

Bericht Nr. 31

Limnologischer Zustand des Bodensees

Jahresbericht Januar 2003 bis März 2004

-Untersuchungsprogramm Freiwasser-

-Bericht des Fachbereichs Einzugsgebiet über das Jahr
2002-

VORWORT

Der vorliegende Bericht der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB) enthält die Ergebnisse der regelmäßigen limnologischen Freiwasseruntersuchungen des Bodensees im Jahr 2003 / 2004. 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
 Dr. 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

Die Grundlage für den Bericht bildet das Langzeit-Untersuchungsprogramm der Kommission, an dessen Durchführung die folgenden Institutionen mitgewirkt haben:

Umweltinstitut des Landes Vorarlberg in Bregenz:
 Untersuchungen des Chemismus in der Bregenzer Bucht.

Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EAWAG), Dübendorf, Fachabteilung Hydrobiologie/Limnologie:
 Datenverarbeitung.

Amt für Umwelt des Kantons Thurgau, Frauenfeld:
 Terminfahrten, Messungen und Untersuchungen des Chemismus und des Phytoplanktons im Untersee-Rheinsee.

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

Physikalisch-chemische Untersuchungen des Überlinger Sees an der Probenahmestelle zwischen Überlingen und Wallhausen wurden von der Arbeitsgemeinschaft Wasserwerke Bodensee-Rhein (AWBR) und vom

Technologiezentrum Wasser (TZW), Karlsruhe durchgeführt. Die Ergebnisse werden jeweils in den AWBR-Jahresberichten veröffentlicht und sind daher hier nicht enthalten.

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

Inhalt

	Abb.	Tab.	Seite
Einleitung			4
Zustandsbeschreibung für das Seejahr			5
	1		15
Langfristige Entwicklung von			
Phosphor (Obersee), Sauerstoff (Obersee), Chlorid (Obersee), Stickstoff (Obersee), Phytoplankton (Obersee), Zooplankton (Obersee), Phytoplankton (Untersee, Zellersee)	2-5	1	57 16-19
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	61 20-35
Untersee			
Zellersee Thermik, Sauerstoff, Orthophosphat, Nährstoffinhalte, Eisen, Andere Phosphorverbindungen, Nitrat, Nitrit, Ammonium, Silikat, Anorganische Kohlenstoffverbindungen, Phytoplankton	32-51	4	65 36-46
Rheinsee Thermik, Sauerstoff, Orthophosphat, Nährstoffinhalte, Eisen, Andere Phosphorverbindungen, Nitrat, Nitrit, Ammonium, Silikat, Anorganische Kohlenstoffverbindungen, Phytoplankton	52-69	5	67 47-56
Vergleich des limnologischen Zustandes an verschiedenen Untersuchungsstationen			
Obersee		3	63
Untersee		6	69
Anhang			
Bericht des Fachbereichs Einzugsgebiet über das Jahr 2002			71
Auskünfte			77

EINLEITUNG

Der Bericht zum Seejahr 2003 / 2004 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 Seevolumenta berechnet, die sich aus der Tiefenvermessung von 1990 ergeben haben. Quervergleiche zwischen verschiedenen Obersee-Untersuchungsstationen werden nur für einige ausgewählte Parameter durchgeführt. Seit Januar 2000 werden die Untersuchungen nach dem überarbeiteten Programm für die Langzeituntersuchungen durchgeführt, wie es im Anhang des Grünen Berichtes Nr. 26 beschrieben wurde.

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

Die Datentabellen mit den gesamten Meßwerten für den Freiwasserbereich (Physik, Chemie, Phytoplankton) wurden nach Archivierung auf Datenträgern bei der Eidgenössischen Anstalt

für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EAWAG) und beim Institut für Seenforschung (ISF) der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, den damit direkt befassten Stellen zugestellt. Nachdem die datentechnischen Umstrukturierungen im Jahr 2001 abgeschlossen werden konnten, werden die Daten der IGKB nun in einer zentralen Datenbank BOWIS am Institut für Seenforschung archiviert.

Das jeweilige limnologische Zustandsbild des Freiwassers wird stark durch die Witterungserscheinungen geprägt. Zustandsänderungen von Jahr zu Jahr dürfen daher nicht von vornherein als Ausdruck einer Entwicklungstendenz interpretiert werden. Dazu sind längere Zeitreihen in Form von Trendkurven notwendig. Dies ist beim Vergleich der Verhältnisse aufeinanderfolgender Jahre zu beachten. Zur langjährigen chemischen und biologischen Entwicklung im Freiwasser des Bodensees wird auf die Blauen Berichte Nr.37 (1987: Crustaceenplankton), 39 (1989: Phytoplankton) und 48 (1998: chemische Parameter im Bodensee-Obersee) verwiesen.

ZUSTANDSBESCHREIBUNG FÜR DAS SEEJAHR 2003/2004

Bodensee-Obersee

Nach zweijähriger Stagnation bei 12 mg/m³ ging im Seejahr 2003/04 die Phosphorkonzentration auf 10 mg/m³ zurück. Der Gehalt an anorganischem Stickstoff - im wesentlichen Nitrat - nahm von 0,94 auf 0,91 g/m³ geringfügig ab. Die Biomasse des Phytoplanktons lag 2003 mit 9,2 g/m³ deutlich unter dem Vorjahreswert (13,0 g/m³).

Die mittleren Sauerstoffgehalte in 200-254 m Tiefe waren von Januar 2003 bis Februar 2004 stets höher als die entsprechenden Monatswerte des Vorjahres. Lediglich Anfang März 2004 wurden aufgrund einer unvollständigen Durchmischung geringere Werte als 2003 gemessen. Unmittelbar über Grund in 254 m Tiefe lag das herbstliche Sauerstoffminimum in 2003 mit 6,7 g/m³ praktisch auf dem Niveau des Vorjahres (6,8 g/m³).

Die **hydrologische Situation** wurde durch den extrem warmen Sommer 2003, den relativ kalten vorangegangenen Winter und den meteorologisch lang anhaltenden, mäßig kalten Winter 2003/2004 geprägt.

Die Abkühlungsperiode setzte bereits stärker im Oktober 2003 ein. Dabei trat schon der erste Seefrosttag, d.h. ein Tag mit einer mittleren Lufttemperatur unter 0°C, ein. Im Monatsmittel der Lufttemperatur wich dieser kalte Monat Oktober um -2,6°C vom dreißigjährigen Monatsmittel der Seejahre 1973/74 bis 2002/03 ab. Es wurden im Verlauf des Winters ab Anfang Dezember 2003 bis zum 12.3.2004 noch sechs weitere

ausgeprägte Auskühlungsphasen verzeichnet. Hierdurch wurde das Tiefenwasser trotz des Rekordsommers 2003 insgesamt weitgehend erneuert. Die durch den kalten Vorjahreswinter verursachte weitreichende Erneuerung des Tiefenwassers am Beginn des vergangenen Seejahres begünstigte diese Entwicklung. Die für die Auskühlung des Sees maßgebliche Anzahl der Seefrosttage betrug 37 und überstieg den Mittelwert für die 15 Seejahre bis 1999/2000 nur um zwei Tage. Während der sechs intensiven Auskühlungslagen herrschten jeweils mehrere zusammenhängende Seefrosttage, wodurch schließlich gegen Ende des Seejahres sehr kaltes Oberflächenwasser vom Rande her bis in die tiefsten Schichten eindrang.

Die maximale gemessene Oberflächentemperatur in Seemitte wurde mit 26,1°C am 13.8.2003 festgestellt. Das Maximum der Wassertemperatur übertraf den Vorjahreswert um +3,6°C, der mit 22,5°C bereits im Juni 2002 erreicht wurde. Ein sekundäres Maximum trat mit 24,2°C bereits am 30.6.2003 ein, weil im Juni 2003 durchgehend Sommertage mit einer maximalen Lufttemperatur von 25°C und mehr herrschten. Zwölf Tage davon waren Tropentage mit einem Maximum von 30°C und höher. Bis auf Oktober und Dezember übertrafen die Monatswerte der Lufttemperatur von April bis Jahresende 2003 die dreißigjährigen Monatswerte von 1973 bis 2003. Die positiven Abweichungen waren im Juni mit +6,4°C und im August mit +4,6°C erheblich.

Infolge des ungewöhnlich kalten Oktobers 2003 sank die Oberflächen-

temperatur des Sees bis zum 5.11.2003 relativ weit auf 9,3°C ab. Die Abkühlung im Vorjahresmonat erreichte erst am 12.11.2002 den Wert von 9,5°C. Insgesamt ist festzustellen, daß die während des Sommers stärker erwärmte Deckschicht nicht mächtiger war als im Vorjahr. Dies ist wesentlich auf die mit der erhöhten Oberflächentemperatur einhergehende Stabilitätszunahme zwischen Epi- und Metalimnion zurückzuführen.

Von den Wintermonaten waren nur die Monatswerte der Lufttemperatur im Dezember 2003 und im März 2004 niedriger als das dreißigjährige Monatsmittel bis 2003, wobei der Wert für den Monat März mit -1,0°C relativ stark abwich. Der Jahreswert der Lufttemperaturen im Seejahr 2003/2004 betrug 10,8°C und übertraf den dreißigjährigen Mittelwert von 9,6°C der Seejahre von 1973/74 bis 2002/03 um +1,2°C. Im selben dreißigjährigen Vergleich war die Erhöhung des Jahreswertes für die Sonnenscheindauer im vergangenen Seejahr um 1,1 h/d beträchtlich.

Das Minimum der Oberflächentemperatur des Sees wurde am 12.3.2004 mit 4,6°C verzeichnet und unterschritt das im Vorjahr schon drei Wochen früher eingetretene Minimum um 0,2°C.

Bis Ende März 2004 entwickelte sich nach mehrtägiger geringer Erwärmung die neue Deckschicht auf 6,1°C Oberflächentemperatur. Die Deckschicht war zweigeteilt in eine Oberflächenschicht, die bis 9 m Tiefe reichte und auf 5,1°C abnahm und in eine Unterschicht, in der die Temperatur durch konvektive Vermischung nur noch schwach bis auf 4,7°C an der Untergrenze in 62 m Tiefe zurückging.

Das Hypolimnion war vom Beginn des Seejahres bis Ende Januar 2004

schwach geschichtet. Es erfuhr bei der starken Abkühlung der Deckschicht im Oktober 2003 durch erhöhten Wärmeaustausch über das Metalimnion eine bis zur größten Tiefe durchgehende geringe Erwärmung. Die intensiven Auskühlungsphasen im Dezember 2003 bewirkten in gleicher Weise eine relativ starke Erhöhung des vertikalen Temperaturverlaufs bis 18.12.2003, die bis 217 m Tiefe durchgriff. Die Schicht darunter bis zur größten Tiefe war davon nicht betroffen. Gegen Ende Januar 2004 war das Hypolimnion, dessen Obergrenze bei 180 m Tiefe lag, bis auf eine 15 m mächtige bodenaufliegende Schicht fast homogen. Es war durch ein 40 m mächtiges Metalimnion von der erst bis 141 m konvektiv vorgedrungenen Deckschicht getrennt. Mitte Februar hatte sich im Hypolimnion durch drei voneinander abgehobene schwächere Einschübe von randlichem Kaltwasser wieder eine durchgehend schwache Schichtung eingestellt. Die letzte intensive Auskühlungsphase während der ersten Märzhälfte 2004 brachte eine erhebliche Vertiefung der Deckschicht bis auf 170 m am 10.3.2004 mit sich. Daran war ein ausgeprägter Einschub von kälterem Oberflächenwasser in der Deckschicht zwischen 73 m und 120 m Tiefe beteiligt. Zwei Tage später erreichten starke Zufuhren kalten Wassers vom Rande her auch das Hypolimnion im Seemitte-Bereich. Mit einem 33 m mächtigen, im Minimum 4,47°C kalten Einschub drang die Erneuerung des Tiefenwassers bis in 190 m Tiefe vor. Unterhalb 238 m strömte mit einer Geschwindigkeit von 4 km/d 4,42°C kaltes bodenauflegendes Wasser aus östlicher Richtung ein. Wegen des zwischen 190 und 230 m Tiefe noch verbliebenen, überwiegend alten Hypolimnionwassers erfolgte jedoch nur eine teilweise Auffrischung.

Bis Ende des Seejahres stellte sich infolgedessen unterhalb von 160 m

Tiefe wieder ein bis zum Boden durchgehend schwach geschichteter Aufbau ein. Seine vertikale Ungleichförmigkeit zeigte an, daß die unteren Schichten mit Wasser aus der Deckschicht und deren kälteren Randgebieten zwar in größerem Ausmaß neu versorgt, aber noch nicht vollständig durchmischt worden waren.

Die Temperaturen über Grund stiegen von dem Vorjahresminimum von 4,44°C Anfang März 2003 monoton bis Mitte Februar 2004 auf 4,63°C an. Als Folge des bodenaufliegenden Kaltwassereinschubs von 4,42°C Mitte März 2004 erreichten sie bis Ende des Seejahres 4,47°C. Dieser Wert lag knapp unter dem Anfangswert von 4,51°C von Mitte April 2003.

Die Konzentration des **Gesamtposphors** im Rohwasser betrug im Frühjahr 2004 während der Monate Februar bis April im Mittel 10 mg/m³ (Abb. A, Konzentration während der Vertikalzirkulation). Damit nahm die Phosphorkonzentration während der Zirkulationsphase, nach einer zweijährigen Stagnation, weiter ab (2002 und 2003: 12 mg/m³; 2001: 13 mg/m³; 2000: 14 mg/m³). Erstmals seit Mitte der fünfziger Jahre wurde somit ein Wert erreicht, der nach den Ergebnissen der Modellrechnung (Blauer Bericht 54), auch bei schlechter winterlicher Durchmischung des Sees eine ausreichende Sauerstoffversorgung über Grund ermöglicht.

Der **Orthophosphat - Phosphor** lag von Ende April bis Anfang Dezember 2003 in den Messtiefen von 0 bis 30 m, und ab August bis in Tiefen von 50 m, überwiegend unter 2 mg/m³. Das volumengewichtete Mittel von 0 bis 30 m blieb in diesem Zeitraum mit 1,1 mg/m³ unter dem Wert des Vorjahres (1,3 mg/m³).

Der **anorganische Stickstoff** (Nitrat-,

Nitrit- und Ammoniumstickstoff) mit Nitrat als Hauptkomponente fiel in 2003 im Jahresmittel mit 0,91 g/m³ geringfügig unter den Wert des Vorjahres (2002: 0,94 g/m³). Ein seit 1995 erkennbarer leichter Abwärtstrend hat sich somit auch 2003 fortgesetzt (Abb. C).

Chlorid als Indikator vielfältiger Salzbelastungen ergab mit 5,0 g/m³ im Jahresmittel 2003 denselben Wert wie 2001 und 2002 (Abb. C).

Die **Sauerstoffgehalte** lagen von Januar 2003 bis Februar 2004 im tiefen Hypolimnion des Obersees von 200 - 254 m Tiefe im Mittel um 0,8 g/m³ über jenen des Vorjahres. Damit hat sich nach 2002 die Sauerstoffversorgung in den großen Seetiefen erneut verbessert.

Der gesamte Sauerstoffinhalt des Obersees lag in den Monaten März und April 2004 mit 522 000 Tonnen etwas über dem Vorjahr (518 000 Tonnen).

Die niedrigste einen Meter über Grund gemessene Sauerstoffkonzentration betrug 2003 6,7 g/m³. Sie wurde Anfang Oktober erreicht. Die seit 1995 relativ hohen Minimalwerte von regelmäßig über 6 g/m³ 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 2003 im Jahresmittel eine Biomasse von 9,2 g/m² (0-20m). In den Vorjahren wurden folgende Werte festgestellt. 2002: 13,0 g/m², 2001: 6,7 g/m², 2000: 8,9 g/m², 1999: 9 g/m², 1998: 12,6 g/m², 1997: 13,6 g/m² und 1996: 13,4 g/m² (0-20 m). Der kontinuierliche Abfall der Gesamtbiomasse seit 1997 war im Jahr 2002 durch einen Anstieg unterbrochen worden; im

Jahr 2003 sank die Biomasse wieder ab und liegt damit ungefähr auf Höhe des Durchschnitts der letzten 10 Jahre. Das kann als Stabilisierung der Produktion im Bodensee-Obersee gedeutet werden. Der in den letzten Jahren mit Ausnahme des Jahres 2002 beobachtete Trend zu niedrigeren Frühjahrsblüten setzte sich 2003 wieder fort. Die Frühjahrsblüte trat 2003 rund einen Monat später ein als im Vorjahr und erreichte Anfang Mai lediglich $16,3 \text{ g/m}^2$. Das Klarwasserstadium dauerte von Mitte Mai bis Anfang Juni länger als in den Vorjahren. Eine Sommerblüte begann Ende Juni und erreichte eine Wachstumsspitze Mitte Juli mit $16,5 \text{ g/m}^2$. Die Biomasse sank Anfang August bis auf 9 g/m^2 und stieg dann wieder kontinuierlich an zu einem sehr starken Herbstmaximum, dessen Höhepunkt Ende September mit $31,8 \text{ g/m}^2$ erreicht wurde.

Die zentrischen Kieselalgen traten 2003 wie bereits 2002 stark in den Hintergrund und erreichten nur im April und von Ende Juni bis Mitte August nennenswerte Anteile an der Biomasse. Dominierend waren *Cyclotella cyclopuncta* als ausgesprochener Oligotrophierungsanzeiger und *Stephanodiscus neoastraea* als euryöke Form (Bezeichnung für Organismen, die aufgrund hoher Anpassungsfähigkeit unter verschiedenen Umweltbedingungen leben können) sowie *Cyclotella bodanica*, ebenfalls eine oligotrophente Form. Die pennaten Kieselalgen traten während des Sommer- und des Herbstmaximums stark in den Vordergrund und bildeten dort den größten Teil der Biomasse, wobei vor allem *Synedra*, *Fragilaria*, *Asterionella* und *Tabellaria* dominierten. Cryptomonaden erreichten das ganze Jahr über beträchtliche Anteile an der Biomasse und dominierten das Planktonbild während der zweiten Hälfte der Frühjahrsblüte und ab Oktober. Die Dinoflagellaten bevorzugten das Frühjahr mit *Gymnodinium*

helveticum sowie den Sommer und den Herbst mit *Ceratium hirundinella* und *Gymnodinium helveticum*. Die Chrysophyceen erschienen hauptsächlich während der Frühjahrsblüte mit *Erkenia* sowie *Pseudokephyrion* und im Sommer mit verschiedenen oligotrophenten Arten wie *Mallomonas*, *Ochromonas* und *Dinobryon*. Coccale Grünalgen, die höhere Nährstoffkonzentrationen bevorzugen, erreichten wie bereits 2002 das ganze Jahr über nur noch einen unbedeutenden Anteil an der Biomasse, dagegen spielten fädige Blaualgen wie *Anabaena* und *Oscillatoria* sowie coccale Blaualgen wie *Aphanothece*, *Microcystis* und *Aphanocapsa* von Anfang September bis Anfang Oktober wieder eine größere Rolle als in den Vorjahren.

Der Jahresmittelwert des **Crustaceenplanktons** liegt bei ca $740\,000 \text{ Ind/m}^2$ (0-100m) und ist somit wieder deutlich höher als der Jahresmittelwert 2002, der bei $500\,000 \text{ Ind/m}^2$ (0-100m) lag.

Die Individuendichten der Daphnien stiegen bis Mitte Juni kontinuierlich an. Das Individuenmaximum lag mit $250\,000 \text{ Ind/m}^2$ (0-100 m) etwas niedriger als im Vorjahr ($290\,000 \text{ Ind/m}^2$ (0-100 m)). Im Gegensatz zum Vorjahr folgte auf die Reduzierung der Individuendichte im Juli bereits im August ein neuerliches Maximum, bei dem die Individuendichte ebenfalls bei $250\,000 \text{ Ind/m}^2$ (0-100 m) lag. Von September bis November lagen die Werte bei ca $125\,000 \text{ Ind/m}^2$ (0-100 m). Das Jahresmaximum der Daphnien lag im Dezember, die Individuendichte betrug fast $300\,000 \text{ Ind/m}^2$ (0-100 m).

Im Gegensatz zum Vorjahr lagen die Bestände der übrigen Cladoceren (*Bosmina*, *Bythotrephes longimanus* und *Leptodora kindtii*) im Frühjahr ungewöhnlich hoch, was fast ausschließlich auf den hohen Individuen-

dichten der Bosminen beruhte: Im April ca. 180 000 Ind/m² (0-100 m), im Mai ca 190 000 Ind/m² (0-100 m). *Diaphanosoma brachyurum* trat wieder im Spätsommer auf, die Individuendichten lagen bei ca. 2000 Ind/m² (0-100 m). *Bythotrephes longimanus* und *Leptodora kindtii* konnten von Juni bis Dezember festgestellt werden. Die maximalen Individuendichten der beiden Raubcladoceren lagen bei 1200 (*B. longimanus*) bzw. bei 1600 Ind/m² (0-100 m) (*L. kindtii*).

Eudiaptomus gracilis zeigte keine ausgeprägten saisonalen Änderungen seiner Abundanz. Die Werte stiegen von Januar bis Juni leicht an und fielen dann bis September wieder ab. Die Individuendichten lagen unter 5000 (adulte Tiere) bzw 7500 Ind/m² (0-100 m) (Copepodite). Auch bei *Eudiaptomus gracilis* lag das Maximum der Individuendichte im Dezember: Copepodite 200 000 Ind/m² (0-100 m), Adulte 90 000 Ind/m² (0-100 m).

Wie im Vorjahr dominierte bei den cyclopoiden Copepoden *Mesocyclops leuckarti*. Die Individuendichten der großen Arten *Cyclops vicinus* und *Cyclops abyssorum* lagen deutlich niedriger. Anders als bei den übrigen Zooplanktongruppen sanken die Individuendichten der Copepodite von 150 000 Ind/m² (0-100 m) im Januar auf 45 000 Ind/m² (0-100 m) im Juni ab (und stiegen dann bis Dezember wieder auf 280 000 Ind/m² (0-100 m) an. Die Individuendichte der adulten Tiere war bis Juli mit 50 000 Ind/m² (0-100 m) niedrig und stieg bis zu den Sommermonaten August (150 000 Ind/m² (0-100 m)) und September (200 000 Ind/m² (0-100 m)) auf maximale Werte an, sank im Oktober stark ab (3000 Ind/m² (0-100 m)) und stieg dann nochmals bis Dezember auf 100 000 Ind/m² (0-100 m) an.

Bei der **Gesamtbakterienzahl** - bestimmt durch fluoreszenzmikroskopische Direktzählung – bewegten sich die Werte im Berichtsjahr auf einem ähnlichen Niveau wie in den Vorjahren mit auch weitgehend vergleichbarem saisonalem Verlauf. Dabei setzte sich der seit 1997 beobachtete Trend mit im Vergleich zu den Jahren 1980 – 1996 geringer ausgeprägten Frühjahrs- und Sommermaxima fort. In der Produktionszone (0 -10 m) blieben die Werte bis zum März 2003 auf niedrigem winterlichen Niveau. Ein erster Anstieg wurde im April 2003 mit Werten über 3×10^6 Bakterien/ml beobachtet. Nach kontinuierlichen weiteren Anstiegen im Mai und Juni 2003 auf Werte über 5×10^6 Bakterien/ml wurde wie im Vorjahr im Juli und August ein leichter Abfall der Bakteriendichten auf $3-4 \times 10^6$ Bakterien/ml beobachtet, dem im September nochmals ein leichter Anstieg auf Werte über 4×10^6 Bakterien/ml folgte. Auch im Oktober wurden noch Werte über 4×10^6 Bakterien/ml erreicht. Erst ab November wurden Dichten unter 3×10^6 Bakterien/ml festgestellt. Dabei waren die Dichten in den gesamten oberen 30 m gleichmäßig verteilt und zeigten bis Ende des Jahres stets deutlich höhere Werte als in den Tiefenwasserschichten unterhalb 30 m Wassertiefe. Diese wiesen wie immer mit relativ geringen Schwankungen ganzjährig Werte im Bereich von 1×10^6 Bakterien/ml auf. Die darauf folgende Phase winterlicher Minimalwerte zeigte bis Februar 2004 immer noch leicht erhöhte Werte in den oberen Wasserschichten (< 30 m Tiefe), eine annähernd vertikale Gleichverteilung auf dem sonst üblichen niedrigen Winterniveau wurde erst im März 2004 beobachtet.

Für die seit 1999 an der Station Fischbach-Uttwil durchgeführte monatliche Erhebung der 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. Allerdings fielen die Zahlen im Vergleich zum Vorjahr leicht höher aus. Dennoch wurden bei 53 % der Werte Trinkwassergrenzwerte (1 Keim/100 ml) nicht überschritten und 83 % der Werte lagen unterhalb der für Oberflächengewässer immer noch als sehr gering einzustufenden Belastung von 10 Keimen/100 ml. Das leicht erhöhte Belastungsniveau 2003 steht auf den ersten Blick im scheinbaren Widerspruch zu dem Befund, dass die Bäder am See im trockenen Jahrhundert-sommer 2003 insgesamt deutlich niedrigere Belastungswerte aufwiesen als in den Vorjahren. Der Widerspruch löst sich jedoch auf, wenn man die Zeitpunkte der Belastungsspitzen betrachtet: solche waren nur im Januar und besonders deutlich im Oktober 2003 festzustellen, während die Monate von April bis September (mit Ausnahme von zwei leicht erhöhten Einzelwerten Ende Juni) durchwegs sehr niedrige Belastungswerte im Bereich der Nachweisgrenze der Methode gefunden wurden. Die erhaltenen vertikalen Verteilungsbilder unterstreichen wieder das Potenzial dieser Keimgruppe als Indikator für die Einschichtung belasteten Flusswassers, da im geschichteten See stets nur Belastungsspitzen in den oberen Wasserschichten gefunden wurden.

B o d e n s e e - U n t e r s e e

Die **Phosphorkonzentration** - bestimmt als Gesamtphosphor im Rohwasser - blieb 2003 im Rheinsee mit einem Jahresmittel von 12 mg/m³ gegenüber 2002 konstant (2001: 13 mg/m³). Auch

im Zellersee blieb der Wert mit 19 mg/m³ konstant (2001: 20 mg/m³).

Der Inhalt an **anorganischem Stickstoff** (Nitrat-, Nitrit- und Ammoniumstickstoff) mit Nitrat als Hauptkomponente nahm 2003 im Rheinsee geringfügig auf 0,80 g/m³ ab (2002: 0,85 g/m³; 2001: 0,83 g/m³). Im Zellersee ging der Wert auf 0,85 g/m³ zurück (2002: 0,96 g/m³).

Die **Sauerstoffsituation** hat sich 2003 im Rheinsee gegenüber dem Vorjahr etwas verbessert. Im Rheinsee wurde Ende Oktober noch 1,3 g/m³ in Seebodennähe gemessen. Im Vorjahr waren die Minimalkonzentrationen Ende August mit 0,1 g/m³ und Ende Oktober mit 0,6 g/m³ deutlich geringer. Im Zellersee, der bis 1992 über Jahrzehnte hinweg einen zeitweiligen totalen Sauerstoffschwund aufwies, wurde auch 2003 bei allen Messungen ein geringer Sauerstoff-Restgehalt gemessen. Der niedrigste Wert lag im September bei 0,4 g/m³. Im Jahr davor wurde ein Minimalwert von 0,7 g/m³ jeweils im August und September gemessen.

Das **Phytoplankton** stieg 2003 im Zellersee wieder an und erreichte mit 16,26 g/m² einen erheblich höheren Wert als in den Vorjahren 2002 und 2001 mit 12,5 g/m² (0-20m Tiefe). Mit Ausnahme des Maximums im Jahr 1999 (25,8 g/m²) lagen die Biomassen seit 1992 auf relativ gleich bleibender 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).

Die in den Vorjahren 2002 und 2001 beobachtete Spätwinterblüte fiel 2003 vollständig aus, was auf das kalte Winterwetter zurückzuführen ist. Die Frühjahrsblüte erreichte ihr Maximum

Anfang März mit einem Maximalwert von 29,1 g/m²; die Biomasse sank allmählich ab und erreichte Mitte Mai ein Minimum mit 6,4 g/m². Diesem wenig ausgeprägten Klarwasserstadium folgte ein kurzer Wiederanstieg der Biomasse und ein darauf folgendes Absinken auf 7,5 g/m²; es folgte wieder ein Anstieg Mitte Juli auf 18,3 g/m² und ein weiteres Absinken der Biomasse auf 14,6 g/m². Das Jahresmaximum wurde wie im Obersee im September mit 49,8 g/m² erreicht.

Wie schon im vergangenen Jahr dominierte *Cyclotella cyclopuncta* das Spätwinterplankton und die Frühjahrsblüte. Daneben erreichte *Stephanodiscus neoastraea* beträchtliche Anteile. Die große oligotrophente Art *Cyclotella bodanica* trat ebenfalls auf. Die pennaten Kieselalgen traten während der abgehenden Frühjahrsblüte in Erscheinung, daneben auch im Sommer, vor allem aber während des Jahresmaximums im September, wobei vor allem *Synedra* dominierte. Cryptomonaden erreichten im Unterschied zum Obersee erst ab der Frühjahrsblüte maßgebliche Anteile an der Biomasse; sie dominierten das Planktonbild im Spätherbst und Frühwinter 2003. Die Dinoflagellaten traten ab April in messbaren Anteilen auf; ihr Maximum erreichten sie im Mai und während des Sommers, wobei hier vor allem *Gymnodinium helveticum* und *Peridinium aciculiferum* beobachtet wurden. Die Chrysophyceen erschienen ab April mit *Erkenia* und im Sommer mit *Ochromonas*. Grünalgen traten im Gegensatz zum Obersee stärker ins Gewicht; dabei hatten *Dictyosphaerium* und *Monoraphidium* den größten Anteil. Während des Frühjahrsmaximums trat die fädige Blaualge *Oscillatoria trichoides* stark in Erscheinung und dominierte kurzzeitig das Planktonbild. Ab August bis in die Wintermonate wurden *Planktothrix agardhii* und *Aphanizomenon flos-*

aquae mit größeren Anteilen beobachtet.

Gesamtbewertung des Seezustandes

Die gute **Sauerstoffversorgung** der grundnahen Wasserschichten dokumentiert auch 2003 die langfristig günstige Entwicklung im Zustand des Freiwassers des Bodensee-Obersees.

Der **Phosphorgehalt** - bestimmt als Gesamtphosphor während der Zirkulationsperiode von Februar bis Anfang April - hat in 2004 auf 10 mg/m³ abgenommen. Nach kurzer Stagnation in 2002 und 2003 bei 12 mg/m³ 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 Konzentrationsniveau von 0,9 bis 1,0 g/m³. Seit Mitte der neunziger Jahre wird jedoch ein leichter Abwärtstrend sichtbar (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.

Klimatische Faktoren und die Intensität der pflanzlichen Produktion bestimmen die Höhe des für die Ökologie des Sees wichtigen Sauerstoffgehalts im tiefen Seebereich. Obwohl in 2003 eine geringere Gesamtbiomasse als 2002 gefunden wurde, blieb der minimale Sauerstoffgehalt am Seegrund wahrscheinlich witterungsbedingt leicht unter dem Wert des Vorjahres. Dieses Ergebnis zeigt, dass einfache Ursache-Wirkungs-Beziehungen nur innerhalb gewisser Grenzen für Prognosen

tauglich sind.

Nach wie vor spielen in der **Phytoplankton-Zusammensetzung** Arten ohne eine Indikatorfunktion, so genannte Ubiquisten, eine wichtige Rolle. Vor allem während der Frühjahrsblüte, während des Herbstmaximums und während der Spätherbst- und Frühwinterpopulation können diese Ubiquisten beträchtliche Anteile an der Gesamtbiomasse erreichen. Insbesondere die Cryptophyten, die von Mai bis Juni und ab Oktober dominierten, sind ein hervorragendes Futter für die Primärkonsumenten und stellen somit die Ernährung auch der höheren Stufen der Nahrungskette sicher. Dieser Aspekt ist unter dem Gesichtspunkt einer aufkommenden Diskussion über die angeblich für die Ernährung der Felchen nicht mehr ausreichende Zooplanktonpopulation sehr wichtig.

Die im Vorjahr kaum noch beobachteten Oligotrophierungsanzeiger schoben sich wieder stärker in den Vordergrund und setzten die Entwicklung der letzten Jahre vor 2002 fort. Ausgesprochene Eutrophierungsanzeiger spielen nur noch eine untergeordnete Rolle.

Der kontinuierliche Abfall der Gesamtbiomasse seit 1997 war im Jahr 2002 durch einen Anstieg unterbrochen worden; im Jahr 2003 sank die Biomasse wieder ab und liegt damit ungefähr auf Höhe des Durchschnitts der letzten 10 Jahre. Das kann als Stabilisierung der Produktion im Bodensee-Obersee gedeutet werden. Der 2002 beobachtete Wiederanstieg der Algenbiomasse hat sich also nicht wiederholt. Jährliche Schwankungen in der Biomasse wurden am Bodensee schon öfter beschrieben.

Die Abweichungen von dem bislang gewohnten saisonalen Entwicklungs-

muster der **Crustaceen** halten weiterhin an. Zum ersten Mal dominiert *Bosmina* während der ganzen Frühjahrsentwicklung das Cladocerenplankton bis hin zum April. Erst im Mai sind die Individuendichten der Daphnien höher als die der Bosminen. Ebenso auffällig sind die anhaltend hohen Daphnienzahlen im Herbst. Das Maximum der Individuendichte liegt sogar Anfang Dezember und übertrifft die Individuendichte im Juni. Die ausgesprochene "Spätsommerblüte" des Phytoplanktons und die bis Ende November vergleichsweise hohen Wassertemperaturen können mögliche Gründe für dieses Phänomen sein. Trotz gesunkenem Jahresmittelwert der Phytoplanktonbiomasse liegt der Jahresmittelwert der Crustaceen deutlich höher als im Vorjahr. Die Interaktionen in der Nahrungskette des Bodensees lassen sich offensichtlich nicht auf einen einfachen linearen Zusammenhang zwischen Phosphor, Phytoplanktonbiomasse und Zooplankton reduzieren. Das langjährig niedrige Niveau der **Gesamtbakterienzahl** setzt sich auch in 2003 fort und bestätigt die Oligotrophierung des Sees.

Fäkalkeime (*Escherichia coli*) sind in der großen Freiwasserzone des Bodensees nach wie vor kaum bemerkbar. Im Jahrhundertssommer 2003 wurden durchwegs sehr niedrige Werte im Bereich der methodischen Nachweisgrenze gefunden.

Fazit und Handlungsbedarf

Die Ergebnisse der Freiwasseruntersuchungen bestätigen eindrücklich den positiven Effekt der Sanierungsmaßnahmen aller Länder und Kantone im Einzugsgebiet des Bodensees.

Die Wasserqualität des Sees befindet

sich weiterhin in einem guten Zustand und der langjährige Trend abnehmender Phosphorgehalte im See hat sich, nach zweijähriger Stagnation, erneut spürbar fortgesetzt. Diese durch eine konsequente Sanierungsstrategie bewirkte positive Entwicklung wurde durch den z. T. extremen Witterungsverlauf im letzten Jahr nicht beeinträchtigt. Das Jahr 2003 zeichnete sich durch einen Jahrhundertssommer mit überdurchschnittlich hohen Temperaturen aus und war auch das trockenste Jahr seit Beginn regelmäßiger Messungen. Die um rund ein Viertel niedrigeren Regenmengen bewirkten auch eine Reduktion der eingetragenen Nährstoffmengen durch Regenüberläufe.

Die Entwicklung der biologischen Parameter zeigt zum einen die weiter fortschreitende Umstellung des Ökosystems als Reaktion auf die veränderten Trophieverhältnisse im See. Nach wie vor ist dieser komplexe seeinterne Wandel noch nicht abgeschlossen. Zum anderen verdeutlichen die beobachteten Reaktionsmuster innerhalb der Nahrungskette den großen Einfluß nicht-nährstoffbedingter Faktoren - z. B. der meteorologischen Gegebenheiten - auf das ökosystemare Gefüge. Abnehmende Nährstoffgehalte und Algenbiomassen stehen einer Zunahme der Zooplanktonmengen und einer deutlichen Steigerung der Fangerträge bei den wichtigsten Fischarten gegenüber. Diese Befunde widersprechen einem einfachen, monokausalen Ursache / Wirkungsmuster und bestärken gleichzeitig die langfristige Schutzstrategie der IGKB und den eingeschlagenen Weg.

Der nachhaltige Schutz des Bodensee Ökosystems ist angesichts beständig gestiegender Nutzungsanforderungen und dem deutlich spürbaren Auftreten klimatischer Extremereignisse nur mit einer anhaltend konsequenten

Stabilisierung des ökologischen Gleichgewichts möglich. Hierzu gehören neben den bewährten, hohen Anforderungen an die Abwasserbehandlung auch weiterhin die Minimierung diffuser Nähr- und Schadstoffeinträge sowie die Reduktion struktureller Beeinträchtigungen.