

Ber. Int. Gewässerschutzkomm. Bodensee: 30, 1982

Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee

Bericht Nr. 30

DIE AUSWIRKUNG DER REINHALTEMASSNAHMEN AUF DIE
LIMNOLOGISCHE ENTWICKLUNG DES BODENSEES
(LAGEBERICHT)

INHALT

	Seite
Vorwort	5
1. Einleitung	7
2. Konzeption und Stand der Reinhaltemaßnahmen	8
3. Limnologischer Zustand des Bodensees	14
3.1 Allgemeines	14
3.2 Bodensee-Obersee	14
3.2.1 Freiwasser	14
3.2.2 Ufervegetation	15
3.2.3 Seeboden	16
3.2.4 Gesamtbeurteilung	17
3.3 Bodensee-Untersee	18
4. Phosphorbelastung des Bodensees	19
4.1 Ergebnisse der Zuflußuntersuchungen	19
4.2 Berechnungen nach dem Bau- und Investitionsprogramm	23
4.3 Vergleich	24
5. Prognose der limnologischen Entwicklung	26

	Seite
6. Weitere Reduktion des Phosphoreintrages	28
6.1 Abwassertechnische Maßnahmen	28
6.2 Sonstige Maßnahmen	31
7. Zusammenfassung und Wertung	32

Vorwort

Mit dem Übereinkommen über den Schutz des Bodensees gegen Verunreinigung vom 27. Oktober 1960 haben sich die Anliegerstaaten des Bodensees das Ziel gesetzt, den Bodensee vor weiterer Verunreinigung zu schützen und seine Wasserbeschaffenheit nach Möglichkeit wieder zu verbessern. Zur Erreichung dieses Zieles wurden in den vergangenen zwei Jahrzehnten im gesamten Einzugsgebiet des Bodensees große Anstrengungen unternommen. Sowohl für eine geordnete Abwasserbeseitigung als auch für die Erforschung und Überwachung der limnologischen Entwicklung des Sees und für andere Grundlagenarbeiten wurden hohe finanzielle Mittel aufgewendet. Im Rahmen des Bau- und Investitionsprogramms der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee haben die Staaten und Gemeinden im Zeitraum von 1960 bis 1980 allein auf dem Abwassersektor umgerechnet rund 3 Mrd. Schweizer Franken investiert. Das fortgeschriebene Programm sieht bis 1985 weitere Investitionen in Höhe von 1,1 Mrd. Schweizer Franken vor.

Als erster, wesentlicher Erfolg dieser Maßnahmen hat sich die zunächst noch immer stärker angestiegene Eutrophierung des Bodensees in den letzten Jahren nicht mehr fortgesetzt. Damit hat sich jedoch der Zustand des Sees noch keineswegs stabilisiert. Es stellen sich daher die Fragen, ob und inwieweit die bereits durchgeführten und im Rahmen des fortgeschriebenen Programms weiter vorgesehenen Maßnahmen ausreichen, welcher limnologische Zustand im Interesse der verschiedenen Nutzungsansprüche letzten Endes erreicht werden muß und kann, wie weit die Belastung des Sees zu senken ist, welche technologischen Möglichkeiten hierzu bestehen und welche sonstigen Maßnahmen ergriffen werden können.

Die Beantwortung dieser Fragen ist für die künftige Gewässerschutzpolitik am Bodensee unausweichlich. Daher hat sich die Gewässerschutzkommission in den Jahren 1977/78 insbesondere im Zusammenhang mit dem Stand und der Frage der Fortführung des Bau- und Investitionsprogrammes mit den angesprochenen Problemen befaßt. In diesem Zusammenhang wurden die Sachverständigen bei der 25. Tagung der Gewässerschutzkommission im Mai 1979 beauf-

trägt, die mit den Fragen der Zielsetzungen des Programms, der Richtlinien für die Reinhaltung des Bodensees und der limnologischen Verhältnisse zusammenhängenden Probleme weiter abzuklären und zu gegebener Zeit über die Ergebnisse zu berichten. Der vorliegende Bericht ist ein Beitrag zur Beantwortung dieser Fragen.

1. Einleitung

Das Grundproblem bei der Beurteilung der weiteren Erfolgsaussichten der Gewässerschutzmaßnahmen am Bodensee ist die Frage, ob und inwieweit es beim derzeitigen Stand der wissenschaftlichen Erkenntnisse nunmehr möglich ist, die limnologische Entwicklung des Sees in Abhängigkeit von der Zufuhr an belastenden Stoffen zu prognostizieren. Bereits bei den vorbereitenden Arbeiten zu diesem Bericht hat sich gezeigt, daß eine zuverlässige Prognose mit quantitativen Angaben auch gegenwärtig zumindest nicht ohne weiteres möglich ist. Zwar wird die Anwendung eines Modells vorgeschlagen, jedoch muß hierzu zunächst noch weiteres Datenmaterial gewonnen werden. Aufgrund der in den vergangenen zwei Jahrzehnten durchgeführten umfangreichen Untersuchungen ist es aber immerhin möglich geworden, den Bereich, auf welchen die Phosphorbelastung des Bodensees gesenkt werden muß, grob abzuschätzen.

Nachstehend wird zunächst auf die bisherige Konzeption der Reinhaltungsmaßnahmen eingegangen. Sodann wird untersucht, inwieweit die bisher getroffenen und im Rahmen des genannten Bau- und Investitionsprogramms bis 1985 vorgesehenen abwassertechnischen Maßnahmen, die auf dieser Konzeption aufgebaut sind, ausreichen bzw. mit welchen Maßnahmen aus technologischer und ökonomischer Sicht eine weitere Entlastung des Bodensees erzielbar ist.

Der Bericht konzentriert sich auf den für die Eutrophierung des Sees vor allem maßgebenden Nährstoff Phosphor. Aus limnologischer Sicht ist zwischen dem Bodensee-Obersee und dem von Natur aus bereits eutrophen Bodensee-Untersee zu unterscheiden; der Grundcharakter der beiden Gewässer ist so verschieden, daß an sie nicht die gleichen Qualitätsansprüche gestellt werden können. Da der Obersee über den Seerhein in den Untersee abfließt, hängt allerdings der qualitative Zustand des Untersees auch von dem des Obersees ab; Sanierungsmaßnahmen im Einzugsgebiet des Obersees wirken sich daher auch auf den Untersee aus.

2. Konzeption und Stand der Reinhaltemaßnahmen

Für die bisher getroffenen und bis 1985 weiter vorgesehenen abwassertechnischen Maßnahmen gilt folgende, in ihren Grundzügen bereits seit Anfang der 60er Jahre maßgebende Konzeption:

- Abwassertechnische Zusammenschlüsse zum Bau möglichst großer Abwasserreinigungsanlagen, um dadurch eine höhere Reinigungsleistung als bei kleineren Anlagen zu erzielen und bessere Voraussetzungen für den Betrieb weiterer Reinigungsstufen zu schaffen; Einzelanlagen nur in Ausnahmefällen.
- Möglichst vollständige Erfassung der in den Siedlungsgebieten anfallenden Abwässer durch Ausbau moderner Kanalisationsnetze, in der Regel im Mischsystem, um einen möglichst großen Anteil auch des verschmutzten Regenwassers durch die Reinigungsanlagen leiten zu können.
- Möglichst umfassende Mitbehandlung aller gewerblichen und industriellen Abwässer in zentralen Abwasserreinigungsanlagen, erforderlichenfalls nach Vorbehandlung dieser Abwässer.
- Vollbiologische und zusätzlich chemische Reinigung zur Phosphorelimination mit Hilfe von Vor-, Simultan- oder Nachfällung, ehe die Abwässer in den See oder seine Zuflüsse eingeleitet werden.

Diese Konzeption beruht sowohl auf der limnologischen als auch auf der technologischen Seite auf eingehenden und umfangreichen Überlegungen und Untersuchungen.

Allerdings bestanden bei der Bildung der Gewässerschutzkommission im Jahre 1959 keineswegs klare Vorstellungen über die zu treffenden Maßnahmen. Es war die Frage, ob es zu

rechtfertigen sein würde, daß die Staaten im Einzugsgebiet des Bodensees hier einen Schwerpunkt ihrer Gewässerschutzpolitik setzen. Schon die limnologischen Grundlagen reichten noch in keiner Weise aus, um Art, Umfang und Erfolgsaussichten eines auf alle Anliegerstaaten sich erstreckenden Sanierungsprogramms zuverlässig beurteilen zu können. Eine augenfällige, die Öffentlichkeit beunruhigende Verschmutzung des Sees lag noch nicht vor. Doch war die Tendenz der zunehmenden Verschlechterung und die hieraus erwachsenden Gefahren für die Fachleute nicht zu übersehen. Die Kommission stand vor der schwierigen Aufgabe, sowohl in der limnologischen Beurteilung des Sees als auch in der Beurteilung der zu treffenden Maßnahmen und der dabei anzuwendenden Technologien eine gemeinsame Basis zu finden. In der grundsätzlichen Beurteilung ging es um folgende Fragen:

- Welche Mengen an belastenden Stoffen gelangen von außen her in den Bodensee?
- Woher stammen diese Stoffe und wie hoch ist der auf Abwässer entfallende Anteil?
- Welche dieser Stoffe sind für die eutrophierenden Vorgänge im See maßgebend?
- Gelangen diese Stoffe nur von außen her in den See oder stehen sie dem See auch aus anderen Quellen, z.B. aus seinen Sedimenten, zur Verfügung?
- Läßt sich die Entwicklung des Sees beeinflussen, wenn es gelingt, den auf die Abwässer entfallenden Anteil an der Stoffzufuhr durch Ausschöpfung aller technischer Möglichkeiten entscheidend zu reduzieren?

Es liegt auf der Hand, daß man bei der Beantwortung derarti-

ger Fragen bei einem so komplizierten limnischen Ökosystem wie dem Bodensee weithin auf Hypothesen angewiesen war. Es versteht sich aber von selbst, daß man sich mit diesen Fragen sehr eingehend auseinandersetzen muß, um Entscheidungen über technische Maßnahmen treffen zu können, insbesondere angesichts der damit verbundenen beträchtlichen Investitionen. Dies ist auch in hohem Maße geschehen, wie in den Veröffentlichungen der Gewässerschutzkommission im einzelnen nachgewiesen ist.

Ausgangspunkt der Gesamtbeurteilung ist die im Kommissionsbericht Nr. 1 (1961) "Zustand und neuere Entwicklung des Bodensees" dargelegte Auffassung der limnologischen Sachverständigen, wonach die im einzelnen genannten Veränderungen und Beeinträchtigungen des Sees von außen an ihn herangetragen seien, daß nach dem Beispiel zahlreicher Alpenrandseen eine solche Entwicklung sprunghaft vorwärtsschreiten könne und daß der See "sich in einer labilen Phase befindet, in der zwar unbestimmbar, aber möglicherweise überraschend schnell eine entscheidende Verschlechterung mit unabsehbaren Folgen eintreten kann, wenn es nicht gelingt, die Zufuhr an eutrophierenden Stoffen entscheidend zu vermindern". Die Rolle des Phosphors als Minimumstoff wurde in diesem Bericht noch nicht klar herausgestellt, sondern erst später so eindeutig angegeben, daß hieraus auf der technischen Seite endgültige Folgerungen gezogen werden konnten. Im übrigen haben aber alle weiteren, nach Programmen der Kommission gemeinsam unternommenen, außerordentlich umfangreichen limnologischen Untersuchungen die Grundauffassung des Berichts Nr. 1 bestätigt.

Auch auf die Frage, ob aus den Seesedimenten Phosphor frei werden und für die Produktion organischer Substanz im See zur Verfügung stehen kann, wurde durch Untersuchungen kurzfristig eine Antwort gesucht. Sie ergaben, daß keine ins Gewicht fallende Phosphormengen auf diese Weise in den Wasserkörper des Sees gelangen, solange das Tiefenwasser ausreichend mit Sauerstoff

versorgt wird. Dies hat sich durch spätere Untersuchungen bestätigt.

In der Frage des auf Abwässer entfallenden und damit durch technische Maßnahmen beeinflussbaren Anteils an der Stoffzufuhr haben die Zuflußuntersuchungen 1967/68 die Annahme aus den Untersuchungen 1961 bestätigt, daß dieser Anteil bei der Phosphorzufuhr etwa zwei Drittel betrug. Nach der allerdings notgedrungen sehr allgemein gehaltenen Aussage der limnologischen Sachverständigen sollte es möglich sein, die Entwicklung des Bodensees zu einem - allerdings nicht voraussehbaren Zeitpunkt - wieder in den Griff zu bekommen, wenn es gelänge, die abwasserbedingte Stoffzufuhr möglichst rasch und entscheidend zu reduzieren.

Bei der Erarbeitung von Lösungsmöglichkeiten war auch die Frage untersucht worden, ob der See durch eine in den Hochrhein entwässernde Ringleitung in entscheidendem Umfang entlastet werden kann. In zwei Projektstudien wurden die technischen Möglichkeiten einer solchen Lösung ausgearbeitet. Es ergab sich, daß es nicht zweckmäßig ist, ein solches Projekt weiterzuverfolgen. Die Gründe sind im Kommissionsbericht Nr. 7 "Stellungnahme der Sachverständigen zur Frage einer Bodensee-Ringleitung (1967)" dargelegt.

Die den Reinhaltemaßnahmen zugrundeliegenden technischen Grundsätze waren zunächst Gegenstand mehrerer Kommissionsempfehlungen. Sie wurden später erweitert und haben dann im Anschluß an die Beratungen über eine etwaige Reinhalteordnung für den Bodensee in den "Richtlinien für die Reinhaltung des Bodensees vom 1. Juni 1967" ihren Niederschlag gefunden. Sie sind später auf Grund der in der Praxis gemachten Erfahrungen mit Kommentaren versehen worden. Auch diese Richtlinien beruhen auf eingehenden Überlegungen und zum Teil auch auf umfangreichen, speziellen Untersuchungen. Dies ist zum einen dadurch bedingt, daß zu einzelnen Fragen der Abwassertechnik in den Anlieger-

staaten zunächst etwas unterschiedliche Auffassungen bestanden und auch hier eine gemeinsame Basis gefunden werden mußte, zum andern mußte in einzelnen Bereichen, auch wenn die in den Richtlinien getroffenen Regelungen inzwischen weithin zum allgemeinen Stand der Technik geworden sind, damals häufig Neuland beschritten werden. Dies gilt z.B. für die Regenwasserbecken, für die erst Regeln für die Bemessung und die Gestaltung entwickelt werden mußten, die später im Kommissionsbericht Nr. 14 "Regenentlastungsanlagen - Bemessung und Gestaltung" (1973) veröffentlicht wurden. Dies gilt besonders auch für die Anlagen zur Phosphoreliminierung, für die zunächst Untersuchungen und Versuche bis hin zum Großversuch notwendig waren. Auf den Kommissionsbericht Nr. 19 "Stand der technischen Möglichkeiten der Phosphorelimination aus kommunalen Abwässern" (1977) sei hingewiesen.

Im Zusammenhang mit den vorstehenden Ausführungen wird insbesondere auf die auf der zweiten und dritten Umschlagseite im einzelnen genannten Berichte Nr. 1, 4, 6, 7, 9, 10, 11, 14, 16, 17 und 19 verwiesen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß sich die eingangs genannte Konzeption einschließlich der Richtlinien zur Reinhaltung des Bodensees grundsätzlich als richtig und zielführend erwiesen hat. Im wesentlichen geht es heute darum, von den limnologischen Gesichtspunkten ausgehend zu untersuchen, ob die an die Leistung der Abwasserreinigungsanlagen gestellten Anforderungen auch künftig als ausreichend angesehen werden können oder ob und inwieweit hier Modifizierungen etwa in Form differenzierterer Anforderungen und auch gewisse Prioritäten nötig und möglich sind.

Tabelle 1 gibt Aufschluß über die bis heute von den Staaten im Einzugsgebiet getätigten und bis 1985 weiter vorgesehenen Sanierungsmaßnahmen. Sie zeigt insbesondere, wie sich der Anschluß an die zentralen Abwasserreinigungsanlagen vollzieht.

Tabelle 1: Entwicklung der abwassertechnischen Anschlüsse nach dem Bau- und Investitionsprogramm (Bericht Nr. 24)

Obersee

Jahr	Einwohner u. Einwohnergleichwerte (E+EGW)	an Abwasserreinigungsanlagen angeschlossen			
		insgesamt		mit Phosphatfällung	
		E+EGW	%	E+EGW	%
1972	2'345'100	493'400	21,0	27'500	1,2
1978	2'927'200	1'635'700	55,9	1'094'300	37,4
1983	2'982'700	2'298'800	77,1	1'929'400	64,7
1985	3'001'900	2'592'700	86,4	2'466'700	82,2

Untersee

Jahr	Einwohner u. Einwohnergleichwerte (E+EGW)	an Abwasserreinigungsanlagen angeschlossen			
		insgesamt		mit Phosphatfällung	
		E+EGW	%	E+EGW	%
1972	336'600	178'000	52,9	36'000	10,6
1978	427'200	339'100	79,4	338'700	79,3
1983	426'900	388'600	91,0	388'000	90,9
1985	427'000	402'800	94,3	402'300	94,2

3. Limnologischer Zustand des Bodensees

3.1 Allgemeines

Ausgangspunkt der weiteren Betrachtungen ist der derzeitige Zustand des Bodensees. Dabei geht es auch um die Frage, ob und in welchem Umfang bereits ein Erfolg der bisherigen Reinhaltungsmaßnahmen festgestellt werden kann.

Die Qualitätsbeeinträchtigungen sind für das Freiwasser, die Uferzone und den Seeboden verschieden. Zwischen diesen drei Bereichen bestehen aber Abhängigkeiten und Wechselwirkungen.

Wie die Sachverständigen bereits in den 60er Jahren festgestellt hatten, bestand die hauptsächliche Ursache für die Zustandsveränderungen des Obersees und auch des Untersees in der übermäßigen Zufuhr von Pflanzennährstoffen, insbesondere von Phosphorverbindungen, welche die Produktion organischer Stoffe im See stark vermehrten. Außerdem lag eine Belastung durch organische Stoffe aus Abwässern, Abschwemmungen usw. vor, deren mikrobieller Abbau den Sauerstoffhaushalt des Sees belastete. Alle gegen diese Entwicklung gerichteten technischen Maßnahmen mußten dementsprechend eine möglichst weitgehende Einschränkung dieser Stoffzufuhren anstreben.

3.2 Bodensee-Obersee

3.2.1 Freiwasser

Erst Mitte der 70er Jahre wurde der etwa 1950 einsetzende Anstieg der Phosphorkonzentration im Freiwasser deutlich abgebremst. Zur Zeit ist ein annähernd gleichbleibendes, allerdings hohes Konzentrationsniveau erreicht. Bei Nitrat, das als begrenzender Faktor für die Phytoplanktonproduktion im See allerdings keine große Rolle spielt, ist noch ein leichter Anstieg zu verzeichnen.

Die Phytoplanktondichte im Freiwasser ist im gleichen Zeitraum auf annähernd das Doppelte angestiegen und hat seit-

her nicht mehr weiter zugenommen. Beim Zooplankton ist nebst einer quantitativen Zunahme eine noch nicht abgeschlossene Entwicklung zu einem Artenspektrum feststellbar, wie es einem eutrophen See entspricht. Die Entwicklung der Planktondichte in den einzelnen Jahren ist dabei auch abhängig von weiteren Steuerungsfaktoren des Pflanzenwachstums, wie z.B. Licht und Temperatur, und daher stark witterungsbedingt.

Der Sauerstoffhaushalt des Sees ist vor allem wegen dieser gesteigerten Produktivität, aber auch wegen der Zufuhr organischer Substanzen von außen gegenüber dem natürlichen Zustand stark belastet, was sich vor allem in der ersten Hälfte der 70er Jahre am Auftreten niedriger Sauerstoffkonzentrationen im tiefen Hypolimnion erkennen ließ. Die an sich erfreuliche Sauerstoffbilanz der letzten Jahre kann noch nicht als Indiz für eine nachhaltige Besserung des Seezustandes angesehen werden, da der Sauerstoffgehalt wesentlich von den Witterungs- und Zuflußbedingungen abhängt. Bei ungünstigem Witterungsablauf für den See (beispielsweise windarme Winter- und Frühjahrsmonate, Trockenjahre) können weiterhin niedrige Sauerstoffwerte vorkommen.

Im Gegensatz zum beobachteten Phosphoranstieg lassen die bisher vorliegenden Untersuchungen über die Entwicklung der Schadstoffsituation (Schwermetalle, Kohlenwasserstoffe, Biozide usw.) im Freiwasser noch keine längerfristige Beurteilung der Entwicklung zu. Die analytischen Ergebnisse aus verschiedenen Untersuchungsjahren sind aus methodischen Gründen nur beschränkt vergleichbar. Aktuelle Befunde zeigen allerdings, daß z.B. die Schwermetallkonzentrationen im Freiwasser des Sees gesamthaft als gering bezeichnet werden können.

3.2.2 Ufervegetation

Das heutige Zustandsbild der Ufervegetation ist gegenüber früher, z.B. bei der Vegetationskartierung 1967 oder den

noch weiter zurückliegenden Untersuchungen von JAAG, durch eine starke Zunahme der schmalblättrigen Laichkräuter und Fadenalgen einerseits und einem erheblichen Rückgang der Characeen andererseits gekennzeichnet. Die Erhöhung der Bewuchsdichte hat dabei verschiedentlich zu unerwünschten Verkrautungen und deren Folgeerscheinungen geführt.

Die Schilfflächen am See haben laufend abgenommen; die Bestandsdichte hat sich erhöht und die Stabilität der Halme vermindert. Die Bestände verfilzen, wodurch der Wasseraustausch zwischen Freiwasser und Schilf stark behindert wird. Die Anreicherung von organischem Material im Schilfgürtel und dessen mikrobieller Abbau verursacht stellenweise erheblichen Sauerstoffmangel und Auftreten toxischer Abbauprodukte. Darunter leidet nicht nur das Schilf, sondern auch der fischereiliche Nutzwert dieser Flächen und der dem Schilf vorgelagerten Uferzone stark.

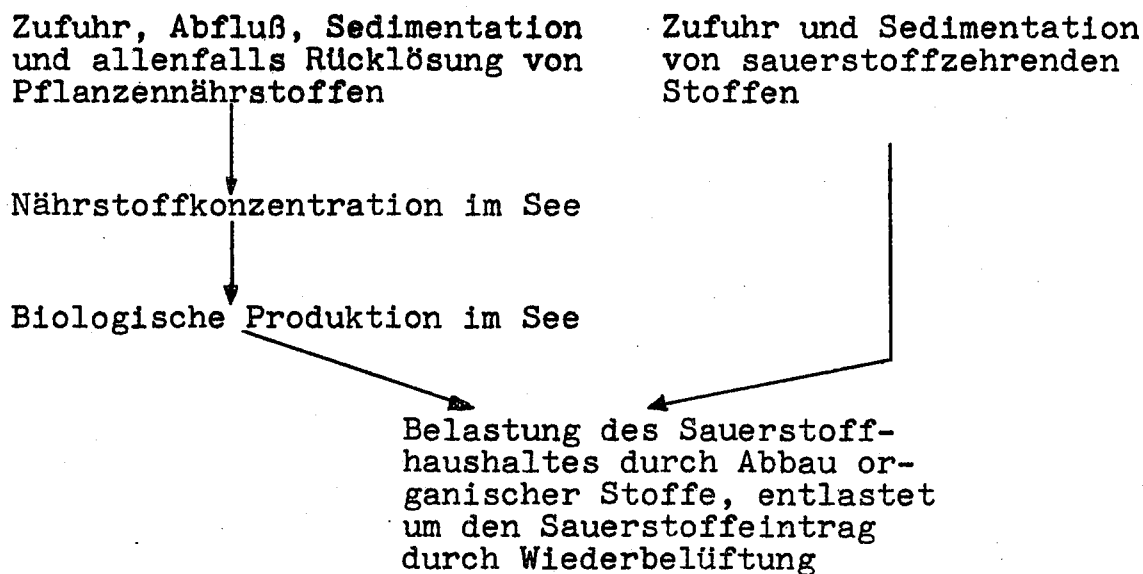
3.2.3 Seeboden

Bereits die Seebodenuntersuchungen der 60er Jahre haben im Sediment eine erhebliche Anreicherung organischer Substanz gegenüber den 30er Jahren erkennen lassen. Diese war damals unter dem Einfluß von Direkteinleitungen unzureichend geklärter Abwässer in den ufernahen Zonen besonders stark. Hier sind als Folge einer geordneten Abwasserbeseitigung deutliche Verbesserungen eingetreten. Andererseits darf aber nicht übersehen werden, daß eine Anreicherung abbaubarer organischer Stoffe im Sediment nunmehr auch in uferfernen Seebodenarealen in größerem Umfange festzustellen ist, was mit dem erhöhten Produktionsniveau des Sees aber auch mit der Zufuhr organischer Sinkstoffe von außen zusammenhängt.

Auch eine Zunahme verschiedener Schadstoffe im Sediment wurde festgestellt. Dabei geben die erreichten Konzentrationen von Kohlenwasserstoffverbindungen bereits zu Bedenken Anlaß; bezüglich der Zunahme der Kohlenwasserstoffverbindungen wird auf den Bericht Nr. 29 "Limnologische Auswirkungen der Schifffahrt auf den Bodensee" verwiesen. Von anderen Schadstoffen sind die Auswirkungen zum Teil derzeit noch nicht überschaubar.

3.2.4 Gesamtbeurteilung

Der Zustand des Bodensees ist in erster Linie bestimmt durch die Wirkungskette:



Es ist festzustellen, daß die Phosphorkonzentration im Freiwasser z.Zt. nicht mehr zunimmt. Das erreichte Konzentrationsniveau ist jedoch so hoch, daß eine Nährstoffreserve vorliegt, die bei bestimmten Witterungsbedingungen eine noch höhere Pflanzenproduktion als heute zulassen würde. Dies wäre jedoch beim Bodensee besonders bedenklich, weil seine Tiefenregion wegen des unregelmäßigen Zirkulationsverhaltens, möglicherweise über mehrere Jahre hinweg, nur ungenügend mit Sauerstoff versorgt wird. Da kritische Sauerstoffkonzentrationen im Tiefenwasser des Obersees bereits in den Jahren 1964 und 1971 - 1973 eingetreten sind, als die Nährstoffkonzentrationen im Freiwasser noch niedriger waren als heute, ergibt sich die eindeutige Schlußfolgerung, daß eine Verminderung des derzeitigen Nährstoffniveaus unbedingt angestrebt werden muß.

Wo Verschlechterungen im Bereich der Uferzone und des Seebodens eingetreten sind, zeigt die Zustandsanalyse, daß

diese überwiegend mit der Akkumulation von zugeführten Nährstoffen und organischen Sinkstoffen zusammenhängen. Eine Besserung kann auch hier ohne Herabsetzung des derzeitigen Konzentrationsniveaus der Nährstoffe und der dadurch bedingten Pflanzenproduktion nicht erreicht werden.

Zusammenfassend zeigt sich daher, daß das Problem der Nährstoffbelastung des Sees, insbesondere durch Phosphorverbindungen, auch aus heutiger Sicht die Schlüsselstellung in Fragen der Seesanie rung einnimmt. Schwieriger ist die Frage zu beurteilen, wie die einzelnen Glieder der oben dargestellten Wirkungskette quantitativ voneinander abhängen.

3.3 Bodensee-Untersee

Ebenso wie der Obersee stand auch der Untersee in den letzten zwei Jahrzehnten unter dem Zeichen ständig sich erhöhender Konzentrationen von Pflanzennährstoffen, insbesondere Phosphorverbindungen. In Abhängigkeit davon ist die Phytoplankton dichte des Freiwassers auf etwa das Doppelte angestiegen. Ähnlich verlief die Entwicklung bei den Cladoceren des Zooplanktons. Infolge des geringen Wasservolumens des Hypolimnions hat der See eutrophen Charakter und erfährt in einzelnen Seeteilen im Hypolimnion einen vollständigen Sauerstoffschwund während mehrerer Monate in der Stagnationszeit mit den entsprechenden Begleiterscheinungen, wie Freisetzung von Schwefelwasserstoff, Eisen- und Phosphorverbindungen aus dem Sediment. Dieses Zustandsbild bestand in den Grundzügen bereits zu Beginn der regelmäßigen Untersuchungen am Bodensee anfangs der 60er Jahre. Jedoch hat sich diese sauerstofffreie Periode im Hypolimnion verlängert und folglich die interne Belastung durch Rücklösung von Nährstoffen aus dem Sediment verstärkt.

Sichtbare Zustandsveränderungen in größerem Umfange ergaben sich im Untersee außerdem im Bereich der Flachwasserzonen. Sie sind charakterisiert durch eine deutliche Verschiebung in der Artenzusammensetzung der Wasserpflanzen, eine Zunahme der Fadenalgen und eine Degeneration der Schilfbestände.

4. Phosphorbelastung des Bodensees

4.1 Ergebnisse der Zuflußuntersuchungen

Die folgenden Aussagen stützen sich vor allem auf die umfangreichen Zuflußuntersuchungen der Jahre 1978/79, deren Ergebnisse Gegenstand des Kommissionsberichtes Nr. 28 sind. In ihm werden zum Vergleich die entsprechenden Werte der Erhebungen 1971/72 beigezogen. Die Ergebnisse früherer Zuflußuntersuchungen sind nur bedingt vergleichbar und können daher nur mit Einschränkungen verwertet werden.

Phosphor gelangt über die Zuflüsse, direkt einleitende Kläranlagen, Niederschläge und aus diffusen, schwer oder nur mit übermäßigem Aufwand erfaßbaren Quellen in den See. Zu den letztgenannten müssen kleine Abwasserreinigungsanlagen, direkt eingeleitete industrielle Abwässer, Abwässer nicht an Abwasserreinigungsanlagen angeschlossener Wohnsiedlungen sowie vor allem im ländlichen Raume Bodenerosion und Abschwemmungen gerechnet werden. Im übrigen wird zwischen Punktquellen unterschieden, die stets annähernd konstante Frachten liefern (abflußunabhängige Frachten) und kaum von der Witterung beeinflusst werden, und übrigen Quellen, deren Fracht in der Regel von der Witterung und damit vom jeweiligen Abfluß abhängt (abflußabhängige Frachten). Die konstanten Frachten bestehen im wesentlichen aus abwasserbürtigen Anteilen; sie enthalten aber auch Beiträge aus Grundwasser (Quellen) und Seen im Hinterland. Die gelösten witterungs- bzw. abflußabhängigen Frachten resultieren überwiegend aus Niederschlägen und Abschwemmungen; sie schließen jedoch auch erhebliche abwasserbürtige Anteile ein, die durch Regentlastungen oder -überläufe in den Vorfluter gelangen. Dies führt zu einer Unschärfe zwischen den beiden Fraktionen.

Im Flußlauf ausgefällte, ursprünglich gelöste, größtenteils abwasserbürtige Anteile können nur zusammen mit den natürlichen Flußschwebstoffen analysiert und nicht von diesen unterschieden werden. Grundsätzlich muß aber davon ausgegangen werden, daß alle Phosphorverbindungen, die im Einzugsgebiet des Bodensees in einen Vorfluter eingetragen werden, früher oder später in den See gelangen. Eine dauerhafte Rückhaltung in den Zuflüssen ist praktisch auszuschließen.

Aus den Zuflußuntersuchungen 1978/79 läßt sich über die derzeitige Phosphorzufuhr zum Bodensee folgendes aussagen (vgl. Tab. 2):

- Die größten Phosphorfrachten gelangen über die großen Flüsse in den See. Jedoch weisen die kleineren Flüsse höhere Konzentrationen auf. Die größeren Frachten fallen in die wasserreichen Monate. Die höchsten Konzentrationen gelöster Verbindungen treten in den wasserarmen Monaten, also vorwiegend im Winter, auf.
- Die witterungs- und abflußabhängige, also überwiegend aus Abschwemmungen stammende Phosphorfracht war 1978/79 zwar geringer als 1971/72. Daraus läßt sich jedoch noch nicht sicher auf einen Belastungsrückgang schließen, weil dieser Frachtanteil sehr stark von Abflußfaktoren beeinflusst wird.
- Ohne Berücksichtigung der Flußschwebstoffe gelangen gegenwärtig jährlich rund 1100 t gelösten Phosphors in den Obersee und 660 t gelösten Phosphors in den Untersee. Der zusätzlich über Flußschwebstoffe eingetragene biologisch als wenig wirksam angenommene ungelöste Phosphoranteil

beträgt etwa 1850 t Phosphor/Jahr für den Obersee und um 53 t Phosphor/Jahr für den Untersee.

- Gegenüber den Erhebungen von 1971/72 ist die Zufuhr biologisch wirksamer Phosphorverbindungen in den Obersee aus direkt einleitenden Abwasserreinigungsanlagen und aus dem näheren Einzugsgebiet deutlich zurückgegangen (vor allem infolge der Einführung der Phosphatelimination und des vermehrten Anschlusses von Einwohnern), wogegen die beiden größten Zuflüsse Alpenrhein und Bregenzerach dem See höhere Phosphorfrachten zuführten.
- Besonders auffällig ist die starke Abnahme des Phosphoreintrages aus restlichen Einleitungen im Uferbereich, als deren Ursache die Behandlung der Abwässer in phosphorfüllenden Abwasserreinigungsanlagen angesehen werden muß.
- Ein nicht zu vernachlässigender Beitrag ist der Erosion und Abschwemmungen aus ländlichen Gebieten zuzuschreiben.
- Für die höhere Phosphorfracht in den Untersee sind vor allem die gegenüber 1971 im Obersee noch angestiegene Phosphorkonzentration und der höhere Abfluß des Seerheins 1978/79 verantwortlich. Bekanntlich war das Seejahr 1971/72 ein ausgesprochenes Trockenjahr.

Tabelle 2: Zusammenstellung der von Witterung und Abfluß abhängigen bzw. unabhängigen Frachten an gelösten¹⁾ Phosphorverbindungen (t Phosphor/Jahr);
Gegenüberstellung der Ergebnisse 1971/72 und 1978/79

OBERSEE	1971/72 ³⁾	1978/79 ³⁾
abhängige Frachten ²⁾ :	429	353
unabhängige Frachten:		
- über Zuflüsse	408	562
- aus seeanliegenden Abwasserreinigungsanlagen	218	129
- aus sonstigen Einleitungen im Uferbereich	357	64
unabhängige Frachten gesamt	983	755
Gesamtsumme Obersee	1 412	1 108
=====	=====	=====
UNTERSEE	1971/72 ³⁾	1978/79 ³⁾
abhängige Frachten ²⁾ :	152	178
unabhängige Frachten:		
- über Zuflüsse	252	407
- aus seeanliegenden Abwasserbeseitigungsanlagen	39	39
- aus sonstigen Einleitungen im Uferbereich	95	34
unabhängige Frachten gesamt	386	480
Gesamtsumme Untersee	538	658
=====	=====	=====

- 1) Es sind auch geringe Mengen partikulärer Anteile aus seeanliegenden Abwasserreinigungsanlagen miterfaßt.
- 2) Über Zuflüsse, restliche ufernahe Areale und Niederschläge auf die Seeoberfläche.
- 3) Die Daten wurden ungerundet aus den Berichten über die Zuflußuntersuchungen 1971/72 (Nr. 17) und 1978/79 (Nr. 28) übernommen.

4.2 Berechnungen nach dem Bau- und Investitionsprogramm

Um die Auswirkungen gegenwärtiger und zukünftiger Gewässer-schutzmaßnahmen in bezug auf die Phosphorbelastung abschätzen zu können, wurde unabhängig von den gleichzeitig laufenden Zuflußuntersuchungen eine Berechnung angestellt, für welche folgende spezifischen Belastungswerte je Einwohner (E) bzw. Einwohnergleichwert (EGW) angenommen wurden:

Häusliches Abwasser	g Gesamtphosphor/Jahr und E
---------------------	-----------------------------

- Unbehandelt (abgesetzt)	1 200
- Biologisch gereinigt	900
- Biologisch-chemisch gereinigt	130
- Weitergehend behandelt (Flockungsfiltration)	50

Abwasser aus Gewerbe, Industrie und Fremdenverkehr	g Gesamtphosphor/Jahr und EGW
---	-------------------------------

- Unbehandelt (abgesetzt)	400
- Biologisch gereinigt	300
- Biologisch-chemisch gereinigt	45
- Weitergehend behandelt (Flockungsfiltration)	20

Mit diesen Werten, den Daten aus dem Bau- und Investitionsprogramm und den Angaben über die Verteilung der E und EGW auf Abwasserreinigungsanlagen verschiedener Größe läßt sich die Fracht an Phosphor (Gesamtphosphor) ermitteln, die jährlich aus Abwasser anfällt. Diese Berechnungen berücksichtigen alle abfließenden abwasserbürtigen Phosphoranteile, auch die biologisch weniger wirksamen partikulären Anteile und auch diejenigen, die auf dem Fließweg bis zum See in eine biologisch weniger wirksame Form umgesetzt werden. Die Beachtung dieses Sachverhaltes ist für den Vergleich mit den Ergebnissen der Zuflußuntersuchungen notwendig, der unter 4.3 gegeben wird.

Für den Bodensee-Obersee ergeben die Berechnungen bei planmäßiger Verwirklichung des Bau- und Investitionsprogramms

folgende abwasserbedingten Phosphorfrachten:

Jahr	1978	1983	1985
P-Bealstung in t (Gesamt-Phosphor)	1267	815	500
	(100 %)	(64 %)	(39 %)

Für den Bodensee-Untersee ergeben sich folgende Werte:

Jahr	1978	1983	1985
P-Belastung in t (Gesamt-Phosphor)	66	39	27
	(100 %)	(59 %)	(41 %)

Dabei darf nicht außer Acht gelassen werden, daß die Hauptphosphorfracht zum Untersee aus dem Obersee (Seerhein) stammt.

4.3 Vergleich

Die abwasserbürtigen Phosphorfrachten werden auf zwei unterschiedlichen Wegen ermittelt. Einmal durch die Zuflußuntersuchungen, bei denen die über die Flüsse aus dem Hinterland zugeführten Phosphorfrachten an bestimmten seenahen Punkten erfaßt werden und in der dort vorliegenden Form als gelöster oder partikulärer Phosphor zusammen mit den Phosphorfrachten aus den seeanliegenden Abwasserreinigungsanlagen in die Berechnungen eingehen. Zum anderen wird auf der Grundlage des Bau- und Investitionsprogramms bzw. dessen tatsächlichem Stand zu einem in den gleichen Zeitraum fallenden Stichtag die Phosphorfracht berechnet. Die Berechnung baut zwecks Vergleichbarkeit auf festgelegten Durchschnittswerten auf (s. 4.2). Sie ist auf das ganze Einzugsgebiet bezogen und berücksichtigt daher weder den Niederschlagsverlauf noch die Form, in der der Phosphor schließlich den See erreicht. Ein Vergleich der Ergebnisse beider Ermittlungsarten (gemessener, gelöster Anteil der witterungs- und abflußunabhängigen Fracht - berechnete, abwasserbürtige Gesamtposphorfracht) ist nur der Größenordnung nach möglich. Grundsätzlich kann eine umso bessere Übereinstimmung erwartet werden, je see-näher die Abwasserreinigungsanlagen liegen und sie wird umso schlechter, je weiter die Phosphorfracht transportiert wird,

weil dann Übergänge von gelösten zum partikulären Phosphor und Zwischendeponien eine größere Rolle spielen.

Nach den Zuflußmessungen ist dem Bodensee im Seejahr 1978/79 ohne Berücksichtigung der an Fluß-Schwebestoffe gebundenen Anteile eine abwasserbürtige Phosphorfracht von 755 t zugeführt worden. Aus den Berechnungen nach dem Bau- und Investitionsprogramm ergibt sich, daß im Einzugsgebiet des Sees ungefähr im gleichen Zeitraum eine abwasserbedingte Phosphormenge von rund 1270 t abgeleitet wurde, die entweder dem See unmittelbar oder über seine Zuflüsse zugeführt wurde. Der Unterschied von 515 t entfällt zu einem erheblichen Teil auf die an Fluß-Schwebestoffe gebundene abwasserbürtige Phosphorfracht und ist in seiner Größenordnung plausibel.

Die ermittelte Phosphorbelastung des Bodensees dürfte somit in der Größenordnung richtig sein, so daß sie den weiteren Überlegungen zugrunde gelegt werden kann.

5. Prognose der limnologischen Entwicklung

Wie eingangs bereits dargelegt, sollten möglichst klare Aussagen darüber gemacht werden, welche Folgewirkungen eine bestimmte Nährstoffzufuhr zum See im Hinblick auf sich ergebende Nährstoffkonzentration, pflanzliche Produktion und Belastung des Sauerstoffhaushalts hat. In diesem Falle wird man, ausgehend von der Kenntnis limnologischer Zusammenhänge, die Nährstoffzufuhr zum See auf ein Maß zu begrenzen haben, dessen Einhaltung einen befriedigenden Zustand des Sees garantiert.

Zur Zeit läßt sich ein solcher Belastungswert nur als grober Schätzwert angeben. Nach den derzeitigen Überlegungen, die auch auf der Verwendung der Ergebnisse von Bodensee-Untersuchungen in einem Phosphor-Bilanz-Modell beruhen, kann ein befriedigender Trophiezustand im Bodensee erreicht werden, wenn die durchschnittliche Phosphorkonzentration im Freiwasser mindestens auf $30 \text{ mg Phosphor/m}^3$ gesenkt wird. Nach dem Modell entspricht dies einer jährlichen Fracht von 500 t an gelöstem Phosphor. Die abwasserbedingte Phosphorzufuhr müßte dann auf etwa 200 t Gesamtposphor/Jahr vermindert werden.

Angesichts der hohen Investitions- und Betriebskosten bei den Abwasserreinigungsmaßnahmen im Einzugsgebiet sind zusätzliche Kenntnisse über die quantitativen Beziehungen zwischen Phosphorzufuhr und Qualitätszustand des Sees für die Präzisierung der Belastung notwendig.

Die Sachverständigen haben die Möglichkeit geprüft, zur Bestimmung einer zulässigen Belastung für den Bodensee bereits bekannte Prognose-Rechenverfahren anzuwenden. Sie gelangten zur Auffassung, daß diese Modelle für den Bodensee nur in Teilbereichen eingesetzt werden können. Es ist deshalb notwendig, dafür ein umfassenderes Prognose-Rechenverfahren zu entwickeln, in welchem die Beziehungen zwischen Nährstoffzufuhr, Nährstoffkonzentration im See, Biomasseproduktion

und Sauerstoffhaushalt im Vordergrund stehen. Grundsätzlich erscheint das quantitative Rechenverfahren, das an der Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EAWAG) in Zürich ausgearbeitet wurde, dafür geeignet. Die Anwendung des Modells für den Bodensee setzt allerdings voraus, daß alle erforderlichen Eingabedaten vorliegen. Dazu gehören

- die Ergebnisse der Zuflußuntersuchungen 1978/79, welche bereits die Berechnung der Beziehung zwischen Nährstoffzufuhr zum See und der Nährstoffkonzentration im See auf Grund des von WAGNER entwickelten Phosphor-Bilanz-Modells ermöglicht haben

sowie die Durchführung

- noch zusätzlich notwendiger Untersuchungen, um die bereits vorhandenen langjährigen Datenreihen mit den Erfordernissen der Prognoserechnung verknüpfen zu können. Derzeit ist vor allem an Produktions-, Sedimentations- und Mineralisationsmessungen, Bestimmung des Einflusses der Sedimente auf den Sauerstoff- und Phosphorhaushalt sowie das Zirkulationsverhalten im Hypolimnion gedacht.

Es ist aber nicht auszuschließen, daß für die Anpassung des EAWAG-Modelles weitere Basisinformationen erforderlich sind.

Die noch fehlenden Daten können nur durch ein spezielles Untersuchungsprogramm beschafft werden. Wegen der nötigen sorgfältigen Vorbereitung des Vorhabens läßt sich ein solches Programm frühestens ab 1983 durchführen.

6. Weitere Reduktion des Phosphoreintrages durch abwasser- technische Maßnahmen

6.1 Abwassertechnische Maßnahmen

Wie in 4.2 dargelegt, errechnet sich für den Obersee bei planmäßiger Verwirklichung des Bau- und Investitionsprogramms für das Jahr 1985 eine abwasserbedingte Phosphor-Belastung von 500 t, dies entspricht 39 % des entsprechenden Wertes für das Jahr 1978. Dabei ist zu beachten, daß nach dem Bau- und Investitionsprogramm auch bei dessen planmäßiger Erfüllung noch nicht alle anschließbaren E + EGW bis 1985 an Abwasserreinigungsanlagen angeschlossen sein werden und daß auch die Einrichtung von Phosphateliminationsanlagen noch nicht in allen Fällen vorgesehen ist.

Unter 5 ist aufgezeigt, daß eine weitere Reduzierung des Phosphoreintrages notwendig ist. Es liegt auf der Hand, daß dies in erster Linie auf dem abwassertechnischen Sektor erreicht werden muß.

Es wurden entsprechende Berechnungen angestellt. Sie gründen sich auf die prognostizierte Entwicklung der Zahl der Einwohner und Einwohnergleichwerte zum Jahre 1985 und haben ergeben, daß folgende Reduktionen der Jahresfracht möglich sind (siehe auch Tab. 3):

1. 185 t, wenn sämtliche anschließbaren E + EGW an Abwasserreinigungsanlagen angeschlossen werden.
2. 204 t, wenn zusätzlich zu (1) alle restlichen Abwasserreinigungsanlagen mit mehr als 2000 angeschlossenen E + EGW mit Phosphatelimination betrieben werden.
3. 229 t, wenn diese Phosphatelimination auf Anlagen mit mehr als 1000 E + EGW ausgedehnt wird.
4. 240 t, wenn diese Phosphatelimination in allen Anlagen mit mehr als 600 E + EGW eingeführt wird.

5. 286 t, bei zusätzlicher Einführung der Flockungsfiltration in Anlagen mit mehr als 100 000 E + EGW.
6. 318 t bei Flockungsfiltration in Anlagen mit mehr als 60 000 E + EGW.
7. 343 t bei Flockungsfiltration in Anlagen mit mehr als 30 000 E + EGW.

Für die Einordnung dieser Maßnahmen nach Prioritäten ist zu berücksichtigen, daß die Phosphatelimination nach den in den letzten Jahren gemachten Erfahrungen auch in kleineren Anlagen technisch durchaus möglich ist, bei Simultanfällung kaum Investitionen verursacht werden und die spezifischen Betriebskosten im gleichen Rahmen liegen wie bei großen Anlagen. Demgegenüber dürfte die Flockungsfiltration verhältnismäßig hohe Anlagekosten verursachen.

Bei Einführung aller genannten technischen Möglichkeiten (Anschluß aller anschließbaren E + EGW, Phosphatelimination bis 600 E + EGW, Flockungsfiltration ab 30 000 E + EGW) ist rechnerisch eine Reduktion des abwasserbedingten Phosphoreintrages auf 157 t/Jahr erzielbar.

Werden jedoch die Abwässer aller anschließbaren Einwohner und Einwohnergleichwerte an vollausgebaute Abwasserreinigungsanlagen angeschlossen und die Phosphatelimination auf allen Anlagen mit mehr als 600 E + EGW eingeführt, ist immerhin eine Reduktion des abwasserbürtigen Phosphoreintrages auf 260 t/Jahr zu erreichen.

Als zusätzliche Maßnahme zur Verringerung des Phosphoreintrages kommt neben einer Optimierung des Betriebes vor allem größerer Abwasserreinigungsanlagen z.B. durch gezielte Klärwärterfortbildung auch ein konsequentes Fernhalten von Fremdwasser aus den Schmutzwasserkanalisationen in Betracht.

Tabelle 3: Abwasserbedingte Phosphor-Belastung des Bodensee-Obersees pro Jahr in t (Gesamt-Phosphor)

Art der Abwasser- behandlung	Anschlußstand gemäß Bau- u. Investitionsprogramm				nach 1985 alle an- schließbaren E+EGW ange- schlossen
	1972	1978	1983	1985	
nicht angeschlossen oder nur mechanisch gereinigt	1'450	859	454	233	-
nur biologisch gereinigt	231	320	207	67	93
biologisch u. chem. gereinigt	2	88	154	200	222
Summe der Belastungen	1'683	1'267	815	500	315
Möglichkeiten zur Verminderung der abwasserbedingten Phosphor-Belastung in t pro Jahr					
Anzahl Anlagen	Maßnahmen zur Phosphor- verminderung auf Ab- wasserreinigungsanlagen	Anschlußstand			
		gem. Bau- u. Investi- tionsprogramm 1985 Ausgangsfracht: 500		nach 1985 alle an- schließbaren E+EGW angeschlossen Ausgangsfracht: 315	
		erzielba- re Entla- stungen	Restfracht	erzielba- re Entla- stungen	Restfracht
	<u>durch zusätzliche Phosphatfällung in:</u>				
8	größer 2'000 EGW	15	485	19	296
36	1'000 - 2'000 EGW	16	469	25	271
18	600 - 1'000 EGW	7	462	11	260
	<u>durch weitergehende Abwasserreinigung mit Flockungsfiltration in:</u>				
8	größer 100'000 EGW	42	420	46	214
9	60'000 - 100'000 EGW	28	392	32	182
16(1)	30'000 - 60'000 EGW	23	369	25	157

(1) einschließlich zweier Anlagen,
die entsprechend dem Bau- und
Investitionsprogramm nur bio-
logisch reinigen

6.2 Sonstige Maßnahmen

Über die reine Abwassertechnik hinaus sind auch andere Maßnahmen geeignet, die Phosphorzufuhr zu vermindern. Dies kann sowohl durch weitere Veränderungen der industriellen Produktionsabläufe bis hin zu Produktionsumstellungen als auch durch die möglichst weitgehende Verringerung des Phosphatanteils in Waschmitteln geschehen.

Ferner sollten Anstrengungen intensiviert werden, die darauf abzielen, Abschwemmungen und Erosion landwirtschaftlich genutzter Böden zu verringern. Ebenso wären die Bemühungen zu unterstützen, Jauchehälter genauso wie Stapelbehälter für landwirtschaftlich zu verwertende Klärschlämme so ausreichend zu dimensionieren, daß düngemäßig ungünstige Zeiten überbrückt werden können. Bestrebungen, auf jedem Bauernhof ein vernünftiges Verhältnis zwischen Tierzahl und Fläche zum Jaucheaustrag zu erreichen, sind zu verstärken.

7. Zusammenfassung und Wertung

Seit der Gründung der Internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee sind in den Staaten im Einzugsgebiet des Bodensees insbesondere auf dem Abwassersektor im Rahmen des gemeinsamen Bau- und Investitionsprogramms hohe finanzielle Mittel aufgewendet worden. Nach diesem Programm werden bis Ende 1985 umgerechnet über 4 Mrd. Schweizer Franken in Abwasseranlagen investiert sein. Die diesen Investitionen zugrundeliegende Konzeption hat sich auch unter den inzwischen erweiterten limnologischen und technischen Erkenntnissen als richtig und erfolgreich erwiesen. Als erster Erfolg dieser Maßnahmen hat sich die zunächst stark fortschreitende Eutrophierung des Bodensees in den letzten Jahren nicht mehr fortgesetzt.

Nach dem jeweiligen Stand der limnologischen Kenntnisse konnte das laufende Bau- und Investitionsprogramm nur allgemein auf limnologische Erfordernisse abgestimmt werden. Das Programm ist demgemäß eine Zusammenstellung der in den betreffenden Zeitabschnitten aus technischer und finanzieller Sicht realisierbaren Reinhaltungsmaßnahmen. Seine Zielsetzung steht nicht in unmittelbarem Zusammenhang mit der Frage, inwieweit mit der Durchführung des Programms bereits eine aus limnologischer Sicht ausreichende Entlastung des Bodensees erzielt werden kann, insbesondere, ob die an die Leistung der Abwasseranlagen gestellten Anforderungen entsprechend der derzeitigen Fassung der Richtlinien zur Reinhaltung des Bodensees ausreichen. Allerdings stand das Programm von Anfang an unter dem Vorzeichen, daß zu gegebener Zeit weitere Anforderungen gestellt werden müssen.

Der nach wie vor labile limnologische Zustand des Bodensees zwingt nunmehr dazu, sich eingehend mit der Frage zu befassen, welche weiteren Reinhaltemaßnahmen möglich und notwendig sind. Wie die vorliegenden Untersuchungen gezeigt haben, ist es gegenwärtig noch nicht möglich, die limnologische Entwicklung des Sees in Abhängigkeit von seiner Belastung ausreichend

sicher zu prognostizieren. Weitere Erkenntnisse können mit Hilfe eines Rechenmodells gewonnen werden, für das jedoch zunächst noch zusätzliches Datenmaterial erhoben werden muß. Auf Grund des gegenwärtigen Kenntnisstandes steht fest, daß es unabdingbar ist, die Phosphorbelastung des Sees weiter zu reduzieren. Die Möglichkeiten hierzu wurden untersucht. Im übrigen bleiben die Ergebnisse des vorgeschlagenen Modells abzuwarten.

