

Inhalt

| | Abb. | Tab. | Seite |
|---|-------|------|-------------|
| Einleitung | | | 4 |
| Zustandsbeschreibung für das Seejahr | | | 5 |
| | 1 | | 13 |
| | | 1 | 54 |
| 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 | 59 |
| Untersee | | 6 | 66 |
| Anhang | | | |
| Bericht des Fachbereichs Einzugsgebiet über das Jahr 2001 | | | 68 |
| Fernausbreitung des Alpenrhein-Einstroms in den Bodensee- Obersee bei tiefer winterlicher Einschichtung | | | 73 |
| Auskünfte | | | 99 |

VORWORT

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

Am Bericht haben mitgearbeitet:

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

sowie für den Bericht über die Fern-Ausbreitung des Alpenrhein-Einstroms (Anhang)

Dr. Kurt Duwe , Hydromod, Wedel zusammen mit
Dr. Eckard Hollan, 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.

EINLEITUNG

Der Bericht zum Seejahr 2002 / 2003 enthält eine kurze Beschreibung und Bewertung des aktuellen Seezustandes, ergänzt durch die Darstellung der langfristigen Entwicklung der wichtigsten Größen. Sie werden von Jahr zu Jahr fortgeschrieben.

Die dann folgenden Abbildungen und Tabellen geben eine Übersicht über Örtlichkeiten, Wassertiefe und Zeitpunkt der Probenahme und Messungen sowie über Klimabedingungen, Temperatur, chemische und biologische Verhältnisse im Freiwasser. Für den Bodensee-Obersee beschränken sich diese Darstellungen hauptsächlich auf die zentrale Untersuchungsstation Fischbach-Uttwil. Aus den Ergebnissen dieser Untersuchungsstelle wurden auch die Stoffinhalte unter Verwendung der Seevolumina berechnet, die sich aus der Tiefenvermessung von 1990 ergeben haben. Quervergleiche zwischen verschiedenen Obersee-Untersuchungsstationen werden nur für einige ausgewählte Parameter durchgeführt. Seit Januar 2000 werden die Untersuchungen nach dem überarbeiteten Programm für die Langzeituntersuchungen durchgeführt, wie es im Anhang des Grünen Berichtes Nr. 26 beschrieben wurde.

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

Die Datentabellen mit den gesamten Meßwerten für den Freiwasserbereich (Physik, Chemie, Phytoplankton) wurden nach Archivierung auf Datenträgern bei der Eidgenössischen Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EAWAG) und beim Institut für Seenforschung (ISF) der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, den damit direkt befaßten Stellen zugestellt. Nachdem die datentechnischen Umstrukturierungen im Jahr 2001 abgeschlossen werden konnten, werden die Daten der IGKB nun in einer zentralen

Datenbank BOWIS am Institut für Seenforschung archiviert.

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

ZUSTANDSBESCHREIBUNG FÜR DAS SEEJAHR 2002/2003

Bodensee - Obersee

Im Seejahr 2002/03 blieb die Phosphorkonzentration während der Vollzirkulation erstmals seit Anfang der achtziger Jahre mit 12 mg/m^3 gegenüber dem Vorjahr konstant (2002: 12 mg/m^3). Der Gehalt an anorganischem Stickstoff - im wesentlichen Nitrat - nahm von $0,96$ auf $0,94 \text{ g/m}^3$ geringfügig ab. Die Biomasse des Phytoplanktons lag 2002 mit $13,0 \text{ g/m}^2$ deutlich über der Höhe des Vorjahreswertes ($6,7 \text{ g/m}^2$).

Die mittleren Sauerstoffgehalte in 200-254 m Tiefe lagen von März 2002 bis Februar 2003 stets deutlich über den Werten desselben Zeitraumes ein Jahr zuvor. In diesem tiefen Seebereich war 2002 bis Anfang Mai eine Zunahme der Sauerstoffkonzentration zu beobachten. Dank dieser im Vergleich zu 2001 besseren Ausgangslage blieb auch das herbstliche Sauerstoffminimum in 2002 in einem Meter über Grund mit $6,8 \text{ g/m}^3$ über dem des Vorjahres ($6,1 \text{ g/m}^3$).

Die **hydrologische Situation** wurde durch den im Januar und Februar relativ kalten Winter 2002/2003 und den vorangegangenen mäßig kalten Winter geprägt.

Die anhaltend kalte Witterung im Januar und Februar 2003 bewirkte im Monatsmittelwert der Lufttemperatur für Februar die große Abweichung von $-3,1^\circ\text{C}$ zum Monatsmittelwert der vorangehenden 30 Jahre. Das gesamte Tiefenwasser wurde nachfolgend bis Anfang März 2003 durch Vermischung mit Oberflächenwasser weitgehend erneuert. Die für die Auskühlung des Sees maßgebliche Anzahl der Seefrosttage, d.h. der Tage mit einer mittleren Lufttemperatur unter 0°C , betrug 36 und übertraf nur um einen Tag den Mittelwert für die 15 Seejahre bis 1999/2000. Die Auskühlung wurde jedoch dadurch verstärkt, daß sie in zwei nah aufeinander folgenden Hauptphasen verlief, in denen insgesamt 14 Seefrosttage mit Tagesmittelwerten unterhalb von -4°C enthalten waren. Im vorangegangenen Winter

wurden nur 6 Seefrosttage mit dieser tiefen Kältstufe verzeichnet.

Die maximale gemessene Oberflächentemperatur in Seemitte trat mit $22,5^\circ\text{C}$ bereits am 18.6.2002 ein. Dieser Wert war um $1,7^\circ\text{C}$ höher als das Vorjahresmaximum Ende August 2001 und wurde durch den sehr warmen Juni 2002 verursacht, in dem 11 Sommertage mit Lufttemperaturen zwischen 25°C und 30°C und 7 Tropentage mit Lufttemperaturen über 30°C registriert wurden. Im gesamten Verlauf von April bis Dezember 2002 waren die Monatswerte der Lufttemperatur bis auf den September höher gegenüber dem Monatsmittelwert der vorangehenden 30 Jahre, wobei die Abweichung im Juli und August nur sehr gering ausfiel. Daher betragen in Seemitte die maximalen gemessenen Oberflächentemperaturen im Juli und August nur $20,7^\circ\text{C}$ und $20,6^\circ\text{C}$. Im September 2002 wich der Monatsmittelwert der Lufttemperatur um -1°C vom langjährigen Monatsmittel ab. Dies führte wie im vorangegangenen Seejahr zu einer stärkeren Abnahme der Oberflächentemperatur, die bis zum 11.10.2002 bereits auf $13,3^\circ\text{C}$ sank. Im weiteren Verlauf des Winters von Januar bis März 2003 übertraf der Monatsmittelwert der Lufttemperatur nur noch im März das langjährige Monatsmittel um $1,6^\circ\text{C}$. Die Lufttemperaturen im Seejahr 2001/2002 lagen insgesamt mit $10,1^\circ\text{C}$ um $0,5^\circ\text{C}$ über dem 30-jährigen Mittelwert von $9,6^\circ\text{C}$.

Das Minimum der Oberflächentemperatur wurde am 20.2.2003 mit $4,8^\circ\text{C}$ gemessen und stimmte mit dem Vorjahreswert überein.

Bis Ende März 2003 entwickelte sich die neue Deckschicht mit einer 4 m mächtigen, auf $7,0^\circ\text{C}$ erwärmten Oberflächenschicht über einer von $5,4$ auf $5,1^\circ\text{C}$ vertikal abnehmenden Unterschicht, die durch konvektive Vermischung bis 45 m Tiefe reichte.

Das Hypolimnion war vom Beginn des Seejahres bis Anfang November 2002

durchgehend schwach geschichtet. Mitte November wurde eine auffällige thermische Homogenisierung bei der Temperatur von 4,78°C in der untersten Schicht von 205 bis 250 m gemessen. Ende November ereigneten sich in Seemitte zwischen 135 und 205 m Tiefe drei ausgeprägte Einschübe von wärmerem Zuflußwasser mit leicht angehobenem Salzgehalt.

Bei Einsetzen der kalten Winterphase in der ersten Hälfte Januar 2003 war die Deckschicht durch konvektive Vermischung bis auf 90 m vorgedrungen und vertiefte sich bis Ende Februar 2003 auf 205 m. Anfang März 2003 war das Hypolimnion bis zur größten Tiefe weitgehend erneuert, wobei die Deckschicht bis 230 m reichte. Die Regeneration erfolgte in den tieferen Schichten unterhalb 175 m durch seitliche Zufuhr infolge auskühlungsbedingter Dichteströmungen aus randlichen Gebieten. Dies betraf im Februar vor allem die untersten Bereiche unter 205 m und Anfang März unter 230 m. Am Ende des Seejahres 2002/03 war die alte Deckschicht relativ unruhig aufgebaut, was durch kältere und leicht erwärmte Einschichtungen verursacht wurde. Unterhalb von 215 m war die Situation durch fortgesetzte Vermischung restlichen alten Hypolimnionwassers mit den im Spätwinter eingeschobenen großen Mengen kälteren Randwassers gekennzeichnet.

Die Temperaturen über Grund stiegen von 4,70°C am Anfang des Seejahres nahezu monoton bis auf 4,84°C am 14.2.2003 an. Infolge des bodenaufliegenden Kaltwassereinstroms gingen die Temperaturen sprunghaft bis 20.2.2003 auf 4,52°C und bis 6.3.2003 auf das Minimum von 4,44°C zurück. Am Ende des Seejahres hatte die Temperatur über Grund bereits wieder auf 4,50°C zugenommen und lag damit um 0,2°C unter dem Wert am Anfang des Seejahrs.

Die Konzentration des **Gesamtposphors** im Rohwasser betrug im Frühjahr 2003 während der Monate Februar bis April im Mittel 12 mg/m³ (Abb. A, Konzentration während der Vollzirkulation). Damit nahm die Phosphorkonzentration während der Zirkulationsphase erstmals seit Anfang der achtziger Jahre nicht weiter ab (Frühjahr 2002: 12 mg/m³; 2001: 13 mg/m³; 2000: 14 mg/m³). Im Gegensatz zum Zirkulationswert lag jedoch

der Jahresmittelwert 2002 mit 11 mg/m³ geringfügig unter jenem des Vorjahres mit 12 mg/m³. Dabei ist zu beachten, dass derartige geringe Konzentrationsunterschiede im Bereich der analytischen Messgenauigkeit liegen und nicht überinterpretiert werden dürfen.

Der **Orthophosphat - Phosphor** lag von Ende März bis Anfang Dezember 2002 in den Messtiefen von 0 bis 30 m überwiegend unter 2 mg/m³ und im volumengewichteten Mittel mit 1,3 mg/m³ minimal unter dem entsprechenden Wert des Vorjahres (1,5 mg/m³).

Der **anorganische Stickstoff** (N aus NO₃⁻ + NO₂⁻ + NH₄⁺) mit Nitrat als Hauptkomponente fiel in 2002 im Jahresmittel mit 0,94 g/m³ geringfügig unter den Wert des Vorjahres (2001: 0,96 g/m³; Abb. C).

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

Die **Sauerstoffgehalte** lagen von März 2002 bis Februar 2003 im tiefen Hypolimnion des Obersees von 200 - 254 m Tiefe um 0,5 bis 1,5 g/m³ über jenen des Vorjahres. Nach zwei Jahren mit geringerer Sauerstoffversorgung war eine leichte Erholung gegeben. Allerdings erreichten auch 2002 die winterlichen Höchstwerte nur etwas über 9 g/m³ mg/l. Im März 2003 stiegen die Konzentrationen erstmals seit 1999 wieder auf über 10 g/m³ an.

Der gesamte Sauerstoffinhalt des Obersees lag in den Monaten März und April 2003 mit 518 000 Tonnen praktisch auf dem Niveau des Vorjahres (520 000 Tonnen).

Die niedrigste einen Meter über Grund gemessene Sauerstoffkonzentration betrug 2002 6,8 g/m³. Sie wurde Anfang Oktober erreicht (Abb. B). Vor dem Hintergrund der nicht besonders hohen Sauerstoffgehalte im Frühjahr 2002 zeigt dieser relativ hohe Minimalwert klar die fortschreitende Stabilisierung des Ökosystems Bodensee.

Das **Phytoplankton** im Bodensee-Obersee erreichte 2002 im Jahresmittel eine Biomasse von 13,0 g/m² (0-20 m). In den Vorjahren wurden folgende Werte festgestellt: 2001: 6,7 g/m², 2000: 8,9 g/m², 1999: 9 g/m², 1998: 12,6

g/m², 1997: 13,6g/m² und 1996: 13,4 g/m² (0-20 m). Der seit 1997 erfolgte kontinuierliche Abfall wurde damit beendet. Der in den letzten Jahren beobachtete Trend zu niedrigeren Frühjahrsblüten setzte sich 2002 nicht mehr fort; Ende März erfolgte eine erste Frühjahrsblüte mit 25,4 g/m²; Anfang Mai eine zweite Blüte mit 28,4 g/m². Nach dem Klarwasserstadium Ende Mai bis Anfang Juni begann Mitte Juni eine Sommerblüte, die bis Ende Juli dauerte und ihren Höchstwert Anfang Juli mit 36,5 g/m² erreichte. Nach einem Minimum Anfang August mit 11,4 g/m² stieg die Biomasse wieder kontinuierlich an und erreichte Anfang November ein Maximum mit 20,7 g/m². Alle Maxima lagen deutlich über den Werten des Vorjahres.

Die zentrischen Kieselalgen traten 2002 stark in den Hintergrund und erreichten nur Mitte März und im Sommer nennenswerte Anteile an der Biomasse. Die pennaten Kieselalgen traten im Sommer und im Spätherbst stark in den Vordergrund, wobei vor allem *Fragilaria*, *Asterionella* und *Tabellaria* dominierten. Cryptomonaden erreichten das ganze Jahr über beträchtliche Anteile an der Biomasse und dominierten das Planktonbild hauptsächlich in der Frühjahrsblüte. Die Dinoflagellaten bevorzugten das Frühjahr mit *Gymnodinium helveticum* sowie den Sommer und den Frühherbst mit *Ceratium hirundinella* und *Gymnodinium helveticum*. Die Chrysophyceen erschienen hauptsächlich während der Frühjahrsblüte mit *Erkenia* sowie *Pseudokephyrion* und im Sommer mit verschiedenen oligotraphenten *Ochromonas*-Arten als auch im September mit *Erkenia*, *Ochromonas* und *Uroglena*. Coccale Grünalgen, die höhere Nährstoffkonzentrationen bevorzugten, erreichten das ganze Jahr über nur noch einen unbedeutenden Anteil an der Biomasse, dagegen spielten fädige Blaualgen wie *Anabaena*, *Aphanizomenon* und *Oscillatoria* und coccale Blaualgen wie *Aphanocapsa* und *Aphanothece* von Ende August bis Ende Oktober wieder eine größere Rolle als in den Vorjahren.

Die mittlere Individuendichte des **Crustaceenplanktons** lag bei ca. 500 000 Ind/m² (0-100 m) und war im Vergleich zu den Mittelwerten des Jahres 2001 im Jahr 2002 wieder geringer.

Im Jahr 2002 prägten bis Mitte Juni kontinuierlich ansteigende Werte den jahreszeitlichen Verlauf der Individuendichten der Daphnien. Das Individuenmaximum lag mit 290 000 Ind/m² (0-100 m) deutlich höher als im Vorjahr. Erst Anfang Juli zeigte sich eine Abnahme der Daphnienzahlen auf 55 000 Ind/m² (0-100 m). Das Herbstmaximum bildete sich Ende September bis Anfang Oktober aus und ereignete sich somit früher als im Jahr 2002. Die Individuendichten lagen mit ca. 180 000 Ind/m² (0 -100m) niedriger als im Vorjahr. Von Frühsommer bis zum Herbst war aufgrund der Vertikalwanderung die Verteilung der Daphnien inhomogen. So befanden sich z.B. im Juli mehr als 50 % der Daphnien in Wassertiefen unterhalb von 30 m. In oberflächennahen Wasserschichten (oberhalb von 10 m) befanden sich ca. 25 % der Population.

Bei den Beständen der übrigen Cladoceren (*Bosmina*, *Bythotrephes longimanus* und *Leptodora kindtii*) lagen die Werte insbesondere im Frühjahr deutlich niedriger als im Vorjahr. *Diaphanosoma brachyurum*, die 2001 zum ersten Mal seit ca. 40 Jahren wieder beobachtet wurde, konnte auch 2002 wieder festgestellt werden. Die Rückkehr der Art kann somit als erfolgreich betrachtet werden. Mögliche Ursachen dieser Wiedereinwanderung sind noch nicht bekannt.

Eudiaptomus gracilis zeigte keine ausgeprägten saisonalen Änderungen seiner Abundanz. Die Werte lagen in der Regel unter denen des Vorjahres. Es trat nur ein hohes Abundanzmaximum im September auf. Die Individuenzahl lag bei 170000 Ind/m², 0 -100 m). Auch bei den Copepodiden lagen die Abundanzen 2002 deutlich niedriger als im letzten Seejahr. Wie bei den adulten Tieren fehlte auch bei den Copepodiden ein deutliches Frühjahrsmaximum. Das Abundanzmaximum lag ebenfalls im September, die Individuendichte betrug 190 000 Ind/m² (0 -100m) und entsprach dem Wert des Vorjahres.

Bei den cyclopoiden Copepoden hielt die Abnahme der großen Arten *Cyclops vicinus* und *Cyclops abyssorum* weiterhin an. Sie wurden wie schon im Vorjahr von *Mesocyclops leuckarti* dominiert. Die Anzahl der erwachsenen Tieren lag insbesondere im Frühjahr niedriger als im vergangenen Jahr.

Das Herbstmaximum erreichte die höchsten Werte erst Mitte September (161 000 Ind/m², 0-100m). Bei den Copepodiden der cyclopoiden Copepoden lagen die Individuendichten in der Regel niedriger als im Vorjahr. Während 2001 Werte von fast 600 000 Ind/m² (0-100 m) erreicht wurden, lagen die Werte 2002 unterhalb von 400 000 Ind/m² (0-100 m). Insbesondere die Individuendichten des Frühjahrsmaximums fielen deutlich niedriger aus.

Bei der **Gesamtbakterienzahl** - bestimmt durch fluoreszenzmikroskopische Direktzählung – bewegten sich die Werte im Berichtsjahr gegenüber den Vorjahren auf einem leicht höheren Niveau. Dennoch 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) wurden nach einem ersten Anstieg im März schon im April Werte über 4×10^6 Bakterien/ml erreicht. Nach zwei ersten Spitzen im Mai und Juni mit Werten über 5×10^6 Bakterien/ml wurde im Juli und August ein leichter Abfall der Bakteriendichten beobachtet. Im September folgte nochmals ein Anstieg über 5×10^6 Bakterien/ml. Von Oktober bis Dezember wurden dann deutlich geringere 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 mit annähernd vertikaler Gleichverteilung erstreckte sich von Januar bis März 2003.

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 2002, daß die Belastungswerte für diese Keimgruppe im Freiwasser des Bodensees allgemein bemerkenswert niedrig sind. In 82,6 % der Werte wurden Trinkwassergrenzwerte (1 Keim/100 ml) nicht überschritten und 98,6 % der Werte lagen unterhalb der für Oberflächengewässer immer noch als sehr

gering einzustufenden Belastung von 10 Keimen/100ml. Nur in zwei Proben wurden Werte oberhalb von 10 Keimen/100 ml beobachtet (im Februar in 150 m und im Dezember in 30 m). Diese Anstiege sind mit großer Wahrscheinlichkeit auf die Einschichtung belasteten Flusswassers zurückzuführen.

Bodensee - Untersee

Die Phosphorkonzentration bestimmt als Gesamtphosphor im Rohwasser - ging 2002 im Rheinsee mit einem Jahresmittel von 12 mg/m³ leicht zurück (2001: 13mg/m³; 2000: 13 mg/m³). Im Zellersee wurde ebenfalls eine leichte Abnahme auf 19 mg/m³ beobachtet (2001: 20 mg/m³ 2000: 22 mg/m³).

Der Inhalt an anorganischem Stickstoff (N aus NO₃- + NO₂- + NH₄⁺) mit Nitrat als Hauptkomponente nahm 2002 im Rheinsee geringfügig auf 0,85 g/m³ zu (2001: 0,83g/m³; 2000: 0,67 g/m³). Im Zellersee blieb der Wert mit 0,96 g/m³ konstant (2000: 1,00 g/m³).

Die Sauerstoffsituation hat sich 2002 im Rheinsee gegenüber dem Vorjahr etwas verschlechtert. Im Rheinsee wurden Ende August mit 0,1 g/m³ und Ende Oktober mit 0,6 g/m³ sehr geringe Sauerstoffkonzentrationen in Seebodennähe gemessen. Im Vorjahr war die Minimalkonzentration im Oktober mit 1,3 g/m³ noch etwas höher. Im Zellersee, der bis 1992 über Jahrzehnte hinweg einen zeitweiligen totalen Sauerstoffschwund aufwies, wurde auch 2002 bei allen Messungen ein geringer Sauerstoff-Restgehalt gemessen. Die niedrigsten Werte lagen von August bis Oktober zwischen 0,7 und 2,4 g/m³ und damit, bezogen auf das Minimum, geringfügig unter dem Niveau des Vorjahres (August bis Oktober: 0,9 – 5,3 g/m³).

Das **Phytoplankton** im Zellersee erreichte 2002 mit 12,5 g/m² (0-20m Tiefe) den exakt gleichen Wert wie 2001. Mit Ausnahme eines Maximums im Jahr 1999 (25,8 g/m²) lagen damit die Biomassen seit 1992 auf relativ gleich bleibender Höhe. In den Vorjahren 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.

Wie im Vorjahr war eine Spätwinterblüte Anfang März mit einem Maximalwert von $16,5 \text{ g/m}^2$ zu beobachten; nach einem leichten Absinken der Biomasse entwickelte sich im April und Anfang Mai eine Frühjahrsblüte, deren Höhepunkt bereits Anfang April bei $23,9 \text{ g/m}^2$ lag. Einem wenig ausgeprägten Klarwasserstadium folgte ein Wiederanstieg der Biomasse; dieser Sommeranstieg erreichte Anfang Juli mit $25,4 \text{ g/m}^2$ ein Maximum. Einem starken Absinken der Biomasse folgte ein Hochsommeranstieg mit $20,8 \text{ g/m}^2$. Nach einem Minimum Anfang September stieg die Biomasse wieder kontinuierlich an und erreichte Anfang November ein Maximum mit $19,1 \text{ g/m}^2$.

Im Vergleich zum Obersee zeigte die Zusammensetzung des Planktons im Untersee ein andere Tendenz: *Cyclotella cyclopuncta* dominierte die Spätwinter- und die Frühjahrsblüte. Die große oligotraphente Art *Cyclotella bodanica* trat ebenfalls auf. Daneben erreichte *Stephanodiscus neoastraea* beträchtliche Anteile. Die pennaten Kieselalgen traten bereits während der Frühjahrsblüte in den Vordergrund, daneben auch im Sommer, wobei vor allem *Fragilaria* und *Asterionella* dominierten. Cryptomonaden erreichten wie im Obersee das ganze Jahr über beträchtliche Anteile an der Biomasse; sie dominierten das Planktonbild im Winter, Früh- und Spätherbst. Die Dinoflagellaten traten das ganze Jahr über in messbaren Anteilen auf; ihr Maximum erreichten sie von Ende April bis Anfang Mai, wobei hier *Gymnodinium helveticum* dominierte. Die Chrysophyceen erschienen vor allem während der Spätwinterblüte mit *Erkenia*, im Sommer mit *Dinobryon* sowie *Ochromonas* und *Erkenia*. Wie im Obersee fielen Grünalgen nicht mehr stark ins Gewicht, jedoch trat *Phacotus* Anfang Juli und *Dictyosphaerium* Mitte August vermehrt auf. Wie im Vorjahr wurden während des Sommers und Spätsommers bis in den November hinein die fädigen Blaualgen *Oscillatoria*, *Aphanizomenon* und *Pseudanabaena* sowie coccale Blaualgen wie *Aphanocapsa* mit größeren Anteilen beobachtet.

Gesamtbewertung des Seezustandes

Die gute **Sauerstoffversorgung** der

grundnahen Wasserschichten dokumentiert auch 2002 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 erstmals seit Beginn der achtziger Jahre des vergangenen Jahrhunderts nicht weiter abgenommen. Inwieweit dies bereits das Erreichen eines Gleichgewichtszustandes bedeutet, läßt sich erst in den kommenden Jahren feststellen. Angesichts eines durch die bisherigen Sanierungsmaßnahmen weitgehend ausgeschöpften Reduktionspotenzials sind allerdings größere Änderungen kaum mehr zu erwarten.

Vor allem witterungsbedingt ist mit kleineren Schwankungen immer zu rechnen. Dies zeigt die leichte Abnahme des Jahresmittelwertes in 2002 gegenüber dem Vorjahr um 1 mg/m^3 , die sich im Frühjahr 2003 nicht fortgesetzt hat.

Der **anorganische Stickstoffgehalt** (Nitrat-, Nitrit- und Ammoniumstickstoff) hat sich auch im vergangenen Untersuchungszeitraum kaum geändert und verbleibt seit nunmehr 13 Jahren im beobachteten Konzentrationsniveau von ca. 1 g/m^3 .

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 2002 eine fast doppelt so hohe Gesamtbiomasse wie 2001 gefunden wurde, blieb der minimale Sauerstoffgehalt am Seegrund aufgrund der durch relativ kalte Winter geförderten Tiefenwassererneuerung dennoch leicht über dem Wert des Vorjahres. Dieses Ergebnis zeigt, dass einfache Ursache-Wirkungs-Beziehungen nur innerhalb gewisser Grenzen für Prognosen tauglich sind.

In der **Phytoplankton-Zusammensetzung** traten Arten ohne eine Indikationsfunktion, sogenannte Ubiquisten, im Vergleich zu den

Vorjahren wieder stärker in den Vordergrund. Arten, die als Anzeiger einer Nährstoffverarmung gelten und die in den Vorjahren beträchtliche Anteile an der Biomasse eingenommen haben, sind 2002 mehr in den Hintergrund getreten. Nach wie vor **bleiben ausgesprochene Eutrophierungsanzeiger vollständig aus dem Planktonbild verschwunden oder spielen nur noch eine untergeordnete Rolle.**

Die Biomasse lag mit einem Jahresmittel von 13,0 g/m² deutlich über der Höhe des Vorjahres mit 6,7 g/m² und erreichte Werte wie sie zuletzt 1997/98 beobachtet wurden. Damit bewegt sich der beobachtete Wiederanstieg auf einem moderaten Niveau unterhalb der bis Ende der 80er Jahre gehäuft über 20 g/m² liegenden Algenbiomassen. Jährliche Schwankungen in der Biomasse, die dem langfristigen Trend entgegengesetzt verlaufen, wurden am Bodensee schon öfters beschrieben und z. T. mit meteorologischen Einflüssen in Zusammenhang gebracht. Ob der in 2002 wieder angestiegene Jahresdurchschnittswert solche Ursachen hat oder auf andere Gründe zurückzuführen ist, kann erst im Vergleich mit der Entwicklung der nächsten Jahre beurteilt werden.

Vor dem Hintergrund einer wieder abnehmenden Gesamtpopulation schreitet der in den letzten Jahren eingesetzte Wandel im Artenspektrum des **Crustaceenplanktons** weiter voran. Die 2001 erstmals seit 40 Jahren wieder beobachtete Art *Diaphanosoma brachyurum* konnte sich offensichtlich im Pelagial des Bodensees erfolgreich etablieren und wurde auch 2002 im See gefunden. Bei den Copepoden überwiegen kleine Arten, während die großen weiterhin abnehmen. Obwohl die dominierenden Crustaceenarten nicht unbedingt typische Vertreter oligotropher Seen umfassen, weist doch die Verschiebung im Artenspektrum auf einen Wandel in der pelagischen Nahrungskette des Bodensees hin. Die Auswirkungen dieser Entwicklung auf das Gesamtsystem werden derzeit näher untersucht.

Nachdem sich die **Gesamtbakterienzahl** seit 6 Jahren auf deutlich niedrigerem Niveau als in den Jahren 1980-96 bewegten, kann nun auch für diese Gruppe eine Reaktion auf die Oligotrophierung des Sees als gesichert gelten.

In der Regel sind durch Siedlungsabwässer eingetragene **Fäkalkeime** (*Escherichia coli*) in der großen Freiwasserzone des Bodensees kaum bemerkbar. Vereinzelt leicht erhöhte Keimzahlen können als Zeiger für lokale Einschichtung von Flusswasser gesehen werden. Damit im Einklang stehen auch die durchschnittlich etwas höheren Werte an der Station Bregenzer Bucht.

Fazit und Handlungsbedarf

Die Ergebnisse der Freiwasseruntersuchungen bestätigen erneut den großen Erfolg der Sanierungsmaßnahmen aller Länder und Kantone im Einzugsgebiet des Bodensees.

Die Wasserqualität des Sees befindet sich nach wie vor in einem guten Zustand und die aktuell verzeichneten Änderungen im See zeigen eine Stabilisierung auf einem qualitativ hohen Niveau. Insoweit stützen die bisherigen Erfahrungen eine konsequente Sanierungsstrategie, die weniger an kurzfristigen Teilerfolgen denn an nachhaltiger Systemstabilität orientiert ist.

Der langjährige Trend abnehmender Phosphorgehalte im See hat sich erstmals nicht weiter fortgesetzt und ein Gleichgewichtszustand scheint bald erreicht zu sein. Dies entspricht auch im Wesentlichen den durch die P-Modellrechnungen gestützten Erwartungen.

Die Entwicklung der biologischen Parameter zeigt aber auch, dass der ökosystemare Wandel noch in vollem Gange ist. Komplexe Reaktionsmuster werden nach und nach sichtbar. Sie folgen nicht nur der See-internen Dynamik, sondern werden auch durch externe Faktoren wie insbesondere den meteorologischen Gegebenheiten im Seejahr mit beeinflusst. Der aufgrund von Sanierungsmaßnahmen erfolgte Erholungsprozess ist ein limnologisch einmaliger Vorgang in der Geschichte des Bodensees, dessen Entwicklung noch nicht vollständig erforscht ist. Prognosen sind daher immer vor dem Hintergrund der jeweils vorliegenden Erfahrungen mit der gebotenen Vorsicht zu bewerten.

Angesichts der Tatsache, dass sich die äußeren Rahmenbedingungen der See-Entwicklung (Besiedlung, Landwirtschaft und Tourismus im Einzugsgebiet, Klimawandel) nicht nennenswert geändert haben und auch weiterhin mit steigenden Ansprüchen und Belastungen zu rechnen ist, muß die konsequente Schutzstrategie der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee aufrechterhalten bleiben. Neben den bewährten, hohen Anforderungen an die Abwasserbehandlung müssen diffuse Nähr- und Schadstoffeinträge sowie anthropogene Beeinträchtigungen weiter minimiert werden. Nur so läßt sich das Ökosystem Bodensee nachhaltig schützen und bewahren.