

Bericht Nr. 33

Limnologischer Zustand des Bodensees

Jahresbericht Januar 2005 bis März 2006
-Untersuchungsprogramm Freiwasser-

Bericht der Sachverständigen
zum Fachbereich Einzugsgebiet

Bericht Nr. 33

Limnologischer Zustand des Bodensees

Jahresbericht Januar 2005 bis März 2006
-Untersuchungsprogramm Freiwasser-

Bericht der Sachverständigen
zum Fachbereich Einzugsgebiet

VORWORT

Der vorliegende Bericht der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee (IGKB) enthält die Ergebnisse der regelmäßigen limnologischen Freiwasseruntersuchungen des Bodensees im Jahr 2005 / 2006. 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. Hans-Rudolf Bürgi, Dübendorf
 Mag. Dietmar Buhmann, Bregenz
 Dipl. nat. ETH. Heinz Ehmman, Frauenfeld
 Dr. Hans Güde, Langenargen
 Dr. Harald Hetzenauer, 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 Umwelt, Messungen und Naturschutz 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		16
Langfristige Entwicklung von			
Phosphor (Obersee), Sauerstoff (Obersee), Chlorid (Obersee), Stickstoff (Obersee), Phytoplankton (Obersee), Zooplankton (Obersee), Phytoplankton (Untersee, Zellersee)	2-5		17-20
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	65 21-36
Untersee			
Zellersee Thermik, Sauerstoff, Orthophosphat, Nährstoffinhalte, Eisen, Andere Phosphorverbindungen, Nitrat, Nitrit, Ammonium, Silikat, Anorganische Kohlenstoffverbindungen, Phytoplankton	32-51	4	69 37-47
Rheinsee Thermik, Sauerstoff, Orthophosphat, Nährstoffinhalte, Eisen, Andere Phosphorverbindungen, Nitrat, Nitrit, Ammonium, Silikat, Anorganische Kohlenstoffverbindungen, Phytoplankton	52-72	5	71 48-59
Vergleich des limnologischen Zustandes an verschiedenen Untersuchungsstationen			
Obersee		3	67
Untersee		6	73
Anhang			
Bericht des Fachbereichs Einzugsgebiet über das Jahr 2004/2005			75
Auskünfte			83

EINLEITUNG

Der Bericht zum Seejahr 2005 / 2006 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 im Bodensee - Wasserinformationssystem (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 2005/2006

Bodensee - Obersee

Im Seejahr 2005/06 ging die Phosphorkonzentration von 9 auf 8 mg/m³ zurück. Der Gehalt an anorganischem Stickstoff - im wesentlichen Nitrat - blieb bei 0,94 g/m³ konstant. Die Biomasse des Phytoplanktons lag 2005 mit 9,5 g/m² etwas über dem Vorjahreswert (8,4 g/m²).

Die mittleren monatlichen Sauerstoffgehalte in 200-254 m Tiefe lagen nach einer sehr intensiven Durchmischung des Sees ab März 2005 stets über den Werten des Vorjahres. Demzufolge war auch das herbstliche Sauerstoffminimum über Grund in 254 m Tiefe in 2005 mit 7,5 g/m³ etwas höher als im Vorjahr (7,2 g/m³).

Die **hydrologische Situation** war im Mittel bis in den Herbst 2005 hinein durch eine ausgeglichene Temperatur- und Schichtungsentwicklung des Sees gekennzeichnet. Im weiteren Verlauf traten dann mehrere zum Teil bedeutende hydrologische Ereignisse ein, die dieses Seejahr besonders auszeichnen.

Aufgrund der relativ warmen Lufttemperaturen im April und Mai 2005 mit mittleren Monatstemperaturen die 1,1 Grad bzw. 0,6 Grad über dem 30-jährigen Mittelwert lagen, entwickelte sich die thermische Schichtung des Sees relativ rasch. Das Metalimnion erreichte am 10.05.2005 bereits eine Tiefe von etwa 35 m, wobei die Oberflächentemperaturen 10,5°C und am 24.05.2005 13,9°C erreichten, während das Hypolimnion fast konstant 4,2°C aufwies. Im Juni erfolgte dann bei gleichzeitiger Konsolidierung der

Schichtung und des Übergangs vom Meta- ins Hypolimnion bei 40 m eine starke Erwärmung des Epilimnions auf bis zu 22,1°C am 22.06.2005. Dieser Wert stellt auch die im Rahmen der Routinemessungen höchste im Seejahr 2005 - 2006 aufgenommene Wassertemperatur am Messpunkt Fischbach-Uttwil dar. Die starke Erwärmung lässt sich auf die im Mittel 2,1° höhere Monatsmitteltemperatur im Juni zurückführen. Während Juli und August im Vergleich zum Langzeitmittel jeweils niedrigere mittlere Temperaturwerte aufwiesen, waren September und Oktober wiederum mit 16,5°C und 11,7°C um 1,8°C bzw. 1,6° C Grad wärmer als die langjährigen Mittelwerte. Bis zum 9.09. hatte sich dann das Epilimnion bis auf etwa 20 m abgesenkt während die Übergangsschicht des Metalimnions bis auf etwa 110 m abgesunken war. Die Tiefenstruktur der thermischen Schichtung blieb bis Anfang Dezember erhalten, während gleichzeitig die Epilimniontemperatur auf 7°C absank. Im Verlauf des Dezember 2005 (1,4°C unter dem 30-jährigen Mittelwert) und des sehr kalten Januar 2006 (Mittlerer Monatswert - 1,7°C; 2,2°C unter dem 30-jährigen Mittelwert) kam es dann zur Absenkung der durchmischten Zone bis auf 120 m, die am 30.01.2006 eine Temperatur von 4,2°C aufwies. Im Laufe des Februar und März kam es zur weiteren Durchmischung und Abkühlung bis auf Werte unter 3,8°C (Messungen in 250 m Wassertiefe am 8.03. und 20.03.2006). Damit hatte sich die Temperatur dem theoretischen Wert für das Dichtemaximum in dieser Tiefe angenähert. Eine weitestgehende Durchmischung der Wassersäule fand Anfang bis Mitte

März 2006 statt, wobei mit Temperaturdifferenzen von maximal $0,1^{\circ}\text{C}$ über die gesamte Wassersäule nahezu Homothermie erreicht wurde und sich auch die Unterschiede in der Leitfähigkeit mit $dS < 5 \mu\text{S}/\text{cm}$ auf sehr niedrigen Niveau bewegten.

Das Seejahr 2005-2006 zeichnet sich neben diesen bis zum Herbst 2005 im wesentlichen moderat verlaufenden Stratifikationsgeschehen durch drei extreme Ereignisse aus.

Zum einen gab es im Jahr 2005 mit dem Augushochwasser vom 22.-23.08.2005 ein Ereignis, das als Jahrhunderthochwasser bezeichnet werden kann und in seiner Ausprägung und Charakteristik die Kennwerte der größten am See beobachteten Hochwässer erreicht. Unter anderem wurde der maximale 24-stündige Wasserspiegelanstieg von 1999 mit 45 cm in 24 h durch den Anstieg zwischen dem 22. und 23.08.2005 um 10 cm übertroffen und lag damit bei 55 cm in 24 h. Dies entspricht einem durchschnittlichen Zufluss von $3'400 \text{ m}^3/\text{s}$ bei einem Abfluss von $400 \text{ m}^3/\text{s}$.

Die Auswirkungen dieses Hochwasserereignisses waren nicht nur in hydrologischer Sicht bedeutsam, sondern hatten auch starke Auswirkungen auf die Sedimentation und beeinflussten darüber hinaus die Trinkwassergewinnung durch eingetragene Feinsedimente und Schwebstoffe. Erste Erhebungen zeigen, dass die mit diesem Hochwasser eingetragenen Sedimentablagerungen größer sind als die der Hochwässer von 1999 und 1987 und Schichtmächtigkeiten zwischen einigen Dezimetern vor Wasserburg und einigen Zentimetern vor Friedrichshafen erreicht wurden.

Das zweite Extremereignis kündigte sich bereits im Sommer 2005 mit sehr niedrigen mittleren Pegelständen an, die bis zu 90 cm unter den langjährigen

Mittelwerten für diesen Zeitraum lagen. Im Dezember erreichte der Bodensee mit 2,45 m einen sehr niedrigen mittleren Monatspegel, wobei am 22.12.2005 mit 2,46 m der niedrigste jemals an diesem Tag gemessene Pegelwert seit Beginn der Aufzeichnungen im Jahr 1850 registriert wurde. Im Weiteren setzte sich dieser Trend mit fallenden Wasserständen jahreszeit-spezifisch fort, so dass im Januar 2006 mit 2,37 m ein mittlerer Wasserstand erreicht wurde, der noch deutlich unter dem bereits im Vorjahr recht niedrigen mittleren Wasserstand für diesen Monat von 2,58 m lag. Im Gegensatz zu den Werten der Wasserstandsentwicklung des Vorjahres, die sich bereits im Februar 2005 von einem vergleichsweise hohem Niveau aus wieder normalisierte, verblieb der Wasserstand im Jahr 2006 ungewöhnlich lange auf einem sehr niedrigem Niveau und erreichte am 15.02.2006 mit 2,28 m den niedrigsten Stand dieses Seejahres, der nur 2 cm höher lag als der absolut niedrigste Wasserstand seit Beginn der Registrierungen mit 2,26 m. Auch für den Februar wurde damit wiederum ein Monatsmittelwert von nur 2,37 m ausgewiesen.

Erst gegen Ende Februar und im März erfolgte dann durch Regenfälle und das Abschmelzen niedrig gelegener Schneelagen die schnelle Erhöhung des Wasserstandes.

Das dritte Extremereignis des Seejahres 2005-2006 betrifft die Abkühlung des Sees im Winter 2005/2006 und die Auflösung der Stratifikation in dieser Zeit. Durch die bereits genannten sehr niedrigen Temperaturen in den Monaten Januar, Februar und März mit jeweiligen Temperaturmittelwerten von $-1,7^{\circ}\text{C}$ ($2,2^{\circ}\text{C}$ unter 30-MW), $0,6^{\circ}\text{C}$ (1°C unter 30-MW), und $3,4^{\circ}\text{C}$ ($2,2^{\circ}\text{C}$ unter 30-MW) kam es zu einer extremen Abkühlung der gesamten Wassersäule mit Hypolimniontem-

peraturen, die sich nahe dem theoretischen Tiefstwert für das Dichtemaximum in dieser Tiefe bewegten.

Die Konzentration des **Gesamtphosphors** im Freiwasser betrug im Frühjahr 2006 während der Monate Februar bis April im Mittel 8 mg/m^3 (Abb. 2A, Konzentration während der Vertikalzirkulation). Damit nahm die Phosphorkonzentration während der Zirkulationsphase gegenüber dem Vorjahr erneut leicht ab (2005: 9 mg/m^3 ; 2004: 10 mg/m^3 ; 2003 und 2002: 12 mg/m^3).

Der **Orthophosphat - Phosphor** lag von Anfang April bis Dezember 2005 in den oberen Schichten bis in Tiefen von 30-50 m meist unter 2 mg/m^3 . Das volumengewichtete Mittel von 0 bis 30 m blieb in diesem Zeitraum mit $0,9 \text{ mg/m}^3$ geringfügig unter dem Wert des Vorjahres ($1,1 \text{ mg/m}^3$).

Der **anorganische Stickstoff** (Nitrat-, Nitrit- und Ammoniumstickstoff) mit Nitrat als Hauptkomponente erreichte 2005 im Jahresmittel mit $0,94 \text{ g/m}^3$ den Wert des Vorjahres (Abb. 2C).

Chlorid als Indikator vielfältiger Salzbelastungen stieg im Jahresmittel von $5,3$ (2004) auf $5,5 \text{ g/m}^3$ leicht an (Abb. 2C).

Die **Sauerstoffgehalte** im Hypolimnion des Obersees von 200 - 254 m Tiefe lagen ab März 2005 über dem Niveau des Vorjahres. Lediglich im Januar und Februar, vor der kräftigen Durchmischung des Wasserkörpers bis zum Grund, war die Konzentration des Vorjahres 2004 höher.

Der gesamte Sauerstoffinhalt des Obersees blieb in den Monaten März und April 2006 mit 533 000 Tonnen auf dem Niveau des Vorjahres.

Die niedrigste einen Meter über Grund gemessene Sauerstoffkonzentration

betrug $7,5 \text{ g/m}^3$. Sie wurde Mitte August 2005 erreicht. Seit 1961, dem Beginn der IGKB-Messungen, ist dies der höchste im Jahresverlauf beobachtete Minimalwert. Er zeigt die abnehmende Sauerstoffzehrung am Seeboden und dokumentiert die fortschreitende Stabilisierung des Ökosystems Bodensee (Abb. 2B). Diese Beobachtung entspricht einer Entwicklung, die gemäß Modellrechnung mit dem derzeit geringen Phosphorgehalt konform geht.

Das **Phytoplankton** im Bodensee-Obersee erreichte 2005 im Jahresmittel eine Biomasse von $9,5 \text{ g/m}^2$ (0-20m) und liegt damit etwas höher als im Vorjahr. In den vergangenen Jahren wurden folgende Werte festgestellt. 2004: $8,4 \text{ g/m}^2$, 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; inzwischen hat sich die Jahresdurchschnittsbiomasse auf einem Niveau stabilisiert, das dem Mittel der letzten acht Jahre entspricht, also Werten zwischen $6,7$ und 13 g/m^2 . Dieser Wert liegt ungefähr auf der Höhe der Biomasse von 1961.

Der bereits in den letzten Jahren mit Ausnahme des Jahres 2002 beobachtete Trend zu niedrigeren Frühjahrsblüten setzte sich auch 2005 weiter fort. Die Frühjahrsblüte begann 2005 früher als im Vorjahr bereits Ende März und erreichte ihren Höhepunkt bereits Mitte April mit $14,1 \text{ g/m}^2$; dieser Wert entspricht fast dem des Vorjahrs. Das Klarwasserstadium von Mitte Mai bis Anfang Juni war ausgeprägter und kürzer als im Vorjahr. Danach entwickelte sich sehr schnell eine starke Frühsommerblüte, deren Maximum am 21.6. mit $36,8 \text{ g/m}^2$ gemessen wurde; dieses war

auch der Maximalwert im Jahr 2005. Die Biomasse sank schnell wieder ab und verharrte von Juli bis Ende September auf Werten zwischen $9,4 \text{ g/m}^2$ und 16 g/m^2 . Nach einem Herbstminimum im Oktober stieg die Biomasse im November noch einmal an und erreichte Ende November ein kleines Herbstmaximum von $15,2 \text{ g/m}^2$; danach sank sie wieder ab auf das jedes Jahr zu beobachtende Winterminimum mit Werten zwischen 2 und 6 g/m^2 .

Die zentrischen Kieselalgen traten 2005 wie in den drei Vorjahren stark in den Hintergrund und erreichten nur von Februar bis Anfang April, im Juli und Anfang August nennenswerte Anteile an der Biomasse. Dominierend waren *Cyclotella bodanica*, *C. cyclopuncta* und *C. pseudostelligera* als dezidierte Oligotrophierungsanzeiger sowie *Stephanodiscus neoastraea* als euryöke Form mit hoher Anpassungsfähigkeit an unterschiedliche Umweltbedingungen. Die pennaten Kieselalgen traten während des Frühsommermaximums im Juli und im Oktober stark in den Vordergrund. Während des Maximums im Juni bildeten sie den größten Teil der Biomasse, wobei vor allem *Fragilaria*, *Asterionella* und *Synedra* dominierten. Cryptomonaden erreichten das ganze Jahr über beträchtliche Anteile an der Biomasse; sie dominierten das Planktonbild während der Frühjahrsblüte und Anfang September. Die Dinoflagellaten bevorzugten die Frühjahrsblüte mit *Gymnodinium helveticum* sowie die Monate Juli und September mit *Ceratium hirundinella*. Die Chrysophyceen erreichten von April bis Oktober nennenswerte Anteile an der Biomasse. Während der Frühjahrsblüte dominierte dabei *Erkenia*, im Sommer und Frühherbst verschiedene oligotrophente Arten wie *Mallomonas* und *Dinobryon*. Coccale Grünalgen, die höhere Nährstoffkonzentrationen bevorzugen, erreichten wie bereits in den drei

Vorjahren das ganze Jahr über mit Ausnahme des Herbstmaximums im November nur noch einen unbedeutenden Anteil an der Biomasse. Fädige und coccale Blaualgen wurden wie im Vorjahr kaum noch beobachtet; lediglich im September und November wurden einige Arten gefunden, die nicht als Eutrophierungsanzeiger bekannt sind.

Der Jahresmittelwert des **Crustaceenplanktons** lag 2005 um 62 % höher als im Vorjahr 2004. Die Zunahme der Werte lag zwischen 4% (Daphnien) und 393 % (übrige Cladoceren). Der hohe Zuwachs bei dieser Zählkategorie war insbesondere durch die starke Zunahme von *Bosmina* und *Diaphanosoma* bedingt. Obwohl die Jahresmittelwerte insgesamt höher lagen, zeigten sich bei der saisonalen Entwicklung der einzelnen Zählgruppen Unterschiede.

Während 2004 schon im Mai/Juni hohe Individuendichten vorhanden waren, zeigen die Individuendichten der Daphnien 2005 erst im September hohe Werte. Die Werte lagen bis Mai auf niedrigem Niveau, im Juni / Juli etwas höher und stiegen erst im August deutlich an. Der Verlauf der Individuendichte ist in diesem Jahr so, wie er für einen oligotrophen See typisch ist.

Die Bestände der übrigen Cladoceren (*Bosmina*, *Bythotrephes longimanus*, *Leptodora kindtii* und *Diaphanosoma brachyurum*) liegen 2005 in allen Monaten höher als im Vorjahr. Der saisonale Verlauf ist in beiden Jahren ähnlich. Das Maximum lag wie 2004 im September, die Individuendichte betrug $33'000 \text{ Ind/m}^2$ (0-100 m). Im Oktober sanken die Werte stark ab ($5'400 \text{ Ind/m}^2$ (0-100 m)).

Die adulten Tiere von *Eudiaptomus gracilis* zeigten in der ersten Jahreshälfte hohe Individuendichten. Das Maximum

lag im März und betrug 83'000 Ind/m² (0-100 m). In den folgenden Monaten lagen die Dichten auf niedrigem Niveau (Mai: 28'000 , November 9'000 Ind/m² (0-100 m)). Im Dezember stiegen die Werte nochmals auf 41'000 Ind/m² (0-100 m) an. Anders als im Jahr 2004 lagen die Werte der Copepoditen im Frühjahr relativ hoch. Das Maximum im April betrug 91'000 Ind/m² (0-100 m). Die Werte im Sommer und Herbst lagen ebenfalls auf relativ hohem Niveau. Auffällig ist ein zweites Maximum im Dezember mit 119'000 Ind/m² (0-100 m).

Bei den cyclopoiden Copepoden zeigt der saisonale Verlauf der adulten Tieren deutliche Unterschiede im Vergleich zum Vorjahr. Das erste Maximum mit 125'000 Ind/m² (0-100 m) zeigte sich bereits im April, also einen Monat früher als 2004. Auch das zweite Maximum im August mit 125'000 Ind/m² (0-100 m) zeigte sich ebenfalls einen Monat früher. In den restlichen Monaten des Jahres 2005 lagen die Individuendichten auf niedrigem Niveau Die Unterschiede zum Vorjahr waren nur unwesentlich. Bei den Copepoditen fehlten zwar die im Januar und Mai 2004 beobachteten Maxima, die Individuendichten im Frühjahr lagen mit Werten zwischen 138'000 Ind/m² (0-100 m) und 237'000 Ind/m² (0-100 m) insgesamt aber höher als 2004. Im Juni und Juli waren die Individuendichten niedrig. Die Werte betrug 73'000 Ind/m² (0-100 m) und 49'000 Ind/m² (0-100 m). Im August zeigte sich ein zweites Maximum von 223'000 Ind/m² (0-100 m). Die Individuendichte im Dezember war mit 202'000 Ind/m² (0-100 m) aber nur geringfügig niedriger.

Bei der **Gesamtbakterienzahl** - bestimmt durch fluoreszenzmikroskopische Direktzählung - bewegten sich die Werte im Berichtsjahr auf

einem ähnlichen Niveau wie in den Vorjahren. Die seit 1997 im Vergleich zu den Jahren 1980 bis 1996 beobachtete Entwicklung mit geringer ausgeprägten Frühjahrs- und Sommermaxima war nach einer Unterbrechung 2004 auch im Berichtsjahr ausgeprägt. Im Frühjahr 2005 blieben in der Produktionszone (0 -10 m) die Werte bis zum März auf niedrigem winterlichen Niveau, wobei im Januar noch leicht erhöhte Werte in den oberen 30 m festgestellt wurden. Nach einem ersten Anstieg im April 2005 mit Werten über 2×10^6 Bakterien/ml wurden im Mai und Juni 2004 mit Werten über 4×10^6 Bakterien/ml relativ gering ausgeprägte Maxima beobachtet. Im Juli fielen die Bakteriendichten auf $2 - 3 \times 10^6$ Bakterien/ml ab. Im August folgte ein zweites Maximum mit dem Jahreshöchstwert von $4,6 \times 10^6$ Bakterien/ml. Danach fielen die Bakteriendichten stetig bis Dezember bis unter 2×10^6 Bakterien/ml ab. Ab November 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 wiederum mit relativ geringen Schwankungen ganzjährig im Bereich von 1×10^6 Bakterien/ml. Im Gegensatz zu den Keimbestimmungen schlug sich das Augusthochwasser nicht in erhöhten Bakteriendichten im Tiefenwasser nieder. Es wurde zu diesem Zeitpunkt lediglich ein stark erhöhter Anteil abiotischer Partikel im Tiefenwasser beobachtet. Insgesamt bilden die geschilderten Befunde die trophiebedingt niedrigeren Abundanzschwankungen der Bakterien ab, geben aber darüber hinaus keinen Hinweis auf aktuelle Zustandsänderungen im See.

Für die seit 1999 an der Station Fischbach-Uttwil durchgeführte monatliche Erhebung der Vertikalverteilung von *Escherichia coli* als Vertreter der **Fäkalbakterien** wurden auch für das Kalenderjahr 2005 die allgemein bemerkenswert niedrigen Belastungswerte für diese Keimgruppe im Freiwasser bestätigt. Im Jahre 2005 lagen 72 % der insgesamt 144 untersuchten Proben unterhalb von 1 Keim/100 ml und mit einer Ausnahme (5.9.05, 100 m Tiefe) lagen auch bei den restlichen Proben die Keimkonzentrationen unterhalb der für Oberflächengewässer immer noch als sehr gering einzustufenden Belastung von 5 Keimen/100 ml. Trotz einer zeitlich 2 Wochen nach dem Augusthochwasser erfolgten Beprobung, war dessen weit überwiegende Einschichtung ins Tiefenwasser auch an den Fäkalkeimkonzentrationen zu erkennen. Diese waren im gesamten Tiefenwasserbereich unterhalb 50 m zwar absolut nur mäßig (zwischen 3 und 5 Keimen/100 ml), gegenüber dem sonst praktisch unbelasteten Hintergrund aber signifikant erhöht. Damit zeigte sich ein ganz anderes Verteilungsbild als beim Frühsommer-Hochwasser 1999, bei dem die Einschichtung von mit Fäkalkeimen belastetem Flusswasser bevorzugt oberhalb der Sprungschicht erfolgte und auf eine wesentlich enger begrenzte Wasserschicht beschränkt war.

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

Die **Phosphorkonzentration** - bestimmt als Gesamtphosphor im Rohwasser - hat 2005 im Rheinsee mit einem Jahresmittel von 11 mg/m³ gegenüber 2004 mit 13 mg/m³ leicht abgenommen. Im Zellersee blieb der Wert bei 18 mg/m³ konstant.

Der Gehalt an **anorganischem Stickstoff** (Nitrat-, Nitrit- und Ammoniumstickstoff) mit Nitrat als Hauptkomponente nahm 2005 im Rheinsee leicht zu 0,86 g/m³ (2004: 0,82 g/m³). Im Zellersee erhöhte sich der Wert auf 0,93 g/m³ (2004: 0,78 g/m³).

Der **Sauerstoffgehalt** über dem Seeboden betrug im Rheinsee im November 2005 0,1 g/m³. Im Vorjahr hatte die Minimalkonzentrationen Anfang November bei 0,4 g/m³ gelegen. Im Zellersee, der bis 1992 über Jahrzehnte hinweg einen zeitweiligen totalen Sauerstoffschwund aufwies, wurde auch 2005 bei allen Messungen ein geringer Sauerstoff-Restgehalt gemessen. Der niedrigste Wert lag im Oktober bei 0,6 g/m³. Im August 2004 betrug der Minimalwert 1,0 g/m³.

Das **Phytoplankton** im Zellersee erreichte 2005 im Jahresmittel eine Biomasse von 14,2 g/m² (0-20m) und liegt damit etwas höher als im Vorjahr mit 13,9 g/m². In den vergangenen Jahren wurden folgende Werte erreicht. 2003: 16,3 g/m², 2002 und 2001: 12,5 g/m², 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 (0-20m). Die Jahresdurchschnittsbiomasse hat sich auf einem Niveau stabilisiert, das etwas tiefer liegt als das Mittel der letzten fünfzehn Jahre. Mit Ausnahme des Jahres 1999 sind dies Werte zwischen 10,5 und 18,7 g/m² (0-20 m). Damit liegt das trophische Niveau im Zellersee deutlich höher als im Bodensee-Obersee. Der Durchschnittswert der letzten fünfzehn Jahre liegt inzwischen bereits unter dem Niveau von 1961.

Im Jahr 2005 trat im Gegensatz zum Vorjahr die in früheren Jahren oft beobachtete Spätwinterblüte wieder ein; am 22.2. wurden 37,9 g/m² gemessen. Dieser Wert war auch die höchste Biomasse, die im Jahr 2005 beobachtet wurde. Nach dem Absinken dieser

Winterpopulation entwickelte sich eine schwache Frühjahrsblüte, die ihren Höhepunkt Anfang Mai mit einem Maximalwert von 21,3 g/m² erreichte. Die Biomasse sank ab auf ein ausgeprägtes Klarwasserstadium Anfang Juni, danach folgte schnell eine Frühsommerblüte Ende Juni mit 21,5 g/m². Danach sank die Biomasse erneut ab; es folgte im Juli und August wieder ein Anstieg auf einen Maximalwert Mitte August von 18,5 g/m². Nach einem weiteren Absinken Anfang September folgte ein Anstieg auf ein Herbstmaximum, dessen Höchstwert Mitte Oktober mit 15,9 g/m² gemessen wurde. Danach folgte ein langsames Absinken auf die Werte der Winterpopulation zwischen 3,5 und 6 g/m².

Die centrischen Kieselalgen traten vor allem im Spätwinterplankton in den Vordergrund. Unter den oligotraphenten Arten dominierte *Cyclotella cyclopuncta* wie in den Vorjahren. *Stephanodiscus neoastraea* als euryöke Form mit hoher Anpassungsfähigkeit an unterschiedliche Umweltbedingungen erreichte daneben beträchtliche Anteile und dominierte zeitweise, vor allem im März und April. Daneben wurde auch *Stephanodiscus alpinus* gefunden. Die oligotraphenten Arten *Cyclotella bodanica* und *C. pseudostelligera* traten im Gegensatz zum Obersee wenig auf. Die pennaten Kieselalgen erreichten von Ende Juni bis Mitte August beträchtliche Anteile an der Biomasse; dabei dominierten vor allem *Fragilaria crotonensis*, daneben auch *Asterionella formosa* und *Synedra*. Das Herbstmaximum wurde von Anfang Oktober bis Anfang November zum großen Teil von *Fragilaria crotonensis* gebildet. Cryptomonaden erreichten fast das ganze Jahr über beträchtliche Anteile an der Biomasse; sie dominierten das Planktonbild von April bis Juni, in der zweiten Septemberhälfte sowie im Spätherbst und Frühwinter. Die

Dinoflagellaten traten wieder stärker in Erscheinung als im Vorjahr; ihr Maximum erreichten sie im April und Mai mit *Gymnodinium helveticum* sowie Anfang September, wobei *Ceratium hirundinella* dominierte. Die Chrysophyceen erschienen ab Februar mit *Erkenia* und im Sommer mit *Heterochromonas*, *Mallomonas* und *Dinobryon*. Grünalgen wurden wie im Vorjahr wenig beobachtet; dabei hatten *Carteria*, *Chlamydomonas* und *Dictyosphaerium* den größten Anteil. Blaualgen spielten lediglich Mitte Juli mit *Anabaena lemmermannii* und Mitte Oktober mit *Chroococcus* eine gewisse Rolle.

Gesamtbewertung des Seezustandes

2005 wurde die beste **Sauerstoffversorgung** der grundnahen Wasserschichten seit Beginn der IGKB-Untersuchungen 1961 gemessen. Dieses Ergebnis bestätigt den seit 1990 beobachteten Trend einer rückläufigen Sauerstoffzehrung des Freiwassers an der tiefsten Stelle im Bodensee-Obersee (Abb. 2B).

Der **Phosphorgehalt** - bestimmt als Gesamtphosphor während der Zirkulationsperiode von Februar bis Anfang April - hat 2006 auf 8 mg/m³ abgenommen. Nach 9 mg/m³ im Jahr 2005 setzte sich damit der seit 25 Jahren beobachtbare Phosphorrückgang erneut fort (Abb. 2A).

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 (Abb. 2C).

Der Bodensee-Untersee mit den untersuchten Seeteilen Rheinsee und

Zellersee hinkt in seiner Entwicklung dem Obersee hinterher. Insbesondere die Sauerstoffgehalte in tiefen Seebereichen aber auch der Rückgang der Phosphorgehalte sind davon betroffen. Die Ursachen für den verzögerten Sanierungserfolg liegen in erster Linie in der Ausschwemmung belastender Biomasse aus dem Obersee sowie in der saisonalen Freisetzung von Phosphor aus den Sedimenten. Der flachere Untersee wird mithin stärker gedüngt und produziert eine rund zweifach höhere Biomasse als der Obersee. Infolge der geringeren Seetiefe und dem damit verbundenen verminderten Abstand der Wachstumszonen zum Sediment bleibt der Untersee auch künftig produktiver als der Obersee. Allerdings haben auch im Untersee die Sanierungsmaßnahmen in den vergangenen Jahren zu erheblichen Verbesserungen geführt.

In der **Phytoplankton-Zusammensetzung** des **Obersees** spielen Ubiquisten, also Arten ohne eine Indikationsfunktion eine wichtige Rolle. Das ganze Jahr über erreichten diese Ubiquisten beträchtliche Anteile an der Gesamtbio­masse. Insbesondere die Cryptophyten sind ein sehr gutes Futter für die Primärkonsumen­ten und stellen somit die Ernährung auch der höheren Stufen der Nahrungskette sicher. Die pennaten Kieselalgen, die die Fröhsommerblüte im Juni dominierten und auch im Juli sowie während des Herbstmaximums beträchtliche Anteile an der Biomasse erreichten, sind dagegen von Zooplankton nur schwer verwertbar.

Gegenüber dem Vorjahr 2004 hat sich die Plankton-Zusammensetzung 2005 nicht wesentlich geändert. Die im Jahr 2002 in den Hintergrund getretenen Oligotrophierungsanzeiger waren wie 2003 und 2004 wieder stärker vertreten und setzten die Entwicklung der letzten Jahre vor 2002 fort. Ausgesprochene Eutrophierungsanzeiger spielen nur noch

eine ganz untergeordnete Rolle; auch Cyanophyceen waren kaum noch vertreten.

Der kontinuierliche Abfall der Gesamtbio­masse seit 1997 war im Jahr 2002 durch einen Wiederanstieg auf das Niveau von 1997 unterbrochen worden; inzwischen hat sich die Jahresdurchschnittsbio­masse auf einem Niveau stabilisiert, das dem Mittel der letzten acht Jahre entspricht, also Werten zwischen 6,7 und 13 g/m². Dieser Wert liegt ungefähr auf der Höhe der Bio­masse von 1961.

Auch für die **Phytoplankton-Zusammensetzung** des **Untersees** (Zellersee) können diese Aussagen gemacht werden. Die Unterschiede liegen dort in der bereits im Februar einsetzenden Spätwinterblüte und in der stärkeren Dominanz von centrischen Kieselalgen. Die Jahresdurchschnittsbio­masse hat sich im Zellersee auf einem Niveau stabilisiert, das etwas tiefer liegt als das Mittel der letzten fünfzehn Jahre. Mit Ausnahme des Jahres 1999 sind dies Werte zwischen 10,5 und 18,7 g/m² (0-20 m). Damit liegt das trophische Niveau im Zellersee deutlich höher als im Bodensee-Obersee. Der Durchschnittswert der letzten fünfzehn Jahre liegt inzwischen bereits unter dem Niveau von 1961.

Bei den **Crustaceen** war im Untersuchungsjahr 2005 der saisonale Entwicklungsgang der Daphnien mit nur einem Sommermaximum auffällig. Er entsprach dem eines oligotrophen Sees und konnte in dieser Deutlichkeit zum ersten Mal beobachtet werden. Ob er sich in dieser Form manifestiert, bleibt abzuwarten. Insgesamt auffällig ist die trotz niedriger Nährstoffkonzentrationen doch weiterhin hohe saisonale Dynamik der einzelnen Zooplanktongruppen. Eine Wechselwirkung mit der

saisonalen Entwicklung der Phytoplanktonbiomasse ist nur bedingt erkennbar.

Für die **Gesamtbakterienzahl** wurde auch 2005 das inzwischen durch die Reoligotrophierung erreichte insgesamt niedrige Niveau für diesen Parameter bestätigt.

Belastungen durch die weit überwiegend mit Siedlungsabwässern eingetragenen **Fäkalkeime** (*Escherichia coli*) sind in der großen Freiwasserzone des Bodensees nach wie vor kaum bemerkbar. Dies unterstreicht den hohen Wirkungsgrad der Kläranlagen im Bodensee Einzugsgebiet. Im Jahr 2005 erfüllten 72 % aller Proben die Anforderungen für Trinkwasser (< 1 Keim/ 100 ml) und auch die übrigen Proben wiesen nur sehr geringe Belastungen (< 5 Keime / 100 ml) auf. Solche kurzfristigen Erhöhungen der Keimbelastungen wurden insbesondere im Tiefenwasserbereich unterhalb 50 m nach dem Augusthochwasser 2005 beobachtet. Diese Befunde bestätigen sowohl das Indikationspotenzial für die Einschichtung belasteten Flusswassers als auch das mit Starkregenereignissen verbundene erhöhte Keimbelastungsrisiko am See.

Fazit und Handlungsbedarf

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

Die Wasserqualität des Sees befindet sich weiterhin in einem sehr guten Zustand. Der langjährige Trend abnehmender Phosphorgehalte hat sich im Obersee erneut fortgesetzt. Der See nähert sich dem nährstoffarmen Zustand, den er in

der ersten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts hatte.

Im Untersee werden die Verhältnisse maßgeblich von den Redoxbedingungen in den grundnahen Seebereichen geprägt, welche die Phosphorfreisetzung aus den Sedimenten steuern. Zusätzlich werden sie von Mischungsprozessen in den verschiedenen Seeteilen und von Produktionsschwankungen beeinflusst. Darüber hinaus spielt die aus dem Obersee eingetragene Biomasse eine Rolle. Die insgesamt höhere Trophie des Untersees spiegelt diese Einflüsse wider. Auch im Untersee sind die Sanierungserfolge unübersehbar und sein limnologischer Zustand verbessert sich nach wie vor.

Das Seejahr 2005 / 2006 war von 3 Extremen gekennzeichnet:

- drittes Niedrigwasserjahr in Folge mit Rekordwerten im Winter 2006
- starker Hochwasserimpuls im August 2005 mit großem Feststoffeintrag
- intensive Auskühlung und gute Durchmischung aufgrund des außerordentlich lang anhaltenden Winters 2005 / 2006.

Die Stabilisierung des Ökosystems Bodensee wurde durch diese klimatisch und witterungsbedingten Ereignisse nicht negativ beeinflusst. Die biologischen und chemischen Parameter spiegeln den noch nicht abgeschlossenen Prozess der Reoligotrophierung im Bodensee wider. Ein weiter fortschreitender Wandel der Lebensgemeinschaften ist wahrscheinlich und das Ende dieser Entwicklung ist noch nicht absehbar.

Die Bevölkerung im Einzugsgebiet und ihre hohen Nutzungsanforderungen an den See nehmen mittelfristig zu und meteorologische Extremereignisse treten augenscheinlich häufiger auf. Daher sind

die konsequente Fortschreibung der hohen Anforderungen an die Abwasserbehandlung, die Minimierung diffuser Nähr- und Schadstoffeinträge sowie die

Reduktion struktureller Beeinträchtigungen unverzichtbare Garantien für eine nachhaltige Entwicklung des Bodensees.