

Ber. nat.-med. Ver. Innsbruck

Band 63

S. 57 - 66

Innsbruck, Okt. 1976

**Ökologische Beobachtungen an der Blualge
Oscillatoria limosa Ag. im Piburger See
(Tirol, Österreich).**

von

Eugen ROTT*)

(Aus der Abteilung für Limnologie (Leiter: Univ.-Prof. Dr. Roland PECHLANER)
am Institut für Zoologie und dem Institut für Botanische Systematik und Geobotanik
(Vorstand: Univ.-Prof. Dr. Hans PITSCHMANN) der Universität Innsbruck)

**Ecological Observations concerning the Blue-Green Alga
Oscillatoria limosa Ag. in Piburger See (Tyrol, Austria).**

Synopsis:

In 1970 the restoration of the eutrophic and meromictic Piburger See was realised by an artificial hypolimnetic outlet (PECHLANER 1971, 1975). During the period of detailed investigation since 1972 the freshweight of the blue-green alga *Oscillatoria limosa* Ag. increased conspicuously. In 1974 this alga contributed nearly 40% to the annual mean of total phytoplanktonic biomass. Nevertheless *Oscillatoria limosa* seems to be a meroplanktonic species migrating upward and living in the open waters from February to July only. In February the development begins under the icecover in the dark deep water layers. Growing in the dark, the population increases. By forming gas vacuoles this *Oscillatoria*-species has the possibility to invade the pelagial; it is found in the whole water body by March. At the beginning of the ice-out period the whole population retires into mid-depth layers and concentrates strongly in the strata, where light intensity and temperature are low. Between May and July the mean densities of the blue-green alga decrease more and more and at the beginning of August *Oscillatoria limosa* disappears from the pelagial. The correlations between this cycle and different physical, chemical and biological factors are shortly discussed.

Innerhalb der Untersuchungen des Phytoplanktons des Piburger Sees in den Jahren 1972 bis 1975, die zum Großteil im Rahmen des „OECD Lake Eutrophication Programme“, Projekt „Restaurierungsverlauf Piburger See“ erfolgten, fiel die Blualge *Oscillatoria limosa* Ag. im Vergleich mit früheren Untersuchungen besonders auf. Diese Cyanophyceae wurde seit Beginn der Restaurierung im Jahre 1970 zur dominierenden Art des Spätwinter und Frühjahrsplanktons. Die Resultate der quantitativen Untersuchungen sollen hier bis zum Jahre 1975 wiederge-

*) Anschrift des Verfassers: Dr. phil. Eugen Rott, Institut für Botanische Systematik und Geobotanik, Sternwartestraße 15, A-6020 Innsbruck, Österreich

geben werden. Die Interpretationsversuche der Ergebnisse können aber unter dem Aspekt, daß keine detaillierten physiologischen Untersuchungen durchgeführt werden konnten, nur als vorläufig gewertet werden.

Methodik:

Die Entnahme der Lebendproben erfolgte mit einem Planktonnetz der Maschenweite 20 μm . Die Wasserproben zur Zählung in Planktonkammern wurden monatlich bis in 6 m Tiefe in 1 m - Abständen und dann in 3 m - Stufen mit einem RUTTNER-Schöpfer entnommen und sofort nach der Entnahme mit 3 bis 4 Tropfen/100 ml LUGOL'scher Lösung mit Eisessigzusatz fixiert (ROTT, 1975).

Morphometrische und limnologische Charakterisierung des Piburger Sees:

Der Piburger See ist ein Waldsee mit 13,4 ha Oberfläche und einer maximalen Tiefe von 24,7 m und ist in 915 m Höhe am Eingang des Ötztals gelegen. Die mittlere Tiefe beträgt ca. 13 m. Der See wird nur schwach durchflutet, hat einen oberirdischen Zufluß von 10 bis 20 l/sec., wird aber zu mehr als 50% aus dem Grundwasser gespeist. Die Eisbedeckung beträgt im Mittel 110 Tage und beginnt meist Anfang Dezember. Die deutliche sommerliche Erwärmung der obersten Wasserschichten bei anhaltender sommerlicher Schichtung machen diesen See zu einem der beliebtesten Badeseen Tirols. Dieser Umstand führte zu einer in den letzten Jahren stark zunehmenden Eutrophierung, die im Winter 1969/70 eine derart kritische Sauerstoffsituation verursachte, daß vor Eisbruch ein vollständiger Sauerstoffschwund und damit ein Fischsterben zu befürchten war (PECHLANER, 1971). Um die Sauerstoffzeugung im See durch eine Verbesserung der Lichtverhältnisse zu verstärken wurde als Sofortmaßnahme ein Teil der Eisdecke schneefrei gepflegt. Diese Maßnahme führte dann in diesem extrem algenarmen Winter auch tatsächlich zum Erfolg. Durch das Ansteigen der Phytoplanktonmengen direkt unter der Eisdecke konnte ein vollständiger Sauerstoffschwund verhindert werden. Als langfristige Restaurierungsmaßnahme wurde im Sommer 1970 ein OLSZEWSKI-Rohr in Betrieb genommen, das durch die Ableitung von sauerstoffreichem und nährstoffreichem Tiefenwasser eine fortlaufende Verbesserung der Sauerstoffverhältnisse und eine Elimination von Nährstoffen bedingt. Diese Maßnahme führte zu einer von Jahr zu Jahr deutlicheren Zunahme des Sauerstoffinhaltes in den Wintermonaten (MAYRHOFER 1975) und einer nahezu bis zum Grund reichenden Durchmischung des von Natur aus leicht meromiktischen Sees im Herbst 1974.

Die Sichttiefenwerte lagen in den letzten Untersuchungsjahren zwischen 4,5 und 13,5 m, die euphotische Zone, deren Ausdehnung an Hand von Licht- und Produktionsmessungen ermittelt wurde (ROTT, 1975) erreichte zwischen 6 und 14 m Tiefe. Die Vertikalverteilung der Phytoplankton-Gesamtbiomassen entsprach aber im Winter und Frühjahr oft nicht der Verteilung der Produktionswerte, denn zu dieser Zeit konnten auch unterhalb und an der Untergrenze der euphotischen Zone sehr hohe Biomassenwerte beobachtet werden. Der pH-Wert liegt durchschnittlich knapp über dem Neutralpunkt, nimmt zur Tiefe hin leicht ab und steigt zur Sommerstagnation auf Grund hoher Photosyntheseleistungen im Metalimnion deutlich in den alkalischen Bereich (MAYRHOFER, 1975). Die Alkalinität ist mit durchschnittlich 0,39 mval/l gering. Die Orthophosphatkonzentrationen lagen im Jahr 1974 im Oberflächenwasser bei durchschnittlich 0,9 $\mu\text{g/l}$ und stiegen über Grund bis auf 4 μg an (BACHINGER, 1975). Die Gesamtphosphorwerte betragen im Mittel in Oberflächennähe 19 $\mu\text{g P/l}$ und 41 $\mu\text{g/l}$ über Grund. Die Nitratkonzentrationen schwankten in demselben Zeitraum zwischen 10 und 100 $\mu\text{g NO}_3\text{-N/l}$ in Oberflächennähe und betragen 10 bis 75 $\mu\text{g/l}$ über Grund. Die Ammoniumkonzentrationen lagen an der Oberfläche zwischen 10 und 85 $\mu\text{g/l}$ und in der Schicht von 21 - 24 m zwischen 300 und 1140 $\mu\text{g/l}$. (SOSSAU, 1975).

In taxonomischer Hinsicht entsprechen die im Piburger See vorkommenden Fäden der Cyanophyceae *Oscillatoria limosa* der bei GEITLER (1932) angegebenen Beschreibung. Die Fäden weisen einen ziemlich konstanten Durchmesser von 18 μm auf, während ihre Gesamtlänge zwischen 50 μm und wenigen Millimetern

schwankt. Die Zelllänge liegt stets zwischen 3,5 und 7 μm . Die Granulierung an den Querwänden ist deutlich erkennbar (Abb. 1). Bei der „oszillierenden“ Fortbewegung erfolgt eine deutliche Rechtsdrehung. Das Chromatoplasma läßt eine schräg in der Drehrichtung orientierte (von rechts vorne nach links hinten weisende) Kompartimentierung (Keritomie) auf.

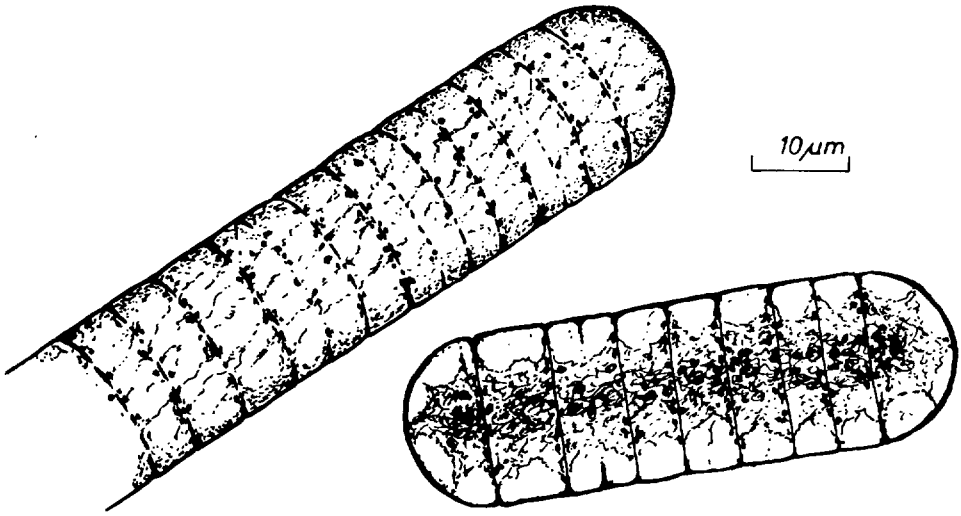


Abb. 1: *Oscillatoria limosa* Ag.; A) Teil eines langen Fadens in Aufsicht.
B) Hormogonium im optischen Schnitt.

Die Bildung von gallertartigen Scheiden (keine Färbung mit Methyleneblau) konnte bei langen Fäden, die sich im Sediment aufhalten, beobachtet werden. Kurze Fadenstücke (Abb. 1B) scheinen Überdauerungsstadien zu sein, da lange Fäden bei ungünstigen Bedingungen in kleine, an den Enden abgerundete Teilstücke zerfallen. Die Fäden wiesen in allen Tiefen die gleiche olivgrüne Pigmentierung auf. Die Bildung von Gasvakuolen konnte einerseits mit dem "Hammer, Cork and Bottle"-Experiment (FOGG et al., 1973) und andererseits unter dem Mikroskop nachgewiesen werden. Die Gasvakuolen erschienen im Lichtmikroskop als dunkle Bläschen an der Peripherie der Zellen.

Die Besiedlung des freien Wassers durch die Blaualge *Oscillatoria limosa* vollzog sich in den letzten Jahren seit 1972 stets in ähnlicher Weise. Der Kreislauf beginnt dabei alljährlich am Seegrund im Feber. In diesem Monat sind die kleinsten Biomassenwerte und nur sehr geringe Produktionswerte zu verzeichnen. Zu dieser Zeit erfolgt in den dunklen Tiefenzonen des Piburger Sees bereits eine starke Vermehrung von *O. limosa*, der eine allmähliche Ausbreitung auf höher gelegene Wasserschichten folgt (Abb. 2). Mittels ihrer Gasvakuolen könnte diese Blaualge bis

unter die Eisdecke aufsteigen, der Biomassenschwerpunkt war aber vor Eisbruch meist zwischen 6 und 9 m Tiefe zu finden. Obzwar die Algenfäden während Eisbruch und Frühjahrszirkulation meist auf alle Tiefen verteilt sind, ziehen sie sich stets kurz danach aus dem wärmer werdenden Epilimnion in tiefere Wasserschichten zurück. Die *O. limosa* besiedelt dann Schichten ab 9 m Tiefe und verschwindet schließlich nach langsamem Absinken der Populationsobergrenze bis auf 15 m im Juli Anfang August vollständig aus dem Plankton.

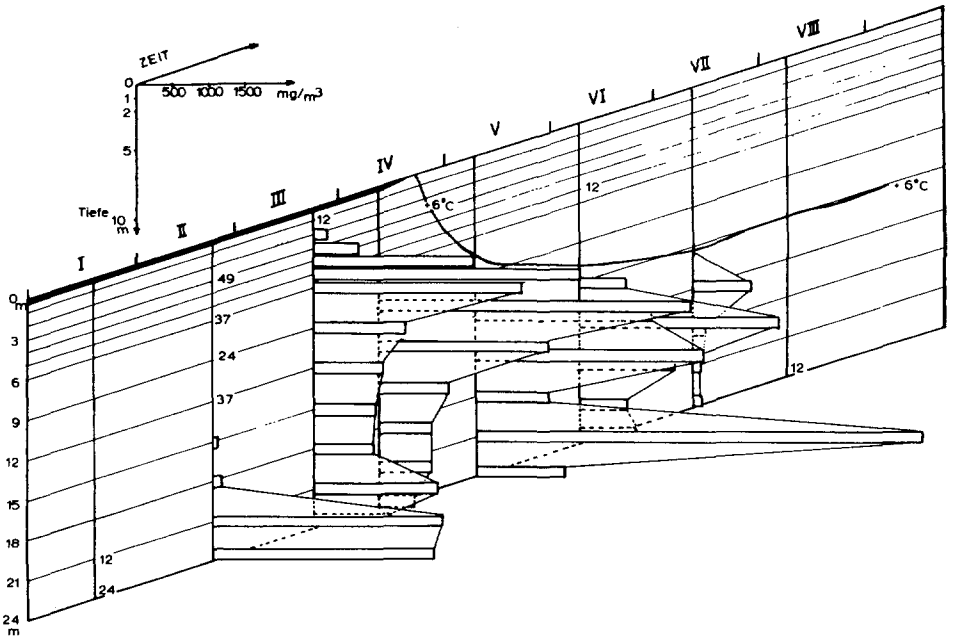


Abb. 2: Vertikalverteilung von *Oscillatoria limosa* im Piburger See im Jahre 1973. Eisdecke schwarz.

In den einzelnen Tiefenstufen, in denen *Oscillatoria limosa* massiv auftrat, nahm sie durchwegs mehr als 90% des Algenfrischgewichtes ein. Ihr Anteil an der Gesamtmenge unter einem Quadratmeter sank 1973 von 96% im März bis auf 11% im Juli ab. Wollte man bei den Untersuchungen für das gesamte Seebecken repräsentative Werte ermitteln, müßten auch die horizontalen Inhomogenitäten (Wolkenbildung), die nachgewiesen werden konnten, berücksichtigt werden. Auch der Umstand, daß nach Eisbruch Flocken verklumpter Fäden in einzelnen See-teilen an der Oberfläche beobachtet wurden, konnte wegen der monatlichen Ent-nahmeabstände nicht näher bearbeitet werden. Auch HUBER-PESTALOZZI (1938) beobachtete im Frühjahr 1933 im Zürichsee ganze Lager derselben Art an der Seeoberfläche. Zur Erklärung dieser Algenblüte, die im Piburger See nicht in allen Jahren auftrat, liegt nun die Vermutung nahe, daß durch Windeinwirkung,

die im Piburger See relativ selten, im Zürichsee aber häufig ist, Fäden aus tieferen Schichten an die Oberfläche verfrachtet worden waren und sich dort wegen der für sie ungünstigen Licht- und Temperaturgegebenheiten zusammenballten.

Die Ursachen für den Entwicklungsprozeß der Blaualge sind gewiß vielfältiger Natur, jedoch können sie vereinfachend unter die Faktorenkomplexe Licht, Temperatur und Nährstoffe zusammengefaßt werden. Schon bezüglich der Lichtverhältnisse kann man bei *Oscillatoria limosa* von einem eigentümlichen Verhalten sprechen, da diese Blaualge im Piburger See zumindest am Beginn ihrer Besiedlung des Pelagials nicht auf Licht angewiesen zu sein scheint (ROTT (1975)). Dabei drängt sich die Frage auf, wie eine Alge überhaupt zur Zeit der schlechtesten Lichtverhältnisse und der geringsten Biomassendichten einen auslösenden Impuls zu ihrer Massentwicklung und zur Besiedlung des Pelagials erhalten kann. Nach FOGG et al. (1973) steht es allerdings fest, daß sich Blaualgen auch im Dunkeln heterotroph ernähren und vermehren können. Auch die Bildung von Assimilationspigmenten unter Lichtabschluß, wie FOGG et al. (1973) sie feststellen konnten, muß angenommen werden, da alle Fäden stets deutlich pigmentiert waren. Die Vermehrung im Dunkeln soll dabei nur bei Vorhandensein eines artspezifischen organischen Substrates und stets viel langsamer vor sich gehen als im Licht. Die Messungen der Photosyntheseleistung des Planktons mit der ^{14}C - Methode in situ aus den Jahren 1973 und 1974 zeigen deutlich, daß *Oscillatoria limosa* keine besonders hohen Assimilationsraten aufweist, wie das ja bei großen Phytoplanktern durchwegs der Fall ist (ROTT, 1975). Ein Vergleich mit der in vielen eutrophen Ostalpenseen vorkommenden *Oscillatoria rubescens* liegt hier auf der Hand. *Oscillatoria rubescens* weist einen mittleren Aktivitätskoeffizienten von 0,27 (für Zirkulation und Stagnation) auf (FINDENEGG, 1971), während *Oscillatoria limosa* nur an einem Schönwettertag im März 1973 unter der Eisdecke einen maximalen mittleren Aktivitätskoeffizienten von 0,25 in der Schicht zwischen 3 und 12 m erreichte. An Schlechtwettertagen bei Eisbedeckung zeigte *Oscillatoria limosa* nie nennenswerte Photosynthesewerte. Auch die Maximalwerte der optimalen Schicht liegen bei *O. rubescens* mit mehr als 1 deutlich höher als bei *O. limosa* mit 0,6. Bei der starken Entwicklung von *O. limosa* stellt vor allem der rasche Aufbau einer derartig großen Population bei geringen Produktionsleistungen und dem nach FOGG et al. (1973) nur langsamen Biomassenzuwachs bei heterotropher Ernährung ein Problem dar. Vielleicht spielt hier auch der Umstand eine Rolle, daß große Phytoplankter oft eine größere Lebensdauer besitzen als kleine Formen; große Algen können dann trotz geringerer Produktionsleistung höhere Biomassendichten erreichen. Zur Dokumentation der Diskrepanz zwischen Biomassenzuwachs und Produktionswerten sei hier aber erwähnt, daß sich aus den in den Monaten März und April 1973 gemessenen Produktionswerten bei Vernachlässigung jeglicher Verluste durch Atmung etc. lediglich 40% des Biomassenzuwachses durch photosynthetische Vorgänge erklären ließe.

Zur Zeit der Sommerstagnation kommt es durch hohe Photosyntheseleistungen zu Sauerstoffübersättigungen im Metalimnion. Der Einfluß von *Oscillatoria limosa* auf die Sauerstoffverteilung äußert sich, wie in Abb. 3 zu erkennen ist, lediglich in einem schwachen Absinken der 10 mg-Isolinie zwischen Mai und Juli. Die starke Abnahme der Werte zwischen 13 und 15 m Tiefe wird aber trotz hoher Individuendichten nicht vermindert. Das kann als ein weiterer Hinweis auf die geringe Photosyntheseleistung der Blaualge gewertet werden.

Temperaturen unter 6°C scheinen von *Oscillatoria limosa* bevorzugt zu werden, wie man aus Abb. 4 entnehmen kann. Für den Beginn und das Ende der Entwicklungsablaufes der Blaualge können aber Temperaturphänomene nicht von ausschlaggebender Bedeutung sein. Man wird jedoch mit der Definierung eines Temperatur-Optimumbereiches für *O. limosa* vorsichtig sein, da sich bei *Oscillatoria rubescens*, deren Optimum nach zahlreichen Freilandbeobachtungen bei Temperaturen unter 7 bis 9°C zu liegen schien, herausstellte, daß sie nicht nur in Kulturen erheblich höhere Temperaturen bevorzugte, sondern auch im sommerlichen Epilimnion Massentwicklungen zu bilden imstande ist (FINDENEGG, 1973).

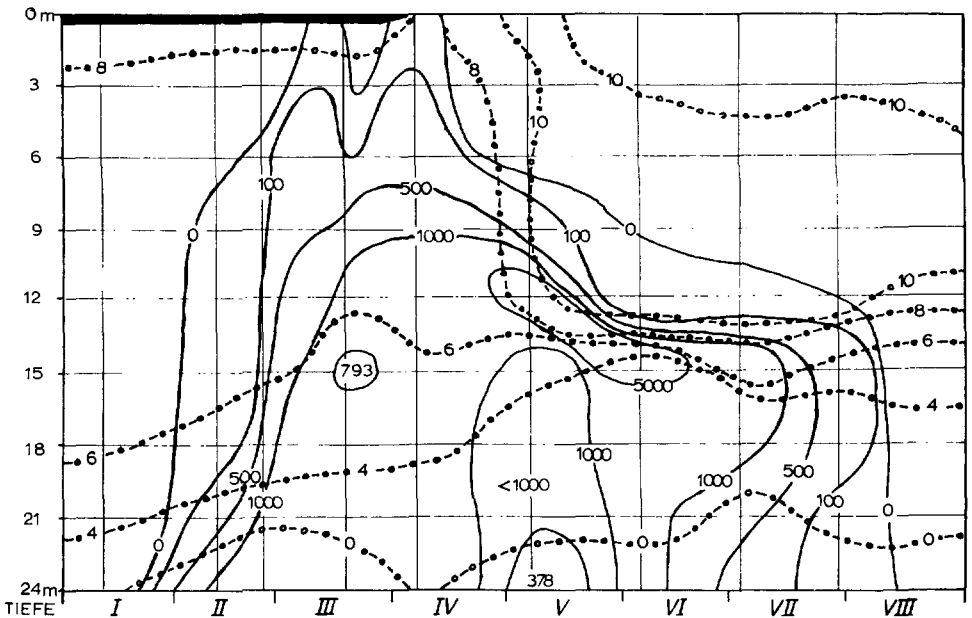


Abb. 3: Isoplethen von *Oscillatoria limosa* (ausgezogene Linie) in mg/m^3 und Sauerstoffisoplethen (strichpunktirt) in $\text{mg O}_2/\text{l}$ im Piburger See im Jahre 1974.

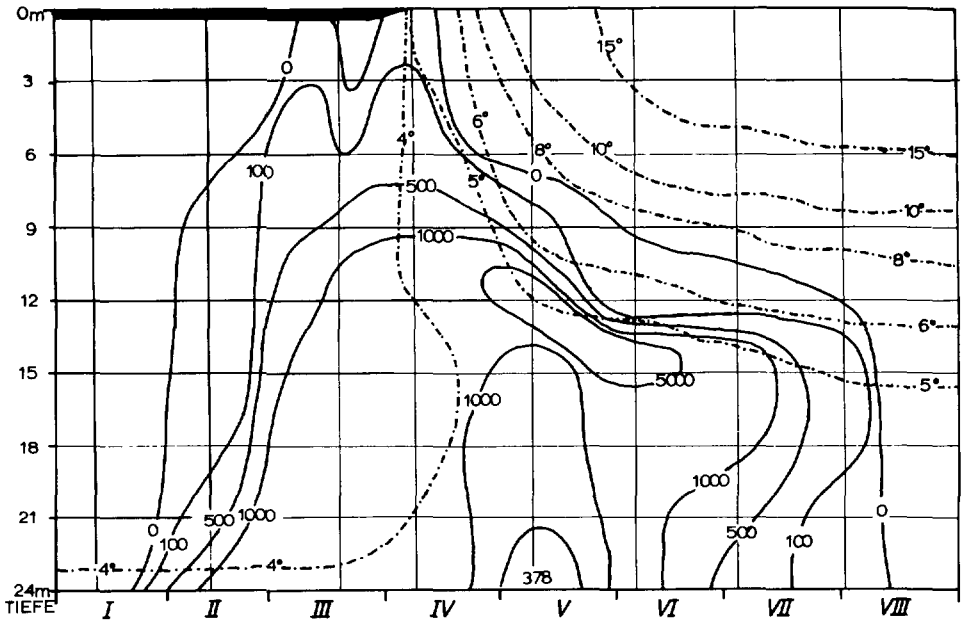


Abb. 4: Isolethen von *Oscillatoria limosa* (ausgezogene Linie) in mg/m^3 und Temperaturisoplethen (strichpunktiert) im Piburger See im Jahre 1974.

Die weit weniger eindeutigen Zusammenhänge zwischen der Entwicklung der Blaualge und den Änderungen der Nährstoffverhältnisse spiegeln die komplexe Vernetzung zwischen Phytoplankton, Nährstoffen und anderen Faktoren wieder. Die stets deutlich höheren Nährstoffwerte in den Tiefenschichten kommen mit großer Wahrscheinlichkeit der Entwicklung der Blaualge zugute. Die Fähigkeit Gasvakuolen zu bilden und diese auch regulieren zu können (FOGG und WALSBY, 1971) ermöglichen es Blaualgen, sich aktiv ihren Optimalbedingungen entsprechend im vertikalen Faktorengefälle eines Biotopes einzustellen. Durch die aktive Verlagerung der *O. limosa* kommt es in den Randbereichen ihres Auftretens zu einer indirekten Verbesserung der Nährstoffverhältnisse für andere Phytoplankter. Auf diesen Umstand deutet jedenfalls auch die starke Entwicklung verschiedener Phytoplankter, wie z.B. einer *Chromulina*-Art in 9 m Tiefe im Mai 1974 und einer *Mallomonas*-Art in 9 m Tiefe im Juni 1975, hin, die stets knapp an der Obergrenze der *Oscillatoria*-Schicht erfolgt. Auch die Biomassenentwicklung von *Synedra ulna* var. *danica* zeigt eine deutliche Abhängigkeit von der Entwicklung der Blaualge (Abb. 5). Schon bei den Algenzählungen war aufgefallen, daß hohe Individuenzahlen von *Synedra ulna* mit hohen Fadendichten von *O. limosa* korreliert zu sein schienen. Die höchsten Biomassenwerte der *Synedra*-Art waren dann zu finden, wenn *O. limosa* die stärkste Biomassenabnahme zeigte. Da nach HUSTEDT (1930) eine starke Entwicklung von *Synedra ulna* für nähr-

stoffreiche Gewässer charakteristisch ist, mögen die durch das Absterben der *Oscillatoria*-Fäden freiwerdenden Nährstoffe, die auch in organischer Form von Kieselalgen aufgenommen werden können, begünstigend wirken.

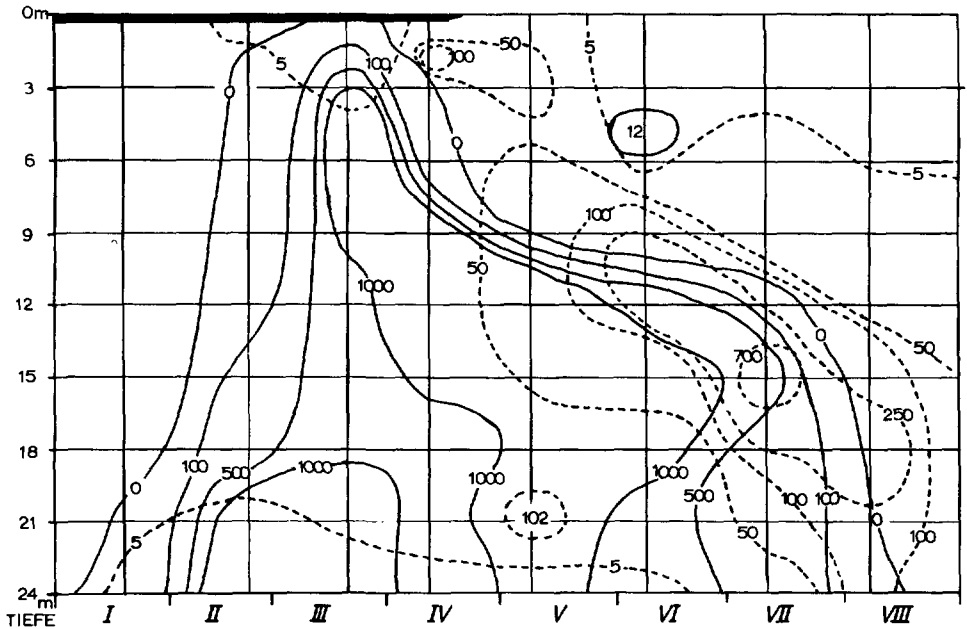


Abb. 5: Isoplethen von *Oscillatoria limosa* (ausgezogene Linie) und *Synedra ulna* var. *danica* (strichlierte Linie) in mg/m^3 im Piburger See im Jahre 1973.

Bereits im Jahre 1966 hatte FINDENEKG (1968) *Oscillatoria limosa* im Piburger See beobachtet; damals aber war diese Art nur in den Monaten März und April mehr oder weniger häufig in tiefen Schichten zu finden gewesen. In Abb. 6 sind die die gewichteten *Oscillatoria*-Biomassen für alle Entnahmeserien seit 1969 eingetragen. Die Werte zeigen in den letzten Jahren eine deutlich steigende Tendenz, wenn auch ein Teil der Schwankungen auf inhomogene Verteilung im Seebecken zurückzuführen sein mag. Vergleicht man den Verlauf in den einzelnen Jahren, so wurden die höchsten Werte stets gegen Ende der Eisbedeckung oder kurz nach Eisbruch erreicht. Die rasche Abnahme bis zum Sommer ist in allen Jahren deutlich. Eine merkliche Zunahme von *O. limosa* seit Beginn der Restaurierung des Piburger Sees durch selektive Tiefenwasserentnahme (Beginn: Juni 1970) steht hier also außer Zweifel. Die entscheidende Frage jedoch, wie diese Entwicklung mit dem Restaurierungsverlauf in Zusammenhang steht, ist schwer zu beantworten. Die ursprüngliche Ursache ist wie bei der Invasion vieler Ostalpenseen durch *Oscillatoria rubescens* (FINDENEKG, 1973) in der fortschreiten-

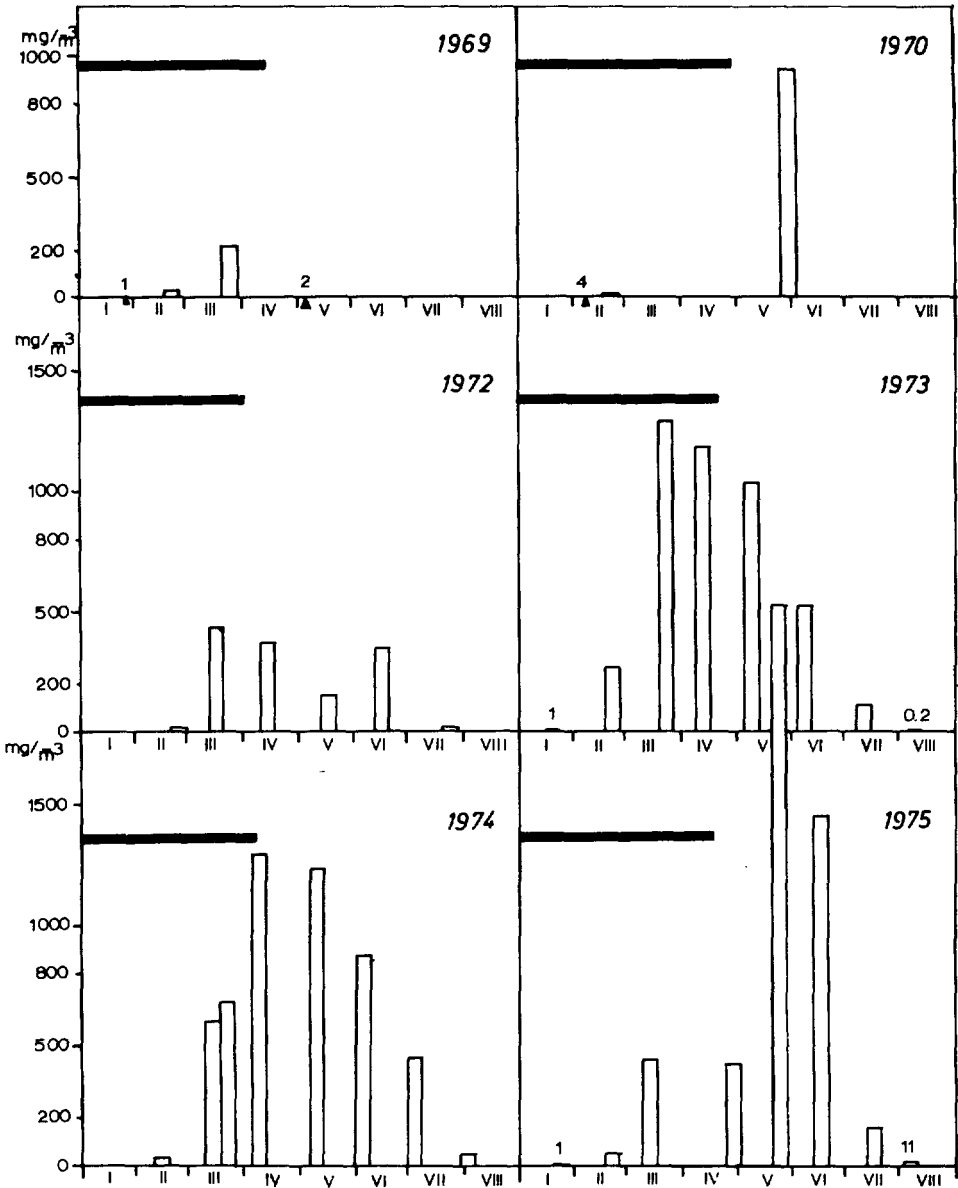


Abb. 6: Gewichtete Mittelwerte der Biomasse von *Oscillatoria limosa* im Piburger See in den Jahren 1969 und 1970 und 1972 bis 1975. Eisdecke durch schwarzen Strich angedeutet.

den Eutrophierung von Seen zu suchen. Bei meromiktischen Seen, wie dem Piburger See, kommt es dabei zu einer Anreicherung von Nährstoffen im Monimolimnion. Bei einer tiefer greifenden Durchmischung, wie diese im Verlaufe der Restaurierung vor allem während der Herbstzirkulationen auftrat, werden diese angesammelten Nährstoffe auf den gesamten Wasserkörper verteilt. Für die Entwicklung der *Oscillatoria limosa* scheint aber weniger das höhere Nährstoffangebot im Pelagial von Bedeutung zu sein als vielmehr der Umstand, daß durch den Sauerstoffeintrag während der Herbstzirkulation auch zur Zeit der Eisbedeckung in den Tiefenschichten ein weniger stark reduziertes Milieu vorlag und damit nur geringe H₂S-Konzentrationen, die eine Algenentwicklung durchwegs verhindern, zu verzeichnen waren.

Literatur.

- BACHINGER, J. (1975): Phosphor im Pelagial des Piburger Sees. J.-Ber.1974 Abt. Limnol. Innsbruck 1: 29 - 36.
- FINDENEKG, I. (1968): Das Phytoplankton des Piburger Sees im Jahre 1966. Ber. nat.-med.Ver., Innsbruck 56: 163 - 176.
- FINDENEKG, I. (1971): Die Produktionsleistung einiger planktischer Algenarten in ihrem natürlichen Milieu. Arch. Hydrob. 69 (3): 273 - 293.
- FINDENEKG, I. (1973): Vorkommen und biologisches Verhalten der Blaualge *Oscillatoria rubescens* DC. in österreichischen Alpenseen. Carinthia II, 163: 317 - 330.
- FOGG, G. E., STEWART, W. D. P., FAY, P. and A. E. WALSBY, (1973): Blue-Green Algae. Academic Press, London & New York, 459 pp.
- FOGG, G. E. and WALSBY, A. E. (1971): Buoyancy regulation and the growth of planktonic blue-green algae. Mitt. Int. Ver. Limn. 19: 182 - 188.
- GEITLER, L (1932): Cyanophyceae. Rabenhorst's Kryptogamenflora XIV, Akad. Verlagsges., Leipzig 1196 pp.
- HUBER-PESTALOZZI, G. (1938): Das Phytoplankton des süßwassers, Systematik und Biologie. In: THIENEMANN (ed.), die Binnengewässer 16, 1: Allgemeiner Teil. Blaualgen. Bakterien. Pilze. Stuttgart 342 pp.
- HUSTEDT, F. (1930): Die Kieselalgen Deutschlands, Österreichs und der Schweiz. Rabenhorst's Kryptogamenflora Bd. VII. Akad. Verlags. Leipzig, 932 pp.
- MAYRHOFER, J. (1975): Chemismus (ausgenommen P, N und Fe-Verbindungen) und Thermik des Piburger Sees. J.-Ber. Abt. Limnol Innsbruck 1: 14 - 26.
- PECHLANER, R. (1971): Die Restaurierung des Piburger Sees. Carinthia II. Sonderh. 31: 97 - 115.
- PECHLANER, R. (1975): Eutrophication and restoration of lakes receiving nutrients from diffuse sources only. Verh. int. Ver. Limn. 19: 1272 - 1278.
- ROTT, E. (1975): Phytoplankton (Artenspektrum, Biomasse, Pigmente, Produktionsrate) und kurzweilige Strahlung im Piburger See. Diss. Univ. Innsbruck, 113 pp.
- SOSSAU, CH. (1975): Stickstoffverbindungen und organischer Kohlenstoff im Pelagial des Piburger Sees. J.-Ber. Abt. Limnol. Innsbruck 1: 36 - 41.