

DAS LIMNISCHE ÖKOSYSTEM DES MILLSTÄTTER SEES IN KÄRNTEN IN DEN LETZTEN 40 JAHREN*

H. SAMPL

Abstract

Millstätter See (Carinthia, Austria; 13,25 km², $z = 140$ m, $\bar{z} = 89$ m; catchment area: 280 km²) was influenced by Mg-enriched waste water (high turbidity, high pH) and sewage. As the result of the high nutrient content, especially phosphorus, a slow, since 1968 a fast eutrophication process, with *Oscillatoria rubescens* blooming in 1972 and 1973 can be recorded. The algae biomass increased from 0,5 to more than 90 g/m² (0–20 m). This impact on the lake was stopped by installing a sewerage. At first it was followed by a decrease in the epilimnetic biomass, and in the last two years biomass was lower in the whole water column.

Wenngleich ein Zeitraum von 40 Jahren gemessen an dem Alter unserer Seen nur eine äußerst kurze Zeitspanne darstellt, so ist gerade dieser Zeitraum infolge der zivilisatorischen Eingriffe von besonderer Bedeutung. Der Millstätter See ist gerade in den letzten Jahren zu einem Zentrum des Sommertourismus geworden, in seinem Einzugsgebiet haben sich aber auch Wintersportorte entwickelt.

Der Millstätter See ist mit einer Oberfläche von 13,25 km² der flächenmäßig zweitgrößte See Kärntens, hinsichtlich seines Wasservolumens infolge seiner großen Tiefe von 140 m der wasserreichste See des Landes. Die mittlere Tiefe beträgt 89 m, seine Seehöhe 580 m. Das Einzugsgebiet ist 280 km² groß und entspricht etwa dem 21-fachen der Seefläche. Der Hauptzufluß, der sogenannte Riegerbach, entwässert das östlich des Sees gelegene Einzugsgebiet und die hier gelegene Stadt Radenthein mit einer Einwohnerzahl von 7.336 (1973) und einer magnesitverarbeitenden Industrie.

Die Untersuchungen dieses Sees umfassen nun bereits einen Zeitraum von mehr als 4 Jahrzehnten, wobei insbesondere FINDENEGG seit 1931 den See studiert hat.** (FINDENEGG 1963, 1971, 1972, 1973).

Seit dem Jahre 1968 wurde dieser See im Rahmen des Internationalen Biologischen Programmes, vor allem hinsichtlich seiner Produktion untersucht, seit dem Jahre 1974 ist der Millstätter See Studienobjekt im Rahmen des Programmes Man and Biosphere, wobei die Beeinträchtigung dieses Sees durch die zivilisatorischen Aktivitäten erfaßt werden soll.

Der Millstätter See wurde insbesondere von drei Arten belastender Stoffe beeinträchtigt: Industrieabwässer mit einem hohen pH-Wert aus der Naßentstaubungsanlage des Magnesitwerkes, 2. mit Wässern mit einem extrem hohen Gehalt an Trübungsstoffen und 3. durch eutrophierende Substanzen aus Wohnsiedlungen und

* Herrn Univ. Prof. Dr. ERICH REISINGER (Graz) zum 75. Geburtstag gewidmet.

** Für die Überlassung der Originalaufzeichnungen bin ich der Witwe des verstorbenen Herrn Prof. Dr. INGO FINDENEGG, Frau ELSE FINDENEGG zu herzlichem Dank verpflichtet.

Tourismus. Infolge der Vielfalt und der nicht immer durchschaubaren Zusammenhänge hinsichtlich seiner Belastung rückte der Millstätter See alsbald in das Blickfeld der Öffentlichkeit, aber auch die Wissenschaft wandte sich schon frühzeitig diesem See zu. Kein anderer See ist jedoch so unterschiedlich beurteilt worden wie dieser. Waren es in den Jahren seit 1960 seit Errichtung des Magnesitwerkes insbesondere fischereiliche Belange, die zu den verschiedenen Untersuchungen und Gutachten Anlaß gaben, so waren es 1972 und 1973 insbesondere die spektakulären Massenauftritte der Burgunderblutalge *Oscillatoria rubescens*. Bereits im Jahre 1927 untersuchten RUTTNER & NERESHEIMER (1929) den Millstätter See und kamen zum Schluß, daß der damals beobachtete Rückgang der Fischereieerträge, insbesondere der Seeforelle, seine Ursache im Rückgang der planktischen Primärproduktion hat. Unter dem Eindruck dieses Gutachtens stellte das Werk die Naßentstaubungsanlagen auf Trockenentstaubung im Jahre 1929 um. Dies hatte auch einen Rückgang des hohen pH-Wertes im See zur Folge. Die stark trübenden schwebstoffführenden Abwässer aus der Gesteinswäscherei strömten weiterhin zu, wobei insbesondere Rohmagnesit, Talg und Glimmer in Form von feinstem Schlamm in immer größer werdenden Mengen anfielen (1955 etwa 30.000 T, FINDENEGG 1963). Ohne auf die schädigende Wirkung dieses Schlammes auf den Vorfluter näher einzugehen wird festgehalten, daß im Jahre 1952 eine abermalige Umstellung auf Naßentstaubung erfolgte, was ein abermaliges Ansteigen des pH-Wertes im See und naturgemäß auch im Zufluß zur Folge hatte. Erst im Jahre 1974 wurde abermals auf Trockenentstaubung umgestellt, was einen raschen Rückgang des pH-Wertes im Zufluß, einen etwas langsameren im See zur Folge hatte (Abb. 1, b).

Auch die Trübungsstoffe wurden seit dem Jahre 1961 in Absetzteichen mit gutem Erfolg zurückgehalten. Die getrüben Wässer haben sich vor Errichtung der Absetzbecken entsprechend ihrem spezifischen Gewicht zumeist im Metalimnion eingeschiedet und waren während des Sommers nahezu im gesamten See nachweisbar (MAHRINGER 1963). Wenn von RUTTNER & NERESHEIMER und z.T. auch noch von späteren Begutachtern eine algenproduktionshemmende Wirkung der Industrieabwässer angenommen wird, so dürfte dies nicht so sehr in der Alkalisierung, sondern vielmehr in der Zufuhr von feinsten Gesteinspartikeln zu suchen sein. Von anderen Seen, so z.B. dem Faaker See in Kärnten ist bekannt, daß die im Frühjahr in großer Menge eingeschwemmte mineralische Trübe eine sedimentierende Wirkung auf das Algenplankton ausübt. Ob jedoch diese beiden Arten der Beeinträchtigung einen wesentlichen Einfluß auf die Algenproduktion des Millstätter Sees gehabt haben, ist natürlich nachträglich sehr schwer zu eruieren. Der Verfasser neigt aber eher zur Auffassung, daß diese Wässer keinen sonderlichen Einfluß gehabt haben, da die Eutrophierung in anderen Seen ohne Beeinflussung durch derartige Wässer in durchaus ähnlicher Weise vor sich gegangen ist.

Das Verhalten der Planktonkrebse läßt am ehesten eine Beziehung zur Alkalisierung bzw. Trübstoffzufuhr vermuten. So tritt beispielsweise *Bythotrephes* bis etwa 1950 auf, verschwindet dann und wurde nachher in wenigen Exemplaren nur mehr 1961 beobachtet. Ein ähnlich unregelmäßiges Auftreten weist *Daphnia longispina*, *D. pulex* und *D. cucullata* auf. *Bosmina* war um das Jahr 1935 vorhanden, ist dann völlig aus dem Plankton verschwunden und ist erstmals wieder 1967 im Millstätter See aufgetreten. („o“ in der Abb. 1 bedeutet sicheres Fehlen). Ein Aspekt scheint von den früheren Begutachtern (RUTTNER & NERESHEIMER 1929, WEBER 1958, LOUB 1968) viel zu wenig berücksichtigt worden zu sein, nämlich die

Zufuhr düngender Abwässer aus Wohnsiedlungen und Fremdenverkehr.

Parallel mit dem Ansteigen des Tourismus im Gebiet des Millstätter Sees seit dem Jahre 1955 geht eine zuerst unmerkliche, seit dem Jahre 1965 eine erkennbare und in den folgenden Jahren eine starke Zunahme des planktischen Algengehaltes Hand in Hand (Abb 1 c). Aber nicht nur der erhöhte Abwasseranfall aus der Fremdenbeherbergung brachte ein Ansteigen der Nährstoffbelastung, sondern auch die Erhöhung des Lebensstandards mit der Verwendung der verschiedenen Wasch- und

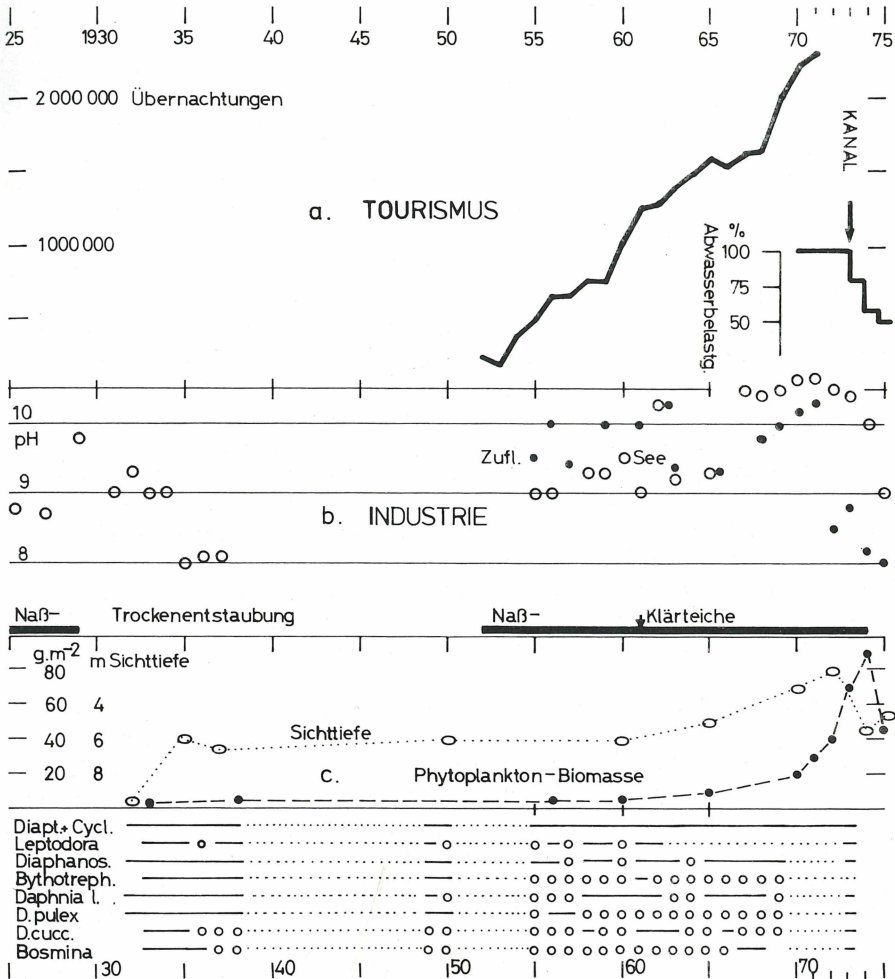


Abb. 1. a) Die Zunahme des Tourismus im Einzugsgebiet des Millstätter Sees in den letzten zwanzig Jahren. Rückgang der prozentuellen Abwasserbelastung seit 1973. b) Die Veränderungen des pH-Wertes seit dem Jahre 1925 (● Zufluß, ○ See). c) Veränderungen der maximalen Phytoplankton-Biomasse, der mittleren Sichttiefe und des Zooplankton-Artenspektrums seit 1932 (○ sicheres Fehlen, — Vorkommen nachgewiesen, ... keine Untersuchungen). Daten vor 1966 aus FINDENEKG 1963, 1971, 1972, 1973.

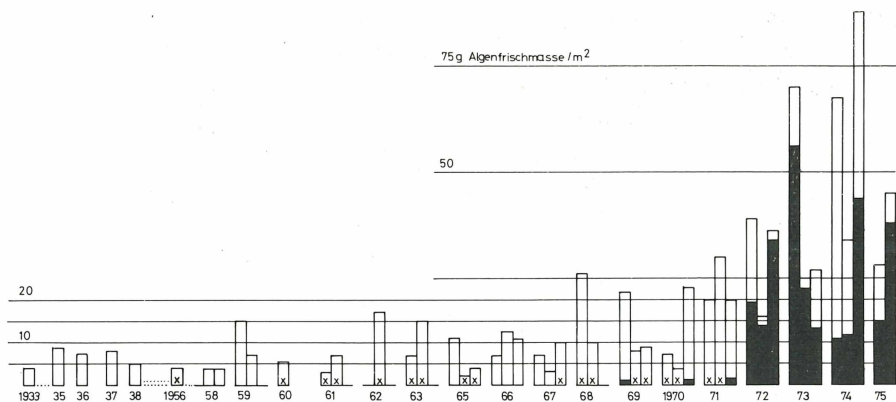


Abb. 2. Die Veränderung der Algenbiomasse unter 1 m^2 in einer Wassersäule von 0–20 m seit 1933 (x und schwarze Säulenanteile = *Oscillatoria rubescens*, linke Säule Frühjahrsmaximum, mittlere Spätsommer, rechte Herbstmaximum).

Putzmittel (Detergentien). Gleichlaufend mit dieser Zunahme der Algenmasse nimmt die Sichttiefe entsprechend ab. Betrug die durchschnittliche Sichttiefe in den Jahrzehnten bis 1960 etwa 6 m, so nahm sie seit dieser Zeit bis zum vermutlichen Höhepunkt der Eutrophierung im Jahre 1972 stetig ab und erreichte einen durchschnittlichen Wert von 2 m (mit Minimalwerten von 0,9 m). Seit dem Jahre 1933 betrug die Algenmenge unter einem Quadratmeter (Abb 2) bis zum Jahre 1961 stets etwa 5 g Frischgewicht. Ab diesem Zeitpunkt treten erstmals Algenmengen über 10 bzw. 15 g/m^2 auf. Dieser Zustand dauert bis zum Jahre 1968, in dem erstmals Mengen über 20 bzw. 25 g/m^2 auftreten. Ab dem Jahre 1972 beginnt die Algenproduktion schlagartig anzusteigen, wobei insbesondere die Burgunderblutalge *Oscillatoria* einen wesentlichen Anteil an der Algenmenge pro Flächeneinheit aufweist. Der Rückgang im Jahre 1975 läßt sich sehr wohl als Erfolg der schon weit fortgeschrittenen Kanalisation im Einzugsbereich des Millstätter Sees werten.

Verfolgt man das Auftreten von *Oscillatoria*, so ist diese Art in geringen Spuren seit dem Jahre 1956, also dem Beginn des stärkeren Tourismus, im Millstätter See vorhanden. Sie verschwindet dann gelegentlich und tritt zum ersten Mal im Jahre 1965 in größerer Menge in Erscheinung, insbesondere vor allem im Epilimnion. In den folgenden Jahren ist *Oscillatoria* ein regelmäßiger Bestandteil des Planktons. Im Jahre 1972 ändert sich das Bild schlagartig, da nun diese Algenart zu einem dominierenden Bestandteil des pflanzlichen Planktons wird. 1973 nimmt *Oscillatoria* zwar im Frühjahrsplankton noch erheblich zu und wird dann weniger. Ein gewisser Rückgang von *Oscillatoria* ist auch im Jahre 1974 zu beobachten und ebenso 1975, wobei sich die eben dargestellten Verhältnisse auf die Algenmengen unter einem m^2 Seefläche beziehen.

Sehr aufschlußreich ist die Entwicklung des epilimnischen Algenplanktons (Abb 3). Dies ist umsomehr von Interesse, weil die Algenmengen und das Artenspektrum der „Badeschicht“ für den Tourismus von größter Bedeutung ist. Die epilimnischen Algenmengen (im Durchschnitt des Epilimnions / m^3) liegen bis zum

Jahre 1961 etwa zwischen 0,2 und 0,6 g/m³. Das Artenspektrum umfaßt in diesem Zeitraum vor allem die Gattungen *Cyclotella*, *Gomphosphaeria* und *Ceratium*. Die beiden Kieselalgenarten *Synedra* und *Fragillaria* treten nur sporadisch auf. Ab dem Jahre 1962 ist eine Erhöhung auf etwa das Doppelte festzustellen, wobei insbesondere die Kieselalgen und verschiedene Grünalgen sowie *Ceratium* an Menge zunehmen. 1965 tritt zum ersten Mal, wie bereits erwähnt, *Oscillatoria* im Epilimnion des Sees auf, ohne jedoch besonders aufzufallen. 1966 ist ein völliges Verschwinden dieser Art bei gleichzeitiger Zunahme der Grünalgen erkennbar. 1967 treten erstmals die Grünalgen mit einer relativ hohen Biomasse als dominante Formen in Erscheinung, wobei besonders die Art *Oocystis* vorherrscht. 1968 und 1969 zeigt sich ein gewisse Anteil an Grünalgen, aber auch an Cyanophyceen, besonders *Anabaena* mit einer leichten Wasserblüte. 1970 ändert sich das Bild schlagartig, die epilimnische Algenmasse schnell um das Doppelte auf nahezu 2,2 g/m³ in die Höhe. Als fast ausschließlich vorhandene Form ist *Oocystis* zu beobachten. Im Jahre 1971 bleibt die Biomasse etwa auf gleicher Höhe, *Oocystis* nimmt jedoch zugunsten einiger anderer Arten ab. Im Jahre 1972 abermals ein völlig anderer Aspekt, da in diesem Jahr zum ersten Mal in äußerst spektakulärer Form die Burgrunderblutalge *Oscillatoria rubescens* zur vorherrschenden Form wird und nicht nur eine große Biomasse aufweist, sondern auch in Form von Flöckchen und größeren Ansammlungen das gesamte Epilimnion durchsetzt. Im darauffolgenden Jahr sinkt die epilimnische Algenmasse stark ab, *Oscillatoria* verbleibt jedoch als dominante Art im Epilimnion. Wie aus der Abbildung 2 zu entnehmen ist, steigt zwar die *Oscillatoria*-Masse / m² 1973 noch an, *Oscillatoria* zieht sich jedoch aus dem Epilimnion ins Metalimnion zurück (Abb. 3). 1974 war im Epilimnion des Sees überhaupt keine *Oscillatoria* anzutreffen. Es zeigte sich ein Artenspektrum mit *Ceratium* und *Cyclotella*. Auch der Rückgang der epilimnischen Algenmasse ist als Erfolg der Kanalisation zu werten und es scheint, als ob sich der Oligotrophierungsprozeß in gleicher Weise abspielt wie der Eutrophierungsprozeß. Das Planktonspektrum der

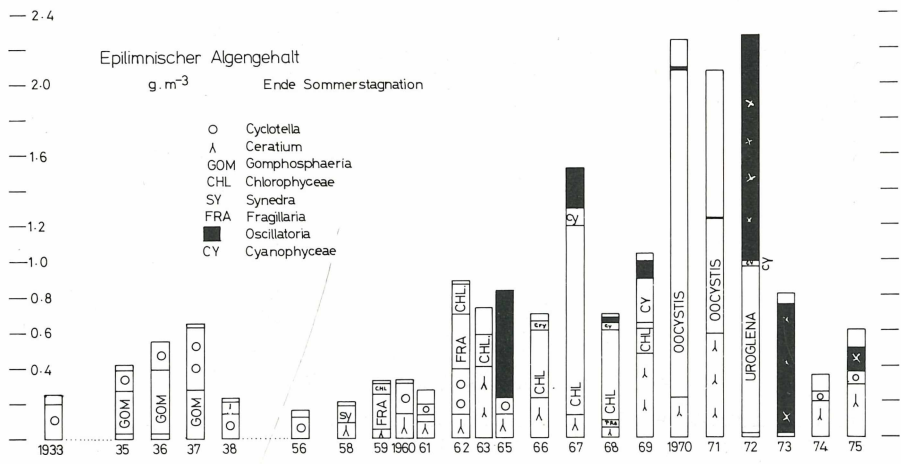


Abb. 3. Die durchschnittliche epilimnische Algenbiomasse (Frischgewicht/m³), X innerhalb der schwarzen Säulen deuten an, daß *Oscillatoria* in Flöckchen zusammengeballt war.

Jahre 1974 und 1975 deutet jedoch darauf hin. Einen leichten Rückschlag im Zurückgehen der epilimnischen Algenmasse mußte man insofern verzeichnen, als daß nach Katastrophenhochwässern im ersten Halbjahr 1975 ein neuerliches Auftreiben von *Oscillatoria* zu beobachten war.

In Abb. 4 ist die maximale (während eines Jahres festgestellte) Algenmasse pro m^2 in der Wassersäule von 0–20 m und die im Spätsommer bestimmte Algenmenge unter 1 m^2 des Epilimnions (0–6 m) dargestellt. Daraus ist ersichtlich, daß durch die Sanierungsmaßnahmen zuerst (1973) die Algenmasse des Epilimnions absinkt, während die Gesamtmenge noch weiter ansteigt, die Algen ziehen sich also vorerst ins Metalimnion zurück, erst 2 Jahre später (1975) kam es auch zu einem merklichen Absinken der gesamten Algenmenge.

An der Entwicklung des Phytoplanktons ist der Phosphor als der das Wachstum regulierende Minimumstoff maßgeblich beteiligt. Für den Millstätter See können wir mit größter Sicherheit den Phosphor als Minimumfaktor anführen. Zu diesem Zweck wäre es naturgemäß notwendig, parallel zum Phytoplankton auch Angaben über Phosphorzufuhr und Phosphorkonzentrationen im See machen zu können. Nun liegen verlässliche Phosphatanalysen leider erst aus den letzten Jahren vom Millstätter See vor, während aus früheren Jahren infolge der Schwierigkeiten der Phosphatanalytik kaum verlässliche Daten greifbar sind. Dieser Mangel ist insofern nicht

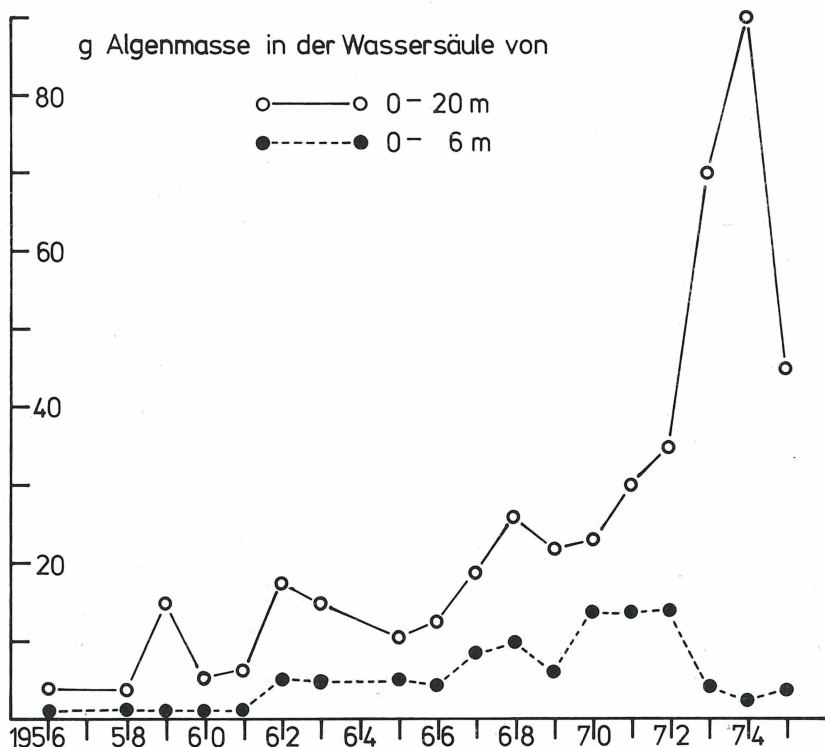


Abb. 4. Die Zu- bzw. Abnahme der Algenmasse unter 1 m^2 der Wassersäule von 0–20 m und der Algenmasse unter 1 m^2 des Epilimnions (0–6 m).

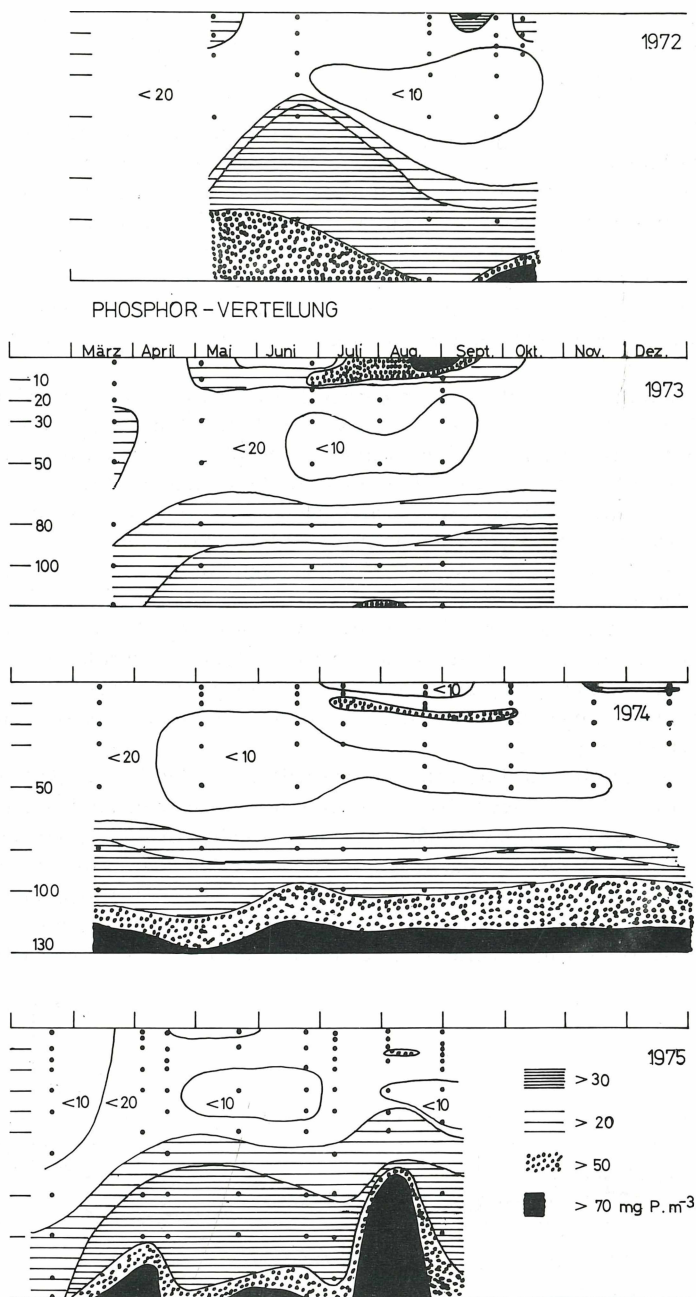


Abb. 5. Die Verteilung des Phosphors als P_{total} in den Jahren 1972 bis 1975.

so gravierend, als daß, wie wir bereits gesehen haben, auch hinsichtlich der Phytoplanktonentwicklung in früheren Jahren keine Exzesse zu beobachten waren. Genaue Untersuchungen in dieser Beziehung liegen erst in lückenloser Reihenfolge seit dem Jahre 1972 vor, die in Abb. 5 dargestellt sind. Im Millstätter See als meromiktischem See ist in der Tiefe unterhalb von 50 m eine zunehmende Phosphorkonzentration vorhanden. Unter 100 m Tiefe häufig über 50 bzw. 70 mg P/m³. Hingegen ist der von den jährlichen Zirkulationsströmungen erfaßte Bereich zumeist relativ phosphorarm. Lediglich zu Zeiten, in denen die bereits geschilderten Massentwicklungen von Algen aufgetreten sind, lassen sich auch erhöhte Phosphorkonzentrationen nachweisen. Ein etwas gestörtes Bild zeigen die Verhältnisse des Jahres 1975, wo nach den Hochwässern Nährstoffe selbst aus dem Monimolimnion „hochgespült“ wurden, was zum abermaligen Auftreiben von *Oscillatoria* an die Oberfläche geführt hat.

Untersuchungen der Nährstoff-Fracht (Abb. 6) der Zuflüsse liegen leider erst seit dem Jahre 1973 in lückenloser Reihe vor. In diesem Jahr, noch vor funktions-tüchtigem Ausbau der Kanalisation, betrug die Phosphor-Fracht des Hauptzuflusses 12,3 t P. Mit dem schrittweisen Ausbau sank die Jahresfracht im Jahre 1974 auf 6,9 t ab. In den ersten Monaten 1975 läßt sich die weitere Abnahme des Zustromes verfolgen, bis im Frühjahr plötzlich im Zusammenhang mit Katastrophenhochwässern und Erdmuren große Mengen an düngenden Substanzen in den See gelangt sind. (Bis August 1975 17 Tonnen)

Durch den Ausbau der Kanalisation, der seit dem Jahre 1972 im Gange ist, ist es gelungen, das limnische Ökosystem wieder einem Zustand zuzuführen, der vor der starken Belastung mit eutrophierenden Substanzen vorhanden war. Allerdings haben die meteorologischen Verhältnisse des Jahres 1975 diesen Reoligotrophierungsprozeß etwas gestört.

Daß selbst eine Wasserblüte von dem Ausmaß wie sie 1972 und 1973 zu beobachten war, für den See selbst von Vorteil war, zeigt folgende Beobachtung:

Durch das Auftreiben von *Oscillatoria* mit sämtlichen in ihren Zellen gebundenen Nährestoffen an die Oberfläche wurde ein hoher Anteil an Nährstoffen über den Abfluß ausgeschwemmt. Dieses Algenaufstreuen ist ein „Selbstreinigungsprozeß“, wobei festzuhalten ist, daß bei normalen Verhältnissen über den Abfluß nur relativ nährstoffarmes Wasser den See verläßt. Im Jahre 1973 beispielsweise

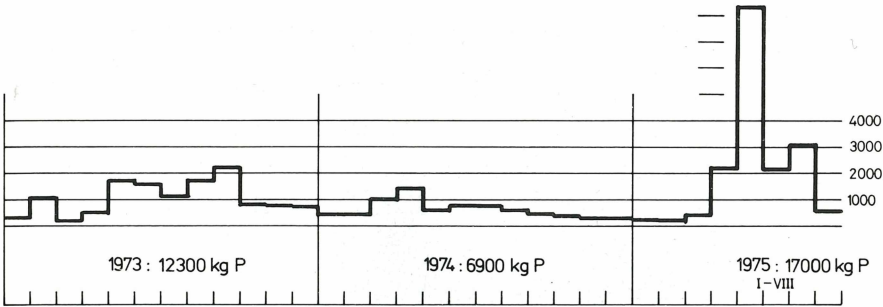


Abb. 6. Die monatlichen P_{total}-Frachten des Hauptzuflusses in den Jahren 1973, 74, 75. Der starke Anstieg im Frühjahr 1975 wird durch Katastrophenhochwässer und Erdmuren hervorgerufen.

haben von den 9 t Phosphor, die insgesamt abgeflossen sind, 7 t während der Wasserblüte im Sommer den See über den Abfluß verlassen, der während vieler Wochen rostrot gefärbt war.

Abschließend sei festgehalten, daß es durch die technischen Sanierungsmaßnahmen gelungen ist, den Eutrophierungsprozeß aufzuhalten und den See wieder seinem natürlichen Zustand näher zu bringen.

LITERATUR

- FINDENEGG, I. (1963): Limnologische und fischereibiologische Untersuchungen an einem durch Abwasser alkalisierten Alpensee, dem Millstätter See in Kärnten. *Z. Fischerei u. d. Hilfsw.* 11: 115–127.
- FINDENEGG, I. (1971): Wie steht es um die Verschmutzung der Kärntner Seen? Carinthia II Sonderheft 28 (Festschrift KAHLER): 421–439.
- FINDENEGG, I. (1972): Die Auswirkungen der Eutrophierung einiger Ostalpenseen auf die Lichttransmission ihres Wassers. *Wetter und Leben* 24: 110–118.
- FINDENEGG, I. (1973): Vorkommen und biologisches Verhalten der Blaualge *Oscillatoria rubescens* DC. in den österreichischen Alpenseen. Carinthia II 163./83: 317–330.
- LOUB, W. (1967): Die Seegrunduntersuchungen am Millstätter See 1967. *Ktn. Naturschutzblätter* 7: 44–48.
- MAHRINGER, W. (1963): Einschichtung und Verteilung des zufließenden Wassers im Millstätter See. *Arch. Hydrobiol.* 59: 272–280.
- NERESHEIMER, E. & F. RUTTNER (1928): Der Einfluß der Abwässer des Magnesitwerkes in Radenthein auf den Chemismus, die Biologie und die Fischerei des Millstätter Sees in Kärnten. *Z. Fischerei* 27: 47–66.
- WEBER, E. (1958): Limnologische Untersuchungen im östlichen Teil des Millstätter Sees. Wasser und Abwasser, 1958: 102–124.

Anschrift des Verfassers:

Dr. H. SAMPL, Kärntner Institut für Seenforschung, A-9010 Klagenfurt.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie](#)

Jahr/Year: 1976

Band/Volume: [5_1976](#)

Autor(en)/Author(s): Sampl Hans

Artikel/Article: [Das Limnische Ökosystem des Millstätter Sees in Kärnten in den letzten 40 Jahren 129-137](#)