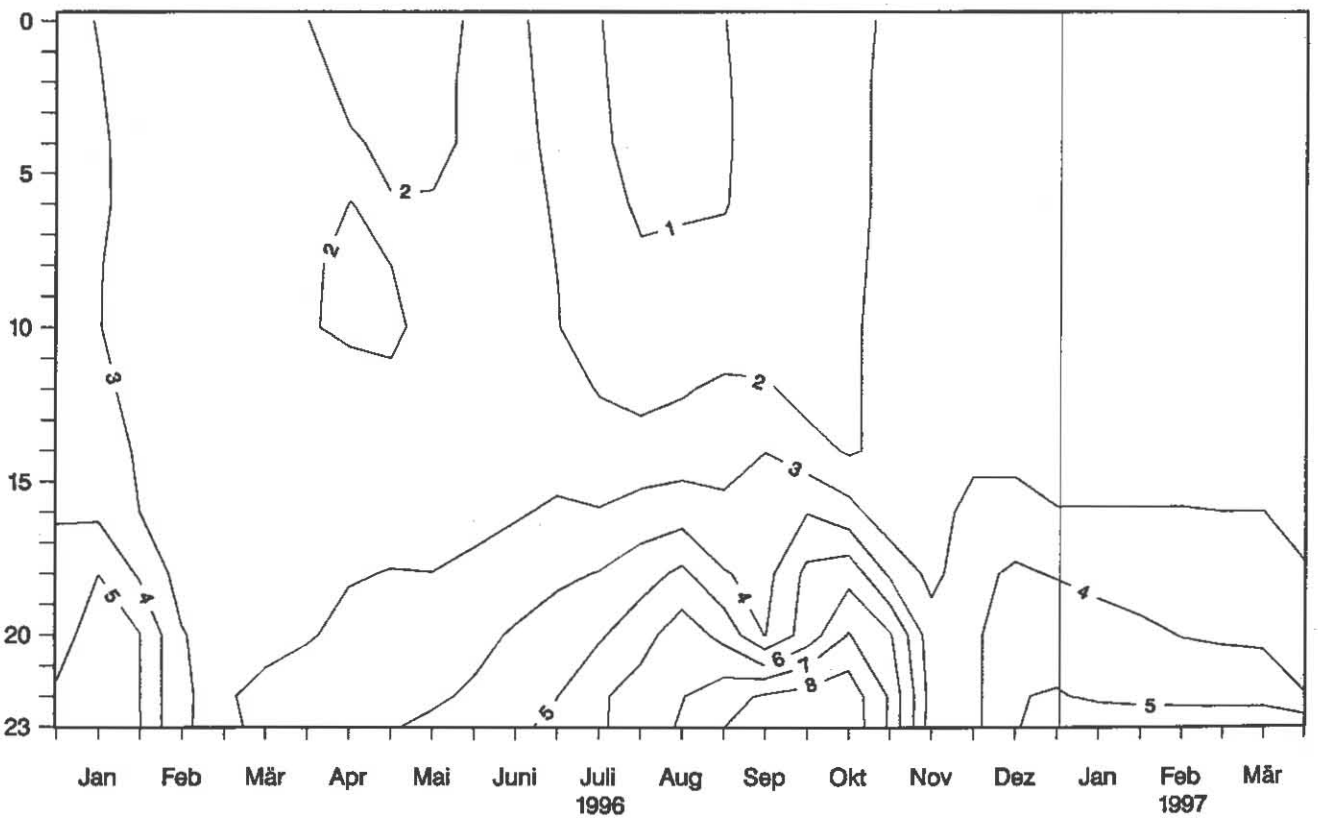


Abb. 44: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Silikat (mg/l)

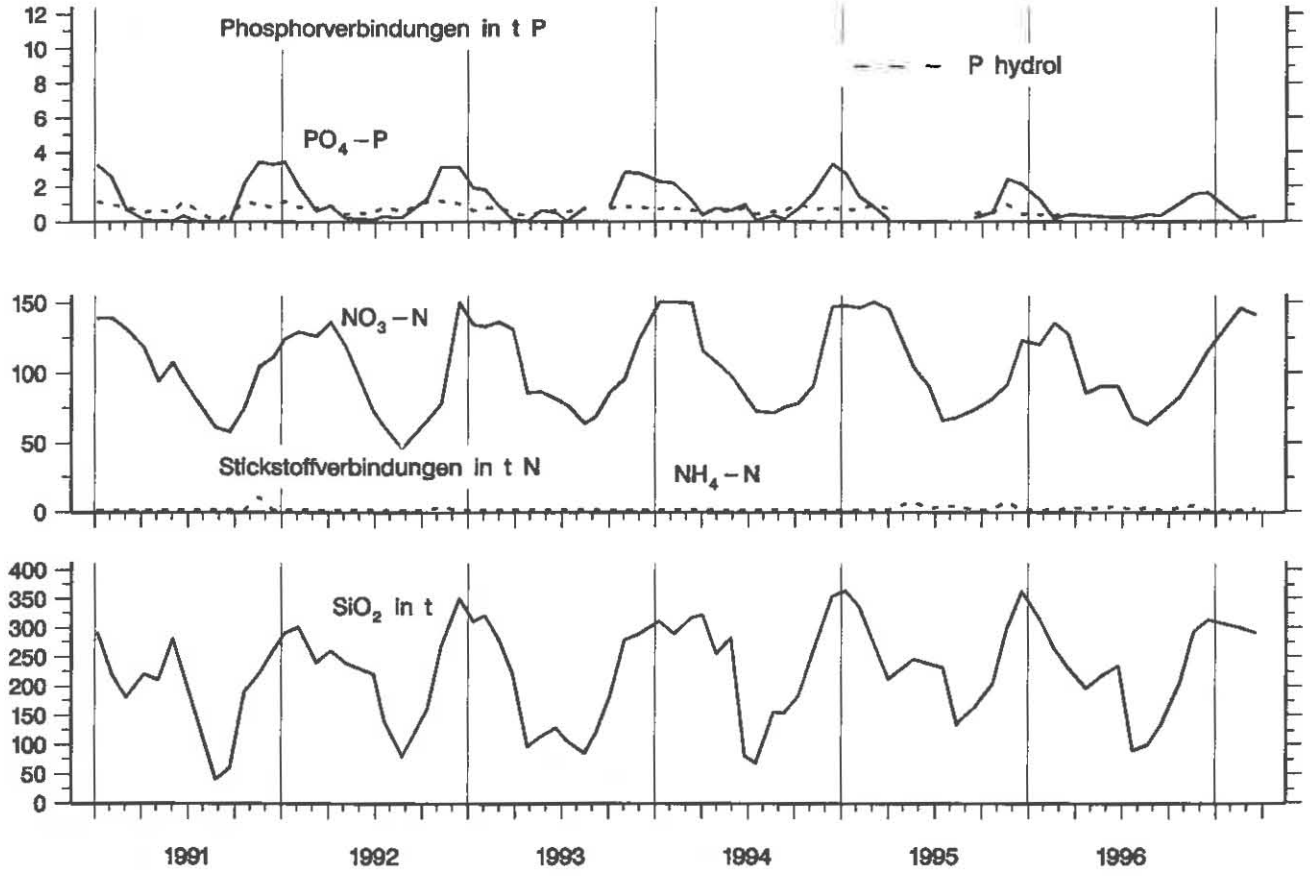


Abb. 45: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Nährstoffinhalt im Epilimnion 0–10 m Tiefe

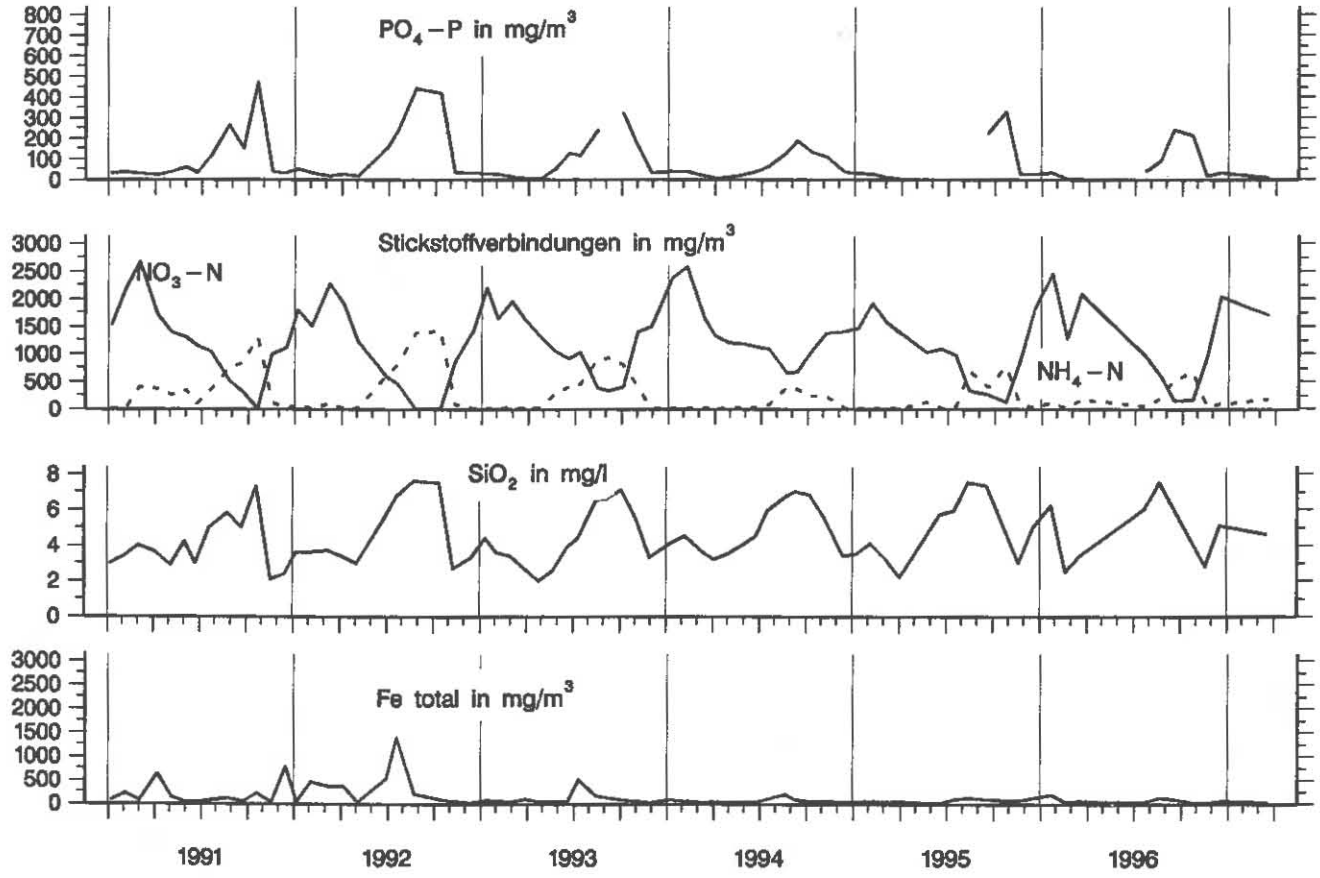


Abb. 46: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Nährstoffkonzentration in 23 m Tiefe

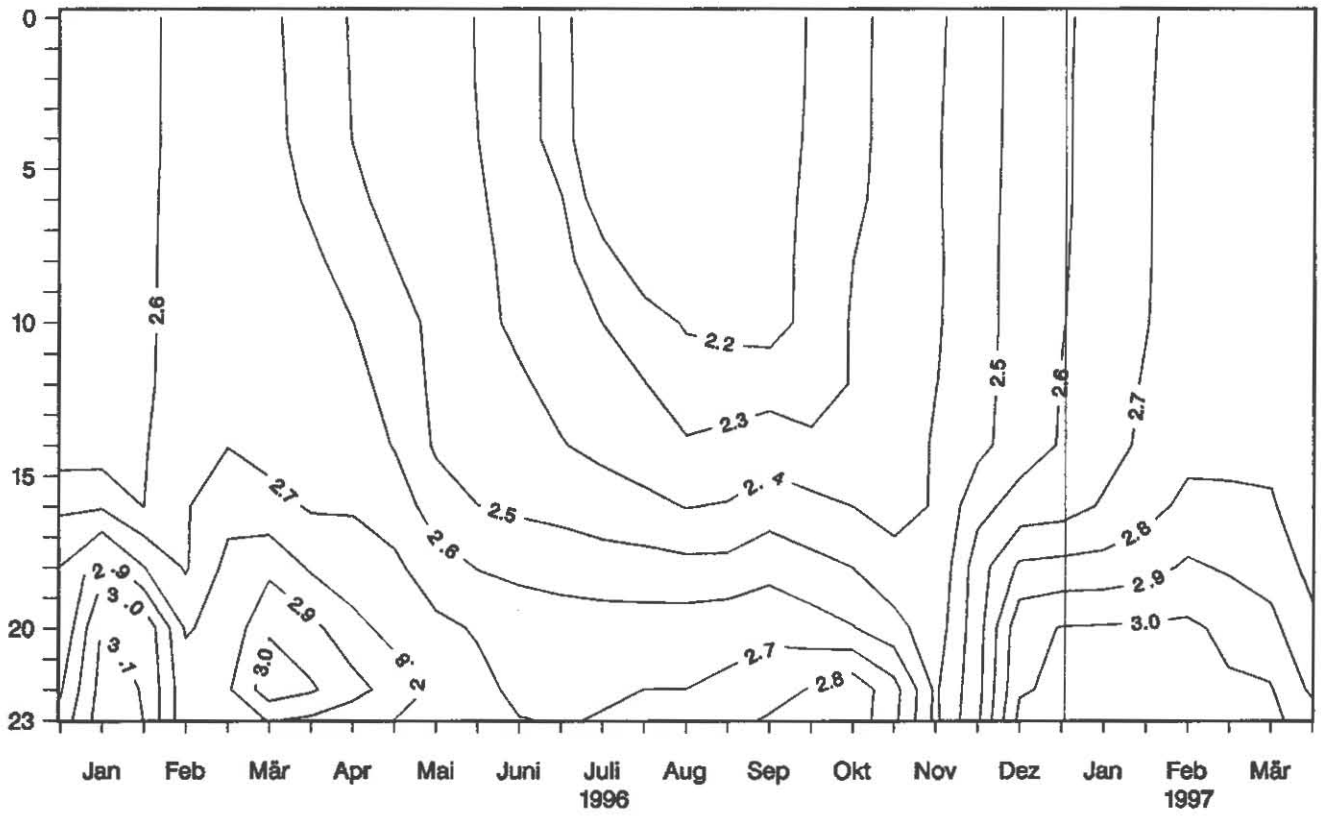


Abb. 47: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Anorganischer Kohlenstoff (mmol/l)

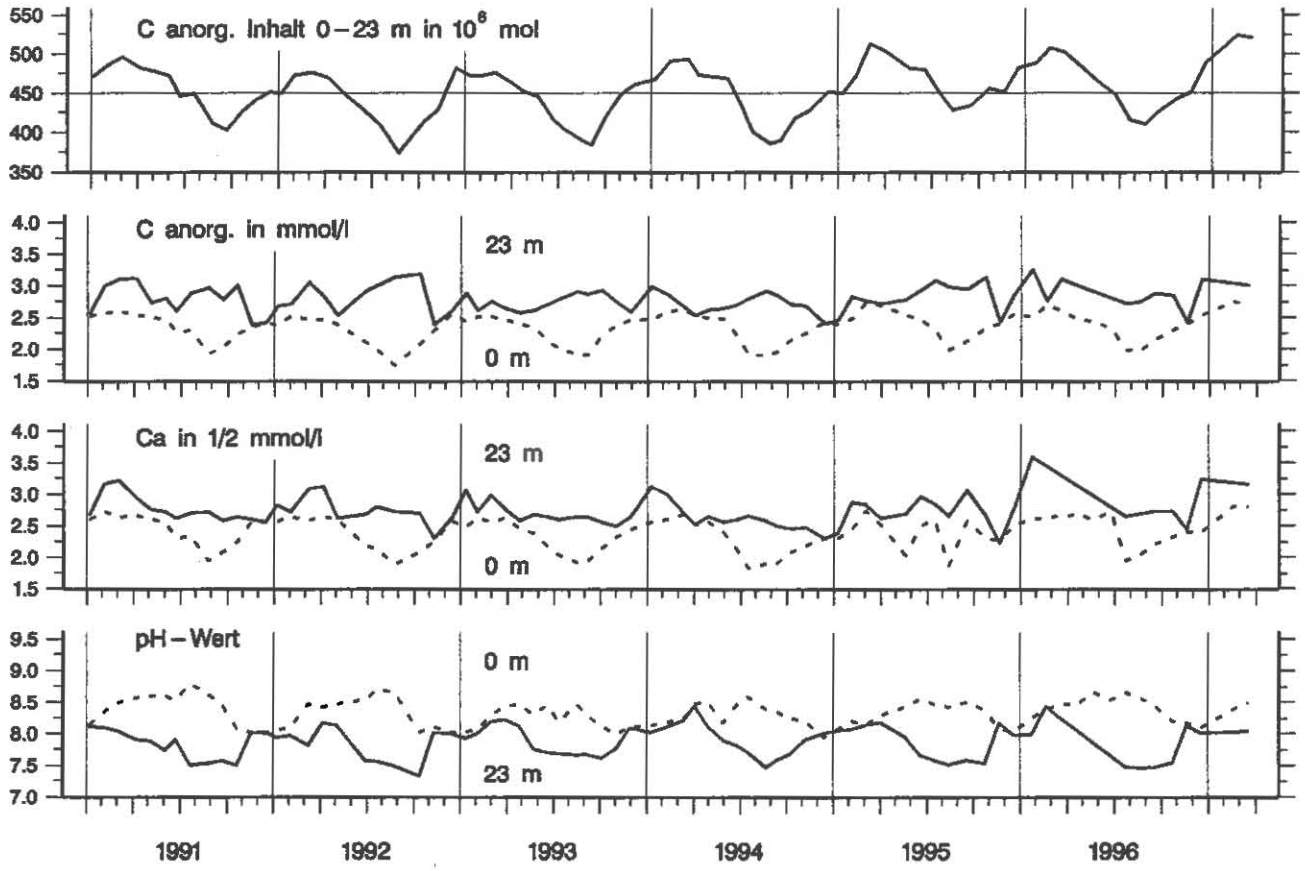


Abb. 48: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Anorganischer Kohlenstoff, Inhalt 0–23 m Tiefe
Konzentration von anorg. Kohlenstoff, Calcium; pH–Wert

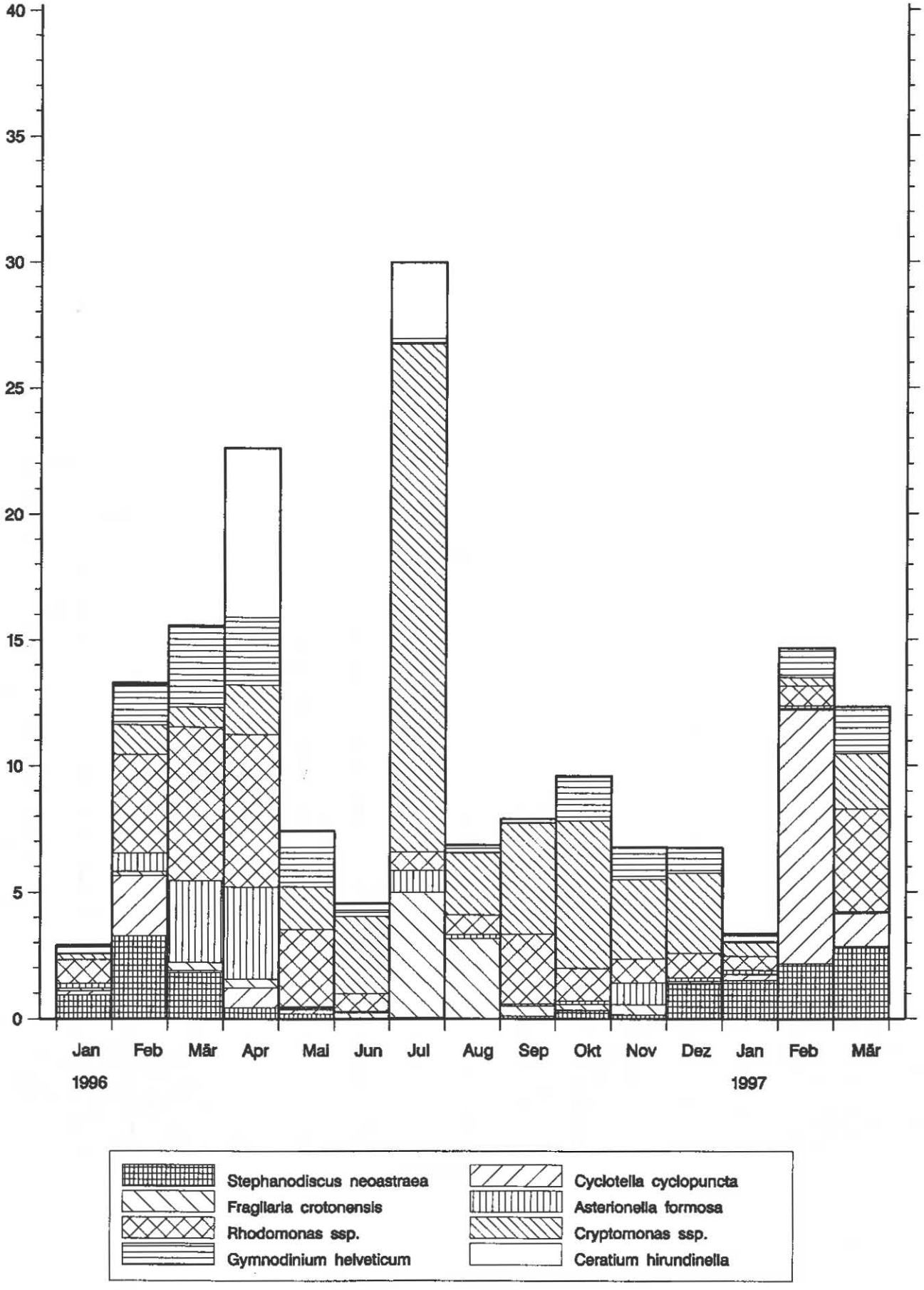


Abb. 52: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Entwicklung des Phytoplanktons
Biomasse der Hauptarten in g/m² (0–20m Tiefe), Monatsmittel 1996/97

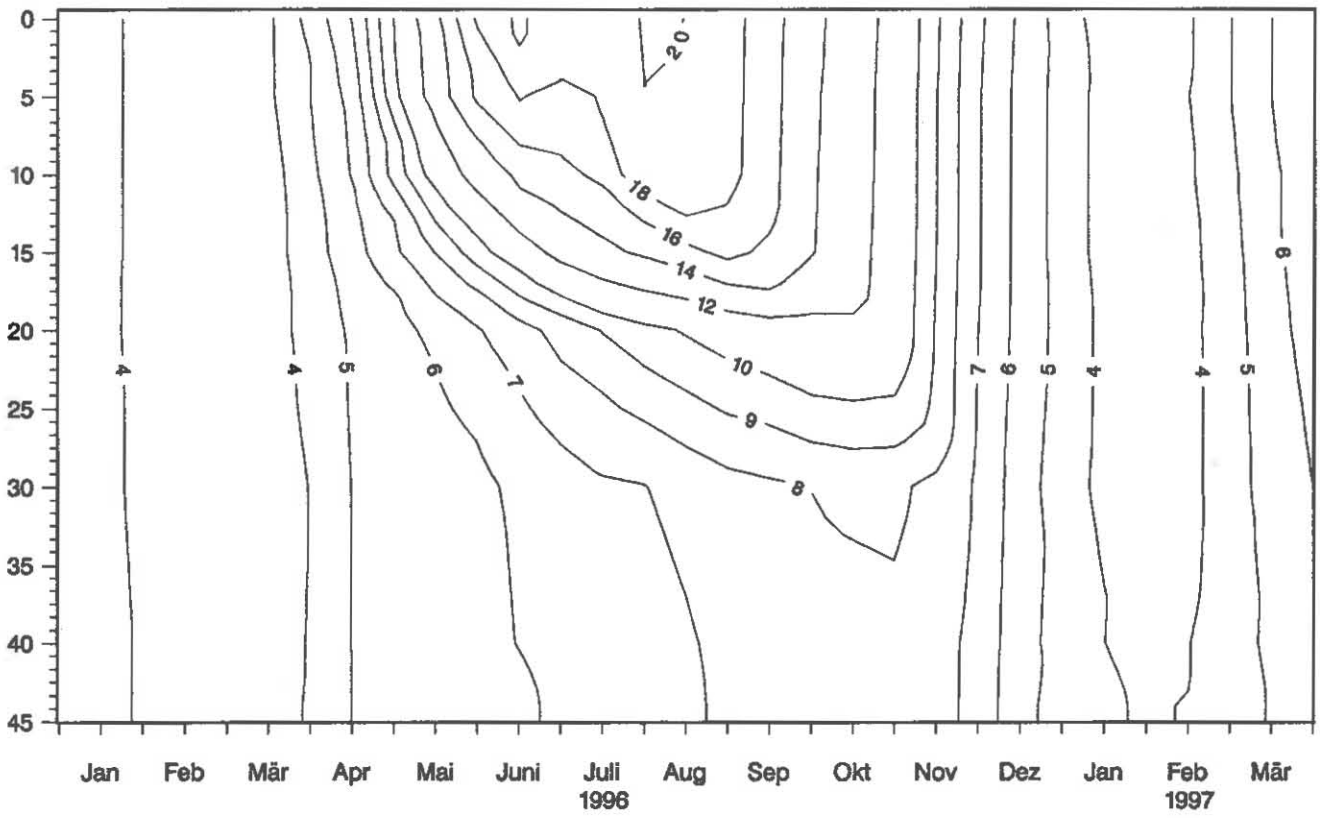


Abb. 53: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Temperatur °C

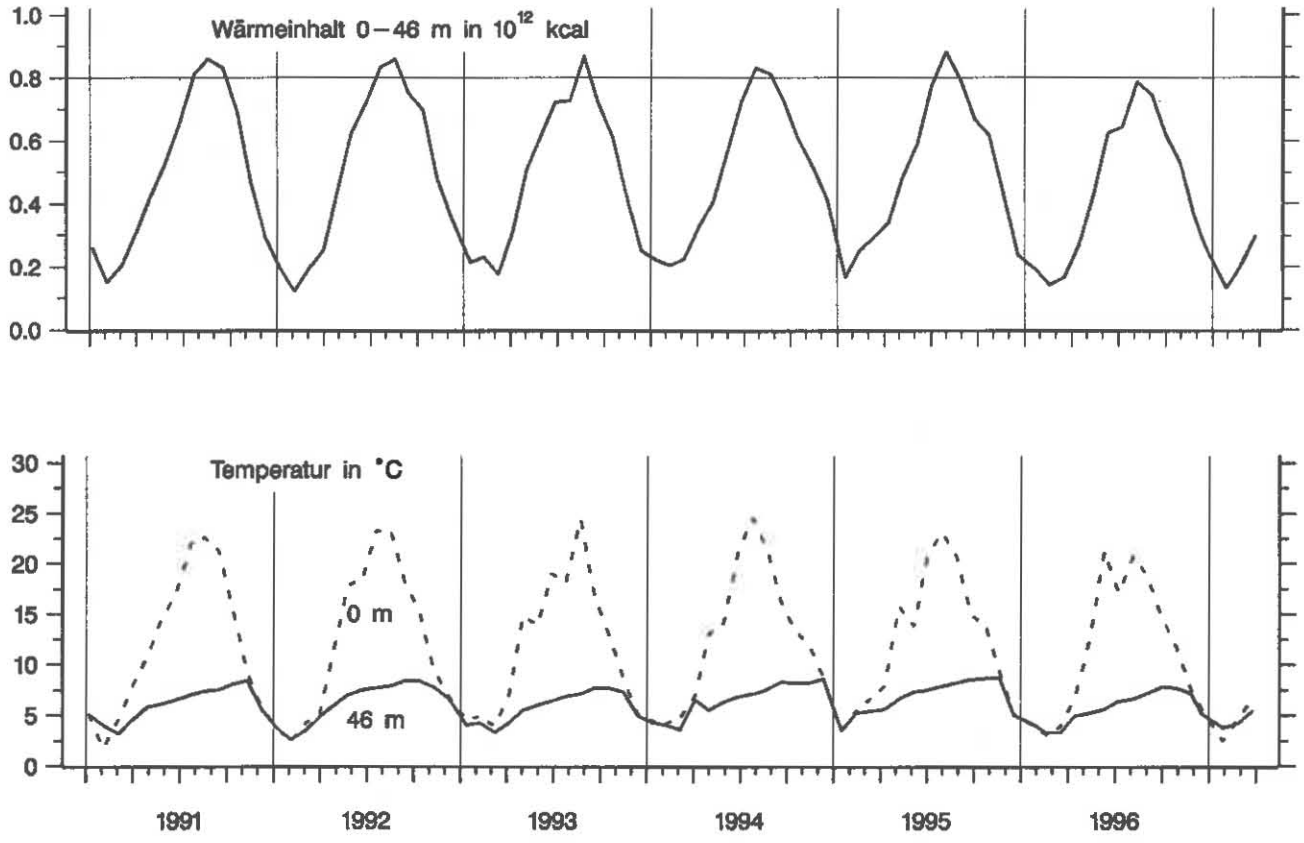


Abb. 54: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Thermik

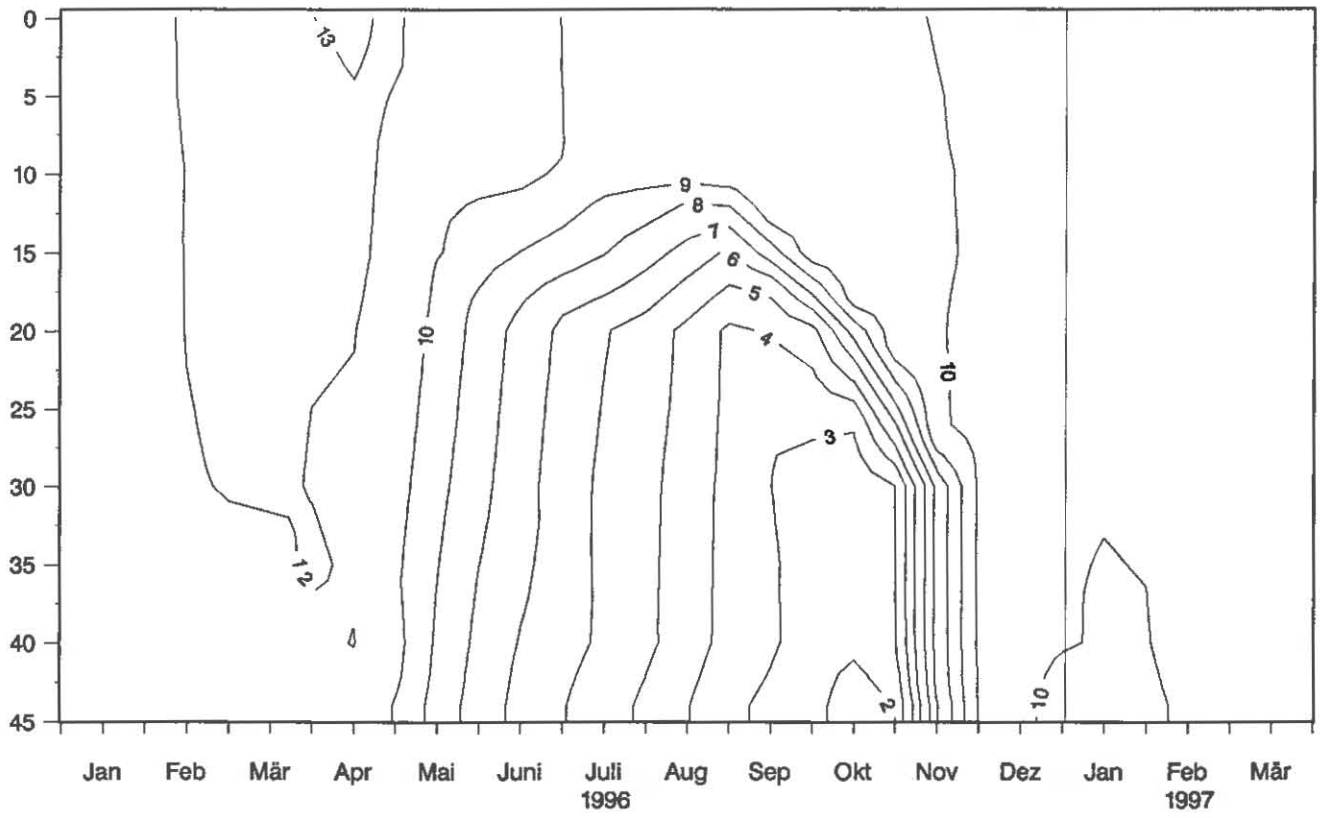


Abb. 55: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Sauerstoff (mg/l)

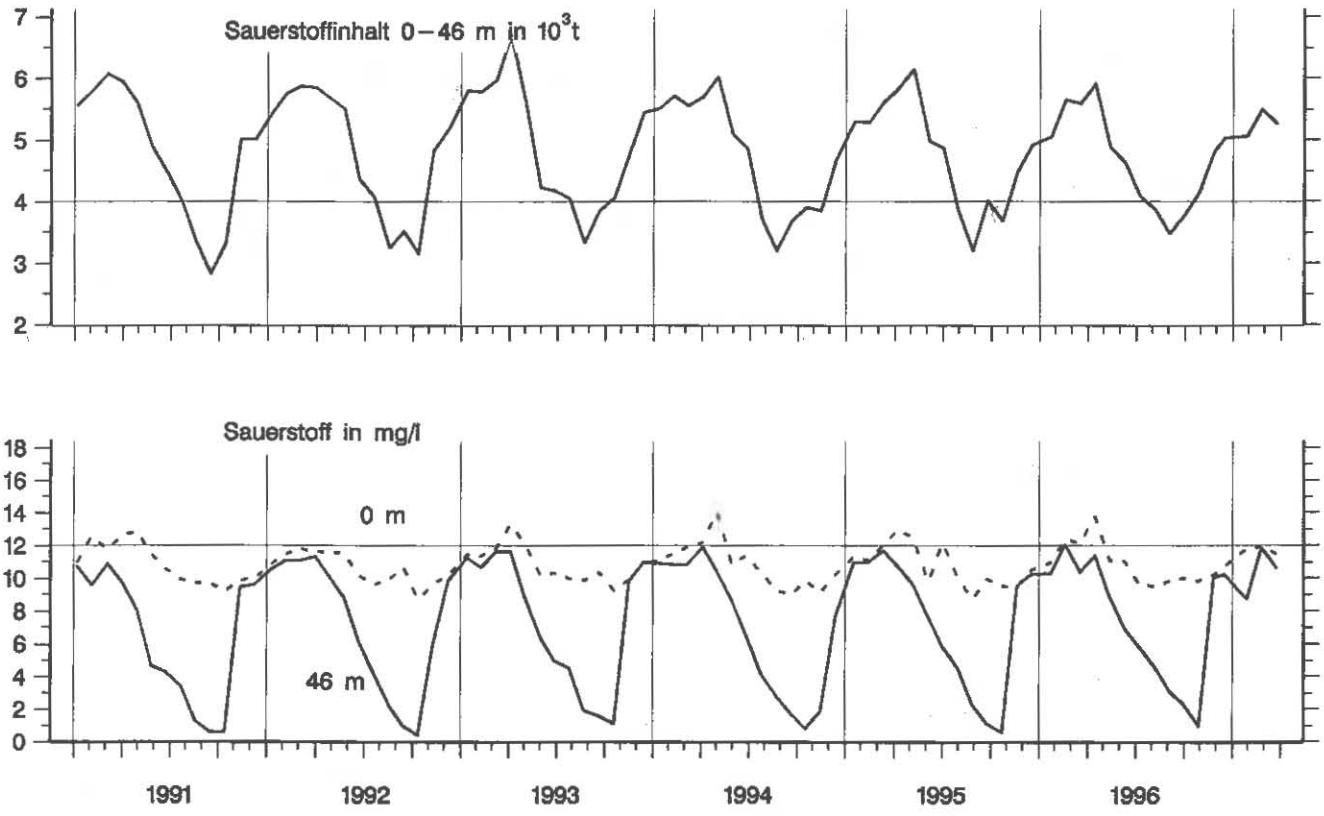


Abb. 56: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Sauerstoffinhalt 0–46 m und Sauerstoffkonzentration in 0 und 46 m Tiefe

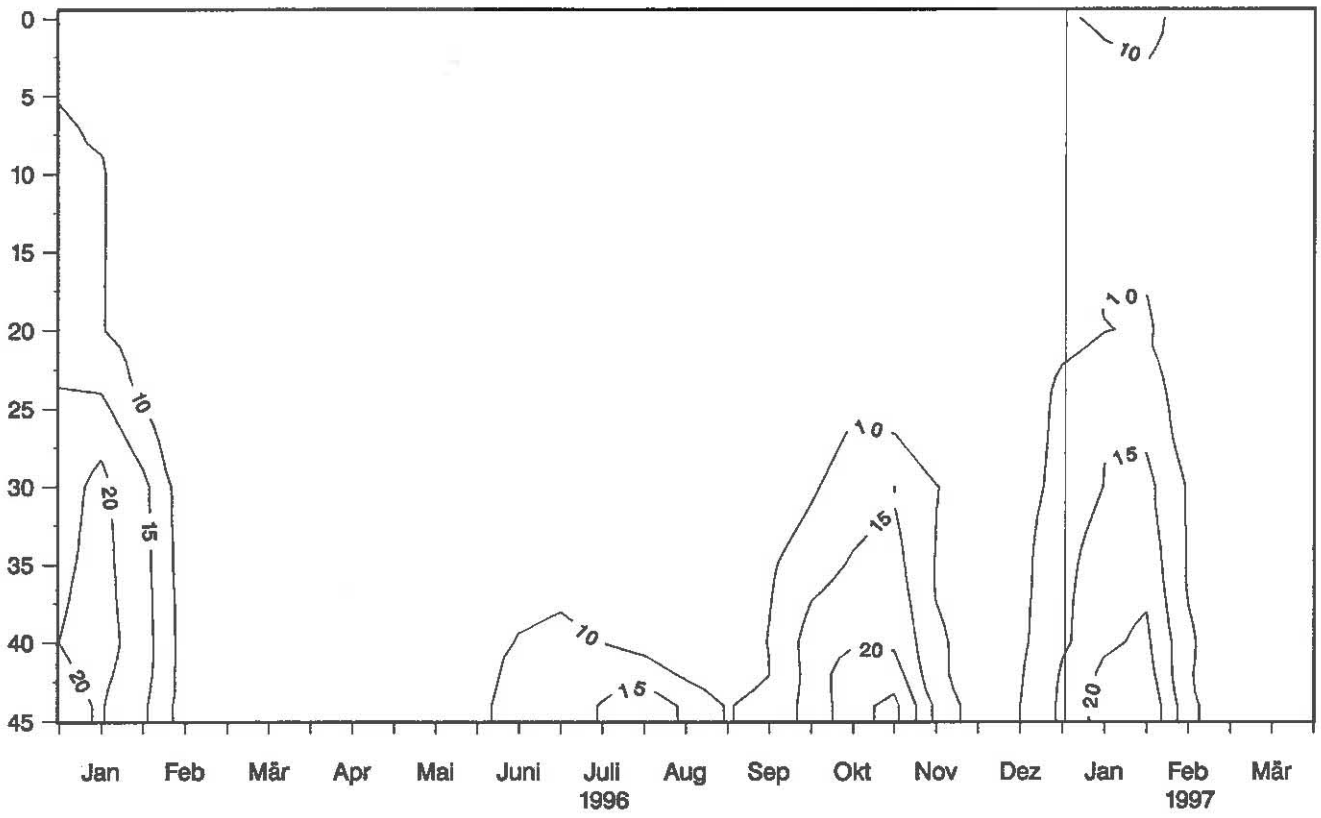


Abb. 57: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Orthophosphat – Phosphor (mg/m^3)

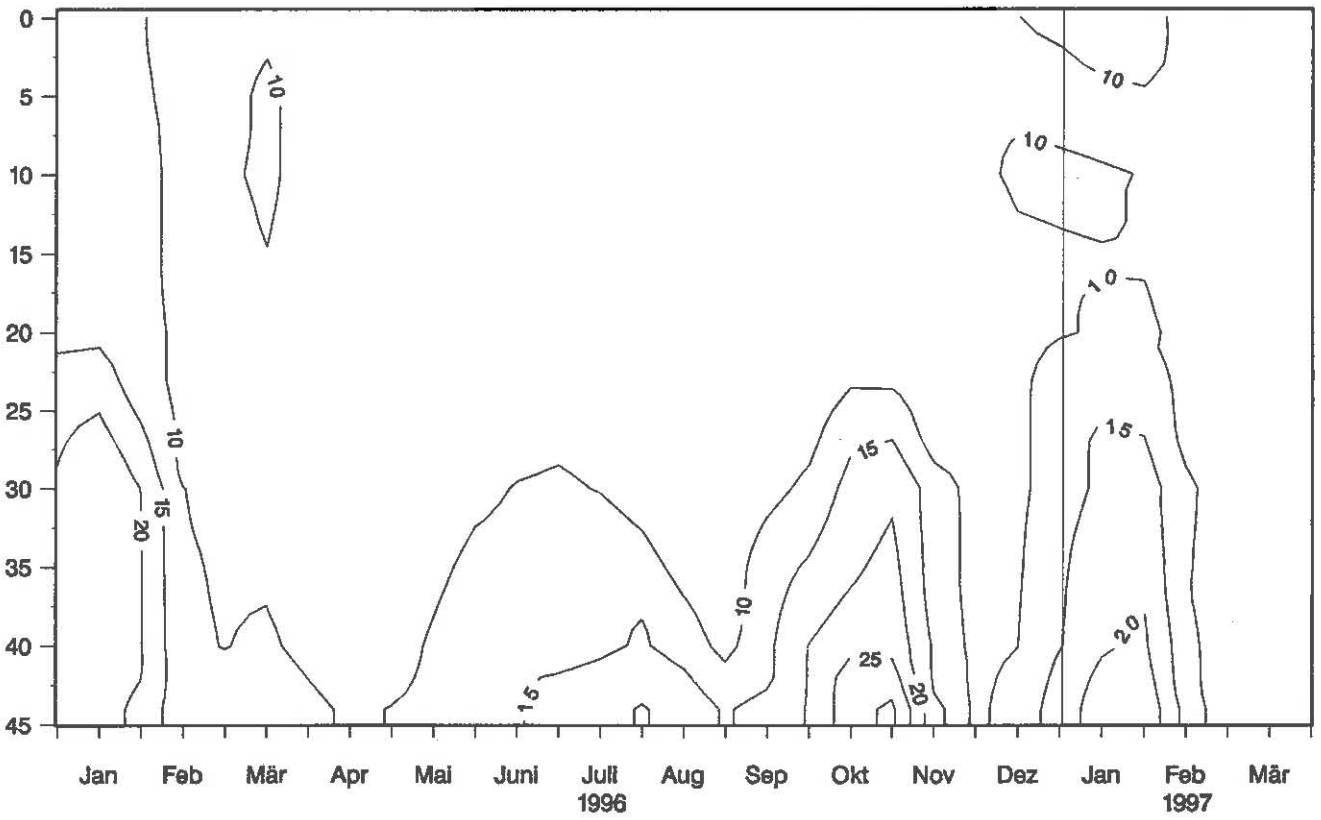


Abb. 58: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Gesamt gelöster Phosphor (mg/m^3)

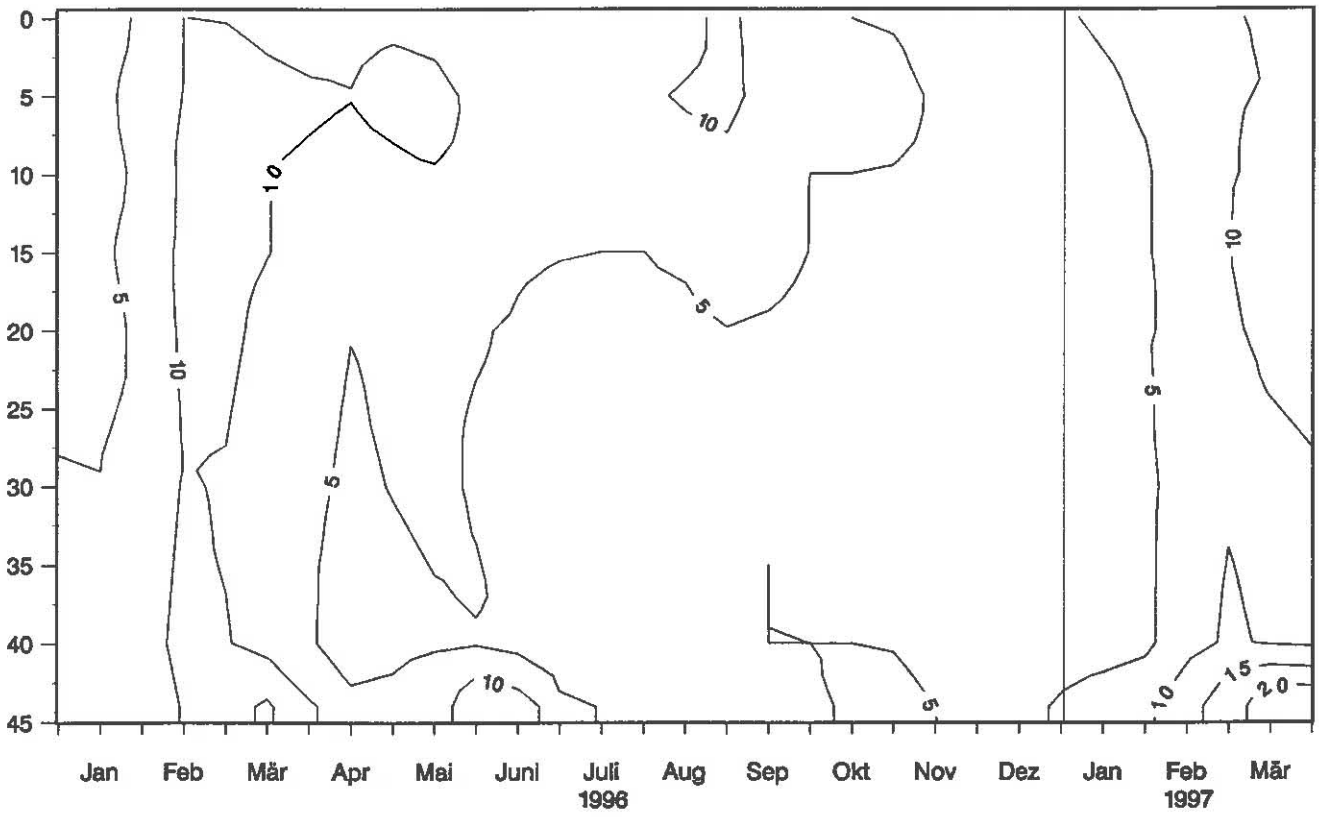


Abb. 59: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Partikulärer Phosphor (mg/m^3)

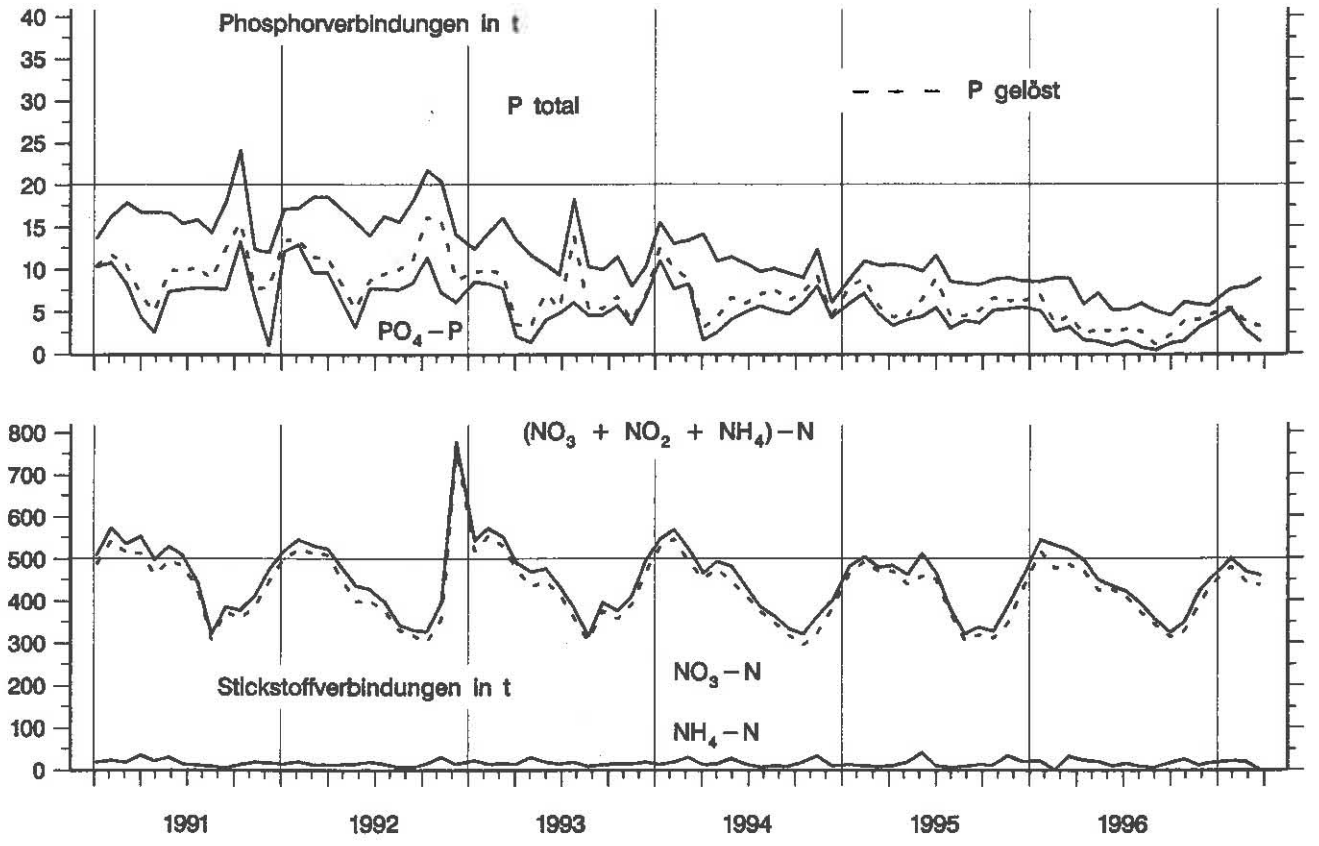


Abb. 60: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Nährstoffinhalt 0–46 m Tiefe

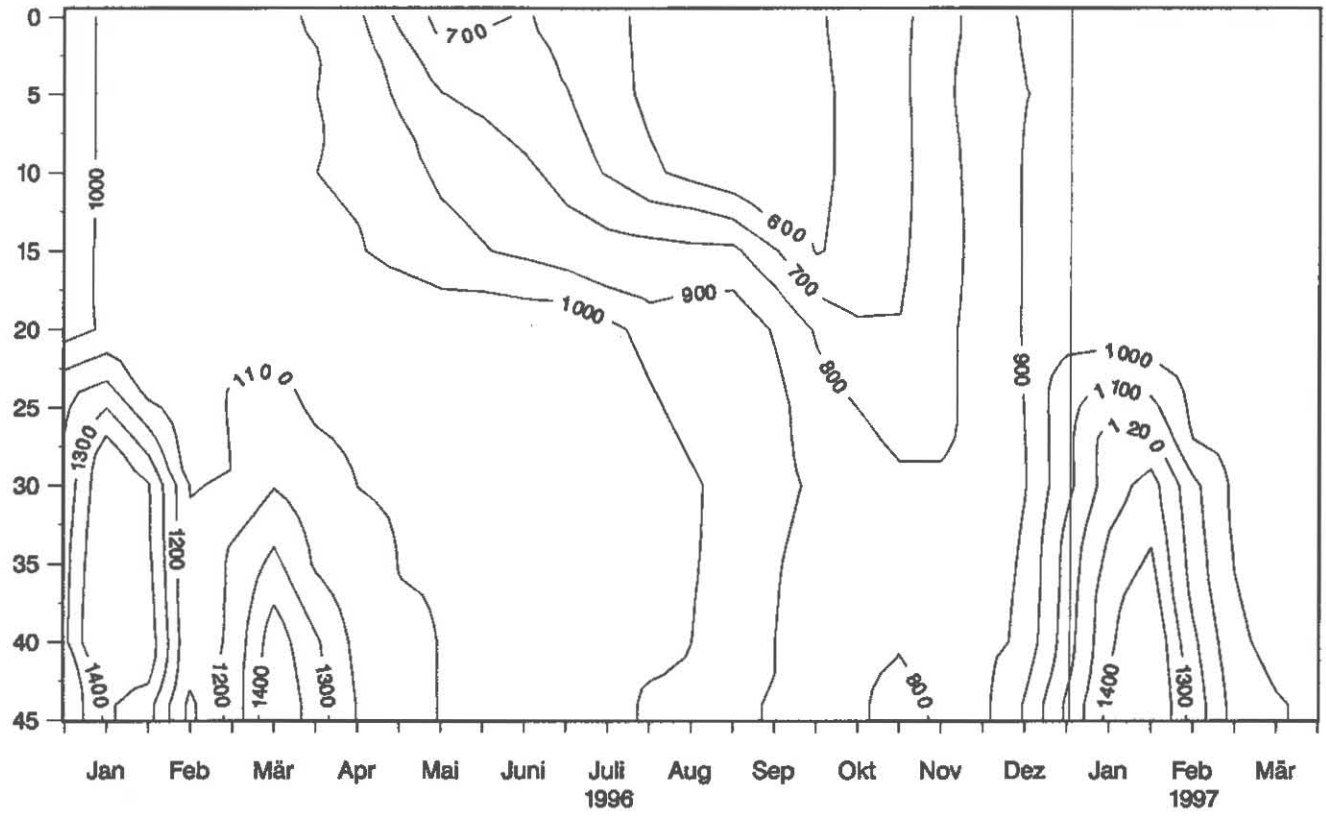


Abb. 61: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Nitrat – Stickstoff (mg/m^3)

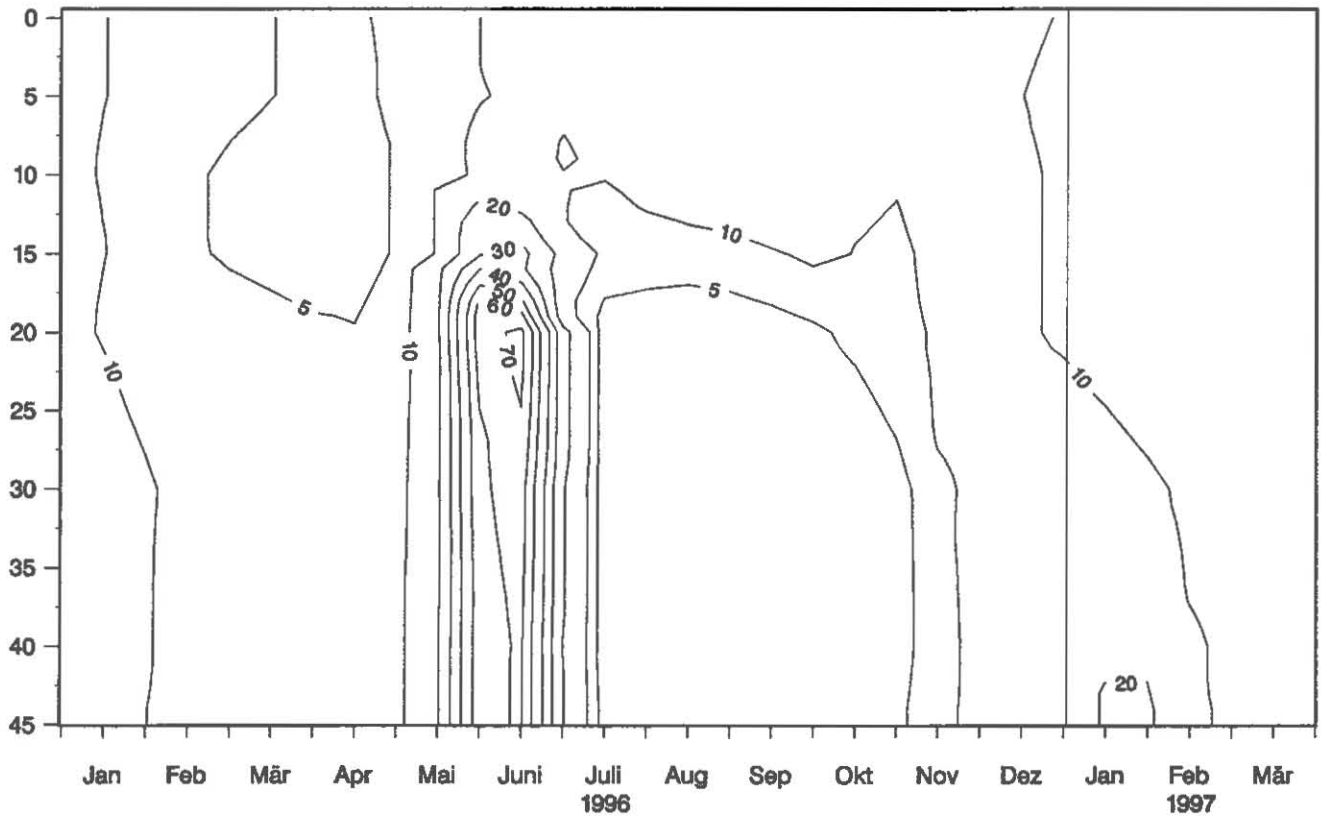


Abb. 62: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Nitrit – Stickstoff (mg/m^3)

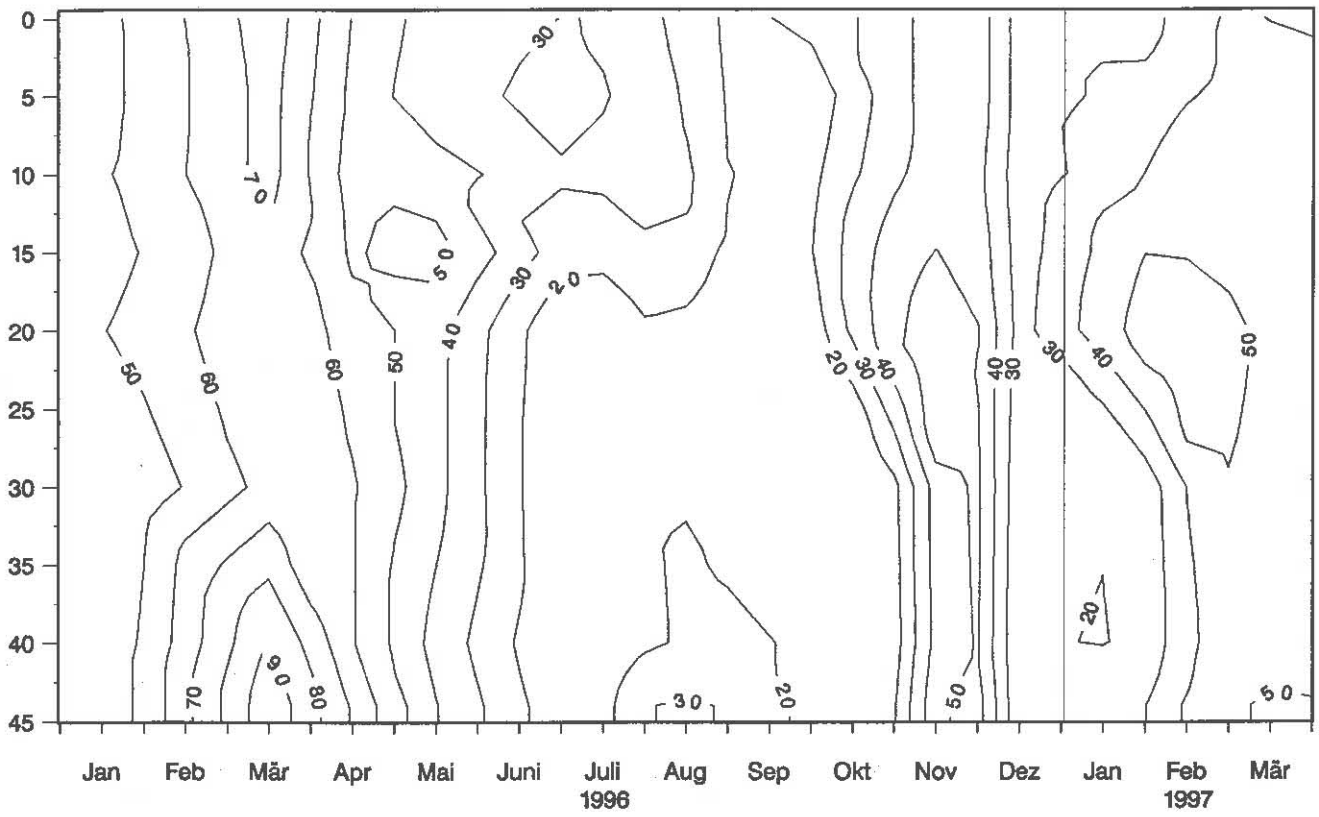


Abb. 63: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Ammonium – Stickstoff (mg/m³)

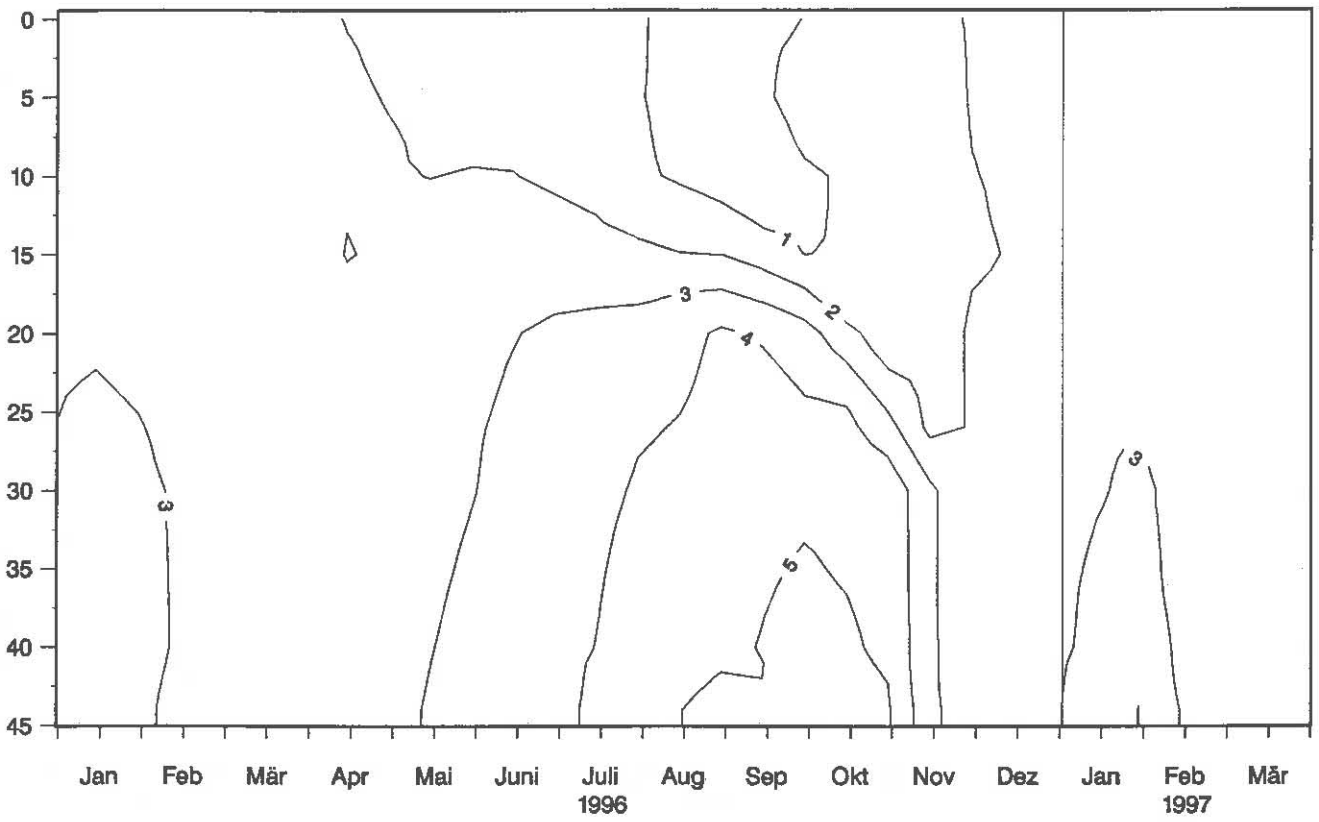


Abb. 64: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Silikat (mg/l)

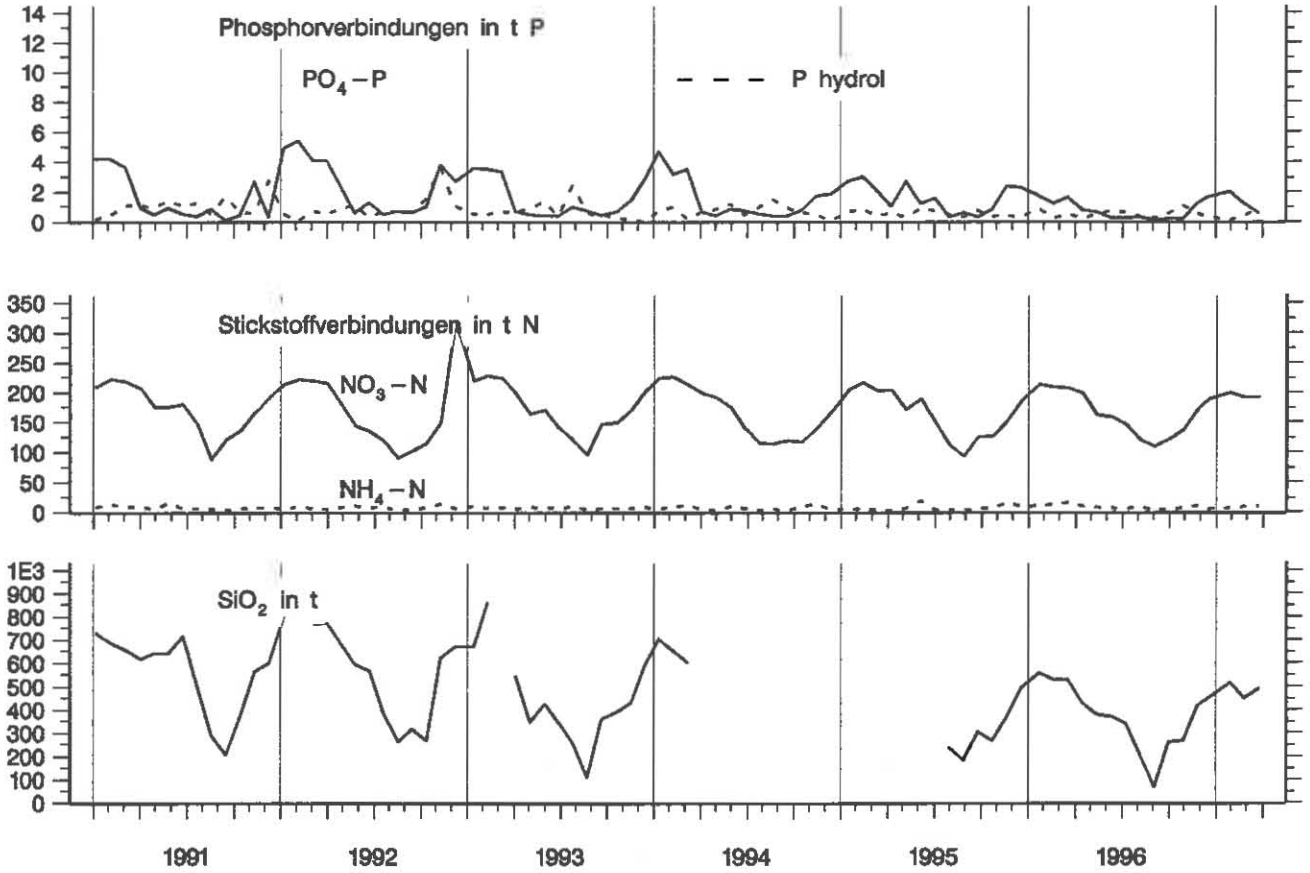


Abb. 65: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Nährstoffinhalt im Epilimnion 0–10 m Tiefe

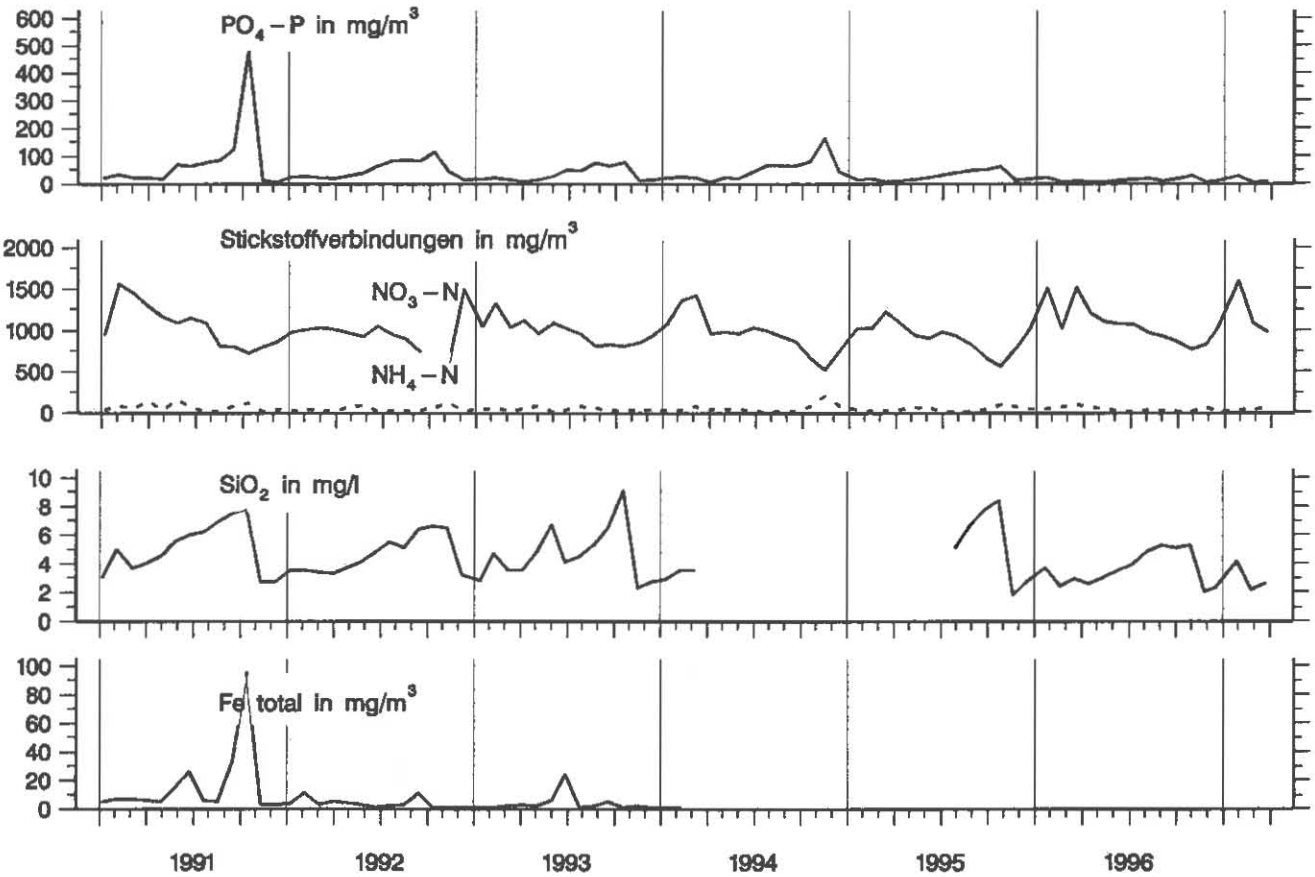


Abb. 66: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Nährstoffkonzentration in 46 m Tiefe

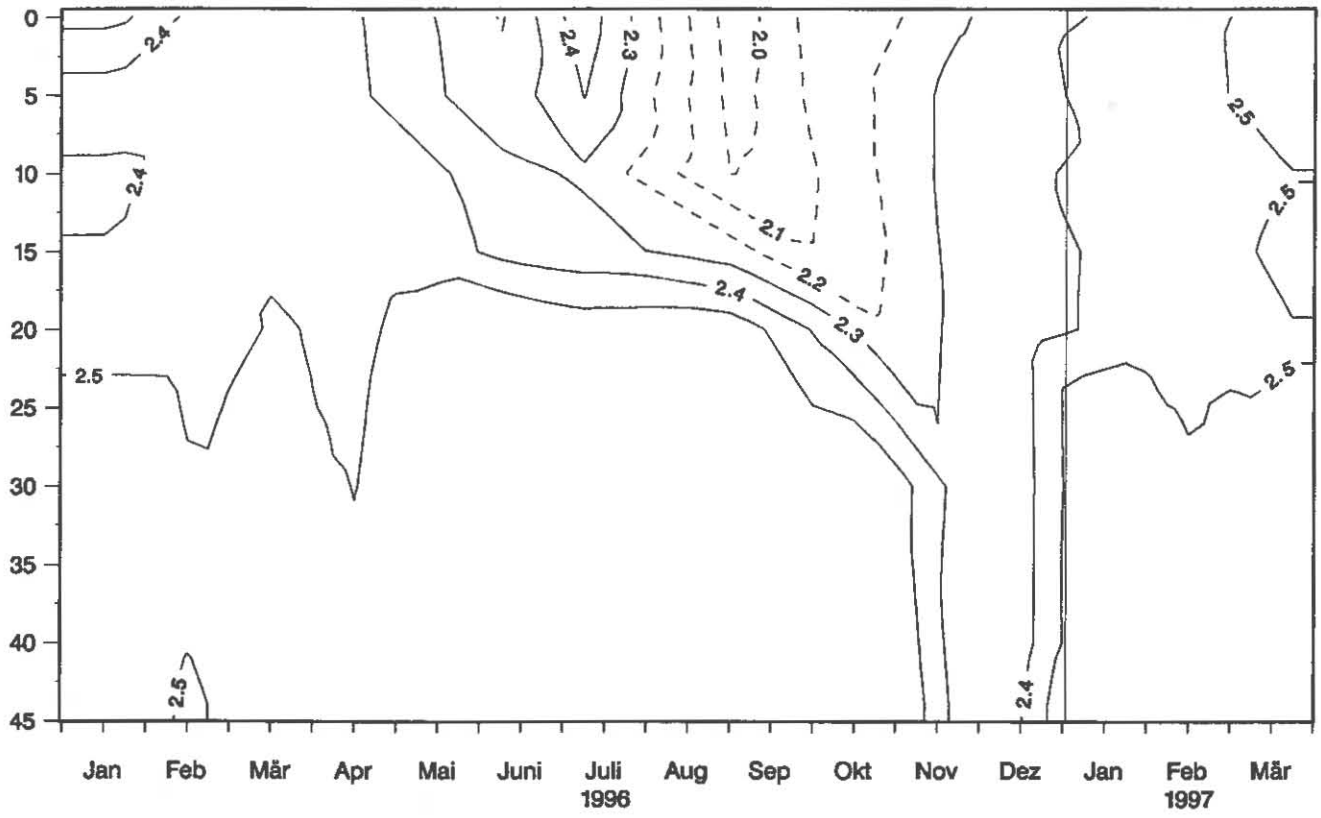


Abb. 67: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Anorganischer Kohlenstoff (mmol/l)

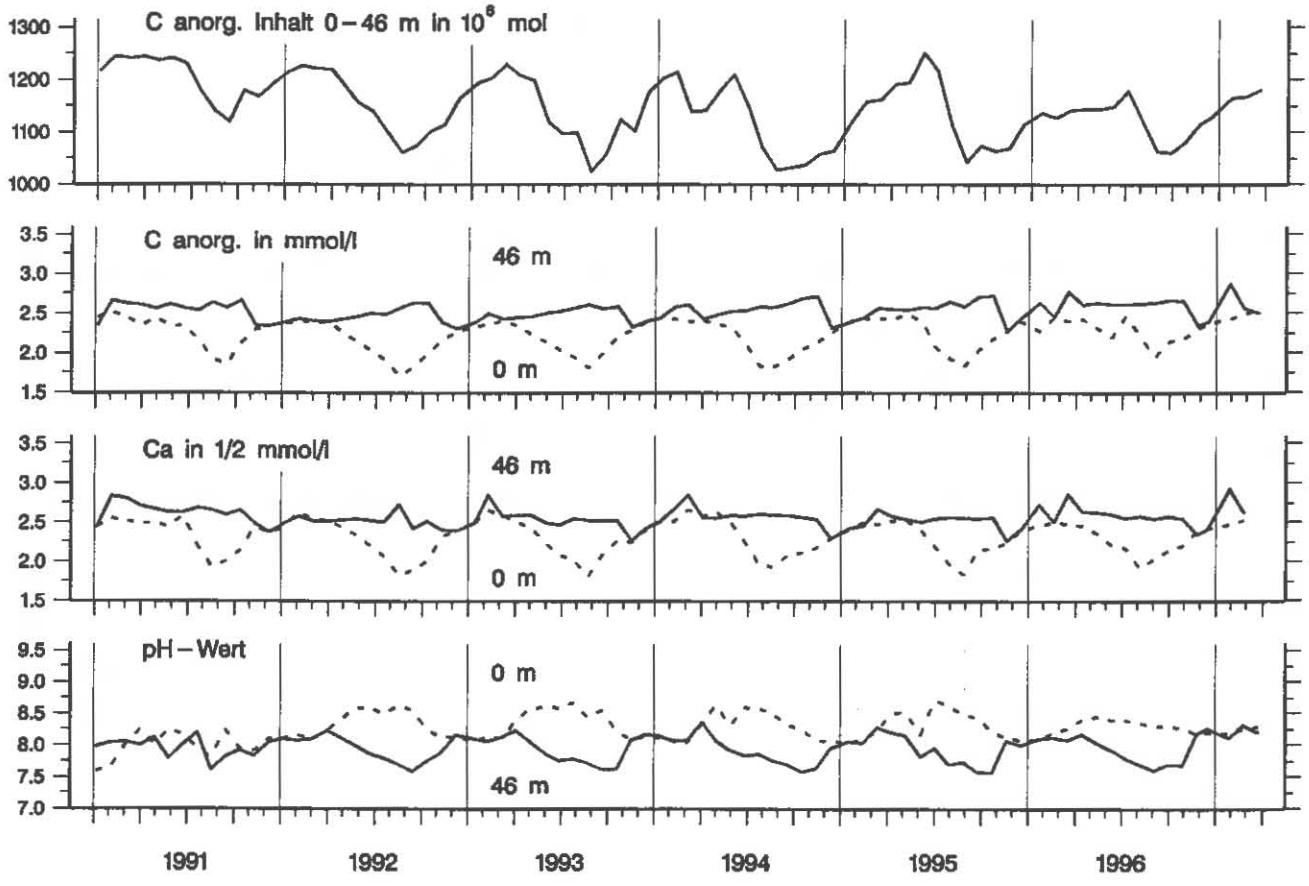


Abb. 68: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Anorganischer Kohlenstoff, Inhalt 0–46 m Tiefe
Konzentration von anorg. Kohlenstoff, Calcium; pH–Wert

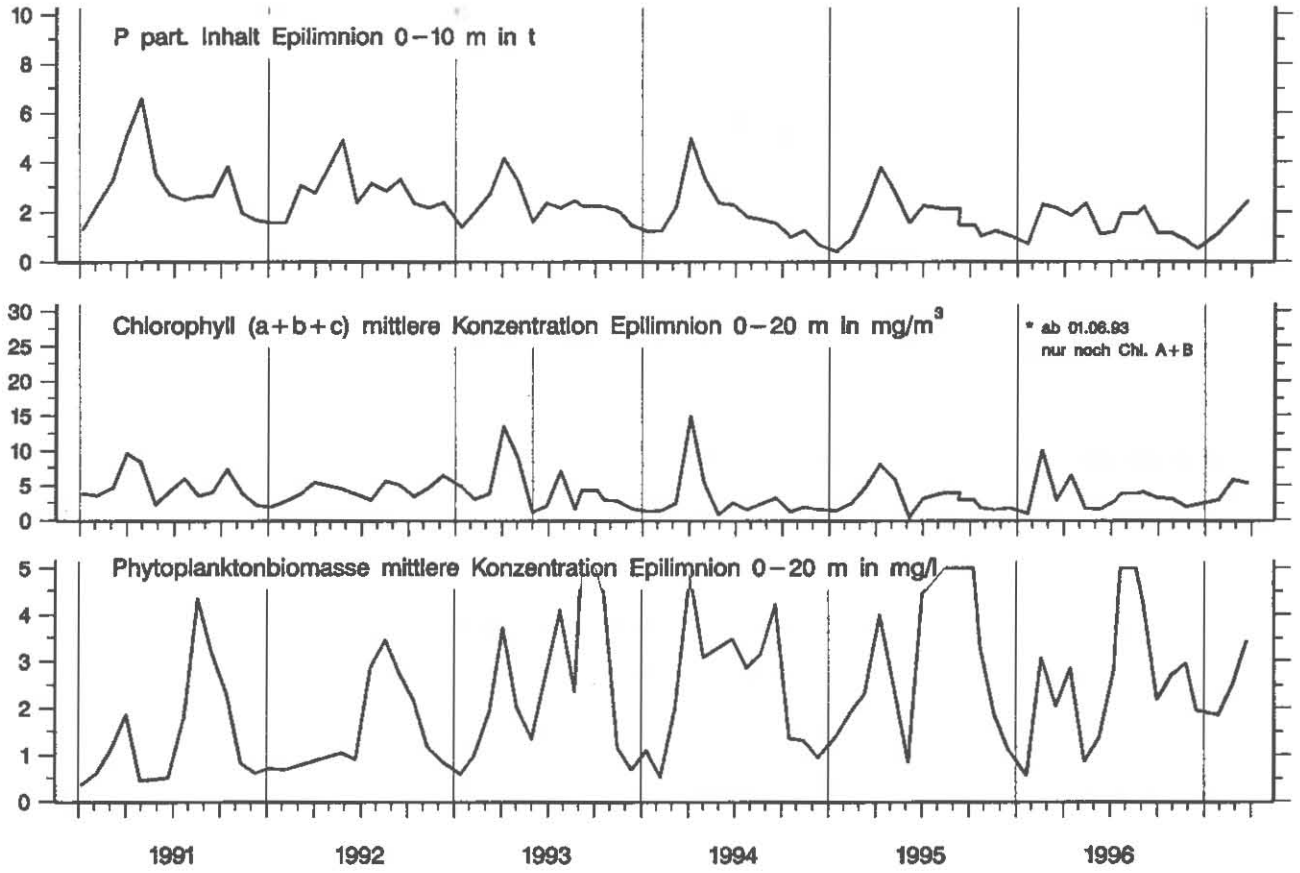


Abb. 69: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Chemische Biomasseindikatoren und Phytoplanktonbiomasse

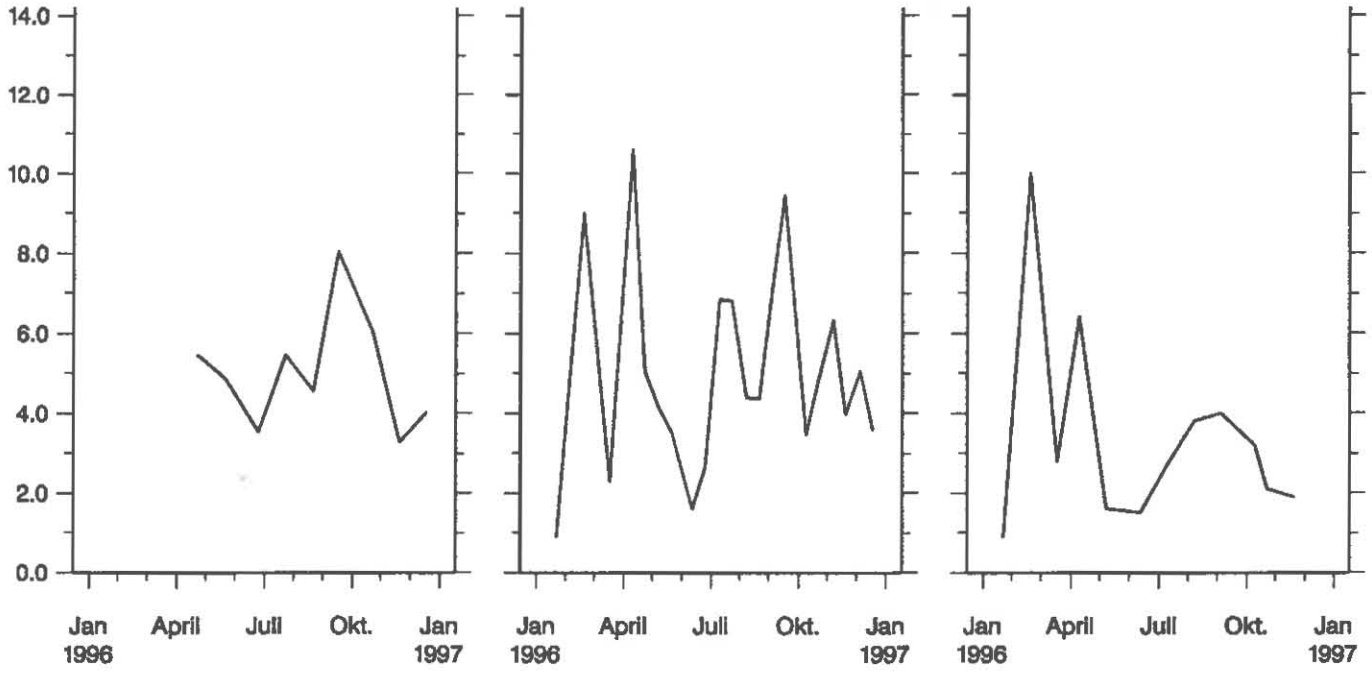


Abb. 70: Bodensee – Untersee
Chlorophyll a in mg/m³ im Gnadensee (links), Zellersee (Mitte)
und Chlorophyll a+b in mg/m³ im Rheinsee (rechts);
mittlere Konzentration 0–20 m Tiefe

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 oder 23 + m
Rheinsee :	0, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 44 oder 45 oder 46 + m

+ je nach Wasserstand

Tabelle 1 (2)

Untersuchungstermine Januar 1996 bis April 1997 an den Stationen Fischbach- Uttwil (F), Langenargen - Arbon (L), Bregenzer Bucht (B) und von Januar 1996 bis Januar 1997 an den Stationen (Zellersee (Z) und Rheinsee bei Berlingen (R)

Obersee - Stationen					Untersee - Stationen			
08.01.	1996	F	L		22.01.	1996		R
17.01.				B	23.01.		Z	
24.01.		F			19.02.		Z	R
06.02.		F	L		18.03.		Z	
26.02				B	15.04.			R
05.03.		F	L		23.04.		Z	
08.04.		F	L		13.05.			R
23.04.		F			20.05.		Z	
24.04.				B	10.06			R
07.05.		F	L		25.06.		Z	
20.05		F			08.07			R
29.05.				B	23.07.		Z	
10.06.		F	L		05.08.			R
17.06.				B	20.08.		Z	
25.06		F			02.09.			R
08.07.		E			15.09.		Z	
23.07		F	B		30.09.			R
06.08.		F	L		22.10.		Z	
19.08		F		B	28.10.			R
03.09.		F	L		18.11.		Z	
15.09		F			25.11.			R
23.09.				B	16.12.		Z	R
07.10.		F	L		27.01.	1997		R
22.10		F			17.02.		Z	
28.10.				B	24.02.			R
05.11		F	L		17.03.		Z	
11.11.				B	24.03.			R
19.11		F						
03.12.		F	L					
09.12.				B				
16.12.		F						
06.01.	1997	F	L					
21.01.		F						
22.01.				B				
03.02.		F	L					
17.02.		F						
03.03.			B					
04.03.		F	L					
07.04.		F	L					
09.04.				B				
22.04.		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 Aufschluß)	F	L	B	Z	R
	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 1996 (Meßdaten vom 08.04.96 bis 17.03.97)
IV bis XII: Monate 1996; I, II, III-97: Monate 1997

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 03.09 1996	03.09 bis 17.03 1997
	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit	Beginn 08.04.96	Ende 17.03.97	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit			
Thermik (a) °C, (b) 10^{12} Kcal	20,9 4,3	VII II	4,5 4,3	VI I	216,4	223,5	365,5 205,5	IX II	86,3 18,7	VIII II	6,6 6,3	X III	+7	+125	-118
Sauerstoff (a) mg l^{-1}, (b) 10^3 t	15,0 6,7	IV x	10,1 6,7	IV X	520,9	521,1	541,4 455,2	IV X	62,2 41,4	IV IX	15,7 12,0	IV XII	0	-53	+53
Orthophosphat - P (a) mg m^{-3}, (b) t	15,0 0,0	III VII	34,0 16,0	X IV	747,2	612,0	747,0 553,0	IV XII	75,3 1,9	III VIII	38,9 23,7	XI IV	-137	-134	-3
Phosphor, hydrolisierb. (A) mg m^{-3}, (b) t	10,0 1,0	V III	5,0 1,0	VIII I-III	124,8	107,7	160,6 63,3	V III	21,5 4,4	V III	5,9 2,1	XII III	-17	-24	+7
Phosphor, gelöst (a) mg m^{-3}, (b) t	20,0 3,0	III VIII	36,0 19,0	X II	871,7	717,7	871,7 659,6	IV I	71,3 16,6	IV VIII	43,0 26,8	XII IV	-154	-156	+2
Phosphor, partikulär (a) mg m^{-3}, (b) t	28,0 2,0	V I	19,0 1,0	X XII	136,4	175,0	177,2 87,9	VII II	92,7 8,7	V I	5,1 1,5	VII XI, IX	+39	-65	+104
Phopshor, total (a) mg m^{-3}, (b) t	36,0 6,0	V X	55,0 22,0	X IV, II	1008,2	892,7	1008,2 764,5	IV XII	120,9 28,7	V X	47,3 29,7	X IV	-115	-222	+106
Nitrat - N (a) mg m^{-3}, (b) t	1020,0 590,0	III VIII	1050,0 890,0	V XI	46521,8	48923,4	48923,4 43215,1	III X	4388,0 2626,3	I VIII	1524,8 1344,4	I VIII	+2402	+311	+2090
Nitrit - N (a) mg m^{-3}, (b) t	14,0 0,0	VIII III	5,0 0,0	VIII III	1025,0	724,0	1900,0 0,5	VII II	57,8 0,0	VIII II	3,6 0,0	VI, VIII III	-301	-226	-527
Ammonium - N (a) mg m^{-3}, (b) t	20,0 0,0	V-VIII XI-1	60,0 0,0	X V, XI-III	207,7	21,6	621,0 0,0	VIII I, II	87,2 0,0	VIII I, II	22,0 0,0	VIII VI, XI-II	-9	+269	-261
Stickstoff, partikulär (a) mg m^{-3}, (b) t	90,0 10,0	V XI-III	20,0 0,0	VII XII	443,3	452,4	748,6 299,1	V I	318,7 43,6	VIII XII - III	35,7 0,0	VII VI, XII	+9	+270	-261
Silikat (SiO_2) (a) mg l^{-1}, (b) 10^3 t	3,3 0 ,0	VI, III VIII	6,0 3,6	VIII VV, VI	161,7	146,3	161,7 135,0	VI XI	14,1 0,4	IV VIII	7,4 4,6	IX VI	-15	-10	-5
Kalium (a) mg l^{-1}, (b) 10^3 t	1,3 1,2	VI, V VI - X	1,4 1,3	VI, X VI, X -III	32,8	62,0	62,0 32,4	II, III III - XI	7,3 1,8	IX II, III	+29	-1,0	+29	-1	+30
Natrium (a) mg l^{-1}, (b) 10^3 t	4,3 3,7	II, III VIII	4,5 4,3	XI - III IV - VI	104,9	204,1	205,6 102,2	I VIII	18,7 3,7	II, III VIII	23,2 6,2	XI - I III	+100	+4	+96

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 03.09 1996	03.09 bis 17.03. 1997
	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit	Beginn 08.04.96	Ende 17.03.97	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit			
Calcium (a) mg l^{-1}, (b) 10^3 t	49,2 41,2	V VIII	52,6 48,2	X IV	2274,0	2320,3	2384,0 2244,2	I XI	216,2 180,7	I IX	74,8 69,0	X IV	+46	+25	+21
Magnesium (a) mg l^{-1}, (b) 10^3 t	0,9 0,7	XI VIII	0,9 0,7	VIII VII	438,2	436,9	462,9 367,0	XII VII	40,3 33,6	III VII	14,2 10,8	XI VII	-2	-42	+40
Clorid - Cl (a) mg l^{-1}, (b) 10^3 t	5,3 4,7	V VI	5,9 5,0	V IV	239,4	245,7	254,3 231,8	IV XII	22,8 20,1	V VIII	7,7 7,2	V IV	+6	0	+6
Sulfat - SO4 (a) mg l^{-1}, (b) 10^3 t	34,7 31,6	V VII	35,4 33,5	V X	1640,,4	1655,3	1655,3 1591,6	III VI	150,8 139,4	V VIII	50,9 48,5	VI X	+15	-36	+51
Eisen total (a) mg m^{-3}, (b) t	14,0 5,0	IV, V VIII	31,0 7,0	III VI - XII	760,6	318,7	760,6 260,6	III IX	57,5 24,5	IV VIII	32,1 8,8	IV X	-432	-500	-68
Mangan total (a) mgm^{-3}, (b) t	5,0 0,0	IV, I VIII	36,0 1,0	VIII VI	132,1	48,5	132,1 20,7	IV VIII	17,7 0,5	IV VIII	9,3 1,4	VIII V	-84	+180	-264
Kohlenstoff anorg. (a) mg l^{-1}, (b) 10^3 t	30,7 25,6	II VIII	32,5 30,6	X IV	1449,6	1443,3	1454,5 1418,2	I XI	119,1 113,6	II VIII	45,7 44,0	IX IV	-6	0	-6
Alkalinität (a) mmol l^{-1},(b)10^6kmol	26,6 2,1	II VIII	2,6 2,5	X V, VII	120,5	117,8	122,1 116,3	II XI	11,0 9,2	II VIII	3,7 3,6	IX VI	-3	-2	-1
chem.Sauerstoffbed. (KMnO4-Verbrauch) (a) mg l^{-1}, (b) 10^3 t	8,4 6,2	IX V, III	6,6 6,0	VIII, XIII V	307,2	295,6	320,8 290,2	XI V	328,9 275,7	IX III	9,7 8,5	VII V	-12	-4	-8
UV - Extinktion 260 nm, d = 5 cm	0,191 0,145	I VIII	0,194 0,149	VI II											
elektr. Leitfähigkeit μS cm^{-1}, 20°C	299,0 255,0	III VIII	302,0 297,0	IX V											
pH - Wert	8,7 8,1	V I	8,2 7,8	IV XII											
Chlorophyll a (a) mg m^{-3}	9,2 0,6	X II-97	0,4 0,1	VIII XII											

Tabelle 3

Vergleich von Meßwerten der verschiedenen Teile des Bodensee - Obersee Seejahr 1996 / 97 an den Stationen Fischbach - Uttwil (F), Langenargen - Arbon (L) und Bregenzer Bucht (B)

Meßwerte in "0" m	F	L	B
Temperatur in °C			
Maximum	20,9	20,6	31,4
Minimum	4,5	4,4	3,6
Sauerstoff in mg O2 l^{-1}			
Maximum	15,0	13,5	13,0
Minimum	9,6	9,3	9,1
Leitfähigkeit bei 20 °C in µS cm^{-1}			
Maximum	294,0	294,0	295,0
Minimum	255,0	256,0	255,0
pH in pH - Einheiten			
Maximum	8,8	8,7	8,5
Minimum	8,0	8,1	8,0
Orthophosphat in mg PO_4-P m^3			
Maximum	17,0	19,0	10,0
Minimum	1,0	1,0	1,0
Phosphor gelöst in mg P m^3			
Maximum	19,0	23,0	13,0
Minimum	4,0	4,0	3,0
Phosphor total in mg P m^3			
Maximum	24,0	21,0	26,0
Minimum	7,0	8,0	10,0
Nitrat in mg NO_3-N m^3			
Maximum	1000,0	1010,0	1010,0
Minimum	590,0	610,0	580,0
Ammonium in mg NH_4-N m^3			
Maximum	20,0	20,0	39,0
Minimum	0,0	0,0	5,0
Eisen total in mg Fe m^3			
Maximum	27,0	37,0	-
Minimum	5,0	3,0	-
Kohlenstoff anorg. in mmol C l^{-1}			
Maximum	2,5	2,5	2,5
Minimum	2,1	2,1	2,1
Phosphor partik. in mg P m^3			
Maximum	15,0	16,0	-
Minimum	2,0	1,0	-
Stickstoff partik. in mg N m^3			
Maximum	80,0	60,0	-
Minimum	10,0	0,0	-

Meßwerte in Seebodennähe	F 250 m	L 200 m	B 60 m
Temperatur in °C			
Maximum	5,3	4,9	5,8
Minimum	4,3	4,3	3,7
Sauerstoff in mg O_2 l^{-1}			
Maximum	10,5	10,7	11,2
Minimum	6,3	7,1	7,4
Leitfähigkeit bei 20 °C in µS cm^{-1}			
Maximum	303,0	302,0	309,0
Minimum	296,0	295,0	286,0
pH in pH - Einheiten			
Maximum	8,2	8,2	8,3
Minimum	7,8	7,8	8,0
Orthophosphat in mg PO_4-P m^3			
Maximum	38,0	35,0	27,0
Minimum	16,0	14,0	5,0
Nitrat in mg NO_3-N m^3			
Maximum	1050,0	1050,0	1080,0,0
Minimum	830,0	920,0	970,0
Ammonium in mg NH_4-N m^3			
Maximum	60,0	30,0	69,0
Minimum	0,0	0,0	4,0
Eisen total in mg Fe m^3			
Maximum	37,0	15,0	-
Minimum	7,0	7,0	-
Kohlenstoff anorg. In mmol C l^{-1}			
Maximum	2,7	2,7	2,7
Minimum	2,5	2,5	2,2
Phosphor total in mg P m^3			
Maximum	55,0	46,0	48,0
Minimum	21,0	24,0	22,0

Tabelle 4: Seekenndaten
Bodensee-Untersee (Zellersee), Seejahr 1996 (Meßdaten vom 23.01.96 bis 27.01.97)
I bis XII: Monate 1996; I-97: Januar 1997

Parameter	Messwerte (a)				Stoffinhalt (b)						Stoffbilanz (b)		
	Epilimnion (0 - 10m)		Seebodennähe (1m über Grund)		See total				Epilimnion (0 - 10 m)		Beginn bis Ende Seejahr	23.01 bis 23.07 1996	23.07 bis 27.01 1997
	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit	Beginn 23.01.96	Ende 27.01.97	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit			
Thermik (a) °C, (b) 10^9 kcal	21,5 2,7	VII, VIII I-97	10,8 2,9	IX II	661,0	523,6	3333,8 543,0	VIII II	2175,9 288,4	VIII II	-137	+2519	-2656
Sauerstoff (a) mg l^{-1}, (b) t	15,0 8,8	IV VIII	13,2 0,5	II IX	2102,3	2430,1	2468,8 1482,0	II IX	1505,7 993,4	IV X	+328	-107	+435
Orthophosphat - P (a) mg m^{-3}, (b) t *	16,0 1,0	XII II	239,0 2,0	IX III	269,8	572,0	584,5 25,5	X II	162,6 17,0	XII II	-212	-196	-16
Phosphor, hydrolisierb. (A) mg m^{-3}, (b) t *	11,0 2,0	VIII II, VI	14,0 2,0	IX, X IV, VII	0,7	1,0	1,2 0,5	VIII XII	0,8 0,2	VIII VI	0	0	0
Phosphor, gelöst (a) mg m^{-3}, (b) t *	19,0 4,0	IX VI	253,0 5,0	IX IV	3,3	1,5	7,0 0,9	X II	2,0 0,5	IX II	-2	-2	0
Phosphor, partikulär (a) mg m^{-3}, (b) t *	20,0 4,0	II VI	33,0 7,0	VIII VI	1,3	3,3	2,4 0,8	IX IV	2,0 0,6	II XI	+2	0	+2
Phopshor, total (a) mg m^{-3}, (b) t *	26,0 8,0	XII VI	283,0 18,0	IX IV	4,6	4,8	8,6 2,5	X V	2,7 0,9	XII VI	0	+1	-1
Nitrat - N (a) mg m^{-3}, (b) t	1270,0 540,0	II VIII	2450,0 150,0	II IX	244	273	273,3 127,1	I-97 IX	145,7 63,4	I-97 VIII	+29	-104	+133
Nitrit - N (a) mg m^{-3}, (b) t	25,0 6,0	IX IV	11,3 4,0	IX VI	1,8	2,3	4,9 1,2	IX IV	2,6 0,6	XI IV	0	+1	-1
Ammonium - N (a) mg m^{-3}, (b) t	60,0 10,0	V I-III, XII	660,0 10,0	X II	36,0	2,3	17,0 1,9	X II	4,3 1,1	XI II, XII	-1	0	-1
Silikat (SiO_2) (a) mg l^{-1}, (b) t	3,0 0,7	XII VII	9,8 2,5	IX II	632,6	550,9	632,6 326,2	I VII	314,9 89,3	I VII	-82	-306	+224
Calcium (a) mg l^{-1}, (b) t	57,2 39,0	IV VII	70,0 40,0	I XI	1021,0	1082,4	1082,4 824,4	I-97 VIII	605,2 441,6	I-97 VII	+62	-186	+248
Magnesium (a) ml l^{-1}, (b) t	9,4 2,9	XII VI	13,8 4,3	IX V	1231,2	1400,4	1650,0 902,1	XII IV	966,6 536,4	XII IV	-160	+160	0
Chlorid (a) mg l^{-1}, (b) t	10,0 5,6	III VII	25,7 7,9	III VIII	1600,4	1902,8	2107,1 1206,5	III VIII	1006,5 638,1	I-97 VIII	+302	-337	639

Parameter	Messwerte (a)				Stoffinhalt (b)						Stoffbilanz (b)		
	Epilimnion (0 - 10m)		Seebodennähe (1m über Grund)		See total				Epilimnion (0 - 10 m)		Beginn bis Ende Seejahr	23.01 bis 27.07 1996	23.07 bis 27.01 1997
	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit	Beginn 23.01.96	Ende 27.01.97	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit			
Eisen total (a)mg m^{-3}, (b) t	89,0 5,0	II VIII	134,0 15,0	I-97 VI	7,8	5,9	12,5 1,5	II VII	8,1 0,6	II VII	-2	-6	+4
Kohlenstoff anorg. (a) mg l^{-1}, (b) t	32,8 23,2	I-97 VII	39,6 29,2	I XI	5859,6	6253,8	6253,8 4949,6	I-97 VIII	3511,3 2578,8	I-97 VII	+394	-884	+1278
Alkalinität (a) mmol l^{-1},(b)10^3kmol	2,76 1,9	I-97 VII, VIII	3,25 2,4	I XI	486,7	523,7	523,7 409,5	I-97 VIII	294,4 219,5	I-97 VII	+36	-71	+107
UV - Extinktion 260 nm, d = 5 cm	,197 ,160	I V	,362 ,173	I-97 VI									
elektr. Leitfähigkeit μS cm^{-1}, 20°C	327,0 249,0	I-97 VIII	412,0 296,0	I XI									
pH - Wert	8,7 8,1	VII XII	8,4 7,4	II VIII									
Chlorophyll a Mittelw.0-20m,mg m^{-3}	10,8 1,8	II-97 I-97											

Tabelle 5: SEEKENNDATEN
Bodensee-Untersee (Rheinsee, Berlingen), Seejahr 1996 (Meßdaten vom 22.01.96 bis 27.01.97)
I bis XII: Monate 1996; I-97: Januar 1997

Parameter	Messwerte (a)				Stoffinhalt (b)						Stoffbilanz (b)		
	Epilimnion (0 - 10m)		Seebodennähe (1m über Grund)		See total				Epilimnion (0 - 10 m)		Beginn bis Ende Seejahr	22.01 bis 08.07 1996	08.07 bis 27.01 1997
	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit	Beginn 22.01.96	Ende 27.01.97	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit			
Thermik (a) °C, (b) 10^9 Kcal	21,3 2,6	VI I-97	7,8 3,3	IX II	191,4	133,0	786,9 133,0	VIII I-97	439,3 55,8	VIII I-97	-49	+287	-336
Sauerstoff (a) mg l^{-1} (b) t	13,8 9,3	IV VIII	12,1 0,9	II X	5048,1	5062,1	5907,8 3484,7	V VIII	2683,6 2016,0	IV VIII	+14	-960	+974
Orthophosphat - P (a) mg m^{-3}, (b) t	12,0 0,0	I-97 IX	27,0 5,0	I-97 V	5,1	5,2	5,2 0,4	I-97 IX	2,0 0,2	I-97 IX	0	-4	+4
Phosphor, hydrolisierb. (A) mg m^{-3}, (b) t	5,0 0,0	I VIII	6,0 0,0	V I-97	1,7	0,2	2,4 0,2	X I-97	1,1 0,1	X I-97	-1	0	-1
Phosphor, gelöst (a) mg m^{-3}, (b) t	13,0 2,0	I IX	34,0 8,0	X XI	6,8	6,4	6,8 1,0	I IX	2,6 0,4	I IX	-1	-4	+3
Phosphor, partikulär (a) mg m^{-3}, (b) t	14,0 2,0	V XII	16,0 4,0	III VIII, XI	1,7	2,1	5,3 1,1	II XII	2,3 0,6	VIII XII	0	0	0
Phopshor, total (a) mg m^{-3}, (b) t	23,0 8,0	III IX	41,0 12,0	X XI	8,5	7,6	8,9 4,4	III IX	4,2 1,9	III IX	-1	-3	+2
Nitrat - N (a) mg m^{-3}, (b) t	1040 510	I IX	1590 770	I-97 X	518,4	479,7	518,4 313,6	I IX	212,8 108,9	I IX	-39	-110	+71
Nitrit - N (a) mg m^{-3}, (b) t	16,0 4,0	IX III, IV	78,0 3,0	VI VII, VIII	4,3	3,0	19,2 2,0	VI IV	3,3 0,8	IX IV	-1	0	-1
Ammonium - N (a) mg m^{-3}, (b) t	76,0 17,0	III IX	98,0 9,0	III VII	22,1	17,8	33,0 7,3	III IX	15,1 3,0	III IX	-5	-13	+8
Silikat (SiO_2) (a) mg l^{-1}, (b) t	2,8 0,3	I IX	5,2 2,3	X XII	1337,0	1238,3	1337,0 843,2	I X	5566,0 668,0	I IX	-99	-212	+113
Calcium (a) mg l^{-1} (b) t	50,0 38,2	III, IV VIII	58,14 46,8	I-97 IX	2305.0	2343,6	2343,6 2102,2	I-97 IX	1012,8 827,8	I-97 IX	+38	-56	+94
Magnesium (a) mg l^{-1}, (b) t	9,2 8,1	VI IX, X	9,2 8,0	VIII I-97	399,1	385,4	443,7 385,4	VIII I-97	186,8 169,4	VIII I-97	-14	+28	-42
Chlorid (a) mg l^{-1}, (b) t	6,9 5,0	VI VIII, IX	15,7 5,7	III II	3094,0	2879,0	3478,0 247,1	VI XII	136,4 105,2	VI XII	-215	-126	+89

Parameter	Messwerte (a)				Stoffinhalt (b)						Stoffbilanz (b)		
	Epilimnion (0 - 10m)		Seebodennähe (1m über Grund)		See total				Epilimnion (0 - 10 m)		Beginn bis Ende Seejahr	22.01 bis 08.07 1996	08.07 bis 27.01 1997
	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit	Beginn 22.01.96	Ende 27.01.97	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit			
Kohlenstoff anorg. (a) mg l^{-1}, (b) t	29,6 23,2	VII, I-97 IX	33,2 28,0	III IX	1363,3	1398,2	1414,2 1271,6	VII IX	603,8 492,0	VII IX	+35	+51	-16
Alkalinität (a) mmol l^{-1} (b) 10^3 kmol	2,4 1,9	VII VIII	2,8 2,3	I-97 XI	112,5	116,0	117,0 104,5	VII IX	50,6 41,1	VII IX	-4	+5	-1
UV - Extinktion 260 nm, d = 5 cm	0.038 0 030	II X	0 040 0 032	I XI									
elektr. Leitfähigkeit μS cm^{-1}, 20°C	299,0 245,0	III VIII	360,0 292,0	III XII									
pH - Wert	8,4 8,0	V X	8,2 7,6	XII IX									
Chlorophyll (a + b) mg/m^3	10,0 0,2	IV X	1,0 0,1	V X									

Tabelle 6

Vergleich von Meßwerten der verschiedenen Teile des Bodensee - Untersees
Seejahr 1996 / 97 an den Stationen Zellersee (Z), Rheinsee Station Berlingen (R)

Meßwerte in "0" m	Z	R
Temperatur in °C		
Maximum	21,5	21,3
Minimum	2,7	2,5
Sauerstoff in mg O2 l^{-1}		
Maximum	13,3	13,8
Minimum	9,3	9,5
pH in pH - Einheiten		
Maximum	8,7	8,5
Minimum	8,1	8,1
Orthophosphat in mg PO_4-P m^3		
Maximum	15,0	12,0
Minimum	1,0	0,0
Phosphor partikulär mg P m^3		
Maximum	18,0	13,0
Minimum	4,0	2,0
Nitrat in mg NO_3-N m^3		
Maximum	1360,0	1040,0
Minimum	540,0	540,0
Ammonium in mg NH_4-N m^3		
Maximum	40,0	76,0
Minimum	10,0	17,0
Eisen total in mg Fe m^3		
Maximum	89.0	-
Minimum	5,0	-

Meßwerte in Seebodennähe	Z 22 - 24 m	R 44 - 46 m
Temperatur in °C		
Maximum	10,8	6,6
Minimum	2,9	5,6
Sauerstoff in mg O_2 l^{-1}		
Maximum	13,2	6,9
Minimum	0,5	4,6
pH in pH - Einheiten		
Maximum	8,4	7,9
Minimum	7,4	7,8
Orthophosphat in mg PO_4-P m^3		
Maximum	23,9	18,0
Minimum	2,0	11,0
Nitrat in mg NO_3-N m^3		
Maximum	2450,0	1080,0
Minimum	150,0	970,0
Ammonium in mg NH_4-N m^3		
Maximum	660,0	33,0
Minimum	10,0	9,0
Eisen total in mg Fe m^3		
Maximum	195,0	-
Minimum	10,0	-

AUSKÜNFTE

Baden-Württemberg:	Institut für Seenforschung der Landesanstalt für Umweltschutz Baden - Württemberg Untere Seestr. 81 D-88085 Langenargen
Bayern:	Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft Lazarettstraße 67 D-80636 München
Österreich:	Amt der Vorarlberger Landesregierung Römerstraße 15 A-6901 Bregenz
Schweiz:	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) CH-3003 Bern