

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.