

Carinthia II	167./87. Jahrgang	S. 157–178	Klagenfurt 1977
--------------	-------------------	------------	-----------------

Aus dem Kärntner Institut für Seenforschung

Die limnologische Entwicklung des Ossiacher Sees (Kärnten, Österreich) seit 1931¹⁾

Von Norbert SCHULZ und Liselotte SCHULZ

(Mit 16 Abbildungen)

SYNOPSIS

A serious eutrophication of Ossiacher See (46°40' N, 13°58' E), caused by increasing nutrient loading, had to be stopped by the construction of a sewage pipeline system, the main part of which was set to work in 1971. The development of the eutrophication and the effects of the sewage tube on oxygen and phosphorus content, on the optical quality and the response of phytoplankton are described.

INHALT

1. Einleitung
2. Der See
 - 2.1. Morphometrische und hydrographische Parameter
 - 2.2. Windverhältnisse
 - 2.3. Temperatur
3. Sanierungsmaßnahmen
4. Änderung des Sauerstoffgehaltes und des Gesamtphosphorinhaltes
 - 4.1. Sauerstoff
 - 4.2. Gesamtphosphor
5. Änderung der optischen Eigenschaften
 - 5.1. Sichttiefe
 - 5.2. Spektrale Durchlässigkeit
6. Veränderungen des Phytoplanktons
 - 6.1. Phytoplanktonbiomasse
 - 6.2. Veränderung des Artbestandes
7. Zusammenfassung
8. Literatur

¹⁾ Beitrag Nr. 2 des OECD-Seen-Eutrophierungsprojektes „Ossiacher See“

1. EINLEITUNG

Die Entwicklung des Fremdenverkehrs, die zunehmende Verbauung der Seeufer und die damit verbundene Vermehrung der häuslichen Abwässer sowie die intensivierte Verwendung von Mineraldünger im landwirtschaftlich genutzten Einzugsgebiet des Ossiacher Sees führten zu einer erhöhten Nährstoffkonzentration im See (FINDENEGG 1955, 1965, 1967, 1971 a, 1971 b, 1972, SAMPL 1971 a, 1972). Als Folgen der „saltanten Eutrophierung“ (THOMAS 1963) kam es zu unansehnlichen Algenblüten (*Microcystis*, *Anabaena*) und Schaumschichten von mehreren Dezimetern Dicke, die im Aufschäumen von Algengallerte ihre Ursache hatten (SAMPL 1974). Durch diese Erscheinung war der Erholungswert des Sees stark beeinträchtigt, ein Rückgang des Fremdenverkehrs schien unvermeidlich. Unter dem Druck dieser Situation wurde 1970 am Ossiacher See mit dem Bau einer zentralen Kanalisation begonnen, deren erste Ausbaustufe im Mai 1971 in Betrieb genommen wurde.

Am Ossiacher See werden seit 1931 limnologische Messungen durchgeführt. In erster Linie sind es Arbeiten von FINDENEGG (1932, 1934, 1935, 1937, 1938, 1943, 1953, 1954, 1955, 1958, 1962, 1963, 1964), die die Kenntnis über den Ossiacher See seit dieser Zeit vermitteln. Von 1967 bis 1973 war der See unter anderem Ziel des IBP-Vorhabens „Produktion der österreichischen Alpenseen“ (FINDENEGG 1965, 1966, 1971 a und b, 1972, 1973; SAMPL 1971 a und b). Seit 1973 werden die Ursachen und Auswirkungen der Nährstoffanreicherung auf den Ossiacher See im Rahmen eines OECD-Seen-Eutrophierungs-Projektes erhoben.

In der vorliegenden Arbeit soll versucht werden, mit Hilfe von limnologischen Parametern, die auf Grund ähnlicher Untersuchungsmethodik gut vergleichbar sind, die Entwicklung des Ossiacher Sees, die Verschlechterung der Wasserqualität und die Verbesserung nach Inbetriebnahme der Entsorgungsanlagen zu verfolgen. Es sollen die Parameter Sauerstoffgehalt, Sichttiefe, spektrale Transmission, Phytoplanktonbiomasse und Änderung des Artenspektrums der Algen untersucht werden. Gesamtphosphor wird erst seit 1972 gemessen, doch wird wegen der Tatsache, daß er den wichtigsten Eutrophierungsfaktor darstellt, auch der Gesamt-P-Inhalt des Ossiacher Sees als Kriterium für Veränderungen des Trophiezustandes während der letzten 5 Jahre herangezogen.

2. DER SEE

2.1. Morphometrische und hydrographische Parameter

Der Ossiacher See (46°40' N, 13°58' E) liegt in 501 m Meereshöhe zwischen den bewaldeten Steilabfällen der Gerlitzen im Norden und den westlichen Ausläufern der Ossiacher Tauern im Süden. Der See besteht

aus zwei Becken. Das östliche, kleinere Becken ($3,9 \text{ km}^2$) hat nur eine Tiefe von 11 m, das westliche, große Becken ($6,9 \text{ km}^2$) ist 52 m tief. Der See wurde 1975 neu ausgelotet und die morphometrischen Daten berechnet (SCHULZ 1975). In Tabelle 1 sind die wichtigsten Daten zusammengestellt:

Tab. 1: Morphometrische und hydrographische Parameter des Ossiacher Sees

Areal	10,79	km^2
Volumen	0,215088	km^3
Länge	10,38	km
Breite	1,54	km
Maximale Tiefe	52	m
Mittlere Tiefe	19,93	m
Länge der Uferlinie	25	km
Uferentwicklung	2,15	
Zirkulationstyp-Durchmischung		holomiktisch
Einzugsgebiet	165,4	km^2
Niederschlag	ca. 1000	$\text{mm} \cdot \text{a}^{-1}$
Theoretische Wassererneuerungszeit	700	Tage

2.2. Windverhältnisse

Methodik: Zählwerk-Anemometer der Firma FUESS, Berlin-Steglitz, aufgestellt am Ostufer des Ossiacher Sees, drei Meter über der Wasseroberfläche.

Seit Februar 1975 wurden am Ossiacher See Windwegmessungen durchgeführt. Der Ossiacher See ist dem Wind ausgesetzt, weil die Längsachse des Sees und die Richtung der vorherrschenden Winde zusammenfallen.

Die Abbildung 1 zeigt, welche Windwegsummen (in km) in den Dekaden der Jahre 1975 und 1976 auf den See eingewirkt haben. Im ersten Untersuchungsjahr wurden ca. 28.570 km Windweg registriert (die fehlenden Jännerwerte wurden geschätzt und den Messungen hinzugefügt). 1976 waren es 22.167 km, 22,4 % weniger als im Vorjahr. Besonders bedeutsam sind jene Windmengen, die während der Zirkulationsperioden auf einen See wirken. Während der Frühjahrsdurchmischung des Jahres 1975 (7. bis 10. Dekade) wurden 4.719 km Windweg gemessen, im gleichen Zeitraum des folgenden Jahres waren es 2.908 km, 61,62 % des Vorjahrswertes. Gegen Jahresende (25. bis 36. Dekade) waren die Windwegsummen beider Jahre annähernd gleich.

2.3. Temperatur

Methodik: „Lunzer Wassers schöpfer“ (RUTTNER 1962) mit eingebautem Quecksilberthermometer (Graduierung $0,1^\circ\text{C}$) und Hydropolytester 76 der Fa. ZÜLLIG (zur Verfügung gestellt vom BM für Gesundheit und Umweltschutz).

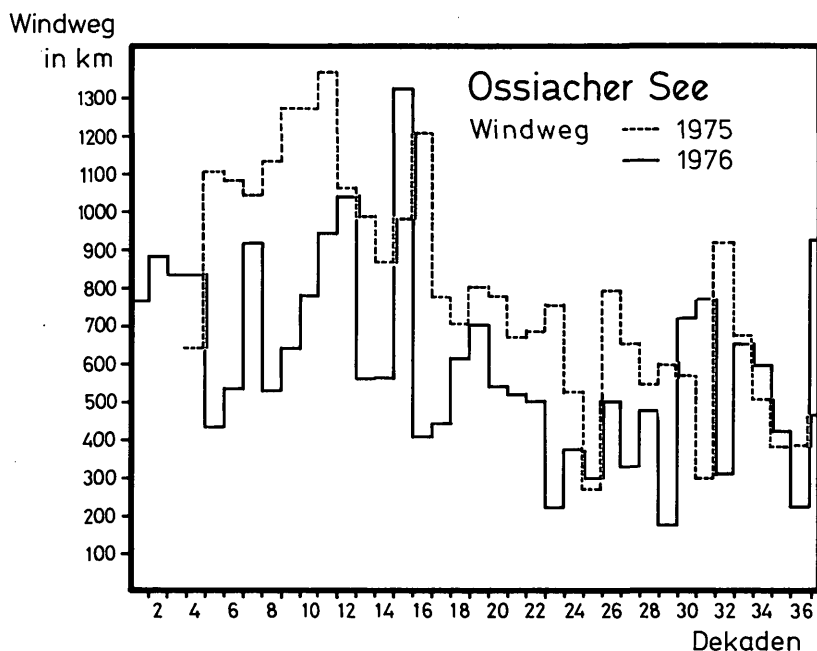


Abb. 1: Windwegsummen pro Dekade der Jahre 1975 und 1976 in km, gemessen am Ostufer des Ossiacher Sees.

Untersuchungen des thermischen Verhaltens des Ossiacher Sees gehen schon auf RICHTER (1891, 1897), SCHNABL (1911), HASSLER (1921) und seit 1931 auf FINDENEKG (z. B. 1934, 1938) zurück.

Als Beispiel für das Temperaturgeschehen im Ossiacher See sollen Messungen aus den Jahren 1975 und 1976 dienen (Abb. 2 und 3). Der Ossiacher See ist dimiktisch, die Herbstzirkulation begann in beiden Jahren Ende Dezember. Die Frühjahrsdurchmischung währte den gesamten März bis Anfang April. Eine solide, begehbare Winterdecke bildet sich zumeist nur im flachen Ostteil des Sees, das Westbecken friert, bedingt durch Windeinwirkung, nur kurzzeitig, in der Regel im Jänner oder Februar zu. In Wintern, in denen das große Becken eisfrei bleibt, zirkuliert der See während des ganzen Winters. Die Temperaturisoplethen der Jahre 1975 und 1976 zeigen, daß sich das Oberflächenwasser während der Sommermonate auf mehr als 24°C aufwärmt. Das Hypolimnion erreicht eine Temperatur von mehr als 5°C. Der Ossiacher See ist etwa von Mai bis November thermisch streng geschichtet. Das Epilimnion reicht bis rund 6 m, die Grenze zwischen Meta- und Hypolimnion liegt am Ende der Sommerschichtung bei 20 m.

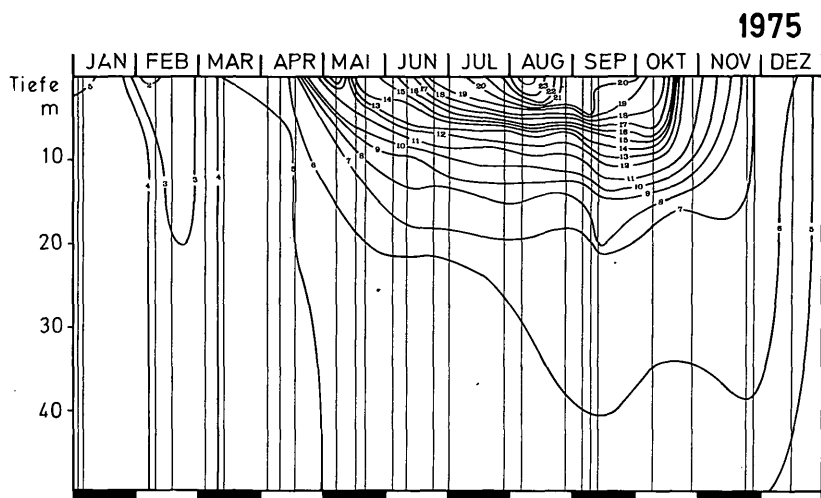


Abb. 2: Temperaturisoplethen im Ossiacher See, 1975, gemessen am tiefsten Punkt. Die senkrechten Linien bezeichnen die Tage der Messung.

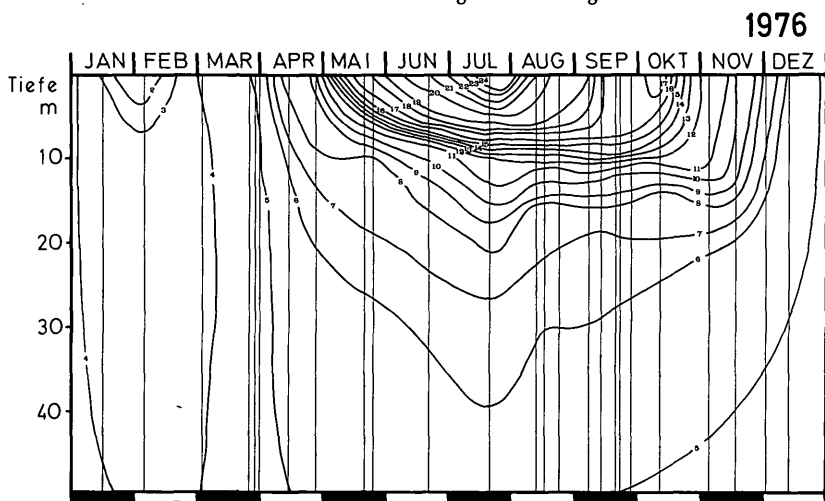


Abb. 3: Temperaturisoplethen im Ossiacher See, 1976, gemessen am tiefsten Punkt. Die senkrechten Linien bezeichnen die Tage der Messung.

3. SANIERUNGSMASSNAHMEN

Der Sanierung des Ossiacher Sees dienen zwei voneinander unabhängige Anlagen des Wasserverbandes Ossiacher See. Die Abwässer von Feldkirchen (mit ca. 7.800 Einwohnern die größte Stadt im Einzugsgebiet)

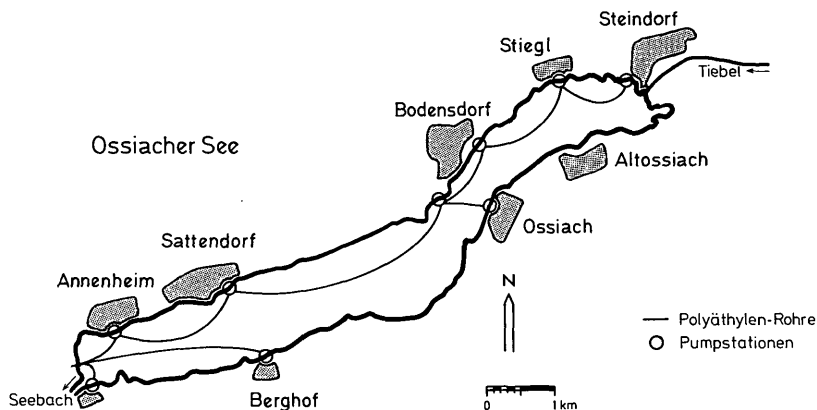


Abb. 4: Seedruckleitung am Ossiacher See (nach LENGYEL 1975, umgezeichnet).

werden in einer biologischen Kläranlage gereinigt und anschließend aus dem Einzugsgebiet des Ossiacher Sees in das Flußsystem der Glan gepumpt. Die Abwässer des Uferbereiches werden von neun Pumpstationen (sechs am Nordufer, drei am Südufer) gesammelt und durch Polyäthylen-Rohre, die am Seeboden verlegt wurden, zum Westufer des Sees transportiert (Abb. 4), von wo sie über einen Transportsammler zur Kläranlage von Villach geleitet werden (LENGYEL 1972, 1975; SAMPL 1972/73, 1975 a, 1976; THOMASER 1973 und im Druck).

Zu dieser technischen Lösung entschloß man sich, da am Ossiacher See auf Grund seines kritischen limnologischen Zustandes sehr rasch ein wirksamer Kanalstrang gebaut werden mußte und da verhältnismäßig lange Leitungen von den Verschmutzungsschwerpunkten Bodensdorf, Ossiach und Steindorf zum Westufer verlegt werden sollten. Im Herbst 1970 wurden in einer Bauzeit von etwas mehr als drei Monaten rund 15 km Kunststoffrohre in den See verlegt. Während des Winters 1970/71 wurden 4 Pumpwerke mit Ufersammlern errichtet (LENGYEL 1975). Seit Mai 1971 ist der größte Teil des Seeleitungs-Drucksystems in Betrieb und arbeitet seither problemlos.

4. ÄNDERUNGEN DES SAUERSTOFFGEHALTES UND DES GESAMTPHOSPHORINHALTES²⁾

4.1. Sauerstoff

Methodik: Maßanalytische Bestimmung nach WINKLER.

In Abbildung 5 ist die Sauerstoffverteilung im Ossiacher See im Jahr 1975 dargestellt. Sie zeigt die typischen Sauerstoffverhältnisse eines mäßig

²⁾ Wir danken Fräulein Krista KANZ herzlichst für die sorgfältige Durchführung der chemischen Analysen.

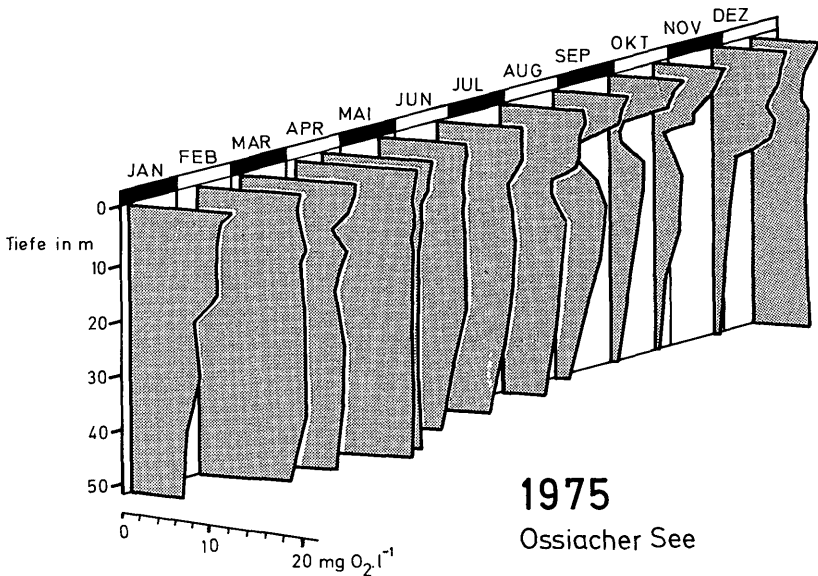


Abb. 5: Sauerstoffverteilung im Ossiacher See, gemessen an 13 Terminen des Jahres 1975.

eutrophen Sees: hohe Sauerstoffkonzentrationen im Epilimnion, die vom O_2 -Austausch mit der Atmosphäre und von der Phytoplanktonproduktion abhängen, und eine allmähliche Abnahme des O_2 -Gehaltes im Hypolimnion, die gegen Ende der Sommerstagnation immer deutlicher wird, hervorgerufen durch die Zehrung organischen Materials. Nach der Frühjahrsdurchmischung (10. April 1975) ist der Sauerstoffgehalt der gesamten Wassersäule bis zum Grund nahezu gleich, ca. $12 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$. Diese orthograde O_2 -Kurve wird durch Zehrungsvorgänge nach Absterben der ersten Algenpopulationen im April und Mai leicht klinograd. Ab Juli fällt schließlich ein heterograde Kurvenverlauf auf: im Bereich der Sprungschichte treten Störungen der Sauerstoffverteilung auf, die RUTTNER (1933) und FINDENEGG (1934) als metalimnische Sauerstoffminima bezeichneten.

Der Sauerstoffinhalt des Ossiacher Sees (Abb. 6) betrug zu Ende der Frühjahrsdurchmischung 1975 2710 t. Von diesem Zeitpunkt an fand eine starke O_2 -Zehrung im Hypolimnion statt (im Epilimnion änderte sich der O_2 -Inhalt nur wenig), die Zehrung betrug im Durchschnitt 10,3 % des ursprünglichen O_2 -Vorrates pro Monat. Am 29. September 1975 enthielt der Ossiacher See nur mehr 742 t molekular gelösten Sauerstoff, das sind nur 27,6 % des Sauerstoffinhaltes vom 10. April 1975. Ab Oktober stieg der O_2 -Vorrat des Sees wieder an, bedingt durch höhere Sauerstofflöslichkeit des abkühlenden Wassers und durch die einsetzende Durchmi-

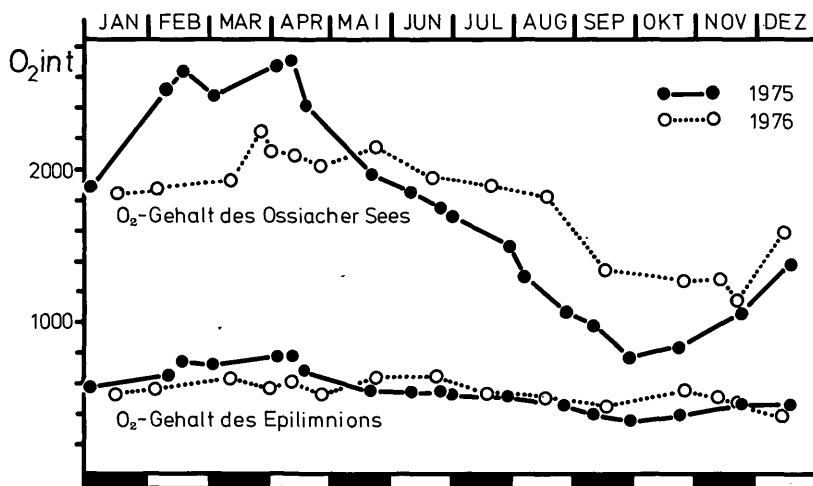


Abb. 6: Jahresgang der Sauerstoffinhalte im Ossiacher See in den Jahren 1975 und 1976.

schung. Die O_2 -Zehrung war 1975 aus folgenden beiden Gründen besonders hoch: im Frühjahr war die Algenproduktion extrem hoch (siehe 6.1.), gleichzeitig wurde im April mit den starken Hochwässern eine große Menge an organischen Stoffen in den See eingeschwemmt. Der Abbau dieser Substanzen führte zu einem starken O_2 -Verbrauch.

Anders sieht die Situation 1976 aus: auf Grund geringerer Windsummen während der Zirkulationsperiode im Frühjahr (siehe 2.2.) und der daraus resultierenden geringeren Austauschvorgänge mit der Atmosphäre erreichte der Wasserkörper nur eine Aufsättigung von 78 % (ca. $9,5 \text{ mg } O_2 \cdot l^{-1}$). Der Sauerstoffinhalt betrug am 31. März 1976 nur 2100 t (Abb. 6). In diesem Jahr war die Algenproduktion wesentlich geringer als im Vorjahr (siehe 6.1.), und es kam in der Folge zu einer Sauerstoffzehrung von durchschnittlich 6 % pro Monat. Vor Beginn der Herbstmischung waren noch 1150 t molekularer Sauerstoff gelöst, dies entspricht 52 % des Sauerstoffinhaltes vom 31. März 1976.

Unter Verwendung der Sauerstoffwerte von FINDENEGG (1932, 1934, 1937, 1941, 1955, 1959, 1967 und unveröffentlicht) lassen sich die gleichen Berechnungen mit einer Unterbrechung von 1932 an durchführen (Abb. 7). Die Werte der Sauerstoffzehrung am Ende der Sommerstagnation schwanken zwischen 45 und 72 % des maximalen O_2 -Inhaltes nach der Frühjahrsdurchmischung. Der geringe Wert von 45 % (1973) wird mit einer sehr kurzen Dauer der Sommerstagnation beziehungsweise mit frühem Einsetzen der herbstlichen Teilzirkulation erklärt. Der hohe Zehrungswert von 72 % (1975) dürfte, wie oben angeführt, auf die Einschwemmung großer Mengen organischer Substanzen durch das Frühjahrshochwasser zurückzuführen sein. Beim Vergleich der einzelnen

Jahre fällt auf, daß während der frühesten Untersuchungszeit von 1932 bis 1937 die Zehrung 46 bis 57 % des maximalen O_2 -Inhaltes im Frühjahr betrug. In der Zeit der zunehmenden Eutrophierung stieg der Zehrungswert auf 60 bis 69 % an. Nach der Inbetriebnahme der Seedruckleitung läßt sich trotz großer Schwankungen eine Abnahme der O_2 -Zehrungswerte ablesen. Es fällt auf, daß der See während der Frühjahrsdurchmischung unterschiedliche Mengen an Sauerstoff aufzunehmen vermag. Dies dürfte einerseits, wie für die Jahre 1975 und 1976 beschrieben, mit den Windverhältnissen zur Zeit der Zirkulationsperiode zusammenhängen, andererseits muß es aber von Bedeutung sein, mit welchem O_2 -Vorrat der See in den Winter geht. In Perioden mit hoher Sauerstoffzehrung ist der Sauerstoffinhalt, den der See nach der nächsten Frühjahrsdurchmischung erreicht, niedriger als in Perioden geringer Zehrung (Abb. 7).

Im Ossiacher See treten im Bereich der Sprungschichte (in 8 bis 12 m Tiefe) O_2 -Zehrungsvorgänge auf, während im darunterliegenden Wasserkörper wieder höhere Sauerstoffkonzentrationen zu finden sind (Abb. 5). Die niedrigsten Sauerstoffwerte im Metalimnion werden im September oder Oktober gemessen (Abb. 8). Während der ersten Untersuchungsjahre (1932 bis 1935) bewegten sie sich zwischen 0,5 und 1,31 mg $O_2 \cdot l^{-1}$. In der Zeit der zunehmenden Eutrophierung nahmen die gemessenen Werte deutlich ab, und 1970 konnte im Metalimnion kein molekular gelöster Sauerstoff festgestellt werden (26. September 1972, 12 m tief). Ab 1973 nahm die O_2 -Zehrung wieder ab, 1976 war das metalimnische Sauerstoffminimum nicht mehr deutlich ausgeprägt. Der geringste gemessene Wert dieses Jahres betrug 3,14 mg $O_2 \cdot l^{-1}$ (13. September 1976, in 10 m Tiefe).

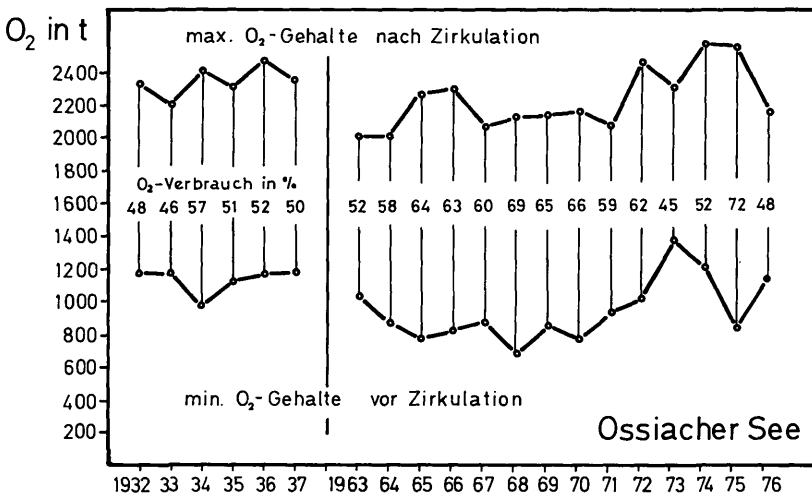


Abb. 7: Jährliche O_2 -Abnahme im Ossiacher See während der Sommerstagnation in den Jahren 1932 bis 1937 und 1963 bis 1976. Die Zahlenreihe in der Bildmitte gibt den O_2 -Verbrauch in Prozent des höchsten Frühjahrswertes an.

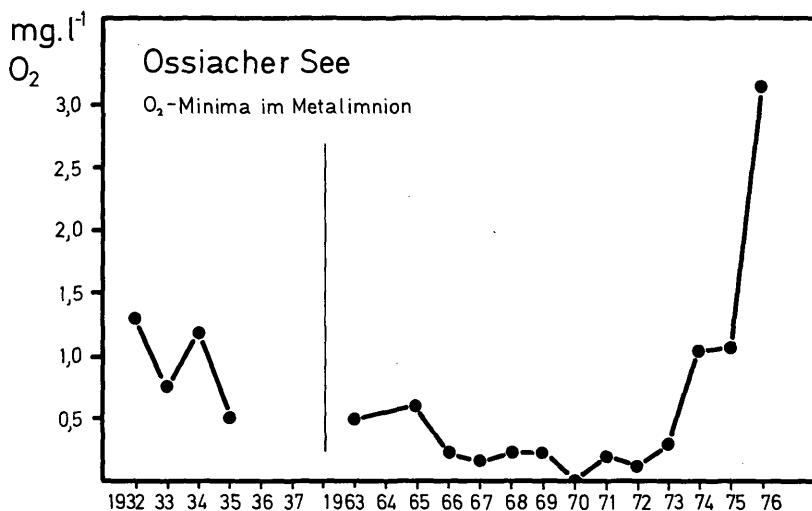


Abb. 8: Geringste gemessene Sauerstoffwerte im Metalimnion des Ossiacher Sees (8–12 m Tiefe) in den Jahren 1932 bis 1935 und 1963 bis 1976.

Diese Beobachtungen können als Hinweis gewertet werden, daß die metalimnischen Sauerstoffminima nur sekundär vom Temperaturgefälle innerhalb der Sprungschichte (RUTNER 1933) oder vom Verhältnis des Wasservolumens zur Schlamm-Kontaktfläche (ALSTERBERG 1927; BERGER 1971) abhängig ist, sondern primär von der Menge der zehrenden Substanzen. Es ist daher zu erwarten, daß bei weiterer Reoligotrophierung des Ossiacher Sees die O₂-Zehrung im Metalimnion weiter abnimmt oder gar nicht mehr nachzuweisen ist.

4.2. Gesamtphosphor

Methodik: Aufschluß und Phosphatanalyse nach SCHMID und AMBUHL (1965).

Seit 1972 werden die Gesamtphosphorkonzentrationen des Ossiacher Sees und seiner Zubringer gemessen. Ein zusammenfassender Bericht über die Untersuchungen der Nährstoffbelastung des Sees ist in Vorbereitung. In dieser Arbeit wird nur die Veränderung des P_{total}-Inhaltes des Wasserkörpers von 1972 bis 1976 behandelt.

Die im Ossiacher See gemessenen Gesamtphosphorkonzentrationen lagen zwischen 8 und 28 µg.l⁻¹, der Durchschnitt von 58 Untersuchungsreihen betrug 15,6 µg.l⁻¹. Die Tatsache, daß die Konzentration an gelöstem Orthophosphat-P in der euphotischen Zone stets unter 5 µg.l⁻¹, häufig aber unter der Nachweisbarkeitsgrenze (0,2 µg PO₄-P.l⁻¹) liegt, läßt darauf schließen, daß der Phosphor im Ossiacher See als Minimumstoff

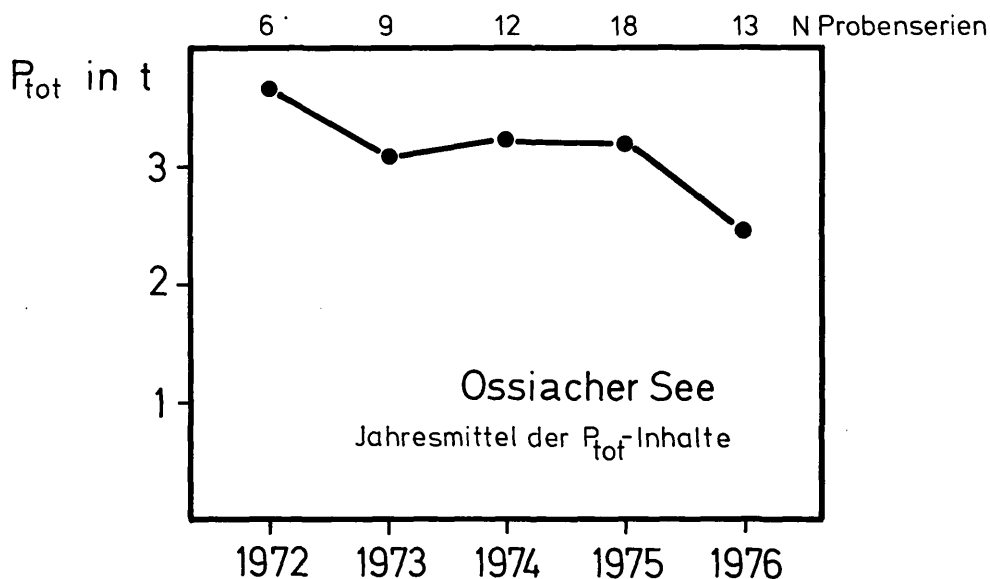


Abb. 9: Jahresmittel der Gesamtphosphorinhalte des Ossiacher Sees von 1972 bis 1976. Am oberen Bildrand ist die Zahl der über das Jahr verteilten Untersuchungsserien eingetragen.

anzusehen ist. In Abbildung 9 werden die Jahresmittelwerte der Gesamtphosphorinhalte der Jahre 1972 bis 1976 einander gegenübergestellt. Während der Ossiacher See 1972 einen Inhalt von durchschnittlich 3658 t P_{total} hatte, ging der Gesamt-P-Inhalt bis zum Jahr 1976 auf durchschnittlich 2476 t, d. h. um 32,3 % zurück.

5. ÄNDERUNG DER OPTISCHEN EIGENSCHAFTEN

5.1. Sichttiefe

Methode: Secchi-Scheibe (25 cm Durchmesser).

Die Sichttiefe variierte im Jahre 1974 zwischen 2,2 und 5 m (Mittel 3,5 m), 1975 zwischen 1,4 und 7,1 m (Mittel 4,1 m) und 1976 zwischen 4,2 und 9,5 m (Mittel 6,7 m) (Abb. 10). Die Verminderung der Sichttiefe im April 1975 (1,4 m) wurde durch ein Hochwasser hervorgerufen, das große Mengen mineralischer Trübstoffe in den See einschwemmte. Danach folgte bis zum 11. Juni 1975 eine deutliche Verbesserung der Sichttiefe (auf 5,6 m), deren genaue Ursache nicht untersucht wurde. Zum Teil könnte sie in der natürlichen Fällung von Algen und Nährstoffen durch die mineralischen Partikel liegen, da parallel mit dem Absinken der

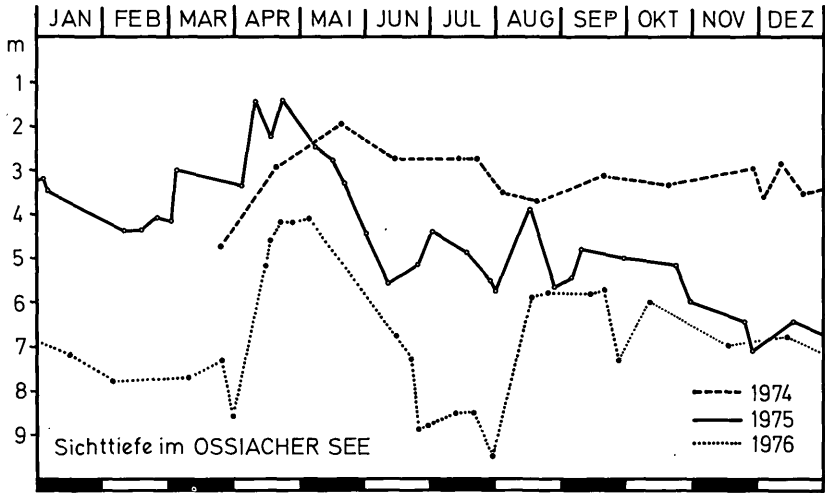


Abb. 10: Jahresgang der Sichttiefen im Ossiacher See in den Jahren 1974 bis 1976.

Trübstoffe Algenbiomasse und Nährstoffgehalt abnahmen. Von Mitte Juni 1975 bis März 1976 stieg die Sichttiefe kontinuierlich bis 8,5 m (31. März 1976) und wurde nur durch die Frühjahrs- und Sommerproduktion des Phytoplanktons (6.1.) im April und August 1975 vermindert.

Sichttiefemessungen mit der Secchi-Scheibe wurden seit 1931 von FINDENEKG (1932, 1934, 1941, 1958, 1959, 1962, 1963, 1964, 1965, 1972) durchgeführt. Diese Messungen wurden zum Teil nicht regelmäßig durchgeführt, doch bieten die Jahresmittel (in Verbindung mit den Minima und Maxima) ein anschauliches Bild der Veränderungen im Ossiacher See (Abb. 11). In den Jahren 1931 bis 1938 nahm die Sichttiefe

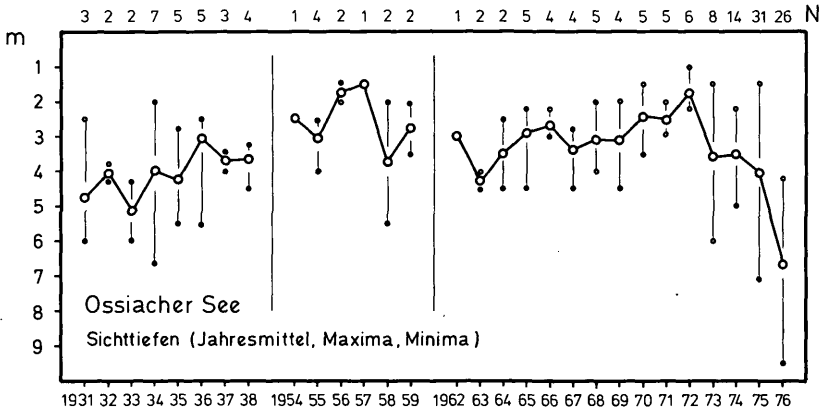


Abb. 11: Jahresmittel der Sichttiefen mit Secchi-Scheibe. Am oberen Abbinungsrand ist die Zahl der Messungen angeführt.

von durchschnittlich 5,2 m (1933) auf 3,7 m (1938) ab. Von 1954 bis 1959 waren die gemessenen Sichttiefen sehr gering, doch stehen aus dieser Zeit zu wenige Messungen zur Verfügung, um exakte Aussagen treffen zu können. Von 1962 bis 1972 gab es einen deutlichen Rückgang der Sichttiefen von 4,25 m (1963) auf durchschnittlich 1,7 m im Jahr 1972. Ab diesem Zeitpunkt verbesserte sich die Sichttiefe sehr schnell und erreichte 1976 einen durchschnittlichen Wert von 6,7 m. Der Abbildung 11 ist auch zu entnehmen, daß während der Zeit zunehmender Eutrophierung, also bei einem geringen Jahresdurchschnitt der Sichttiefe, die Minima und Maxima der gemessenen Werte sehr nahe beieinanderliegen (1972: 1–2,2 m). Bei hoher durchschnittlicher Sichttiefe streuen die Einzelmessungen viel stärker (1976: 4,2–9,5 m).

5.2. Spektrale Durchlässigkeit

Methodik: Unterwasserphotometer nach ECKEL (1935). Filter BG 12, VG 9 und RG 2 mit den Durchlässigkeitsschwerpunkten bei 435, 525 und 660 nm. Die Messungen wurden entsprechend den Empfehlungen von SAUBERER (1962) durchgeführt.

Messungen der spektralen Durchlässigkeit einer Wassersäule von einem Meter Dicke liegen im Ossiacher See seit 1935 vor (ECKEL 1935; SAUBERER 1945; FINDENEGG 1962, 1971). An dieser Stelle sollen Transmissionsmessungen, die seit 1960 mit ein und demselben Gerät durchgeführt wurden, miteinander verglichen werden.

Trotz der zunehmenden Eutrophierung traten in den Jahren 1960 bis 1971 nur relativ geringe Veränderungen auf (Abb. 12). Die geringste Transmission wurde 1965 und 1966 gemessen. Gegenüber 1960 war die Durchlässigkeit im blauen Bereich um 15 %, im grünen Bereich um 8 % und im roten Bereich um 7 % kleiner als 1960 (Tab. 2). Eine extrem geringe Transmission wurde 1972 gemessen, gegenüber 1960 haben die Blaudurchlässigkeit um 33 %, die Gründurchlässigkeit um 30 % und die Rotdurchlässigkeit um 27 % abgenommen (Tab. 2). Dieser optisch schlechte Zustand des Ossiacher Sees wird durch die „optische Kennzahl“ (SAUBERER und RUTTNER 1941) von 253 charakterisiert. In den Folgejahren verbesserten sich die optischen Eigenschaften auf Grund der fortschreitenden Reoligotrophierung. 1976 war die Blaudurchlässigkeit nur um 4 % geringer als 1960, die Transmission für Grün und Rot hatte sogar um 4 und 5 % zugenommen (Tab. 2).

Den Werten der Tabelle 2 ist zu entnehmen, daß sich die Transmissionswerte besonders in Perioden vermehrter Eutrophierung zuungunsten der Blaudurchlässigkeit des Ossiacher Sees verschoben haben. Trotz

deutlicher Verbesserung der Durchlässigkeit in den letzten Jahren ist dieser Verlust im blauen Spektralbereich weiterhin festzustellen.

Tab. 2: Veränderungen der spektralen Transmission im Ossiacher See gegenüber Werten des Jahres 1960 in Prozent der Oberflächenintensität

Jahr	435 nm (BG 12)	525 nm (VG 9)	660 nm (RG 2)
1959/60	54 %	76 %	57 %
1963	— 4	— 3	— 2
1964	— 1	0	0
1965	— 15	— 7	— 7
1966	— 13	— 8	— 7
1968	— 2	0	— 4
1969	+ 1	— 4	— 4
1970	— 9	— 5	— 6
1971	+ 2	+ 1	— 3
1972	— 33	— 30	— 27
1973	— 12	— 8	— 11
1974	— 10	— 5	— 6
1975	— 12	— 10	— 5
1976	— 4	+ 4	+ 5

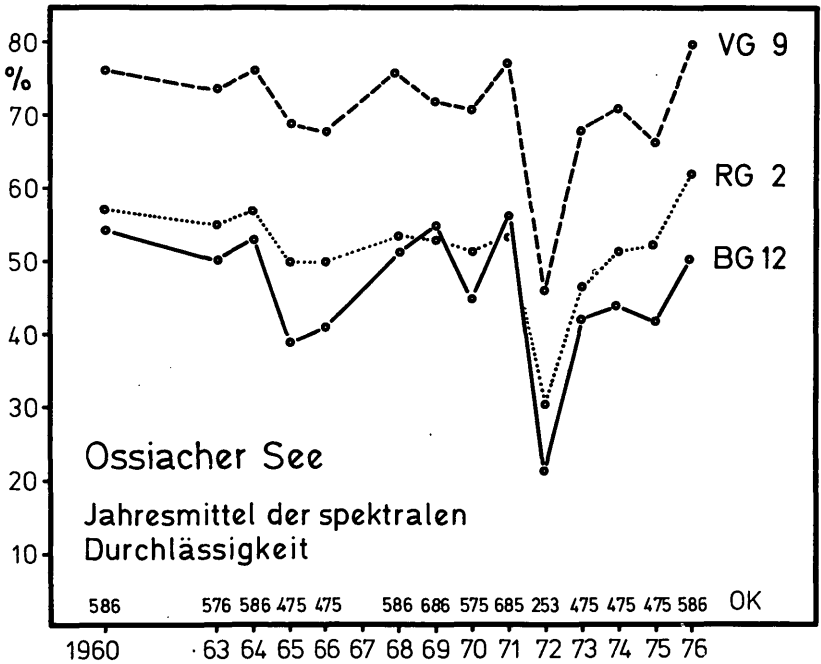


Abb. 12: Jahresmittel der spektralen Durchlässigkeit bei 435 nm (BG 12), 525 nm (VG 9) und 660 nm (RG 2). OK ist die „optische Kennzahl“ nach SAUBERER und RUTTNER (1941).

6. VERÄNDERUNGEN DES PHYTOPLANKTONS

6.1. Phytoplanktonbiomasse

Methode: nach UTERMÖHL (1958) modifiziert.

100 ml Schöpfproben aus 0, 1, 2, 3, 5, 8, 10, 12, 15 und 20 m Tiefe.

Fixierung mit LUGOL'scher Lösung.

Bestimmung der Zahl der lebenden Zellen mit Wild-Umkehrmikroskop.

Volumenbestimmung der Algenspezies nach vereinfachten geometrischen Formen und Umrechnung des Gesamt-Zellvolumens auf $\text{mg Frischgewicht} \cdot \text{m}^{-3}$.

Am Ossiacher See wurden seit 1958 von FINDENEGL (1958, 1959, 1964, 1965, 1967, 1971 a und b, 1972 und unveröffentlicht) Phytoplanktonbiomassebestimmungen durchgeführt, die Probenentnahmen erfolgten jeweils während der Frühjahrsproduktion und im Spätsommer. Seit 1974 liegen regelmäßige monatliche Untersuchungsergebnisse vor. Die Biomassewerte der seit 1958 ausgewerteten 84 Probenserien sind in Abbildung 13 dargestellt.

In den Jahren 1958 bis 1967 war die Algenbiomasse des Ossiacher Sees nur geringen Schwankungen unterworfen. Die Maximalwerte lagen in diesem Zeitraum unter $20 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$. Die sich bereits ab 1965 andeutende

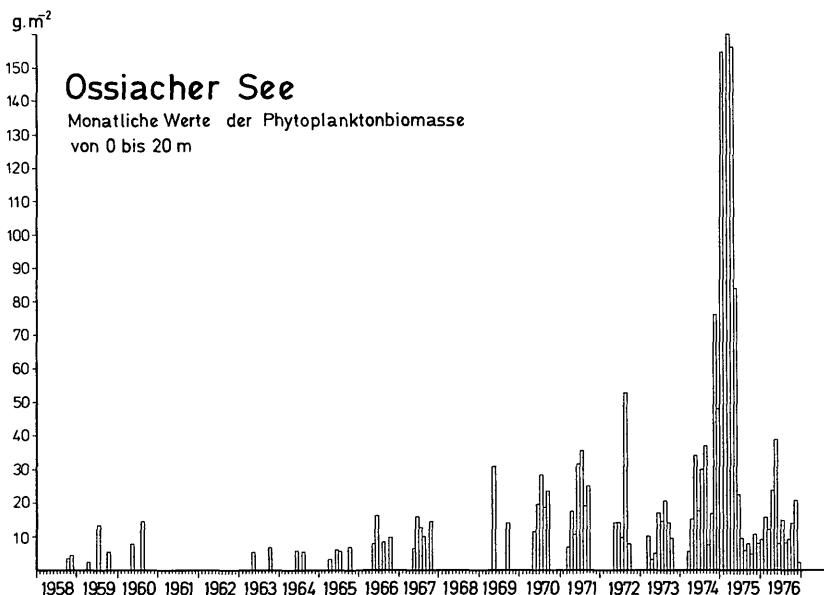


Abb. 13: Monatswerte der Phytoplanktonbiomasse des Ossiacher Sees in $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$, von 0–20 m Tiefe.

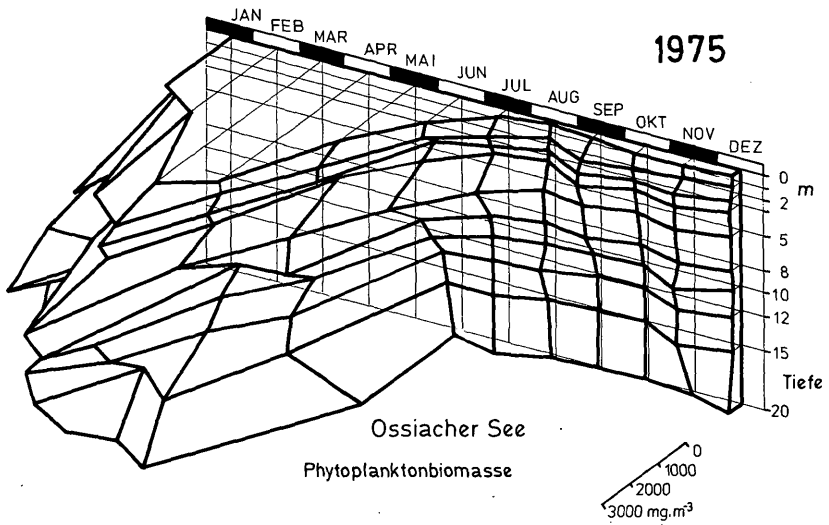


Abb. 14: Jahresgang der Vertikalverteilung der Phytoplanktonbiomasse im Ossiacher See ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$, 0–20 m Tiefe) 1975.

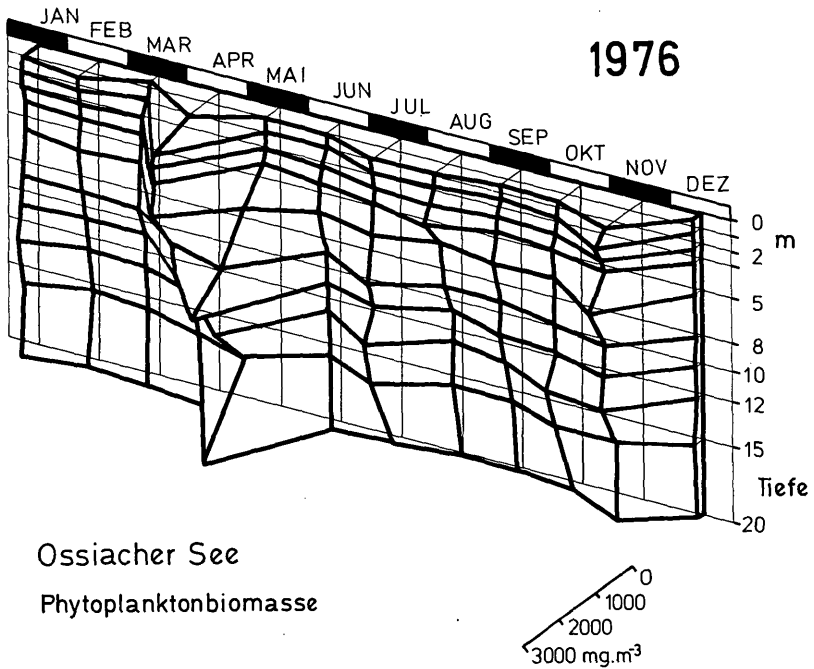


Abb. 15: Jahresgang der Vertikalverteilung der Phytoplanktonbiomasse im Ossiacher See ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$, 0–20 m Tiefe) 1976.

Zunahme der Algenbiomasse ist charakterisiert durch hohe, kurzzeitige Massenentwicklungen, insbesondere im Hochsommer. Der erste Höhepunkt der Biomassenzunahme trat 1972 im August in Form einer oberflächlichen Wasserblüte (*Microcystis Anabaena*) auf. Sie war von einer Schaumschicht von mehreren Dezimetern Höhe begleitet. Dem äußeren Bild der spektakulären Algenblüte im August 1972 gegenüber erscheint der zu diesem Zeitpunkt gemessene Biomassewert von 53.100 mg.m^{-2} , davon 8.300 mg in der Wasserschicht von 0 bis 1 m (28. August 1972) relativ gering. Es ist daher anzunehmen, daß das Massenauftreten der Cyanophyceen ausschließlich an der Wasseroberfläche stattfand und daher bei der Probenentnahme methodisch nicht erfaßt wurde (vergl. 6.2.). Im Jahr 1973 war die Algenbiomasse des Ossiacher Sees annähernd gleich groß wie 1972, es kam aber zu keiner Wiederholung der sommerlichen Wasserblüte mit Algentreiben. Die maximale Biomasse unter 1 m² betrug 20.579 mg (20. August 1973). Nach einer den Jahren 1972 und 1973 entsprechenden Algenentwicklung von Jänner bis Oktober 1974 kam es im November zu einer unerwartet starken Vermehrung der Algenbiomasse, die im März 1975 mit $166.400 \text{ mg.m}^{-2}$ ihren Höhepunkt erreichte (2. März 1975).

Im Winter 1974/75 kam es auf Grund der milden Witterungsbedingungen nicht zur Ausbildung einer geschlossenen Eisdecke. Die fehlende Winterdecke und stärkere Windeinwirkung (2.2.) führten zu einer intensiven Zirkulation des Wasserkörpers und damit zu günstigen Produktionsbedingungen: gute Licht- und Nährstoffversorgung der Algenzellen im gesamten Wasserkörper. Am 2. März 1975, zur Zeit des höchsten Algengehaltes, betrug das durchschnittliche Algenfrischgewicht pro m³ von 0 und 20 m 8.318 mg . In 20 m wurden noch 7.306 mg.m^{-3} Algenfrischgewicht gefunden (Abb. 14). Am 7. Mai 1975 betrug die Biomasse noch 84.099 mg.m^{-2} ($= 4.200 \text{ mg.m}^{-3}$), in der Folge kam es zu einem starken Rückgang des Phytoplanktons bis auf 4856 mg.m^{-2} ($= 240 \text{ mg.m}^{-3}$, 11. Oktober 1975). Es wird vermutet, daß diese Abnahme im Zusammenhang mit den Frühjahrshochwässern im April 1975 steht, wie es bereits im Kapitel 5.1. diskutiert wurde (vergl. auch FINDENEGG 1972). Das Jahr 1976 zeichnete sich durch niederen Algengehalt mit zwei Produktionsmaxima im Mai (24. Mai 1976: 39.196 mg.m^{-2}) und im November (17. November 1976: 21.169 mg.m^{-2}) aus (Abb. 13 und 15).

6.2. Veränderung des Artbestandes

Mit der Veränderung der Phytoplanktondichte konnte im Ossiacher See auch eine Änderung der Artenzusammensetzung beobachtet werden (Abb. 16). In der Zeit von 1959 bis 1967 dominierten im Frühjahr und Sommer Kieselalgen mit *Cyclotella*. Diese wurden im Frühjahr von den

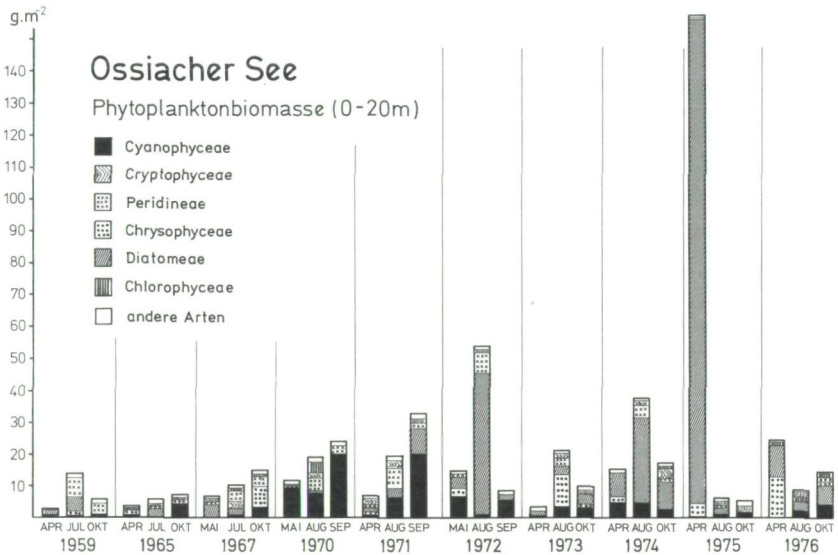


Abb. 16: Artenzusammensetzung des Phytoplanktons des Ossiacher Sees im Frühjahr, Sommer und Herbst, angegeben in g.m⁻² von 0-20 m Tiefe.

Chrysophyceen *Uroglena* und *Dinobryon*, im Sommer von Peridineen (hauptsächlich *Ceratium*) begleitet. Im Spätsommer traten Cryptophyceen (*Cryptomonas*) und an der Oberfläche Blaualgen (insbesondere *Anabaena*) hervor. 1967 wurde im Herbst eine starke Entwicklung von *Uroglena* und *Dinobryon* beobachtet.

Im Herbst 1968 kam es zum erstmaligen Auftreten der Blaualge *Oscillatoria* in nicht unbedeutenden Mengen. Diese Entwicklung hatte ihren Höhepunkt in den Jahren 1970 (Frühjahr und Sommer), 1971 (Herbst) und 1972 (Frühjahr). Seither ist *Oscillatoria* von geringer Bedeutung, ist aber in den untersuchten Proben immer vorhanden.

1972 und 1973 herrschten wieder Kieselalgen im Ossiacher See vor: im Frühjahr und Herbst wurden *Fragillaria*, im Sommer *Cyclotella* in großen Mengen beobachtet. Im Spätsommer 1972 kam es an der Oberfläche zu einer spektakulären Blaualgenblüte von *Microcystis* und von *Anabaena*, die aber in den Bestimmungen der Phytoplanktonbiomasse nicht zum Ausdruck kamen (6.1.).

Im Jahre 1973 wurde das Frühjahrsplankton wieder von Diatomeen (*Fragillaria* und *Cyclotella*) bestimmt, in den Sommermonaten begann, neben einer starken Chrysophyceenpopulation (*Synura*), ein Anstieg der Blaualgen, die bis in den Herbst hinein das Bild des Planktons beherrschten.

1974 trat *Tabellaria fenestrata* erstmals in großen Mengen im Plankton auf. Bereits im Frühjahr begann diese Art im Epilimnion zu dominie-

ren, und im Sommer betrug ihr Anteil an der Gesamtbiomasse 67 %. Im Winter 1974 und im Frühjahr 1975 kam es zu einer Massenentwicklung von *Tabellaria*, die mit einer Biomasse von mehr als $150.000 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-2}$ die größte jemals im Ossiacher See beobachtete Algenbiomasse bildete.

Die Ursachen für diese Massenentwicklung sind nicht bekannt, doch wurde sie sicher durch den Umstand begünstigt, daß die Produktionsbedingungen (Licht und Nährstoffversorgung) durch die fehlende Winterdecke des milden Winters 1975 und die damit verbundene intensivere Durchmischung verbessert wurden. Bei guter Nährstoffversorgung des gesamten Wasserkörpers konnten Algen während des Transportes durch die euphotische Zone gebildet werden. Mit dem Absinken der Trübstofffracht der Frühjahrshochwässer kam es zu einer schlagartigen Abnahme von *Tabellaria fenestrata*, die in der Folge nur mehr in unbedeutenden Mengen auftrat. Im Sommer und Herbst dieses Jahres bildeten *Cryptomonas* und *Rhodomonas* den größten Teil der Biomasse. Im Herbst 1975 waren die Diatomeen durch *Asterionella formosa* vertreten.

Das Frühjahrsplankton 1976 war durch das Auftreten von *Dinobryon* geprägt, daneben traten auch die Diatomeen *Tabellaria* und *Fragillaria* in kleineren Mengen auf. In den Sommermonaten beherrschten *Asterionella*, *Cryptomonas* sowie kleinere Cyanophyceen das Bild. Im Herbst kam es zu einer erneuten Vermehrung der Kieselalgen, insbesondere durch *Fragillaria crotonensis*. Als häufigste Begleitarten traten *Microcystis* und andere kleinere Cyanophyceen (*Chroococcus limneticus*, *Aphanocapsa*, *Coelosphaerium*) auf.

7. ZUSAMMENFASSUNG

Der Ossiacher See hat eine Periode intensiver Nährstoffbelastung hinter sich und zählte zu den am stärksten eutrophierten Kärntner Seen. Nach Inbetriebnahme einer zentralen Entsorgungsanlage im Jahre 1971 hat sich der limnologische Zustand des Sees bis 1976 sehr gebessert. Vom Ossiacher See liegen Meßdaten vor, die zum Teil bis zum Jahre 1931 zurückreichen.

Um die Verbesserung und Verschlechterung des Sees beurteilen zu können, wurden Parameter herausgesucht, die in der Zeit ihrer Untersuchung auf Grund gleicher Methoden guten Vergleichswert besitzen.

Folgende Parameter, soweit aus früherer Zeit vorhanden, wurden einander gegenübergestellt: Sauerstoffgehalt, Gesamtphosphorgehalt, Sichttiefe, spektrale Transmission, Phytoplanktonbiomasse und Änderungen der Artenzusammensetzung des Phytoplanktons.

Zur zusätzlichen Charakterisierung des Sees wurden Jahresgänge (1975 und 1976) des Windweges, der Wassertemperatur, des Sauerstoffgehaltes, der Sichttiefe und der Algenbiomasse (0–20 m Tiefe) den obgenannten Werten vorangestellt.

Ein sprunghafter Anstieg der Eutrophierung war ab dem Jahr 1965 zu verzeichnen. Die Folgen waren eine Vermehrung der Phytoplanktonbiomasse mit Algenblüten (Herbst 1966, 1970: *Anabaena planctonica*; Spätsommer 1972: *Microcystis*, *Anabaena* sp.).

Dadurch verschlechterten sich die optischen Eigenschaften: Abnahme der Sichttiefe (28. August 1972: 1 m) und der spektralen Durchlässigkeit und Verschiebung der Transmission zuungunsten der Blandurchlässigkeit (Tabelle 2). Bedingt durch die hohe Algenproduktion vergrößerte sich die hypolimnische Sauerstoffzehrung während der Sommerstagnation. Bei Vergleich der O_2 -Inhalte des Ossiacher Sees zeigt sich, daß dieser zu Zeiten großer Belastungen im Laufe der Frühjahrsdurchmischung geringere Sauerstoffmengen aufzunehmen in der Lage ist.

Auch die Sauerstoffkonzentrationen, die im Metalimnion gemessen wurden, haben sich mit zunehmender Seebelastung vermindert (26. September 1972: 0 mg $O_2 \cdot l^{-1}$ in 12 m Tiefe).

Zwei Jahre nach Inbetriebnahme der ersten Ausbaustufe der Seedruckleitung war eine Verbesserung der Seequalität zu beobachten. Der Phosphorinhalt ging von 1972 (3.658 t P_{total}) bis 1976 (2.476 t P_{total}) um 32 % zurück.

Die Algenbiomasse erlebte noch einen massiven Anstieg im Winter 1974/1975 (Maximum 2. März 1975: 166,4 g $\cdot m^{-2}$) durch ein Massenaufreten von *Tabellaria fenestrata*. In der Folge kam es zu einem starken Rückgang des Phytoplanktons, das auch mit dem Frühjahrshochwasser des Jahres 1975 in Verbindung gebracht wird (5.1.).

Die Sichttiefe stieg von durchschnittlich 1,7 m im Jahre 1972 auf 6,7 m im Jahre 1976, wobei maximale Sichttiefen von 9,5 m gemessen wurden. Trotz einer Erhöhung der Transmission im roten und grünen Bereich (bezogen auf Werte von 1960, Tabelle 2) ist weiterhin ein Verlust der Blandurchlässigkeit zu beobachten.

Abschließend soll bemerkt werden, daß die schnelle Verbesserung der Seequalität nicht ausschließlich auf das Sanierungsprogramm zurückzuführen ist, sondern, daß wahrscheinlich das Hochwasser 1975 den Reoligotrophierungsprozeß des Sees stark beeinflusst und beschleunigt hat. Es ist nun abzuwarten, auf welchen limnologischen Zustand der Ossiacher See zusteuern wird.

LITERATUR

- ALSTERBERG, G. (1927): Die Sauerstoffschichtung der Seen. – Botan. Notiser: 255–274.
 BERGER, F. (1971): Zur Morphometrie der Seebecken. – Carinthia II, Festschrift FINDENEGG: 29–39.
 ECKEL, O. (1935): Strahlungsuntersuchungen in einigen österreichischen Seen, II. – Sitzungsber. Akad. Wiss. Wien. Abt. II a, 144, 9/10: 667–687.
 FINDENEGG, I. (1932): Beobachtungen an Kärntner Seen. – Carinthia II, 121/122: 41–54.
 – (1934): Beiträge zur Kenntnis des Ossiacher Sees. – Carinthia II, 123/124: 1–16.

- (1937): Holomiktische und meromiktische Seen. – Int. Revue ges. Hydrobiol., 35:586–610.
- (1938): Sechs Jahre Temperaturlotungen in den Kärntner Seen. – Int. Revue ges. Hydrobiol., 37:364–384.
- (1941): Einige physikalische und chemische Beobachtungen an Kärntner Gewässern. – Carinthia II, 131:33–53.
- (1955): Die profundale Fauna der Kärntner Seen und ihr Verhältnis zu deren Trophiezustand. – Mem. Ist. Ital. Idrobiol., 8 Suppl.:121–140.
- (1959): Die Gewässer Österreichs. Ein limnologischer Überblick. – 14. Internat. Limnologenkongress in Österreich 1959, Biol. Stat. Lunz: pp.68.
- (1965): Factors controlling primary productivity, especially with regard to water replenishment, stratification and mixing. – Mem. Ist. Ital. Idrobiol., 18. Suppl.: 105–119.
- (1967): Die Verschmutzung österreichischer Alpenseen aus biologisch-chemischer Sicht. – Berichte zur Raumforschung und Planung, 11,4:3–12.
- (1971 a): Wie steht es um die Verschmutzung der Kärntner Seen? – Carinthia II, Festschrift KAHLER: 421–439.
- (1971 b): Unterschiedliche Formen der Eutrophierung von Ostalpenseen. – Schweiz. Z. Hydrol., 33,1:85–95.
- (1972): Die Auswirkungen der Eutrophierung einiger Ostalpenseen auf die Lichttransmission ihres Wassers. – Wetter und Leben, 24:110–118.
- HASSLER, J. (1921): Zahlentafeln: Das Wärme- und Eisbild der Kärntner Bade- und Eisport-Seen gegenüber dem kühlen und doch eislosen Traunsee und dem kalten und dennoch schwer gefrierenden Achensee (in Tirol). – Klagenfurter Zeitung, 1921:1–6.
- LENGYEL, W. (1972): Pumpwerke und Seeleitungen am Ossiacher See. – Ö.A.R., 5:1–4.
- (1975): Seeleitungssysteme mit Kunststoffrohren in österreichischen Seen. – Münchener Beiträge zur Abwasser-, Fischerei- und Flußbiologie, 26:143–153.
- RICHTER, E. (1892): Die Temperaturverhältnisse der Alpenseen. – Verh. d. 9. deutschen Geographentages in Wien, Berlin.
- (1897): Seestudien, Erl. Atlas d. österreichischen Alpenseen. – Geographische Abhandlungen, Herausgeber Prof. Dr. A. Penck, 6, 2.
- RUTTNER, F. (1833): Über metalimnische Sauerstoffminima. – Die Naturwissenschaften, 21/23:401–404.
- (1962): Grundriß der Limnologie. – Verlag Walter de Gruyter & Co., 3. Auflage: pp. 332.
- SAMPL, H. (1971 a): Untersuchungen des Phosphatgehaltes einiger Kärntner Seen. – Carinthia II, Festschrift FINDENEGG: 175–193.
- (1971 b): Änderung in der Zusammensetzung des Zooplanktons einiger Kärntner Seen. – Carinthia II, Festschrift KAHLER: 441–448.
- (1972): Die Nährstoff-Fracht der Zuflüsse und die Auswirkung der Drainwässer des Bleistätter Moores auf den Ossiacher See. – Kärntner Naturschutzblätter, 11:45–63.
- (1972/73): Maßnahmen zur Seesanie rung in Kärnten. – Wasser und Abwasser, 1972/73:141–162.
- (1974): Neue Wege zur Regenerierung der Kärntner Seen. – Verlag Landesmus: Kärnten, Festschrift F. KOSCHIER: 107–119.
- (1975): Maßnahmen zur Sanierung und Regenerierung der Kärntner Seen. – Natur und Land, 4:101–108.
- (1976): Auswirkung der Abwassersanierung auf den Trophiezustand von Kärntner Seen. – projekt life – 1000, September 1976, Salzburg: pp. 5.
- SAUBERER, F. (1945): Beiträge zur Kenntnis der optischen Eigenschaften der Kärntner Seen. – Arch. Hydrobiol., 41:259–314.
- (1962): Empfehlungen für die Durchführung von Strahlungsmessungen an und in Gewässern. – Mitt. internat. Verein. Limnol., 11:pp. 77.
- SAUBERER, F., und RUTTNER, F. (1941): Die Strahlungsverhältnisse der Binnengewässer. – Verlag Becker & Erler Komm.-Ges., Leipzig: pp. 240.

- SCHMID, M., und AMBÜHL, H. (1965): Die Bestimmung geringster Mengen von Gesamtphosphor im Wasser von Binnenseen. – Schweiz. Z. Hydrol., 27:172–183.
- SCHNABL, F. (1911): Die Thermik der Alpenseen. – Korneuburg.
- SCHULZ, N. (1975): Eine verbesserte Tiefenkarte des Ossiacher Sees (Kärnten, Österreich). – Carinthia II, 165/85:159–163.
- THOMAS, E. A. (1963): Experimentelle Untersuchungen über die Schlammabfuhr in unberührten und kulturbeeinflussten Seen der Schweiz. – Wasser und Abwasser, 1963:154–169.
- THOMASER, F. (1972): Ringkanalisationen, die Maßnahme zur Reinhaltung der Badeseen. – Kärntner Naturschutzblätter, 11:85–90.
- (1977): Reinhaltung der Kärntner Gewässer. – In Druck.
- (1977): Raum Klagenfurt – Villach – St. Veit: Großräumige Lösung der Abwasserbeseitigung. – In Druck.
- UTERMOHL, H. (1958): Zur Vervollkommen der quantitativen Phytoplankton-Methodik. – Mitt. d. Internat. Verein. f. Limnologie, 9:1–38.

Anschrift der Verfasser: Dr. Norbert SCHULZ und Dr. Liselotte SCHULZ, Kärntner Institut für Seenforschung, Flatschacher Straße 70, A-9020 Klagenfurt.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Carinthia II](#)

Jahr/Year: 1977

Band/Volume: [167_87](#)

Autor(en)/Author(s): Schulz Liselotte, Schulz Norbert

Artikel/Article: [Die limnologische Entwicklung des Ossiacher Sees \(Kärnten, Österreich\) seit 1931- Mit 16 Abbildungen 157-178](#)