

Ber. nat.-med. Ver. Innsbruck	Band 60	S. 183 - 201	Innsbruck, Okt. 1973
-------------------------------	---------	--------------	----------------------

Die Restaurierung eines eutrophierten Badesees (Reither See, Tirol, Österreich)

von

Roland PECHLANER und Norbert SCHULZ*)¹⁾

(Aus dem Institut für Zoologie der Universität Innsbruck; Vorstand: H. JANETSCHEK)

Restoration of a eutrophicated lake (Reither See, Tyrol, Austria).

Synopsis: Nutrient inflow to Reither See from point sources had been stopped in 1961, but the recreational value of this small, highly eutrophic lake continued to decrease. The following methods of lake restoration were applied in 1972:

Hypolimnetic water was drawn from the lake by means of an "Olszewski-tube". Surface water was treated with ferric chloride to precipitate dissolved and suspended material, thus cleaning the epilimnion and intensifying the elimination of plant nutrients via the Olszewski-tube. Water renewal was accelerated by piping surplus drinking water to the lake.

The effects of these measures on temperature, oxygen and phosphorus concentrations and Secchi disk transparency are describe. The response of phytoplankton is discussed by FINDENEKG (1973).

Inhaltsverzeichnis:

1. Anlaß der Untersuchungen und Restaurierungsmaßnahmen
2. Morphometrie und Hydrographie
 - 2.1 Morphometrie
 - 2.2 Hydrographie
3. Temperatur, Chemismus und optische Eigenschaften
 - 3.1 Untersuchungsmethoden
 - 3.2 Untersuchungsergebnisse 1971
 - 3.2.1 Temperatur
 - 3.2.2 Sauerstoff
 - 3.2.3 Phosphor
 - 3.2.4 Vorherrschende Elektrolyte
 - 3.2.5 Sichttiefe und spektrale Durchlässigkeit
4. Sec-Restaurierung 1972

*) Anschriften der Verfasser:

Univ.-Doz. Dr. R. Pechlaner, Institut für Zoologie der Universität, A-6020 Innsbruck, Universitätsstraße 4

Cand. phil. N. Schulz, A-6020 Innsbruck, Anichstraße 17

1) Wir widmen diese Publikation Herrn Univ.-Prof. Mag. Dr. Heinz JANETSCHEK zu seinem 60. Geburtstag.

- 4.1 Anlaß
- 4.2 Maßnahmen
 - 4.2.1 Olszewski-Rohr
 - 4.2.2 Fällung mit Eisen-III-Chlorid
 - 4.2.3 Trinkwasser-Zufuhr
- 4.3 Auswirkungen
 - 4.3.1 Temperatur
 - 4.3.2 Sauerstoff und pH
 - 4.3.3 Phosphor
 - 4.3.4 Sichttiefe
 - 4.3.5 Nährstoffeintrag durch Badebetrieb
- 4.4 Ausblick
- 5. Zitierte Literatur

Der Reither See, ein kleiner Badesee im Ortsgebiet der Gemeinde Reith bei Brixlegg (Abb. 1 und 2), wurde seit April 1971 limnologisch untersucht, um Grundlagen für seinen Schutz zu erarbeiten.

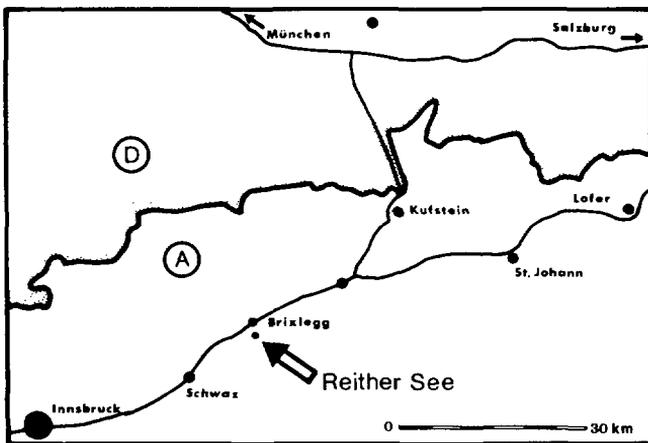


Abb. 2: Übersichtskarte mit Angabe (Pfeil) der Lage des Reither Sees.

1. Anlaß der Untersuchungen und Restaurierungsmaßnahmen:

Der Reither See weist seit langer Zeit, offenbar bedingt durch Nährstoffzufuhr aus häuslichen Abwässern und Einschwemmungen aus landwirtschaftlich genutzten Flächen seiner Umgebung, starke Planktonalgenentwicklung auf. Seit 1961 ist die Zufuhr kanalisierbarer Abwässer zum Reither See gestoppt. Daß sich trotzdem das Erscheinungsbild des Sees nicht besserte, veranlaßte den Gemeinderat von Reith, eine limnologische Studie in Auftrag zu geben, welche die Bekämpfung der Eutrophierung des Reither Sees ermöglichen sollte.

im folgenden wird über einen Teil der Ergebnisse von insgesamt 40 Untersuchungen

Österreichischer Naturhistorischer Verein (mit Unterstützung des Österreichischen Bundesministeriums für Wissenschaft und Kunst)

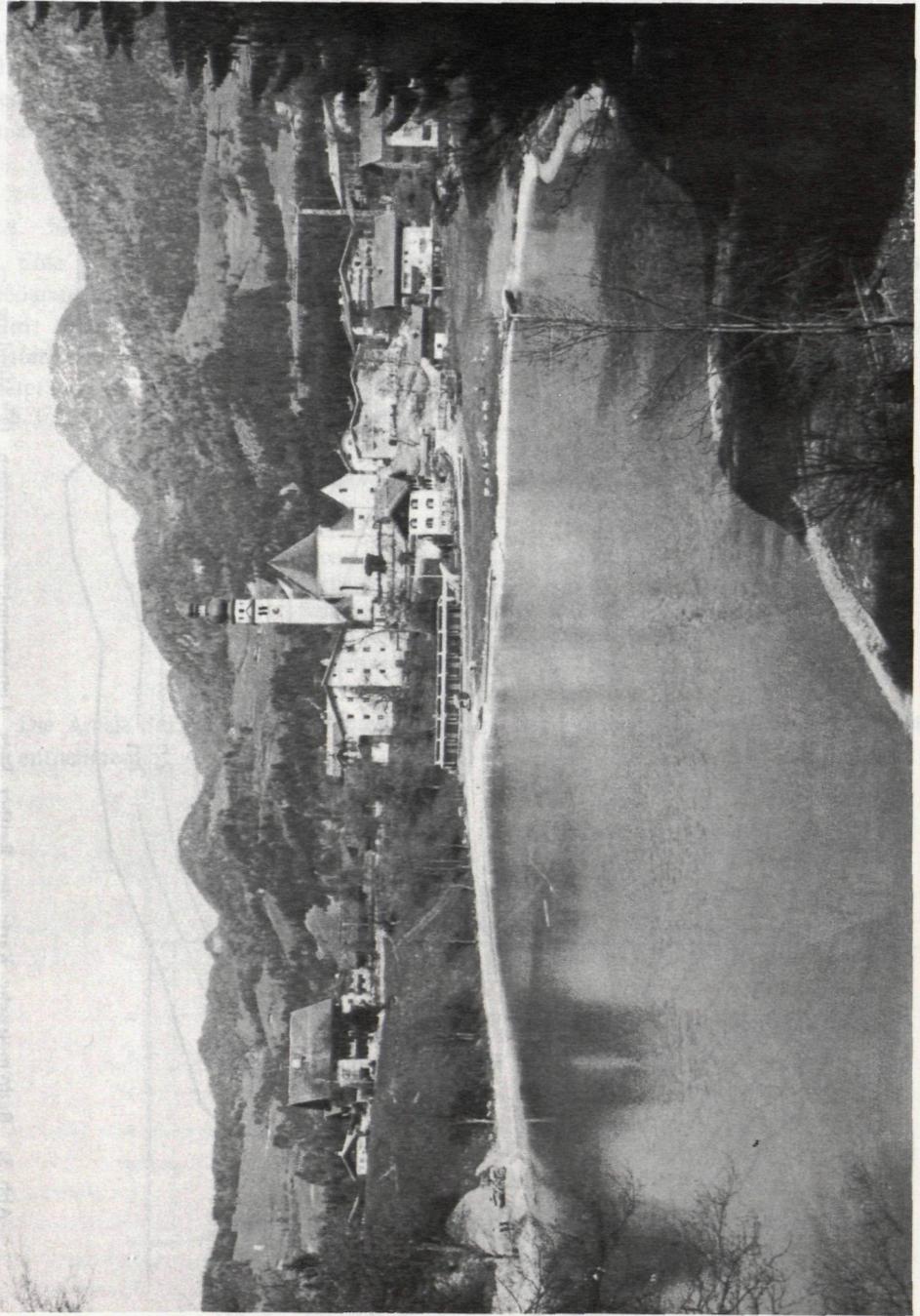


Abb. 1: Reither See, Blick von Südwesten (Photo N. SCHULZ).

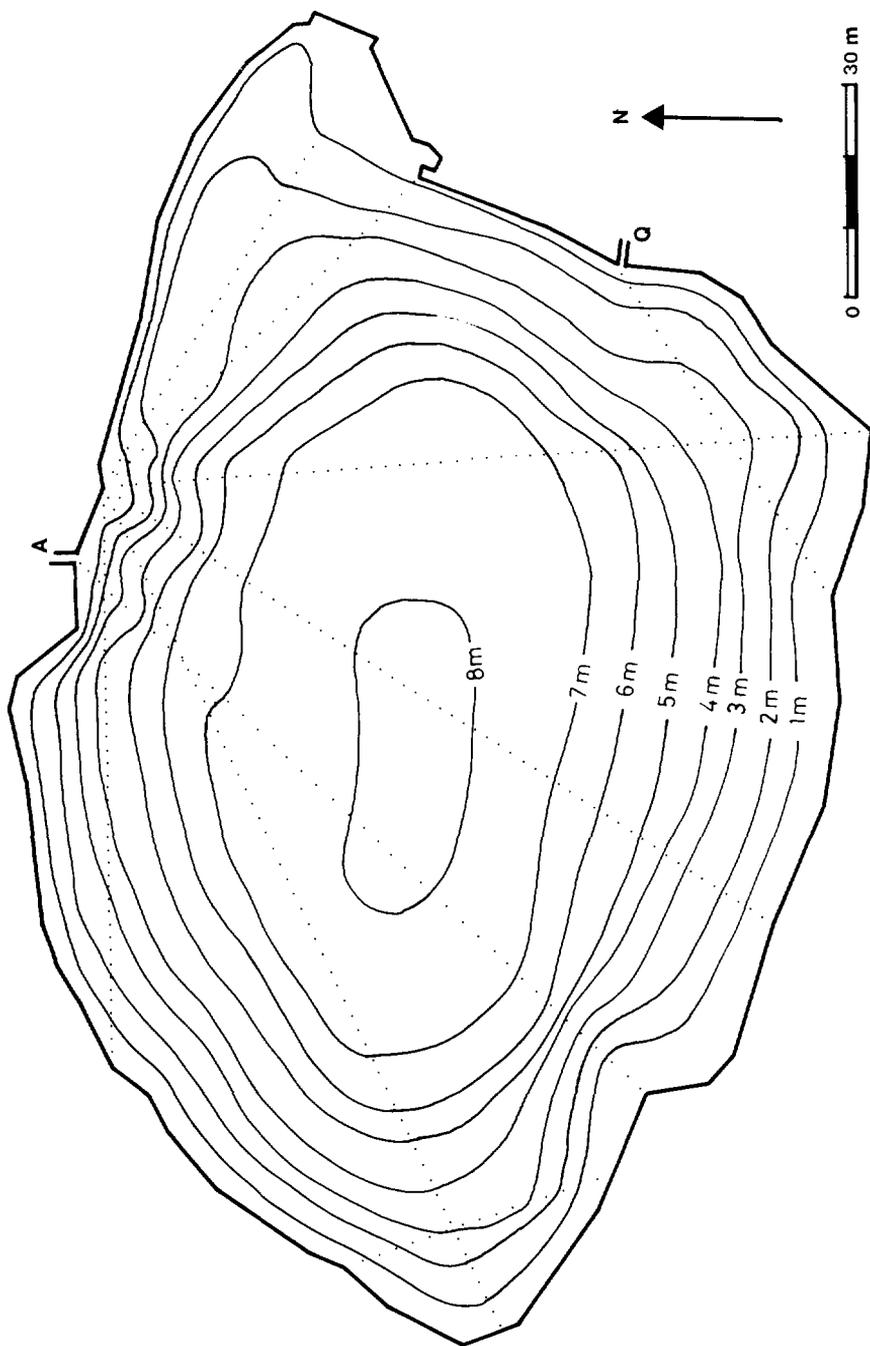


Abb. 3: Bathymetrische Karte des Reither Sees. Lotungspunkte eingetragen. Q = Mündung des Quellbaches, A = Natürlicher Auslauf (und Mündungsstelle des Olszewski-Rohres).

Im folgenden wird über einen Teil der Ergebnisse von insgesamt 40 Untersuchungsreihen zwischen 1971-04-19 und 1973-04-12, über die in dieser Zeit durchgeführten Restaurierungsmaßnahmen und die dabei erzielten Ergebnisse berichtet. Über die Phytoplanktonentwicklung in den Jahren 1971 und 1972 hat FINDENEGG (1972, 1973) bereits in dieser Zeitschrift publiziert. Die Resultate einer fischereilichen Studie werden an anderer Stelle veröffentlicht (KOLDER, in Vorbereitung).

2. Morphometrie und Hydrographie:

2.1 Morphometrie:

Eine Vermessung und Auslotung des Reither Sees (625 m ü. N.N.) durch das Geographische Institut der Universität Innsbruck (Mitvorstand: Univ.-Prof. Dr. Franz Fliri; Ausführung: H. John, A. Kössler und G. Wagner) ergab die in Abb. 3 wiedergegebene Tiefenkarte. Daraus wurden die in Tabelle 1 zusammengestellten morphometrischen Parameter entnommen:

Tab. 1: Morphometrische Parameter des Reither Sees

Areal	15.144 m ²
Volumen	67.000 m ³
Länge	191 m
Breite	116 m
Maximale Tiefe	8,15 m
Mittlere Tiefe	4,45 m
Relative Tiefe	5,87 m
Länge der Uferlinie	500 m
Uferentwicklung	1,15 m

Die Areale der einzelnen Tiefenschichten sind der hypsographischen Kurve in Abb. 4 zu entnehmen.

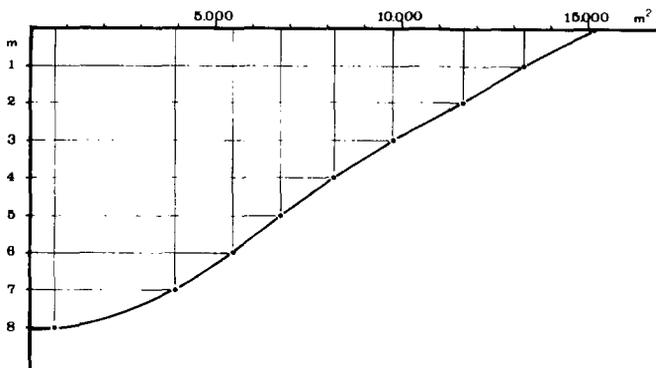


Abb. 4: Hypsographische Kurve des Reither Sees.

2.2 Hydrographie:

Zur Beurteilung der hydrographischen Situation wurden 1971 fallweise Abflußmessungen durchgeführt, welche Schüttungen von 5 bis 10 Liter pro Sekunde ergaben. Der See wird oberflächlich nur durch den in Abb. 3 mit „Q“ bezeichneten Quellbach gespeist, dessen Schüttung nach bisherigen Beobachtungen maximal 3 l/sec. beträgt, zeitweise aber auf weniger als 1 l/sec. zurückgeht. Im März 1973 wurde der See im Zuge baulicher Maßnahmen vorübergehend um ca. 2 m abgesenkt. Aus dem Anstieg des Seespiegels in der Zeit vom 1. bis 4. Mai ließ sich errechnen, daß der Zufluß in dieser Zeit rund 580 m^3 (oder 0,9% des Seevolumens) pro Tag ausmachte. Da am 4. Mai über den Quellbach 250 m^3 pro Tag zuflossen, muß die Grundwasserschüttung 330 m^3 oder 57% des Gesamtzuflusses betragen haben.

3. Temperatur, Chemismus und optische Eigenschaften:

3.1 Untersuchungsmethoden:

Probenentnahme und Temperaturmessung: „Stepanek-Schöpfer“ (STEPANEK und CHALUPA 1956) mit eingebautem Quecksilberthermometer (Graduierung: $0,1^\circ\text{C}$).

Sauerstoff: Bruhns Modifikation der Winkler-Methode (GOLTERMAN 1970, 8.1.1).

pH: Potentiometrisch, meist mit KNICK-PORTAMESS 902; Labormessungen fallweise auch mit METROM E 350 B.

Elektrolytisches Leitvermögen: „Pontavi-Wheatstone“ v. HARTMANN u. BRAUN, Elektrode (PHILIPPS) mit Kapazität 1,36. Bezugstemperatur: 25°C .

Alkalinität: n/10 HCl, Methylorange als Indikator.

Sulfat: Turbidimetrisch als BaSO_4 (GOLTERMAN 1970, 4.7.1).

Ca^{++} , Mg^{++} : Atomabsorption.

K^+ , Na^+ : Flammenphotometrisch.

Gelöstes Orthophosphat: Filtration der Proben über Milliporefilter (Porenweite $0,47 \mu$). Analyse des Filtrats 1970 und 1971 nach dem Isobutanol-Schüttelverfahren (Details: PECHLANER 1966), 1973 nach VOGLER (1965).

Gesamtphosphor: Aufschluß- und Phosphat-Analyse nach VOGLER (1965).

Sichttiefe: Secchi-Scheibe von 25 cm Durchmesser.

Spektrale Durchlässigkeit: Unterwasserphotometer nach ECKEL (1935); Durchlässigkeitsschwerpunkte der Photoelement-Filter-Kombination: 435 (Blau), 525 (Grün) und 660 nm (Rot).

3.2.1 Temperatur:

Der Reither See ist dimiktisch. Die Winterstagnation begann 1971 (und auch 1972) in der zweiten Hälfte des Dezembers. Sie dauerte im Winter 1971/72 (und sehr wahrscheinlich auch 1970/71) bis Ende Feber, 1972/73 hingegen bis Ende März. Die Frühjahrszirkulation währte maximal 1 Woche, im Herbst hingegen wurde der See mehr als 1 Monat lang voll durchmischt. Die Temperaturisoplethen in Abb. 5 a lassen erkennen, daß sich das Epilimnion während des Sommers auf mehr als 22°C erwärmte, daß von Mai bis Oktober aber auch die Temperatur des Hypolimnions bis zur maximalen Tiefe erheblich anstieg. Da im Sommer in 3 und 4 m Tiefe konstant eine Temperatursprungschicht ausgebildet war, kann das Hypolimnion nicht oder nur zu einem geringen Teil von der Seeoberfläche her erwärmt worden sein. Es ist anzunehmen, daß die Temperatur in

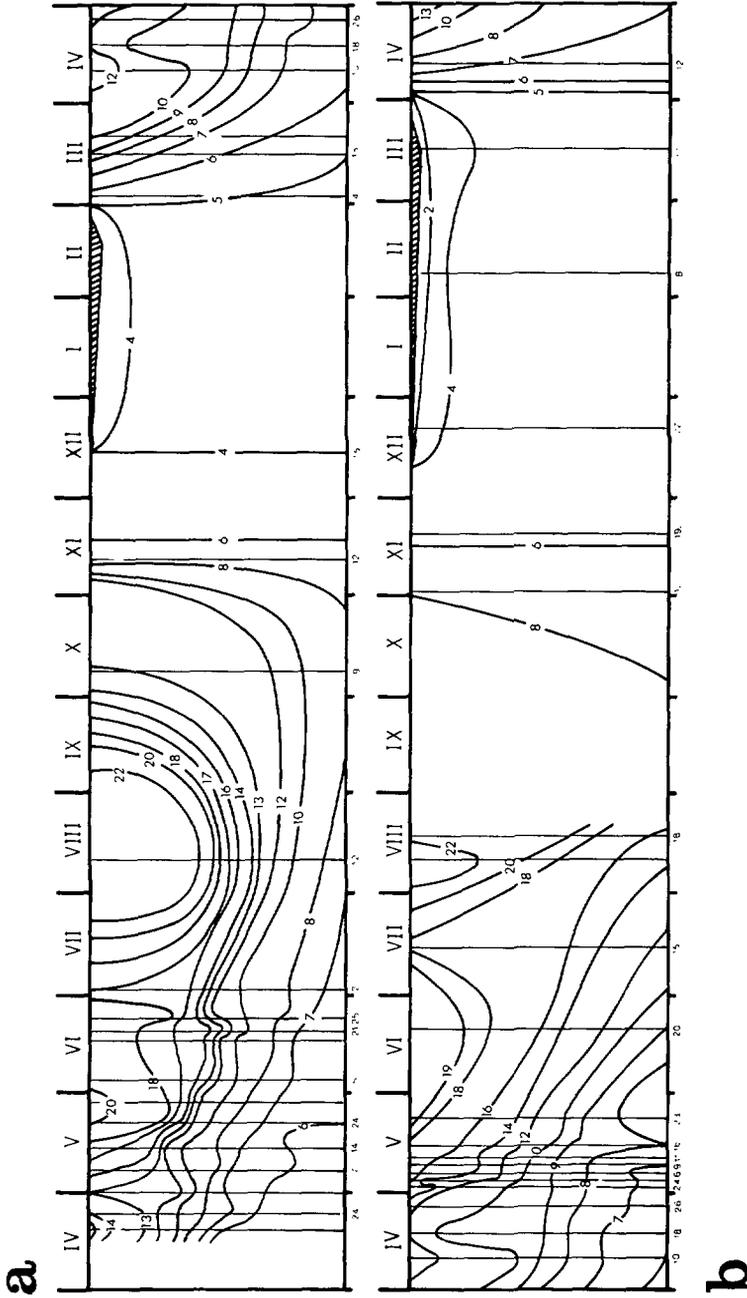


Abb. 5: Temperatur-Isoplethen Reither See. a: April 1971 bis April 1972. b: April 1972 bis April 1973. Schraffiert: Eisdecke.

der Tiefe des Reither Sees vom zufließenden Grundwasser entscheidend beeinflusst wird. Zumindest ein Teil des Grundwassers muß in diesen See nahe seiner größten Tiefe einströmen und im Spätsommer eine Temperatur von etwa 8°C aufweisen.

3.2.2 Sauerstoff:

Die Sauerstoffschichtung zeigt das typische Bild eines eutrophen, dimiktischen Sees (Abb. 6 a, Abb. 11): Hohe Sauerstoffkonzentrationen im Epilimnion, eine rasche O₂-Abnahme im Bereich der Sprungschicht, und geringe Konzentrationen bis zu völligem Fehlen molekularen Sauerstoffs im Hypolimnion.

Starke Durchströmung mit Grundwasser kann, wie z. B. BRUNDIN (1942), ELSTER (1955) und PECHLANER (1966) gezeigt haben, auf die Sauerstoffschichtung im Hypolimnion und ihre zeitlichen Veränderungen erhebliche Einflüsse ausüben. Während in wenig produktiven Seen die Einschichtung sauerstoffarmen Grundwassers klinograde bis positiv heterograde O₂-Kurven bedingen kann, welche keineswegs als Indikatoren für starke Produktions- und Zehrungsvorgänge im betreffenden See zu werten sind, wirkt sich das einströmende Grundwasser auf den Reither See in entgegengesetzter Richtung aus. Hier werden (Abb. 6 a) Perioden mit fast oder ganz sauerstofffreiem Wasser in 5 bis 8 m Tiefe abgelöst von Zeiträumen, in denen bis knapp über Grund 1,2 bis 2,7 mg O₂/Liter vorhanden sind. Die bisherigen Untersuchungen erlauben keine Aussagen über konkrete Sauerstoffkonzentrationen im Grundwasser, wohl aber die Feststellung, daß das Grundwasser nicht sauerstofffrei ist. Die von Mai bis Oktober 1971 in der tropholytischen Zone beobachteten Sauerstoffkonzentrationen sind als Resultierende aus Sauerstoffnachschub aus dem Grundwasser und Sauerstoffverbrauch im See zu betrachten.

Der Sauerstoffinhalt des Reither Sees (Abb. 7) betrug während der Sommerstagnation 1971 im Durchschnitt 630 kg; die Schwankungen waren gering ($\pm 23\%$). Dies änderte sich drastisch mit Eintritt der Herbstvollzirkulation: Am 1971-11-12 enthielt der Reither See nur 214 kg molekular gelösten Sauerstoff, das sind 34% des Sauerstoffinhaltes vom 1971-10-09. Da im Pelagial des Reither Sees gegen Ende der Sommerstagnation nirgends anaerobe Bedingungen herrschten, chemischer Sauerstoffbedarf des Grundwassers nach dem oben gesagten auszuschließen ist und die Phytoplanktonbiomasse im November um 35% höher war als im Oktober (vor allem durch starke Vermehrung von *Stephanodiscus astraea*; FINDENEGG 1972), läßt sich die sprunghafte Abnahme des molekularen Sauerstoffs zu Beginn der Herbstvollzirkulation 1971 nur als Folge der Sauerstoffschuld aufgewirbelter reduzierter Substanzen der Schlamm-Wasser-Kontaktzone erklären. Die Folgen dieser Sauerstoffschuld waren auch 1 Monat später noch deutlich erkennbar: Am 1972-12-15, ca. 1 Woche vor Eislegung, enthielt der Reither See nur 271 kg Sauerstoff, das sind knapp 34% der Sättigungskonzentration bei 4°C.

3.2.3 Phosphor:

Die bisher im Wasser des Reither Sees gemessenen Gesamtposphorkonzentrationen (Abb. 8) lagen zwischen 11 und 347 µg/l. Die mittlere Konzentration des gesamten Wasserkörpers schwankte zwischen 19 und 106 µg/l, der Durchschnitt von 14 Untersuchungsserien betrug 55,4 µg/l. Damit ist der See der Kategorie stärkst eutrophierter Seen (VOLLENWEIDER 1968: > 30 µg P/l) zuzuzählen. Der Umstand, daß die Konzentration gelösten Orthophosphats im Sommer in der eutrophen Zone stets unter

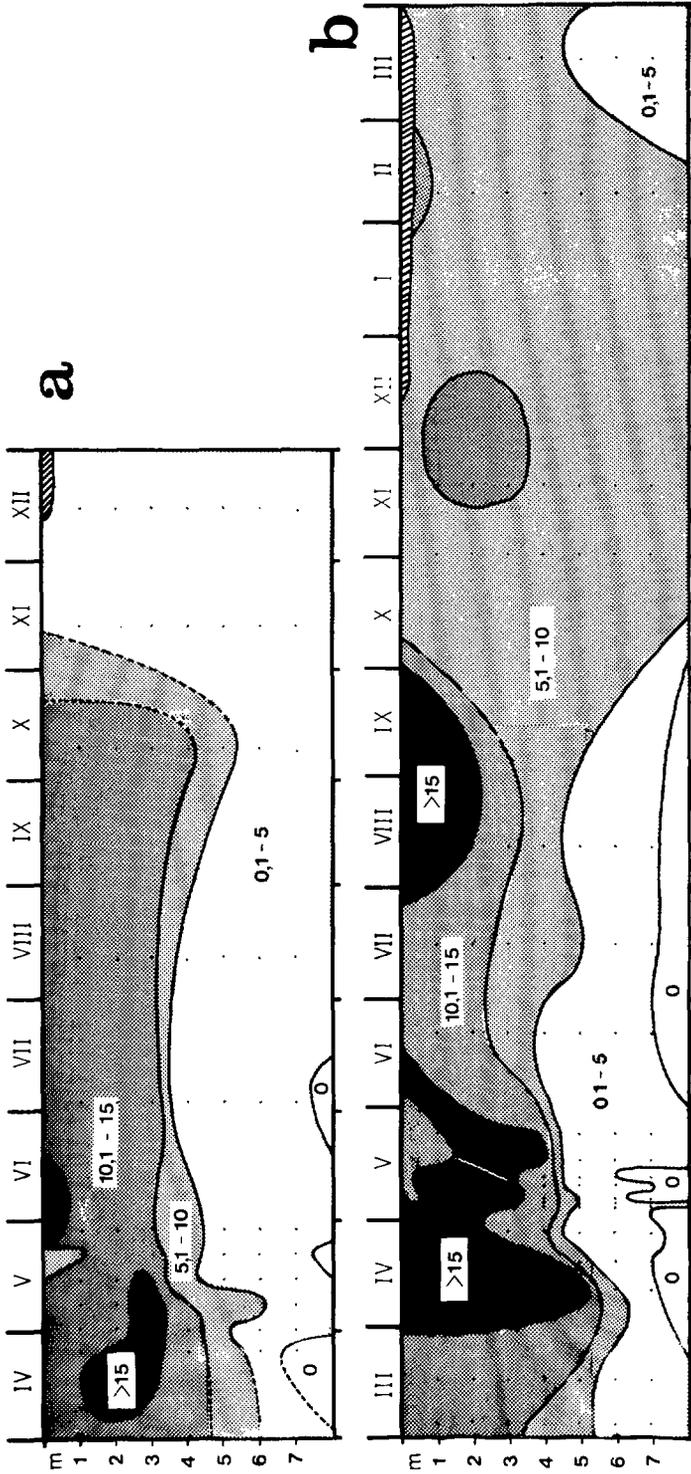


Abb. 6: Sauerstoff-Isoplethen Reithen Sec. a: April bis Dezember 1971. b: März 1972 bis März 1973. Schraffiert: Winterdecke.

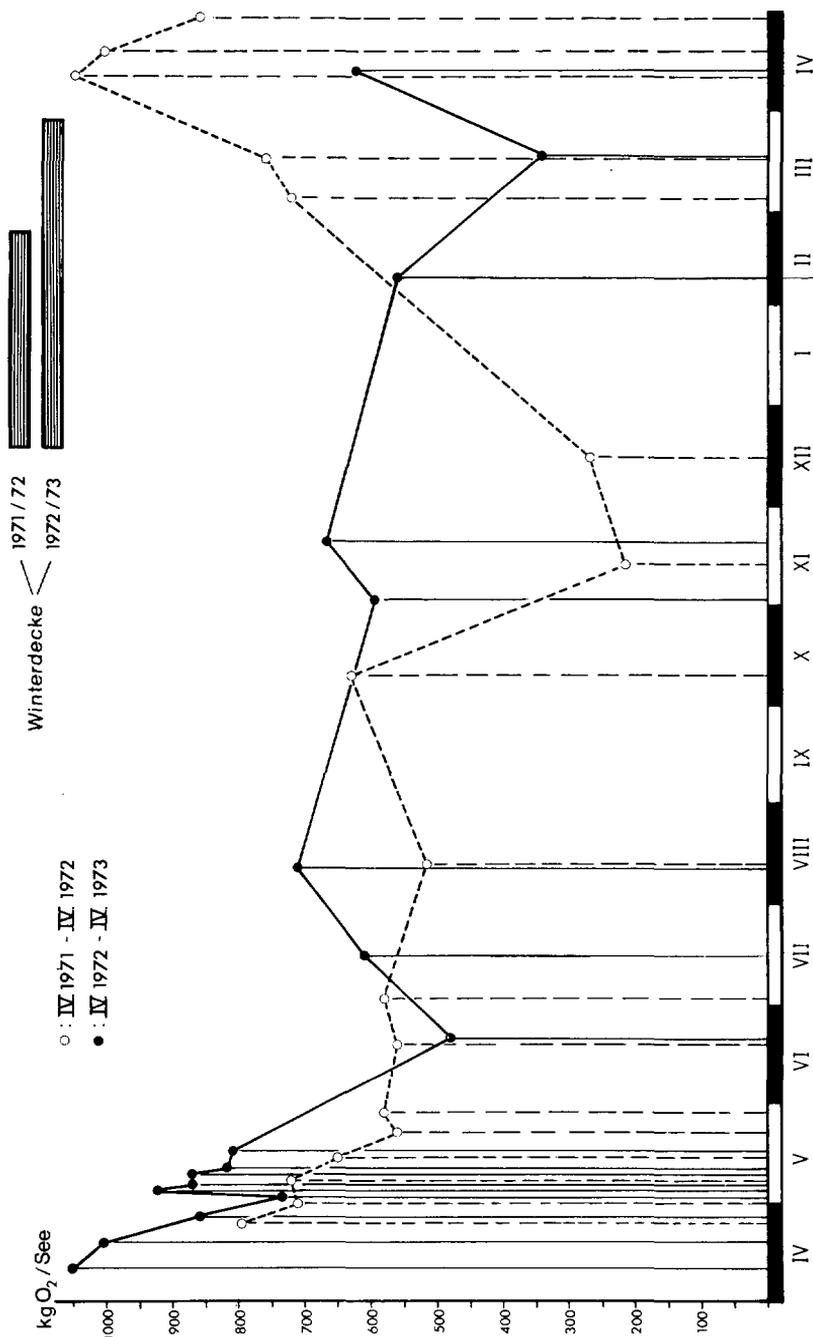


Abb. 7: Jahrgang des Sauerstoffinhalts des Reither Sees.

Helle Kreise: 1971
Dunkle Kreise: 1972
Dreiecke: 1973

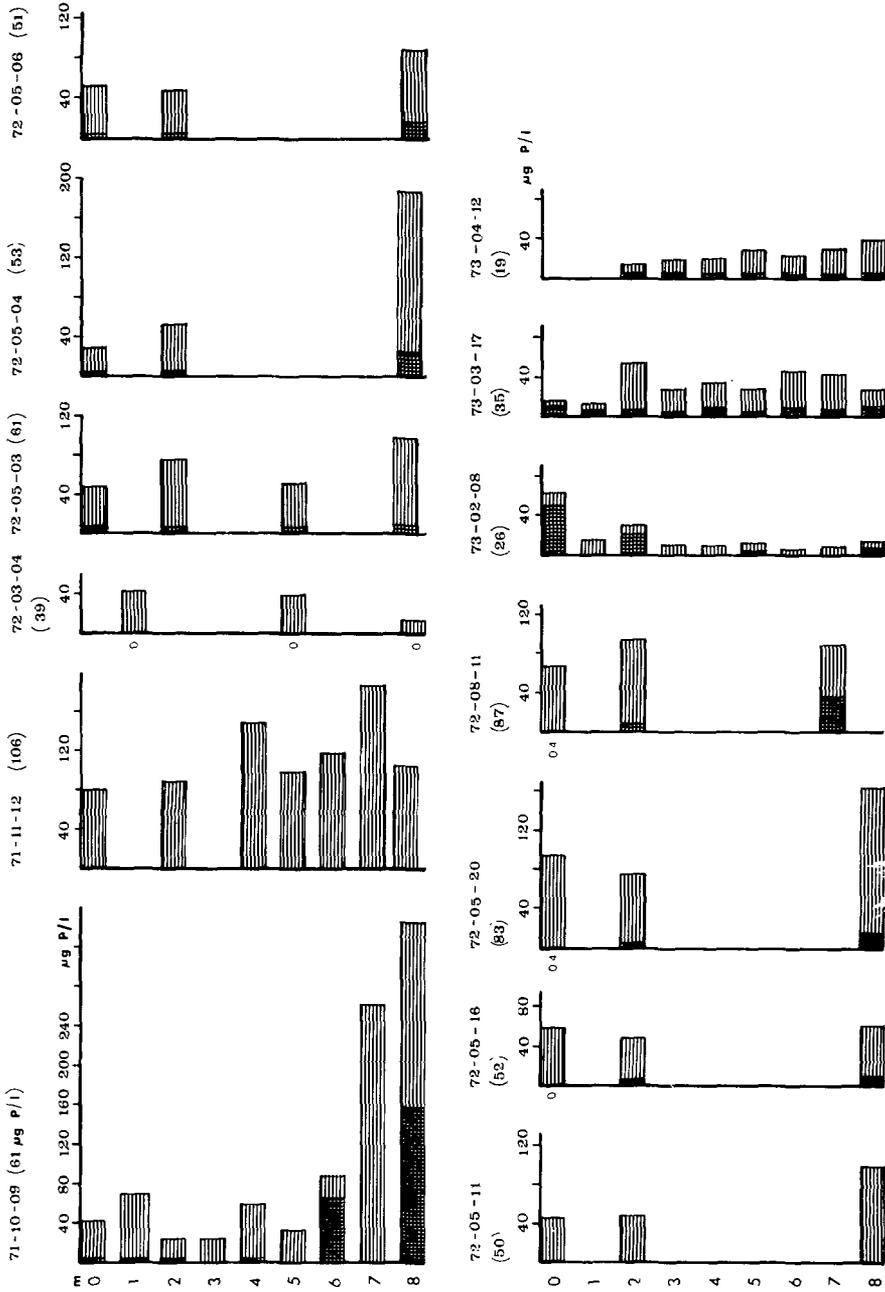


Abb. 8: Schichtung von gelöstem Orthophosphat (Zahlen oder vertikale Schraffierung) im Reither See. In Klammern neben Datum: Durchschnittskonzentrationen (in $\mu\text{g P/l}$) im Pelagial des Sees.

8 $\mu\text{g/l}$, häufig sogar unter der Nachweisbarkeitsgrenze (0,2 $\mu\text{g PO}_4\text{-P/l}$) bleibt, kann als Hinweis gewertet werden, daß Phosphor im Reither See als Minimumstoff wirkt, seine Nachlieferung bzw. Verfügbarkeit also den wichtigsten Eutrophierungsfaktor darstellt.

3.2.4 Vorherrschende Elektrolyte:

Mit einem elektrolytischen Leitvermögen von 284 bis 448 μS (bei 25°C), einer Alkalinität von 2,9 bis 5,5 mval/l und pH-Werten zwischen 6,9 und 8,8 ist das Wasser des Reither Sees als relativ hart und gut gepuffert zu bezeichnen. Unter den analysierten Kationen dominiert das Ca^{++} (32–68 mg/l) vor Mg^{++} (20–33 mg/l), K^+ (3,0–4,2 mg/l) und Na^+ (0,7–3,4 mg/l). Bezüglich der Anionen läßt sich sagen, daß Karbonate ca. 90% der Gesamtleitfähigkeit ausmachen.

3.2.5 Sichttiefe und spektrale Durchlässigkeit:

Die Sichttiefe schwankte im Jahre 1971 zwischen 0,9 und 2,0 m (Abb. 9). Die spektrale Durchlässigkeit wurde am 1971-06-21 mit einem Unterwasserphotometer nach ECKEL (1935) gemessen. Die prozentuale Transmission zwischen 0 und 1 m Tiefe ist in Abb. 10 dargestellt. Die „optische Kennzahl“ (SAUBERER und RUTTNER 1941) dieses Wassers lautet 363.

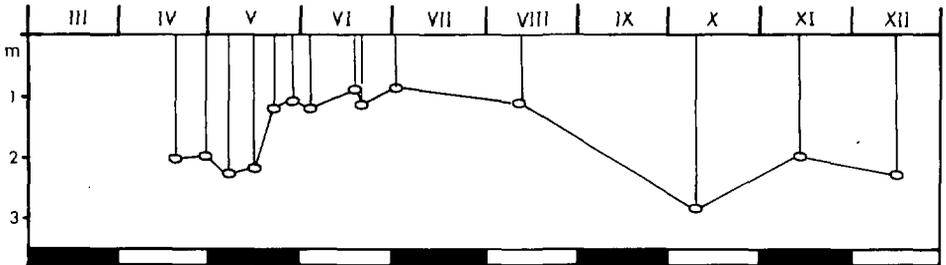


Abb. 9: Sichttiefe im Reither See 1971.

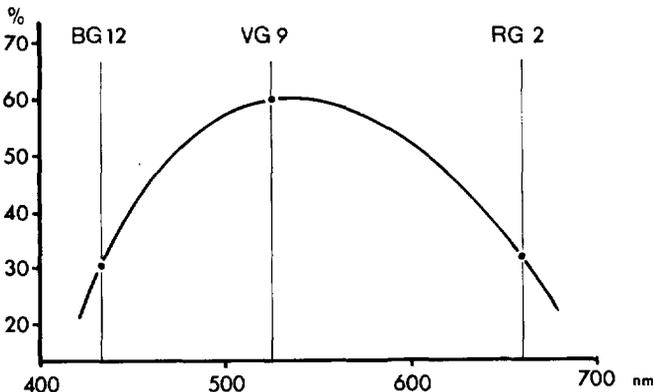


Abb. 10: Prozentuelle Transmission des Oberflächenwassers des Reither Sees 1971-06-21.

4. See-Restaurierung 1972:

4.1 Anlaß:

Der Fremdenverkehr ist für die Gemeinde Reith b. Brixlegg zu einem bedeutenden Erwerbszweig geworden. 1972 wurden mehr als 350.000 Urlauber-Nachtungen gezählt, 73% davon im Sommer (Tab. 2).

	Urlauber-Nachtungen			Besucher des Seebades
	Sommer	Winter	insgesamt	
1960	65.110	2.000	67.110	
1970	186.659	61.319	247.978	33.622
1971	226.405	66.010	292.415	42.222
1972	256.172	93.838	350.010	31.735

Tab. 2: Nächtigungsziffern in der Gemeinde Reith b. Brixlegg 1960 bis 1972 und Zahl der am See ausgegebenen Badekarten.

Der See wirbt für längere Aufenthalte im Erholungsdorf Reith, er wird aber auch von Badegästen aus der näheren und weiteren Umgebung gern besucht. Die Badesaison dauert am Reither See circa 100 Tage. Die in diesem Zeitraum ausgegebenen Badekarten (Tab. 2) geben aber nur ein unvollkommenes Bild von der tatsächlichen Besucherfrequenz, weil erstens für Kinder unter 6 Jahren keine Badekarte zu lösen ist, und weil zweitens keine Aufzeichnungen über die Badefrequenzen pro Tag geführt wurden. Nach Schätzungen sollen 1971 zu Spitzenzeiten täglich etwa 1000 Besucher in das Bad am Reither See gekommen sein, an schönen Wochenenden des Jahres 1972 sogar erheblich mehr.

Der hohe Trophiegrad des Reither Sees beeinträchtigt jedoch seinen Erholungswert: Die starke Trübung und grün-braune Färbung des Wassers mindert den Genuß des Betrachters und die Freude am Baden; die geringe Durchsichtigkeit des Wassers vergrößert das Unfallrisiko beim Schwimmen bzw. erschwert Hilfsaktionen bei Ertrinkungsgefahr; das Auftreten von Blaualgen-Blüten im Sommer, eines Fischsterbens zur Zeit der Herbstvollzirkulation oder in der Periode der Eisbedeckung sowie andere Folgen der „saltanten Eutrophierung“ (THOMAS 1963) waren zu befürchten.

Verwertbare Untersuchungen aus früheren Jahren liegen nicht vor, doch wird behauptet, das Erscheinungsbild des Sees habe sich in den Jahren 1960 bis 1971 laufend verschlechtert. Die Beseitigung aller punktförmigen Abwassereinleitungen hatte demnach nicht ausgereicht, die Eutrophierung des Sees zu stoppen. Es waren offenbar Restaurierungsmaßnahmen erforderlich, um den Reither See wirksam zu schützen bzw. wieder attraktiver zu machen.

4.2 Maßnahmen:

4.2.1 Olszewski-Rohr:

Die erste und wichtigste Maßnahme, den Nährstoffgehalt des Sees zu senken, betraf eine Änderung der hydrographischen Situation: Der natürliche Auslauf des Reither Sees bestand in einem Gerinne am Ostufer des Sees („A“ in Abb. 3), welches – kanalartig verbaut – nach wenigen Metern in eine Felsspalte mündete und unterirdisch weiterfloß.

Dieser Auslauf wurde verschlossen bzw. durch ein Kunststoffrohr von 10 cm Durchmesser ersetzt, dessen seeseitiger Mund in der Seemitte wenige Dezimeter über Grund verankert war; das Rohr führte entlang der Halde zum Ausrinn bzw. unter dessen Absperrung hindurch und mündete landseitig einige Zentimeter unter dem Niveau des Seespiegels in das alte Abflußbett. Diese Art eines sich selbst regulierenden Abflusses war von OLSZEWSKI (1961, 1967, in Druck) als Erstem am eutrophierten Kortowo-See in Polen realisiert worden. Unter Ausnützung der Heberwirkung (bei Verzicht auf Selbstregulierung der Seespiegelhöhe) waren Kunststoffrohre zur See-Restaurierung am Wiler See in der Schweiz (ESCHMANN 1969, THOMAS 1970) und am Piburger See in Tirol (PECHLANER 1971) verlegt worden.

Am Reither See konnten bei Einsatz eines künstlichen hypolimnischen Ablaufs folgende Effekte erwartet werden:

- a) Trophiegrad-Senkung durch verstärkte Ausfuhr von Phosphor.
- b) Der Nährstofftransport aus dem Hypolimnion in das Epilimnion, bedingt durch relativ starke Durchspülung mit – tief eingeschichtetem (vgl. p. 190)– Grundwasser, wird verhindert oder zumindest eingeschränkt.
- c) Verbesserung des Sauerstoffregimes durch den Abtransport von Tiefenwasser, welches einerseits wenig oder keinen Sauerstoff führt, andererseits aber einen hohen biochemischen, z. T. auch chemischen Sauerstoffbedarf enthält.
- d) Erhöhung der Wassertemperatur im Sommer in allen Tiefen gegenüber der Situation bei natürlichem Abflußregime. Eine stärkere Erwärmung des Oberflächenwassers wird von der Mehrheit der Badenden begrüßt werden, in der Tiefe jedoch könnten die durch die Temperaturerhöhung beschleunigten Abbauprozesse die Sauerstoffzehrung verstärken.
- e) Als ungünstige Wirkung der geänderten Abflußsituation war zu erwarten, daß an der Seeoberfläche schwimmende Verunreinigungen aller Art nicht abtransportiert werden, was den Erholungswert des Sees vermindern könnte. Es wurde daher die Möglichkeit vorgesehen, bei Bedarf Seewasser oberflächlich abfließen zu lassen.

4.2.2 Fällung mit Eisen-III-Chlorid:

Im März 1972, bald nach dem Eisbruch, traten an der Seeoberfläche Algenwatten (vorwiegend *Spirogyra* und *Mougeotia*, subdominant *Oedogonium* und *Ulothrix*) in einer Menge auf, wie sie am Reither See von Einheimischen noch nie beobachtet worden waren. Die Sorge um die Gefährdung der Badesaison 1972 gab Anlaß zu einem Versuch, das Wasser des Sees durch ein Fällungsverfahren zu reinigen. Als Fällungsmittel wurde Eisen-III-Chlorid gewählt. Es wurde in 40%iger Lösung geliefert (Fa. Commenda, Wien), wurde am 72-05-03 mit Hilfe einer Feuerwehrspritze – mit Wasser verdünnt – gleichmäßig über die Seeoberfläche versprüht und von einem mit Schleppanker fahrenden Motorboot in die obersten 2 Meter des Epilimnions eingerührt. Die Endkonzentration betrug ca. 5 g Fe/m³. Ziel dieser Maßnahme war es,

- a) gelöstes Orthophosphat als FePO₄ chemisch zu binden,
- b) verschiedene gelöste Phosphorverbindungen an Fe(OH)₃ adsorptiv anzulagern, und schließlich
- c) Phytoplankton und Detritus mit dem frisch gebildeten Eisenhydroxyd als Flocken in das Hypolimnion und früher oder später über das Olszewski-Rohr aus dem See zu befördern.

4.2.3 Trinkwasser-Zufuhr:

Als dritte Restaurierungsmaßnahme war vorgesehen, überschüssiges Trinkwasser aus dem Leitungsnetz der Gemeinde Reith zum See zu führen und an verschiedenen Stellen seines Ufers drucklos einzuleiten. Dieses kalte Quellwasser sollte auf Grund seines größeren spezifischen Gewichtes über die Halde zum Seegrund absinken und dabei einerseits die Ausspülung unerwünschter gelöster und suspendierter Substanzen über das Olszewski-Rohr fördern und andererseits dem Auftreten anaerober Zustände im Hypolimnion entgegenwirken. Technische Probleme verhinderten die Durchführung dieses Planes im Jahre 1972, doch wurde als Provisorium immerhin die Wassererneuerung durch Einspeisung von Leitungswasser in den oberflächlichen Zufluß des Sees verstärkt.

4.3 Auswirkungen:

4.3.1 Temperatur:

Die Auswirkungen des Olszewski-Rohres auf das Temperatur-Regime des Reither Sees sind aus Abb. 5 klar erkennbar: die Erwärmung des Hypolimnions erfolgte in der Sommerstagnation 1972 erheblich rascher als 1971 (die 6°-Isotherme erreichte 1971 den Seegrund um den 20. Mai, die 7°-Isotherme Ende Juli; 1972: 6°C am Grund um den 10. April, 7°C am 9. Mai) und ergab viel höhere Temperaturen (1971 ca. 8°C, 1972 mindestens 15°C). Eine Anomalie der 8°-Isotherme Mitte Mai fällt auf; sie hängt damit zusammen, daß der auf p. xx erwähnte Oberflächenabfluß Mitte Mai voll geöffnet und das Olszewski-Rohr bis 23. Mai verschlossen wurde.

Daß gegenüber 1971 keine Erhöhung der Oberflächentemperaturen und keine Verzögerung der Herbstvollzirkulation zu beobachten ist, dürfte mit dem abnorm kalten Wetter im Sommer 1972 zusammenhängen.

4.3.2 Sauerstoff und pH:

Der Vergleich der Sauerstoff-Isoplethen der Jahre 1971 und 1972 (Abb. 6) läßt im April und Mai 1972 eine Verbreiterung der sauerstoffgesättigten bis -übersättigten trophogenen Zone erkennen, während im Sommer 1972 der Sauerstoffgradient in der tropholytischen Zone erheblich verstärkt war und knapp über Grund meist anaerobe Bedingungen herrschten.

Die Einbringung von Eisen-III-Chlorid als Fällmittel beeinflusste die Sauerstoffschichtung deutlich, wie ein Vergleich der Tautochronen vor dem Experiment (12.30) und unmittelbar nach seinem Abschluß (18.00) zeigt (Abb. 11): Der Sauerstoffgehalt stieg an der Oberfläche erheblich an (0 m: von 12,8 auf 18,3 mg O₂/l, d. i. von 140% auf 193% der relativen Sättigung), im Metalimnion änderte sich die Situation in entgegengesetzter Richtung (in 3 m Tiefe Rückgang der Sauerstoffkonzentration um 5 mg/l), und auch unterhalb 5 m Tiefe war starke Sauerstoffzehrung zu beobachten, welche unmittelbar über Grund – bis Mitte Mai anhaltend – anaerobe Verhältnisse schuf.

Der für das gesamte Seevolumen berechnete Sauerstoffinhalt lag im Jahre 1972 fast zu jeder Zeit über den Werten von 1971 (Abb. 7). Besonders hingewiesen sei in diesem Zusammenhang auf den Umstand, daß die Herbstvollzirkulation 1972 offenbar nicht mehr durch jene „Sauerstoffschuld“ belastet war, welche den See 1971 nahe an ein Fischsterben gebracht hatte. Bemerkenswert ist andererseits auch der starke Sauerstoffrückgang von 73-02-08 (durchschnittlich 8,8 mg O₂/l) bis 73-03-17 (durchschnittlich

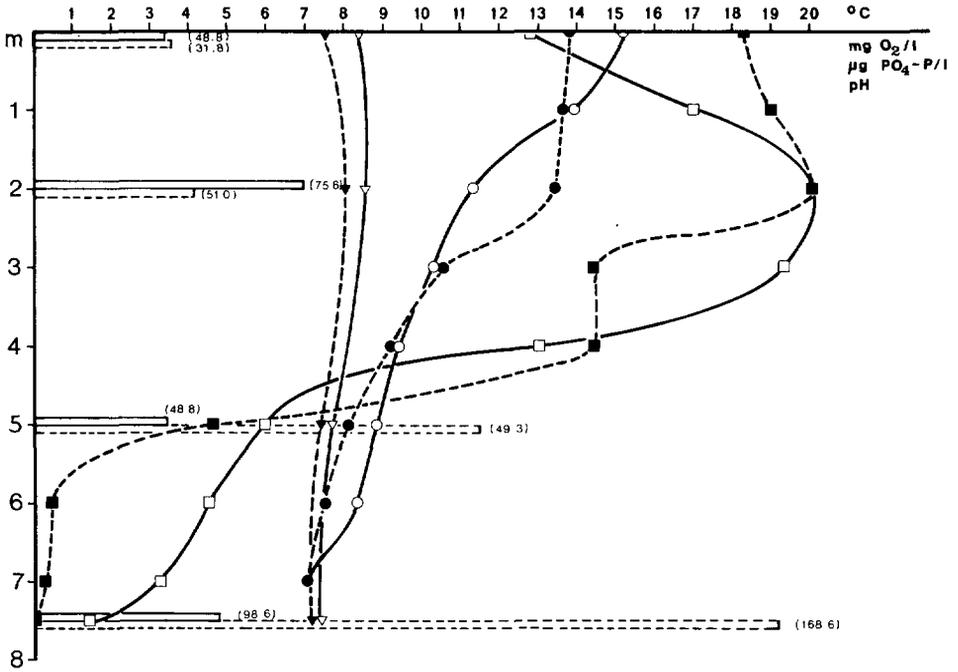


Abb. 11: Tautochtonen von Temperatur (Kreise), Sauerstoff (Quadrate), pH (Dreiecke), gelöstem Orthophosphat (Histogramm) und Gesamtphosphor (Zahlen neben Histogramm) vor dem Fällungsexperiment (1972-05-03, 12.30: helle Symbole, ausgezogene Kurven und Histogramme) und unmittelbar danach (18.00: dunkle Symbole, strichlierte Kurven und Histogramme).

5,3 mg/l). Vergleichszahlen vom Winter 1971/72 fehlen leider (auch dauerte die Winterstagnation 1971/72 nur bis Ende Feber).

Die durch das Fällmittel bedingten pH-Änderungen (Abb. 11) hielten sich in den nach den Vorversuchen erwarteten Grenzen.

In Tab. 3 sind die Gesamtphosphor-Konzentrationen des Oberflächenwassers denen in 7–8 m Tiefe gegenübergestellt.

	71-10-09, 11 Uhr	71-11-12, 11 Uhr	72-03-04, 11 Uhr	72-05-03, 12 Uhr	72-05-03, 18 Uhr	72-05-04, 16 Uhr	72-05-06, 16 Uhr	72-05-11, 15 Uhr	72-05-16, 15 Uhr	72-06-20, 15 Uhr	72-08-11, 19 Uhr	73-02-08, 16 Uhr	73-03-17, 14 Uhr	73-04-12, 12 Uhr
a) Oberfläche	42	80	43	49	32	27	52	46	59	91	66	62	14	12
b) Grund	304	155	12	99	169	186	87	98	61	192	90	12	34	33
b in % von a	724	194	28	202	528	689	167	213	103	211	136	19	243	275

Tab. 3: Gesamtphosphorkonzentrationen (µg/l) im Oberflächenwasser (0,0 bis 0,8 m Tiefe) und über Grund (7 bis 8 m Tiefe) des Reither Sees. Kursiv: Analysenergebnisse von Entnahmetagen, an denen das Olszewski-Rohr in Betrieb war.

Der Vergleich zeigt, daß während der Sommerstagnation durch das Olszewski-Rohr meist erheblich nährstoffreicheres Wasser aus dem See geführt wird als durch den oberflächlichen Abfluß. Lediglich die Untersuchungsserien vom 72-03-04 und 73-02-08 zeigten über Grund phosphorärmeres Wasser als an der Oberfläche.

Die Phosphoranalysen vom 72-05-03 (12.30 und 18.00) und vom 72-05-04 (vgl. Abb. 8, Abb. 11 und Tab. 2) dokumentieren als Erfolg des unter 4.2.2 beschriebenen Fällungsverfahrens eine deutliche Anreicherung von Gesamtphosphor über Grund und damit eine gesteigerte Effizienz des Phosphor-Abtransportes über das Olszewski-Rohr.

Zur Frage, ob die Phosphor-Fällung mit Eisen-III-Chlorid und die Phosphor-Auspülung über das Olszewski-Rohr eine anhaltende Reduktion des Phosphorgehaltes im Pelagial des Reither Sees gebracht haben, gestatten die bisher vorliegenden Daten (Abb. 12) noch keine eindeutige Antwort. Ein gewisser Trend zu einem Rückgang in den Gesamtphosphorgehalten scheint vorhanden zu sein, die spärlichen Vergleichszahlen aus dem Jahre 1971 und die starken Schwankungen im Jahresgang verhindern aber vorläufig eine sichere Aussage. Die Gesamtphosphorwerte vom 72-03-04, 73-02-08 und 73-05-04 deuten auf einen Phosphorgehalt des Grundwassers von maximal $12 \mu\text{g P/l}$.

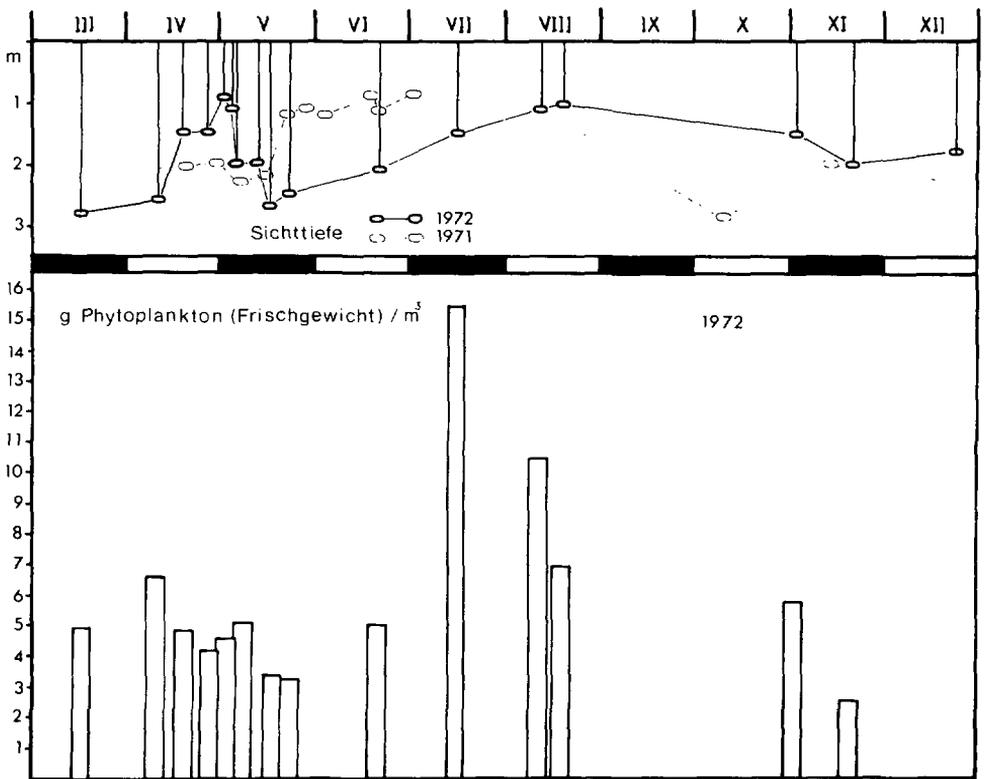


Abb. 12: Sichttiefe und Phytoplankton-Biomasse im Jahre 1972. Strichlierte Kurve: Sichttiefe 1971.

4.3.4 Sichttiefe:

Die Veränderung der Sichttiefe im Jahre 1972 (Abb.12) läßt einen deutlichen Effekt des Fällungsverfahrens erkennen: Die Sichttiefe hatte vor dem Experiment 70 bis 90 cm betragen, danach stieg sie in 1 Woche auf 210 cm, in 2 Wochen auf 270 cm. Am 72-07-15 war die Sichttiefe noch fast doppelt so hoch wie 1 Jahr vorher, ab der zweiten Julihälfte 1972 hingegen sank die Transparenz wieder unter die Vorjahreswerte.

Die Zunahme der Sichttiefe in den beiden Wochen nach Anwendung des Fällungsverfahrens ist jedoch nicht mit einem entsprechenden Rückgang der Planktonalgen gekoppelt. Im Gegenteil: Die Resultate von FINDENEGG (1973) beweisen eindeutig, daß das lebende Phytoplankton durch die Einbringung des Eisen-III-Chlorids nicht geschädigt wurde, sondern daß seine Biomasse weiterhin anstieg, wobei sich in den obersten 3 Metern zunächst die Cryptomonaden, später auch *Stephanodiscus* kräftig vermehrten. Daraus ist abzuleiten, daß die Ausfällung von gelöstem Material, suspendiertem Detritus (inklusive moribunder Algen; die Phytoplankton-Volumina bei FINDENEGG 1972 und 1973 beziehen sich nur auf „gesunde“ Algen) und vielleicht auch von minerogenen Partikeln die beobachtete Sichttiefenzunahme bewirkt hat.

4.3.5 Nährstoffeintrag durch Badebetrieb:

Die Sichttiefenminderung im Juni und Juli 1972 erfolgte parallel zu einer starken Vermehrung des Phytoplanktons. Die Gesamtposphorkonzentrationen nahmen in dieser Zeit ebenfalls zu, sowohl im Epilimnion als auch im übrigen Pelagial. Es läßt sich nicht ausschließen, daß die Nährstoffbasis für die sommerliche Algenvermehrung aus dem See selbst bzw. aus seinen Sedimenten stammt, denn rund 50% des Seegrundes grenzen an Wasser der euphotischen Zone, was den Übergang von Phosphor aus dem Sediment in planktische Algen erheblich fördern muß, zumal wegen der geringen Dimension des Reither Sees die Relation zwischen freiem Wasser und Sedimentkontaktfläche („Bodenfaktor“ nach ELSTER 1955, „Wasser-Boden-Relation“ nach BERGER 1971) starke Wechselwirkungen zwischen Gewässergrund und Pelagial erwarten läßt. Trotzdem ist mit großer Wahrscheinlichkeit zumindest ein Teil des Phytoplanktonanstieges als direkte Wirkung des Badebetriebes zu deuten: Die in Tab. 2 eingetragenen Besucherzahlen besagen, daß in der Badesaison 1972 durchschnittlich 327 Besucher pro Tag im Reither See badeten. Trug jeder dieser Badegäste nur 0,11 g Phosphor an der Körperoberfläche, an Badekleidung und mit Körperausscheidungen in den See – ein nach den Angaben bei PÖPEL (1966, 17/18) sicher nicht zu hoch angesetzter Wert –, so bedeutet dies im Verlauf der Badesaison eine Verdoppelung der im Mai 1972 gemessenen Phosphorkonzentrationen (51 µg P/l, entsprechend 3,4 kg Phosphor im gesamten Pelagial des Sees).

4.4 Ausblick:

Der Reither See wird limnologisch unter Kontrolle bleiben. Die Resultate dieser Untersuchungen werden laufend verwendet werden, um die Maßnahmen zur Eutrophiebekämpfung zu verbessern. In den ersten Monaten des Jahres 1973 waren seitens der Gemeinde Reith verschiedene bauliche Maßnahmen gesetzt worden, welche in Hinkunft einerseits die Ableitung größerer Mengen von Tiefenwasser gestatten, andererseits aber auch die gezielte Abfuhr verunreinigten Oberflächenwassers ermöglichen und dabei nicht

nur die Regulierung des hydrographischen Regimes erleichtern, sondern auch die Entnahme von Wasser für Analysen. Die Manipulierung der Abflußverhältnisse, die zusätzliche Spülung durch überschüssiges Trinkwasser und die Anwendung – eventuell verbesserter – Fällungsverfahren dürften nicht nur eine Kompensation der diffusen und unvermeidlichen Nährstoffzufuhr erlauben, die Maßnahmen müßten nach den bisherigen Erfahrungen eine echte Oligotrophierung und damit eine Steigerung des Erholungswertes des Reither Sees ermöglichen.

5. Zitierte Literatur:

- BERGER, F. (1971): Zur Morphometrie der Seebecken. – *Carinthia II*, Sonderheft 31 (Festschrift FINDENEGG): 29–39.
- BRUNDIN, L. (1942): Zur Limnologie jämtländischer Seen. – *Mitt. Anst. Binnenfisch. Drottningholm* 20: 1–104.
- ECKEL, O. (1935): Strahlungsmessungen in einigen österreichischen Seen. – *Sitz.-Ber. Akad. Wiss. Wien, math.-nat. Kl.*, 144: 85–109.
- ELSTER, H.-J. (1955): Limnologische Untersuchungen im Hypolimnion verschiedener Seentypen. – *Mem. Ist. Ital. Idrobiol., Suppl.* 8: 83–119.
- ESCHMANN, K. H. (1969): Die Sanierung des Wilersees durch Ableitung des Tiefenwassers. – *Gesundheitstechnik (Zürich)* 3: 125–128.
- FINDENEGG, I. (1972): Das Phytoplankton des Reither Sees (Tirol, Österreich) im Jahre 1971. – *Ber. nat.-med. Ver. Innsbruck* 59: 15–24.
- FINDENEGG, I. (1973): Die Wirkung eutrophierungshemmender Maßnahmen auf das Phytoplankton des Reither Sees in Tirol. – *Ber. nat.-med. Ver. Innsbruck* 60: 7–14.
- GOLTERMAN, H. L. (1970): Methods for chemical analysis of fresh waters. – *IBP Handbook No. 8*, Blackwell, Oxford und Edinburg, 1–166.
- OLSZEWSKI, P. (1961): Versuch einer Ableitung des hypolimnischen Wassers aus einem See. Ergebnisse des ersten Versuchsjahres. – *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 14: 855–861.
- OLSZEWSKI, P. (1967): Die Ableitung des hypolimnischen Wassers aus einem See. – *Föderation Europäischer Gewässerschutz, Inf.-Blatt* 14: 87–89.
- OLSZEWSKI, P. (in Druck): Fünfzehn Jahre Experiment auf dem Kortowo-See. – *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 18.
- PECHLANER, R. (1966): Die Finstertaler Seen (Kühtal, Österreich) I. Morphometrie, Hydrographie, Limnophysik und Limnochemie. – *Arch. Hydrobiol.* 62: 165–230.
- PECHLANER, R. (1971): Die Restaurierung des Piburger Sees. – *Carinthia II*, Sonderheft 31 (Festschrift FINDENEGG): 97–115.
- PÖPEL, J. (1966): Beitrag zur Elimination von Phosphaten aus Abwasser. – *Diss. TH Darmstadt*, 1–197.
- SAUBERER, F. und F. RUTTNER (1941): Die Strahlungsverhältnisse der Binnengewässer. – Leipzig, Akad. Verlagsges. BECKER und ERLER, 1–240.
- ŠTĚPÁNEK, M. und J. CHALUPA (1956): Neuer Typ einer Tiefenentnahmeverrichtung für Wasser. – *Biológia (Bratislava)* 11: 224–227.
- THOMAS, E. A. (1963): Experimentelle Untersuchungen über die Schlamm Bildung in unberührten und kulturbeflußten Seen der Schweiz. – *Wasser und Abwasser* 1963: 154–169.
- THOMAS, E. A. (1970): See-Restaurierungen in der Schweiz. – *Verh. Internat. Konf. „Welt, Wasser und Wir“ (Jönköping, Tabergs Boktryckeri AB), Group Conference* 3: 24–49.
- VOGLER, P. (1965): Probleme der Phosphatanalytik in der Limnologie und ein neues Verfahren zur Bestimmung von gelösten Orthophosphaten neben kondensierten Phosphaten und organischen Phosphorsäureestern. – *Int. Rev. ges. Hydrobiol.* 50: 33–48.
- VOLLENWEIDER, R. A. (1968): Die wissenschaftlichen Grundlagen der Seen- und Fließgewässer-eutrophierung unter besonderer Berücksichtigung des Phosphors und Stickstoffs als Eutrophie-faktoren. – *Bericht der OECD unter DAS/CSI/68.27*.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Berichte des naturwissenschaftlichen-medizinischen Verein Innsbruck](#)

Jahr/Year: 1973

Band/Volume: [60](#)

Autor(en)/Author(s): Pechlaner Roland, Schulz Norbert

Artikel/Article: [Die Restaurierung eines eutrophierten Badesees \(Reither See, Tirol, Österreich\). 183-201](#)