

Bericht Nr. 32

Limnologischer Zustand des Bodensees

Jahresbericht Januar 2004 bis März 2005
-Untersuchungsprogramm Freiwasser-

Bericht des Fachbereichs Einzugsgebiet
über das Jahr 2003

ISSN 1011-1271 Jber. Int. Gewässerschutzkomm. Bodensee: Limnol. Zust. Bodensee
32 (2005)

VORWORT

Der vorliegende Bericht der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB) enthält die Ergebnisse der regelmäßigen limnologischen Freiwasseruntersuchungen des Bodensees im Jahr 2004 / 2005. Die allgemeinen Grundlagen und limnologischen Zusammenhänge, die zum Verständnis dieses Berichtes notwendig sind, wurden im Bericht Nr. 9: Limnologischer Zustand des Bodensees - Grundlagen (2. Auflage, Stand 1993) dargestellt.

Am Bericht haben mitgearbeitet:

Dr. Heinrich Bühler, Dübendorf
 Dr. Hans-Rudolf Bürgi, Dübendorf
 Mag. Dietmar Buhmann, Bregenz
 Dipl. nat. ETH. Heinz Ehmann, Frauenfeld
 Dr. Hans Güde, Langenargen
 Dr. Harald Hetzenauer, Langenargen
 Dr. Eckard Hollan, Langenargen
 Dr. Reiner Kümmerlin, Langenargen
 Dipl.-Inform. Günther Kuhn, Langenargen
 Dipl.-Ing. Robert Obad, Langenargen
 Dr. Henno Roßknecht, Langenargen
 Dr. Heinz Gerd Schröder, Langenargen
 Dr. Hans Bernd Stich, Langenargen
 Dr. Thomas Wolf, 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.

	Abb.	Tab.	Seite
Einleitung			4
Zustandsbeschreibung für das Seejahr			5
	1		13
Langfristige Entwicklung von			
Phosphor (Obersee), Sauerstoff (Obersee), Chlorid (Obersee), Stickstoff (Obersee), Phytoplankton (Obersee), Zooplankton (Obersee), Phytoplankton (Untersee, Zellersee)	2-5	1	54 14-17
Obersee			
Witterung, Wasserstände, Temperatur, Sauerstoff, Orthophosphat, Andere Phosphorverbindungen, Nährstoffinhalte, Nitrat, Nitrit, Ammonium, Stickstoff partikulär, Silikat, Anorganische Kohlenstoffverbindungen, Eisen, Mangan, Phytoplankton, Zooplankton, Bakterienplankton	6-31	2	58 18-33
Untersee			
Zellersee Thermik, Sauerstoff, Orthophosphat, Nährstoffinhalte, Eisen, Andere Phosphorverbindungen, Nitrat, Nitrit, Ammonium, Silikat, Anorganische Kohlenstoffverbindungen, Phytoplankton	32-51	4	62 34-44
Rheinsee Thermik, Sauerstoff, Orthophosphat, Nährstoffinhalte, Eisen, Andere Phosphorverbindungen, Nitrat, Nitrit, Ammonium, Silikat, Anorganische Kohlenstoffverbindungen, Phytoplankton	52-69	5	64 45-53
Vergleich des limnologischen Zustandes an verschiedenen Untersuchungsstationen			
Obersee		3	60
Untersee		6	66
Anhang			
Bericht des Fachbereichs Einzugsgebiet über das Jahr 2003			68
Auskünfte			75

EINLEITUNG

Der Bericht zum Seejahr 2004 / 2005 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 Wasserschich-

ten 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 2004/2005

Bodensee - Obersee

Im Seejahr 2004/05 ging die Phosphorkonzentration von 10 auf 9 mg/m³ zurück. Der Gehalt an anorganischem Stickstoff - im wesentlichen Nitrat - nahm von 0,91 auf 0,94 g/m³ geringfügig zu. Die Biomasse des Phytoplanktons lag 2004 mit 8,4 g/m² unter dem Vorjahreswert (9,2 g/m²).

Die mittleren monatlichen Sauerstoffgehalte in 200-254 m Tiefe entsprachen im Jahr 2004 weitgehend den Werten des Vorjahres. Unmittelbar über Grund in 254 m Tiefe lag das herbstliche Sauerstoffminimum in 2004 mit 7,2 g/m³ etwas über dem Niveau des Vorjahres (6,7 g/m³).

Im Gegensatz zum vorangegangenen Seejahr wurde die **hydrologische Situation** durch mittlere Witterungsverhältnisse geprägt, die keine langfristig anhaltenden Extreme aufwiesen.

Gegenüber den langjährigen Mittelwerten waren im Jahr 2004 die Temperaturen der Sommermonate Juni, Juli und August erhöht. Die Abweichungen bewegten sich jedoch mit 0,8°C, 0,2°C und 1,9°C im moderaten Rahmen (zum Vergleich: im Rekordsommer 2003 lagen die monatlich gemittelten Temperaturen im Juli und August um 6,4 bzw. 4,6 Grad über den langjährigen Mittelwerten). Dementsprechend gestaltete sich die Temperatur- und Schichtungsentwicklung im See. Als maximaler Wert der Oberflächentemperatur des Wassers konnten am 9.08.2004 23,0°C gemessen werden (im Jahr 2003: 26,1°C), bei einer gleichzeitig gemessenen Temperatur von 4,5°C im Hypolimnion.

Bis zum 25.11.2004 kühlte sich das Epilimnion oberflächennah bis auf 8,3°C ab und die Untergrenze des Metalimnions lag bei etwa 40 m Tiefe. Bis zum 27.12.2004 stellte sich mit Oberflächentemperaturen von 5,9°C und Temperaturen von 4,6°C im Hypolimnion ein relativ ausgeglichenes Temperaturprofil ein. Anhand der Leitfähigkeit konnte jedoch weiterhin eine Trennung in Epi-, Meta- und Hypolimnion nachgewiesen werden, d.h. eine stoffliche Durchmischung hatte zu diesem Zeitpunkt noch nicht eingesetzt.

Der Beginn des Jahres 2005 war im Vergleich zu den moderat verlaufenden meteorologischen Verhältnissen im Jahr 2004 ungewöhnlich wechselhaft. Im Januar konnte gegenüber dem langjährigen Mittelwert eine um 0,9°C erhöhte mittlere Temperatur registriert werden. Diese höhere Monatsmitteltemperatur war auf die sehr warme erste Januarhälfte zurückzuführen. Demgegenüber stand eine starke Abkühlung Ende Januar, die von mehreren abwechselnden Warm- und Kaltphasen gefolgt wurde, die sich bis Mitte März hinzogen und starke Schwankungen des Temperatursignals zeigten. So wurde eine Warmphase mit maximalen Lufttemperaturen von 12,0°C Mitte Februar von einer lang anhaltenden Kaltphase gefolgt, die sich von Ende Februar bis Anfang März ausbildete. Am 1.03.2005 konnten vor Langenargen minimale Temperaturen von -13,2°C gemessen werden.

Die Abfolge von Warm- und Kaltphasen führte zu Einschichtungen von sauerstoffreichen Oberflächenwässern

aus randlich abgekühlten Lagen in die tiefen Schichten des Sees. Dieser signifikante Beitrag an der Erneuerung des Hypolimnionwasserkörpers war im März 2005 nachweisbar. Ähnlich starke Einschichtungsereignisse von Oberflächenwässern in den Hypolimnionwasserkörper fanden bereits in den Wintern 1995/1996, 1996/1997 und 1998/1999 statt, wobei dieser Transportprozess durch relativ hohe Temperaturen des Hypolimnions zusätzlich gefördert wurde.

Die Vollzirkulation mit einer weitgehend thermischen wie auch stofflichen Durchmischung des Sees konnte am 16.03.2005 anhand des ausgeglichenen Profilverlaufs für Temperatur und Leitfähigkeit beobachtet werden. Oberflächennah stellte sich zu diesem Zeitpunkt bereits eine erste sehr schwache Stratifikation ein.

Die Konzentration des **Gesamtphosphors** im Rohwasser betrug im Frühjahr 2005 während der Monate Februar bis April im Mittel 9 mg/m^3 (Abb. A, Konzentration während der Vertikalzirkulation). Damit nahm die Phosphorkonzentration während der Zirkulationsphase gegenüber dem Vorjahr erneut leicht ab (2004: 10 mg/m^3 ; 2002 und 2003: 12 mg/m^3 ; 2001: 13 mg/m^3). Erstmals seit 50 Jahren wurde wieder ein Wert unter 10 mg/m^3 erreicht.

Der **Orthophosphat - Phosphor** lag von Mitte April bis Anfang Dezember 2004 in den oberen Schichten bis in Tiefen von 30-50 m unter 2 mg/m^3 . Das volumengewichtete Mittel von 0 bis 30 m blieb in diesem Zeitraum mit $1,1 \text{ mg/m}^3$ gegenüber dem Vorjahr konstant.

Der **anorganische Stickstoff** (Nitrat-, Nitrit- und Ammoniumstickstoff) mit Nitrat als Hauptkomponente lag 2004 im Jahresmittel mit $0,94 \text{ g/m}^3$

geringfügig über dem Wert des Vorjahres (2003: $0,91 \text{ g/m}^3$). Ein seit 1995 erkennbarer leichter Abwärtstrend hat sich in 2004 nicht fortgesetzt (Abb. C).

Chlorid als Indikator vielfältiger Salzbelastungen stieg im Jahresmittel leicht auf $5,3 \text{ g/m}^3$ an, nachdem es mehrere Jahre bei $5,0 \text{ g/m}^3$ gelegen hatte (Abb. C).

Die **Sauerstoffgehalte** im Hypolimnion des Obersees von 200 - 254 m Tiefe lagen 2004 überwiegend auf dem Niveau des Vorjahres. Lediglich von Anfang Februar bis Anfang April gab es leichte Differenzen zwischen diesen Jahren, weil in 2003 die winterliche Sauerstofferholung sprunghaft und in 2004 allmählich erfolgte.

Der gesamte Sauerstoffinhalt des Obersees lag in den Monaten März und April 2005 mit 533 000 Tonnen etwas über dem Vorjahr (522 000 Tonnen).

Die niedrigste einen Meter über Grund gemessene Sauerstoffkonzentration betrug 2004 $7,2 \text{ g/m}^3$. Sie wurde Anfang November erreicht. Die seit 1995 relativ hohen Minimalwerte von regelmäßig über 6 g/m^3 zeigen klar die fortschreitende Stabilisierung des Ökosystems Bodensee (Abb. B). Diese Beobachtung entspricht einer Entwicklung, die mit dem derzeit geringen Phosphorgehalt gemäß Modellrechnung konform geht.

Das **Phytoplankton** im Bodensee-Obersee erreichte 2004 im Jahresmittel eine Biomasse von $8,4 \text{ g/m}^2$ (0-20m). In den Vorjahren wurden folgende Werte festgestellt. 2003: $9,2 \text{ g/m}^2$, 2002: $13,0 \text{ g/m}^2$, 2001: $6,7 \text{ g/m}^2$, 2000: $8,9 \text{ g/m}^2$, 1999: 9 g/m^2 , 1998: $12,6 \text{ g/m}^2$, 1997: $13,6 \text{ g/m}^2$ und 1996: $13,4 \text{ g/m}^2$ (0-20 m). Der kontinuierliche Abfall der Gesamtbiomasse seit 1997 war im Jahr 2002 durch einen Wiederanstieg auf

das Niveau von 1997 unterbrochen worden; im Jahr 2003 sank die Biomasse stärker und 2004 leicht ab und liegt damit nun ungefähr auf Höhe von 1962 und des Durchschnitts der letzten 6 Jahre. Die Planktonbiomasse im Bodensee-Obersee scheint sich damit auf einem Niveau zwischen 6 und 10 g/m² (0-20 m) zu stabilisieren. Der bereits in den letzten Jahren mit Ausnahme des Jahres 2002 beobachtete Trend zu niedrigeren Frühjahrsblüten setzte sich auch 2004 weiter fort. Die Frühjahrsblüte begann 2004 Mitte April und erreichte Anfang Mai nur noch 13,9 g/m², während 2003 noch 16,3 g/m² erreicht wurden. Das Klarwasserstadium war nicht sehr ausgeprägt und dauerte von Mitte Mai bis Ende Juni länger als in den Vorjahren. Eine erste Sommerblüte begann Anfang Juli und erreichte eine Wachstumsspitze Mitte Juli mit 17,7 g/m². Die Biomasse sank Anfang August bis auf 10,6 g/m² ab und stieg Mitte August mit 20,8 g/m² zu einem zweiten Sommermaximum an. Die Biomasse sank anschließend kontinuierlich ab, stieg Anfang November noch einmal kurz auf ein kleines Herbstmaximum von 14,2 g/m² an und sank bis Ende Dezember weiter ab auf 2,5 g/m².

Die zentrischen Kieselalgen traten 2004 wie in den beiden Vorjahren stark in den Hintergrund und erreichten nur Ende März und Anfang April nennenswerte Anteile an der Biomasse. Dominierend waren *Cyclotella cyclopuncta* und *Cyclotella pseudostelligera* als starke Oligotrophierungsanzeiger sowie *Stephanodiscus neoastraea* und *Stephanodiscus alpinus* als euryöke Formen (Bezeichnung für Organismen, die aufgrund hoher Anpassungsfähigkeit unter verschiedenen Umweltbedingungen leben können). Die pennaten Kieselalgen traten während der beiden Sommermaxima und im September stark in den Vordergrund und bildeten

dort den größten Teil der Biomasse, wobei vor allem *Synedra*, *Fragilaria* und *Asterionella* dominierten. *Cryptomonaden* erreichten das ganze Jahr über beträchtliche Anteile an der Biomasse und dominierten das Planktonbild während der Frühjahrsblüte und bis Anfang Juni sowie im November. Die Dinoflagellaten bevorzugten die Monate April und Mai mit *Gymnodinium helveticum* sowie die Monate Oktober und November mit *Ceratium hirundinella*, *Peridinium cinctum* und *Gymnodinium helveticum*, wo sie den größten Teil der Biomasse bildeten. Die Chrysophyceen erreichten von April bis Oktober nennenswerte Anteile an der Biomasse. Während der Frühjahrsblüte dominierten dabei *Erkenia*, *Ochromonas* sowie *Pseudokephyrion*, im Sommer und Frühherbst verschiedene oligotrophente Arten wie *Chryso-coccus*, *Mallomonas*, *Ochromonas* und *Dino-bryon*. Coccale Grünalgen, die höhere Nährstoffkonzentrationen bevorzugen, erreichten wie bereits in den beiden Vorjahren das ganze Jahr über nur noch einen unbedeutenden Anteil an der Biomasse. Fädige und coccale Blaualgen gingen gegenüber dem Vorjahr stark zurück; lediglich im Oktober und November traten *Aphanothece*, *Microcystis* und *Aphanocapsa* etwas in den Vordergrund.

Der Jahresmittelwert des **Crustaceenplanktons** lag bei ca. 620 000 Ind/m² (0-100m) und war somit niedriger als der Jahresmittelwert 2003, der bei 740 000 Ind/m² (0-100m) lag.

Wie im Vorjahr zeigten die Individuendichten der Daphnien erst im Mai und Juni hohe Werte. Das Individuenmaximum lag im Juni und betrug 385 000 Ind/m² (0-100 m) und war damit höher als das Maximum im Vorjahr (250 000 Ind/m²). Nach einem deutlichen Rückgang der Individuendichte im Juli und August, zeigte sich

erst im September ein neuerliches Maximum mit einer Individuendichte von 362 000 Ind/m² (0-100 m). Anschließend begann die winterliche Abnahme der Daphnienzahlen.

Im Vergleich zum Vorjahr lagen die Bestände der übrigen Cladoceren (*Bosmina*, *Bythotrephes longimanus*, *Leptodora kindtii* und *Diaphanosoma brachyurum*) wieder auf niedrigerem Niveau. Im Juni erreichte die Gruppe ein erstes Maximum mit 21 000 Ind/m² (0-100 m). Nach einem sommerlichen Absinken stiegen die Werte im September wieder auf 42 000 Ind/m² (0-100 m) an. Danach begann der winterliche Abfall der Individuenzahlen.

Eudiaptomus gracilis zeigte in der ersten Jahreshälfte hohe Individuendichten. Das Maximum der adulten Tiere lag im Januar und betrug 126 000 Ind/m² (0-100 m). Im Mai und Juni lagen die Werte ebenfalls hoch 96 000 bzw. 83 000 Ind/m² (0-100 m). In der zweiten Jahreshälfte lagen die Individuendichten unterhalb von 50 000 Ind/m² (0-100 m). Das Maximum der Copepoditen lag im Mai und betrug 263 000 Ind/m² (0-100 m), im Januar, September und Oktober lagen die Werte zwischen 150 000 und 100 000 Ind/m² (0-100 m). Im März und August waren die Werte minimal (9000 bzw. 16 000 Ind/m² (0-100 m)).

Mesocyclops leuckarti dominierte bei den cyclopoiden Copepoden, die Abundanz der großen Copepoden *Cyclops vicinus* und *Cyclops abyssorum* war nur noch gering. Bei den adulten Tieren zeigte sich das erste Maximum im Mai mit 298 000 Ind/m² (0-100 m) das zweite Maximum im September betrug 243 000 Ind/m² (0-100 m). Die Individuendichten der Copepodite betragen im Januar 547 000 Ind/m² (0-100 m), im Mai maximal 985 000 Ind/m² (0-100 m) und lagen im September, Oktober und Dezember

zwischen 47 000 und 29 000 Ind/m² (0-100 m).

In der Phaenologie und der saisonalen Entwicklung der einzelnen Arten konnten bislang immer wieder Verschiebungen und Abweichungen von dem bisherigen "Muster" festgestellt werden. Diese haben sich bislang aber noch nicht manifestiert.

Bei der **Gesamtbakterienzahl** - bestimmt durch fluoreszenzmikroskopische Direktzählung - bewegten sich die Werte im Berichtsjahr auf einem ähnlichen Niveau wie in den Vorjahren mit allerdings leicht verändertem saisonalem Verlauf. Die seit 1997 im Vergleich zu den Jahren 1980 bis 1996 beobachtete Entwicklung mit geringer ausgeprägten Frühjahrs- und Sommermaxima war 2004 nur in den Sommermonaten ausgeprägt, während sich Frühjahr und Spätherbst durch höhere Bakteriendichten auszeichneten. Im Frühjahr 2004 blieben in der Produktionszone (0-10 m) die Werte bis zum März auf niedrigem winterlichen Niveau. Nach einem ersten vergleichsweise schwachen Anstieg im April 2004 mit Werten über 2×10^6 Bakterien/ml wurden im Mai und Juni 2004 mit Werten über 6×10^6 Bakterien/ml relativ ausgeprägte Maxima beobachtet. Wie in den Vorjahren erfolgte in den nachfolgenden Sommermonaten (Juli bis September) ein Abfall der Dichten auf $3-4 \times 10^6$ Bakterien/ml. Auf diesem Niveau verharrten die Bakteriendichten auch noch im Oktober und November. Erst im Dezember unterschritten die Dichten 3×10^6 Bakterien/ml. Ab diesem Zeitpunkt wurde auch eine Gleichverteilung der Bakteriendichten in den Wasserschichten bis 30 m beobachtet. Zuvor wies die Schicht 10 – 30 m während der Schichtungsphase stets niedrigere Werte als die oberflächennahe Schicht 0 – 10 m auf.

In den Tiefenwasserschichten unterhalb 30 m bewegten sich die Bakteriendichten mit relativ geringen Schwankungen ganzjährig im Bereich von 1×10^6 Bakterien/ml. In den oberen Wasserschichten (< 30 m Tiefe) wurde dieses Winterminimum erst im Februar 2005 erreicht. Da trotz der geschilderten saisonalen Besonderheiten das Niveau der Bakteriendichten insgesamt unverändert blieb, ergeben die geschilderten Befunde noch keinen Hinweis auf Zustandsänderungen im See. Sie unterstreichen aber, dass neben der trophischen Entwicklung die Schichtungsentwicklung im See die jeweilige Ausprägung der Verteilungsbilder entscheidend mitbestimmt.

Für die seit 1999 an der Station Fischbach-Uttwil monatlich erhobene Vertikalverteilung von *Escherichia coli* als Vertreter der **Fäkalbakterien** bestätigte sich auch im Kalenderjahr 2003, dass die Belastungswerte für diese Keimgruppe im Freiwasser des Bodensees allgemein niedrig sind. Im Jahre 2004 war dies sogar besonders deutlich ausgeprägt, da für 74 % der insgesamt 144 untersuchten Proben Werte von 1 Keim/100 ml nicht überschritten wurden und mit einer Ausnahme die Keimkonzentrationen unterhalb der für Oberflächengewässer immer noch als sehr gering einzustufenden Belastung von 10 Keimen/100 ml lagen. Die erhaltenen vertikalen Verteilungsbilder unterstreichen auch erneut das Potenzial dieser Keimgruppe als Indikator für die Einschichtung belasteten Flusswassers, da die wenigen Proben mit leicht erhöhten Keimkonzentrationen in den Wasserschichten gefunden wurden, in denen sich auch Flusswasser bevorzugt einschichtet (d.h. im Winter grundnah, im Sommer oberhalb der Sprungschicht).

Bodensee - Untersee

Die **Phosphorkonzentration** - bestimmt als Gesamtphosphor im Rohwasser - stieg 2004 im Rheinsee mit einem Jahresmittel von 13 mg/m^3 gegenüber 2003 leicht an (2002 und 2003: 12 mg/m^3). Im Zellersee fiel der Wert hingegen auf 18 mg/m^3 ab (2003: 19 mg/m^3).

Der Inhalt an **anorganischem Stickstoff** (Nitrat-, Nitrit- und Ammoniumstickstoff) mit Nitrat als Hauptkomponente nahm 2004 im Rheinsee geringfügig auf $0,82 \text{ g/m}^3$ zu (2003: $0,80 \text{ g/m}^3$; 2002: $0,85 \text{ g/m}^3$). Im Zellersee ging der Wert auf $0,78 \text{ g/m}^3$ zurück (2003: $0,85 \text{ g/m}^3$).

Die **Sauerstoffsituation** hat sich 2004 im Rheinsee gegenüber dem Vorjahr etwas verschlechtert. Im Rheinsee wurde Anfang November noch $0,4 \text{ g/m}^3$ in Seebodennähe gemessen. Im Vorjahr waren die Minimalkonzentrationen Ende Oktober mit $1,3 \text{ g/m}^3$ etwas höher. Im Zellersee, der bis 1992 über Jahrzehnte hinweg einen zeitweiligen totalen Sauerstoffschwund aufwies, wurde auch 2004 bei allen Messungen ein geringer Sauerstoff-Restgehalt gemessen. Der niedrigste Wert lag im August bei $1,0 \text{ g/m}^3$. Im Jahr davor wurde ein Minimalwert von $0,4 \text{ g/m}^3$ im September gemessen.

Das **Phytoplankton** im Zellersee sank 2004 nach einem vorübergehenden Anstieg im Jahr 2003 wieder auf $13,9 \text{ g/m}^2$. Damit ist dieser Wert zwar niedriger als im Vorjahr 2003 mit $16,26 \text{ g/m}^2$, aber immer noch höher als in den Jahren 2002 und 2001 mit $12,5 \text{ g/m}^2$ (0-20m Tiefe). Mit Ausnahme des Maximums im Jahr 1999 ($25,8 \text{ g/m}^2$) lagen die Biomassen seit 1992 auf ähnlicher Höhe, vergleichbar mit dem Obersee. In den davor liegenden Jahren

wurden folgende Werte festgestellt: 2000: 15,1 g/m², 1999: 25,8 g/m², 1998: 18,7 g/m², 1997: 15,7 g/m², 1996: 15,9 g/m²; 1995: 15,1 g/m².

Im Jahr 2004 fiel wie im Vorjahr die in früheren Jahren oft beobachtete Spätwinterblüte aus. Die Frühjahrsblüte entwickelte sich wie im Vorjahr direkt aus der Winterpopulation und erreichte ihren Höhepunkt Mitte April mit einem Maximalwert von 28,5 g/m². Die Biomasse sank schnell ab auf ein Minimum mit 7,1 g/m² Anfang Mai. Diesem wenig ausgeprägten Klarwasserstadium folgte Mitte Mai eine zweite, kleinere Frühjahrsblüte mit 12,1 g/m². Danach sank die Biomasse auf einen Minimalwert von 4,3 g/m² Anfang Juli; es folgte wieder ein Anstieg Mitte Juli und im August auf zwischen 11 und 12 g/m², danach der Anstieg auf ein Jahresmaximum im September mit 34,2 g/m². Dann folgte ein schnelles Absinken im Oktober. Von Ende Oktober bis Ende Dezember schwankten die Werte auf niedrigem Niveau zwischen 4 und 7 g/m².

Die zentrischen Kieselalgen traten vor allem im Spätwinterplankton und während der Frühjahrsblüte in den Vordergrund. Unter den oligotraphenten Arten dominierte *Cyclotella cyclopuncta* wie in den Vorjahren. *Stephanodiscus neoastraea*, die weniger Indikationseigenschaft besitzt, erreichte daneben beträchtliche Anteile und dominierte zeitweise, vor allem im März und April. Die oligotraphenten Arten *Cyclotella bodanica* und *Cyclotella pseudostelligera* traten im Gegensatz zum Obersee wenig auf. Die pennaten Kieselalgen traten während der Frühjahrsblüte und während des Jahresmaximums im September in den Vordergrund, wobei vor allem *Fragilaria crotonensis*, *Asterionella formosa* und *Synedra* dominierten. Die Cryptomonaden erreichten ab dem Ende der

Frühjahrsblüte maßgebliche Anteile an der Biomasse; sie dominierten das Planktonbild im Mai während der zweiten Frühjahrsblüte sowie im Spätherbst und Frühwinter 2003. Die Dinoflagellaten traten im Gegensatz zu 2003 in den Hintergrund; ihr Maximum erreichten sie im Mai und im September, wobei hier vor allem *Gymnodinium helveticum* und *Ceratium hirundinella* beobachtet wurden. Die Chrysophyceen erschienen ab März mit *Erkenia* und im Sommer mit *Ochromonas*, *Mallomonas* und *Dinobryon*. Grünalgen traten im Gegensatz zum Vorjahr stärker zurück; dabei hatten *Dictyosphaerium* und *Carteria* den größten Anteil. Blaualgen (Cyanophyceen) spielten von Januar bis Mai und im August eine gewisse Rolle. Während des Frühjahrsmaximums traten die fädigen Formen *Aphanizomenon flosaquae* und *Planktothrix agardhii* stärker in Erscheinung, im August trat *Anabaena lemmermannii* an deren Stelle.

Gesamtbewertung des Seezustandes

Die gute **Sauerstoffversorgung** der grundnahen Wasserschichten dokumentiert auch 2004 die langfristige günstige Entwicklung im Zustand des Freiwassers des Bodensee-Obersees.

Der **Phosphorgehalt** - bestimmt als Gesamtphosphor während der Zirkulationsperiode von Februar bis Anfang April - hat in 2005 auf 9 mg/m³ abgenommen. Nach 10 mg/m³ in 2004 setzte sich damit der Phosphorrückgang erneut fort.

Der **anorganische Stickstoffgehalt** (Nitrat-, Nitrit- und Ammoniumstickstoff) hat sich auch im vergangenen Untersuchungszeitraum nur wenig geändert und schwankt seit Anfang der achtziger Jahre auf einem Konzen-

trationsniveau von 0,9 bis 1,0 g/m³ (Abb. C).

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

Der Bodensee-Untersee verhielt sich in seinen Seeteilen Rheinsee und Zellersee im Jahr 2004 leicht gegenläufig. Sowohl bei der Sauerstoffversorgung als auch bei den Phosphor- und Stickstoffgehalten hatten sich die Verhältnisse im Rheinsee minimal verschlechtert, dagegen im Zellersee etwas verbessert. Diese geringfügigen Schwankungen sind aber normal und dürfen nicht überinterpretiert werden.

Nach wie vor spielen in der **Phytoplankton-Zusammensetzung** Arten ohne eine Indikatorenfunktion, so genannte Ubiquisten, eine wichtige Rolle. Das ganze Jahr über erreichten diese Ubiquisten beträchtliche Anteile an der Gesamtbiomasse. Insbesondere die Cryptophyten, die im März, von Mai bis Juli und im November dominierten, sind ein sehr gutes Futter für die Primärkonsumenten und stellen somit die Ernährung auch der höheren Stufen der Nahrungskette sicher.

Gegenüber dem Vorjahr 2003 hat sich die Plankton-Zusammensetzung 2004 nicht wesentlich geändert. Die im davor liegenden Jahr 2002 stark in den Hintergrund getretenen Oligotrophierungsanzeiger waren wie 2003 stärker vertreten und setzten die Entwicklung der letzten Jahre vor 2002 fort. Ausgesprochene Eutrophierungsanzeiger spielen nur noch eine untergeordnete Rolle; auch Cyanophyceen, die im Vorjahr noch eine gewisse Rolle spielten, waren kaum noch vertreten.

Der kontinuierliche Abfall der Gesamtbiomasse seit 1997 war im Jahr 2002 durch einen Anstieg unterbrochen worden; das erneute Absinken der Algen-Biomasse im Jahr 2003 setzte sich auch 2004 fort. Die Biomasse liegt damit ungefähr auf Höhe des Jahres 1962 und des Durchschnitts der letzten 6 Jahre. Jährliche Schwankungen der Algen-Biomasse wurden am Bodensee schon öfter beschrieben

In der saisonalen Entwicklung, der Phaenologie, der einzelnen **Crustaceen** - Arten konnten bislang immer wieder Verschiebungen und Abweichungen von dem bisherigen "Muster" festgestellt werden. So zeigen sich z.B. Änderungen in der saisonalen Entwicklung der Daphnienpopulation, die mit Änderungen im Beginn und Verlauf der Chlorophyll a - Entwicklung im Frühjahr und Sommer verbunden sind. Bei den Copepoden dominieren seit einigen Jahren *Mesocyclops leuckarti* neben *Eudiaptomus*, während die Individuendichten von *Cyclops abyssorum* und *Cyclops vicinus* rückläufig sind. Die in den einzelnen Jahren beobachteten Abweichungen und Änderungen sind aber noch nicht konsistent, teilweise sind sie sogar widersprüchlich. Deshalb ist bislang noch kein neues "saisonales Muster" erkennbar. Die Ergebnisse zeigen aber, dass sich der Bodensee-Obersee bei den Crustaceen weiterhin in einer "Umbruch-Situation" befindet, die offensichtlich noch nicht abgeschlossen ist.

Trotz den im Vergleich zu den Vorjahren saisonal (Frühjahr und Herbst) leicht erhöhten Werten für die **Gesamtbakterienzahl** wurde auch 2004 das inzwischen durch die Reoligotrophierung erreichte insgesamt niedrige Niveau für diesen Parameter bestätigt. Belastungen durch die weit über-

wiegend mit Siedlungsabwässern eingetragenen **Fäkalkeime** (*Escherichia coli*) sind in der großen Freiwasserzone des Bodensees nach wie vor kaum bemerkbar. Im Jahr 2004 wiesen alle Proben nur sehr geringe Belastungen auf.

Fazit und Handlungsbedarf

Die Ergebnisse der Freiwasseruntersuchungen bestätigen eindrücklich den positiven Effekt der Gewässerschutzmaßnahmen aller Länder und Kantone im Einzugsgebiet des Bodensees. Die Wasserqualität des Sees ist gut. Der langjährige Trend abnehmender Phosphorgehalte hat sich im Obersee erneut fortgesetzt und erstmals seit fünfzig Jahren wieder einen einstelligen Wert erreicht.

Im Untersee war die Entwicklung 2004 uneinheitlich. Im Zellersee nahmen die Phosphorgehalte des Freiwassers weiter leicht ab, während im Rheinsee eine geringfügige Zunahme beobachtet wurde. Diese Ergebnisse werden im relativ flachen Untersee stärker als im Obersee von den Redoxbedingungen in grundnahen Bereichen geprägt. Sie sind durch Mischungsprozesse in den verschiedenen Seeteilen und von Produktionsschwankungen beeinflusst. Darüber hinaus spielt zusätzlich auch die aus dem Obersee eingetragene Biomasse eine Rolle. Die insgesamt

höhere Trophie des Untersees ist vor allem Ergebnis der naturräumlich komplexeren Limnologie dieses Seeteils. Es ist daher auch in Zukunft zu erwarten, dass die Trophie-Entwicklung des Untersees der des Obersees nachhinkt und die Sanierungserfolge im Vergleich zum Obersee eine weniger deutliche Wirkung zeigen.

Insgesamt zeigen die biologischen Parameter den weiterhin fortschreitenden und noch nicht abgeschlossenen Prozess der Reoligo-trophierung im Bodensee. Eine Prognose über den Endpunkt dieser Entwicklung ist angesichts der komplexen Dynamik schwierig. Daher muß auch zukünftig mit einem weiteren Wandel der Lebensgemeinschaften gerechnet werden.

Die Grundvoraussetzungen für eine nachhaltige Stabilität des Bodensee Ökosystems sind nach wie vor eine konsequente Umsetzung der hohen Anforderungen an die Abwasserbehandlung, die Minimierung diffuser Nähr- und Schadstoffeinträge sowie die Reduktion struktureller Beeinträchtigungen. Dies gilt insbesondere vor dem Hintergrund sich abzeichnender klimatischer Veränderungen und einer mittelfristig noch wachsenden Bevölkerung im Einzugsgebiet mit hohen Nutzungsanforderungen an den See.

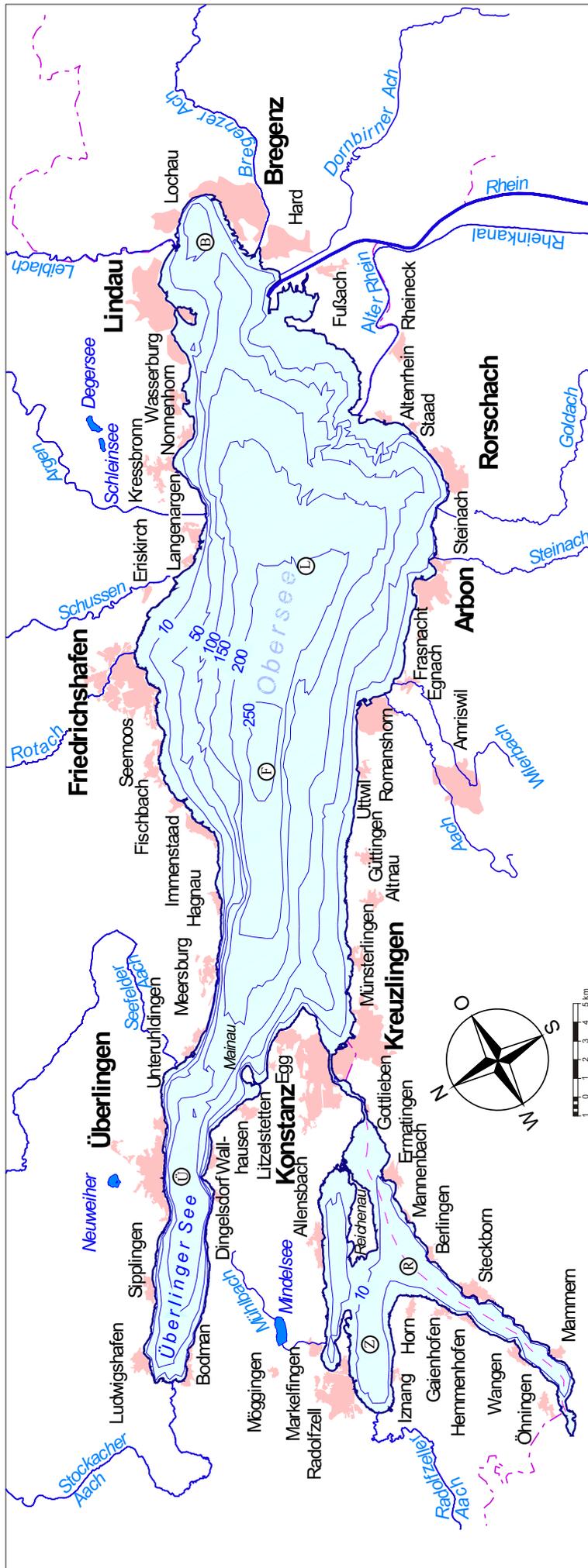


Abb. 1: Der Bodensee mit Lage der Untersuchungsstellen

- a) Freiwasser
 Obersee: Bregenzler Bucht (B)
 Fischbach-Uftwil (F)
 Langenargen-Arbon (L)
 Überlinger See (Ü)

- Untersee: Rheinsee (R)
 Zellersee (Z)

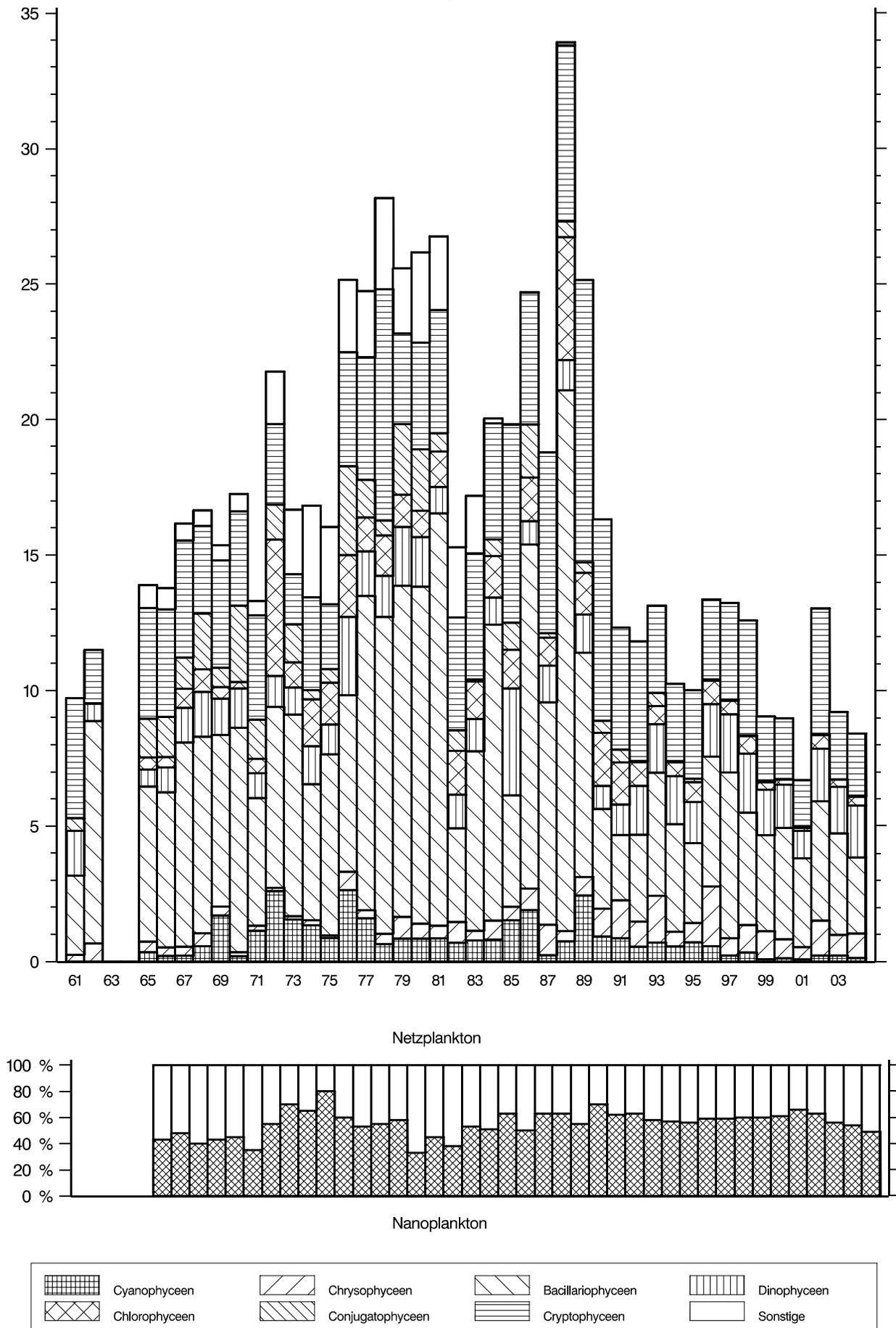


Abb. 3: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
Langfristige Entwicklung des Phytoplanktons
Biomasse der systematischen Gruppen in g/m^2 (0–20 m Tiefe), Jahresmittelwerte

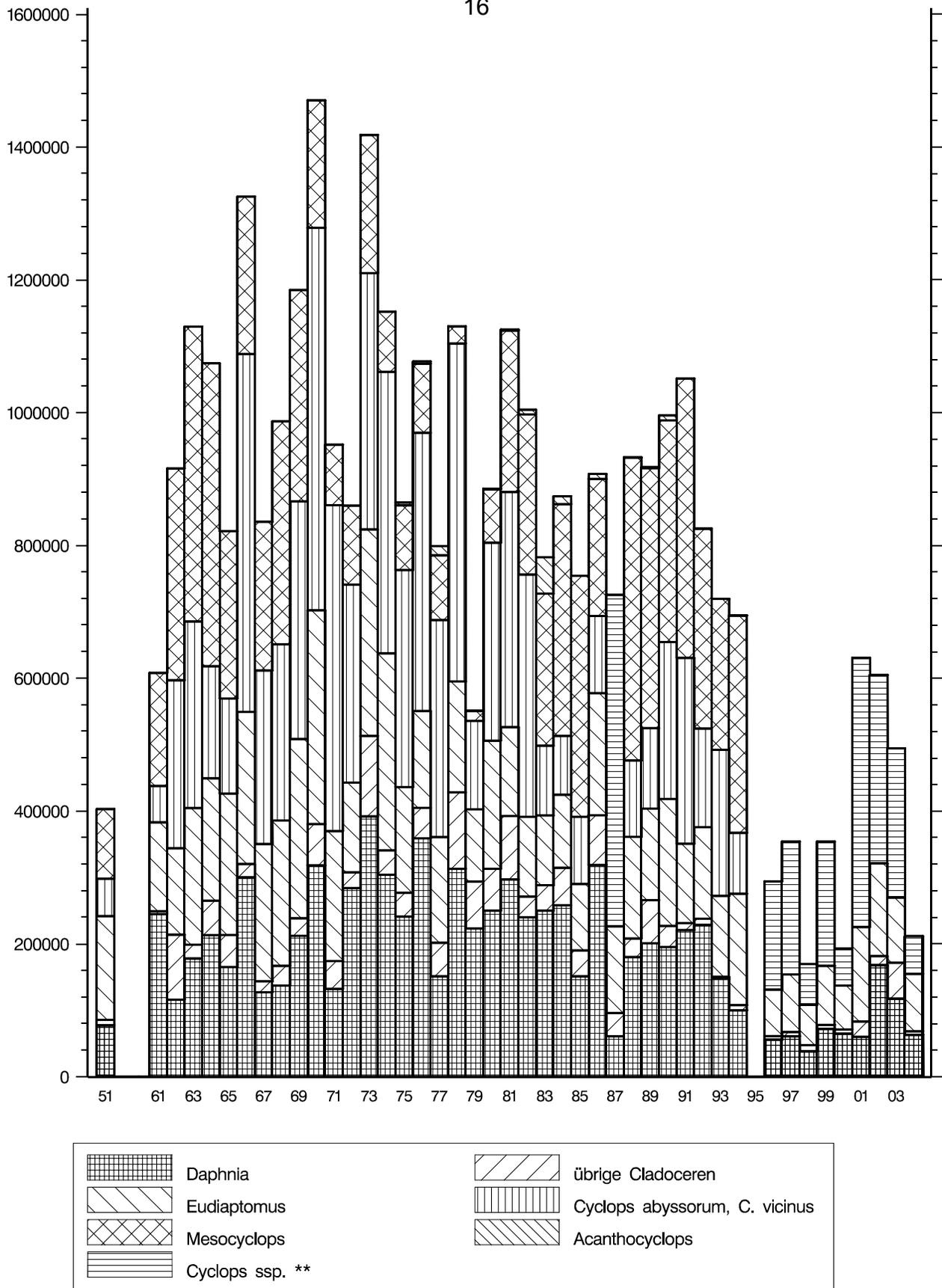


Abb. 4: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:

Langfristige Entwicklung des Crustaceenplanktons

Tiere/m³ gesamte Wassersäule, Jahresmittelwerte *

* Berechnung des Jahresmittelwertes für 1995 nicht möglich wegen fehlender Frühjahrsdaten

** 1987 und ab 1996 einschließlich Mesocyclops

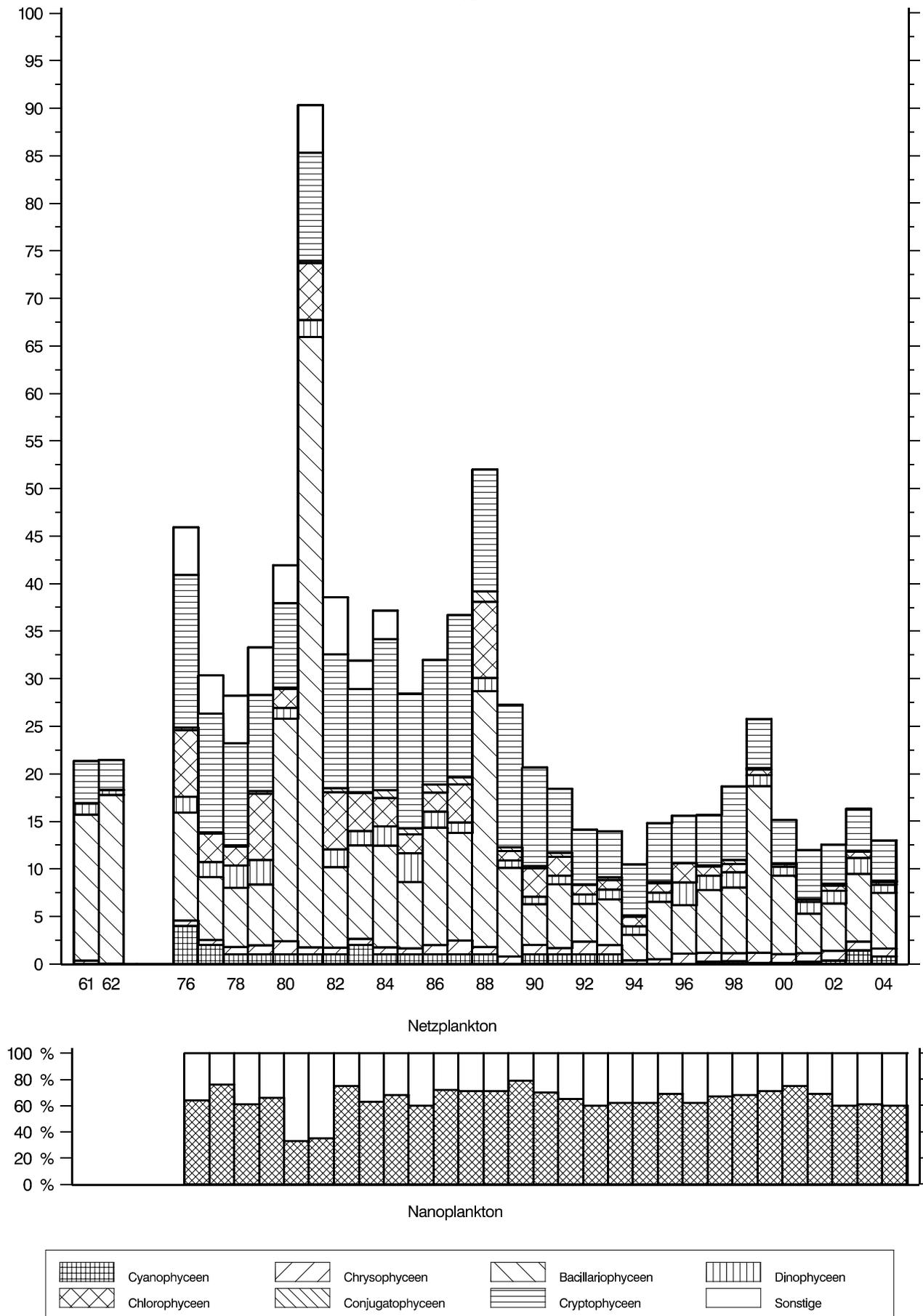
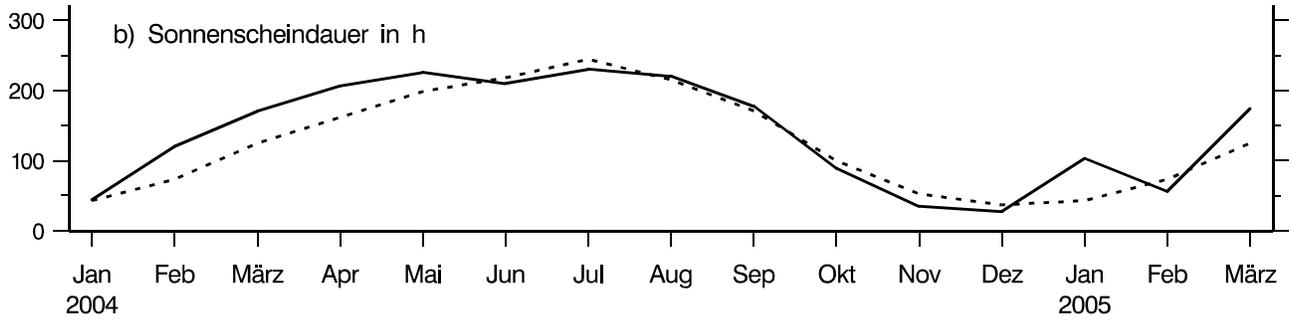
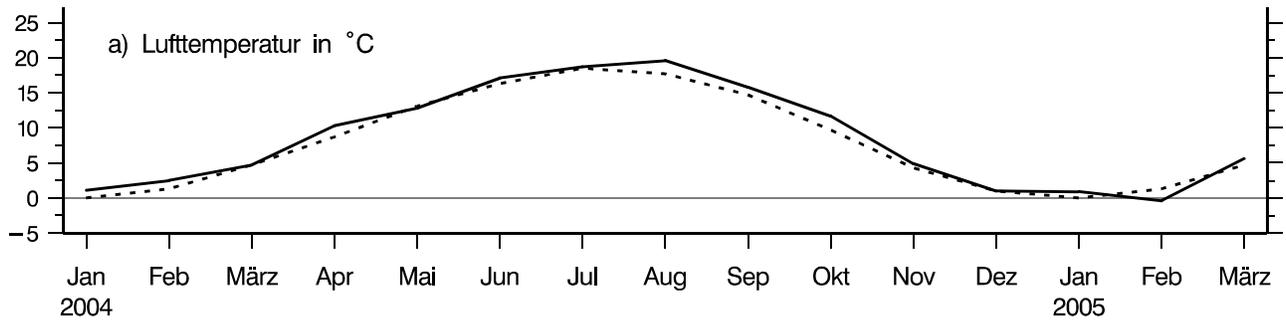


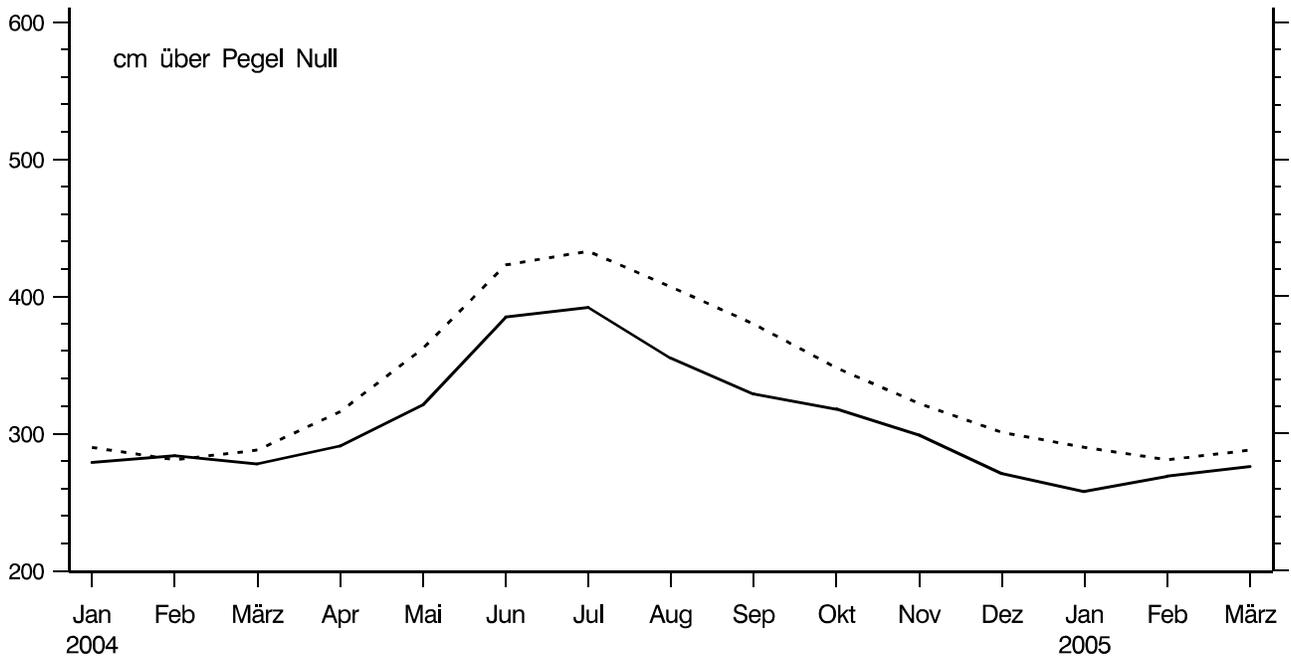
Abb. 5: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Langfristige Entwicklung des Phytoplanktons
Biomasse der systematischen Gruppen in g/m^2 (0–20 m Tiefe), Jahresmittelwerte



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

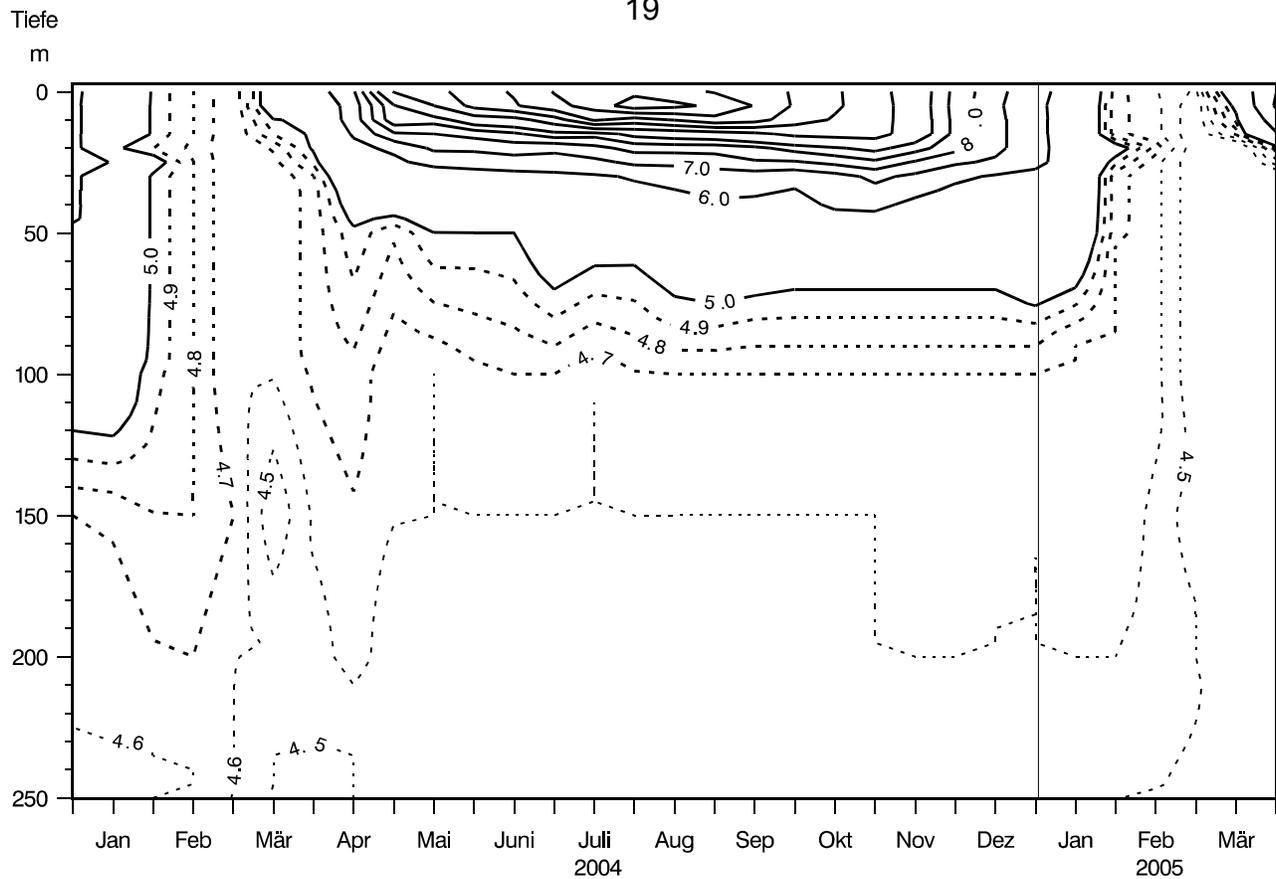


Abb. 8: Bodensee – Obersee, Fischbach–Uttwil:
Temperatur °C

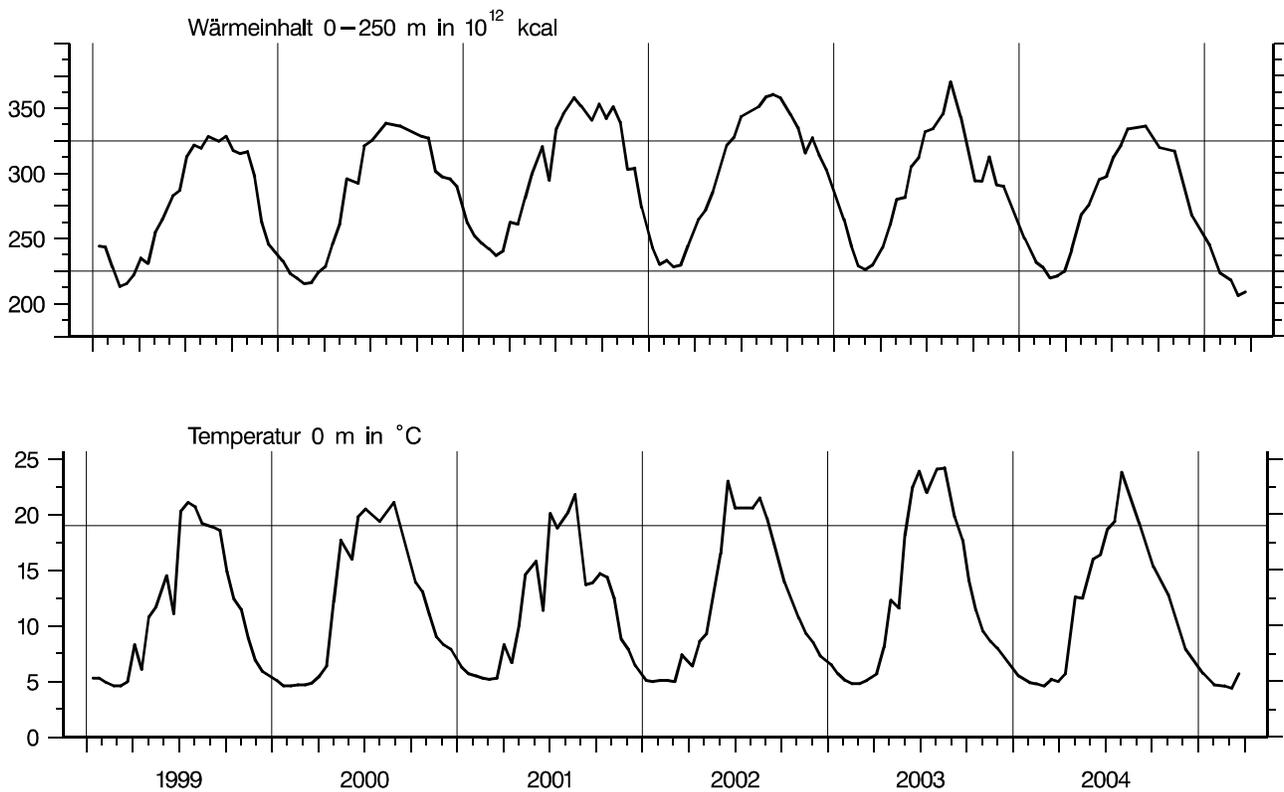


Abb. 9: Bodensee – Obersee, Fischbach–Uttwil:
Thermik

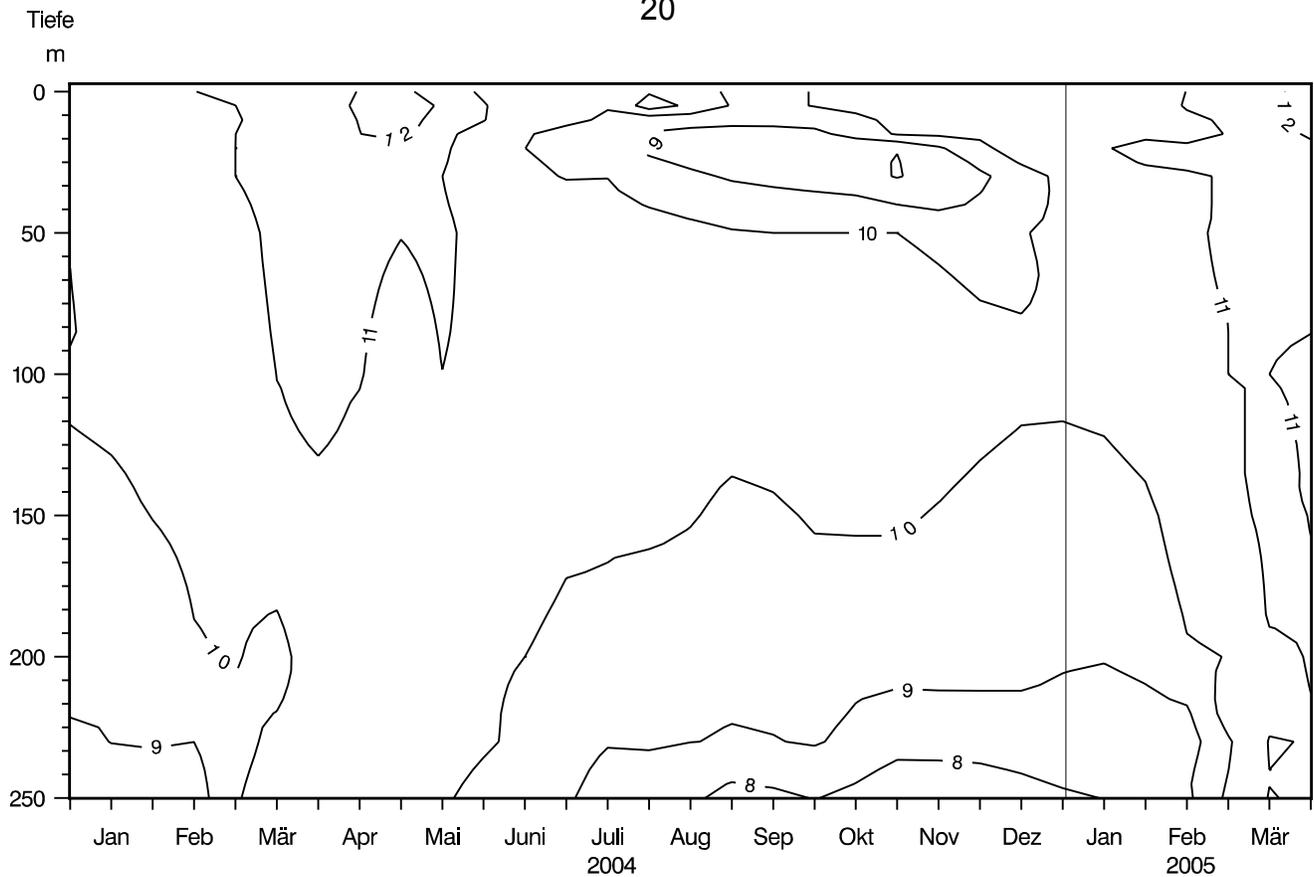


Abb. 10: Bodensee – Obersee, Fischbach–Uttwil:
Sauerstoff (mg/l)

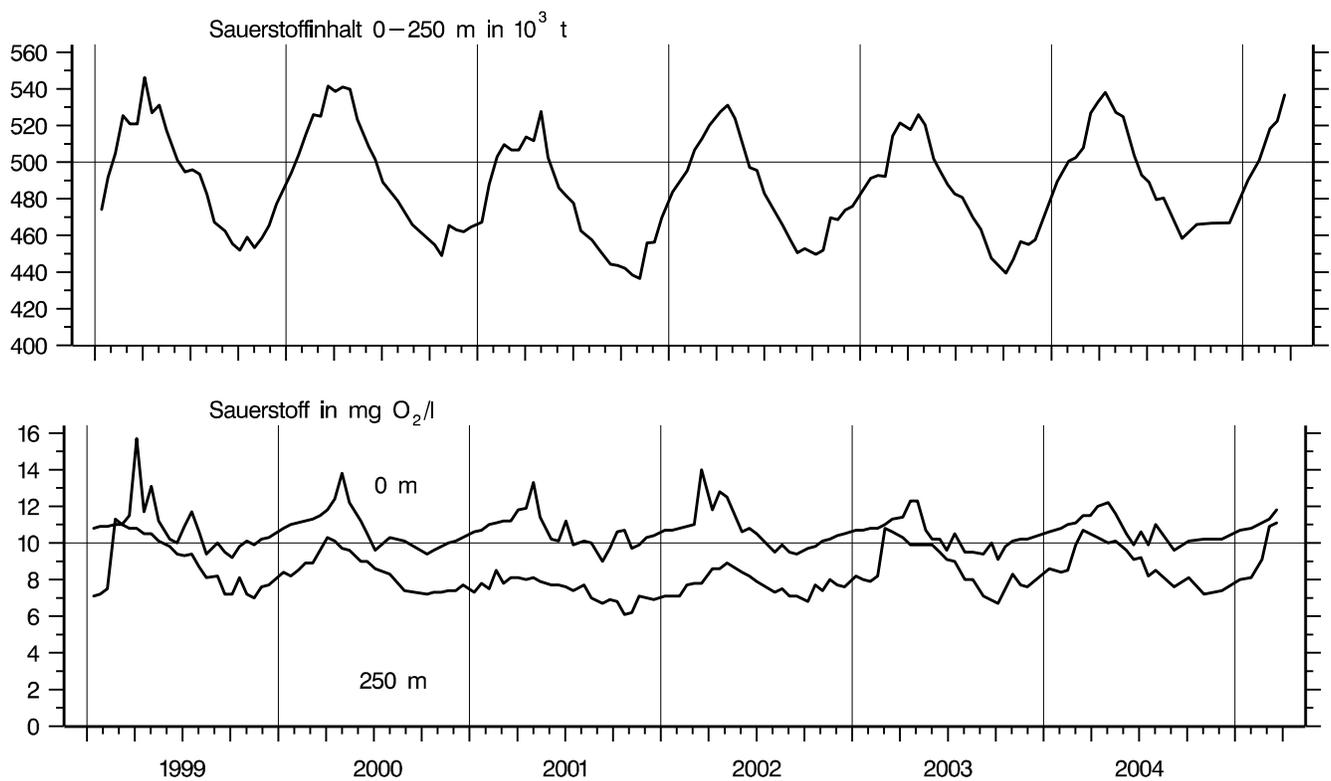


Abb. 11: Bodensee – Obersee, Fischbach–Uttwil:
Sauerstoffinhalt 0–252 m und Sauerstoffkonzentration in 0 und 250 m Tiefe

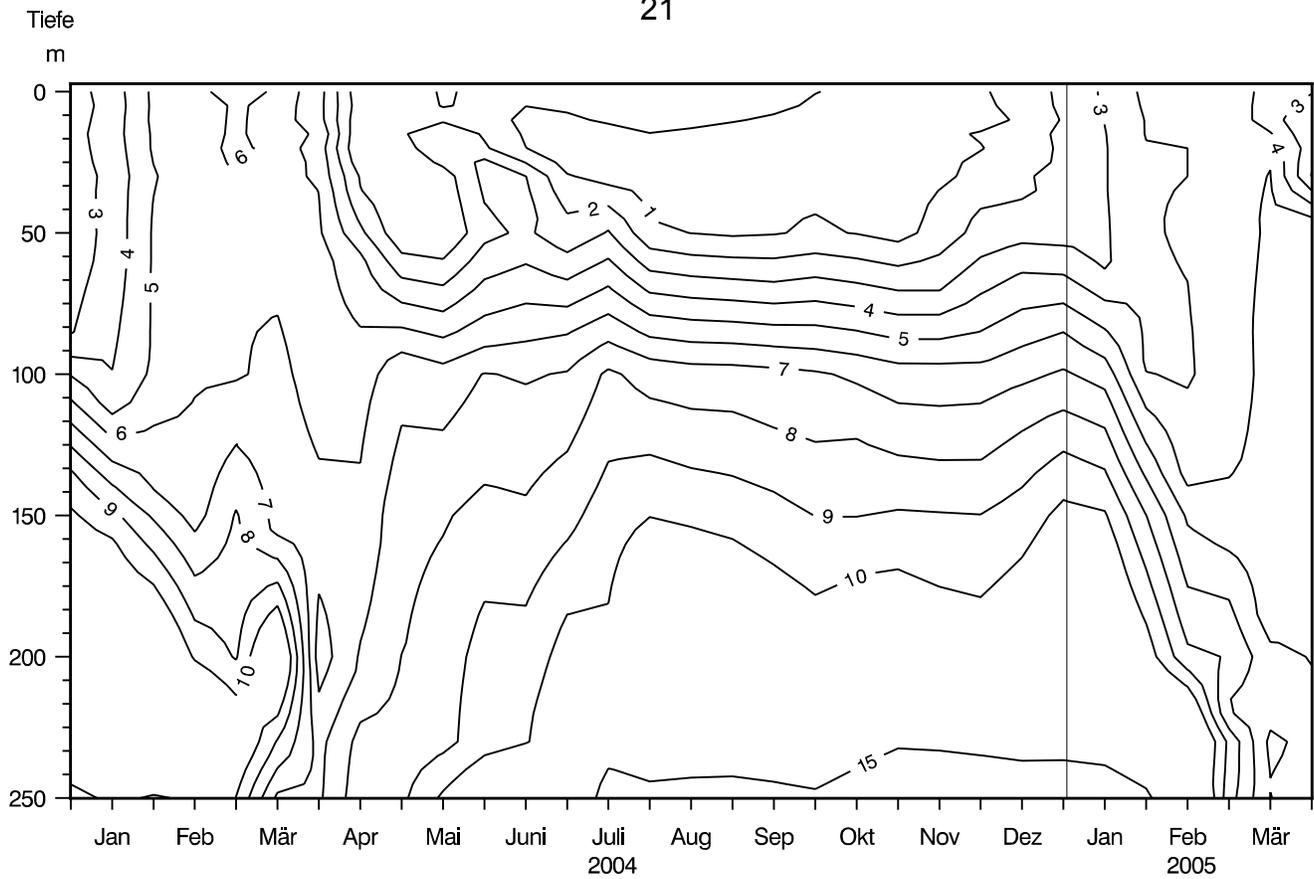


Abb. 12: Bodensee – Obersee, Fischbach–Uttwil:
Orthophosphat – Phosphor (mg/m^3)

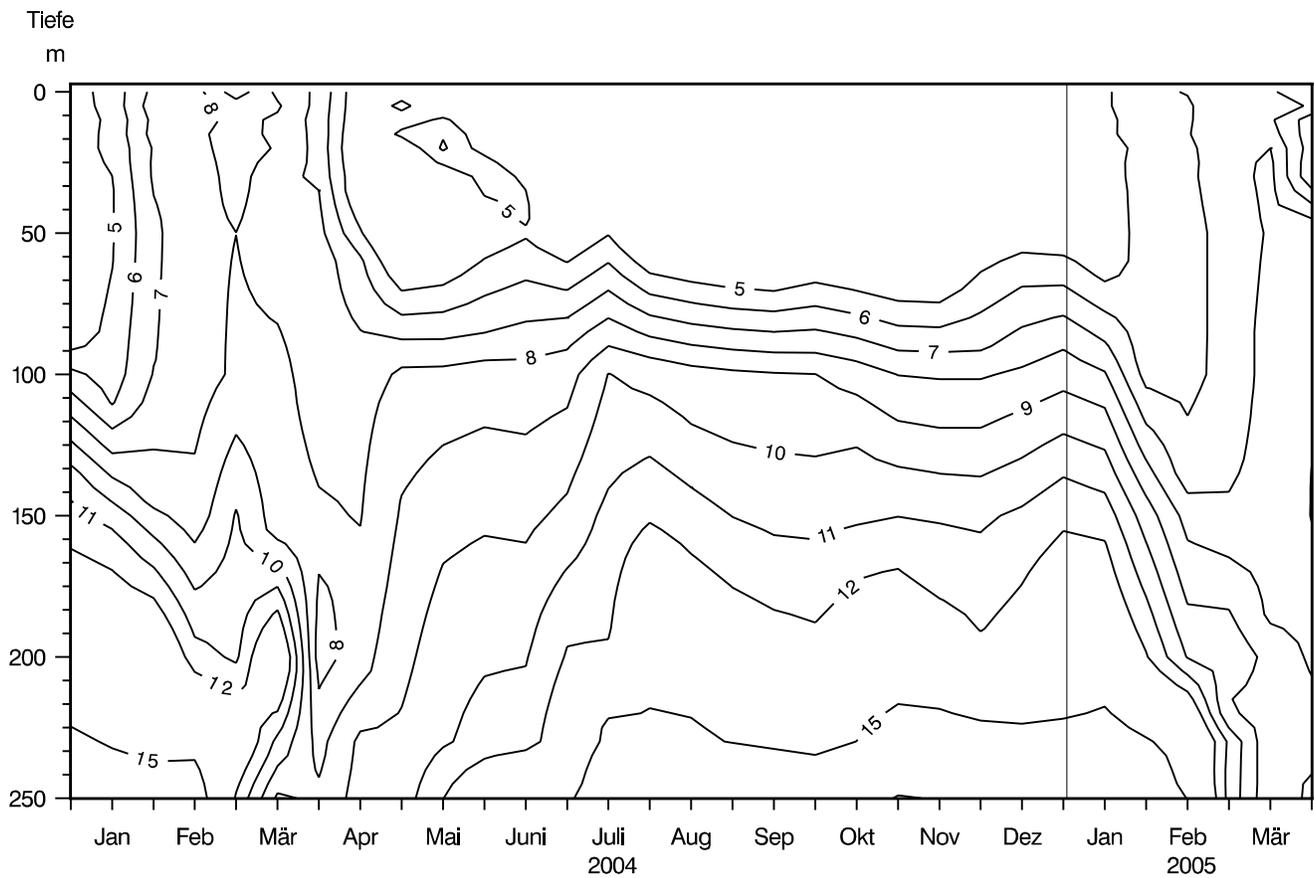


Abb. 13: Bodensee – Obersee, Fischbach–Uttwil:
Gesamt gelöster Phosphor (mg/m^3)

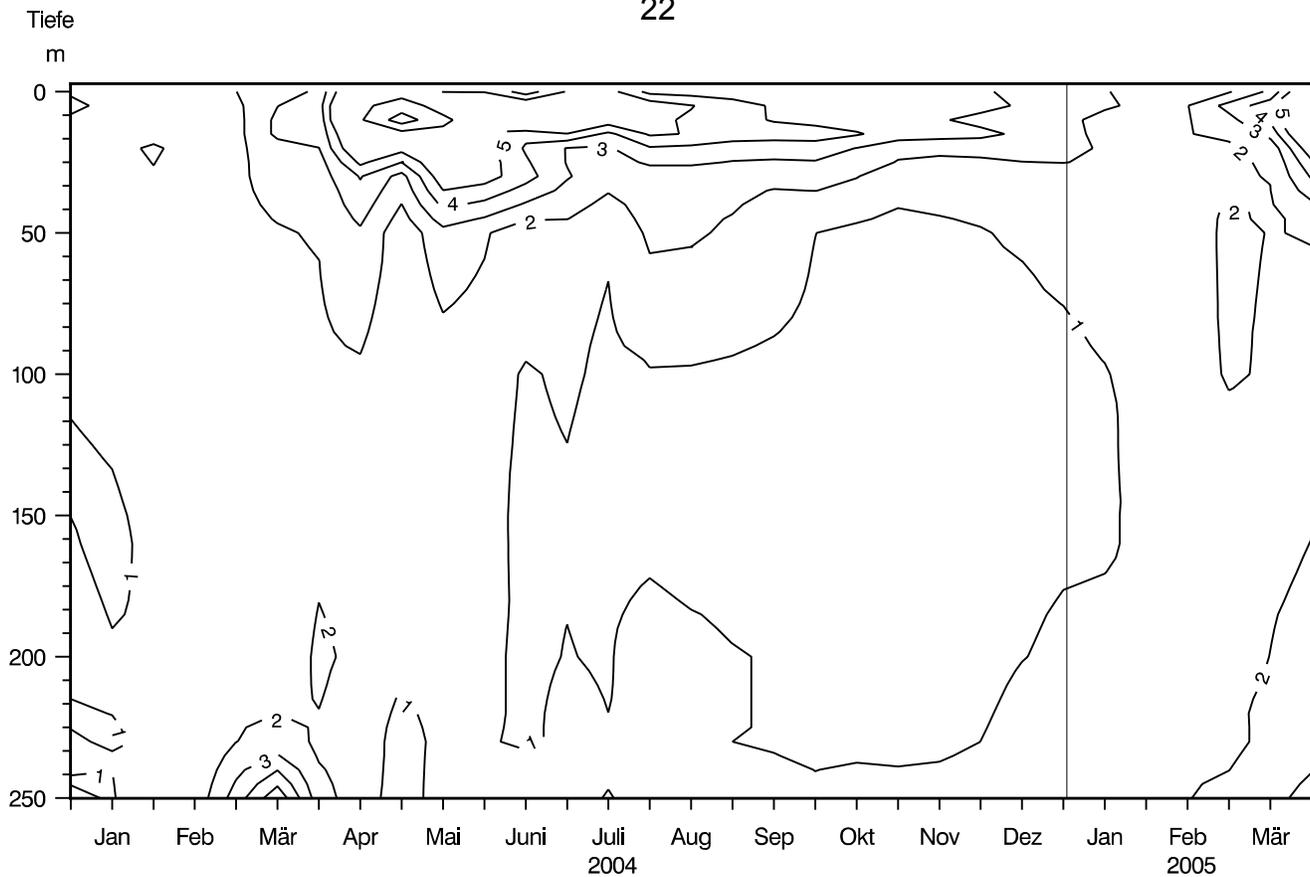


Abb. 14: Bodensee – Obersee, Fischbach–Uttwil:
partikulärer Phosphor (mg/m^3)

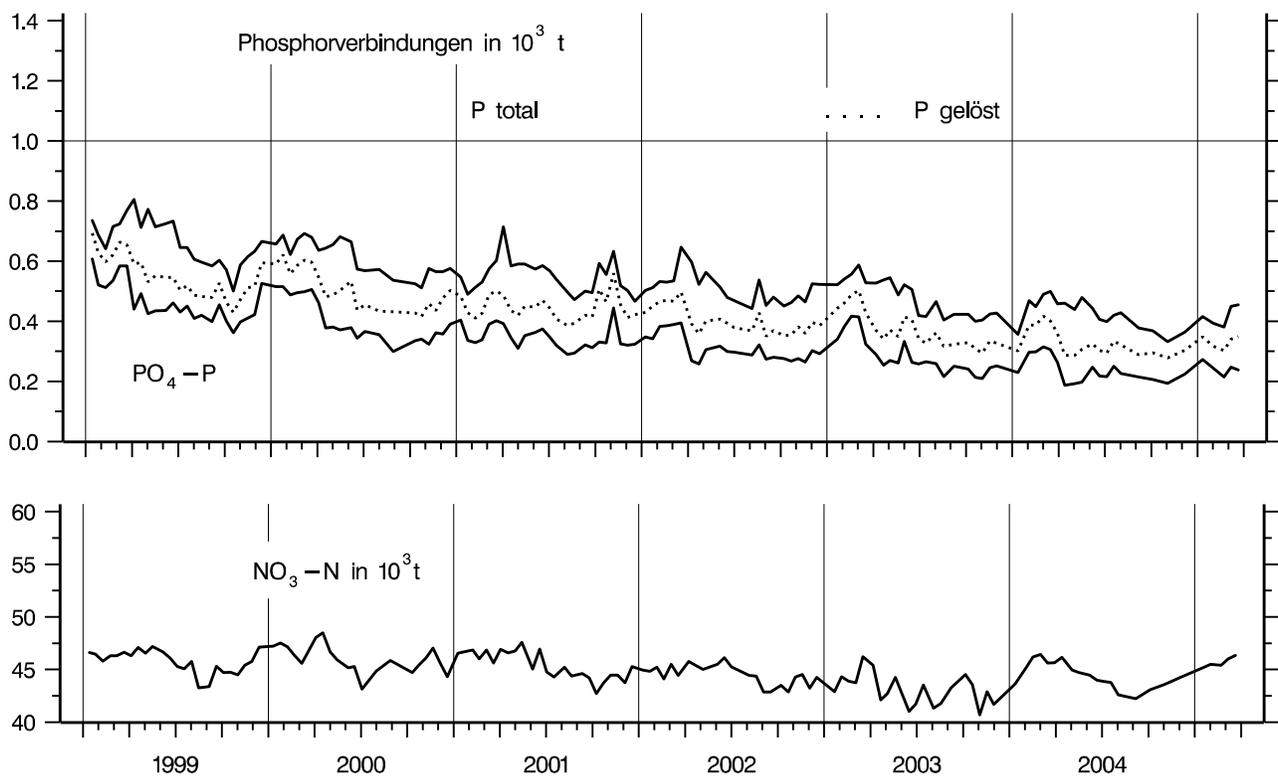


Abb. 15: Bodensee – Obersee, Fischbach–Uttwil:
Nährstoffinhalt (P, $\text{NO}_3\text{-N}$) 0–250 m Tiefe

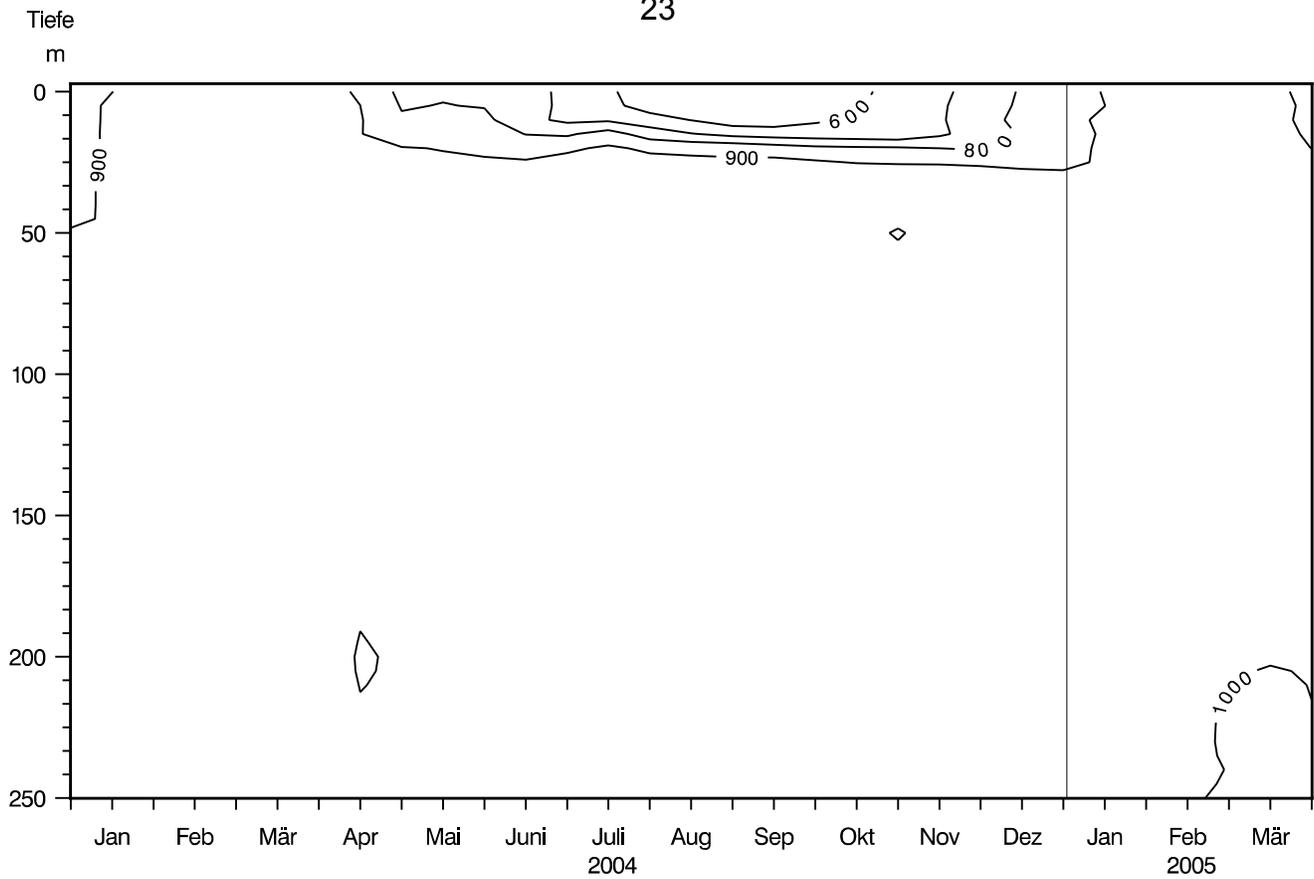


Abb. 16: Bodensee – Obersee, Fischbach–Uttwil:
Nitrat – Stickstoff (mg/m^3)

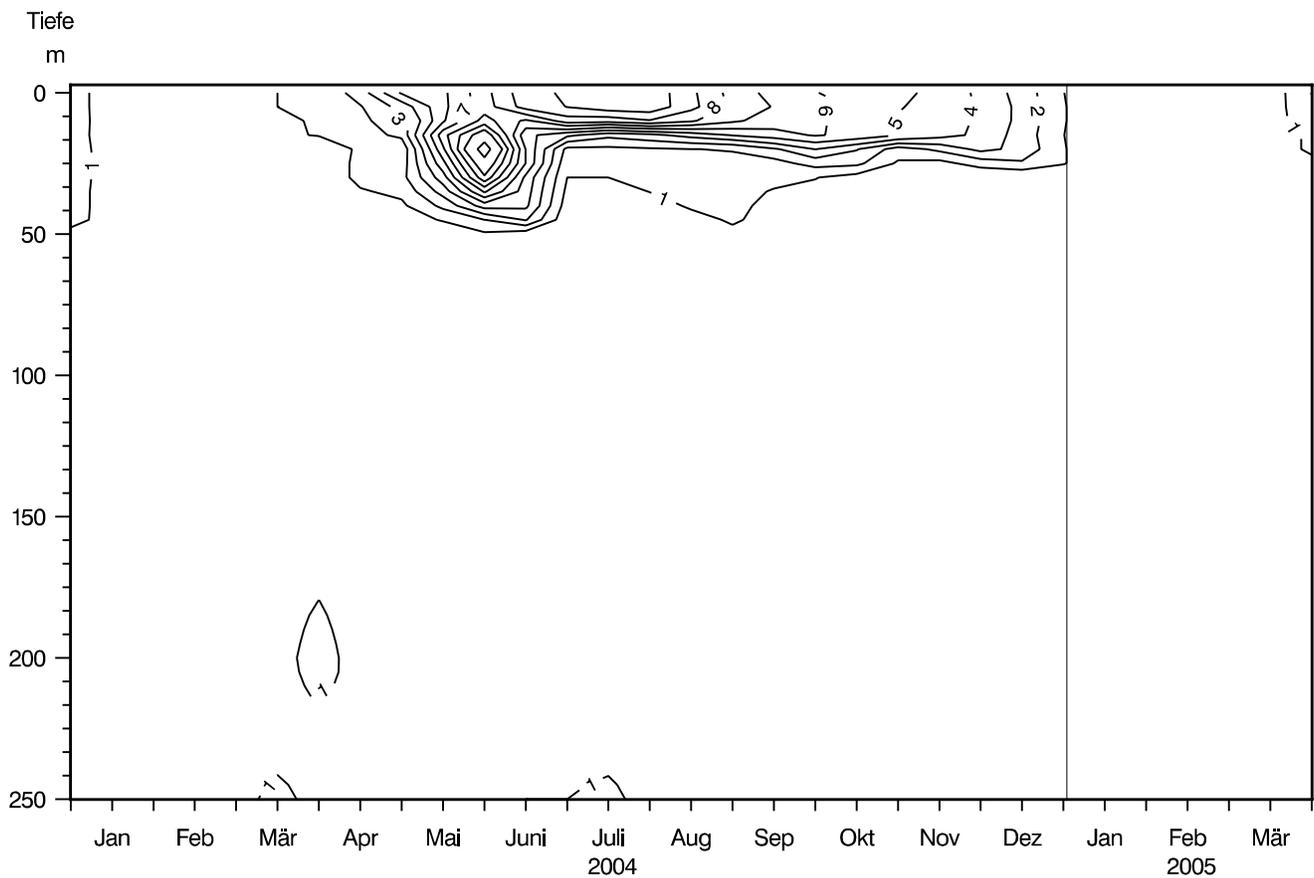


Abb. 17: Bodensee – Obersee, Fischbach–Uttwil:
Nitrit – Stickstoff (mg/m^3)

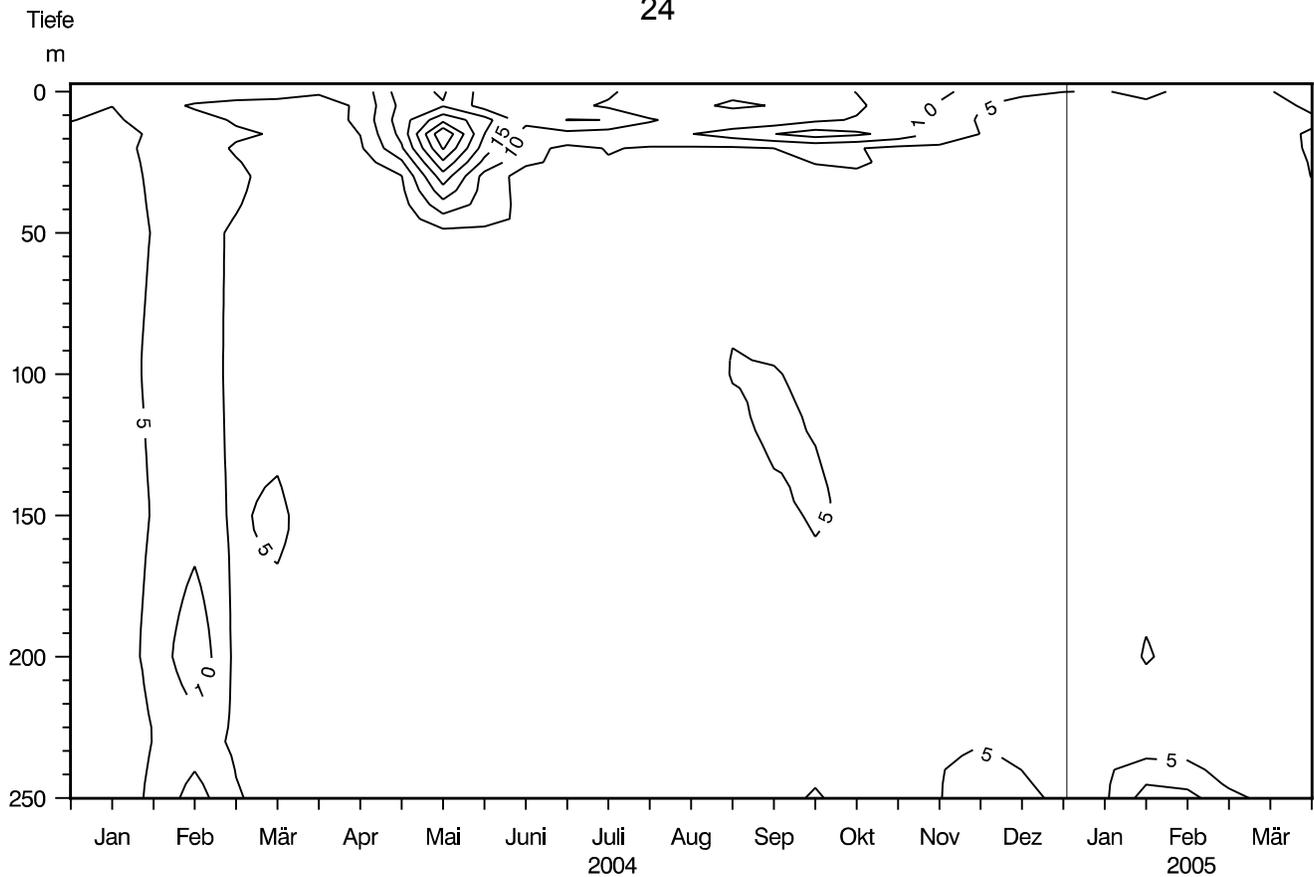


Abb. 18: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
Ammonium – Stickstoff (mg/m^3)

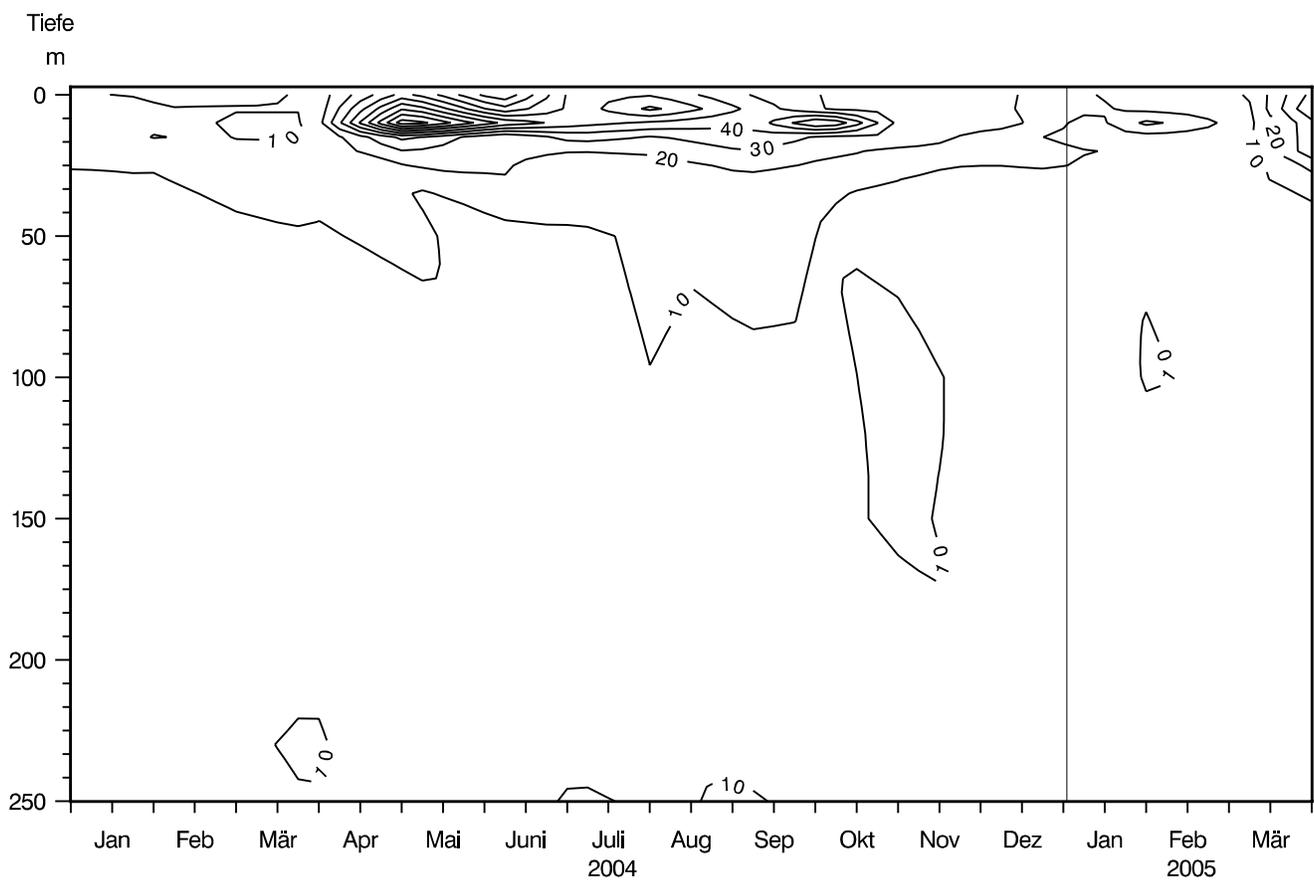


Abb. 19: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
Partikulärer Stickstoff (mg/m^3)

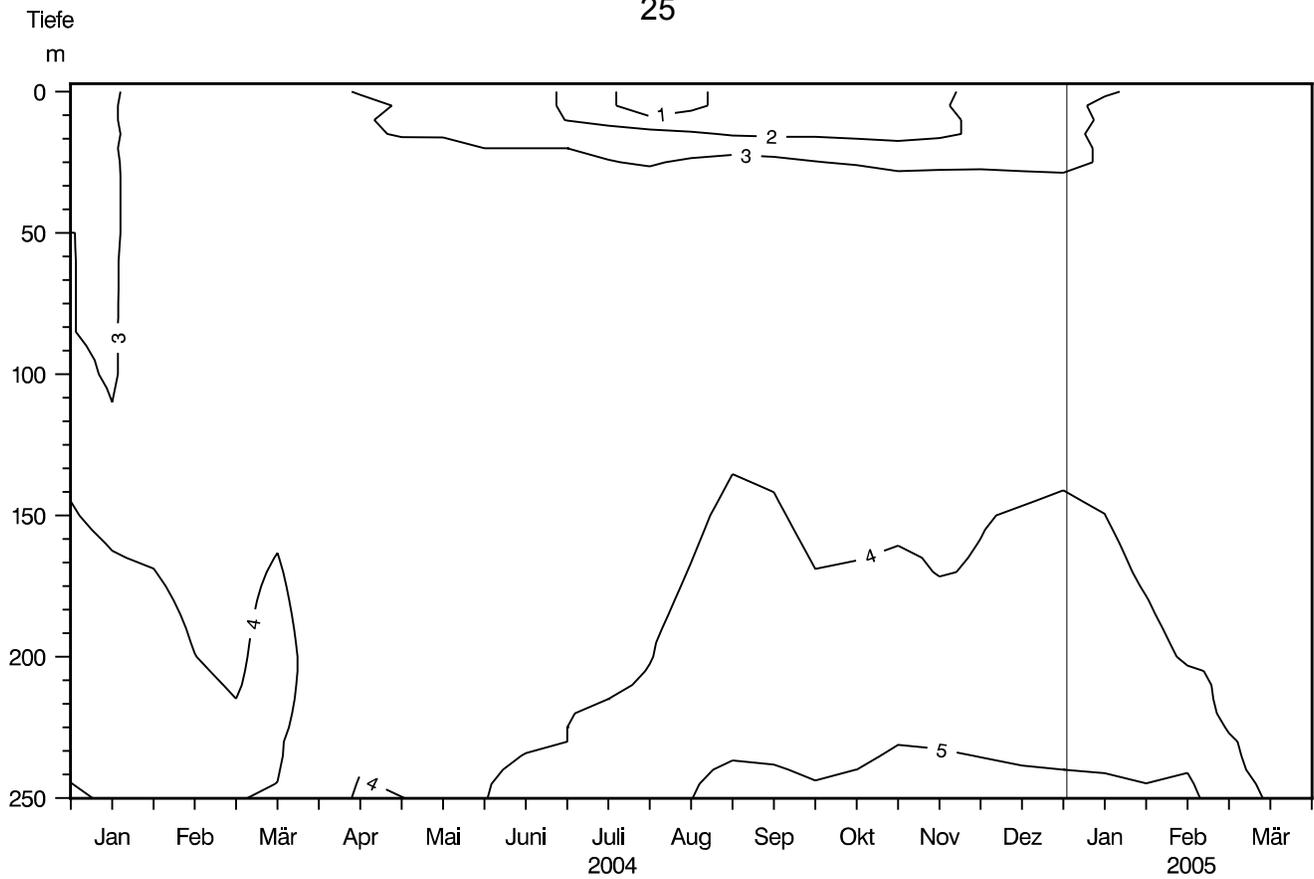


Abb. 20: Bodensee – Obersee, Fischbach–Uttwil:
Silikat (mg/l)

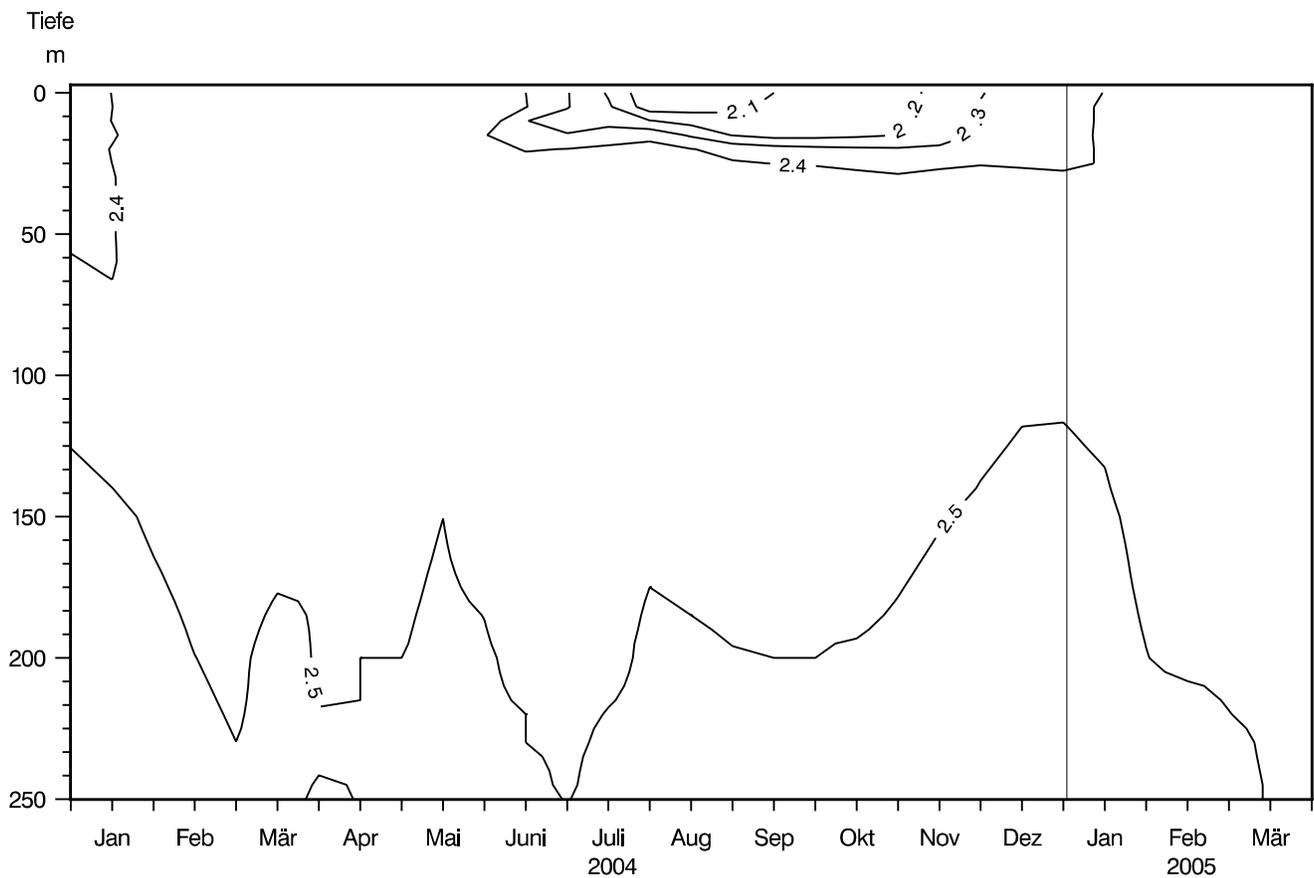


Abb. 21: Bodensee – Obersee, Fischbach–Uttwil:
Anorganischer Kohlenstoff (mmol/l)

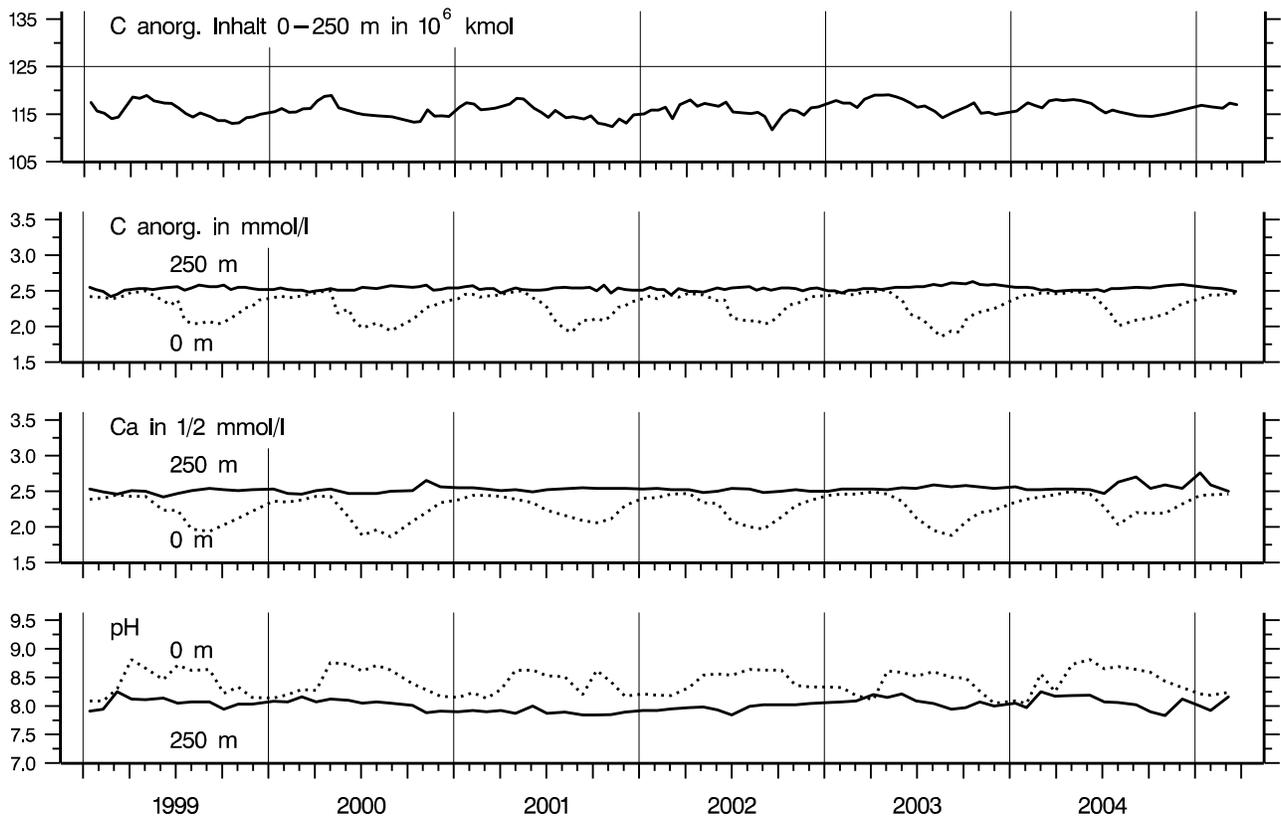


Abb. 22: Bodensee – Obersee, Fischbach–Uttwil:
Anorganischer Kohlenstoff, Inhalt 0–252 m Tiefe
Konzentration von anorg. Kohlenstoff, Calcium; pH–Wert

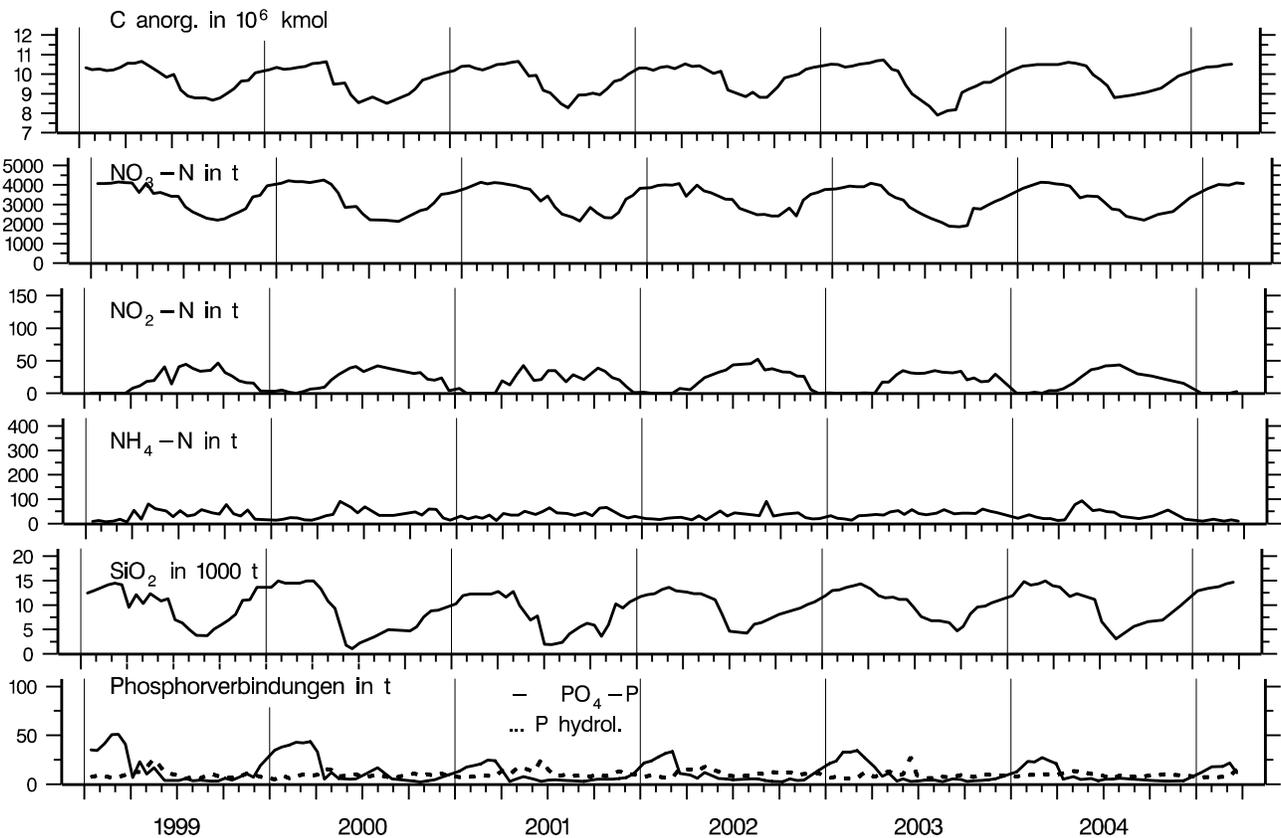


Abb. 23: Bodensee – Obersee, Fischbach–Uttwil:
Nährstoffinhalt (anorg. Kohlenstoff, Stickstoff, Silikat,
Phosphor) im Epilimnion 0–10 m Tiefe

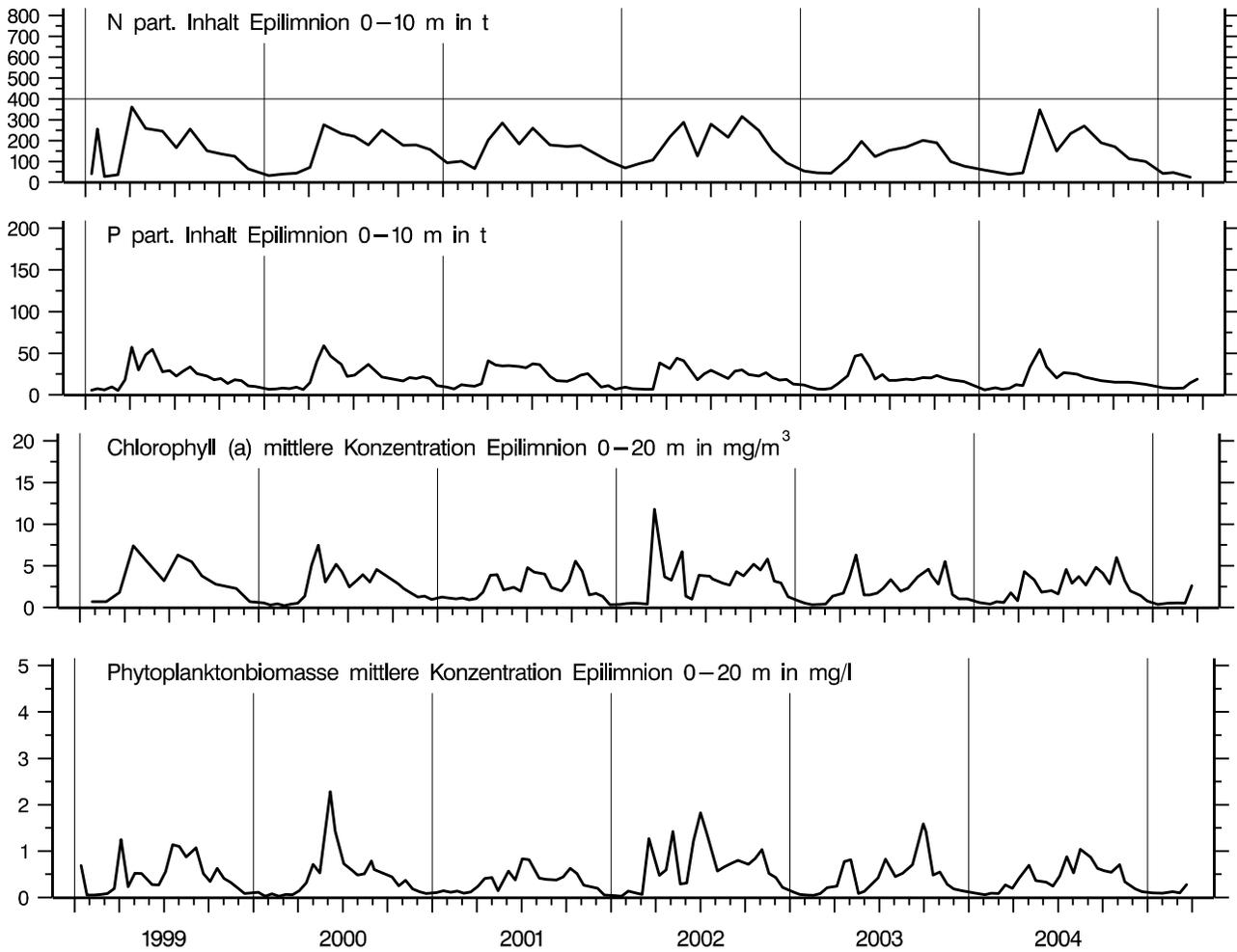


Abb. 24: Bodensee – Obersee, Fischbach–Uttwil:
Chemische Biomasseindikatoren und Phytoplanktonbiomasse

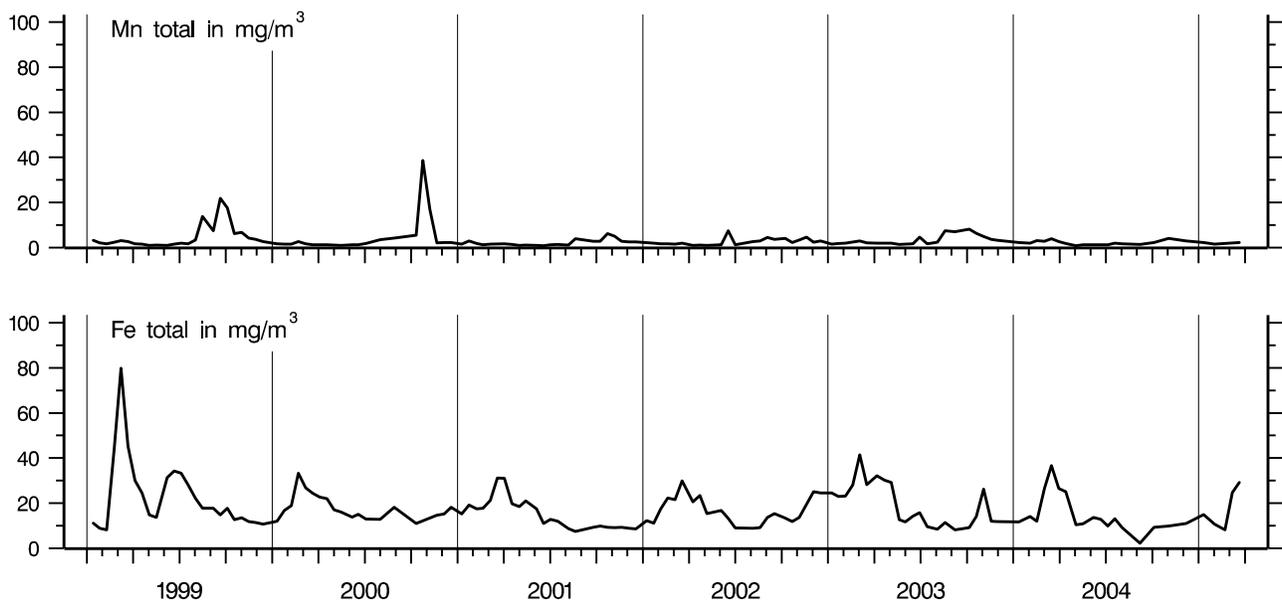


Abb. 25: Bodensee – Obersee, Fischbach–Uttwil:
Konzentration von Eisen total und Mangan total in 250 m Tiefe

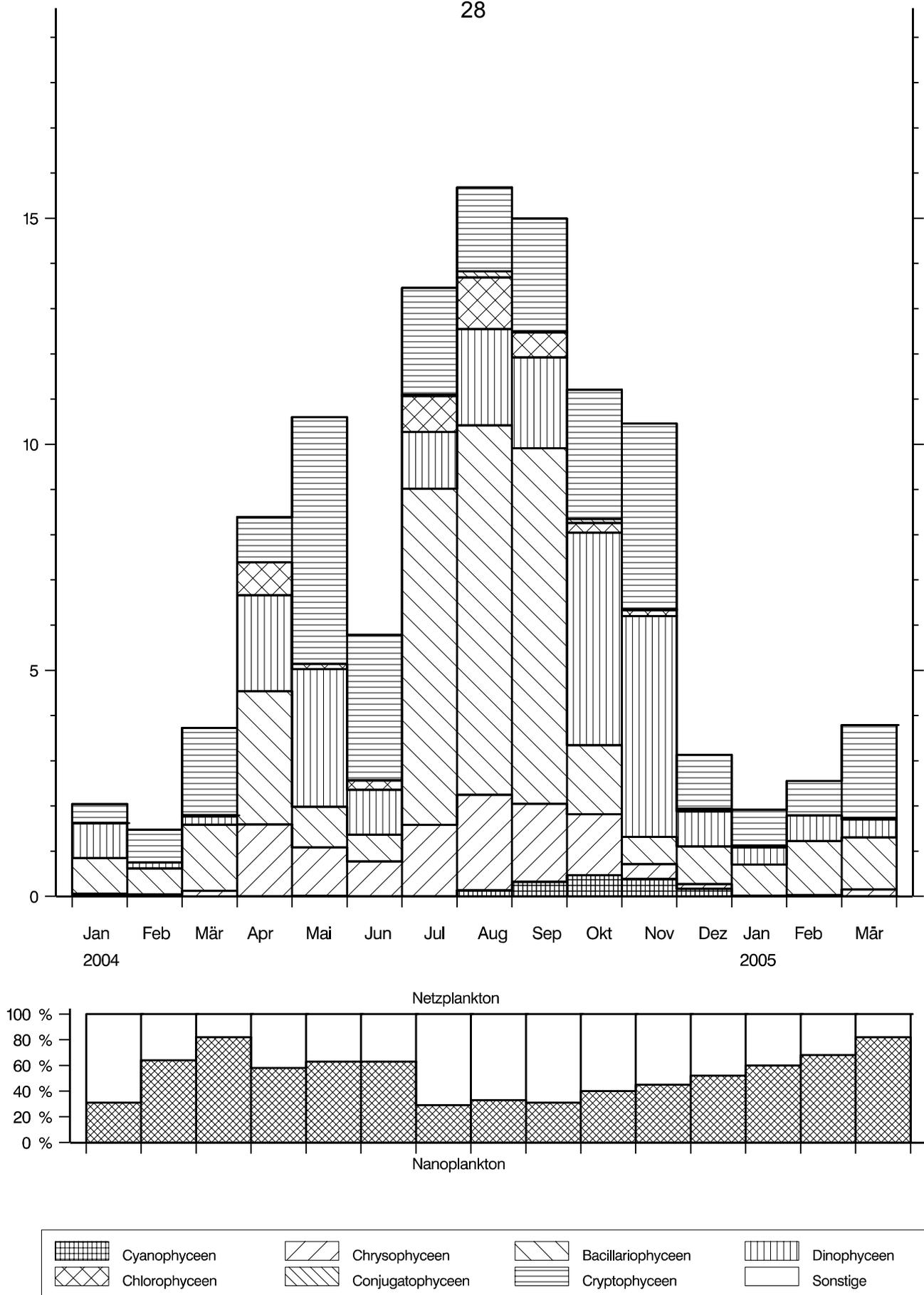


Abb. 26: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
 Entwicklung des Phytoplanktons
 Biomasse der Hauptarten der systematischen Gruppen in g/m² (0–20 m Tiefe), Monatsmittelwerte

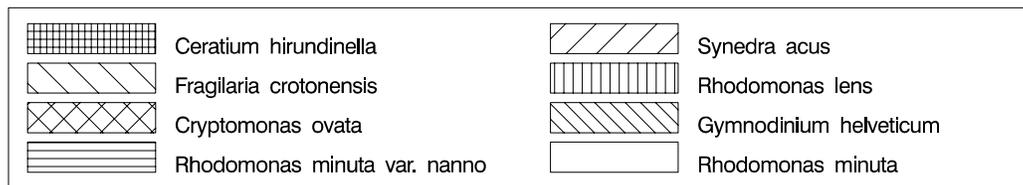
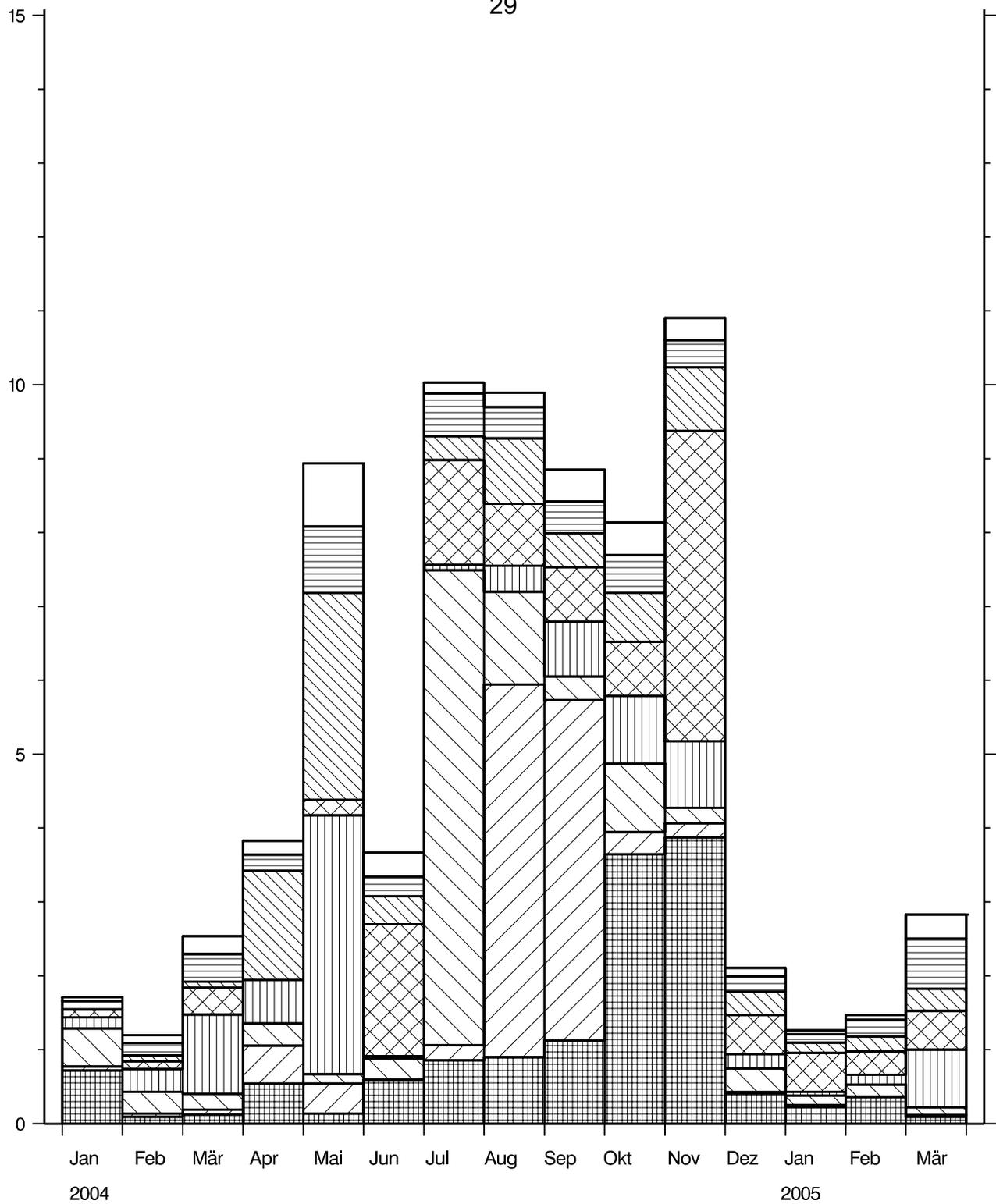


Abb. 27: Bodensee – Obersee, Fischbach–Uttwil:

Entwicklung des Phytoplanktons

Biomasse der Hauptarten in g/m^2 (0–20 m Tiefe), Monatsmittelwerte

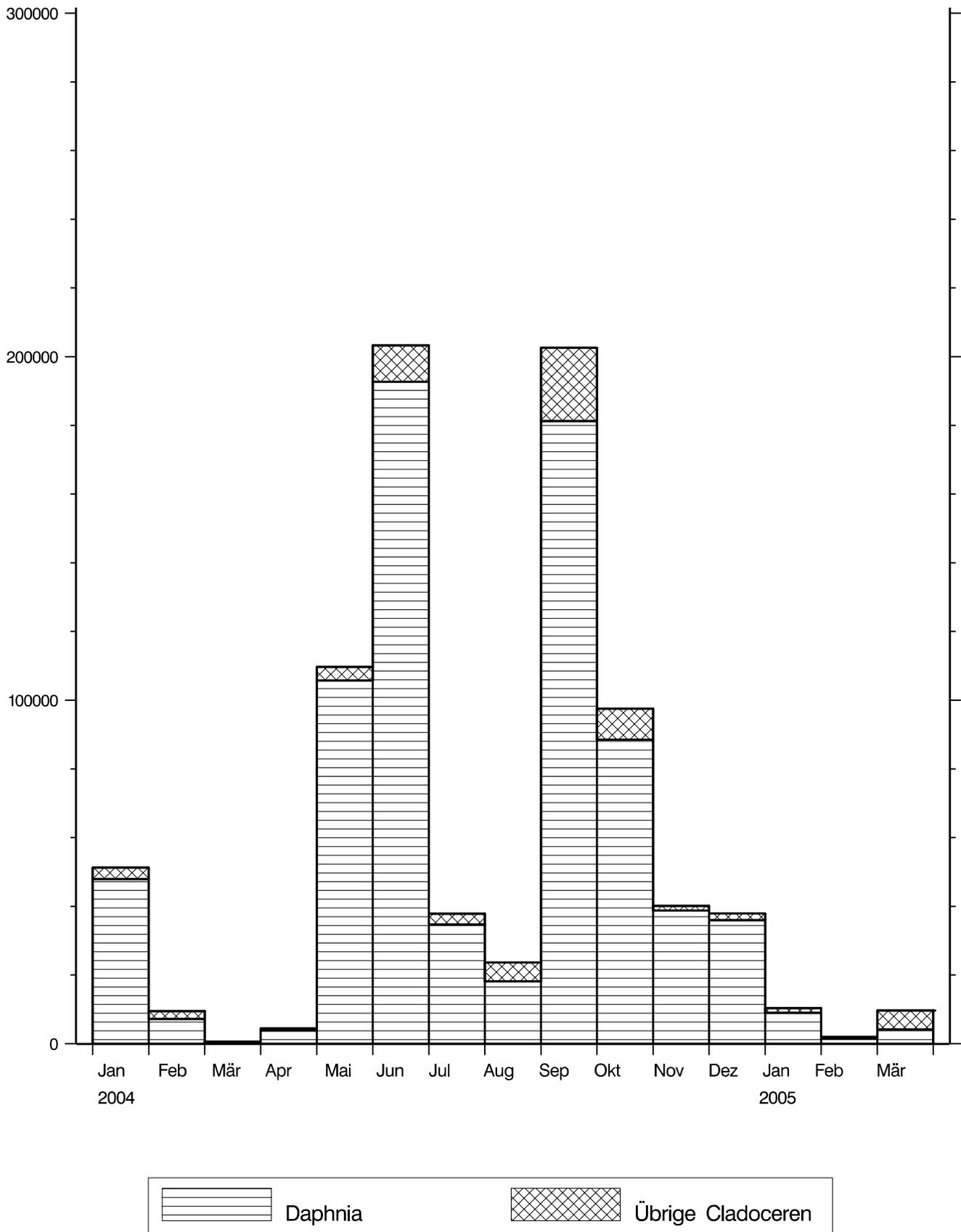
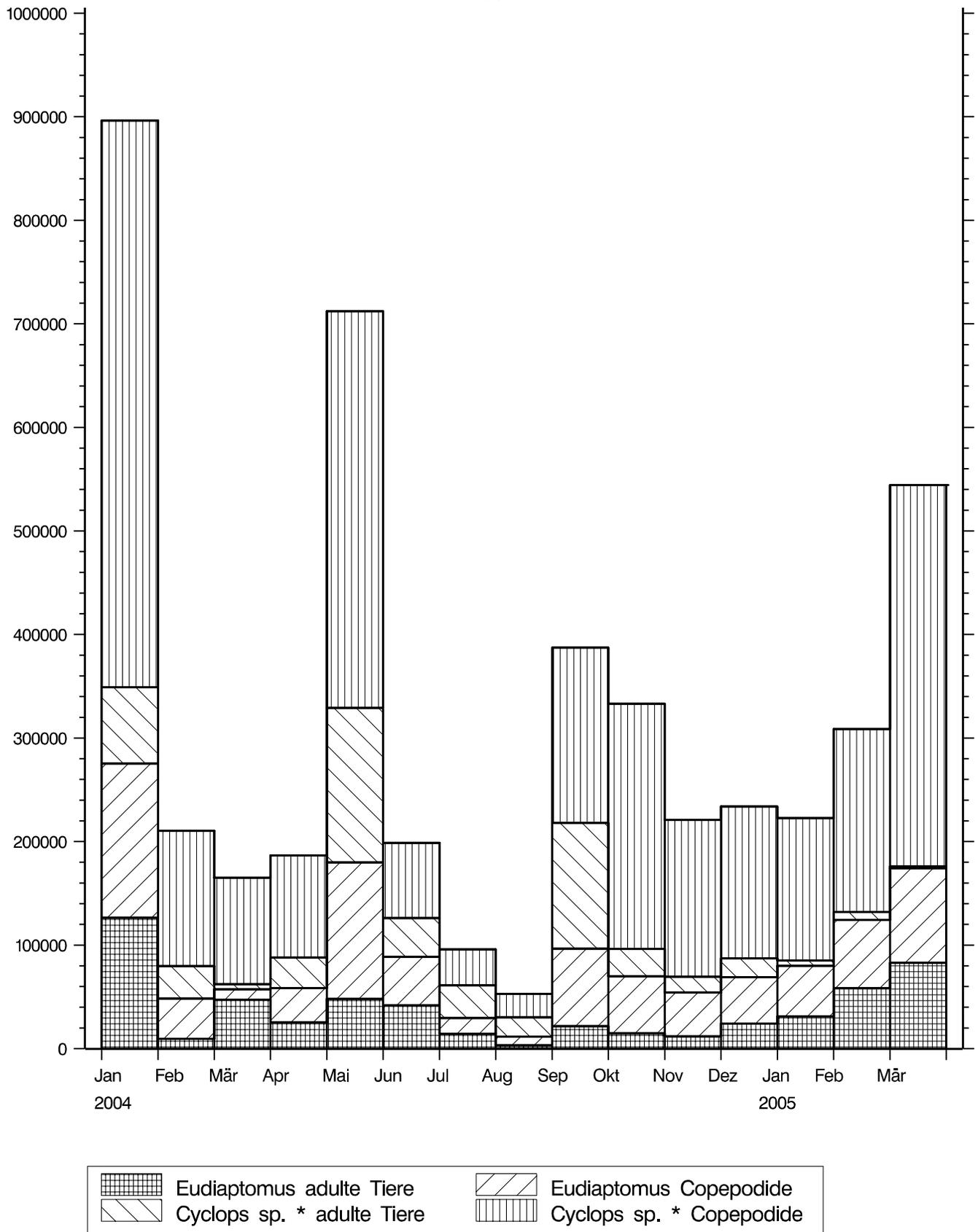
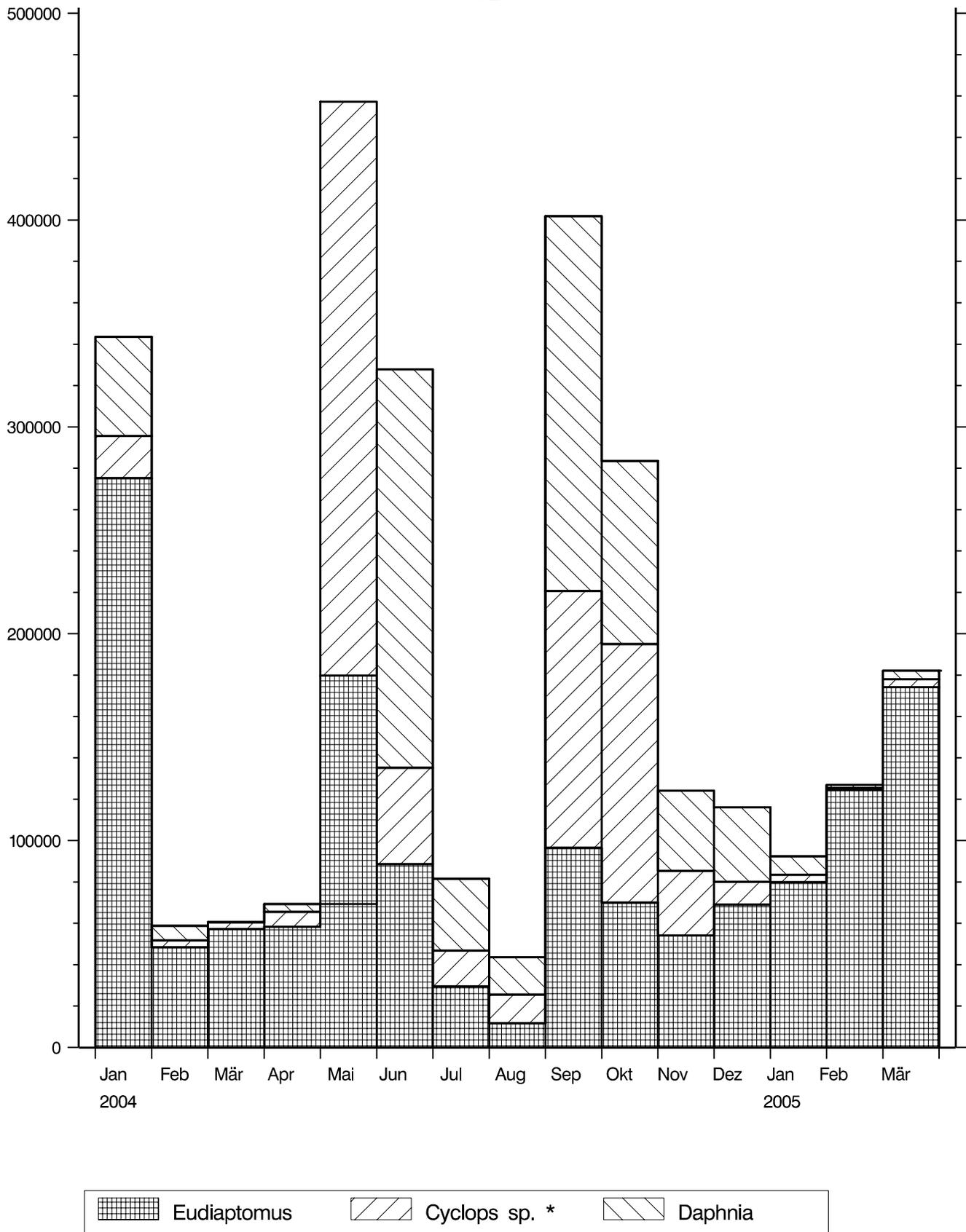


Abb. 28: Bodensee – Obersee, Fischbach–Uttwil:
Entwicklung der Cladoceren
Tiere/m², Monatsmittelwerte



* 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

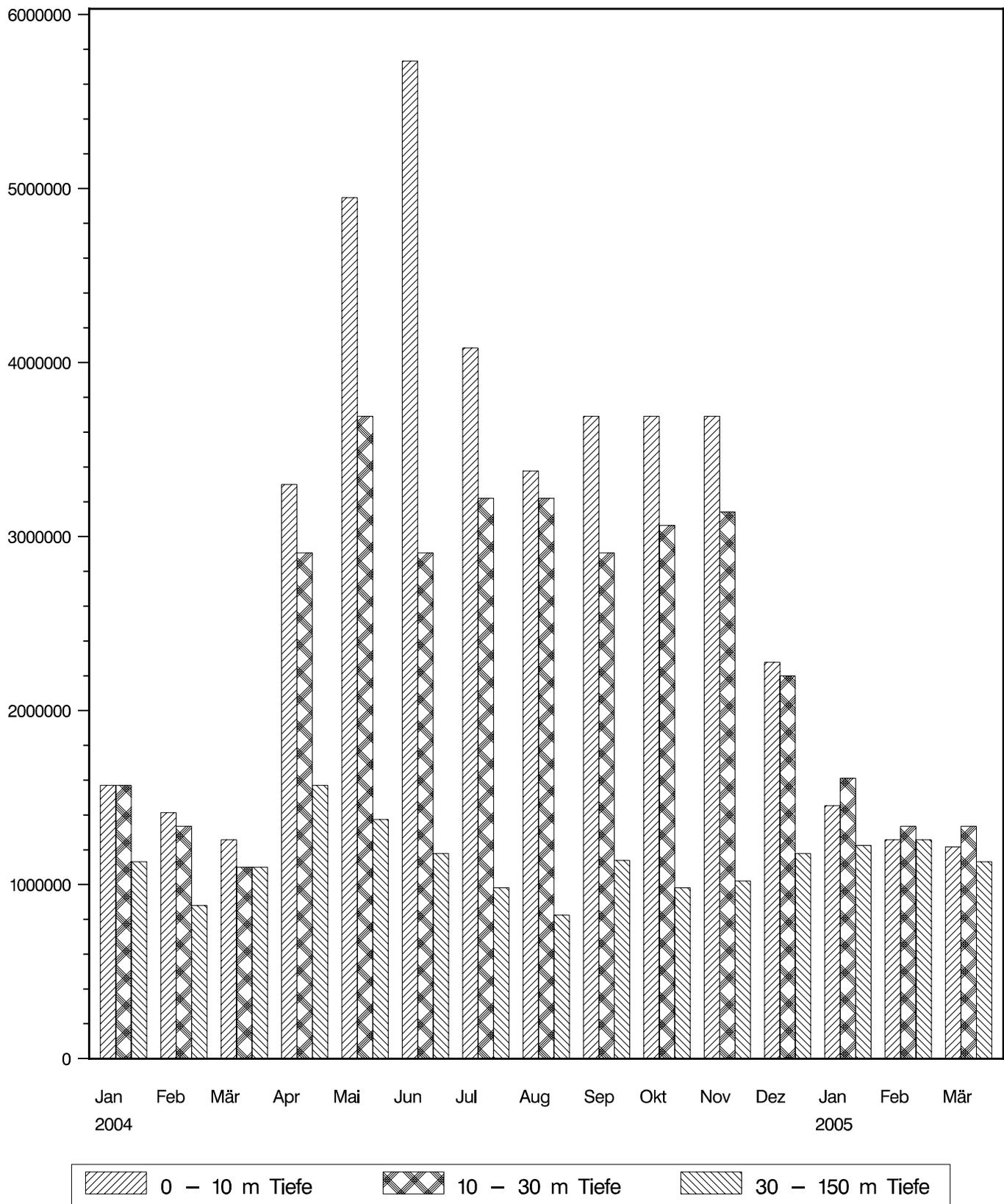


Abb. 31: Bodensee – Obersee, Fischbach – Uttwil:
 Entwicklung des Bakterienplanktons,
 Gesamtkeimzahlen (Bakterien/ml), Monatsmittelwerte

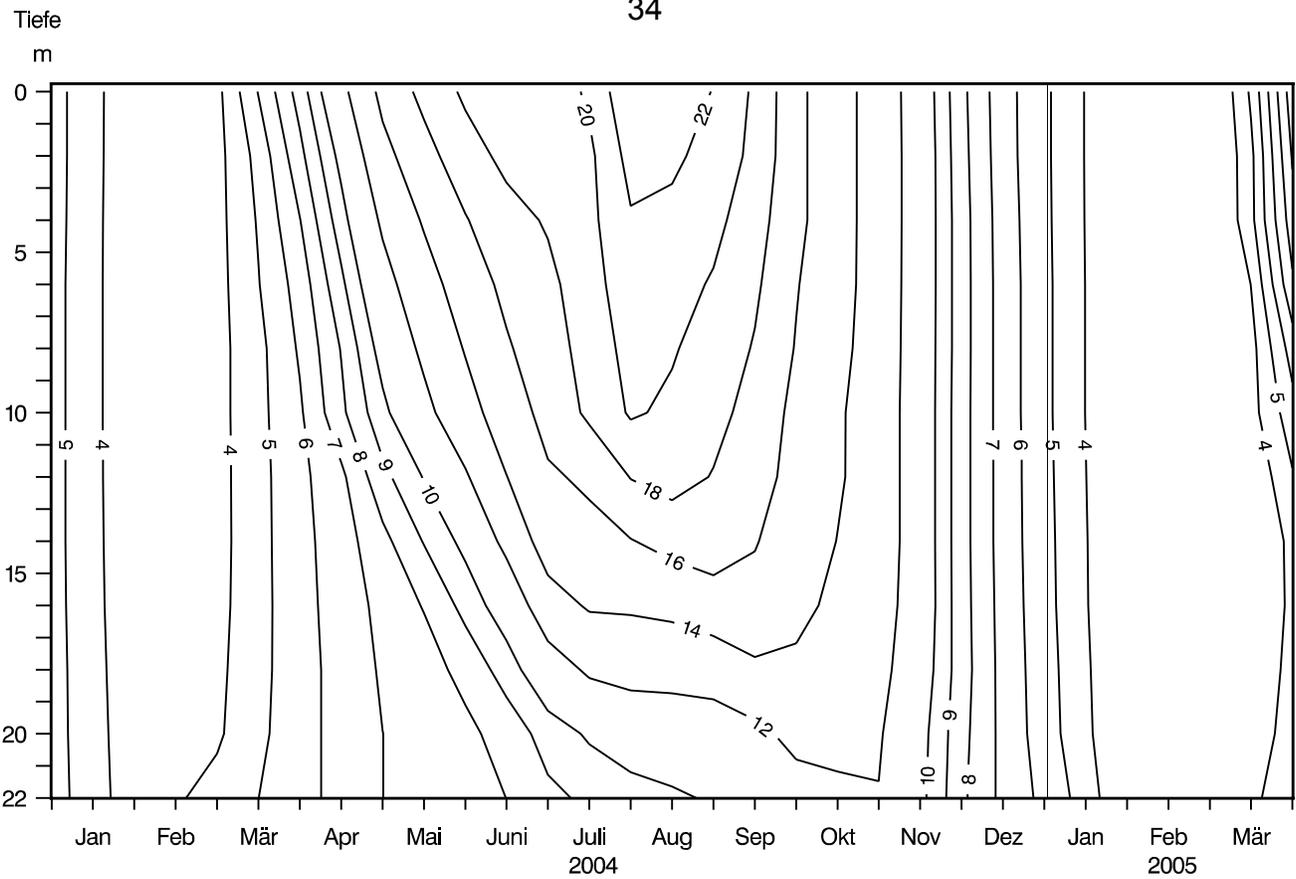


Abb. 32: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Temperatur °C

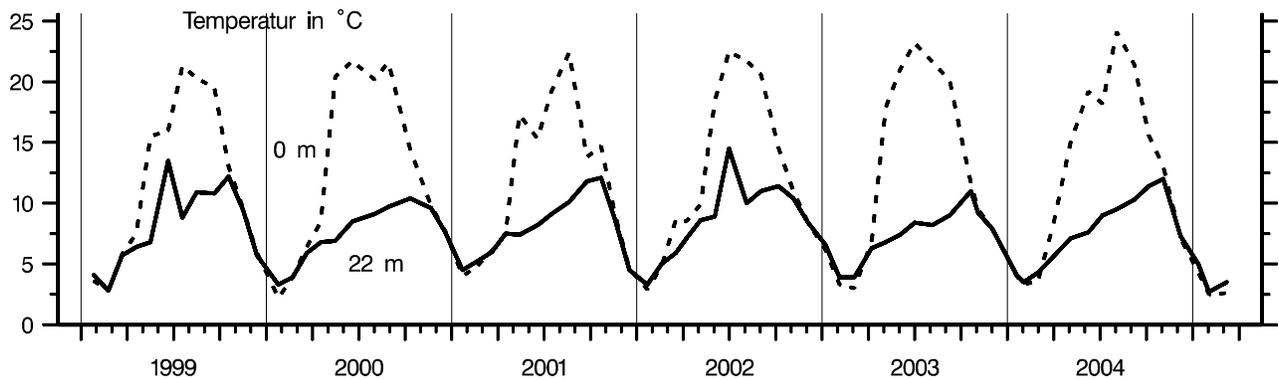
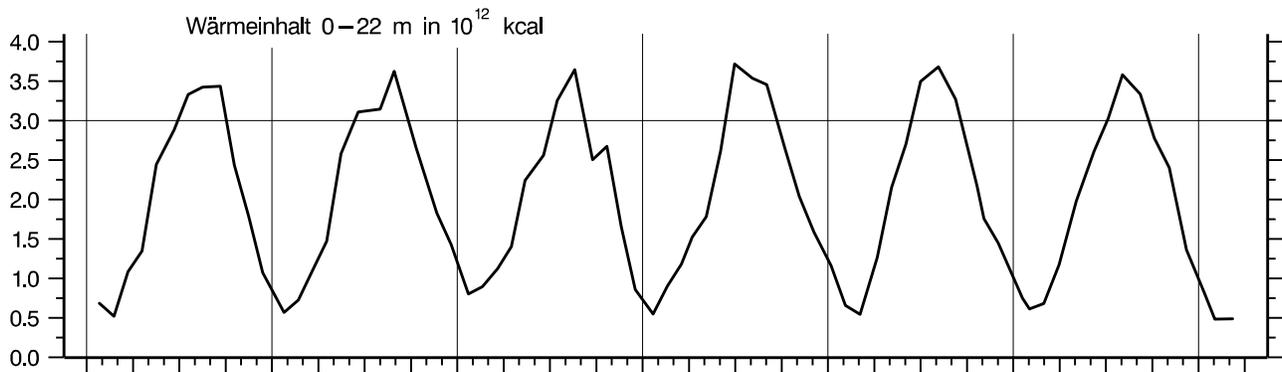


Abb. 33: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Thermik

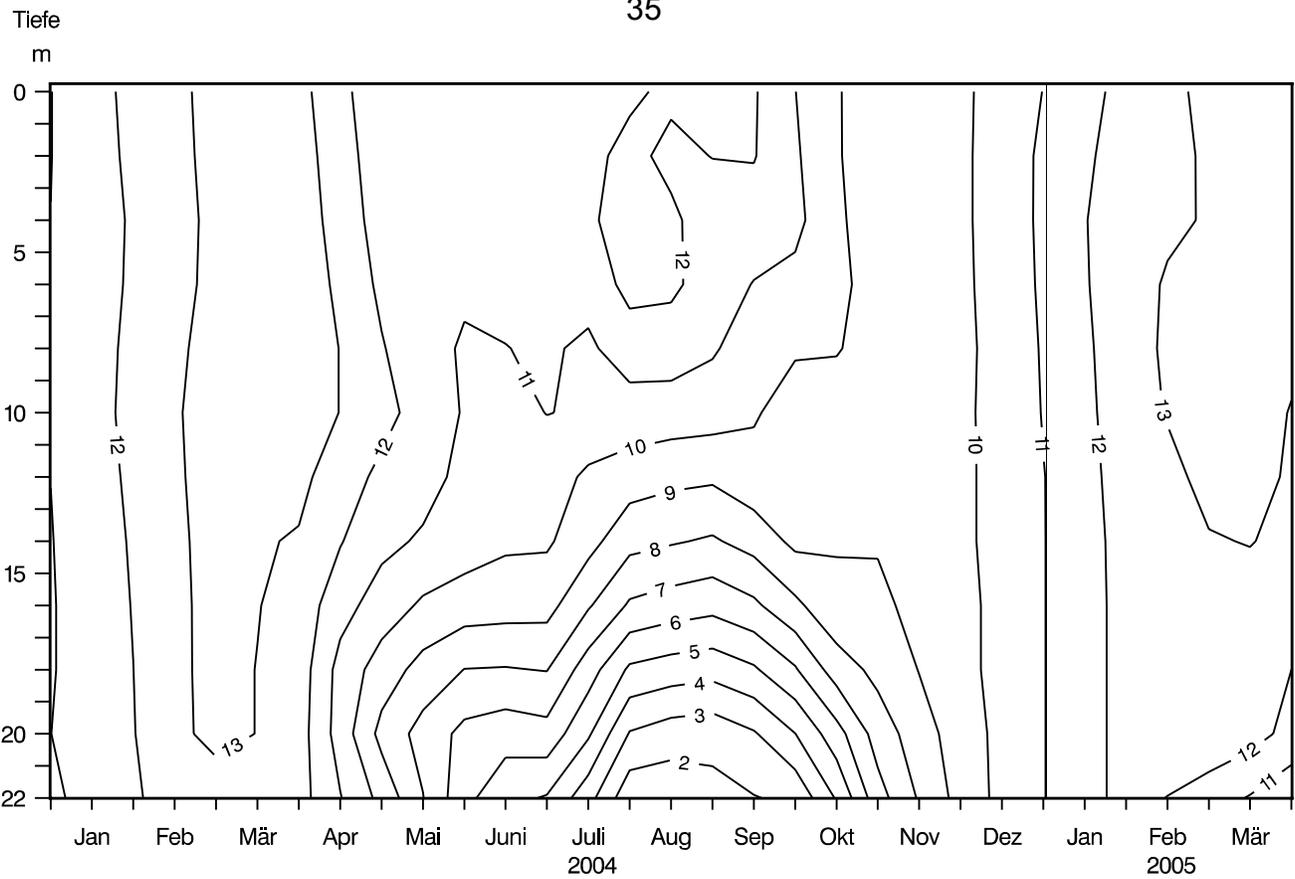


Abb. 34: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Sauerstoff (mg/l)

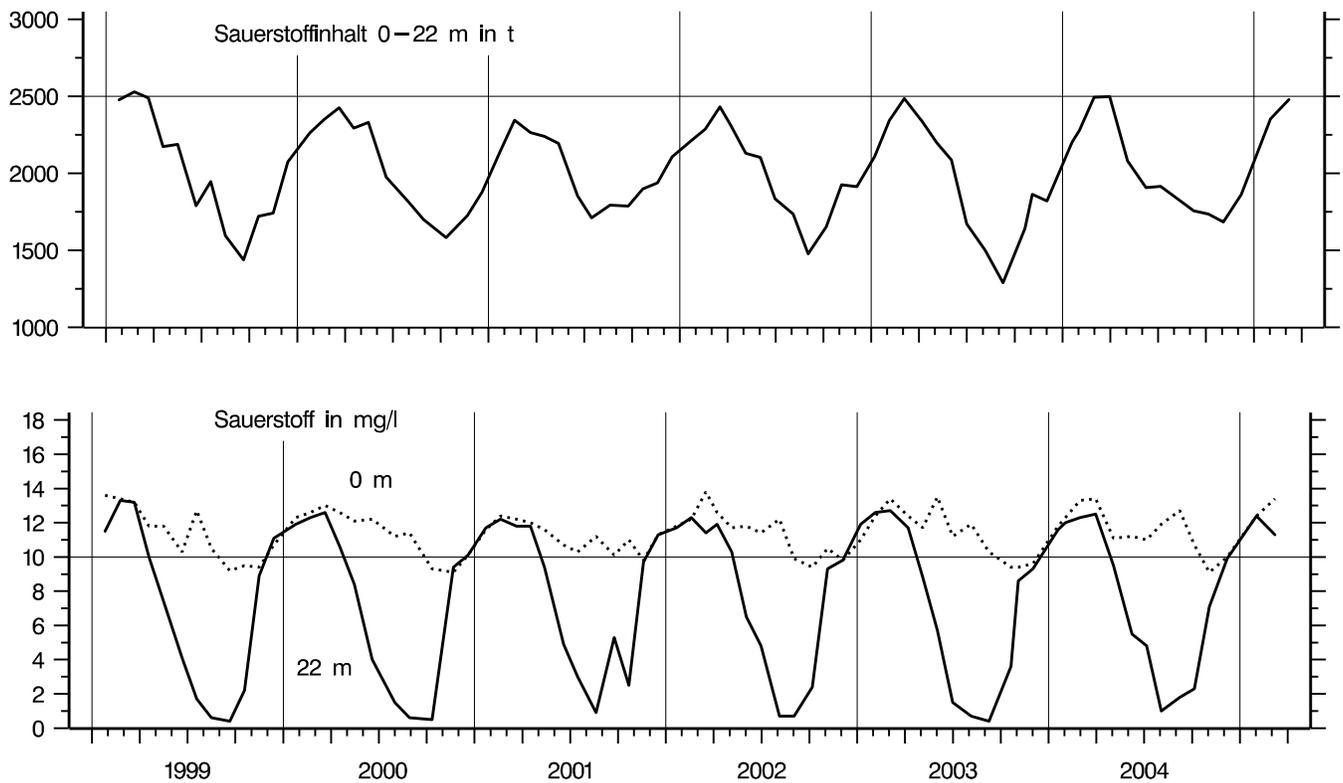


Abb. 35: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Sauerstoffinhalt 0–22 m und Sauerstoffkonzentration in 0 und 22 m Tiefe

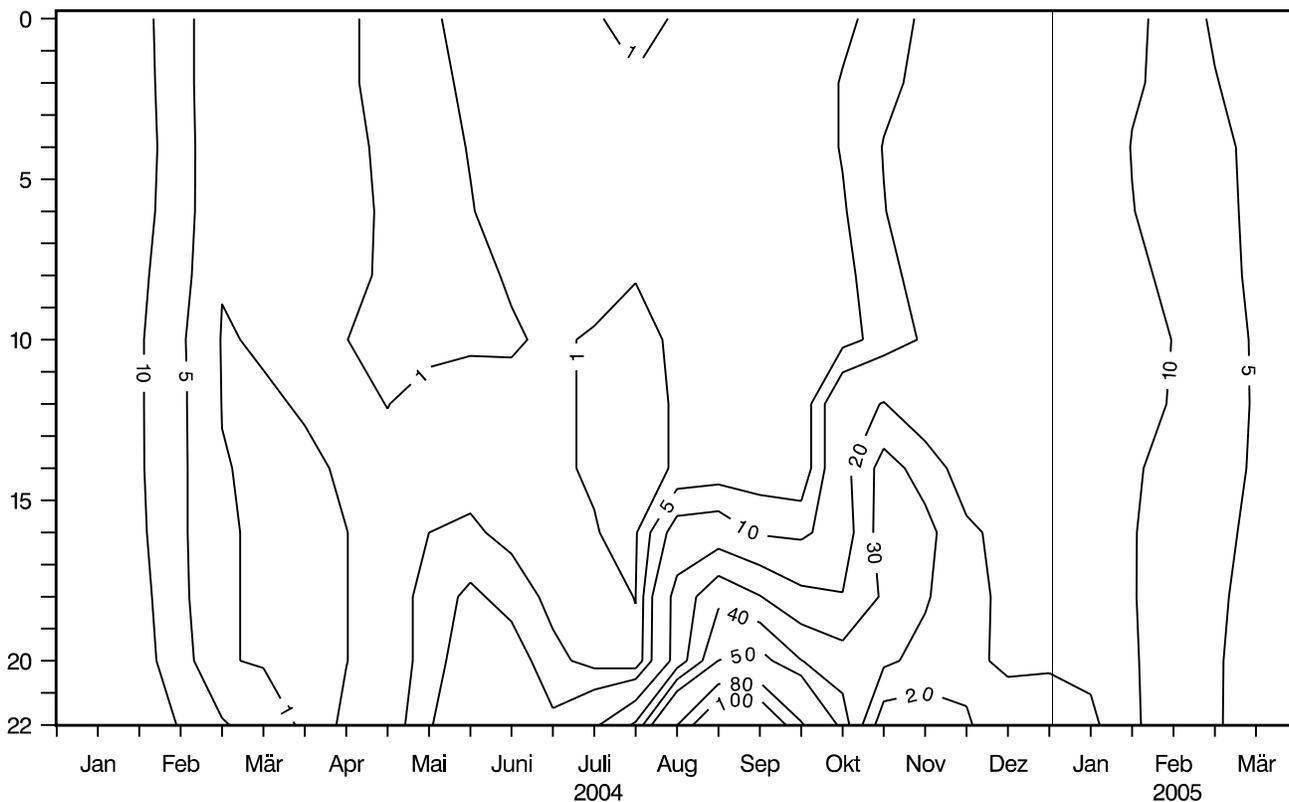
Tiefe
m

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

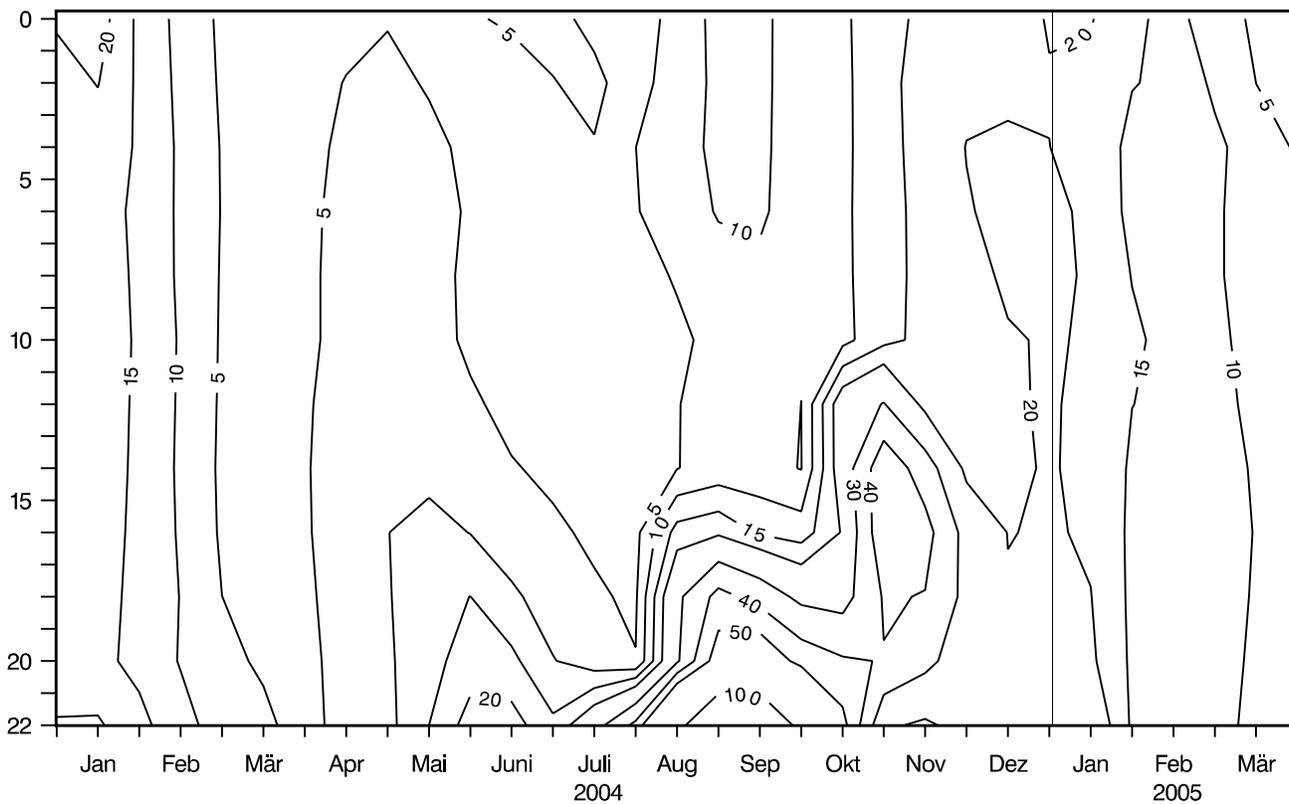
Tiefe
m

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

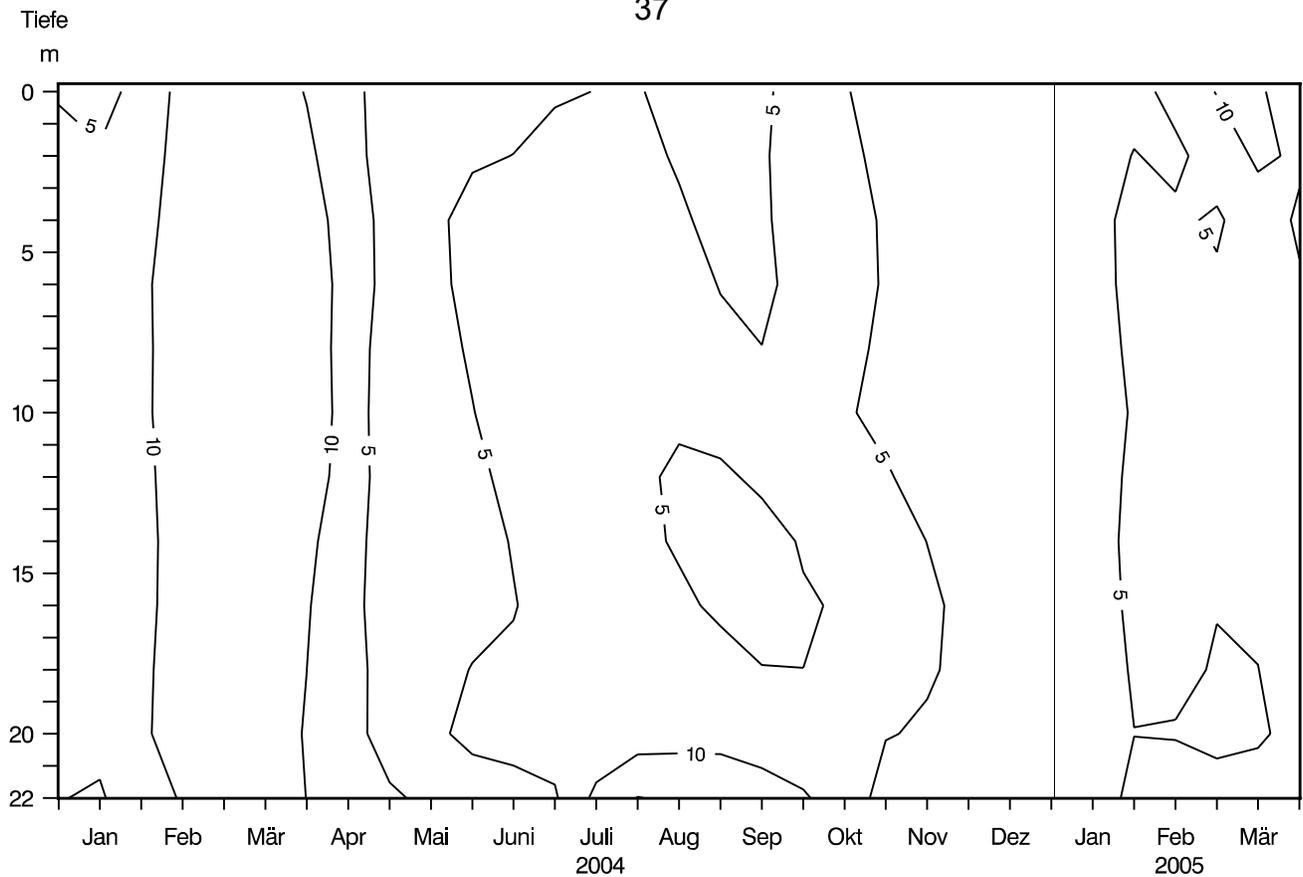


Abb. 38: Bodensee – Untersee, Zellersee:
partikulärer Phosphor (mg/m^3)

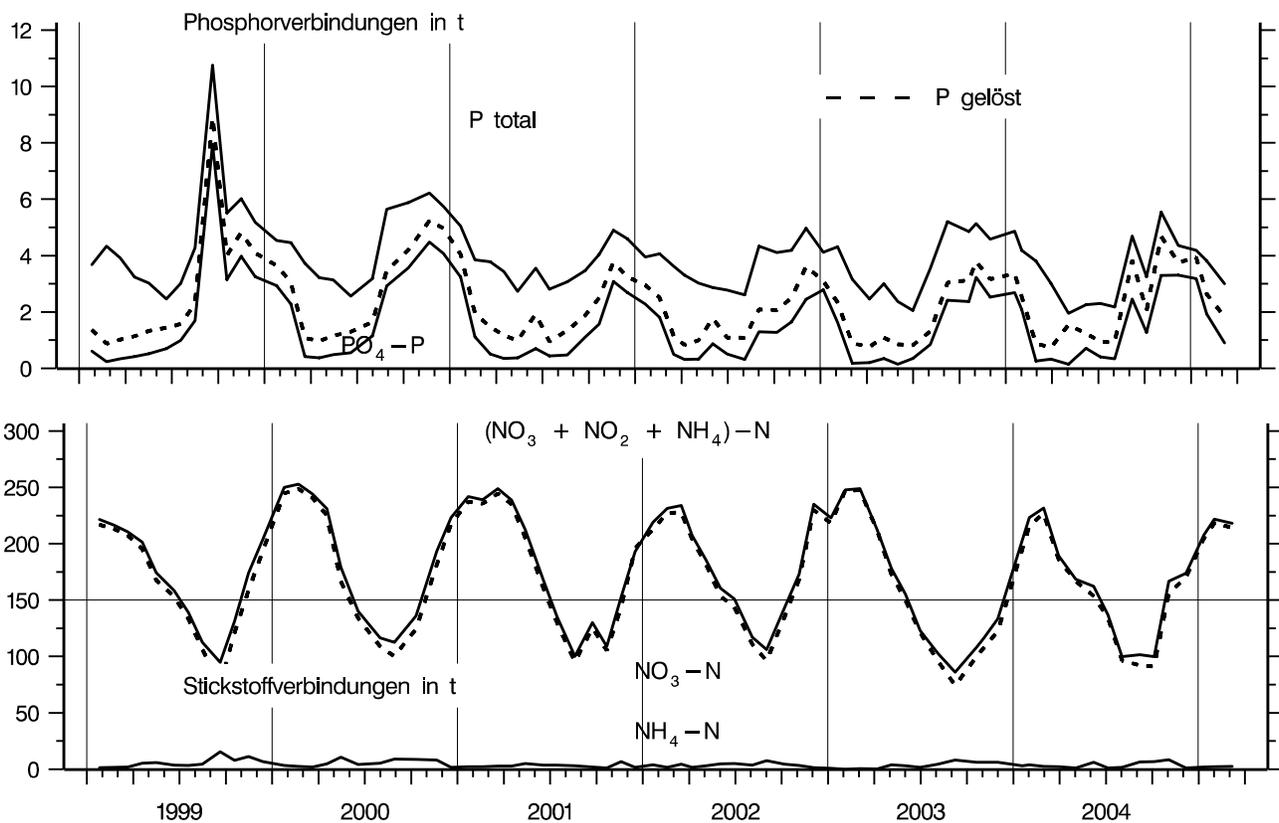


Abb. 39: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Nährstoffinhalt 0–22 m Tiefe

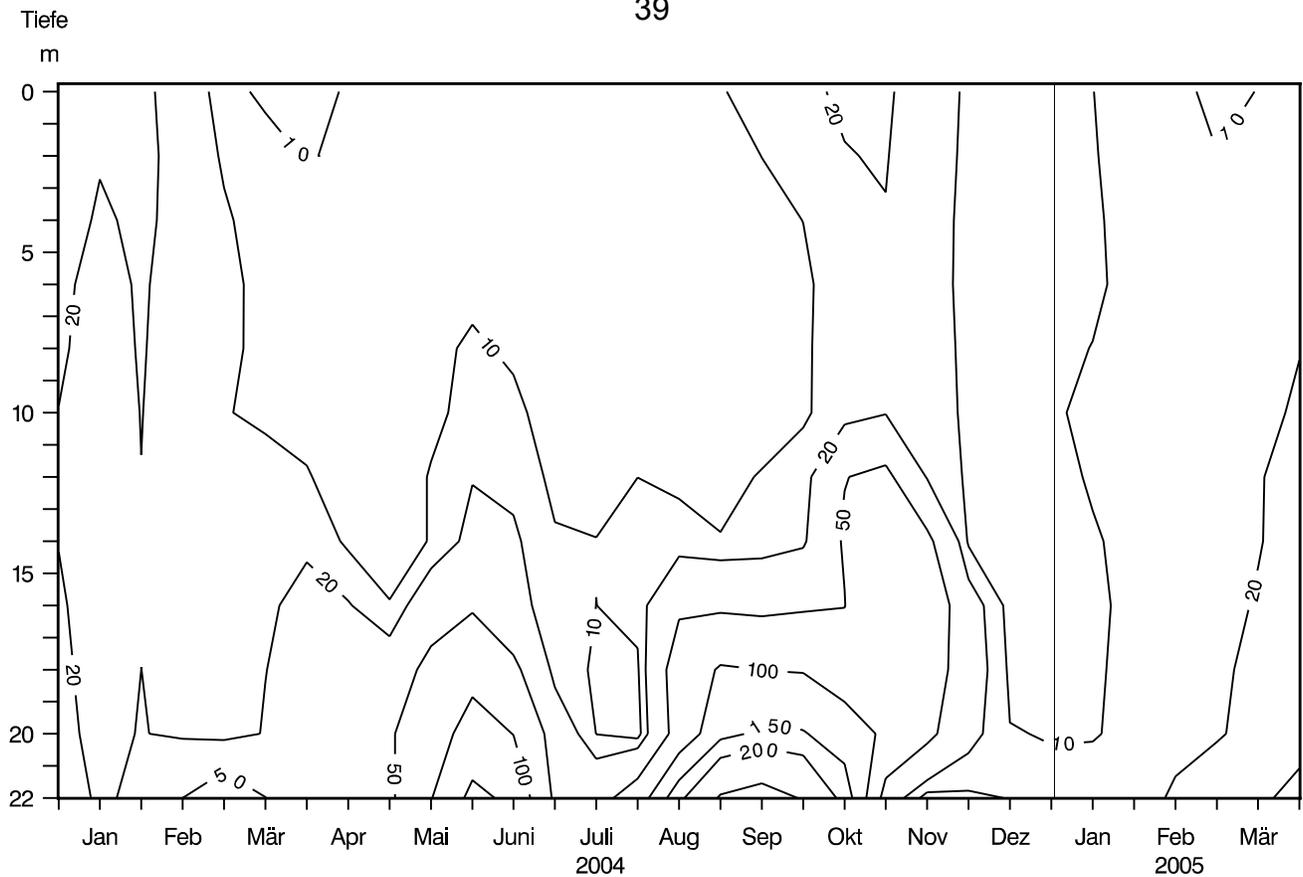


Abb. 42: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Ammonium – Stickstoff (mg/m^3)

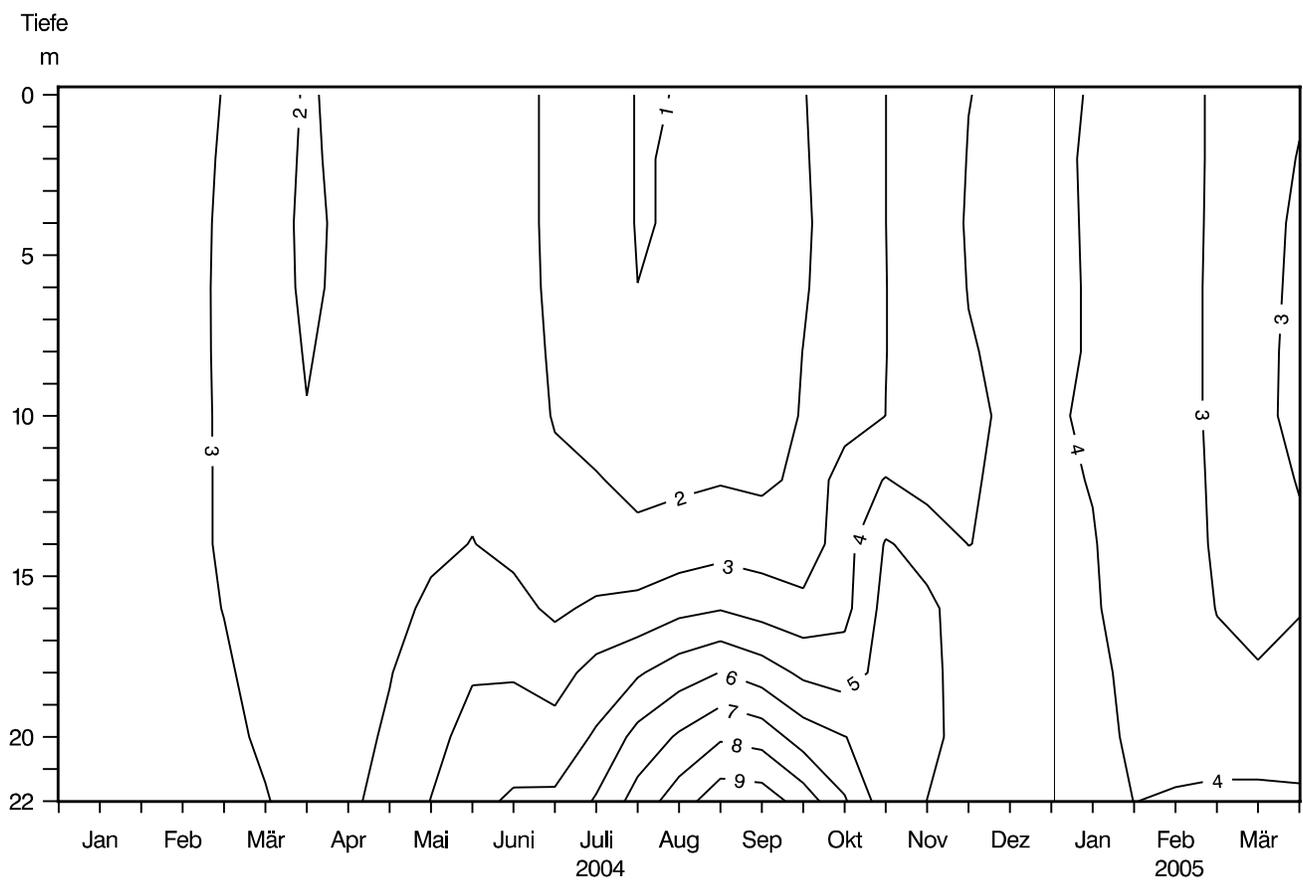


Abb. 43: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Silikat (mg/l)

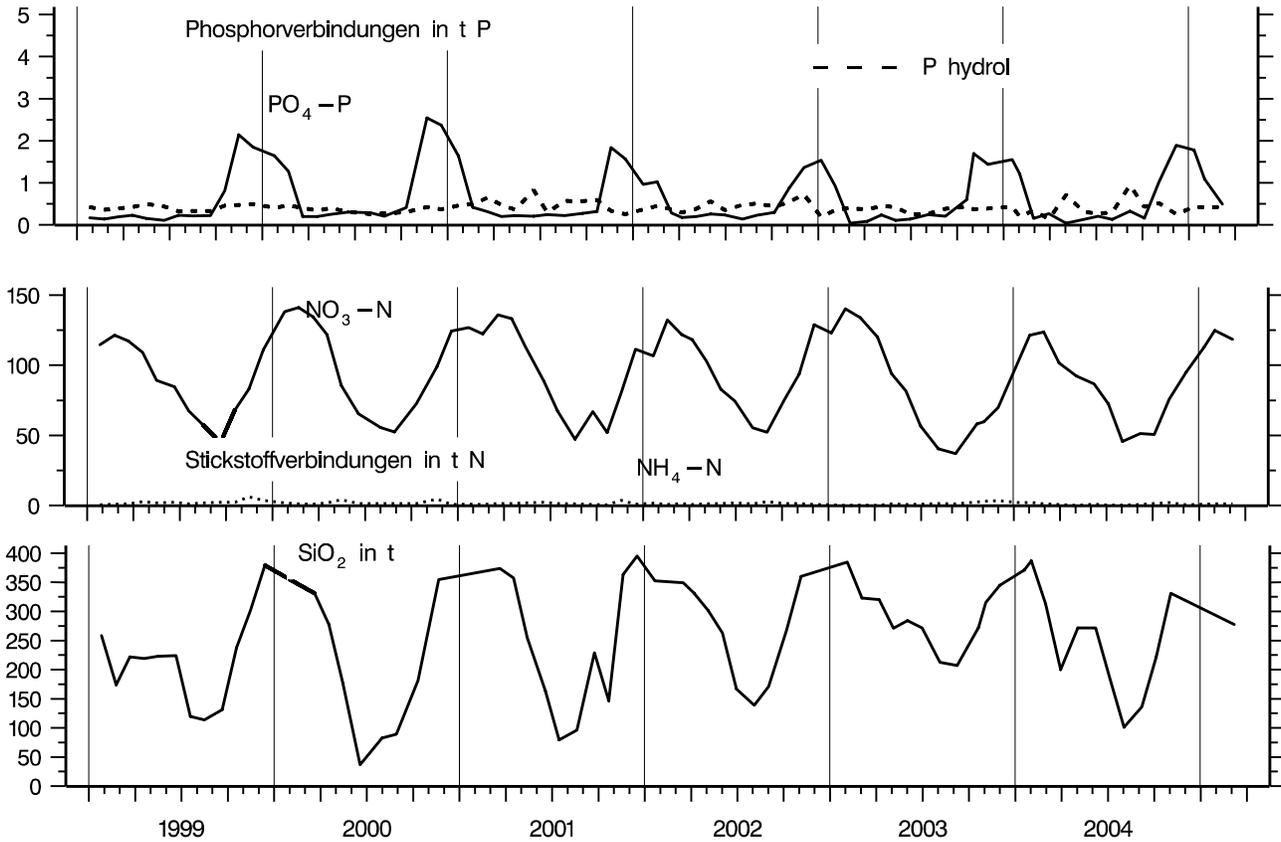


Abb. 44: Bodensee – Untersee, Zellersee:

Nährstoffinhalt im Epilimnion 0–10 m Tiefe

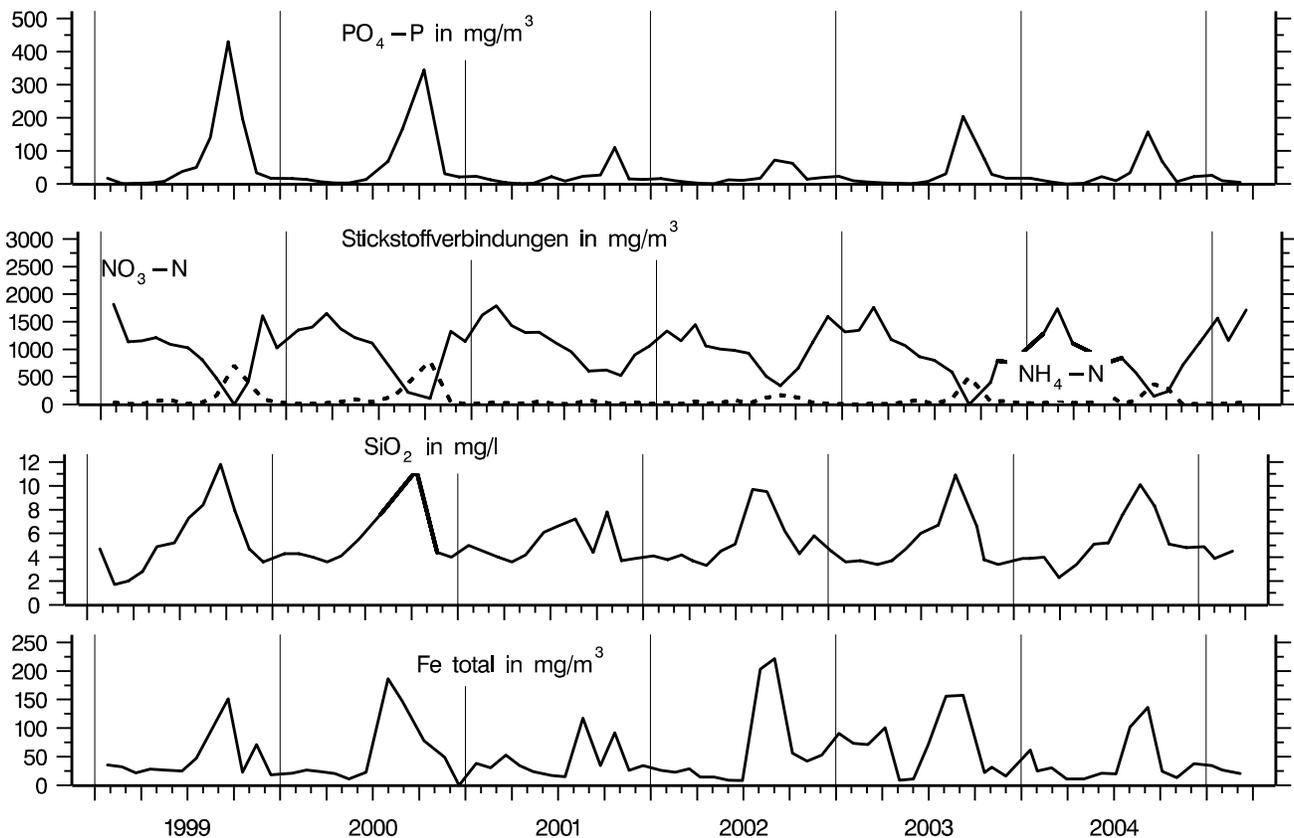


Abb. 45: Bodensee – Untersee, Zellersee:

Nährstoffkonzentration in 22 m Tiefe

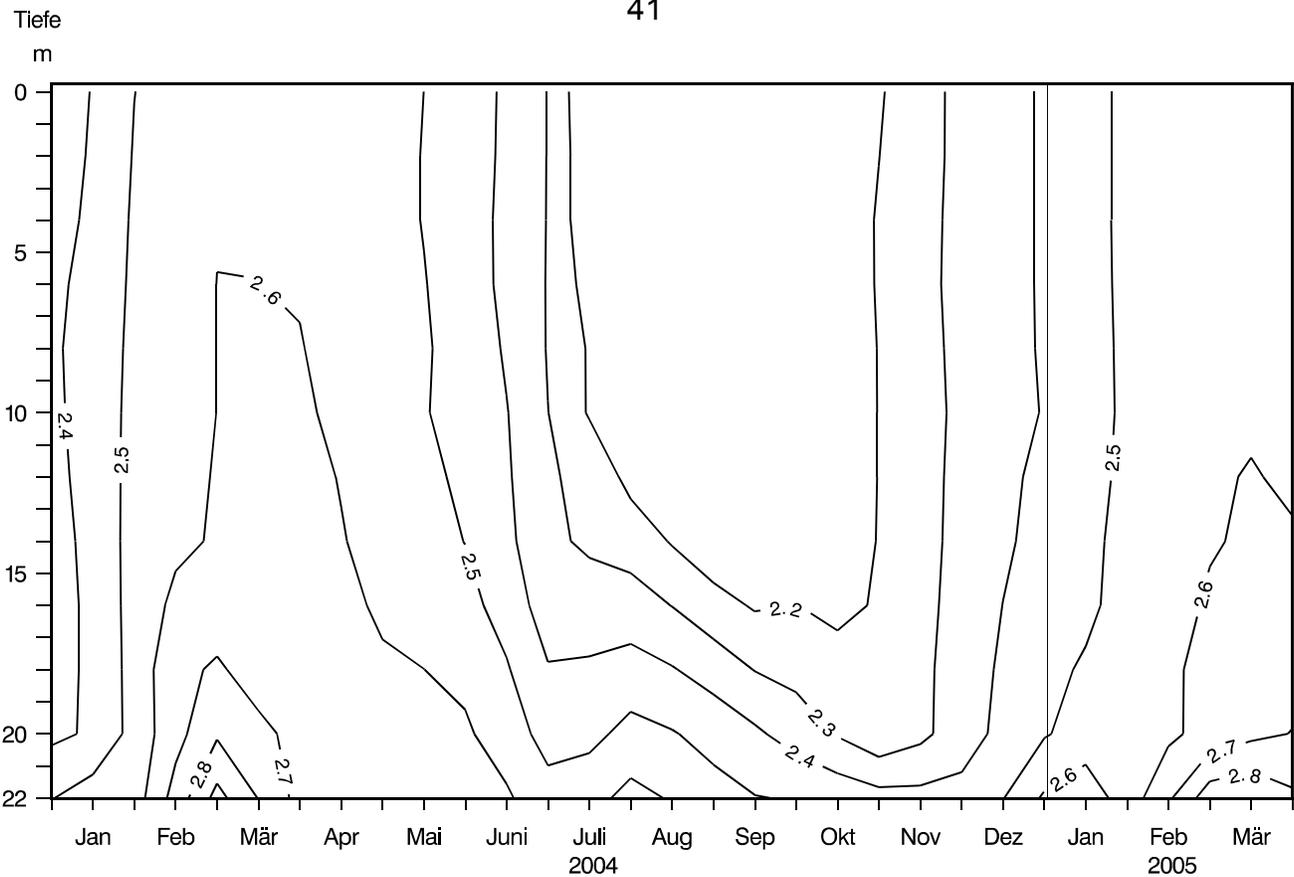


Abb. 46: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Anorganischer Kohlenstoff (mmol/l)

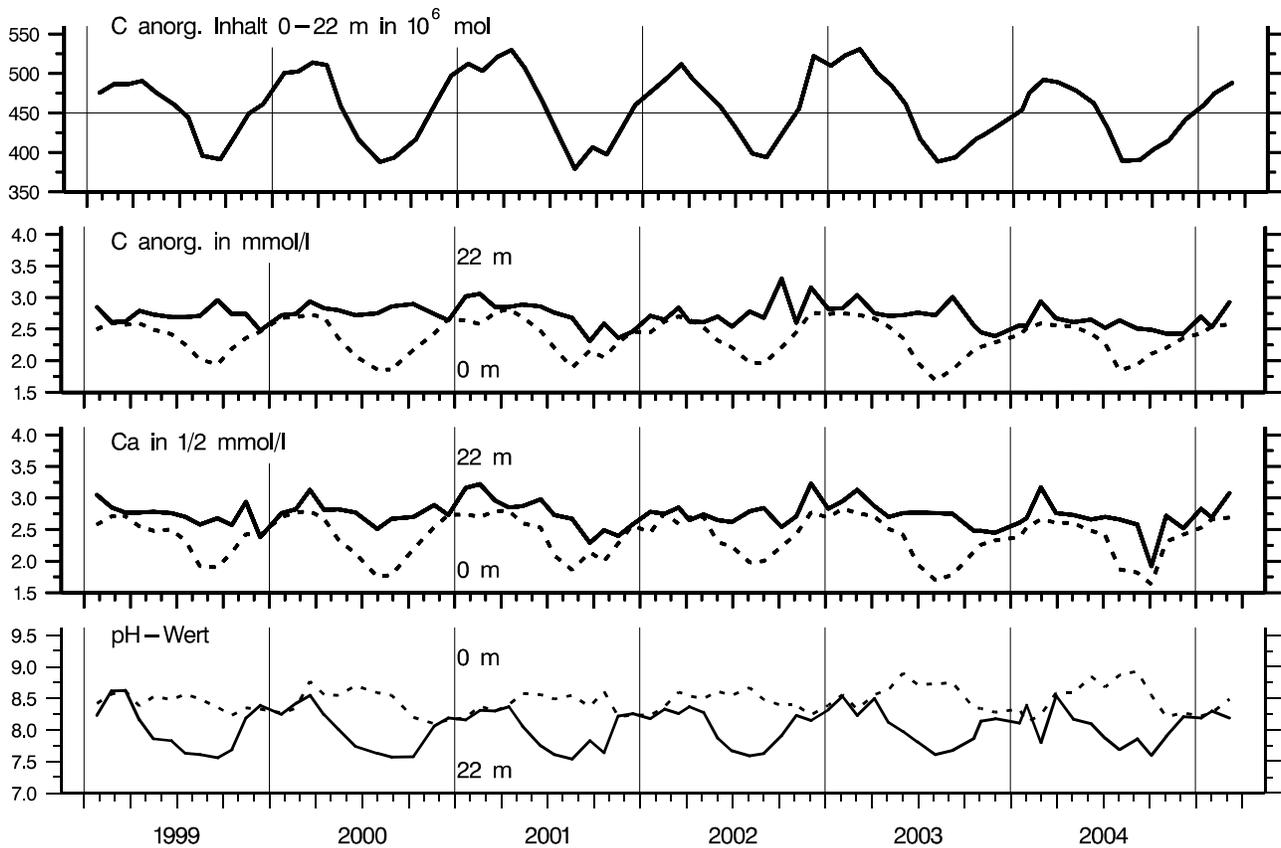


Abb. 47: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Anorganischer Kohlenstoff, Inhalt 0–22 m Tiefe
Konzentration von anorg. Kohlenstoff, Calcium; pH-Wert

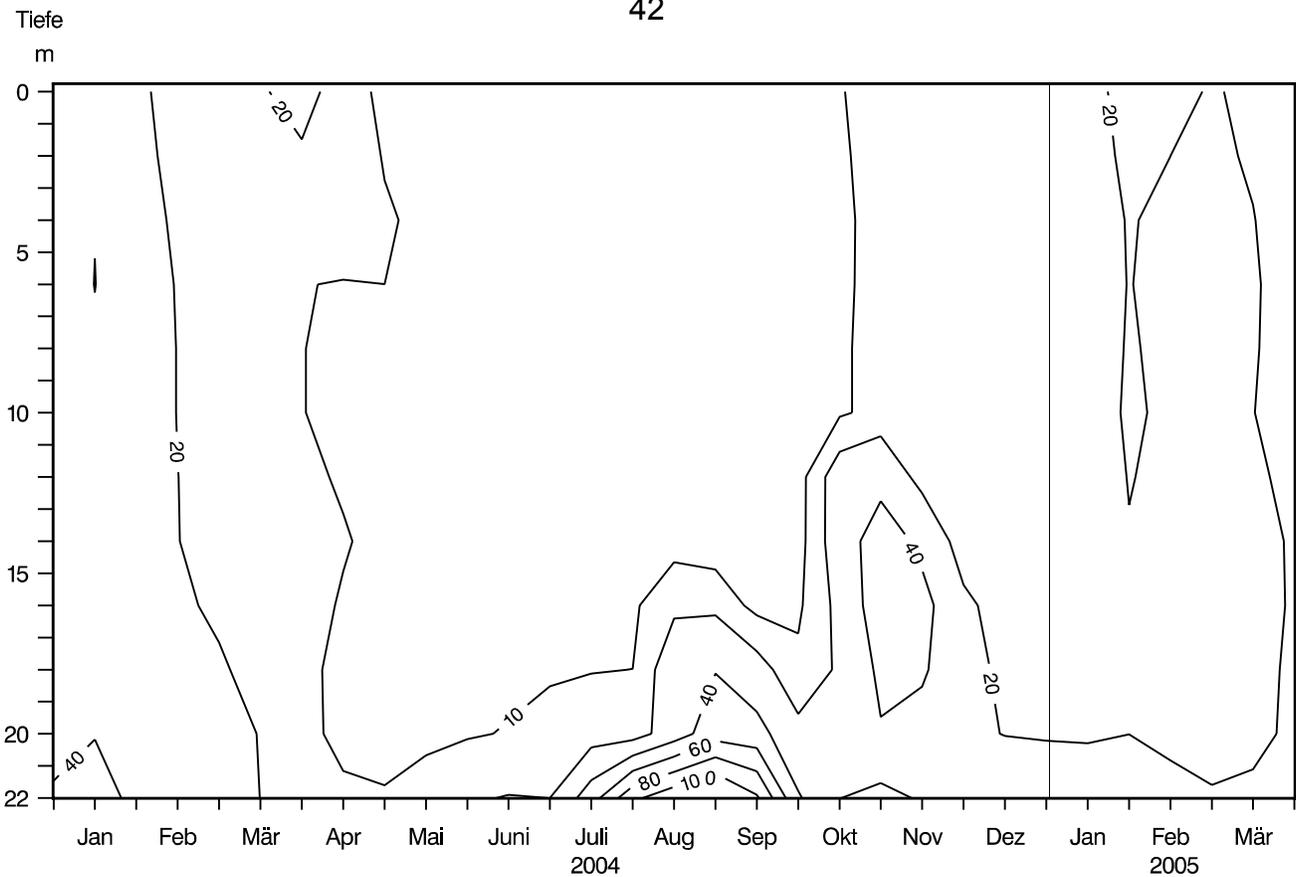


Abb. 48: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Konzentration von Eisen total (mg/m^3)

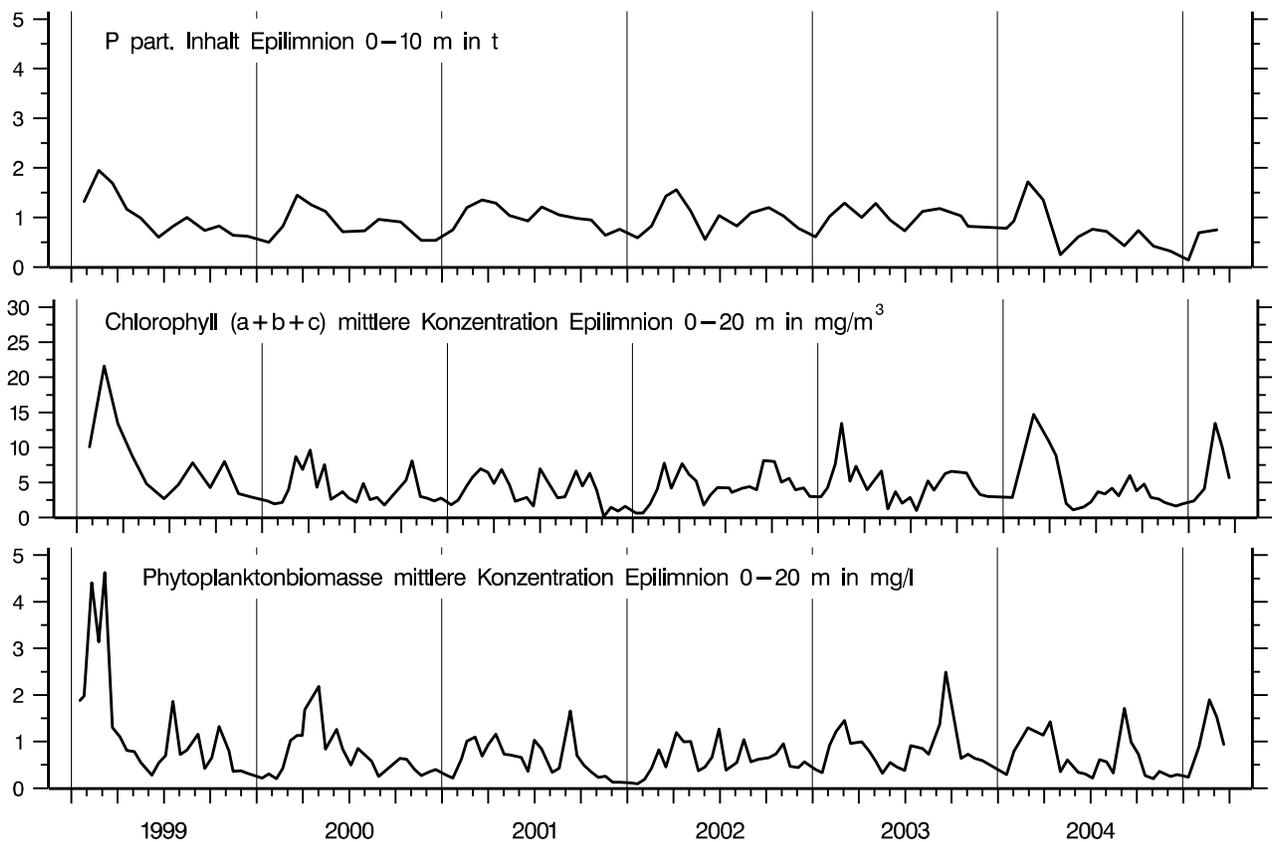


Abb. 49: Bodensee – Untersee, Zellersee:
Chemische Biomasseindikatoren und Phytoplanktonbiomasse

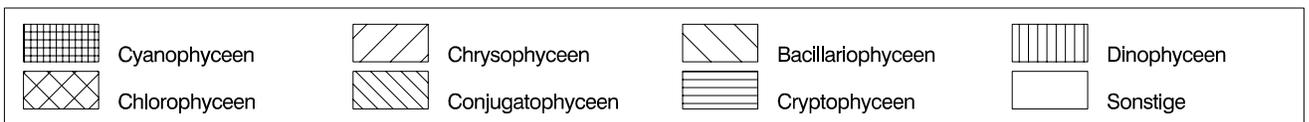
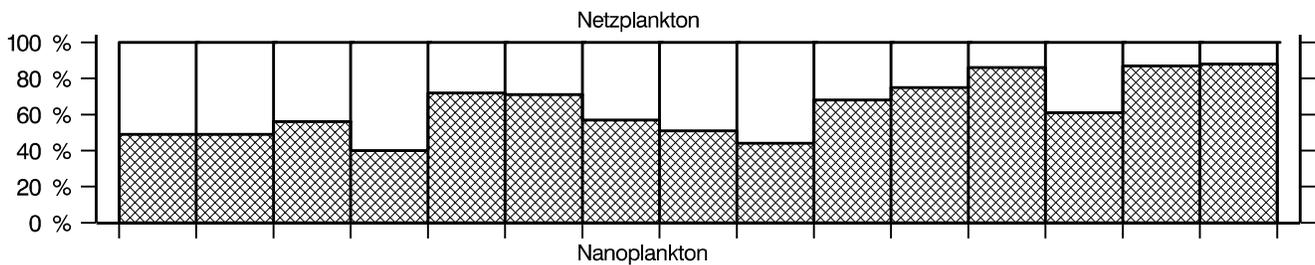
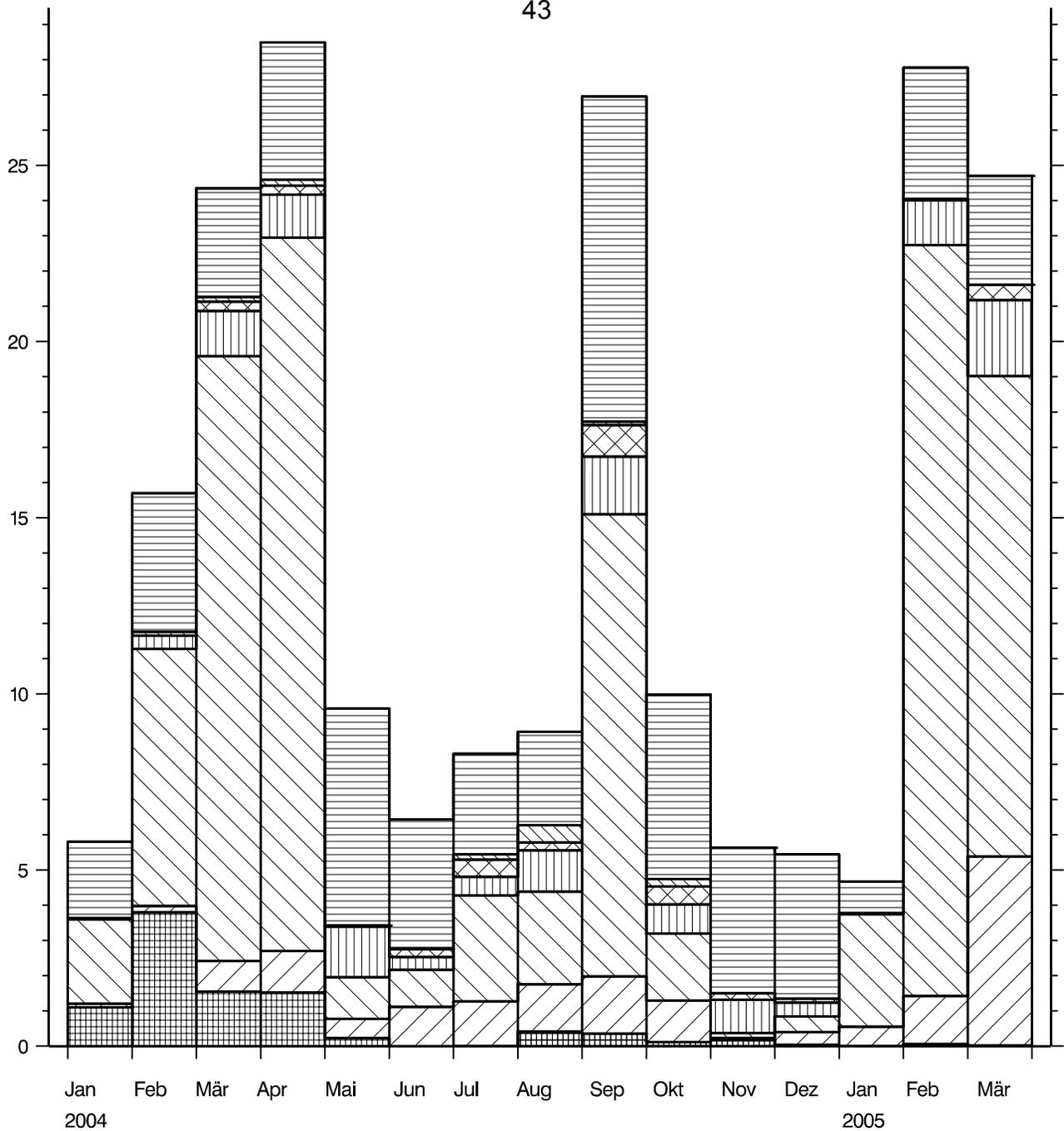


Abb. 50: Bodensee – Untersee, Zellersee:

Entwicklung des Phytoplanktons

Biomasse der systematischen Gruppen in g/m^2 (0–20 m Tiefe), Monatsmittelwerte

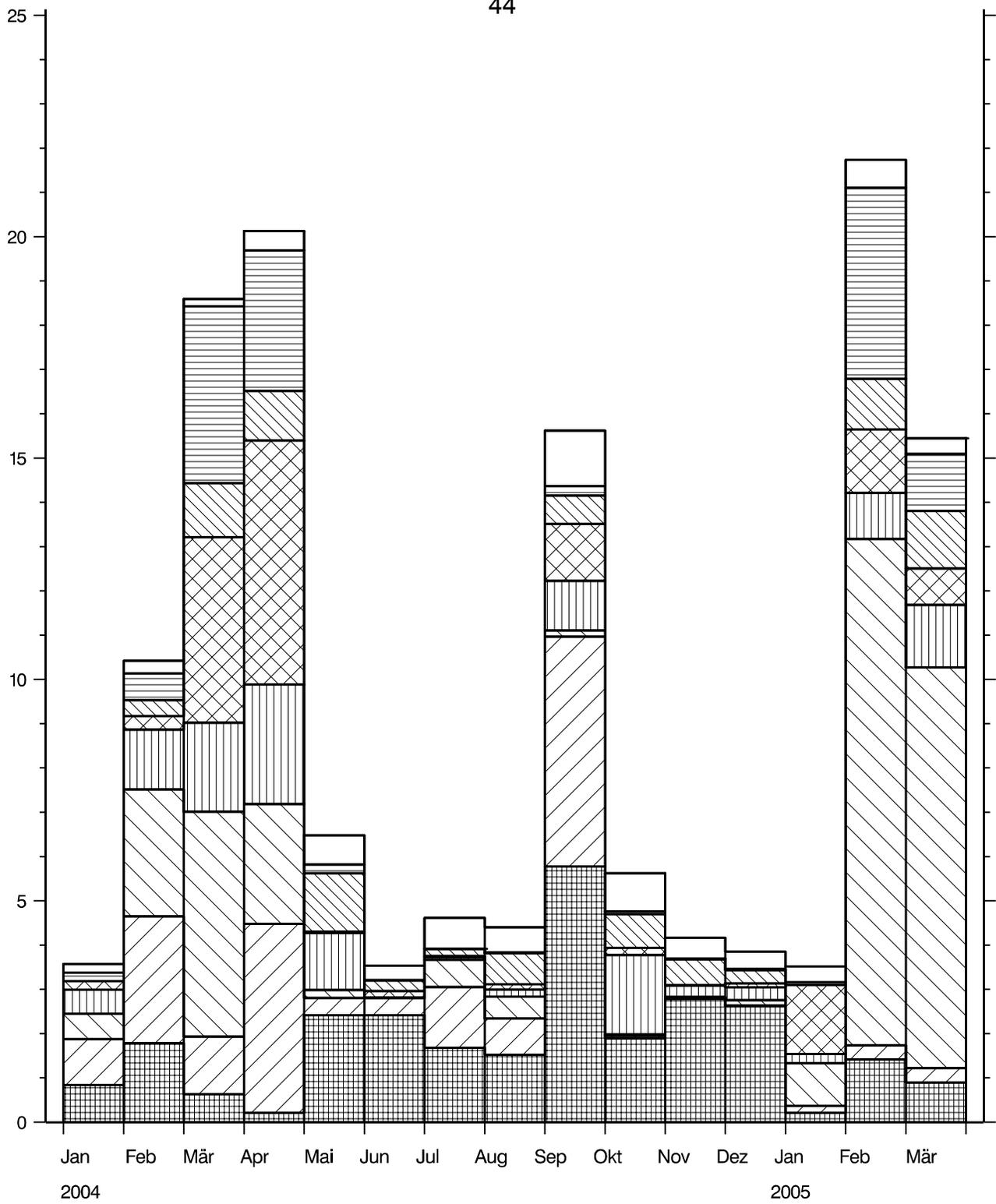


Abb. 51: Bodensee – Untersee, Zellersee:

Entwicklung des Phytoplanktons

Biomasse der Hauptarten in g/m^2 (0–20 m Tiefe), Monatsmittelwerte

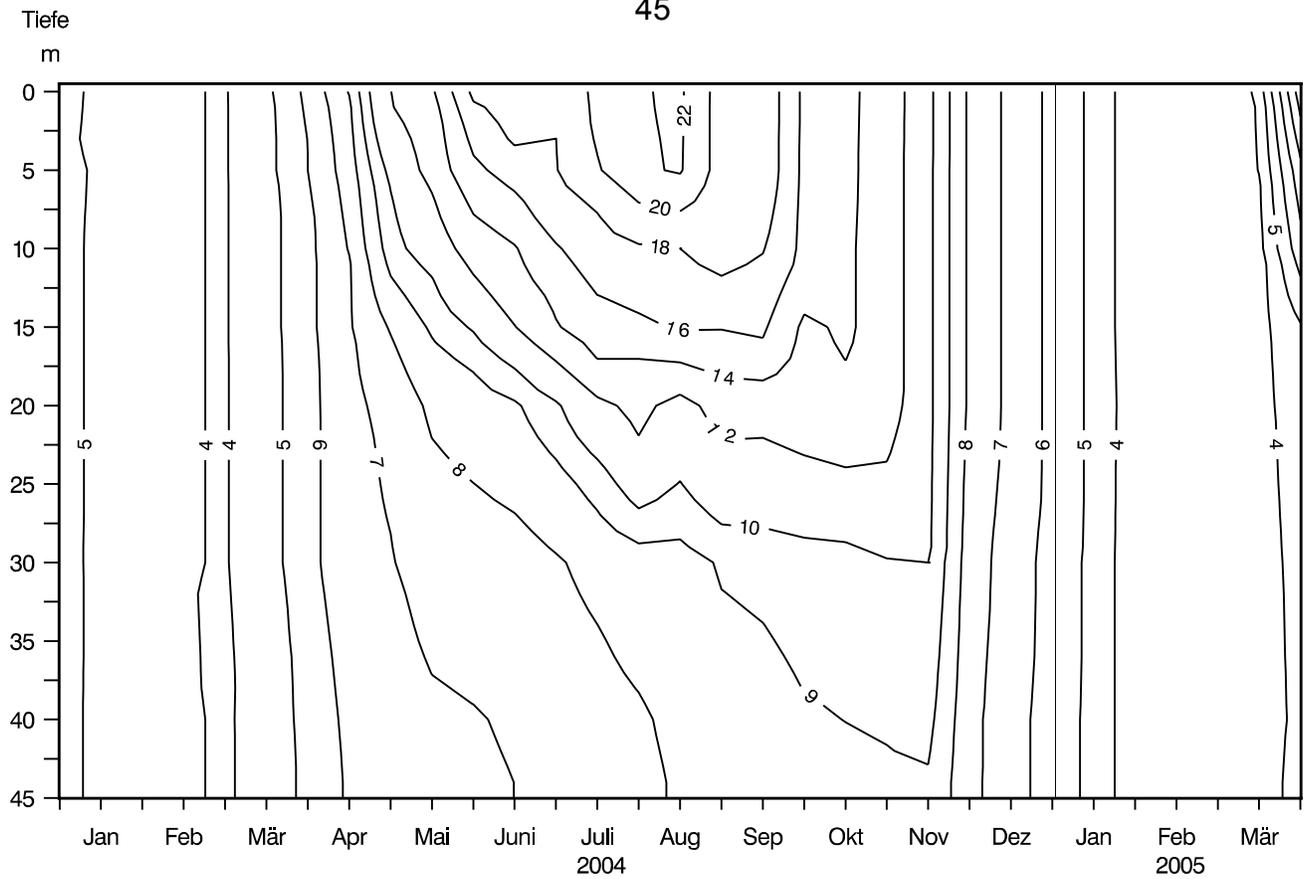


Abb. 52: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Temperatur °C

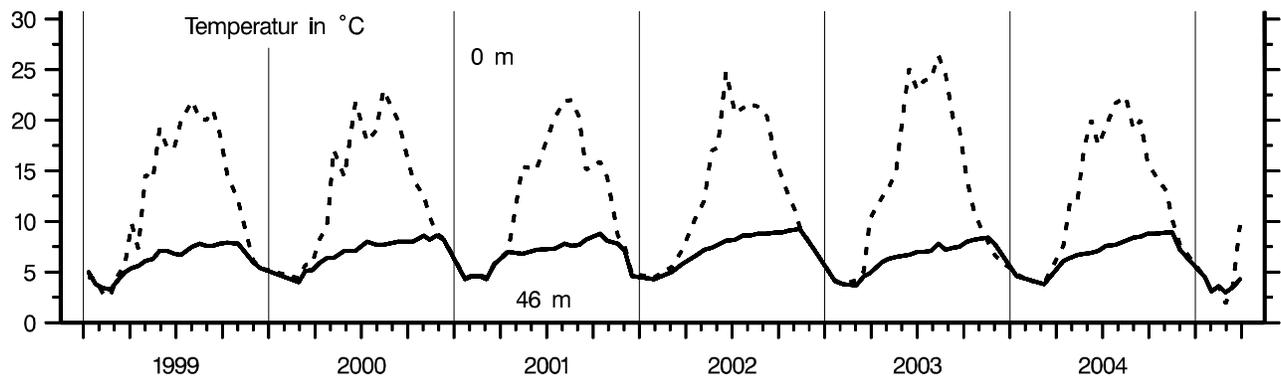
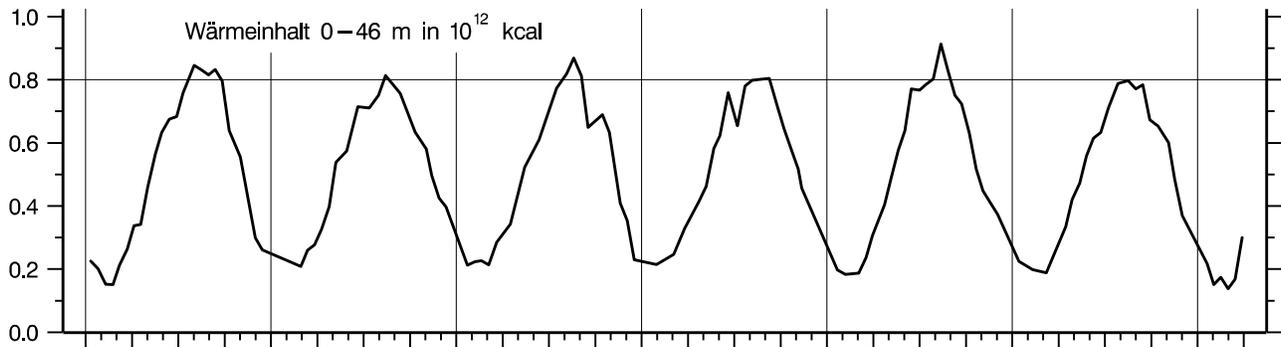


Abb. 53: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Thermik

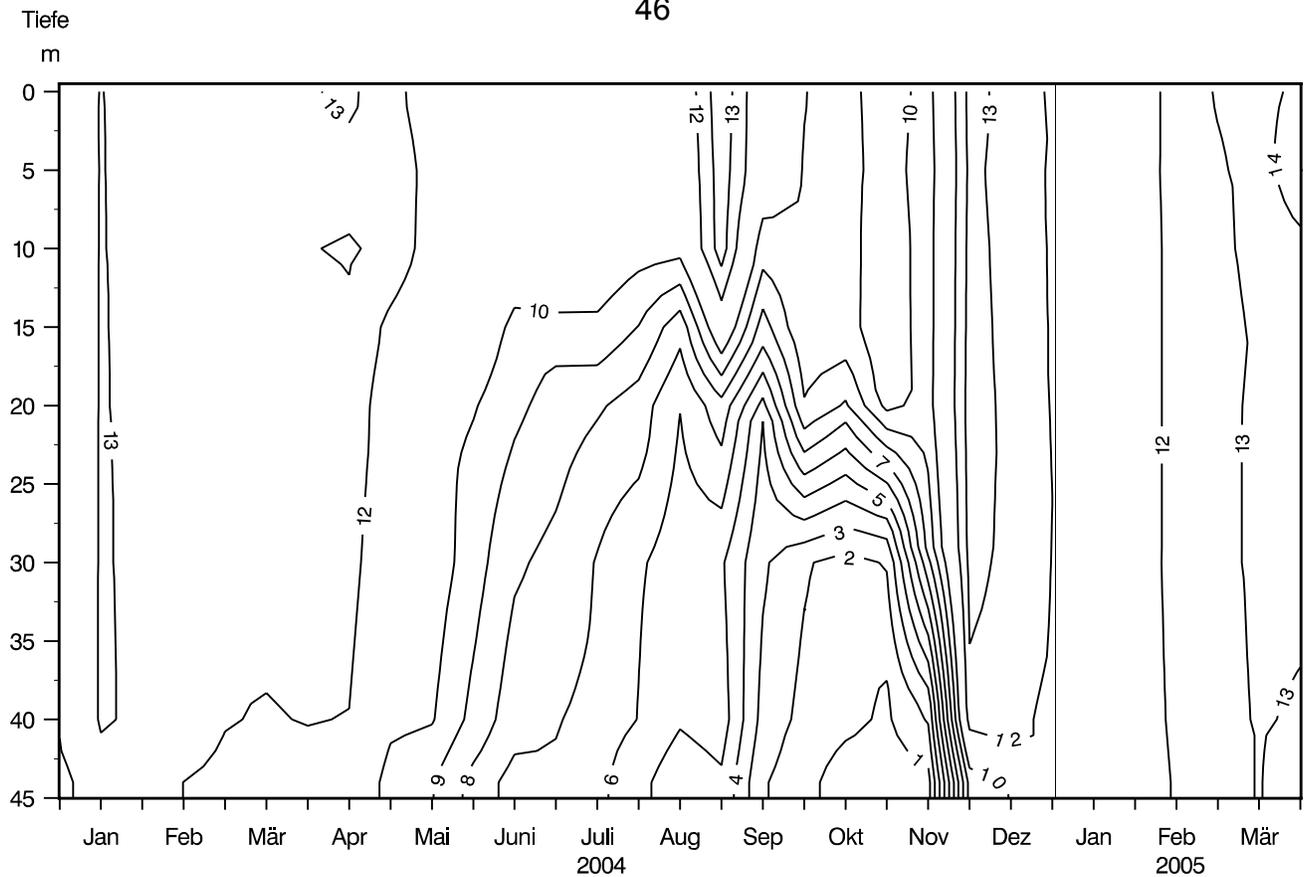


Abb. 54: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Sauerstoff (mg/l)

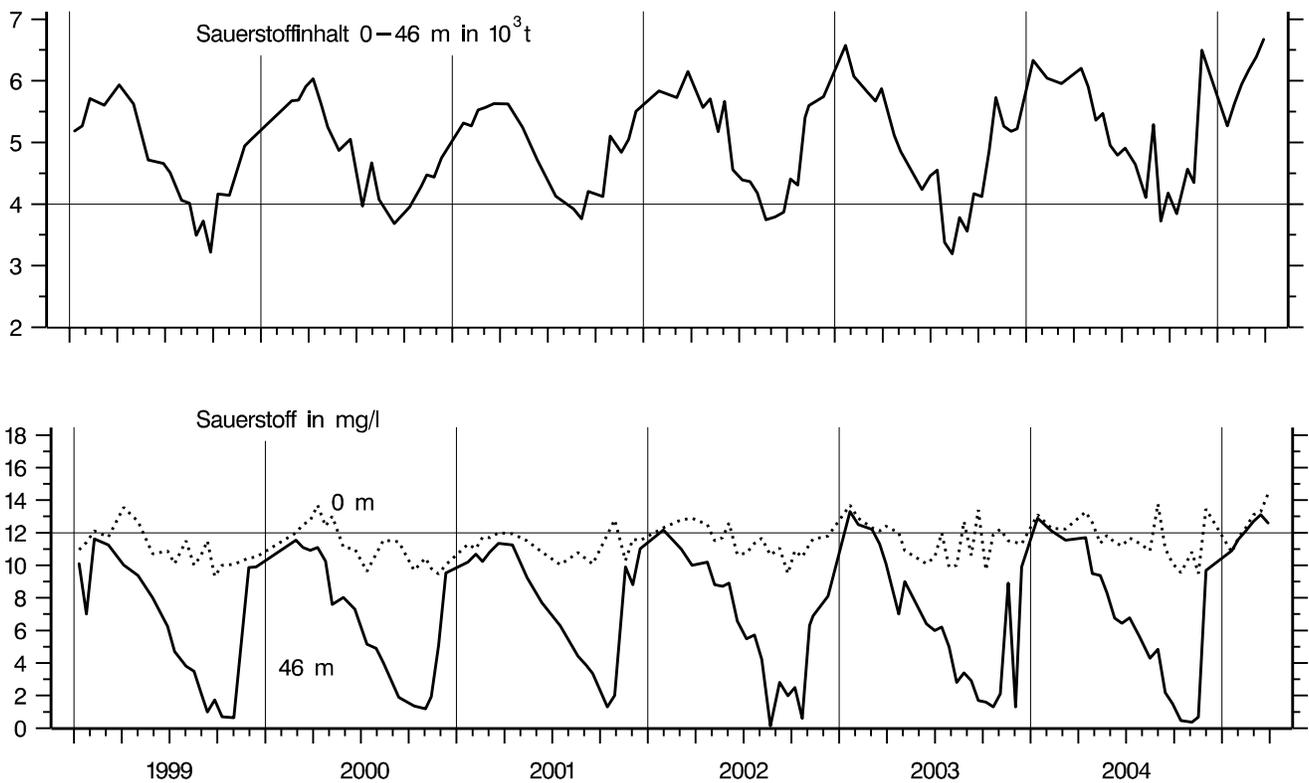


Abb. 55: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Sauerstoffinhalt 0–46 m und Sauerstoffkonzentration in 0 und 46 m Tiefe

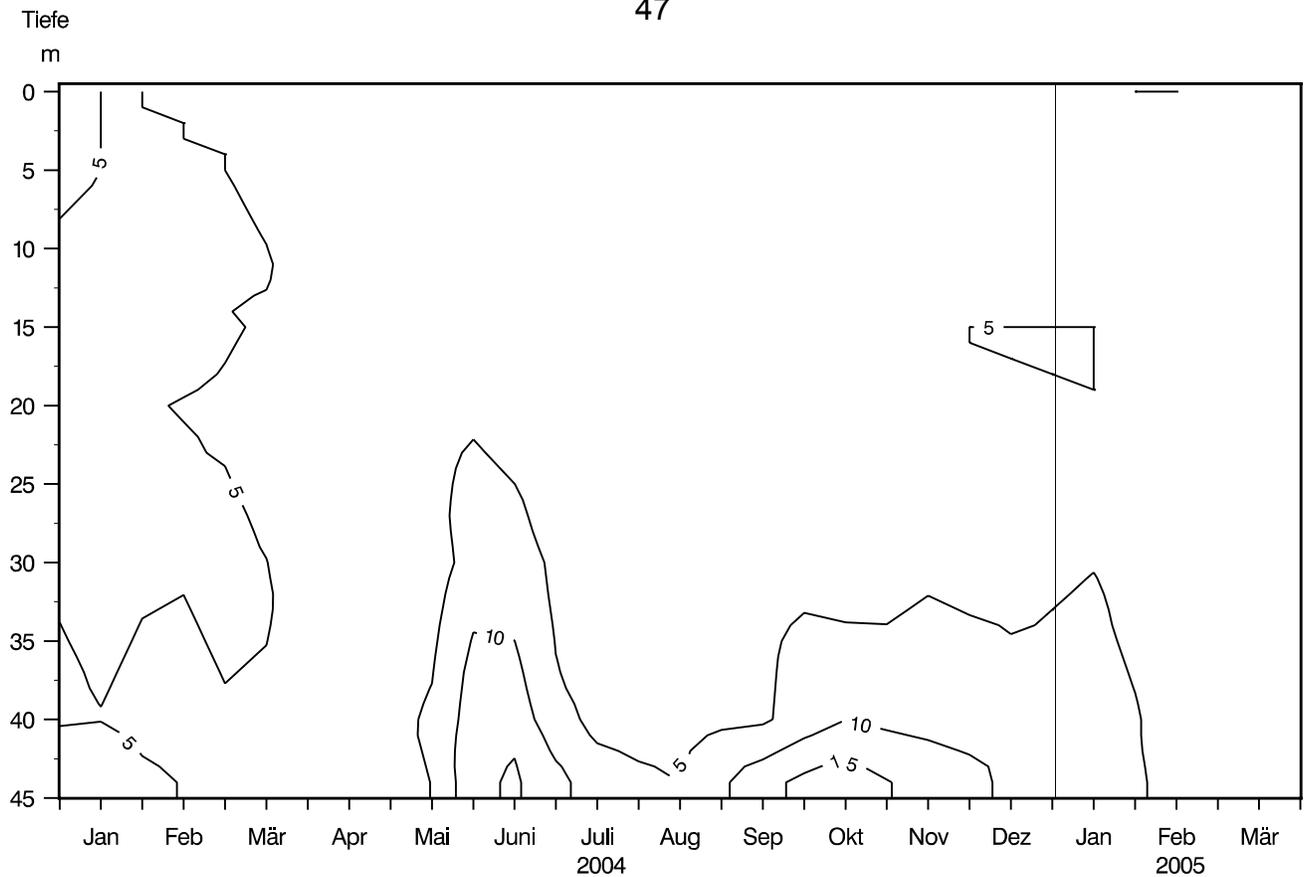


Abb. 56: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Orthophosphat – Phosphor (mg/m^3)

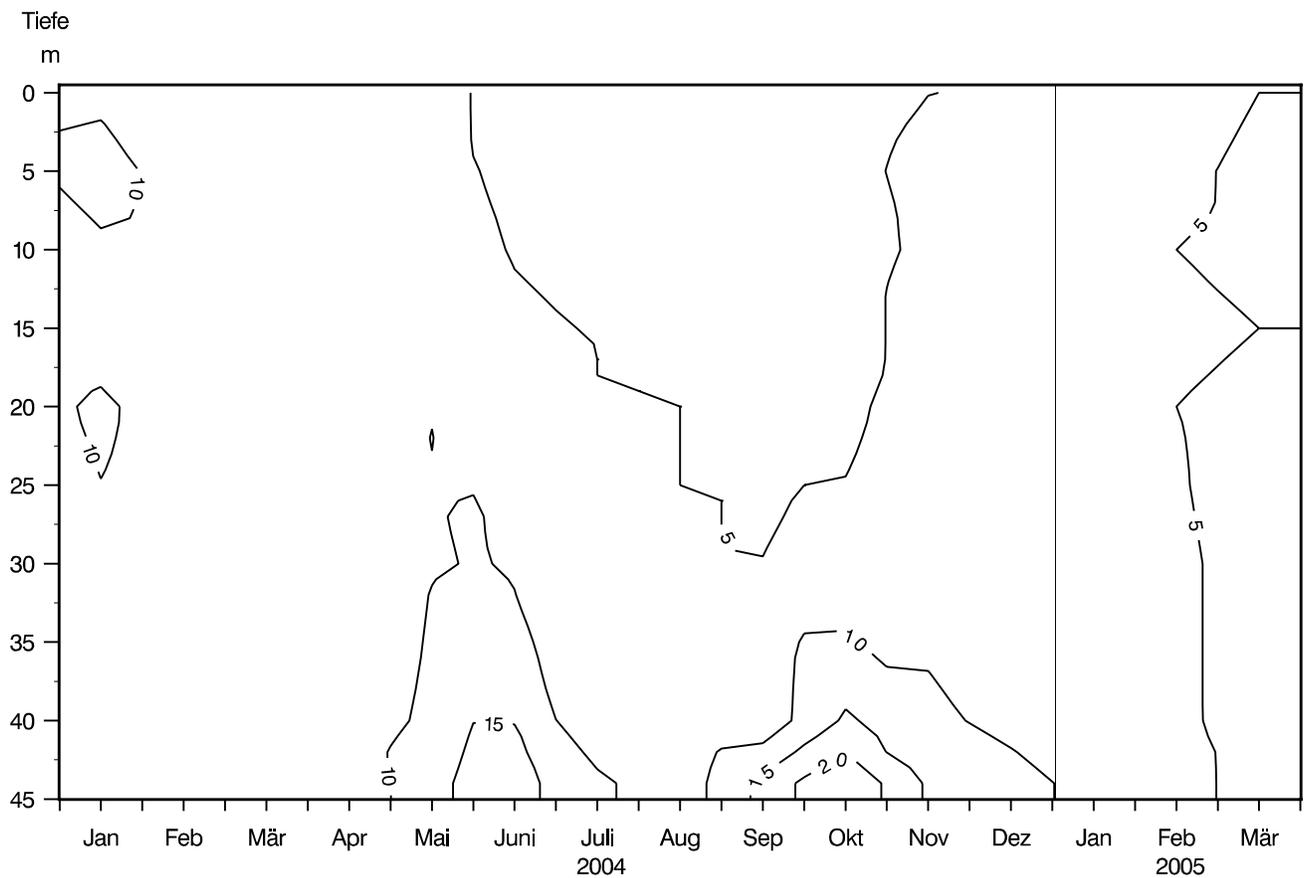


Abb. 57: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Gesamt gelöster Phosphor (mg/m^3)

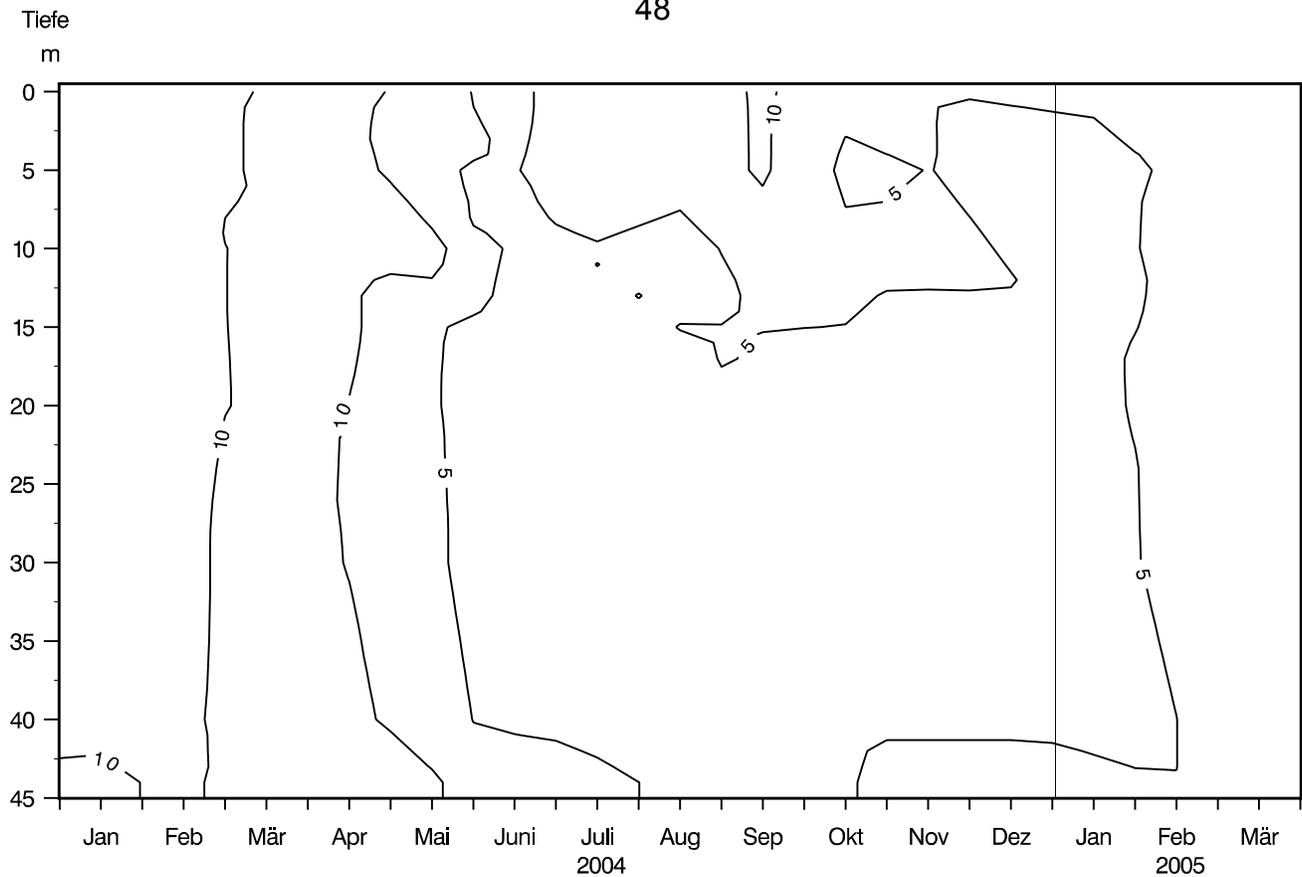


Abb. 58: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Partikulärer Phosphor (mg/m^3)

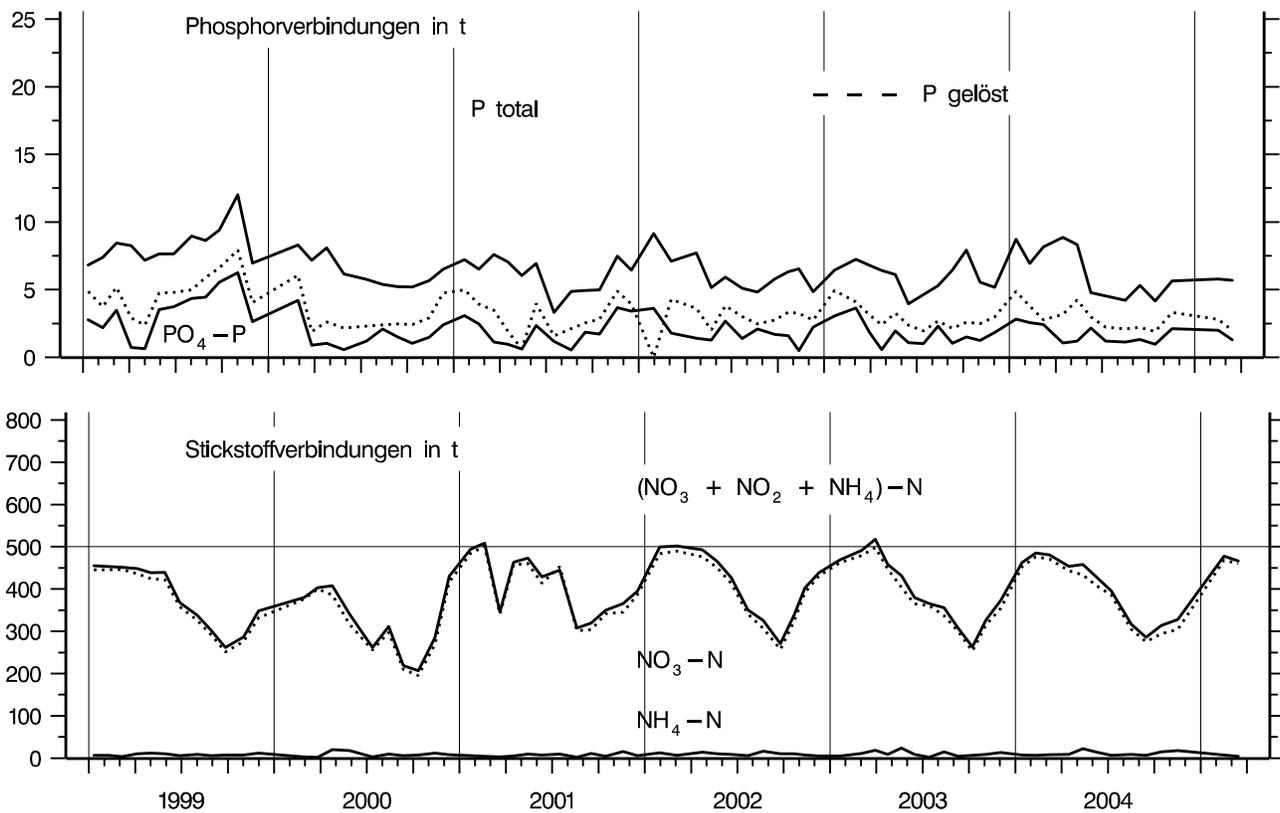


Abb. 59: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Nährstoffinhalt 0–46 m Tiefe

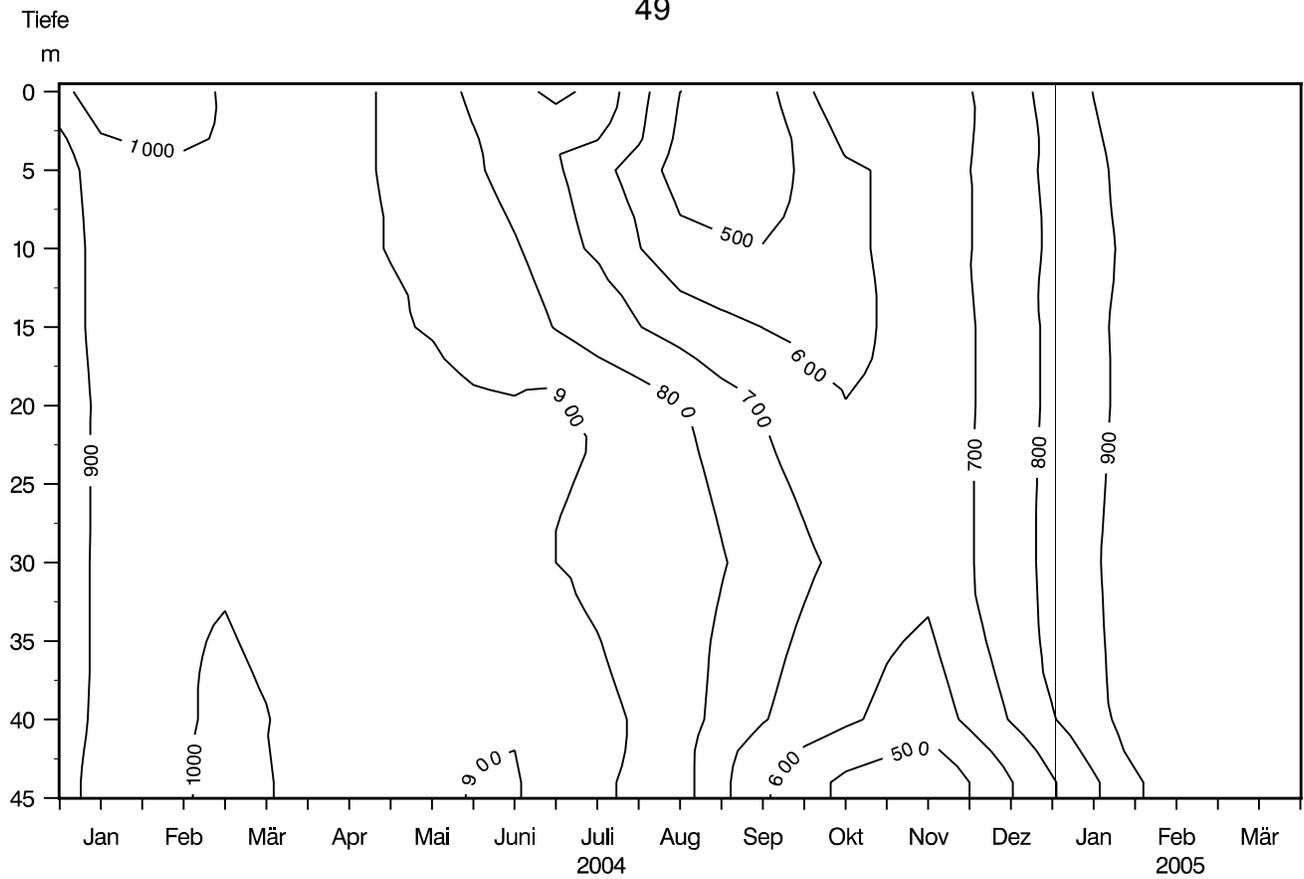


Abb. 60: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Nitrat – Stickstoff (mg/m^3)

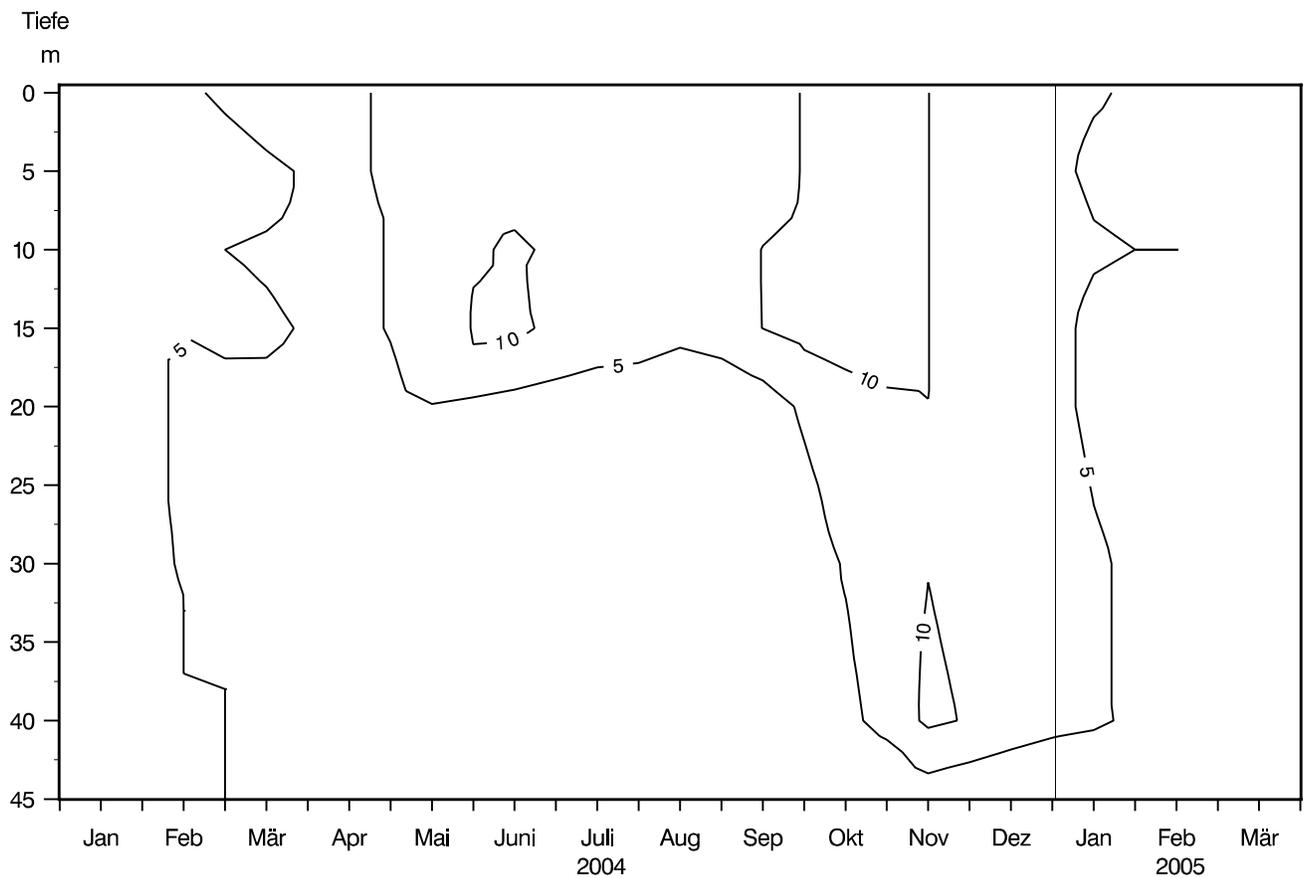


Abb. 61: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Nitrit – Stickstoff (mg/m^3)

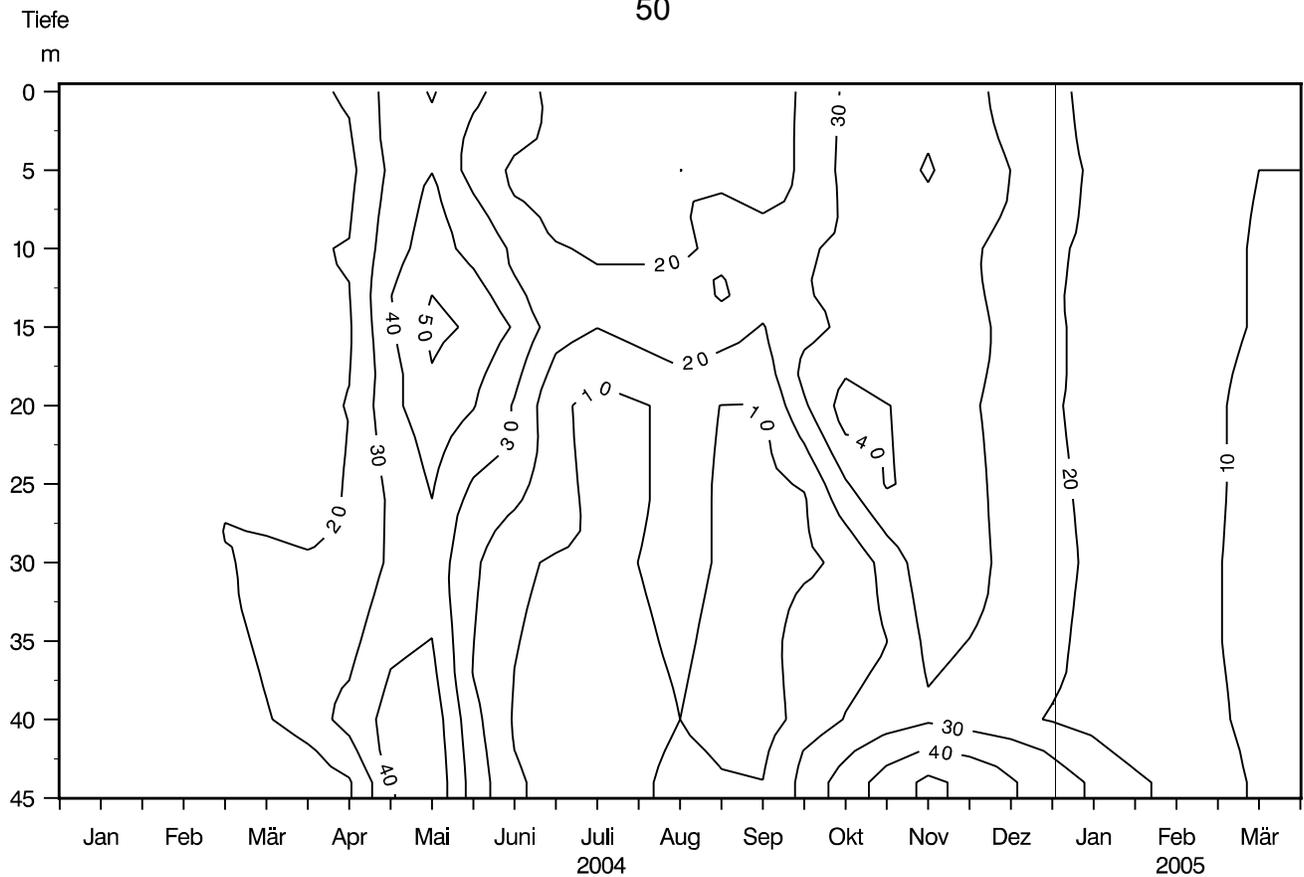


Abb. 62: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Ammonium – Stickstoff (mg/m^3)

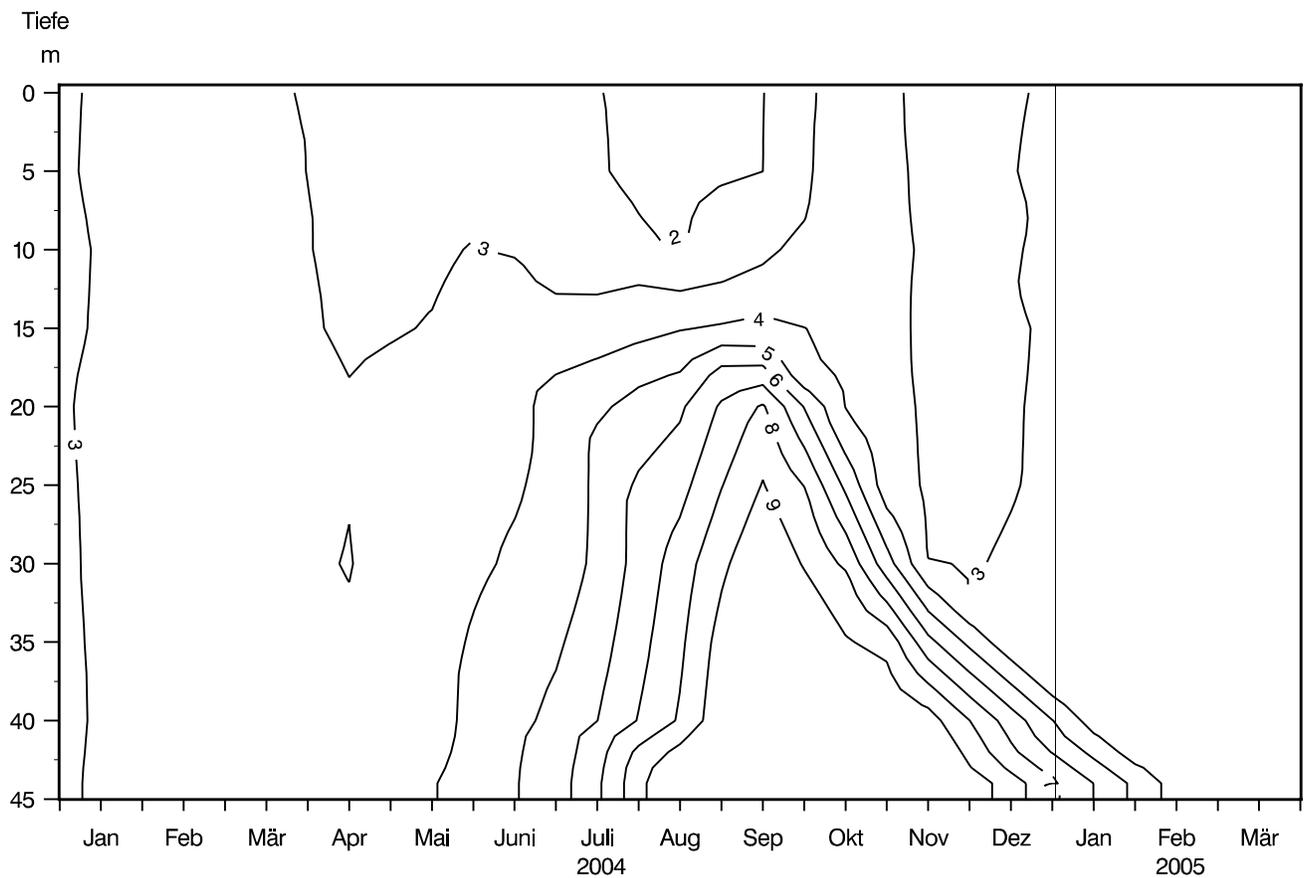


Abb. 63: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Silikat (mg/l)

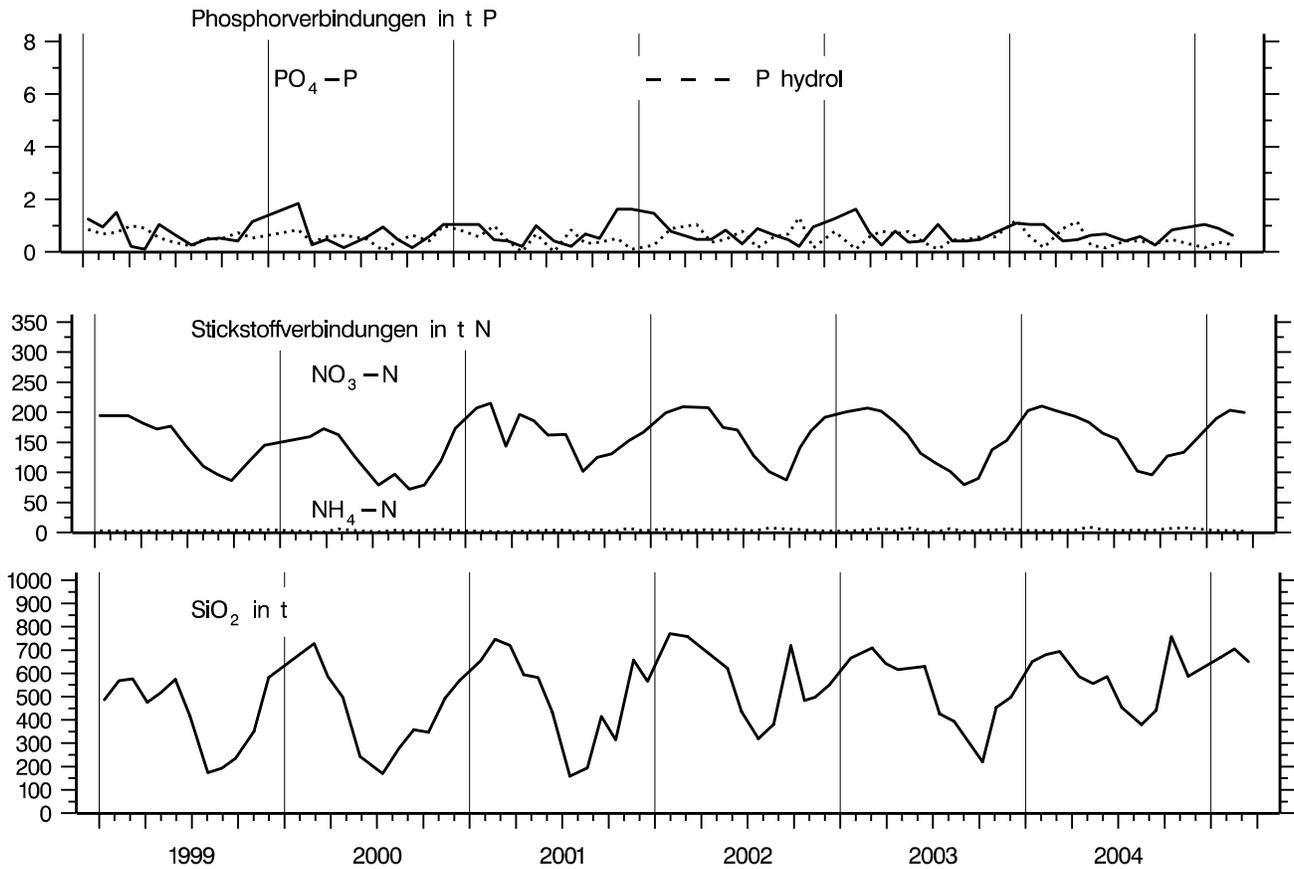


Abb. 64: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Nährstoffinhalt im Epilimnion 0–10 m Tiefe

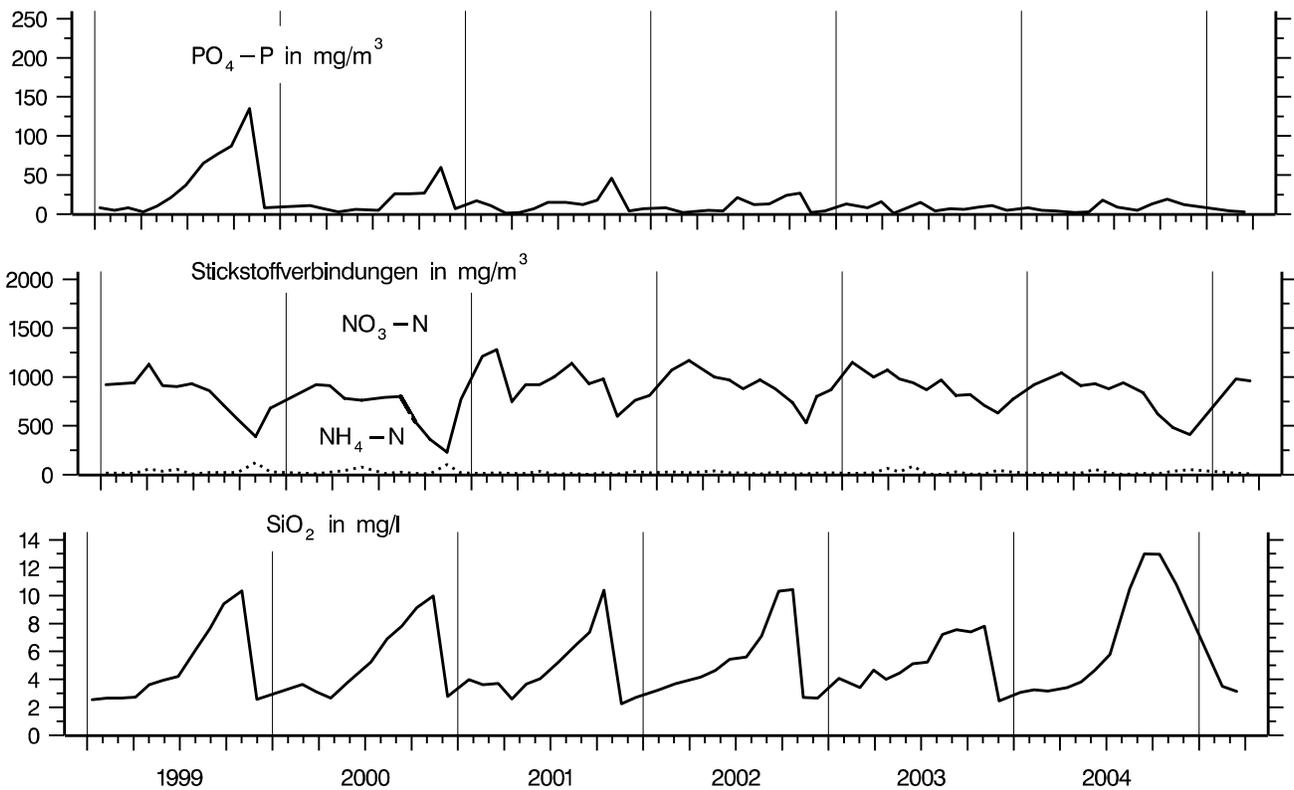


Abb. 65: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Nährstoffkonzentration in 46 m Tiefe

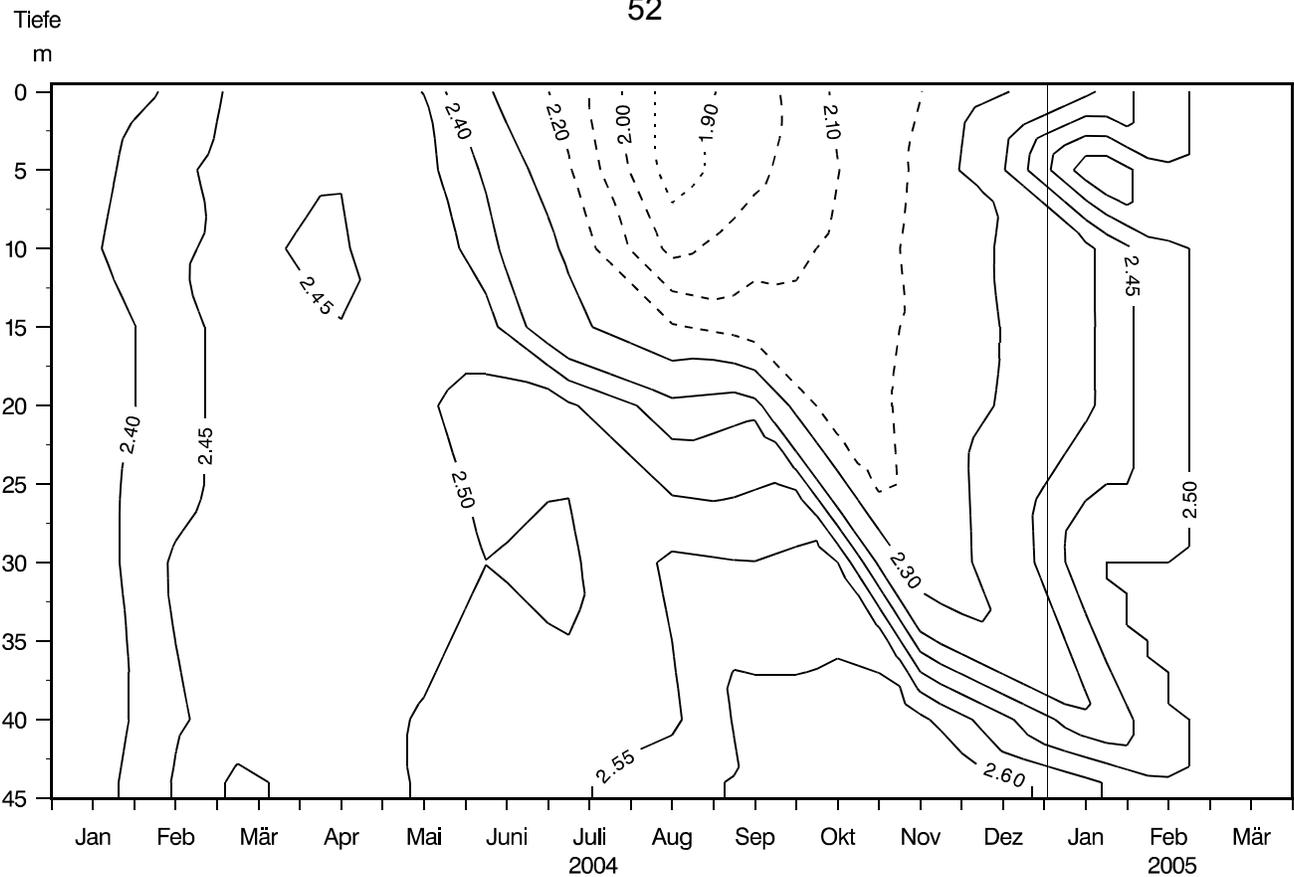


Abb. 66: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Anorganischer Kohlenstoff (mmol/l)

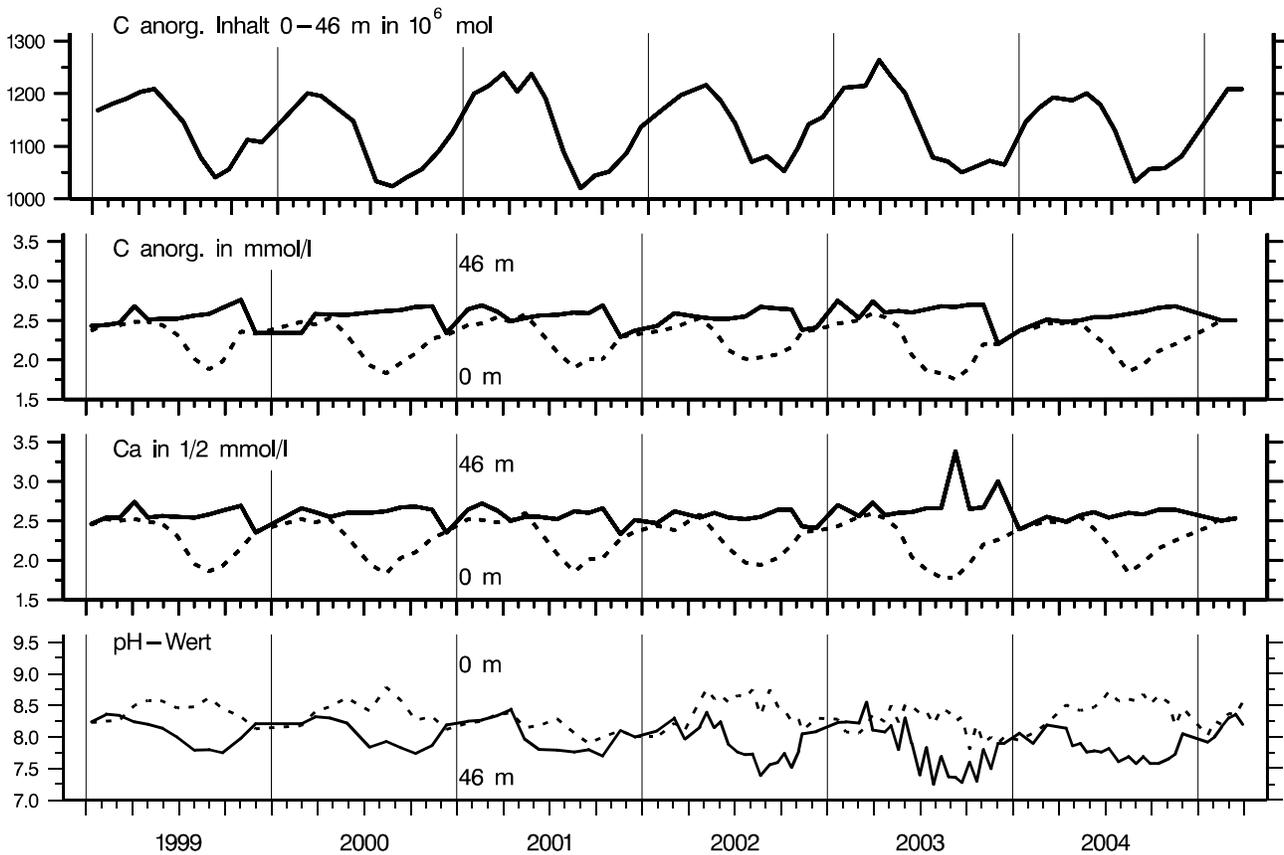


Abb. 67: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Anorganischer Kohlenstoff, Inhalt 0–46 m Tiefe
Konzentration von anorg. Kohlenstoff, Calcium; pH–Wert

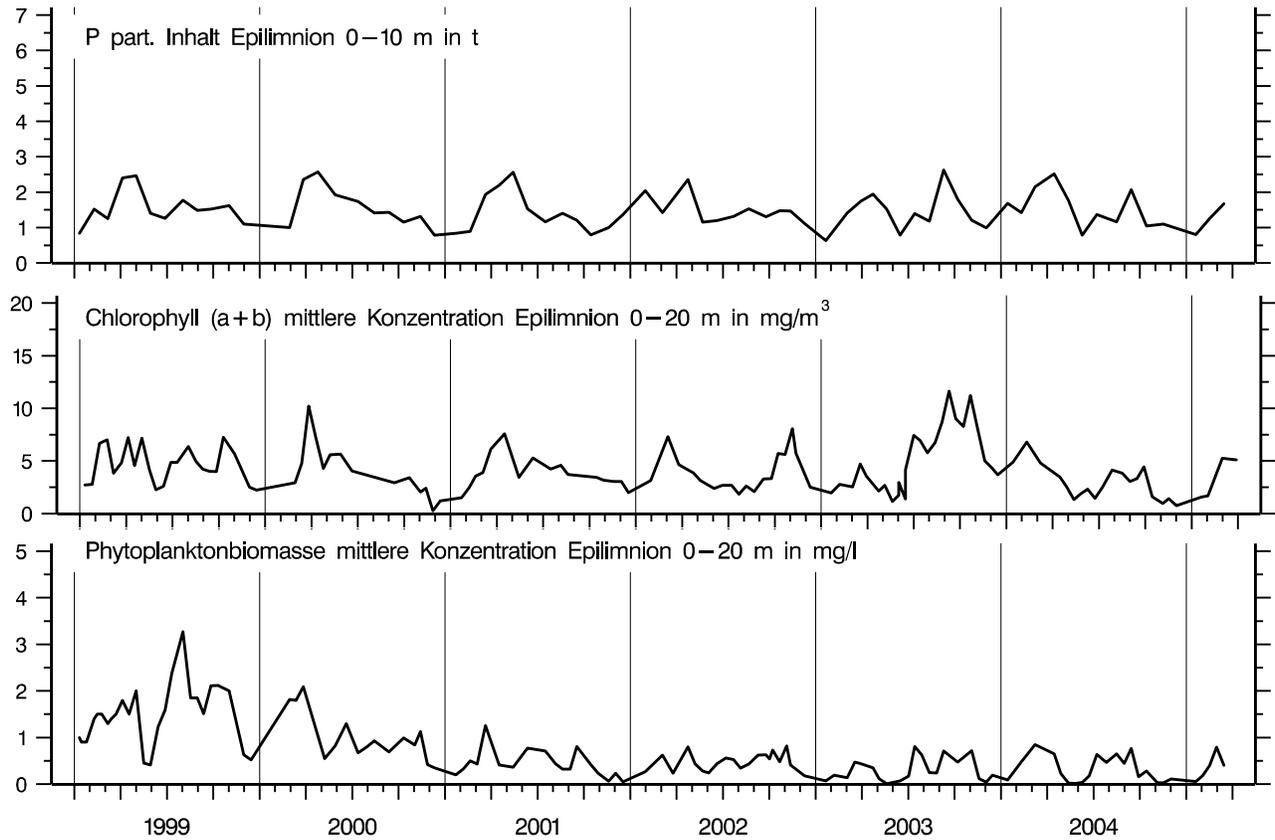


Abb. 68: Bodensee – Untersee, Rheinsee (Berlingen):
Chemische Biomasseindikatoren und Phytoplanktonbiomasse

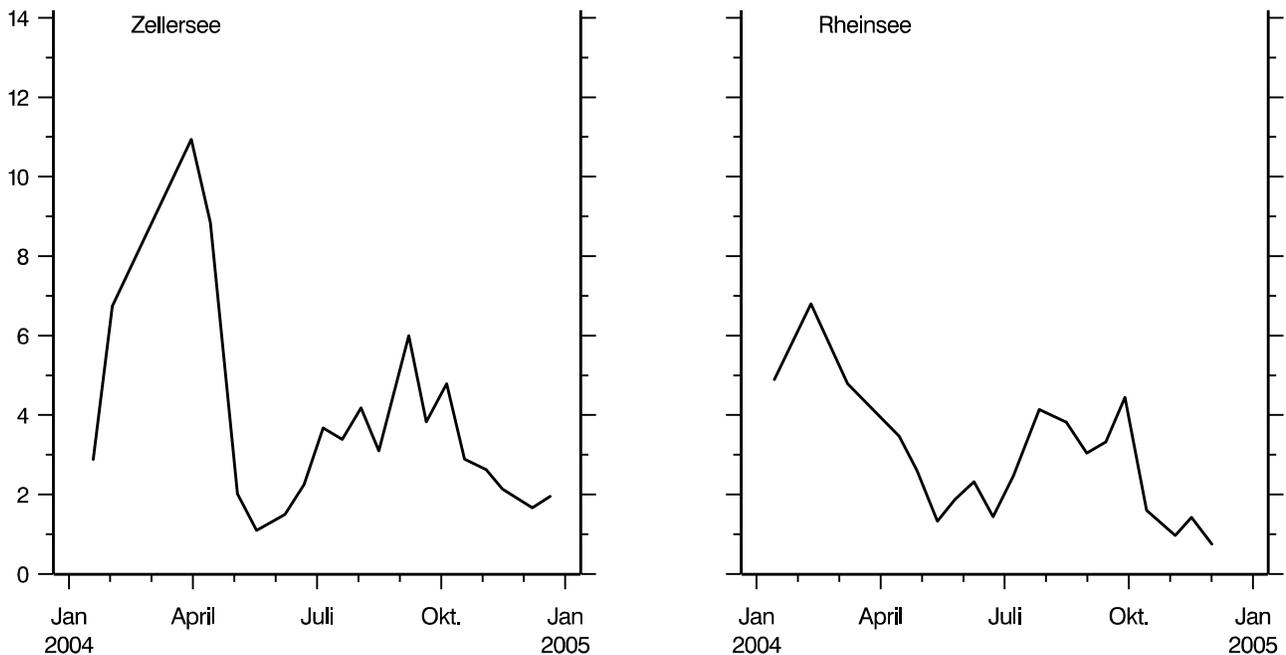


Abb. 69: Bodensee – Untersee
Chlorophyll a in mg/m^3 im Zellersee
und Chlorophyll a+b in mg/m^3 im Rheinsee;
mittlere Konzentration 0–20 m Tiefe

Tabelle 1 (1)**Normal - Tiefenserien an den Stationen**

Fischbach - Uttwil:	0, 5, 10, 15, 20, 30, 50, 100, 150, 200, 230, 250 m
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 2004 bis März 2005 an den Stationen Fischbach-Uttwil (F),
und Bregenzer Bucht (B) und von Januar 2004 bis März 2005
an den Stationen Zellersee (Z) und Rheinsee bei Berlingen (R)

Obersee - Stationen

12.01. 2004	F	
21.01.		B
03.02.	F	
16.02.	F	B
02.03.	F	
16.03.	F	
30.03.	F	B
13.04.	F	
21.04.		B
03.05.	F	
17.05.	F	
18.05.	F	
24.05.		B
07.06.	F	
21.06.	F	
28.06.		B
05.07.	F	
07.07.	F	B
19.07.	F	
02.08.	F	
16.08.	F	
18.08.		B
06.09.	F	
20.09.	F	
27.09.		B
04.10.	F	
11.10.		B
02.11.	F	
04.11.	F	
08.11.		B
15.11.	F	
06.12.	F	B
20.12.	F	
10.01. 2005	F	
12.01.		B
31.01.	F	
21.02.	F	B
07.03.	F	
16.03.		B
21.03.	F	

Untersee - Stationen

14.01. 2004		R
19.01.	Z	
02.02.	Z	
10.02.		R
01.03.	Z	
08.03.		R
31.03.	Z	
14.04.	Z	
15.04.		R
28.04.		R
04.05.	Z	
13.05.		R
18.05.	Z	
26.05.		R
08.06.	Z	
09.06.		R
22.06.	Z	
23.06.		R
06.07.	Z	
08.07.		R
20.07.	Z	
27.07.		R
03.08.	Z	
16.08.	Z	R
31.08.		R
07.09.	Z	
14.09.		R
20.09.	Z	
28.09.		R
05.10.	Z	
14.10.		R
18.10.	Z	
03.11.	Z	
04.11.		R
15.11.	Z	
16.11.		R
01.12.		R
07.12.	Z	
11.01. 2005	Z	
19.01.		R
01.02.	Z	R
15.02.		R
22.05.	Z	
01.03.		R
08.03.	Z	
15.03.		R
22.03.	Z	
29.03.		R

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
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
Rest - Sauerstoff 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	
			Z	R
H ₂ CO ₃ + CO ₂	F		Z	R
Hydrogenkarbonat	F		Z	R
Karbonat	F		Z	R
Gleichgewichtskohlensäure	F		Z	R
Calcitsättigung	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: Seekeimdaten
Bodensee-Obersee (Fischbach-Uhwil), Seejahr 2004 (Messdaten vom 13.04.04 bis 21.03.05)
 IV-XII: Monate 2004; I, II, III-05: Monate 2005

Parameter	Messwerte (a)		Stoffinhalt (b)				Stoffbilanz (b)	
	Epilimnion (0-10 m)	Seebodennahe (1m über Grund)	See total		Epilimnion (0-10 m)		Hypolimnion (200-252,5 m)	
			Maximum Minimum	Ende 21.03.2005 Beginn 13.04.2004	Maximum Minimum	Zeit	Maximum Minimum	Zeit
Thermik								
(a) °C, (b) 10 ⁻² Kcal	23,8 4,3	4,6 4,2	241,3 209,0	336,3 206,3	IX III	87,2 18,4	VIII III	-32 95
Sauerstoff								
(a) mg l ⁻¹ , (b) 10 ³ t	12,8 9,4	11,1 7,2	538,1 238,4	538,1 458,4	III XI	53,8 40,7	V IX	-1 80
Orthophosphat - P								
(a) mg m ⁻³ , (b) t	5,3 0,6	18,6 5,8	187,3 110,7	272,6 187,3	XI III	21,8 3,0	III XI	51 11
Phosphor, hydrolysiert								
(A) mg m ⁻³ , (b) t	4,1 1,4	2,3 1,5	99,6 72,8	110,7 72,8	II IX	15,1 6,2	III VII	-26 38
Phosphor, gelöst								
(a) mg m ⁻³ , (b) t	7,2 2,5	20,4 8	286,9 106,3	349,0 278,5	XI III	30,2 11,3	III VII	62 1
Phosphor, partikulär								
(a) mg m ⁻³ , (b) t	18,4 1,6	2,8 0,5	172,8 455,4	172,8 53,3	III V	54,6 7,9	V XI	-84 17
Phosphor, total								
(a) mg m ⁻³ , (b) t	22,9 5,4	22 10,8	459,7 331,7	479,2 331,7	XI III	75,7 25,0	V XII	-4 -83
Nitrat - N								
(a) mg m ⁻³ , (b) t	972 512	1040 897	46173,8 42229,4	46346,9 42229,4	III IX	4095,0 2203,6	III IX	173 -3944
Nitrit - N								
(a) mg m ⁻³ , (b) t	10,7 0	1,7 0	21,6 3,3	191,4 0,0	VII IV, V, VIII, X-III	43,8 0,0	VIII IV, V, VIII, X-III	62 -81
Ammonium - N								
(a) mg m ⁻³ , (b) t	28,7 1,3	12,6 1,6	119,0 79,4	497,7 65,9	I V, I	94,2 10,2	V V	-40 82
Stickstoff, partikulär								
(a) mg m ⁻³ , (b) t	110 5	12 0	880,7 165,8	278,8 166,4	VII, IX V	348,5 24,6	VII XI	0 781
Silikat (SiO₂)								
(a) mg l ⁻¹ , (b) 10 ³ t	3,5 0,6	5,7 3,9	165,8 145,3	167,2 145,3	IX, XI V, III	14,7 3,1	III VIII	1 -3
Kalium								
(a) mg l ⁻¹ , (b) 10 ³ t	1,4 1,1	1,4 1,3	62,6 60,9	66,7 60,9	IX, XI, I, III X, XII, I	6,0 4,9	I IX	0 64
Natrium								
(a) mg l ⁻¹ , (b) 10 ³ t	4,91 3,52	5,02 4,35	210,3 199,0	225,2 199,0	III XI	20,3 16,4	III XI	5 3

Tabelle 3

**Vergleich von Messwerten der verschiedenen Teile des Bodensees - Obersee
Seejahr 2004 / 2005 an den Stationen Fischbach-Uttwil (F) und Bregenzer Bucht (B)**

Messwerte in "0" m		F	B
Temperatur in °C	Maximum	23,8	21,9
	Minimum	4,4	3,1
Sauerstoff in mg O ₂ l ⁻¹	Maximum	12,2	12,1
	Minimum	9,6	9,0
Leitfähigkeit bei 20° C in µS cm ⁻¹	Maximum	294,0	327,0
	Minimum	245,0	248,0
pH in pH-Einheiten	Maximum	8,8	8,4
	Minimum	8,2	7,8
Orthophosphat in mg PO ₄ -P m ⁻³	Maximum	5,3	6,0
	Minimum	0,8	1,5
Phosphor gelöst in mg P m ⁻³	Maximum	7,2	10,0
	Minimum	2,6	3,0
Phosphor total in mg P m ⁻³	Maximum	12,5	15,0
	Minimum	5,9	10,0
Nitrat in mg NO ₃ -N m ⁻³	Maximum	950,0	943,0
	Minimum	515,0	552,0
Ammonium in mg NH ₄ -N m ⁻³	Maximum	20,6	23,4
	Minimum	2,9	5,8
Eisen total in mg Fe m ⁻³	Maximum	21,6	—
	Minimum	3,0	—
Kohlenstoff anorg. in mmol C l ⁻¹	Maximum	2,5	2,5
	Minimum	2,0	2,1
Phosphor partikulär in mg P m ⁻³	Maximum	8,0	—
	Minimum	1,6	—
Stickstoff partikulär in mg N m ⁻³	Maximum	59,0	—
	Minimum	7,0	—

Messwerte in Seebodennähe		F 250m	B 60m
Temperatur in °C	Maximum	4,6	5,3
	Minimum	4,2	3,1
Sauerstoff in mg O ₂ l ⁻¹	Maximum	11,1	11,8
	Minimum	7,2	7,2
Leitfähigkeit bei 25° C in µS cm ⁻¹	Maximum	305,0	327,0
	Minimum	296,0	288,0
pH in pH-Einheiten	Maximum	8,2	8,1
	Minimum	7,8	7,8
Orthophosphat in mg PO ₄ -P m ⁻³	Maximum	18,6	14,0
	Minimum	5,8	4,0
Nitrat in mg NO ₃ -N m ⁻³	Maximum	1040,0	1035,0
	Minimum	897,0	897,0
Ammonium in mg NH ₄ -N m ⁻³	Maximum	12,6	23,4
	Minimum	0,0	1,5
Eisen total in mg Fe m ⁻³	Maximum	36,6	—
	Minimum	8,2	—
Kohlenstoff anorg. in mmol C l ⁻¹	Maximum	2,6	2,6
	Minimum	2,5	2,4
Phosphor total in mg P m ⁻³	Maximum	23,7	19,0
	Minimum	11,8	10,0

Tabelle 4: Seekeimdaten
Bodensee-Unterseese (Zellersee), Seejahr 2004 (Messdaten vom 19.01.04 bis 11.01.05)
 I-XII: Monate 2004; I, II, III+05: Monate 2005

Parameter	Messwerte (a)		Stoffinhalt (b)				Stoffbilanz (b)		
	Seebodennähe (1m über Grund)		See total		Epilimnion (0-10 m)		Beginn	Ende Seejahr	
	Maximum	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum	Minimum			
Thermik (a) °C, (b) 10 ⁹ Kcal	Epilimnion (0-10 m)	24,1	12,0	0,7	0,8	2,4	0	19.01.2004 bis	03.08.2004 bis
	Maximum	3,2	3,5	2087,7	1764,1	0,3	-2088	03.08.2004	11.01.2005
Sauerstoff (a) mg l ⁻¹ , (b) t	Epilimnion (0-10 m)	13,7	12,5	2087,7	1764,1	1454,5	-2088		
	Maximum	9,1	1,0			981,6			
Orthophosphat - P (a) mg m ⁻³ , (b) t*	Epilimnion (0-10 m)	18,1	157,2	2,5	3,0	1,9	0		
	Maximum	0,4	0,4			0,0			
Phosphor, hydrolisierb. (A) mg m ⁻³ , (b) t*	Epilimnion (0-10 m)	11,4	11,6	0,6	0,7	0,9	0		
	Maximum	0,9	2,1			0,1			
Phosphor, gelöst (a) mg m ⁻³ , (b) t*	Epilimnion (0-10 m)	22,9	164,0	3,2	3,7	2,2	1		
	Maximum	2,4	3,7			0,4			
Phosphor, partikulär (a) mg m ⁻³ , (b) t*	Epilimnion (0-10 m)	16,7	21,6	1,4	0,2	1,7	-1		
	Maximum	1,0	0,9			0,1			
Phosphor, total (a) mg m ⁻³ , (b) t*	Epilimnion (0-10 m)	26,1	176,6	4,6	3,9	2,8	-1		
	Maximum	7,3	13,8			1,0			
Nitrat - N (a) mg m ⁻³ , (b) t	Epilimnion (0-10 m)	1162,0	1735,0	203,6	190,9	123,8	191		
	Maximum	372,0	149,0			45,7			
Nitrit - N (a) mg m ⁻³ , (b) t	Epilimnion (0-10 m)	22,7	69,7	1,5	1,2	2,0	0		
	Maximum	4,2	5,8			0,6			
Ammonium - N (a) mg m ⁻³ , (b) t	Epilimnion (0-10 m)	22,6	366,9	2,9	1,6	2,3	-1		
	Maximum	0,0	2,9			0,0			
Silikat (SiO₂) (a) mg l ⁻¹ , (b) t	Epilimnion (0-10 m)	4,3	10,1	616,3	718,9	451,6	103		
	Maximum	0,9	2,3			100,9			
Calcium (a) mg l ⁻¹ , (b) t	Epilimnion (0-10 m)	58,9	63,5	849,1	904,2	571,9	55		
	Maximum	32,3	38,5			346,8			
Chlorid (a) mg l ⁻¹ , (b) t	Epilimnion (0-10 m)	10,9	16,4	1925,3	1895,5	1147,2	1895		
	Maximum	5,1	6,1			627,8			

Tabelle 5: Seekeimdaten
Bodensee-Untersees (Rheinsee, Berlingen), Seejahr 2004 (Messdaten vom 14.01.04 bis 19.01.05)
 I-XII: Monate 2004; I, II, III - 05: Monate 2005

Parameter	Messwerte (a)		Seebodennähe (1m über Grund)	Stoffinhalt (b)		Stoffbilanz (b)				
	Eplimnion (0-10 m)	See total		Maximum	Minimum		Maximum	Minimum		
	Zeit	Beginn		Ende	Zeit		Zeit	Zeit		
Thermik (a) °C, (b) 10 ⁹ Kcal	22,3	VIII	8,9	236,3	229,0	839,1	VIII	-7	602	-609
	3,9	III	3,8			198,3	III			
Sauerstoff (a) mg l ⁻¹ , (b) t	13,8	VIII	12,9	6665,9	5547,0	6838,4	XII			1202
	9,3	IX, XI	0,4			3920,2	IX			
Orthophosphat - P (a) mg m ⁻³ , (b) t	6,0	I, III	19,0	3,0	2,5	3,0	I	0	-2	1
	1,0	X	2,0			1,0	X	0	0	0
Phosphor, hydrolisierb. (A) mg m ⁻³ , (b) t	8,0	I	9,0	2,2	0,2	3,2	V	-2	-1	-1
	0,0	III, VII, I	1,0			0,2	I	0	0	0
Phosphor, gelöst (a) mg m ⁻³ , (b) t	13,0	I	25,0	5,1	2,7	5,1	I	-2	-3	1
	2,0	X	6,0			2,0	X	0	0	0
Phosphor, partikulär (a) mg m ⁻³ , (b) t	13,0	IV, V	15,0	4,0	1,9	5,7	IV	-2	-2	0
	3,0	VI, I	3,0			1,7	VI	0	0	0
Phosphor, total (a) mg m ⁻³ , (b) t	22,0	V	29,0	9,2	4,6	9,3	IV	-4	-5	0
	8,0	VI, VIII, X, I	9,0			4,4	X	0	0	0
Nitrat - N (a) mg m ⁻³ , (b) t	1070,0	III	1040,0	476,4	455,6	501,3	II	-18	-155	138
	440,0	IX	410,0			289,9	IX	0	0	0
Nitrit - N (a) mg m ⁻³ , (b) t	11,0	VI, X	6,0	3,2	2,2	5,1	XI	-1	0	-1
	4,0	III, IV, I	1,0			1,9	IV	0	0	0
Ammonium - N (a) mg m ⁻³ , (b) t	47,0	V	54,0	7,4	8,1	23,7	V	1	2	-1
	11,0	IX	4,0			6,7	VII	0	0	0
Silikat (SiO₂) (a) mg l ⁻¹ , (b) t	3,8	X	13,0	1574,1	1604,9	2456,8	IX	42	318	-276
	1,7	VIII	3,1			1473,3	IV			
Calcium (a) mg l ⁻¹ , (b) t	51,1	V	52,9	2426,3	2459,7	2577,6	VI	25	-125	150
	36,9	VIII	47,9			2177,9	VIII			
Chlorid (a) mg l ⁻¹ , (b) t	7,3	V	7,8	3061,6	2880,1	3362,0	IV	-160	-268	108
	5,1	IX, X	5,9			2711,4	X			

Parameter	Messwerte (a)		Stoffinhalt (b)				Stoffbilanz (b)	
	Epilimnion (0-10 m)	Seebodennähe (1m über Grund)	See total		Epilimnion (0-10 m)		Beginn	Ende Seejahr
	Maximum Minimum	Maximum Minimum	Maximum Minimum	Maximum Minimum	Maximum Minimum	Maximum Minimum		
Kohlenstoff anorg. (a) mg l ⁻¹ , (b) t	30,9 22,0	31,9 28,2	1435,8 1476,1	1503,8 1294,0	V VIII	I VIII	50	-143
Säurekapazität KS 4,3 (a) mmol l ⁻¹ , (b) 10 ³ kmol	2,6 1,9	2,7 2,4	120,7 124,0	126,4 108,7	V VIII	I VII	4	-12
UV - Extinktion m ⁻¹ (260 nm), d = 5 cm	0,04 0,03	0,04 0,03						
elektr. Leitfähigkeit µS cm ⁻¹ , 20 °C	301,00 237,00	306,00 282,00						
pH-Wert	8,76 7,93	8,19 7,58						
Chlorophyll a mg m ⁻³	4,94 0,31	4,27 0,06						

13608.2004 bis
19.01.200514.01.2004 bis
16.08.2004

Tabelle 6

Vergleich von Messwerten der verschiedenen Teile des Bodensee - Untersees
Seejahr 2004 / 2005 an den Stationen Zellersee (Z), Rheinsee Station Berlingen (R)

Messwerte in " 0 " m		Z	R
Temperatur in °C	Maximum	24,1	22,3
	Minimum	3,3	3,9
Sauerstoff in mg O ₂ l ⁻¹	Maximum	13,4	13,8
	Minimum	9,1	9,5
pH in pH-Einheiten	Maximum	8,9	8,7
	Minimum	8,1	8,0
Orthophosphat in mg PO ₄ -P m ⁻³	Maximum	17,3	5,0
	Minimum	0,4	1,0
Phosphor partikulär in mg P m ⁻³	Maximum	15,5	11,0
	Minimum	1,0	3,0
Nitrat in mg NO ₃ -N m ⁻³	Maximum	1152,0	1070,0
	Minimum	372,0	450,0
Ammonium in mg NH ₄ -N m ⁻³	Maximum	22,6	43,0
	Minimum	0,0	11,0
Eisen total in mg Fe m ⁻³	Maximum	29,2	—
	Minimum	4,5	—

Messwerte in Seebodennähe

		Z	R
		20 - 22m	44 - 46m
Temperatur in °C	Maximum	12,8	8,9
	Minimum	3,4	3,8
Sauerstoff in mg O ₂ l ⁻¹	Maximum	13,4	12,9
	Minimum	1,0	0,4
pH in pH-Einheiten	Maximum	8,5	8,2
	Minimum	7,6	7,6
Orthophosphat in mg PO ₄ -P m ⁻³	Maximum	157,2	19,0
	Minimum	0,4	2,0
Nitrat in mg NO ₃ -N m ⁻³	Maximum	1735,0	1040,0
	Minimum	149,0	410,0
Ammonium in mg NH ₄ -N m ⁻³	Maximum	366,9	54,0
	Minimum	2,9	4,0
Eisen total in mg Fe m ⁻³	Maximum	136,4	—
	Minimum	6,5	—

ANHANG

Bericht des Fachbereichs Einzugsgebiet über das Jahr 2003

1. Abwasserbeseitigung

	2002	2003 ¹⁾
Zahl der Einwohner in ARA-Einzugsgebieten des Bodensees	1'543'400	1'546'300
Zahl der an Abwasserreinigungsanlagen angeschlossenen Einwohner	1'478'800 ²⁾	1'492'400 ²⁾
Zahl der nicht angeschlossenen Einwohner	64'600	53'900
davon: - Abwasser ordnungsgemäss entsorgt ³⁾	34'000	30'600
- Abwasser nicht ordnungsgemäss entsorgt ³⁾	30'600	23'300
Anschlussgrad (in Prozent)	95.8	96.5
Anzahl Abwasserreinigungsanlagen (IGKB-Kategorien):		
- Kategorie I (50 – 1000 EW)	63	65
- Kategorie II (>1000 – 40'000 EW)	127	123
- Kategorie III (>40'000 EW)	33	33
Gesamtzahl der Abwasserreinigungsanlagen	223	221
davon mit: - Nitrifikation	143	148
- Denitrifikation	74	87
- Phosphorelimination, davon	145	155
- weitergehende Reinigung (z.B. Flockungsfiltration)	13	13
Regen- und Mischwasser:		
- Flächenanteil im Mischsystem (in Prozent) ³⁾	77.9 ⁴⁾	78.6 ⁴⁾
- Ausbaugrad Mischsystem (in Prozent) ³⁾	79.0	78.8
Ablaufmengen:		
- Jahresabwassermenge (in 1000 m ³)	308'692	239'911
- Gesamtphosphor (in t)	111.3	92.6
- CSB (in t)	9'295 ⁵⁾	6'736 ⁶⁾
- N _{anorg.} (in t)	3'917	3'536

Im Berichtsjahr 2003 waren von den über 1,546 Millionen Einwohnern in ARA-Einzugsgebieten des Bodensees gut 1,492 Millionen an eine zentrale Abwasserreinigungsanlage angeschlossen.

Daneben wird das Abwasser von etwa 90'000 Einwohner zu Anlagen ausserhalb des Bodensee-Einzugsgebiets übergeleitet. Der Anschlussgrad beträgt 96,5 Prozent. Er liegt somit rund 0,7 Prozent höher als im Vorjahr.

Die Jahresabwassermenge aus den insgesamt 221 Abwasserreinigungsanlagen im Bodensee-Einzugsgebiet betrug im Berichtsjahr knapp 240 Mio. m³. 24 Prozent

1) Verbesserte Datenlage

2) Abwasser von weiteren etwa 90'000 Einwohnern geht zu Anlagen ausserhalb des Bodensee-Einzugsgebiets

3) Begriffe gelten im Sinne des Arbeitsmanuals

4) Ohne Vorarlberg

5) 551 Tonnen TOC (St.Gallen) mit Faktor 4 in CSB umgerechnet

6) 527 Tonnen TOC (St.Gallen) mit Faktor 4 in CSB umgerechnet

dieses Abwassers wurden in dreizehn Anlagen einer weitergehenden Reinigung (z.B. Flockungsfiltration) unterzogen, wodurch eine mittlere Ablaufkonzentration von nicht ganz 0,21 mg/l P_{ges} erreicht wurde. In weiteren 142 Anlagen wurden 73 Prozent der Abwassermenge durch Phosphatfällung behandelt (mittlere Ablaufkonzentration von 0,42 mg/l P_{ges}). Somit wurden fast 97 Prozent der im Bodensee-Einzugsgebiet anfallenden Abwassermenge in einer zentralen Abwasserreinigungsanlagen einer Phosphorelimination unterzogen. Im Jahresmittel ergab sich im Ablauf aller Abwasserreinigungsanlagen eine gegenüber dem Vorjahr etwas höhere mittlere Konzentration von nicht ganz 0,39 mg/l P_{ges} (Vorjahr 0,36 mg/l). Die Phosphorkonzentration ist zwar leicht angestiegen, die Restfracht an Phosphor im Abwasser aller Abwasserreinigungsanlagen im Bodensee-Einzugsgebiet sank demgegenüber jedoch erheblich. Mit rund 92,6 Tonnen lag sie etwa 16,5 Prozent tiefer als im Vorjahr. Davon betrug der Anteil der am Obersee anliegenden Anlagen, die jeweils in den Zuflussuntersuchungen beprobt worden sind, 19,65 Tonnen (Vorjahr 25,4 Tonnen). Die stark reduzierte Phosphorfracht aus Abwasserreinigungsanlagen ist im wesentlichen auf den niederschlagsarmen heissen Sommer im Berichtszeitraum zurückzuführen.

In Bezug auf die CSB-Fracht ergab sich gegenüber dem Vorjahr folgende Änderung: Die CSB-Restfracht lag bei rund 8320 Tonnen (Vorjahr 9295 Tonnen), im Mittel betrug die CSB-Konzentration 34,6 mg/l (Vorjahr 30,1 mg/l).

2. Fliessgewässer

Die Untersuchungen zur Feststellung des chemischen und biologischen Zustandes der Hauptfliessgewässer wurden im Berichtsjahr 2003 von den Ländern und Kantonen nach Massgabe nationaler Methoden fortgeführt. Die Befunde aus dem Jahr 2003 zeigen im Vergleich zu den Vorjahren insgesamt keine wesentliche Änderung des dokumentierten Standes. Obschon die Güteinstufung in den einzelnen Ländern und Kantonen nach unterschiedlichen Bewertungskriterien erfolgt, sind Gütedefizite nach wie vor an den Unterläufen der Zuflüsse Dornbirnerach, Lustenauer Kanal, Alter Rhein, Steinach, Salmsacher Aach und Schussen zu verzeichnen. In Ergänzung zu den üblichen Standardparametern wurden an ausgewählten Standorten in Bayern und Vorarlberg mit Untersuchungen von prioritären Schadstoffen begonnen.

Darüber hinaus wurden im Zuge der Bestandesaufnahmen nach der EU-Wasserrahmenrichtlinie für das Bearbeitungsgebiet Alpenrhein/Bodensee umfangreiche Erhebungen und Bewertungen durchgeführt. Zum Beispiel wurde bei den WRRL-relevanten Gewässern die vorhandenen nationalen Daten über die signifikante anthropogene Belastung (Durchgängigkeit, Wasserentnahmen und morphologischer Veränderung sowie Punktquellen und diffuse Quellen) zusammengeführt und dargestellt. Die Bestandesaufnahme der geographischen und naturräumlichen Verhältnisse im Bearbeitungsgebiet und ebenso der stofflichen und morphologischen Belastung der Gewässer ist in anschaulichen Arbeitskarten zusammengefasst worden. Ergänzt mit textlichen Beschreibungen liegt inzwischen der gesamte, gemäss den Vorgaben des Rheineinzugsgebiets erarbeitete Bericht zum Bearbeitungsgebiet vor.

3. Ländliches Areal

Die nachfolgenden Angaben und Grafiken basieren auf Daten, welche die Arbeitsgruppe Landwirtschaft/Umweltschutz der IBK erhoben hat.

Im Einzugsgebiet des Bodensees haben die Gesamt tierzahl sowie der gesamte Düngeranfall je Hektare landwirtschaftlicher Nutzfläche seit 1980 kontinuierlich abgenommen (Abb. 1 bis 3). Die Landwirtschaftsfläche, die nach biologischen/ökologischen oder anderen umweltschonenden Methoden bewirtschaftet wird, hat seit dem Jahre 2000 noch einmal leicht zugenommen (Abb. 4).

Aufgrund der aufgezeigten Entwicklung kann davon ausgegangen werden, dass sich der Nährstoffeintrag in den Bodensee aus der Landwirtschaft seit dem Jahr 2000 kaum verändert hat.

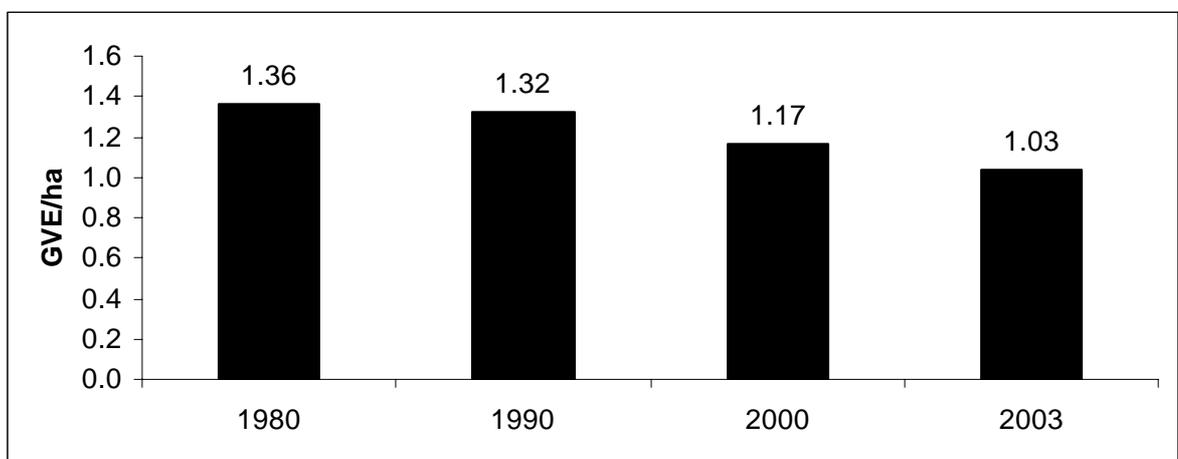


Abb. 1: Entwicklung des Düngeranfalls je Hektare landwirtschaftliche Nutzfläche (GVE/ha) im Bodensee-raum der IBK

1 Kuh = 1 Grossvieheinheiten (GVE), 1 Rind = 0.638 GVE, 1 Schwein = 0.131 GVE, 1 Huhn = 0.007 GVE (Basis für den GVE-Vergleich bildet der Phosphoranfall)

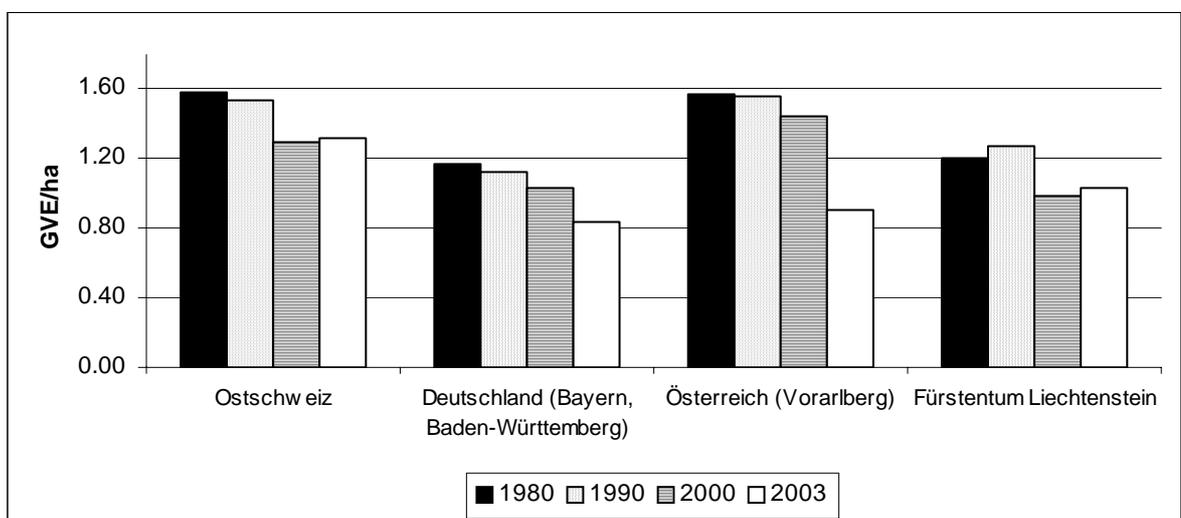


Abb.2: Entwicklung des Düngeranfalls je Hektare landwirtschaftliche Nutzfläche (GVE/ha) in den einzelnen Regionen der IBK

Abb. 3 zeigt den Tierbestand in den einzelnen IBK-Regionen im Jahr 2003 und in Abb. 4 ist die Entwicklung der landwirtschaftlichen Nutzfläche nach Bewirtschaftungsart im Bodenseeraum der IBK dargestellt.

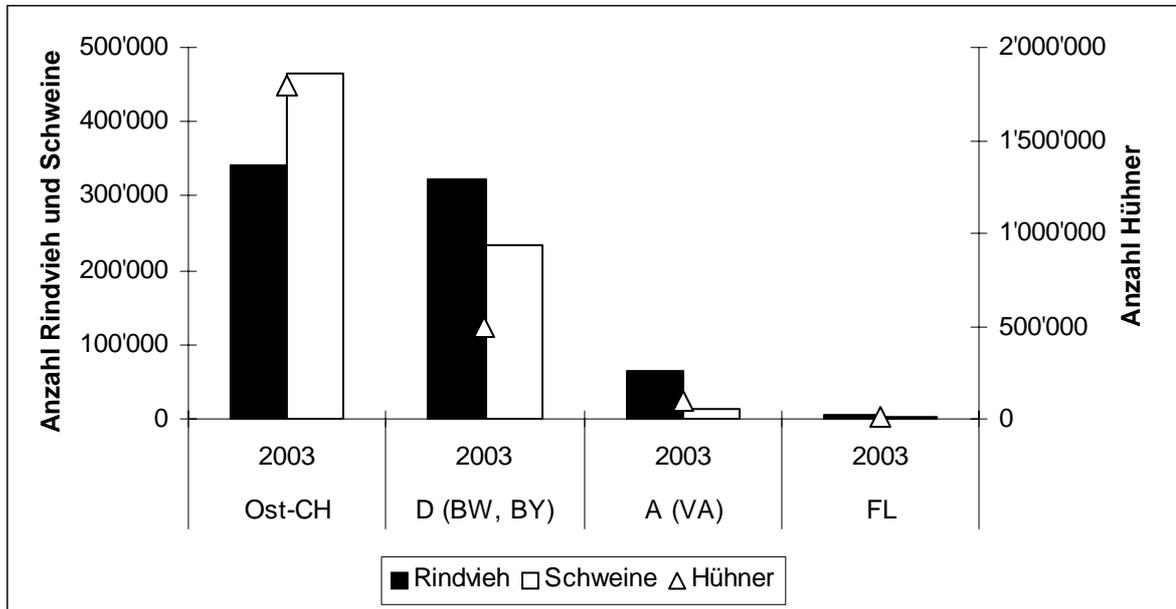


Abb.3: Tierbestand 2003 in den einzelnen Regionen der IBK

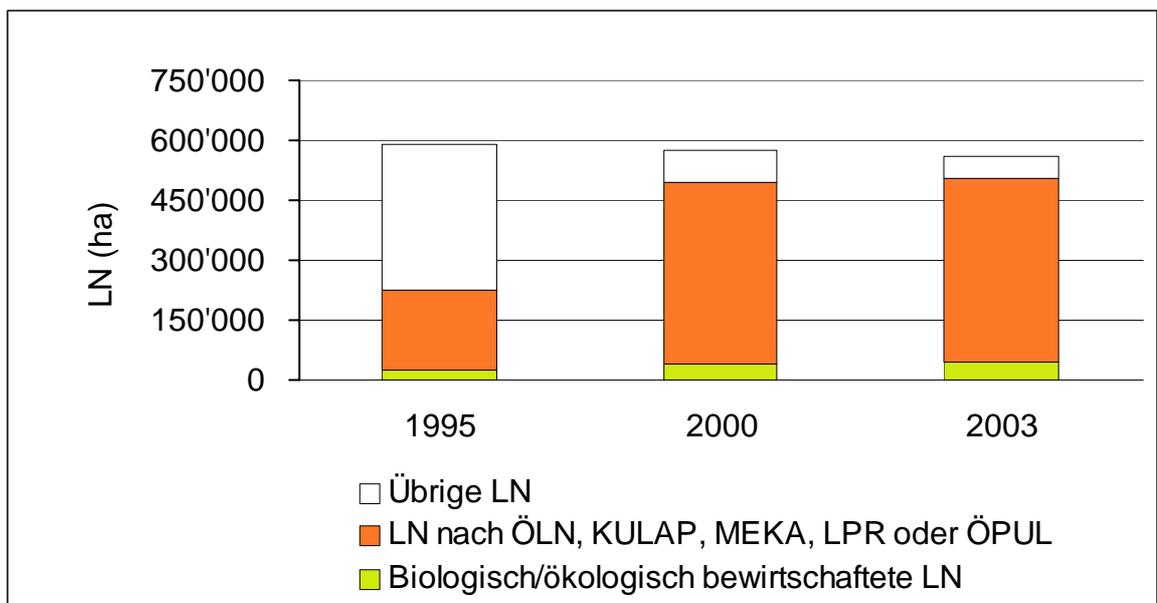


Abb. 4: Entwicklung der landwirtschaftlichen Nutzflächen (LN) nach Bewirtschaftungsart

ÖLN = Ökologischer Leistungsnachweis (CH), KULAP = Kulturlandschaftsprogramm (BY), MEKA = Markt-entlastungs- und Kulturlandschaftsausgleich (BW), LPR = Landschaftspflegerichtlinien (BW), ÖPUL = Österreichisches Programm für die Entwicklung des ländlichen Raumes

4. Abschätzung des Phosphoreintrags in den Obersee

Neben Phosphor aus direkt in den See eingeleiteten Abwässern aus dem Uferbereich wird der Phosphorgehalt des Sees entscheidend durch die gelösten Phosphorkomponenten aus den Zuflüssen geprägt.

a) Direkt einleitende Abwasserreinigungsanlagen

Der Eintrag von Phosphor in den Obersee aus den seeanliegenden Abwasserreinigungsanlagen (Espasingen, Uhdlingen, Immenstaad, Friedrichshafen, Eriskirch, Kressbronn, Lindau, Leiblachtal, Bregenz, Hofsteig, Altenrhein, Morgental, Romanshorn, Kesswil, Münsterlingen, Aachtal) konnte mit Hilfe der durchgeführten Abwasseruntersuchungen genau ermittelt werden. Er betrug im Jahr 2003 19,65 Tonnen. Dies entspricht gegenüber dem Vorjahr einer Verminderung um 5,75 Tonnen (zum Vergleich die Werte 1996/97: 30 Tonnen; 1995/96: 35 Tonnen).

b) Zuflüsse

Wie im Vorjahr standen auch im Jahr 2003 nur beschränkt Daten zur Ermittlung der Stofffrachten in den Bodenseezuflüssen zur Verfügung. Zur Abschätzung der dem Obersee zugeführten Jahresfrachten wurde deshalb wiederum auf die mathematisch-statistische Behandlung des Datenmaterials mittels „Eichkurven“ zurückgegriffen. Dabei wurde für das Aufstellen der „Eichkurven“ erneut das umfangreiche, in den Jahren 1995 bis 1997 genau ermittelte Datenmaterial verwendet.

In der Abbildung ist für die Zuflüsse Schussen, Seefelder Aach, Argen, Bregenzerach, Dornbirnerach und Alpenrhein jeweils die P-Konzentration gegen den Abfluss dargestellt. Liegen die neuen Befunde im Streufeld der alten Werte, so hat sich zwischen der letzten Zuflussuntersuchung und heute nur wenig geändert. Dann können die neuen Frachten mit den alten Eichungen und den neuen Abflusswerten abgeschätzt werden.

Bei den Werten aus Baden-Württemberg (Argen, Schussen und SeefelderAach) werden die Phosphat-Eichkurven miteinander verglichen. Eigentlich müssten die P_{fit} -Eichkurven einander gegenübergestellt werden. Nun haben sich aber diese Fliessgewässer in der Vergangenheit als "relativ harmlos" bezüglich der Sorption und Desorption der partikulären Stoffe erwiesen. Das Verhältnis von $\text{PO}_4\text{-P}$ zu P_{fit} bleibt annähernd konstant. Damit lassen sich Veränderungen auch anhand des Phosphats zeigen, welche sich dann sinngemäss auf die wirklich interessierende Fracht, den Phosphor im Filtrat, übertragen lassen.

Die Auswertungen in Bezug auf die Zuflüsse Argen, Seefelder Aach, Bregenzerach und Dornbirnerach ergeben, dass sich die 2003 erhobenen Daten innerhalb des bisherigen Streubereichs liegen. Dies bedeutet, dass die Frachten bei gleichen Abflüssen gleich geblieben sind. Bei der Schussen liegen die neuen Werte mehrheitlich in der unteren Hälfte des bisherigen Datenfeldes, teilweise sogar am untersten Rand. Daraus kann der Schluss gezogen werden, dass die im Jahr 2003 über diesen Zufluss dem Obersee zugeführte Phosphorfracht gesunken ist. Zu diesem Ergebnis können die seit einiger Zeit im Einzugsgebiet der Schussen unternommenen grossen Anstrengungen zur Sanierung der Abwasserbeseitigung im

ländlichen Raum beigetragen haben. Bei der Dornbirnerach liegen die im Jahr 2003 erhobenen Daten zwar innerhalb der bisherigen „Eichkurve“. Allerdings wird immer noch ein starker Verdünnungseffekt, d.h. ein steiler Anstieg der Konzentrationen bei geringen Abflüssen, festgestellt. Dies lässt darauf schließen, dass noch sanierbare Phosphorquellen vorhanden sein dürften. In diesem Zusammenhang ist festzuhalten, dass sich die Abwasserreinigungsanlagen Hohenems und Dornbirn im Berichtszeitraum im Umbau befanden.

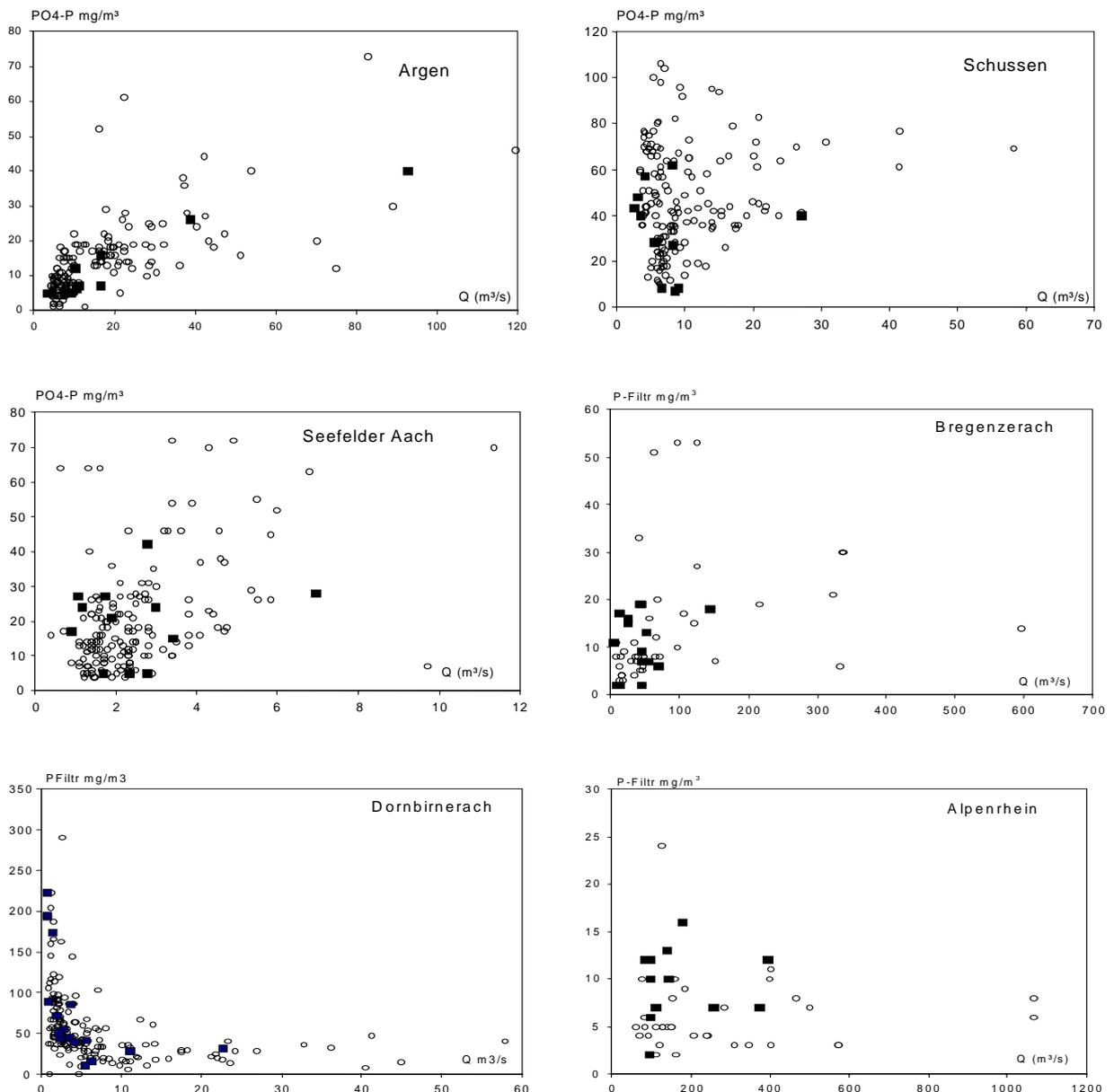


Abb. 5: Phosphorkonzentration einiger Bodenseezuflüsse in Abhängigkeit des jeweiligen Abflusses
(offene Kreise: Daten 1995 bis 1997; dunkle Quadrate: neue Daten 2003)

Die sehr grob geschätzte Fracht aus den Daten für den Gesamtphosphor im Alpenrhein beträgt 107 Tonnen (berechnet aus Mittelwert der Konzentrationen x Jahresabfluss). Eine Schätzung der Fracht an P_{filt} beträgt 53 Tonnen, was als Näherung dienen kann⁷⁾.

Zwar liegt die neueste Näherung noch innerhalb des Streubereichs der Methode. Die Werte liegen aber auffällig nahe am oberen Rand der Punktwolke. Präzise Aussagen zur Phosphorfracht des Alpenrheins setzen eine dichtere Datengrundlage als die vorhandenen zwölf Datensätze je Jahr voraus.

c) Gesamtabschätzung der Phosphorfracht

Aus dem erneut gewählten methodischen Ansatz zur Abschätzung der Phosphorfrachten in den Zuflüssen ergibt sich, dass die Frachten im Berichtszeitraum innerhalb des bisherigen Streubereichs liegen. Ausserordentliche Ereignisse sind nicht erkennbar. Das Jahr 2003 war jedoch vergleichsweise trocken und der Sommer heiss. Tatsächlich betrug die Niederschlagsmenge im Jahr 2003 bei der Messstelle Vaduz beispielsweise insgesamt 754 mm und war damit etwa 20 Prozent tiefer als im langjährigen Mittel. Auf Grund dieses Sachverhaltes und in Verbindung mit dem beschränkten Datenmaterial, das zur Auswertung zur Verfügung stand, wird auf eine Gesamtabschätzung der Phosphorfracht verzichtet. Immerhin darf für 2003 davon ausgegangen werden, dass die dem Obersee zugeführte Gesamtfracht eher abgenommen hat. Dafür spricht auch die Reduktion des Phosphorgehaltes im See. Insgesamt gilt indes, dass für eine präzisere Abschätzung des Phosphoreintrages in den Bodensee dichtere Datengrundlagen erforderlich sind.

5. Abschätzung der Ausflussfrachten

Aus den Oberflächenwerten von Fischbach-Uttwil und von Berlingen lässt sich berechnen, wie viel Phosphor aus dem Bodensee hinausgeflossen ist. Folgende Frachten wurden berechnet:

Jahr 2003	Obersee (Konstanz)	Untersee (Stein a. Rhein)
Q (Mio. m ³)	9898	10082
P _{ges} (Tonnen)	78	100

7) Zum Vergleich: 1996 betrug die Jahresfracht 35,2 und 1997: 45,3 Tonnen P (jeweils ohne Schweb, also P_{filt})

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