Zeitschrift: Jahrbuch der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft. Wissenschaftlicher und administrativer Teil = Annuaire de la Société Helvétique des Sciences Naturelles. Partie scientifique et administrative

Herausgeber: Schweizerische Naturforschende Gesellschaft

Band: 158 (1978)

Artikel: Der Anteil der Waschmittel-Phosphate bei der Eutrophierung der Seen

Autor: Ambühl, Heinz

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-90758

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 22.08.2025

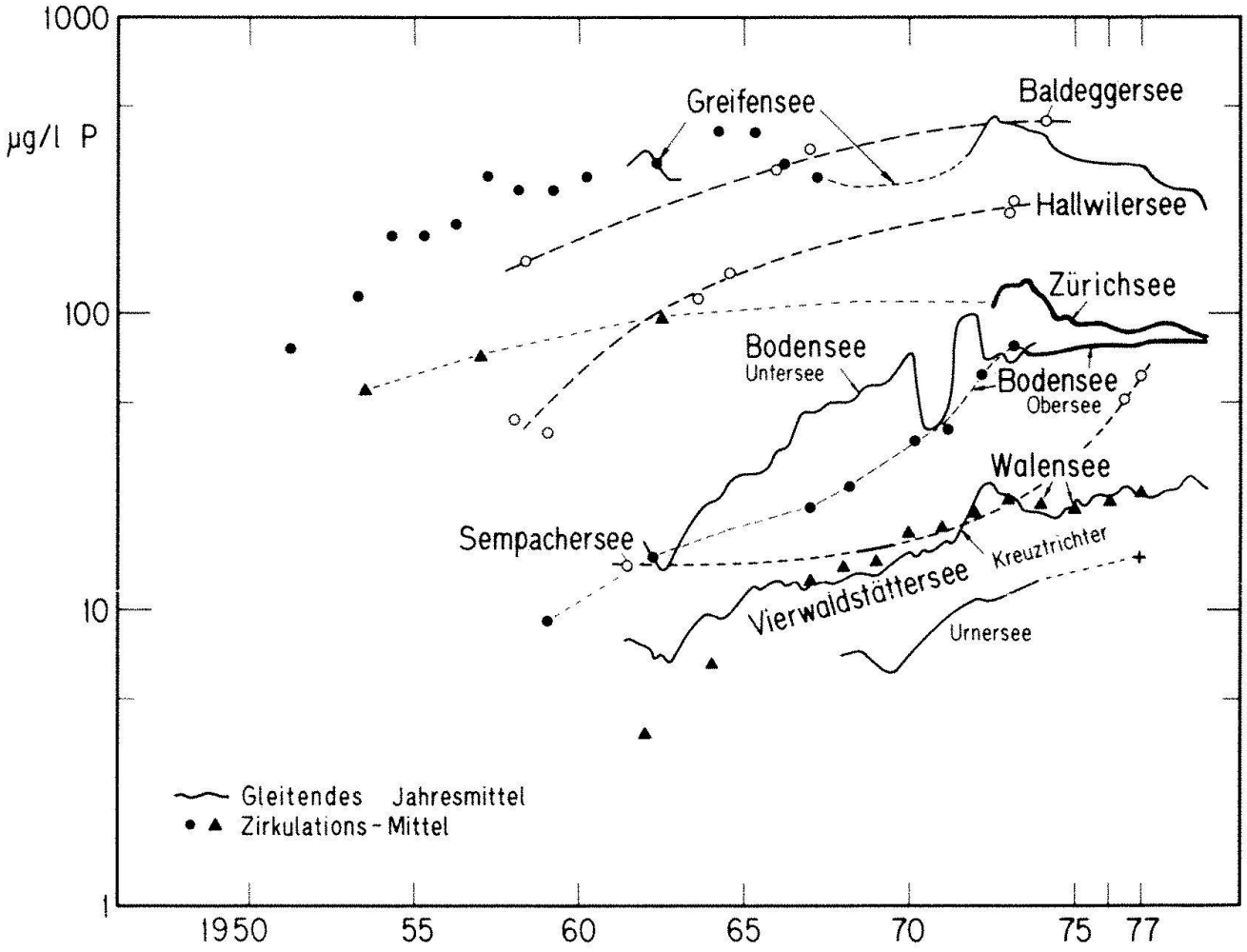
ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Der Anteil der Waschmittel-Phosphate bei der Eutrophierung der Seen

Heinz Ambühl

In den vergangenen 3 Jahrzehnten hat sich der Zustand der meisten Seen der Schweiz stark verschlechtert. Die wichtigste und heute nicht mehr bestrittene Ursache ist die zu hohe Belastung der Seen mit Phosphat. Im unbeeinflussten, ursprünglichen Ökosystem steuert Phosphat als der essentielle Pflanzennährstoff, der zuerst aufgebraucht wird, den gesamten Stoffumsatz, die Biomassesynthese und damit auch die Belastung mit eigenen Produkten. Eine steigende derartige Belastung wird im gesamten als Eutrophierung bezeichnet. Dass die Phosphorbelastung der Seen seit dem 2. Weltkrieg tatsächlich gewaltig angestiegen ist, wird durch die einschlägigen Statistiken und durch Messungen der Phosphorfracht einiger Seezuflüsse (z. B. Schussen, Argen, Alpenrhein) belegt, dann aber auch durch eine grosse Zahl gründlicher Analysen der Seen (Abb. 1).

Abb. 1. Der mittlere Phosphat-Gehalt einiger Seen im Laufe der Zeit. Ausgezogene Linien: Aus monatlichen Erhebungen berechnetes sog. gleitendes Jahresmittel. Einzelwerte: Natürlicher Mittelwert der Frühjahrszirkulation. Der verwendete logarithmische Maßstab bringt die Veränderungen bei hohen Gehalten schwach zum Ausdruck.



Eines der Endglieder der komplexen biochemischen Reaktionskette in den Seen ist der Sauerstoff. Der See kann sich während der jährlich stattfindenden Durchmischung im Frühjahr an Sauerstoff sättigen (in tiefen Seen ist auch diese Möglichkeit eingeschränkt); der so geschaffene Vorrat muss für mindestens ein Jahr ausreichen, um den Bedarf der Tiere und vor allem der Abbauorganismen zu befriedigen. Bei hoher (phosphorbedingter) Algenproduktion steigt der Abbau gleichermassen an und mit ihm der Sauerstoffbedarf. Sauerstoffgehalte von Null und zum Teil hohe Sauerstoffbedarfswerte in den tieferen Wasserschichten sind bei allen kleineren Seen die Regel; sie dokumentieren den heutigen Seezustand und - zusammen mit dem stetig ansteigenden Phosphorgehalt - die Richtung der gegenwärtigen Entwicklung. Demgegenüber ist zu beachten, welche Anforderungen in der Verordnung über Abwassereinleitungen gestellt werden: «Der Sauerstoffgehalt soll, unter dem Vorbehalt ungünstiger natürlicher Verhältnisse, zu keiner Zeit und in keiner Tiefe weniger als 4 mg/l O_2 betragen», was 30–40% der möglichen Sättigung bedeutet.

Die Herkunft des Phosphors

Der in die Seen fliessende Phosphor stammt a) aus der Boden- und Gesteinsverwitterung, b) aus irgendwelchen nicht beeinflussbaren fernen Quellen und gelangt via Atmosphärentransport in die Seen, c) aus der Erosion des gedüngten Bodens: Gedüngter Boden ist mit Phosphat angereichert. Liegt er brach, so erodiert er je nach Gefälle mehr oder weniger stark, d) aus Siedlungsabwässern. Rund 1,5 g P werden täglich von jedem Einwohner ausgeschieden, rund 2,7 g verbraucht jeder Einwohner täglich in Form von Waschmitteln.
Infolge der verschiedenen Strukturen der Einzugsgebiete ist der Anteil der einzelnen Quellen an der Gesamtbelastung von See zu See verschieden.

Möglichkeiten, den Phosphoreintrag auf das vom See bewältigbare Mass zu senken

Boden- und Gesteinsverwitterung sowie der atmosphärische Anteil sind praktisch nicht veränderbar. Der Anteil der Bodenerosion kann durch Vermeiden von Brache herabgesetzt werden, ferner durch Vermeiden von Vorratsdüngung und von Flüssigdüngung auf den gefrorenen Boden. Die heute weit verbreitete Maiskultur z.B. fördert solche Bestrebungen leider nicht, da der Boden unter dem hochstehenden Blätterdach der Maispflanzen offen bleibt. In einem grösseren Ausmass manipulierbar ist nur der Phosphorgehalt des Abwassers. Prinzipiell bieten sich zwei Alternativen an: Beseitigen des P durch Abwasserreinigung, oder vermeiden, dass P überhaupt ins Abwasser gelangt.
Im gesamten Einzugsgebiet der Seen verlangt das Bundesrecht in den Kläranlagen die Phosphor-Elimination. Die P-Konzentration im Abfluss im 24-Stunden-Mittel darf dabei 1 mg/l nicht übersteigen. In 43% aller Kläranlagen in den Einzugsgebieten der Seen ist diese Eliminationsstufe im Betrieb. In 38% ist sie im Bau oder mittlerweile in Betrieb genommen, im Rest projektiert. Wie nun aber die Entwicklung der Seen deutlich genug erkennen lässt, genügt diese Reinigung für die heutige Abwasserkomposition nicht. Und hier wird denn auch der Konflikt offenbar: Einerseits besteht eine eindeutige, folgenschwere Belastung der Gewässer durch den massenhaften Verbrauch eines düngenden Stoffes, anderseits muss dieser Stoff von den Gewässern ferngehalten werden. Der Konflikt wäre leicht zu lösen, wenn diese Fernhaltung so einfach zu realisieren wäre, wie oft propagiert wird.
Wir behandeln im folgenden nur die beiden radikalsten technischen Möglichkeiten der Posphor-Entlastung, nämlich a) die weitergehende Phosphorelimination und b) den vollständigen Phosphorbann oder -ersatz in den Waschmitteln.

Weitergehende Abwasserreinigung

Mit einer zusätzlichen Fällung oder Flokkung und nachfolgender Filtration kann die P-Konzentration des gereinigten Abwassers auf 0,2 mg P/l oder weniger gesenkt werden. Die in vielen Kläranlagen schon vorhandene Fällung (3. Stufe) ist dafür eine technische Voraussetzung. Dieses Verfahren sieht bestechend aus, leidet aber an gewissen Mängeln: Es steht erst im Versuchsstadium; ein rascher Einsatz ist also nicht zu erwarten. Es ist nur

in Anlagen mit einer gewissen Mindestgrösse (ca. >10000 Einwohner-Gleichwerte) zuverlässig einsetzbar.
Gegenwärtig stehen in den Einzugsgebieten der Seen 73 Kläranlagen mit einer Ausbaugrösse von >10000 EGIW, umfassend rund 2,9 Mio EGIW, im Bau oder Betrieb, gegenüber 145 Kläranlagen von <10000 EGIW und total 460000 EGIW. Nach Fertigstellung aller Kläranlagen werden in den Einzugsgebieten der Seen 3,5 Mio Einwohner-Gleichwerte (=84,4%) in Anlagen von >10000, sowie 0,65 Mio (=15,6%) in Anlagen von <10000 Gleichwerten erfasst sein. Die Anlagen der kleineren Kategorie müssten mit Kanälen zu grösseren Regionen zusammengefasst werden, was dem gegenwärtigen und auch nicht aus der Luft gegriffenen Baukonzept eigentlich widerspricht. Ein erster derartiger Fall (Einzugsgebiet Greifensee) führte bei den betroffenen Gemeinden trotz grundsätzlichem Verständnis und einem verlockenden Subventionsangebot zu Opposition.
Durch die Regen- und Hochwasserentlastungen gelangt ein substantieller Teil der Phosphorfracht ins Gewässer. Zwar wurden bis heute schon viele Regenrückhaltebecken gebaut; der Bedarf ist aber immer noch grösser als das schon Vorhandene, so dass doch damit zu rechnen ist, dass rund 5% der Phosphorfracht im unbehandelten Abwasser ins Gewässer gelangt. Dieser Anteil liegt aber in der gleichen Grössenordnung oder sogar höher als der von der Kläranlage nicht eliminierte und schliesslich ins Gewässer abgegebene Phosphor! Das oft ins Treffen geführte System der Ringkanalisation besitzt dieselben technischen Nachteile und erfordert zudem günstige topographische Verhältnisse. Es wurde oder wird nur in wenigen Fällen realisiert (Hallwilersee, unterer Thunersee, unterer Zürichsee, Zugersee, Sempachersee z.T.), weshalb wir es nicht in unsere Vergleiche einbeziehen.
Die Zeitspanne, bis die weitergehende Abwasserreinigung ausgereift und umfassend realisiert ist, kann nicht abgeschätzt werden; sie wird jedenfalls lange sein.

Phosphorfreie Waschmittel
Das bewährte Prinzip, eine Umweltbelastung gar nicht erst entstehen zu lassen, bedeutet, auf unsere Konfliktsituation angewandt, dass alle möglichen P-haltigen Abwasserkomponenten zu vermeiden sind. Im wesentlichen heisst das, dass der P-Anteil der Waschmittel durch andere nicht düngende Stoffe mit ähnlichen waschtechnischen Eigenschaften zu ersetzen ist oder dass auf diese verzichtet wird. Auch hier stellen sich aber ernsthafte Probleme: Derartige Ersatzstoffe existieren zwar in bemerkenswerter Zahl, sie sind aber nicht wirksam genug oder nicht biologisch degradierbar oder in irgendeiner Weise ökologisch fragwürdig, z.B. wegen der Bildung von Schwermetallkomplexen, oder zu teuer. Die Frage, ob ein geeigneter Ersatzstoff mit einer weiterentwickelten Herstellungstechnologie volkswirtschaftlich billiger oder teurer sein wird als die 4stufige Reinigung, kann heute nicht beantwortet werden. Für die 4stufige Reinigung ist immerhin mit 20–50 Franken pro Einwohner und Jahr zu rechnen.
Bei vollständigem Wegfall des Waschmittel-P würde der im Siedlungsabwasser verbleibende fäkale P-Anteil in den heute bestehenden, mit einfacher (sog. Simultan-)Fällung ausgerüsteten Kläranlagen ungefähr den gleichen P-Gehalt im Abfluss liefern wie eine 4stufige Kläranlage mit heutigem Abwasser, weil der dannzumal verbleibende P-Gehalt (rund ⅓ des heutigen Wertes) dem stöchiometrischen P-Anteil von Organismensubstanz erheblich ähnlicher ist und mit dem biologischen Prozess anteilmässig vollständiger entfernt wird, so dass der 3. Schritt, nämlich die Fällung, ihre Aufgabe entsprechend besser bewältigen kann. Kommt dazu, dass alle mit der Kläranlage nicht erfassten Frachten (diffuse Abwassereinleitung in Gewässer, Hochwasserentlastung) a priori auf einen Drittel herabgesetzt würden. Ferner würde der nicht unproblematische Zusammenschluss bestehender kleiner Kläranlagen entfallen – im gesamten ein maximal möglicher Nutzeffekt.
Diesem Optimismus steht jedoch entgegen, dass eine derartige Massnahme wohl nur unter dem Zwang gesetzlicher Vorschriften durchführbar wäre, was – bestenfalls – längere Zeit beanspruchte. Zudem ist die Frage offen, wieviel Zeit zur vollständigen Entwicklung eines neuen Chemikals (inklusive Grossfabrikation und Anwendung) benötigt würde: Auch diese Schwierigkeiten dürfen nicht unterschätzt werden.

Wie wirksam sind diese Massnahmen für die Seen?

Wie gross die Belastung einiger Seen mit Phosphor in den letzten Jahren war, und wie sie sich auf die einzelnen Quellen aufschlüsselt, ist in Tabelle 1 zusammengestellt.
Interessant ist die Aussage der letzten Kolonne; hier ist zusammengestellt, wie gross der Phosphoreintrag (unter heutigen hydraulischen Verhältnissen) bei vollständigem Wegfall des Detergentien-Phosphors wäre.

Tab. 1. Jährliche Belastung mit Phosphor in t P/Jahr; heutiger Zustand. Kolonne rechts aussen: Belastung bei vollständigem Wegfall des Waschmittel-P und mit Simultan-Fällung. *) = Analytische Messungen. Übrige statistisch ermittelt.

		Abwasser	Boden	via Luft	Total	Total ohne Waschmittel-P/Jahr
*Alpnachersee	1975	12,7	2,0	0,3	15,0	4,85
*Greifensee	1977	21,8	2,8	0,3	24,9	14,3
*Bodensee	1972	981	359	100	1440	590
*Untersee	1972	304	123	33	460	180
*Sempachersee	1977	7,2	6,3	1,2	14,7	8,0
Neuenburgersee		146	27	15	188	77
Murtensee		49,0	15,7	1,3	66,0	31
Pfäffikersee		6,4	0,8	0,2	7,4	2,3
Zürichsee		185	26	7	218	69
Walensee		43,5	25	1,5	70	30

Diese Zahlen lassen sich leichter abschätzen als entsprechende Werte für den Effekt einer 4. Reinigungsstufe; sicher liegen jene Werte aber in der gleichen Grössenordnung, so dass sich eine Gegenüberstellung erübrigt. Jedenfalls ist die Differenz zwischen der gegenwärtigen und der waschmittelphosphorfreien P-Belastung beträchtlich. Nun geben diese Zahlen zwar eine wertvolle Information über die Leistungsfähigkeit des Verfahrens, sagen aber nichts darüber aus, ob die Seen dadurch genügend entlastet würden.
Die Belastbarkeit von Seen lässt sich berechnen; dabei spielt die Morphologie, d.h. das Oberflächen-Volumen-Verhältnis, eine grosse Rolle, ferner die theoretische Aufenthalts- oder Füllzeit. Es ist leicht einzusehen, dass ein See um so belastbarer ist, je rascher er sein Wasser erneuert. In Tabelle 2 sind die Aufenthaltszeiten τ_W zusammengestellt, die von jedem See tolerierte bzw. ohne Schaden ertragene Belastung in Tonnen P/Jahr und in g P/m² Seefläche und Jahr sowie unter relative Belastung die aktuelle und die waschmittelphosphorfreie Belastung in Einheiten der tolerablen Belastung (Berechnung nach R.A. Vollenweider 1976; andere Be-

Tab. 2. Tolerable und relative P-Belastung. Letztere ist angegeben für den aktuellen Zustand und bei vollständigem Wegfall des Detergentien-P, mit konsequent durchgeführter Simultan-Fällung (*). τ_w = Füll- bzw. Aufenthaltszeit der Seen in Jahren.

	τ_w Jahre	Tolerable P-Belastung		Relative P-Belastung	
		t/J	g/m²·J	eff.	ohne Waschmittel-P*
Alpnachersee	0,25	3,75	0,78	4,0	1,3
Greifensee	2,0	2,0	0,23	12,4	7,2
Bodensee	4,5	376	0,70	3,9	1,5
Untersee	0,03	156	7,8	2,9	1,2
Sempachersee	17	2,0	0,14	7,4	4,0
Neuenburgersee	7,4	69	0,32	2,8	1,1
Murtensee	1,2	10,3	0,38	6,3	3,0
Pfäffikersee	0,75	1,45	0,45	4,8	1,6
Zürichsee	1,4	47	0,70	3,5	1,5
Walensee	1,4	39	1,6	1,8	0,75

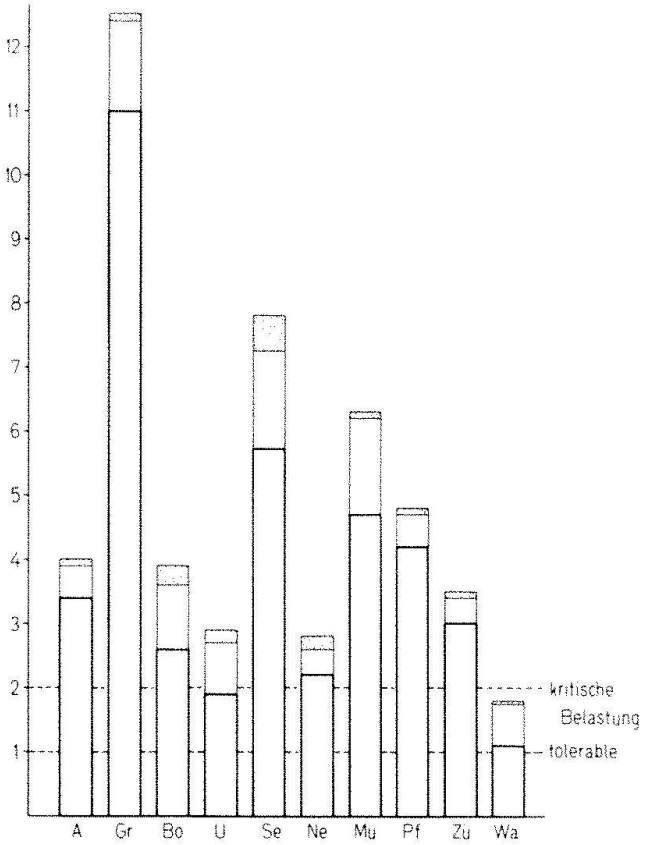


Abb. 2. Die relative Belastung der in Tabelle 1 und 2 aufgeführten Seen (Tolerable Belastung = 1), aufgeteilt auf die wichtigsten Phosphor-Quellen. Aktueller Zustand.

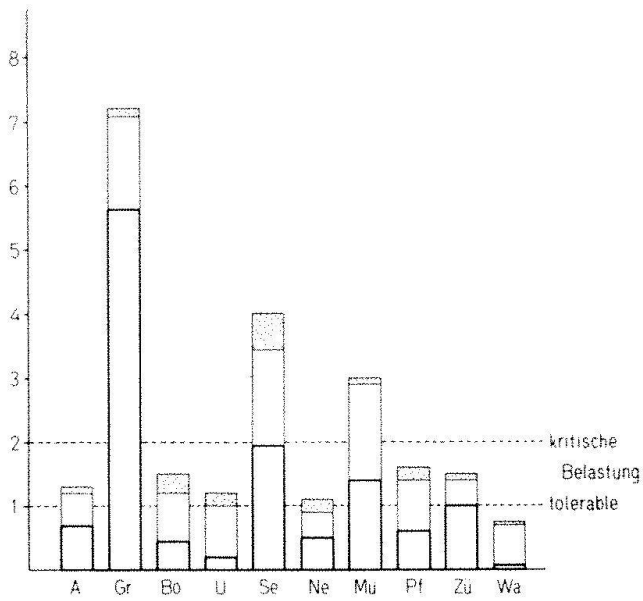


Abb. 3. Relative Belastung der Seen bei vollständigem Wegfall des Detergentien-Phosphors und mit konsequent eingeführter P-Fällung (Simultan-Fällung, 3. Stufe).

rechnungsmodelle ergeben ähnliche Werte). Einzuräumen ist, dass an die tolerable Belastung hier recht strenge Maßstäbe gesetzt werden.

In Abb. 2 ist die aktuelle Belastung in relativen Einheiten (Tolerable Last = 1) aufgezeichnet und aufgeschlüsselt: In allen Fällen überwiegt der Abwasseranteil, und die tolerable Phosphorlast ist auf der ganzen Linie weit überschritten. Abb. 3 zeigt die theoretische Situation bei vollständigem Wegfall des Detergentien-P. Während der Anteil der Bodenerosion unverändert geblieben ist, ist der Abwasseranteil gewaltig abgesunken, und in den meisten Fällen liegt die Phosphorlast nun auf einem Niveau, das grosse Hoffnungen für die Sanierung und Gesunderhaltung dieser Seen erlaubt.

Trotz diesem theoretisch-heiteren Ausblick ist die realistische Perspektive doch eher düster. Zwar lässt sich mit den skizzierten Massnahmen eine wirksame Entlastung durchaus erreichen, doch muss diese Entlastung rasch einsetzen und in absehbarer Zeit zu Ende geführt werden. Andernfalls werden die Seen ihre in Abb. 1 dargestellte Entwicklung fortsetzen. Eine Lösung der kleinen Schritte mag in der Politik ihre Berechtigung haben, nicht aber bei der Wiederherstellung eines akzeptablen und übrigens vom Gesetz geforderten Zustandes.

Wir haben es hier aus Platzgründen unterlassen, abgestufte Lösungsvarianten gegeneinander abzuwägen. Jene Lösung wird schliesslich die beste sein, welche die Seen nicht nur stärker, sondern auch rascher entlastet. Die Kostenfrage dürfte dabei angesichts der Schwere des Problems zweitrangig sein.

Anschrift des Verfassers:

Prof.-Dr. Heinz Ambühl
Eidg. Anstalt für Wasserversorgung,
Abwasserreinigung und Gewässerschutz an der E.T.H. Zürich
Überlandstrasse 133
CH-8600 Dübendorf