Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 69 (1977)
Heft: 10

Artikel: Limnologie als Aufgabe einer Kantonalen Gewässerschutzfachstelle
Autor: Stadelmann, Pius
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-941505

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: 22.07.2025

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

Ort und Zeit der Differentialgleichungen zu simulieren, die den makroskopisch betrachteten Fluss dreier, nicht mischbarer Fluide in einer porösen Matrix allgemein beschreiben. Dies vor allem in Anbetracht, dass dann auf die doch recht einschränkenden, eingangs erwähnten Vereinfachungen verzichtet werden könnte. Auf die diesbezüglichen Probleme und Möglichkeiten einer Simulation wird in [4] eingegangen. Aus dem doch erheblich grösseren Aufwand für eine solche repräsentativere Simulation ergibt sich die Existenzberechtigung einer Abschätzungsmethode wie der hier vorgeschlagenen und in [1] ausführlich beschriebenen.

Adresse des Verfassers: H. O. Schiegg, dipl. Ing. ETH, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie an der Eidg. Techn. Hochschule Zürich, Gloriastrasse 39, 8092 Zürich.

Literatur

[1] Schiegg, H. O.: Methode zur Abschätzung der Ausbreitung von Erdölderivaten in mit Wasser und Luft erfüllten Böden. Mitteilung Nr. 22 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie an der ETH Zürich; 1977.

[2] Schiegg, H. O.: Experimental contribution to the dynamic capillary fringe. IAHR-Symposium on Hydrodynamic, Diffusion and Dispersion in Porous Media; Pavia, Italy; 1977.

[3] Schiegg, H. O.: Liquid-air-displacements in a homogeneous, isotropic, unlimited, porous media. XVIth IAHR-Congress, Sao Paulo, Vol. 3; 1975.

[4] Schiegg, H. O.: Probleme und Möglichkeiten der Simulation der Verunreinigung eines mit Wasser und Luft erfüllten, porösen Mediums durch eine nicht mischbare Flüssigkeit. Réunion internationale sur les nappes souterraines AIRH/SIA, CH-Rapperswil, 1975.

Limnologie als Aufgabe einer Kantonalen Gewässerschutzfachstelle

Pius Stadelmann[1])

DK 477.472(28)

Einleitung

Limnologie lässt sich wörtlich als Seen-Kunde übersetzen. Die Limnologie ist eine Teildisziplin der Oekologie; sie befasst sich mit den Oekosystemen des Süsswassers, also mit Seen, Teichen, Flüssen und Bächen.

In Bild 1 ist die Stellung der Limnologie bei den Umweltwissenschaften aufgezeigt. Im Gegensatz zur Ozeanologie, die sich mit Meerwasser beschäftigt, ist die Limnologie allgemein ausgedrückt, die Lehre von den Binnengewässern. Als interdisziplinäre Wissenschaft erfasst die Limnologie mit Hilfe der Physik, Chemie, Biologie und Geologie die Wechselbeziehungen zwischen den Wasserorganismen und ihrer Umwelt. Zu den physikalischen Umweltfaktoren zählen z. B. Temperatur, Lichtintensität, Fliessgeschwindigkeit. Chemische Umweltfaktoren sind z. B. Sauerstoffgehalt, Phosphorkonzentration und biologische Umweltfaktoren, z. B. Anwesenheit konkurrierender oder räuberischer Arten. Im Gegensatz zum Land — wo sich meist offene Systeme bilden — ist das aquatische System vielfach geschlossen. Die Organismen verlassen das Wasser meist nicht, mit Ausnahme von einigen Insekten. Wasser dient als Lebensraum und Transportmittel.

Eine andere Charakteristik des aquatischen Oekosystems ist, dass es gegenüber dem Landsystem meist komplexere Nahrungsketten aufweist. Die durch Photosynthese produzierte Substanz wird äusserst wirkungsvoll von Konsumenten und Destruenten verwertet, somit werden wesensfremde und giftige Stoffe in der Futterkette (z. B. Alge — Krebschen — Friedfisch — Raubfisch) stärker angereichert als auf dem Land.

Unsere Süsswassersysteme stellen die lebenswichtigen Trinkwasserreserven dar, die teilweise schon mehrfach genutzt werden. Leider entlässt der Mensch seine Abfälle in die Gewässer, auch hier wird Wasser als billiges Transportmittel benutzt. Auf diese Zivilisationsabfälle reagieren die Gewässer mit hoher Sensibilität wie z. B. erhöhtes Wachstum von Bakterien, Pilzen und Urtierchen beim Einleiten von ungereinigten kommunalen Abwässern in Flüsse, starkes Algenwachstum bei erhöhten Phosphorzufuhren zu Seen, Anreicherung von schwer abbaubaren Stoffen oder Metallen in der Nahrungskette. Aus diesen ersten Hinweisen ist ersichtlich, dass beim Ueberprüfen und der Wahl von gewässerschutztechnischen Massnahmen der Limnologie eine wichtige Rolle zukommt.

Gesetzliche Hinweise

Der Gesetzgeber hat die Nutzungs- und Qualitätsziele der Gewässer auf naturwissenschaftlichen Grundlagen abzustützen. Die Nutzungsziele sind im Eidg. Gewässerschutz*gesetz* im Zweckartikel (Art. 2) beschrieben. Dem *Bund* ob-

[1]) Vortrag gehalten an der 33. Hauptmitgliederversammlung des Verbandes Schweizerischer Abwasserfachleute vom 25. März 1977 in Zürich.

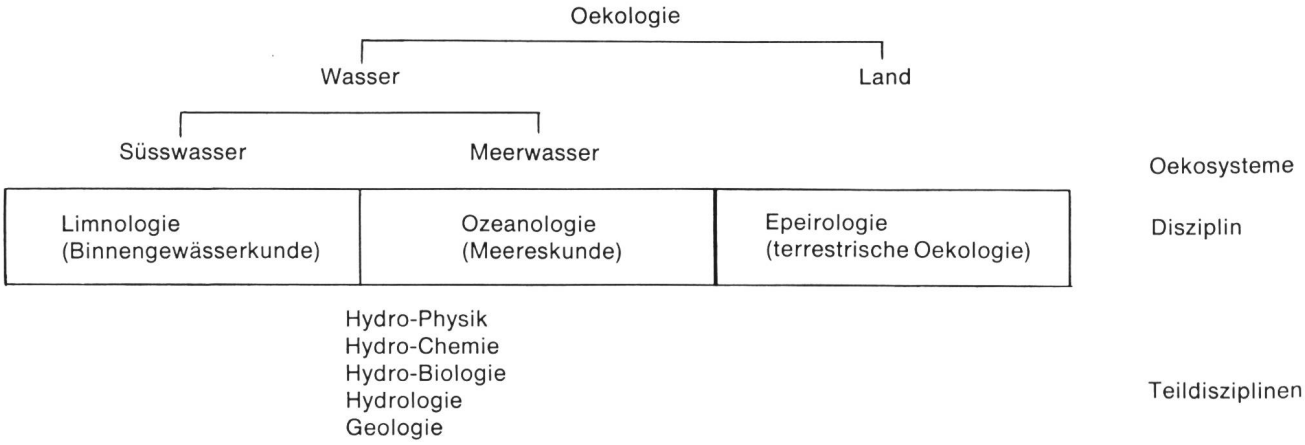

Bild 1
Die Stellung der Limnologie bei den Umweltwissenschaften.

liegt dabei die Aufsicht über den Vollzug dieses Gesetzes. Die Aufgabe des *Kantons* bei der Gewässerüberwachung ist im Artikel 10 der Eidg. Gewässerschutz*verordnung* festgehalten. Danach haben die Kantone die Aufgaben und Befugnisse der Gewässerschutzfachstellen so festzulegen, dass die Zweckmässigkeit der Massnahmen sowie die dauernde Ueberwachung der ober- und unterirdischen Gewässer gewährleistet ist. In den letzten Jahren sind durch weitere eidgenössische Verordnungen, Richtlinien und Empfehlungen diese Ueberwachungsaufgaben genauer umschrieben worden. Zu erwähnen sind hier die Verordnung über Abwassereinleitungen vom 8. Dezember 1975 und die vorläufigen Empfehlungen über die regelmässige Untersuchung der schweizerischen Oberflächengewässer vom 28. Mai 1974.

In der Verordnung über Abwassereinleitungen sind als Novum erstmals Qualitätsziele für Gewässer definiert. Als Beispiel seien die Qualitätsziele für Seen und Flussstaue herausgegriffen:

1. In stehenden Gewässern sollen sich als Folge von Abwassereinleitungen kein Schlamm, keine Trübungen und Verfärbungen bilden. Der Geschmack und Geruch gegenüber dem natürlichen Zustand soll sich nicht verändern.

2. Der biologische Zustand der Uferzone soll die für ein organisch schwach belastetes Gewässer typische Artzusammensetzung aufweisen, d. h. nach dem Saprobiensystem *oligosaprob* oder höchstens *β-mesosaprob* sein.

3. Der biologische Zustand des Freiwassers soll höchstens dem *mesotrophen* Produktionstypus entsprechen, d. h. die Algenproduktion soll 150 bis 200 g assimilierter Kohlenstoff pro m² und Jahr nicht übersteigen.

4. Der Sauerstoffgehalt soll unter Vorbehalt ungünstiger natürlicher Verhältnisse zu keiner Zeit und in keiner Tiefe unter 4 mg O_2/l fallen (Grenzwert für Edelfische).

5. Die natürlichen Temperaturverhältnisse sowie die Nährstoffmenge und Verteilung soll nicht nachteilig verändert werden (Kühlwasserentnahme, Pumpspeicherwerke).

6. Die hygienischen Voraussetzungen für die Trinkwassergewinnung und das Baden sollen gewährleistet sein.

Um die Qualitätsziele zu überprüfen, müssen Qualitätsanalysen durchgeführt werden, nämlich: Temperaturmessungen, optische Messungen, Bestimmung der anorganischen und organischen Nährstoffe, des Sauerstoffgehaltes, der Primärproduktion (direkt Messung mit Hilfe der C-14- oder O_2-Methode sowie indirekt Sauerstoffzehrung oder CO_2-Anreicherung im Tiefenwasser), weiter ist die hygienische Qualität bakteriologisch zu beschreiben.

Für die Erfassung der Qualitätsziele müssen deshalb hauptsächlich limnologische Methoden angewandt werden.

Gewässerüberwachung im Kanton Luzern

Im folgenden soll an Beispielen gezeigt werden, wie eine kantonale Fachstelle die Gewässer überwacht und welchen Einfluss limnologische Untersuchungen auf gewässerschutztechnische Massnahmen haben können.

Im Gegensatz zu einer wissenschaftlichen limnologischen Studie, die mit teilweise aufwendigen Methoden Fragen beantwortet, stellt sich für eine kantonale Gewässerschutzfachstelle die Frage: Wie kann man mit einer beschränkten Anzahl Messgrössen und wenigen zeitlich und räumlich verteilten Messpunkten den aktuellen Zustand und die Veränderungen eines Gewässers erfassen? Die Dauerkontrolle und die Ueberwachung haben dabei den Zweck, festzustellen, ob die Nutzungsziele und gesetzlichen Vorschriften eingehalten werden.

Hydrographische Daten der Seen und Flüsse des Kantons Luzern — Tabelle 1

Seen im Kanton Luzern	Fläche	Einzugsgebiet	Volumen	Tiefe m		Abfluss	theor. Aufenthaltszeit
	km²	km²	km³	max.	mittl.	m³/s	Jahre
Vierwaldstättersee	113,6 (40[1])	2253	11,8	214	104	110	3,3
Zugersee	38,3[2])	259	3,2	198	84	7	14,0
Sempachersee	14,5	76,7	0,66	87	46	1,2	17,0
Hallwilersee	10,3 (1,4[1])	138,0	0,22	47	21	2,3	2,9
Baldeggersee	5,3	74,2	0,18	66	34	0,9	6,0
Rotsee	0,5	3,3	0,004	16	9	—	—
Mauensee	0,6	4,3	—	9	4	—	—
Soppensee	0,2	—	—	28	—	—	—

Flüsse	mittlere Abflussmenge m³/s	
Reuss	bei Luzern	110
Kleine Emme	bei Malters	14,4
Wigger	bei Zofingen	5,2[3])
Suhre (aus Sempachersee)		1,2
Aabach (aus Baldeggersee)		0,9

[1]) davon Kanton Luzern [2]) Anteil des Kantons Luzern sehr klein [3]) mitgeteilt von der Abteilung für Gewässerschutz, Kanton Aargau

Mittlere Nährstoffkonzentration verschiedener Seen zur Zirkulationszeit — Tabelle 2

		Gesamt-P	gelöster anorg. Phosphor	Nitrate	Ammonium
		µg P/l	µg P/l	µg N/l	µg N/l
Nährstoffarme, oligotrophe Seen weniger als:		20	10	300	20
Vierwaldstättersee	1975[1])	25	15	450	0
Sempachersee	1975	85	75	620	0
Zugersee	1974[2])	—	150	500	—
Hallwilersee	1975[3])	200	150	400	50
Baldeggersee	1974	500	390	140	1400
Rotsee	1970	470	330	500	1850
Mauensee	1970	80	30	1660	350
	1974	50	—	780	400

mitgeteilt von: [1]) Prof. H. Ambühl, EAWAG [2]) Kant. Labor, Zug [3]) Abt. für Gewässerschutz, Kanton Aargau

Diese Fragestellung setzt z. B. die genaue Kenntnis eines Sees schon voraus. In der Schweiz sind aber doch für die meisten grösseren Seen wissenschaftliche Studien vorhanden, so dass ein Ueberwachungsprogramm mit Hilfe dieser Grunddaten aufgebaut werden kann. Dies bedingt aber, dass das Ueberwachungsprogramm von einem Limnologen konzipiert wird.

In und um den Kanton Luzern eingebettet sind fünf grössere Seen, die bezüglich Grösse, Tiefe und hydraulischen Eigenschaften ein weites Spektrum aufzeigen. Bezüglich der Flächenausdehnung liegt der Vierwaldstättersee an 5. Stelle von allen Schweizer Seen, der Sempachersee an 14. Stelle und der Baldeggersee an 19. Stelle (Eidgenössisches Amt für Wasserwirtschaft, 1976). Die theoretische Wasserverweilzeit liegt beim Vierwaldstättersee bei 3 Jahren, beim Baldeggersee bei 6 Jahren, während der Sempachersee die längste Aufenthaltszeit aller Schweizer Seen aufweist, nämlich 17 Jahre (Tabelle 1). Als stattlicher Fluss mit einer mittleren Wasserführung von 110 m^3/s verlässt die Reuss den Vierwaldstättersee, weiter sind die Kleine Emme, die Wigger und die Suhre zu erwähnen, die alle im Mittel über 1 m^3/s führen. Diese Flüsse entwässern in die Aare, und schliesslich in den wichtigsten Strom Europas, den Rhein. Der Kanton Luzern weist mit seinen Seen, Flüssen und Grundwassergebieten eine grosse Vielseitigkeit auf, die einige Probleme bei der Ueberwachung verursacht.

Seen

Die Luzerner Seen wurden um 1910 erstmals systematisch untersucht. Dank der Pionierarbeit der Kantonsschulprofessoren *Theiler* und *Bachmann,* des Kantonschemikers *Adam* und des Biologen *Birrer* und verschiedener Arbeiten wissenschaftlicher Institute liegt ein reiches Datenmaterial für die Seen vor, das leider noch nicht aufgearbeitet wurde. Heute werden der Baldeggersee zweimal jährlich, der Sempachersee viermal jährlich und der Vierwaltstättersee[2]) monatlich überwacht. Die Frage bleibt, ob mit den vorhandenen Daten und dem Untersuchungsrhythmus der Zustand und die Entwicklung eines Sees genügend verfolgt werden kann. Wir haben uns auf ein Minimalprogramm beschränkt, wobei hauptsächlich die Perioden bei tiefstgreifender Zirkulation (Ende des Winters) und der Beginn der Herbstzirkulation (Ende der Sommerstagnation) erfasst werden.

Der *Trophiezustand* eines Sees lässt sich am einfachsten mit Hilfe der mittleren Nährstoffkonzentration zur Zirkulationszeit aufzeigen. Als Nährstoff-Kenngrösse eignen sich gelöstes anorganisches Phosphat oder Gesamt-Phosphor und der anorganische Stickstoff (d. h. Summe von Nitrat-, Ammonium und Nitrit-Stickstoff).

[2]) Die Ueberwachung der Stelle Kreuztrichter ist vertraglich mit der EAWAG festgelegt.

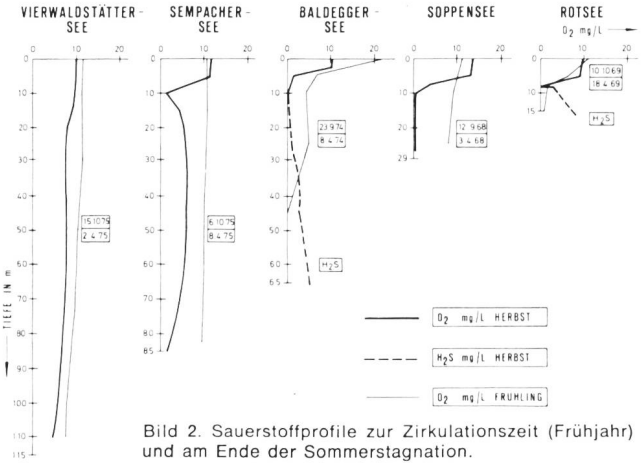

Bild 2. Sauerstoffprofile zur Zirkulationszeit (Frühjahr) und am Ende der Sommerstagnation.

Minimale Sichttiefen des Baldeggersees — Tabelle 3a

Jahr	Anzahl Messungen	m	Monat	Autor
1910	6	2,90	Juli	Theiler (1917)
1911	4	4,20	Mai	Theiler (1917)
1938	8	1,60	März	Adam (1943)
1951	2	1,20	April	Adam
1958	12	1,20	September	Bachofen (1960)
1959	10	0,60	April	Bachofen (1960)
1974	10	1,20	April	Schiess (1976)

Jahresverlauf der Sichttiefen (m) im Baldeggersee — Tabelle 3b

Jahre	1910/1911		1938/1939		1958/1959		1974
Monate							
Januar	—	7,6	—	3,0	2,4	2,4	7,4
Februar	—	—	—		2,2	1,4	7,5
März	5,5	8,0	1,6		2,2	0,8	3,9
April	—	4,2	—		1,3	0,6	1,2
Mai	—	—	1,9		1,5	0,8	10,0!
Juni	4,1	—	2,5		2,2	2,2	9,0!
Juli	2,9	6,5	—		2,9	0,8	6,3!
August	3,0	—	2,7		2,1	1,5	2,9
September	—		2,7		1,2	1,6	3,6
Oktober	3,7		2,5		1,2	1,8	2,6
November	—		2,5		1,2	—	4,6
Dezember	3,7		3,0		1,9	—	5,7

Phosphor-Zufuhren zum Baldeggersee nach Messungen von Lohri (1976), und die Prognose nach der vorgesehenen Sanierung einschliesslich Flockungsfiltration in der ARA Hochdorf. — Tabelle 4

	t Phosphor / Jahr 1976	1980
Aus ARA Hochdorf mit P-Fällung 1976: 6300 Einw. + Industrie	4,0	1,5
Aus ARA Rain[1]) 1976: 590 Einw.	0,3	0,2
Aus dem übrigen Einzugsgebiet über Bäche 1976: 3300 Einw. (davon etwa 3 t aus Landwirtschaft)	6,1	3,9
Aus der Atmosphäre	0,5	0,5
Zusammen	10,9	6,1

Gefährliche Belastung: 2,0 t Phosphor / Jahr

[1]) seit Ende 1976 P-Fällung

Qualitätsziele für stehende Gewässer nach der Verordnung über Abwassereinleitungen vom 8. Dezember 1975, Artikel 2 — Tabelle 5

	Baldeggersee
Ein See soll bezüglich seiner Algenproduktion höchstens dem mesotrophen Typus entsprechen, d. h. eine mittlere organische Produktion aufweisen	
Primärproduktion: weniger als 150 g C/m² Jahr	420 g C/m² Jahr (1974[1])
Der Sauerstoffgehalt soll in keiner Tiefe weniger als 4 mg O_2/l betragen	im Herbst ab 10 m kein Sauerstoff anaerobe Verhältnisse im Tiefenwasser
Aus diesen gesetzlichen Bestimmungen können weitere Zielvorstellungen abgeleitet werden:	
Sichttiefe mehr als 3 m	0,6 m (1959) 1,2 m (1974)
Keine Bildung von Schwefelwasserstoff und Ammoniak durch anaeroben Abbau	ab 15 m Schwefelwasserstoff (1974) 6 mg H_2S/l und 3 mg NH_4-N/l in 65 m Tiefe
Geringe Nährstoffkonzentrationen wie weniger als 20 µg Phosphor/l bei Zirkulation	500 µg P/l (1974)
Phosphorzufuhr für einen See mit mittlerer Tiefe von 34 m: Weniger als 0,4g P/m² Jahr = 2 + P/Jahr	2,3 g P/m² Jahr = 12 t P/Jahr (1975)

[1]) Berechnet von Dr. R. Gächter, EAWAG

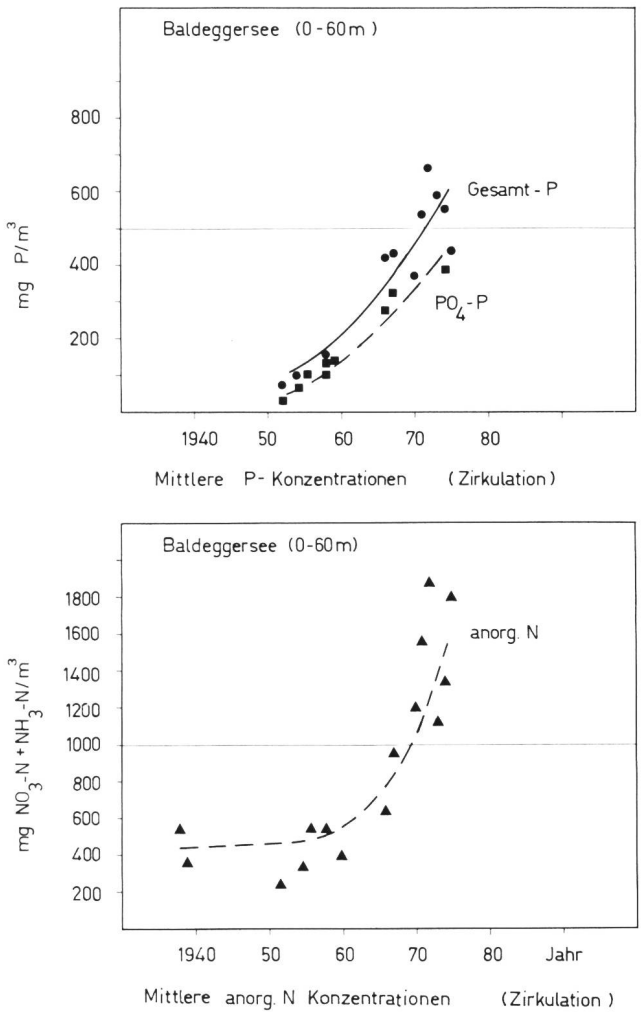

Bild 3. Die Nährstoffzunahme im Baldeggersee von 1940 bis 1977. Die Werte bedeuten mittlere Konzentrationen zur Zeit tiefstgreifender Zirkulation.

Nach einem Schema von *Vollenweider* (1968) weisen nährstoffarme Seen weniger als 20 μg Gesamt-Phosphor und weniger als 300 μg anorganischen Stickstoff pro Liter auf. Die Nährstoffkonzentrationen der Seen des Kantons Luzern sind in der Tabelle 2 dargestellt. Wir sehen, dass alle Seen den oligotrophen Bereich verlassen haben, wobei der Vierwaldstättersee gerade über dem Grenzwert liegt. Entsprechend der Närstoffkonzentration weisen die Seen eine hohe Algenproduktion auf, und als Folge davon können im Herbst starke Sauerstoffzehrungen festgestellt werden. Bild 2 zeigt Sauerstoffprofile zu Beginn und am Ende eines Seejahres für verschiedene Seen. Der Vierwaldstättersee weist im Profil noch über 4 mg O_2/l auf, die Verhältnisse verschlechtern sich beim Sempachersee. Der Baldegger- und Rotsee beginnen das Seejahr schon mit einem Sauerstoffdefizit, und im Herbst werden Fäulnisprodukte, wie Schwefelwasserstoff, der für höhere Lebewesen giftig ist, festgestellt.

Die Zustandsverschlechterung wird noch besser verdeutlicht, wenn wir die Nährstoff*zunahme* der letzten Jahrzehnte verfolgen. Auf die Eutrophierung unserer Seen hat *Ambühl* (1977) schon öfters hingewiesen. Wir wollen dies am Beispiel des Baldeggersees veranschaulichen.

Eutrophierung des Baldeggersees

Als einfachen Parameter, um die Verschlechterung eines Sees durch Algenwachstum festzustellen, bietet sich die Sichttiefe an, insbesonders da Vergleichswerte früherer Jahre vorliegen. Bei Seen mit geringer Algenproduktion stellt man nie kleinere Sichttiefen als 3 m fest. Um 1910 wies der Baldeggersee noch eine minimale Sichttiefe von etwa 3 m auf. In den Jahren darauf wurden immer kleinere Werte gemessen, im April 1959 sogar nur noch 60 cm. Heute schwanken die Minimalwerte um 1,20 m und treten auf, sobald sich die oberen Wasserschichten im April erwärmen (Tabelle 3a). Im Mai/Juni 1974 konnte überraschenderweise nach einer Massenentfaltung von Algen grössere Sichttiefen gemessen werden. Dies ist durch eine starke Vermehrung von algenfressendem Zooplankton zu erklären, die die Vegetation so kahl abfressen, dass im Sommer Sichttiefen bis zu 10 m festgestellt werden (Tabelle 3b).

Die Nährstoffe Phosphor und Stickstoff wurden erstmals 1951 von *Thomas* (1953) analysiert. Damals wurden zur Zirkulationszeit 60 μg gelöster anorganischer Phosphor, rund 100 μg Gesamt-Phosphor und 400 μg anorganischer Stickstoff pro Liter gemessen. In den letzten 25 Jahren erfolgte eine starke Nährstoffanreicherung, die rund 7 % pro Jahr betrug (Bild 3).

Mit 500 μg Gesamt-Phosphor und 1800 μg anorganischem Stickstoff pro l hat der Baldeggersee die Endstufe in der Trophieskala erreicht. Obwohl im Einzugsgebiet 1967 eine erste gewässerschutztechnische Sanierung ausgeführt wurde, konnte die weitere Eutrophierung nicht aufgehalten werden.

Seit 1967 ist die Kläranlage Hochdorf und seit 1975 die Kläranlage Rain in Betrieb. Die ARA Hochdorf wurde sofort mit einer Phosphatfällung ausgerüstet; die ARA Rain wurde ebenfalls kürzlich mit einer 3. Stufe versehen. In der Tabelle 4 sind die Phosphorfrachten, die aus bestehenden Kläranlagen und dem übrigen Einzugsgebiet in den See gelangen, zusammengestellt. Daraus ist ersichtlich, dass

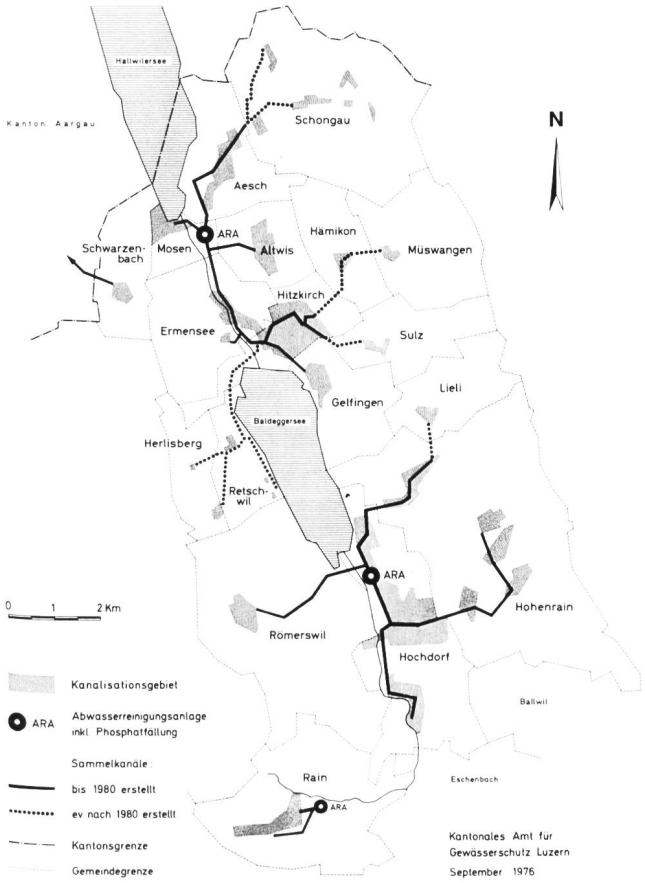

Bild 4. Stand der Abwassersanierung im Einzugsgebiet des Baldeggersees. Die ARA Hochdorf ist seit 1967 in Betrieb, die ARA Rain seit 1975.

1976 die Phosphor-Belastung 10,9 t betrug *(Lohri* 1976).

Will man die Eutrophierung des Baldeggersees rückgängig machen, so muss man zuerst die Frage beantworten, welche Nährstoffzufuhr der See verkraften kann, ohne dass er mit überhöhter Algenproduktion reagiert. Aufgrund seiner hydrographischen Eigenschaften, seine mittlere Tiefe beträgt 34 m und die Wassererneuerungszeit liegt bei etwa 6 Jahren, lässt sich eine *gefährliche* Phosphor-Belastung von 2 t pro Jahr berechnen *(Vollenweider* 1968, 1974). Wir haben gesehen, dass heute dieser Wert um den fünffachen Betrag überschritten wird. Allein schon von den landwirtschaftlich genutzten Flächen gelangen 3 t Phosphor in den See.

Aus der Herkunft der verschiedenen Phosphorfrachten ist ersichtlich, dass eine weitere Reduktion nur bei der ARA Hochdorf und durch Sanierungsmassnahmen im noch nicht angeschlossenen Einzugsgebiet möglich ist. Die Sanierungsschritte sind in Bild 4 aufgezeigt; es werden dabei hauptsächlich die Abwässer der nördlichen Gebiete vom See ferngehalten und einer ARA im Hitzkirchertal zugeführt. Die hohe Phosphorfracht der ARA Hochdorf weist darauf hin, dass die Phosphorelimination noch verbessert werden muss. Es ist nun vorgesehen, eine zusätzliche Stufe mit Flockungsfiltration einzubauen. Die Ablaufwerte können mit diesem Verfahren auf 0,4 bis 0,5 mg Gesamt-P/l herabgesetzt werden, und die jährliche Phosphorfracht reduziert sich dann auf etwa 1,5 t.

Nach Ausführung dieser Sanierung würde der See noch mit 6,1 t Phosphor/Jahr belastet. Dies ist eine beträchtliche Verminderung, doch liegt die Belastung noch über dem Dreifachen des gefährlichen Wertes. Die spezifische Phosphorbelastung in g P/m² und Jahr des Baldeggersees von 1910 bis 1980 geht aus Bild 5 hervor. Die Prognose zeigt, dass wir bei der Endsanierung etwa die gleiche Belastung haben wie um 1940. Der Baldeggersee wird deshalb weiter ein eutrophes Gewässer bleiben; je nachdem, welche weiteren Nutzungsziele angestrebt werden — wie genügend Sauerstoff für Edelfische — müssten noch andere Massnahmen, vor allem *seeinterne,* überlegt werden.

Zusammenfassend ist der gegenwärtige Zustand des Baldeggersees mit den Zielvorstellungen des Gesetzgebers in Tabelle 5 verglichen.

Zustand der Flüsse

Früher wurden unsere Flüsse praktisch nur durch biogene Stoffe aus Haushalt und Gewerbe belastet. Heute muss man vermehrte Aufmerksamkeit den chemosynthetischen Stoffen schenken, die in der biologischen Stufe der Kläranlagen nicht oder unvollständig abgebaut werden und sich im Wasserkreislauf allmählich anreichern. Mit der Bestimmung des *gelösten organischen Kohlenstoffs* versucht man organische Inhaltsstoffe, seien sie nun biogen oder chemosynthetisch, in ihrer Gesamtheit zu erfassen. In der eidg. Verordnung wird als Qualitätsziel für Fliessgewässer weniger als 2 mg DOC/l angegeben (Grenzwert).

Bei Flussuntersuchungen muss neben der Konzentration auch die Fracht (Konzentration x Abflussmenge) ermittelt werden, um Zustandsveränderungen zu erfassen. Nur mit einem grossen Aufwand kann dabei eine statistisch gesicherte Aussage gemacht werden.

Seit 1976 werden 14 Messstellen an schweizerischen Flüssen in einem eidgenössischen Programm untersucht. Leider liegt keine Ueberwachungsstelle im Kanton Luzern, doch wird der Zustand der Reuss bei Mellingen erfasst. Im Jahr 1975 wurde die Kleine Emme alle vierzehn Tage an zwei Stellen untersucht. Die erste Stelle ob Wolhusen ist

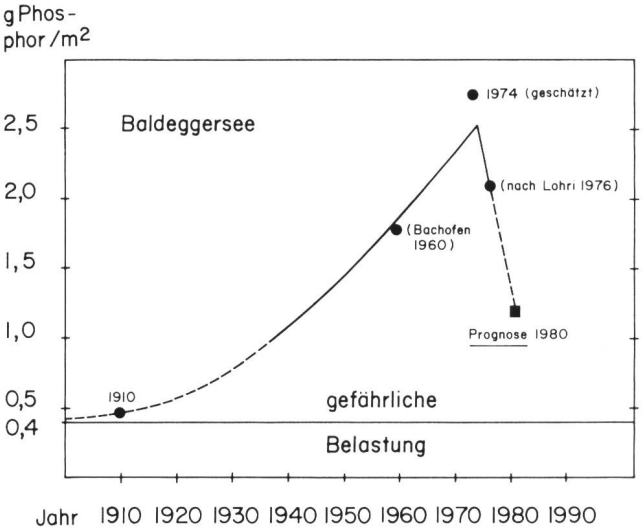

Bild 5. Spezifische Phosphor-Belastung in g P pro m² Seefläche und Jahr im Baldeggersee von 1910 bis 1980.
Die Belastung um 1910 wurde mit Hilfe der Sichttiefe abgeschätzt (Imboden und Gächter 1976).

repräsentativ für ein wenig belastetes, voralpines Gebiet; die zweite Stelle bei Emmenbrücke erfasst mehr industrialisiertes Gebiet. Gleichzeitig wurde die Reuss in Zusammenarbeit mit dem Kanton Aargau monatlich an verschiedenen Stellen überwacht.

Die Kleine Emme wies an den beiden Stellen einen Jahresmittelwert (geometrisches Mittel) von 1,6 mg bzw. 2,0 mg DOC/l auf. Der Grenzwert konnte gerade noch eingehalten werden. An der Reuss wurden nach dem Passieren der Kantonsgrenze bei Sins 2,4 mg DOC/l ermittelt, die Messungen der EAWAG bei Mellingen ergaben 3,2 mg DOC/l. In der Tabelle 6 sind weitere DOC-Werte im Einzugsgebiet des Rheins aufgezählt. Die Kleine Emme weist ähnliche Werte

Geometrische Mittelwerte von gelöstem organischem Kohlenstoff (DOC mg/l) im Einzugsgebiet des Rheins (IAWR 1975, EAWAG 1975)
Tabelle 6

Stelle		Jahresmittel DOC mg/l	Mittlerer Jahresabfluss m³/s
Alpenrhein			
Au-Lustenau		1,4	283
Rhein	km ab Konstanz		
Konstanz	0	1,7	
Schaffhausen	44	1,6	418
Basel (oberhalb)	164	2,4	1173
Karlsruhe	354	3,2	1390
Mannheim	433	17,5	1470
Wiesbaden	508	4,0	—
Köln	683	4,4	2080
Ochten (Holland)	906	6,5	2170
Wasserversorgung			
Bielersee		1,7	
Zürichsee		1,4	
Bodensee (Sipplingen)		1,3	
Vierwaldstättersee		1,0	
Kleine Emme			
Wolhusen (EAWAG)		1,6	11
Emmenbrücke (EAWAG)		2,0	16
Reuss			
Sins (GSA AG)[1])		2,4	120
Mellingen (EAWAG[2])		3,2	139
Qualitätsziel nach Eidg. Verordnung[3])		2,0	
Grenzwert nach IAWR		4,0	

[1]) mitgeteilt von M. Schmid, Abt. für Gewässerschutz, Kt. Aargau
[2]) Mitgeteilt von Dr. J. Zobrist, EAWAG Dübendorf. Wert für 1974.
[3]) Das Qualitätsziel gilt für eine langjährige Wasserführung, die während 347 Tagen des Jahres vorhanden ist oder überschritten wird.

wie der Alpenrhein auf, während die beiden Stellen an der Reuss über dem Grenzwert liegen und den Rheinstellen oberhalb Basels und bei Karlsruhe entsprechen. Im Reussgebiet sind deshalb weitere Sanierungsmassnahmen notwendig, um die Grenzwerte zu erreichen.
In der Schweiz wäre die Gewässerverschmutzung noch ausgeprägter, wenn wir die importierten Grundstoffe hier herstellen müssten.

Zusammenfassung

Der Erfolg des Gewässerschutzes muss an unseren Gewässern überprüft werden. Dabei ist die Limnologie nicht nur entscheidungshelfend, sondern entscheidungsbestimmend.
Am Beispiel des Baldeggersees haben wir gesehen, dass sein Zustand und seine Entwicklung mit Hilfe limnologischer Methoden verfolgt werden kann. Der Zustand unserer Seen und Flüsse weist darauf hin, dass noch nicht alle Massnahmen zum Erfolg führten, vielfach wurde auch zu wenig die Belastbarkeit eines Gewässers berücksichtigt. Die Technik und Planung muss sich dabei den limnologischen Forderungen anpassen, das Umgekehrte führt zu einem Trugschluss.
Es ist zu überlegen, wie die Gewässer am besten überwacht werden können; am ehesten wohl mit einem über die ganze Schweiz grossräumig angelegten Netz von Messstellen, die auch aus finanziellen Gesichtspunkten am wirkungsvollsten durch eine Bundesstelle untersucht werden. Wird die Ueberwachung vollständig den Kantonen übertragen, so sind die Spezialisten, Labors und Geräte den kantonalen Fachstellen zur Verfügung zu stellen. Hier bestehen schon heute beträchtliche Lücken und teilweise kommen die Kantone ihrer Aufsichtspflicht nicht nach.
In Zukunft wird der Umweltanalytik neben dem technischen Gewässerschutz immer mehr Bedeutung zukommen.

Adresse des Verfassers: Dr. Pius Stadelmann, Kantonales Amt für Gewässerschutz Luzern, Klosterstrasse 31, 6002 Luzern.

Literaturhinweise

Adam F. und Birrer A. (1943): Biologisch-chemische Studie am Baldeggersee. «Mitt. der naturf. Ges. Luzern», Heft 14, 19—98.

Ambühl H. (1977): Ueberblick über den Zustand der schweizerischen Oberflächengewässer. «Gas, Wasser, Abwasser» (Zürich), Jahrg. 57, Nr. 1, 27—32.

Bachofen R. (1960): Stoffhaushalt und Sedimentation im Baldegger- und Hallwilersee. Dissertation an der Universität Zürich, Juris-Verlag Zürich, 1—118.

Eidgenössisches Amt für Wasserwirtschaft (1976): Die Seen der Schweiz. «Wasser, Energie, Luft», 68, Heft 11/12, 263—266.

Imboden D. und Gächter R. (1975): Modeling and Control of lake eutrophication. EAWAG unveröffentlicht.

IAWR (1975): Jahresbericht der «Internationalen Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke im Rheineinzugsgebiet» (IAWR) 1975, 1—80.

Lohri F. (1977): Untersuchungen der Zuflüsse zum Baldeggersee 1975/76. Bericht zu Handen des Schweizerischen Bundes für Naturschutz, Basel, und des kantonalen Amtes für Gewässerschutz, Luzern.

Schiess Th. (1976): Limnologisch-fischereibiologischer Bericht über den Baldeggersee 1974/75, im Auftrag des Schweiz. Naturschutzbundes, Basel, April 1976, Basel.

Theiler A. (1917): Beiträge zur Planktonkunde des Sempacher- und Baldeggersees. «Mitt. der naturf. Ges. Luzern», Heft 7, 310—357.

Thomas E. A. (1953): Empirische und experimentelle Untersuchungen zur Kenntnis der Minimumsstoffe in 46 Seen in der Schweiz und angrenzenden Gebieten. «Schweiz. Ver. Gas- und Wasserfachmänner» (Zürich), Heft 9/10, 1953, 1—11.

Vollenweider R. A. (1968): Die wissenschaftlichen Grundlagen der Seen- und Fliessgewässer-Eutrophierung, unter besonderer Berücksichtigung des Phosphors und des Stickstoffs als Eutrophierungsfaktoren. OECD-Bericht/DASCSI/68.27.

Vollenweider R. A. (1976): Advances in defining critical loadinglevels for phosphorus in lake eutrophication. «Mem. Ist. Ital. Idrobiol.», 33, 53—83.

Bei den Gewässern des Kantons Luzern wurden verschiedene unveröffentlichte Daten des Kant. Labors, Luzern, verwendet, die freundlicherweise von Dr. J. Wicki, zur Verfügung gestellt wurden.

MITTEILUNGEN VERSCHIEDENER ART

Umweltschutz

Schulwandbilder-Wettbewerb der Schweizerischen Vereinigung für Gewässerschutz und Lufthygiene, VGL

In den vergangenen Jahren hat die Schweizerische Vereinigung für Gewässerschutz und Lufthygiene (VGL) bereits zwei Schulwandbilder veröffentlicht: ein Schulwandbild zum Thema «Kläranlage», ein anderes zum Thema «Trinkwasserversorgung». Diese beiden Schulwandbilder wurden allen Schulen in der Schweiz als Unterrichts- und Informationsmittel kostenlos zur Verfügung gestellt. Und noch heute werden die beiden Bilder laufend nachbestellt.
Dieser grosse Erfolg hat die VGL dazu bewogen, die Veröffentlichung weiterer Schulwandbilder ins Auge zu fassen. Nachdem das Bild «Kläranlage» von einer angehenden Lehrerin, das Bild «Trinkwasserversorgung» von einer Kunstgewerbeklasse als Gruppenarbeit entworfen wurden, möchten wir nun die Klassen der Oberschulstufe sowie der Mittelschule zu einem Ideenwettbewerb aufrufen.
Vorerst ist die Lancierung des Wettbewerbs auf 4 Schulhäuser im näheren Umkreis von Zürich — als Testlauf — begrenzt. Je nach Resultat dieses ersten Versuchs, ist vorgesehen, den Wettbewerb auf die ganze Schweiz auszudehnen.
Aufgabenstellung:
Beim Wettbewerb geht es darum, Entwürfe für Schulwandbilder zu den nachfolgend aufgeführten Themen auszuarbeiten. Die Ausarbeitung, unter Leitung einer Lehrerin oder eines Lehrers, kann als Klassenarbeit oder als Gruppenarbeit eines Teams aus mehreren Klassen an die Hand genommen werden. Wie es der Name Schulwandbild besagt, müssen die Schulwandbildentwürfe sich für den Einsatz als Unterrichts- und Lehrmittel in den Schulen ab 4. Primarklasse eignen. Es handelt sich hier keineswegs um eine leichte Aufgabe. Doch glauben die Veranstalter, dass eben eine anspruchsvolle Klassen- oder Gruppenarbeit einen Anreiz zum Mitmachen darstellt.

Im Rahmen des vorgesehenen Wettbewerbs sind Entwürfe für mögliche Schulwandbilder zu den folgenden Themen auszuarbeiten:
Thema 1: Gewässerschutz. Reinhaltung der Gewässer, Schutz der Flora und Fauna in und rundum der Gewässer (Schutz der Uferzonen usw.), Reduktion der Abwässer aus allen Bereichen.
Thema 2: Lufthygiene. Reinhaltung der Luft, Reduktion der Abgase (Verkehr, Hausfeuerung, Industrie), Verminderung der giftigen und schädlichen Luftfremdstoffe.
Thema 3: Besser Abfälle vermeiden — statt verwerten. Reduktion der Abfallmengen, einerseits durch Eindämmung der Verschwendung, durch verbesserte und vermehrte Rückgewinnung von «Abfällen» (Wiederverwendung als Rohstoffe), Abfallbewirtschaftung.

Die Entwürfe zu einem der obenstehenden Themen sind im Format A1 auszuarbeiten. Für die Ausarbeitung können Farbstifte, Kreiden, Wasserfarben oder andere flüssige oder pastenförmige Farben verwendet werden. Beim Format A1 ist rundum ein weisser Rand von 2 cm zu belassen. Es steht der Arbeitsgruppe oder Klasse frei, die Entwürfe im Hoch- oder Querformat auszuarbeiten.

Die Entwürfe sind bis spätestens 30. Januar 1978 gerollt — auf keinen Fall falzen — einzureichen, an das Sekretariat VGL, Limmatstrasse 111, 8031 Zürich. Jedem Entwurf ist ein Blatt beizufügen, welches die folgenden Angaben enthält: