

# Kann der Bodensee gerettet werden?

Autor(en): **Dütschler, W.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Plan : Zeitschrift für Planen, Energie, Kommunalwesen und Umwelttechnik = revue suisse d'urbanisme**

Band (Jahr): **30 (1973)**

Heft 6

PDF erstellt am: **13.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-782050>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Kann der Bodensee gerettet werden?

Von W. Dütschler, wissenschaftlicher Leiter der Thurgauischen Bodensee-Untersuchungsstelle<sup>1</sup>

Die Frage, ob der Bodensee gerettet werden kann, beschäftigt viele Menschen, die sich mit den Problemen des Bodensees näher auseinandersetzen. Es ist sicher verständlich, dass man wissen möchte, ob angesichts der sich rasch verschlechternden Umweltbedingungen die recht erheblichen finanziellen Mittel, die in den letzten Jahren in die Abwasserreinigung rings um den See hineingesteckt worden sind und in naher und ferner Zukunft noch hineingesteckt werden müssen, überhaupt Aussicht auf Erfolg haben, oder ob nicht auf

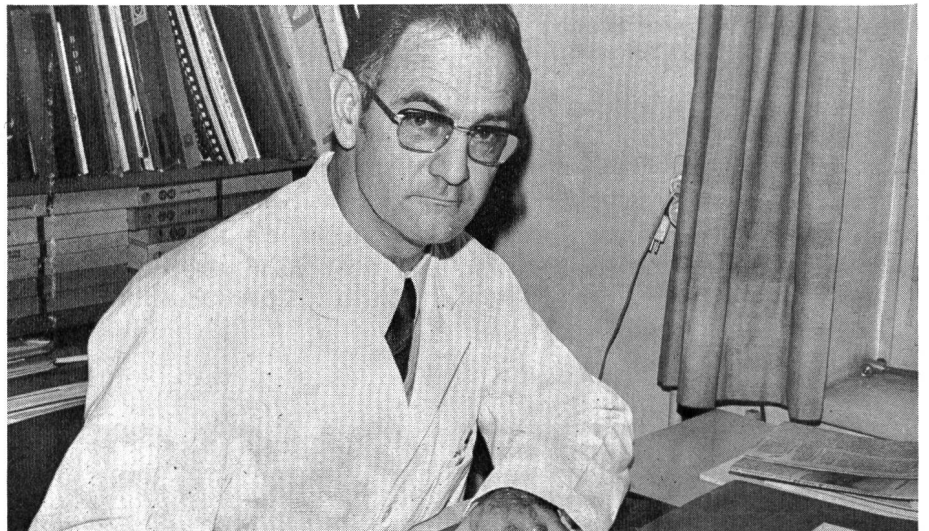
Grund der derzeitigen Erkenntnisse die ganzen Sanierungsbemühungen von vornherein illusorisch sind, so dass man vielleicht besser daran täte, wenn man die Mittel für andere Zwecke einsetzen würde und den Bodensee seinem Schicksal überliesse, einem Schicksal, dem der See ja ohnehin entgegenstrebt, denn der Prozess der Alterung ist naturgemäss mit allen stehenden Gewässern verbunden. Wir müssen uns aber bewusst sein, dass die natürliche Alterung der Seen in geologischen Zeiträumen, in Zehntausenden von Jahren also, vor sich geht und im Laufe eines Menschenalters nur unmerklich fortschreitet. Wir müssen uns aber auch wieder einmal darauf besinnen, dass wir modernen Menschen mit unserem zivilisatorischen «Fortschritt», der in diesem Zusammenhang allerdings eher fragwürdig erscheint, es in einem Zeitraum, der nicht einmal ein ganzes Menschenalter umfasst, fertiggebracht haben, den Bodensee in eine Entwicklung rasanter Verschlechterung zu bringen, so dass sich der See heute, nach einer Zeitspanne von 30 bis 40 Jahren, so präsentiert, wie wenn er bei natürlicher Entwicklung vielleicht 3, 4 oder auch mehr Jahrzehntausende durchlaufen hätte.

## **Ab 1980: Grössere organische Belastung des Vorfluters als früher**

Die am Bodensee eingeleiteten Sanierungsmassnahmen sehen die Förderung von Bau und Inbetriebnahme von Abwasserreinigungsanlagen so vor, dass bis Ende 1980 rund 90 % aller Abwässer im ganzen Einzugsgebiet des Bodensees in Abwasserreinigungsanlagen mechanisch, biologisch und zum grössten Teil auch chemisch (Phosphatentfernung) behandelt werden, woraus die Erwartung abgeleitet werden kann, dass die Sanierungsbestrebungen des Bodensees von Erfolg begleitet sein werden.

Eine Voraussetzung für diesen Erfolg ist die mässige Zuwachsrate der Einwohner und Einwohnergleichwerte im Einzugsgebiet des Bodensees. Ausserdem müssen

*Willy Dütschler, geboren am 17. Februar 1921, Chemiestudium, von 1952 bis 1962 Assistent am kantonalen Laboratorium in Solothurn (Trink-, Oberflächen- und Abwasseruntersuchungen), seit 1963 wissenschaftlicher Leiter der Thurgauischen Bodensee-Untersuchungsstelle*



<sup>1</sup> Leicht gekürztes Referat, gehalten an der Jahresversammlung der Untersuchungsstelle vom 23. Juni 1972

wir uns bewusst sein, dass die vorstehende Darstellung die Einwohner und Einwohnergleichwerte umfasst, die an Sammelreinigungsanlagen angeschlossen sind, das heisst also, dass hier die Belastung der Abwässer dargestellt ist, wie sie am Zulauf der Reinigungsanlagen anfällt. Für den Vorfluter, also für den Bodensee, ist aber entscheidend, welche Restbelastungen mit den Ableitungen aus den Abwasseranlagen in den See gelangen.

Hier müssen wir noch zwei weitere Punkte beachten: Die hier verwendeten Einwohnergleichwerte basieren auf Messungen des biochemischen Sauerstoffbedarfs (BSB-Messungen), die in der Abwassertechnik als gängiges Mass für Verunreinigungen gebraucht werden. Die BSB-Messungen betreffen aber, wie der Name besagt, biochemische, also relativ leicht abbaubare Verbindungen. Mehr und mehr erkennt man aber, dass man bei der Abwasserreinigung nicht nur auf leicht abbaubare Substanzen achten muss, die, solange die Selbstreinigungsmechanismen spielen, im Vorfluter ohnehin abgebaut werden. Man hat gelernt, dass auch die schwer abbaubaren Substanzen, die mit den Abwässern in den Vorfluter gelangen und vornehmlich aus der gewerblichen und industriellen Produktion stammen, eine Rolle spielen. Bei der Untersuchung von Gewässern und Abwässern wird man daher neben den BSB-Bestimmungen auch Methoden verwenden müssen, die eine Erfassung schwer abbaubarer Substanzen erlauben.

Im weiteren müssen wir uns bei der Erfolgsbeurteilung einer Reinigungsmassnahme darüber im klaren sein, dass die biologischen und chemischen Reinigungsvorgänge nicht zu 100 Prozent ablaufen. Die Restverunreinigungen von zwar nur wenigen Prozenten können aber, wenn die Ausgangsmenge an sich schon gross ist oder im Laufe der Entwicklung anwächst, von einer Grösse sein, die ins Gewicht fallen kann.

Andere Prognosen für die künftige Entwicklung der Gewässerschutzmassnahmen zeigen ein weit weniger günstiges Bild im Vergleich zu dem, was wir soeben vom Bodensee gelesen haben. Professor Wuhrmann von der Eidgenössischen Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (Eawag) in Dübendorf hat am Symposium für Umweltschutzfragen vom November 1970 an der ETH Zürich folgende Modellvorstellungen entwickelt:

Wuhrmann legt seinem Modell Einwohnergleichwerte von 2 Millionen und Industrie-gleichwerte von 1 Million zugrunde. Die Einwohnerzahl soll pro Jahr um 1,5%, die Industrieproduktion um 6% ansteigen. Das sind Zahlen, wie sie auch in anderen Beiträgen des Umweltschutzsymposiums genannt wurden. Ausserdem ist angenommen, dass im Jahr 1950, dem Ausgangspunkt der Betrachtung, noch keine Gewässerschutzmassnahmen vorhanden gewesen seien. Die Eliminationsraten werden in diesem Modell nicht wie sonst üblich in BSB-Werten, die ja nur die biologisch leicht abbaubaren Verbindungen betreffen, sondern in organischen Kohlenstoffeinhei-

ten angegeben. Die Eliminationsraten betragen demnach, bezogen auf organischen Kohlenstoff, für Einwohnergleichwerte 85% und für Industriegleichwerte 60%. Aus dem Wuhrmannschen Modell ist nun ersichtlich, dass mit der fortschreitenden Inbetriebnahme von Abwasserreinigungsanlagen seit 1950 unsere heutige Abwasserreinigungstechnik bezüglich absoluter Entlastung der Vorfluter von organischen Verbindungen aus den Abgängen des Menschen durchaus erfolgreich ist. Die kommunalen Reinigungsmassnahmen werden noch lange Zeit eine Minderbelastung der Gewässer ermöglichen, und zwar trotz der unverkennbar rückläufigen Tendenz, auf Grund der Bevölkerungszunahme etwa vom Jahre 1975 an. Die grössere Wachstumsrate der Industrie und die im Durchschnitt geringere Reinigungsmöglichkeit für industrielle Abwässer in kommunalen Anlagen weisen aber einen wesentlich ungünstigeren Verlauf der industriellen Gewässerbelastung auf. Trotz den für die Industrie vorausgesetzten ansteigenden Anschlusswerten an Kläranlagen vom Jahre 1950 an, nimmt wegen der grossen Wachstumsrate der Industrie ihr in die Vorfluter abgegebener Restanteil an organischen Verbindungen stetig zu und wächst vor allem vom Jahre 1970 an ziemlich rasch. Die Kurve, die sich aus der Addition der häuslichen und industriellen Restbelastungen ergibt, zeigt, dass durch die Abwasserreinigungsmassnahmen bis zum Jahre 1970 eine deutliche Entlastung der Gewässer eingetreten ist, die bis zum Jahre 1980, wenn auch in abnehmendem Masse, beibehalten bleibt. Von diesem Zeitpunkt an aber wird die organische Belastung des gewählten Vorfluters das Ausmass der Belastung im Jahre 1950 übersteigen. Wir müssen beachten, dass es sich hier um eine Modellrechnung handelt, deren quantitative Unterlagen frei gewählt sind.

Beim Vergleich der Prognosen für den Bodensee mit denjenigen von Wuhrmann fällt auf, dass die Gesamtzunahme der Einwohner- und Industriegleichwerte im Bodensee-Einzugsgebiet etwa der Zunahme der Einwohnergleichwerte beim Modell Wuhrmann entspricht. Der ungünstige Verlauf, der sich aus den Betrachtungen Wuhrmanns ergibt, ist vor allem auf die sehr starke Zunahme der industriellen Produktion mit den schwerabbaubaren Abwasserinhaltsstoffen zurückzuführen. Aus diesem Vergleich dürfen wir wohl schliessen, dass die am Bodensee in Gang gesetzten Gewässerschutzmassnahmen so lange Erfolg haben werden, als sich die Zunahme der Einwohner- und Einwohnergleichwerte im Rahmen des vorgezeichneten Bodensee-modells halten werden.

#### Der Jahreszyklus eines Sees

Das Seejahr beginnt für den Hydrobiologen etwa mit dem Frühlingsanfang. Die Wassertemperatur ist dann im ganzen See von der Oberfläche bis in die grösste Tiefe etwa 4 bis 5 °C. Im Frühjahr und Sommer erwärmen sich die oberen Wasserschichten, der See wird thermisch geschichtet. Das warme Oberflächenwasser ist leichter

als das kalte Tiefenwasser und schwimmt gleichsam wie eine Oelschicht auf den kälteren Wassermassen. Diese Schichtung ist recht stabil. Selbst starke Sommerstürme, die die oberflächlichen Wassermassen aufwühlen und sich vielleicht bis in etwa 10 m Tiefe auswirken können, bewirken keine durchgreifende Vermischung. Erst im Herbst und im Winter, wenn sich das Wasser an der Oberfläche abkühlt und damit schwerer wird, kann unter Windeinfluss eine Durchmischung von der Oberfläche bis zum Grund erreicht werden.

Diese physikalischen Gegebenheiten haben für einen See, stark vereinfacht dargestellt, etwa folgende Konsequenzen: In den oberen, warmen Wasserschichten entwickeln sich Planktonorganismen, die als Pflanzen assimilieren und dabei Sauerstoff produzieren. Diese Organismen sind meist kurzlebig, sterben ab und verlieren dadurch ihre Bewegungsfähigkeit, womit sie sich in der Schwebelage halten können, sinken ab und werden durch autolytische Prozesse abgebaut. Dabei wird im Tiefenwasser Sauerstoff verbraucht. Dieser Sauerstoffverlust kann während der Sommerstagnation von der Oberfläche her nicht ersetzt werden, obwohl in den obersten Wasserschichten durch die Assimilationstätigkeit des Planktons Sauerstoffübersättigung auftreten kann. Erst bei der Zirkulation im Winter kann wieder Sauerstoff aus der Atmosphäre bis in die tiefen Wasserschichten verfrachtet werden. In einem gesunden See können sich die Wassermassen bis zum Beginn des Seejahrs wieder volltanken, so dass von der Oberfläche her bis zum Grund wieder normale Sauerstoffsättigung vorliegt.

#### Bis gegen Ende der vierziger Jahre: Nährstoffarmes Gewässer mit klarem Wasser

Bis gegen Ende der vierziger Jahre gehörte der Bodensee wie die meisten Voralpenseen zu den nährstoffarmen Gewässern mit klarem Wasser und einer beschränkten Produktion von Organismen. Ein wichtiges Aufbauelement unter den Nährstoffen, der Phosphor fehlte praktisch völlig. Zumind. lag der Phosphatgehalt unter der Nachweisbarkeitsgrenze, die etwa bei 0,2 mg P/m<sup>3</sup> liegt. Um 1950 wurden die ersten Phosphatspuren gemessen. Seit her ist der Phosphat Spiegel immer stärker, in der letzten Zeit direkt beängstigend rasch angestiegen und liegt heute (Frühjahr 1972) etwa bei 50 mg/m<sup>3</sup> gelöstem Orthophosphat bzw. 60 mg/m<sup>3</sup> gelöstem Gesamtphosphat, gemessen am Ende der Zirkulationsphase. Diese Werte werden als Basisphosphatwerte bezeichnet, da sie zu Beginn des Seejahres als Basis für die Planktonproduktion zur Verfügung stehen. Bei diesen Konzentrationen hat der Phosphor seine frühere produktionshemmende Funktion verloren.

Der See reagierte auf diese Düngung mit einer starken Produktion an pflanzlichem Plankton. Heute gibt es im freien See etwa 20mal mehr planktische Algen als vor 20 Jahren, wobei neue Arten hinzugekommen sind. Die heutige Planktonproduktion kann 40 bis 60 Millionen Zellen pro Liter Wasser erreichen. Manchmal reichern sich Plank-

tonansammlungen an der Wasseroberfläche an, bilden sogenannte Algenblüten (nicht zu verwechseln mit Blütenstaub auf der Wasseroberfläche!). Eine Folge des üppigen Wachstums ist eine verstärkte Trübung des Wassers, seine Transparenz hat innerhalb von 35 Jahren etwa um 2 m abgenommen.

#### **Im Sommer oft nur 40prozentige Sauerstoffsättigung**

Die Plankter sind meist kurzlebige Organismen, die nach dem Absterben beim Absinken in tiefere Wasserschichten den im Wasser gelösten Sauerstoff verbrauchen. Im Laufe des Sommers, während der Stagnationsphase, sinkt deswegen die Sauerstoffsättigung im Bodensee meistens auf etwa 40 % des theoretischen Wertes. Von den ersten Untersuchungen im Jahre 1896 an bis Ende der dreissiger Jahre war der Sauerstoffgehalt während des ganzen Jahres ausgeglichen, und als man zwischen 1920 und 1923 über dem Grund eine einmalige Sauerstoffabnahme um 23 % feststellte (Restgehalt also noch 77 %), war das aussergewöhnlich. Heute ist der Zustand des Sees aber derart labil, dass besondere klimatologische Bedingungen, wie zum Beispiel die Seegröfni vom Winter 1962/63 oder der warme und windarme Winter 1971/72, die Winterzirkulation des Wassers sehr behindern können. Damit ist das Wiederauftanken der Tiefenzone mit Sauerstoff sehr erschwert. So betrug Mitte November 1971 der Sauerstoffgehalt an der tiefsten Stelle über dem Grund, nach Angaben der Anstalt für Bodenseeforschung in Konstanz, nur noch 2,4 mg/l, was einer Sättigung von 20 % des theoretischen Wertes entspricht. Bis Ende Februar 1972 verbesserte sich der Sauerstoffgehalt auf 4,4 mg/l, entsprechend 37 % Sättigung. Später senkte er sich wieder. Sinkt der Sauerstoffgehalt im Bereich über dem Seeboden auf sehr kleine Werte ab, so besteht die Möglichkeit, dass Phosphate, die unter normalen Bedingungen, das heisst bei genügender Sauerstoffsättigung, im Sediment fixiert sind, in die Wasserphase zurückgelöst werden und damit für eine neue Planktonproduktion zur Verfügung stehen.

Die Planktonorganismen werden nach ihrem Absterben teilweise rasch abgebaut. Dabei werden die inkorporierten Nährstoffe wieder frei und können für neue Planktonproduktion wieder zur Verfügung stehen. Bei kurzlebigen Planktonorganismen, die nach dem Absterben sehr rasch abgebaut werden, hat man nachweisen können, dass während einer Vegetationsphase der gleiche Phosphor mehrmals zum Aufbau organischer Substanz verwendet werden kann. Dadurch entsteht ein Kreislauf, indem einerseits immer mehr Plankton produziert und andererseits beim Abbau dieser Organismen immer mehr Sauerstoff verbraucht wird, so dass die Sauerstoffsättigung in den tiefen Schichten rapid abnehmen kann. Die dem See zugeführten Abwässer würden bei sofortigem Abbau etwa 4000 t Sauerstoff pro Jahr verbrauchen. Ihre Nährstoffe stehen aber im See zunächst zur Produktion von organischer

Substanz zur Verfügung. Die von diesen Stoffen lebenden Planktonorganismen verbrauchen nach ihrem Tod beim Abbau rund 80 000 bis 100 000 t Sauerstoff. Durch den Umweg über den Stoffkreislauf erhöhen sich also die abwasserbedingten Sauerstoffverluste auf das 20- bis 25fache. Diese Erscheinung wird als Sekundärverunreinigung bezeichnet.

#### **Weshalb eigentlich die Forderung nach Phosphatentfernung?**

Diese starken Eutrophierungserscheinungen im Bodensee können sich nur abspielen, wenn alle Aufbaustoffe, die zur Entwicklung der Planktonorganismen notwendig sind, in ausreichender Quantität zur Verfügung stehen, also genügend Kohlenstoff, Wasserstoff, Stickstoff und Phosphor nebst Spurenelementen und Wirkstoffen vorhanden sind. Wie bereits erwähnt, war Phosphor früher in weit geringeren Mengen vorhanden und wirkte damit als Minimumstoff produktionsbegrenzend. In einem gewissen, allerdings abgeschwächten Sinn wirkt dieser Mechanismus heute noch, dann nämlich, wenn etwa im Mai die erste starke Produktionsentwicklung im Gange bzw. abgeschlossen ist. Dann geht der Phosphatgehalt in der trophogenen Schicht (die durchlichtete, oberflächliche Wasserschicht, in der sich die Planktonproduktion abspielt) stark zurück, weil der Phosphor in die Planktonorganismen inkorporiert ist und zum grössten Teil mit den absterbenden Organismen in grössere Tiefen gelangt, um schliesslich, wenn genügend Sauerstoff vorhanden ist, im Sediment fixiert zu werden.

Gelänge es nun, die Phosphatzufuhr zum See wirksam zu vermindern, so könnte eine weitere, stärkere Planktonentwicklung nach dem ersten Maximum im Frühjahr stark abgehemmt, wenn nicht gar verhindert werden. Deshalb die Forderung nach Entfernung der Phosphate aus den in den See einzuleitenden mechanisch-biologisch gereinigten Abwässern.

#### **Die Unterschiede beginnen bei der dritten Stufe**

Betrachten wir nun die Leistungen der Abwasserreinigungsanlagen, insbesondere die Entfernung der Phosphate: In der ersten Stufe, der Vorklärung, werden durch die physikalischen Vorgänge des Absetzens die absetzbaren Stoffe, etwa  $\frac{1}{3}$  der Schmutzstoffe, entfernt. Von den Phosphaten wird hier nicht ganz  $\frac{1}{3}$  ausgeschieden.

Der Reinigungseffekt nach der zweiten, biologischen Stufe wird, bezogen auf leicht-abbaubare Substanzen, bei häuslichem Abwasser etwa 90 % betragen. Ein Schmutzstoffrest bleibt also im Wasser enthalten. Die biologische Stufe ist für die Entfernung der Phosphate fast bedeutungslos. Insgesamt ist nach dem Passieren der beiden ersten Stufen etwa  $\frac{1}{3}$  der Phosphate entfernt.

In der dritten Reinigungsstufe, der chemischen Fällung, wird, je nachdem wie sie durchgeführt wird, nochmals ein kleiner Teil der Schmutzstoffe eliminiert. Die grosse Bedeutung dieser Reinigungsstufe liegt

aber im Entfernen fast des ganzen Restes der Phosphate, wobei ich nochmals ausdrücklich *fast* betonen möchte, da bekanntlich chemische Fällungen nicht zu 100 % ablaufen.

Für die Phosphatelimination stehen uns heute in der Praxis zwei Verfahren zur Verfügung:

**Das Simultanverfahren:** Im Belebtschlammteil einer Abwasserreinigungsanlage werden Eisen- oder Aluminiumsalzlösungen zugegeben, die durch Flockenbildung und komplizierte Adsorptionsvorgänge Phosphate binden. Der bei diesem Simultanfällungsverfahren anfallende Schlamm wird mit dem übrigen Klärschlamm ausgeschieden. Dieses Verfahren hat den grossen Vorteil, dass bei den üblichen mechanisch-biologischen Anlagen keine baulichen Erweiterungen notwendig sind. Es müssen lediglich Stapelbehälter für Chemikalien und Dosiervorrichtungen geschaffen werden. Dieses Verfahren ist hauptsächlich durch Professor Thomas von der Universität Zürich propagiert worden und ist beispielsweise bei den meisten Abwasserreinigungsanlagen am Zürichsee seit einigen Jahren mit grossem Erfolg in Betrieb. Thomas konnte zeigen, dass sich der Zürichsee seit der konsequenten Einführung der Simultanfällung von einem einst stark eutrophen See in einen wieder mehr und mehr der oligotrophen Gewässergüteklasse angehörenden See zurückbildet: Der Planktongehalt in der trophogenen Schicht hat abgenommen. Damit ist die Durchsichtigkeit des Zürichseewassers gestiegen, die Färbung des Wassers hat wieder mehr zu bläulichen Farbtönen gewechselt, und die Sauerstoffkonzentration im Tiefenwasser hat sich wesentlich verbessert.

Neben dem Simultanverfahren steht das Fällungsverfahren als eigentliche dritte Reinigungsstufe zur Verfügung. Bei diesem Verfahren wird die Phosphatfällung im Anschluss an die bisherigen Reinigungsverfahren, also nach der Nachklärung, durchgeführt. Als Fällungsmittel kommen Eisen- oder Aluminiumsalzlösungen sowie Kalk oder Mischungen davon zur Anwendung. Die Abtrennung des Niederschlags muss in einem speziellen Bauwerk, einem Absetzbecken, vorgenommen werden. Es entstehen also zusätzliche Baukosten. Die Wirkung des Nachfällungsverfahrens wird wahrscheinlich etwas grösser sein als diejenige des Simultanverfahrens. Dazu kommt, dass beim Nachfällungsverfahren neben den Phosphaten auch andere organische Verbindungen, die nach der mechanisch-biologischen Abwasserreinigung noch im Abwasser enthalten sind, entfernt werden, so dass neben der Phosphatentfernung noch eine zusätzliche Reinigungsleistung erzielt wird.

Um nun auch die übrigbleibenden kleinen Phosphatmengen (etwa 10 % des ursprünglichen Gehalts) aus den Kläranlagen abzuführen im See möglichst wenig wirksam werden zu lassen, soll das behandelte Abwasser unterhalb der trophogenen Schicht, also in einer Tiefe, in der das einfallende Licht so stark gedämpft ist, dass keine nennenswerte Assimilation mehr



stattfinden kann, in den See eingeleitet werden, so dass möglichst wenig Algenmasse gebildet wird. Nach neuesten Erkenntnissen beträgt die Einschichtungstiefe im Bodensee/Obersee etwa 20 m und im Untersee, wo das Licht wegen der grösseren Planktonproduktion und dem damit verbundenen stärkeren Trübungsgrad nicht mehr so weit eindringen kann, etwa 15 m. Da am Bodensee an vielen Orten eine breite Uferbank vorhanden ist, werden die Kläranlageableitungen der direkten Uferleiter oft mehrere hundert Meter lang, bis die empfohlenen Einschichtungstiefen erreicht werden. Dementsprechend wachsen natürlich die Kosten für derartige Ableitungen.

Im weiteren können Phosphate durch den Bau von Ringleitungen von einem See ferngehalten werden, die die Abwässer sammeln und erst unterhalb des Seeausflusses, nach erfolgter Reinigung, in den Seeabfluss einleiten. Derartige Ringkanalisationen sind an verschiedenen Seen mit Erfolg angewendet worden. Aber nicht überall sind derartige Massnahmen sinnvoll. So hat die Internationale Gewässerschutzkommission für den Bodensee eingehende Studien durchgeführt und gefunden, dass es zweckmässiger ist, den im Gang befindlichen Bau von mechanisch-biologischen Reinigungsanlagen zu fördern und zunächst Simultanfällungen und eventuell später Nachfällungen der Phosphate anzuschliessen, da man mit einer Ringleitung, die etwa 500 Mio Fr. (Preisbasis 1967) kosten würde, nur wenig mehr Phosphate vom See fernhalten könnte. Dies würde aber nur die unmittelbar am See gelegenen Orte betreffen, denn der Anschluss weiter landeinwärts gelegener Orte liesse die Kosten einer Ringleitung ausserordentlich stark ansteigen. Ausserdem könnte man in einer Ringleitung vom Ausmass des Bodensees das Abwasser nicht unbehandelt durchleiten, da es sonst in Fäulnis übergehen und nachher kaum mehr zu reinigen sein würde. Aus diesem Grunde müssten die bereits erstellten oder im Bau befindlichen mechanisch-biologischen Reinigungsanlagen doch gebaut werden. Zudem müssten die Phosphate vor der Einleitung in den Rhein auch noch entfernt werden, sonst würden die Kalamitäten nach der Einleitungsstelle auftreten. Ausserdem hat sich die Gewässerschutzkommission für den Bodensee den eventuellen Bau einer Ringleitung ausdrücklich vorbehalten, wenn sich später zeigen sollte, dass Schadstoffe vom See ferngehalten werden müssen, die auf andere Weise nicht aus dem Abwasser zu entfernen sind.

#### Woher stammen die Phosphate?

Woher stammen nun die Phosphate, die an der Veränderung des Bodensees schuld sind? Untersuchungen haben ergeben, dass 55% des Phosphateintrages aus häuslichen Abwässern stammen, 25% kommen zusätzlich aus den modernen Waschmitteln der Haushalte und Industrie hinzu. Die restlichen 20% sind bodenbürtig, das heisst sie kommen von den Aekern, wo Phosphor von Natur aus vorhan-

den ist und durch Düngung angereichert wird. Diesen Phosphatanteil bekommen wir über die Kanalisationen nicht in den Griff. Die Fachleute sind sich aber einig, dass die Phosphatentfernung in den Abwasserreinigungsanlagen, sofern sie überall konsequent durchgeführt wird, und zwar auch im Hinterland, den gewünschten Erfolg bringen wird. Sobald die Phosphatzufuhr massiv gedrosselt werden kann, wird eine Sofortwirkung eintreten, die darin besteht, dass die Planktonentwicklung in den obersten Seeschichten nach der Frühjahrsentwicklung ab etwa Ende Mai zurückgeht, was für den Sauerstoffhaushalt des Tiefenwassers eine grosse Entlastung bedeutet. Mit der Zeit werden aber den Planktonorganismen auch vor Beginn der Vegetationsphase geringere Phosphatmengen zur Verfügung stehen. Auf lange Sicht nähert sich der Nährstoffgehalt des Sees wieder seinem ursprünglichen Zustand.

In letzter Zeit ist viel vom Ersetzen der Phosphate in den modernen Waschmitteln die Rede. Leider ist aber bis heute kein allen Anforderungen genügender Ersatzstoff gefunden worden, so dass den Waschmitteln weiterhin Phosphate beigefügt werden. Immerhin haben die Diskussionen dazu geführt, dass wenigstens bei uns in der Schweiz die Phosphatbeimischung auf das notwendige Mass zurückgeschraubt wurde. Die in den Waschmitteln verbleibenden Phosphatanteile müssen, bis eine bessere Lösung gefunden ist, durch die dritte Reinigungsstufe aus dem Abwasser entfernt werden.

#### Die schleichende Verunreinigung durch Mineralöl

Ein Kapitel, das uns in Zukunft noch schwere Sorgen bereiten kann, ist die schleichende Verunreinigung des Bodensees durch Mineralöl. Dr. Unger vom staatlichen Seeforschungsinstitut in Langenargen hat Untersuchungen über die Belastung der Seesedimente mit Mineralöl ausgeführt (publiziert in: GWF Wasser/Abwasser 112 (1971) H. 5, S. 256).

Dabei hat sich ergeben, dass im Seewasser und im Wasser der Zuflüsse ohne besondere umständliche Anreicherungs- und Extraktionsverfahren Mineralöle nicht nachweisbar sind. Es muss angenommen werden, dass über die Zuflüsse ständig gelöste, emulgierte und suspendierte Oele in sehr geringer Konzentration in den See gelangen, auf den Boden absinken und dort akkumuliert werden.

Aus den Ergebnissen dieser Untersuchungen geht hervor, dass die höchste Konzentration an Paraffinkohlenwasserstoffen vor Langenargen, bei einer Uferentfernung von etwa 800 m und einer Wassertiefe von etwa 100 m, mit 147 mg Paraffinkohlenwasserstoffen pro 1 kg Nass-Sediment gefunden wurde. (Als Paraffinkohlenwasserstoffe bezeichnet der Autor eine durch Säulenchromatographie abgetrennte Fraktion des Gesamteluates aus den Sedimenten, die dem tatsächlichen Mineralölgehalt am nächsten kommen dürfte.) Hohe Sedimentbelastungen finden sich ferner in der Brengener Bucht und vor der Rheinmündung, im Ueberlingersee, vor der Mündung der

Seefelder Aach und der Sockacher Aach. Geringe Belastungen sind vor Wasserburg, Meersburg, Sipplingen und im gesamten westlichen Südufer etwa bis Romanshorn zu verzeichnen. Die Seemitte zwischen Langenargen und Arbon—Romanshorn ist etwas mehr als schwach belastet. Alle anderen Stellen liegen zwischen beiden Extremen.

Teilt man alle Analysen in zwei Gruppen auf (die eine mit Messwerten vor den grösseren Flussmündungen und die andere mit denjenigen vor Ufern ohne direkten Zufluss) und ermittelt die Durchschnittskonzentrationen in Abhängigkeit von der Wassertiefe bzw. der Uferentfernung, so erhält man für die Gruppe vor den Flussmündungen eindeutig höhere Werte. In unmittelbarer Ufernähe bis rund 10 m Wassertiefe zeigen die Flussmündungen geringe Konzentrationen. Das ist verständlich, da hier die Schubkraft der Zuflüsse die Sedimentation noch verhindert. In Uferentfernungen von 500 bis 700 m, bei Wassertiefen von 30 bis 50 m, sind hingegen eindeutige Konzentrationsmaxima vorhanden, als Folge von in diesen Bereichen vermehrt zur Sedimentation gelangenden kohlenwasserstoffhaltigem Material. Es besteht demnach kein Zweifel, dass die Flüsse dem Bodensee Mineralöl-Kohlenwasserstoffe zuführen.

Durch diese «schleichende Oelzufuhr» beträgt die Belastung der obersten 3 cm der Bodenseesedimente im Durchschnitt rund 1 g Paraffinkohlenwasserstoffe pro 1 m<sup>2</sup> Seebodenoberfläche. Auf den gesamten Bodensee-Obersee umgerechnet ergibt das rund 600 t.

Derartige Untersuchungen sind im Bodensee erstmals vom Institut Langenargen durchgeführt worden. Wie der Autor in seiner Veröffentlichung schreibt, sind Vergleiche nicht vorhanden, so dass man erst nach einer weiteren Untersuchungsreihe, die in einigen Jahren durchgeführt werden soll, sehen kann, ob die Belastung der Bodenseesedimente mit Mineralöl zunimmt und die schleichende Gefahr sich damit eventuell in eine akute Gefährdung umwandeln kann.

Viel diskutiert wurde im weiteren der Oeleintrag durch 2-Takt-Motoren. Die veröffentlichten Zahlen waren einer heftigen Kritik unterworfen. Dieses Problem darf jedoch nicht übersehen werden, man kann aber auf diesem Sektor Verbesserungen erwarten, indem neue Motoren mit geringeren Oelbeimischungen auskommen und zudem 2-Takt-Aussenbordmotoren heute so gebaut werden können, dass weniger unverbranntes Oel durch den Auspuff ins Wasser gelangt.

#### Noch keine ölverseuchten Fische, aber...

Nach landläufiger Meinung breitet sich Oel auf der Wasseroberfläche aus. In Wirklichkeit bleibt aber nur ein kleiner Teil des Oels auf der Wasseroberfläche. Schon nach wenigen Stunden, besonders bei Turbulenz des Wassers, ist ein grosser Teil des Oels verschwunden. Ein Teil verdampft, besonders während der warmen Jahreszeit, ein weiterer Teil ist im Wasser löslich, wobei die löslichen Anteile sehr to-

xisch sind, aber auch relativ rasch abgebaut und zersetzt werden können. Weitaus der grösste Teil des Oels wird dispergiert und an Schwebstoffen adsorbiert. Nach Untersuchungen von Dr. Zahner vom staatlichen Seenforschungsinstitut in Langenargen können die Schwebstoffe die ihrem eigenen Gewicht entsprechende Menge Oel binden. Ist keine Schubkraft vorhanden, sedimentieren die Schwebstoffe mit-samt ihren Oelkomponenten auf den Seegrund und werden dort akkumuliert. Bei Wassertemperaturen von 4 bis 5 °C, die das ganze Jahr über in den tiefen Regionen vorhanden sind, geht der Abbau vieler

Durch Ueberlagerung durch fremde Gerüche können die Tiere ihre Orientierung verlieren und irregeleitet werden, wobei dazu geringste Spuren von Fremdstoffen genügen.

Eine der eindrücklichsten Schilderungen über die Auswirkung von Oelverunreinigungen in Gewässern hat M. Blumer in einem Vortrag im Mai 1971 an der Eawag gegeben (M. Blumer: Verunreinigung der Gewässer durch Oel. Zum Problem der persistenten Chemikalien in der Umwelt): Die Küstengewässer in der Nähe von Cape Cod (Mass. USA), wo sich ein Tankerunfall ereignete, waren schon vor diesem Ereignis

und anderen persistenten Stoffen suchen müssen. Aehnliche Ueberlegungen können auch auf Abwasserreinigungsanlagen übertragen werden: Eine Kläranlage ist ja ein von Menschen adaptiertes natürliches System zur Entfernung von organischen Verunreinigungen. Man hat hier also Substanzen von häuslichen Abwässern, die leicht abbaubar sind, aber auch persistente Substanzen, zum Beispiel Produkte aus der chemischen Industrie, wie Kohlenwasserstoffe und Schädlingsbekämpfungsmittel und andere, heute vielleicht noch unbekannte Produkte, die mehr und mehr ins tägliche Leben eindringen. Derartige Stoffe werden zum Teil nur sehr langsam abgebaut, und wenn man sie mit unzureichenden Methoden nachweisen will, weiss man nicht einmal, ob solche Stoffe überhaupt vorhanden sind. Möglicherweise muss man in Zukunft zu den mechanischen, biologischen und chemischen Abwasserreinigungsanlagen noch spezifisch gezielte Reinigungsstufen hinzufügen. Dies geschieht ja teilweise jetzt schon bei Abwässern aus Industriebetrieben, bevor sie in kommunale Abwasserreinigungsanlagen geleitet werden.

Noch besser ist es natürlich, wenn man derartige Substanzen überhaupt nicht im täglichen Gebrauch zur Anwendung bringt. Das revidierte Eidgenössische Gewässerschutzgesetz sieht ja die Möglichkeit vor, die Anwendung von Substanzen zu verbieten, die nur sehr schwer oder überhaupt nicht aus dem Abwasser entfernt werden können. Das bedingt natürlich, dass die Existenz derartiger Substanzen bekannt ist.

*Die Oeffnung des Gotthardpasses stellt jedes Jahr neue Probleme, sei es, weil während der Räumungsarbeiten neuer Schnee fällt, sei es, weil die Arbeit oft wegen akuter Lawinengefahr unterbrochen werden muss. Diese Probleme werden das Urner Bauamt wohl noch Jahre beschäftigen, da sich der Bau des Gotthardtunnels verzögert hat. Die Rolba-Schneesleudern, die dieses Jahr zum viertenmal in Serie am Gotthard in Aktion standen, sind für ihren Einsatz jedoch bestens ausgerüstet: Selbst auf Lawinenkegeln werden sie mit Erfolg eingesetzt*



*(Aufnahme: Martin A. Walser)*

Oelkomponenten sehr langsam vor sich, so dass diese Oelbestandteile und schliesslich auch ihre Zersetzungsprodukte über sehr lange Zeiträume wirksam sein können. Bei zunehmender Anreicherung beeinflussen sie in steigendem Umfang die Stoffaustauschprozesse in der Wasser-Sediment-Grenzzone und intensivieren und beschleunigen hierbei zum Teil gerade jene Vorgänge, die direkt oder indirekt auch durch Abwasserzufuhren ausgelöst werden. Die im Freiwasser dispergierten Oelanteile können bereits in geringen Konzentrationen die im Bodensee lebenden Organismen schädigen. Ueber Planktonorganismen und Fische können Oelbestandteile auch in die Nahrungskette gelangen. Man kann zwar Geschmacksbeeinflussungen von Fischfleisch durch nachträgliches Hältern der Fische wieder aufheben, die Fische sind dann aber noch keineswegs von den gespeicherten Oelbestandteilen befreit. Es sei aber ausdrücklich betont, dass derart ölverseuchte Fische im Bodensee noch nicht aufgetreten sind. Wir wollten hier lediglich die Möglichkeiten aufzeigen, die eintreten können, wenn der zunehmenden Oelverseuchung des Sees nicht Einhalt geboten wird.

Durch Oelbestandteile oder deren Abbau-produkte kann aber auch die Oekologie mancher Seebewohner gestört werden, da sich viele Wassertiere nach dem Geruchssinn orientieren und so ihre Futterplätze oder auch ihre Sexualpartner finden.

nis durch das ozeanographische Institut, in dem Blumer tätig ist, eingehend untersucht worden. Auch waren die Leute in diesem Institut schon vor diesem Oelunfall darauf eingespield, mit den besten zur Verfügung stehenden Methoden Oelkomponenten im Wasser, im Sediment und in Wasserorganismen nachzuweisen und zu bestimmen, so dass dieser Oelunfall geradezu zu einem Modellfall geworden ist: Die Ausbreitung des Oels auf dem Meeresboden, die Inkorporierung in Meeresorganismen und die Schädigung solcher Organismen konnten aufs genaueste verfolgt werden. Noch viele Monate nach dem Unfall konnten die Auswirkungen nachgewiesen werden, obwohl man nach rein visueller Beurteilung oder der Anwendung der üblichen Untersuchungsmethoden, wie der Messung von Summenparametern, wie zum Beispiel des biochemischen Sauerstoffbedarfs oder des Kohlenstoffgehalts (Messungen, auf die auch wir mangels besserer Möglichkeiten angewiesen sind), hätte meinen können, die Angelegenheit wäre in bester Ordnung. Blumer hat in seinem Vortrag eindringlich davor gewarnt, Oelbelastungen, wie sie durch die Untersuchungen von Unger in den Bodenseesedimenten nachgewiesen worden sind, allzu leicht zu nehmen.

Gemäss diesen Erkenntnissen wird man bei Gewässeruntersuchungen inskünftig mehr und mehr mit gezielten und spezifischen analytischen Methoden nach Oel

### Zusammenfassung

Ich bin mir bewusst, dass die Gedanken, die ich hier geäussert habe, nicht etwa der Weisheit letzter Schluss sind. Das ganze Gebiet ist so umfangreich, dass längst nicht alle Fakten erwähnt werden konnten. Um eine Sanierung des Bodensees erreichen zu können, scheinen mir folgende Punkte wichtig zu sein:

1. Die Restverunreinigungen, die aus den Abwasserreinigungsanlagen in den See abgeleitet werden, müssen so klein wie möglich gehalten werden. Das bedeutet, dass wir dafür Sorge tragen müssen, dass die Bevölkerungsentwicklung und das Industriewachstum im gesamten Einzugsgebiet des Bodensees in einem ausgewogenen, vernünftigen Rahmen gehalten werden.
2. Die Zufuhr von eutrophierenden Stoffen, insbesondere von Phosphaten, muss mit allen zur Verfügung stehenden Mitteln so rasch und so weitgehend als nur irgend möglich gedrosselt werden.
3. Persistente, giftige Abwasserinhaltsstoffe müssen mit gezielten, spezifischen Untersuchungsverfahren erkannt und eliminiert werden können.

Dabei müssen wir uns bewusst sein, dass die Forschung laufend neue Erkenntnisse vermittelt, die wir sinngemäss anwenden müssen, damit das ökologische Gleichgewicht des Vorfluters Bodensee nicht nur nicht gestört, sondern, soweit notwendig, wiederhergestellt werden kann.