



Aus dem Kärntner Institut für Seenforschung

# Langzeitentwicklung der Cyanophyceen in einigen Kärntner Seen vor und nach der Sanierung

Von Gerhild DEISINGER

Mit 19 Abbildungen

**Kurzfassung:** Die meisten Seen in Kärnten sind wegen der hohen sommerlichen Wassertemperaturen beliebte Badegewässer. Durch die intensive Entwicklung des Fremdenverkehrs seit den fünfziger Jahren kam es zu einem hohen Nährstoffeintrag (vor allem an Phosphor) aus dem kommunalen Bereich in die Seen. In den hier beschriebenen fünf Seen, nämlich dem Wörther See (Fläche: 19,38 km<sup>2</sup>), dem Millstätter See (Fläche: 13,28 km<sup>2</sup>), dem Keutschacher See (Fläche: 1,3 km<sup>2</sup>), dem Klopeiner See (Fläche: 1,1 km<sup>2</sup>) und dem Längsee (Fläche: 0,75 km<sup>2</sup>), die mit Ausnahme des Keutschacher Sees meromiktisch sind, vermehrten sich die Blaualgen, vertreten durch *Oscillatoria rubescens* (*Planktotrix rubescens*) sprunghaft. Um die Fremdenverkehrswirtschaft sicherzustellen, wurden die Seen mittels Ringkanalisation saniert. Der zu erwartende Rückgang an Blaualgen konnte absolut beim Keutschacher See, der eine theoretische Wassererneuerungszeit von nur einem Jahr hat, und dem Millstätter See, dessen Gesamtalgenmenge jedoch noch nicht abgenommen hat, festgestellt werden.

Der Reoligotrophierungsprozeß machte sich jedoch auch beim Wörther See und beim Klopeiner See durch einen relativen Rückgang der Blaualgenmenge bemerkbar. Der Längsee, dessen Sanierung erst in den letzten beiden Jahren erfolgte, zeigte bis dahin eine fortschreitende Zunahme der Blaualgen.

**Synopsis:** Popular summer resorts are situated on most of the bigger lakes in Carinthia, because their surface temperatures normally reach 25°C. With increased tourism, the problem of eutrophication has become acute. The five lakes which are discussed here, are named Wörther See (area 19.38 km<sup>2</sup>), Millstätter See (area 13.28 km<sup>2</sup>), Keutschacher See (area 1.30 km<sup>2</sup>), Klopeiner See (area 1.1 km<sup>2</sup>) and Längsee (area 0.75 km<sup>2</sup>). With the exception of Keutschacher See, these lakes are of the meromictic type. In each of them blue-green algae started to multiply rapidly in the late 1960ies with *Oscillatoria* (*Planktotrix*) *rubescens* being the most prominent species. Alarmed by these signs of eutrophication, the Carinthian government began to construct circular sewage collection systems around the lakes. In spite of eutrophication, both phosphorus and phytoplankton remained at low concentrations in the epilimnion.

As a result of quality restoration measures, the relative amount of blue-green algae has generally decreased in all of the restored lakes. Keutschacher See (its retention time is merely 1 year) is the only one whose total phytoplankton and Cyanophyte biomass decreased in absolute terms. Längsee whose restoration due to the construction of a sewage collection system started only two years ago, exhibited a significant increase in the relative importance of blue-green algae.

## EINLEITUNG

Die meisten Seen in Kärnten sind wegen der hohen sommerlichen Wassertemperaturen beliebte Badegewässer. Durch die intensive Entwicklung des Fremdenverkehrs seit den fünfziger Jahren wurde es notwendig, die Badequalität der Seen sicherzustellen. Häusliche Abwässer aus den Wohnsiedlungen und Fremdenverkehrsbetrieben gelangten entweder direkt in die Seen oder deren Zuflüsse oder indirekt über ufernahe Versickerungen. Dadurch kamen düngende Nährstoffe in die Seen (wie z. B. Stickstoff- und Phosphorverbindungen), wobei dem Phosphor eine entscheidende Bedeutung zukam. Phosphor ist der produktionsbegrenzende Minimumfaktor in den Seen. Dieser Nährstoffeintrag löste Eutrophierungsprozesse mit starkem Wachstum von planktischen Algen aus.

Planktische Algen (Phytoplankton) sind mikroskopisch kleinste, vielgestaltige Pflanzen, die im freien Wasser schweben. Sie besitzen, wie alle Pflanzen, Chlorophyll, mit dessen Hilfe sie in der Photosynthese aus Sonnenlicht und anorganischen Nährstoffen organische Substanz aufbauen. Dabei wird Sauerstoff frei, der vom Wasser des Sees aufgenommen und teilweise in die Atmosphäre über dem See abgegeben wird. Es gibt Blaualgen (Cyanophyceen), Kieselalgen (Diatomeen), Grünalgen (Chlorophyceen), Goldalgen (Chrysophyceen), Panzeralgen (Dinophyceen), Cryptophyceen und einige andere Gruppen, die in unterschiedlich großer Menge vor allem die oberflächliche Wasserschicht der Seen bis zu einer Tiefe von ca. 20 m, je nach Lichtverhältnissen, besiedeln. Die Blaualgen gelten als Eutrophierungsanzeiger.

Durch die erhöhte Konzentration an Phosphor entwickelten sich insbesondere die Blaualgen, die zur Massenentwicklung und zur Bildung von Schwimmschichten (Algen- oder Wasserblüten) neigen. Das Auftreten solcher Wasserblüten war dem Badebetrieb nicht dienlich. Es kam zu muffig riechenden und unansehnlichen Rückständen auf Haut und Kleidung von Badenden, weiters zu Ausschlägen, Augenentzündungen und anderen allergischen Beschwerden.

Die direkten Abwassereinleitungen waren auch für die hygienische Qualität der Badebereiche bedenklich.

In Kärnten wurde und wird sicherlich die wirksamste Methode des Seenschutzes gewählt, nämlich die Seesanierung in Form von Ringkanalisationen mit Ableitung der Abwässer aus dem Einzugsgebiet der Seen, so daß nun überhaupt keine häuslichen Abwässer mit Nährstoffen und gesundheitsgefährdenden Keimen in die Seen gelangen. Diese Kanalisa-

tionen wurden entweder am Land oder in Form von Druckleitungen aus Kunststoff im See selbst verlegt. Das Abwasser wird von Pumpstation zu Pumpstation befördert und einer Abwasserreinigungsanlage zugeführt. Da der Bau der Kanalisationen sehr teuer ist, war es oft nicht möglich, sofort das ganze Einzugsgebiet zu erfassen.

Zur Unterstützung und Beschleunigung der Erholung des Sees (Reoligotrophierung) wurden Restaurierungsmaßnahmen gesetzt, wie z. B. die Tiefenwasserableitung.

Durch die Sanierungsmaßnahmen können allerdings nicht alle nährstoffliefernden Quellen ausgeschaltet werden, wie die Auslaugung und Abschwemmung landwirtschaftlich genutzter Flächen, der Niederschlag und der Eintrag durch die Badenden selbst (SCHULZ, L. 1981). Diese spielen im Vergleich zu den Belastungen aus dem kommunalen Bereich im allgemeinen eine untergeordnete Rolle, obwohl sie im Einzelfall nicht unbedeutend sein können.

Nach der Sanierung eines Sees erfolgte die Verbesserung der hygienischen Situation sehr rasch. Veränderungen des limnologischen Zustandes gehen jedoch nur langsam vor sich. Die Nährstoffe, die sich durch Jahre hindurch angesammelt haben, müssen erst allmählich über den Ausfluß abtransportiert werden oder durch Sedimentation aus dem Wasserkörper verschwinden.

Wieweit sich die Algenmengen und insbesondere die der Cyanophyceen reduziert haben, ist Thema dieser Langzeituntersuchung.

Es wurden vier bereits sanierte Seen ausgewählt (Wörther See, Millstätter See, Keutschacher See und Klopeiner See) und ein See, dessen Sanierung erst in den letzten zwei Jahren erfolgte (Längsee). Im Klopeiner See ist zusätzlich eine Tiefenwasserableitung installiert.

Mit Ausnahme des Keutschacher Sees sind alle Seen meromiktisch (FINDENEGG, 1933), d. h., die Durchmischung der Seen erfolgt während der Zirkulationsperioden nicht vollständig.

In allen Seen gibt es einen größeren Prozentsatz von Cyanophyceen, hauptsächlich die Art *Oscillatoria rubescens*.

Diese Alge wird im Volksmund „Rotalge“, in der Schweiz „Burgunderblut“ genannt. Sie kann bei einer Massenentwicklung den See rot färben. Als im Winter 1825 der Murtensee, Schweiz, durch *Oscillatoria rubescens* rot erschien, meinten die Seeanrainer, dies beruhe auf dem Aufwallen des Blutes der 1476 in einer Schlacht am See gefallenen Burgunder. Der Genfer Botaniker De CANDOLLE gab dieser millimeterlangen, etwa 5  $\mu$  dicken, rötlich schimmernden, fadenförmigen Alge den Namen *Oscillatoria rubescens*.

## METHODIK

Zur Beobachtung der Entwicklung von Seen wurden limnologische Vertikalprofile durchgeführt.

Zur Bestimmung der Biomasse wurden in der Regel aus 1, 3, 5, 8, 10, 12, 15 (20) m Tiefe Proben entnommen und mit Lugolscher-Lösung mit Essigzusatz fixiert.

Die Probenentnahme erfolgte mittels „Lunzer-Wasserschöpfer“ (RUTTNER, 1962) im Bereich der tiefsten Stelle des Sees.

Die Biomasse des Phytoplanktons wurde durch direkte Zählung (UTERMÖHL, 1958) in Verbundkammern mit Hilfe eines Umkehrmikroskops WILD M 40 bestimmt.

Die Methoden der limnochemischen Untersuchungen sind SCHULZ, KANZ und DEISINGER (1983) zu entnehmen.

## ERGEBNISSE

### Beschreibung der Seen

### Limnologische Charakteristika

	Wörther See	Millstätter See	Keutschacher See	Klopeiner See	Längsee
Seehöhe	439 m	588 m	506 m	446 m	548 m
Fläche	19,38 km <sup>2</sup>	13,28 km <sup>2</sup>	1,327 km <sup>2</sup>	1,106 km <sup>2</sup>	0,748 km <sup>2</sup>
max. Tiefe	85,2 m	141 m	15,6 m	46 m	22 m
mittl. Tiefe	42,1 m	89 m	10,6 m	22,6 m	12,2 m
Volumen	816,320.000 m <sup>3</sup>	1.176,600.000 m <sup>3</sup>	14,025.500 m <sup>3</sup>	24,975.000 m <sup>3</sup>	9,155.860 m <sup>3</sup>
Theor. Wassererneuerungszeit	9,5 Jahre	7 Jahre	1 Jahr	11,5 Jahre	2,3 Jahre
Abfluß MQ	2,3 m <sup>3</sup> /s	5,4 m <sup>3</sup> /s	0,61 m <sup>3</sup> /s	0,07 m <sup>3</sup> /s	0,029 m <sup>3</sup> /s
Einzugsgebiet	164 km <sup>2</sup>	276 km <sup>2</sup>	28,6 km <sup>2</sup>	4,4 km <sup>2</sup>	10,8 km <sup>2</sup>

Alle fünf Seen sind durch ihre windgeschützte Lage und ihre hohe sommerliche Temperatur beliebte Badegewässer. Sie sind Zentren des Sommertourismus und damit für das Land Kärnten von großer wirtschaftlicher Bedeutung.

Thermisch sind sie gekennzeichnet durch eine rasche Erwärmung im Frühjahr, durch eine mächtige (beim Wörther See und Klopeiner See bis zu 8 m) Warmwasserschicht im Sommer und durch eine langsame Abkühlung im Herbst. Winterliche Eisdecken werden regelmäßig nur bei den kleineren Seen gebildet. Bedingt durch die strenge thermische Schichtung im Sommer können keine Nährstoffe aus dem Hypolimnion in den Oberflächenbereich nachgeliefert werden. So verarmt das Epilimnion an Nährstoffen und damit auch an planktischen Algen (Abb. 1).

Mit Ausnahme des Keutschacher Sees, der holomiktisch ist, weisen die vier anderen Seen Meromixis auf, d. h., sie werden während der Zirkulationsphasen im Frühjahr und im Herbst nur teildurchmischt (FINDENEGG, 1937).

(Der Wörther See und der Millstätter See werden bis zu einer Tiefe von 50 m, der Klopeiner See bis 30 m und der Längsee bis 15 m durchmischt.)

Das Tiefenwasser stagniert, ist sehr nährstoffreich, aber sauerstoffarm.

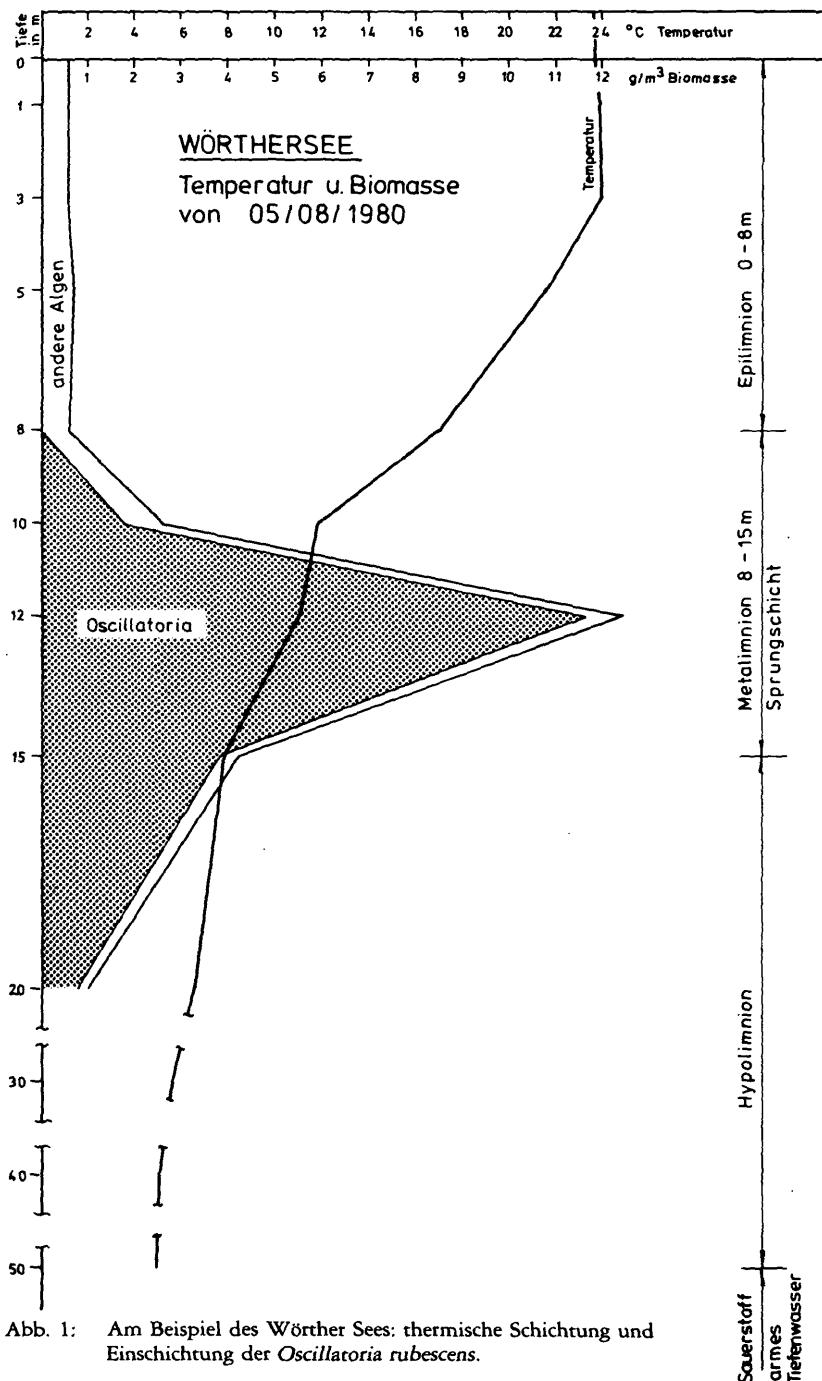


Abb. 1: Am Beispiel des Wörther Sees: thermische Schichtung und Einschichtung der *Oscillatoria rubescens*.

Die in den abgestorbenen Planktonorganismen gebundenen Nährstoffe sinken zu Boden und werden in der Tiefe durch Abbauprozesse freigesetzt. Dadurch kommt es zu einer Anreicherung von Nährstoffen, die dem jährlichen Stoffkreislauf entzogen bleiben. Die Zehrungsvorgänge beim Abbau abgestorbener, abgesunkener Organismen führten seit jeher zum Sauerstoffschwund in der Tiefe. Das sauerstoff-freie Tiefenwaser ist also naturgegeben. Erst eine verstärkte Belastung des Sees löste eine Vergrößerung der sauerstoff-freien Zone nach oben hin aus.

### **Eutrophierungserscheinungen**

Spektakuläre, für den Badebetrieb äußerst unangenehme Erscheinungen waren die Algenblüten, die in den sechziger Jahren am Wörther See und Millstätter See in Erscheinung traten und sich Anfang der siebziger Jahre am Millstätter See wiederholten. Sie wurden vor allem durch *Oscillatoria rubescens* hervorgerufen.

Auch beim Keutschacher See kam es immer wieder zu auffälligen, aber nur zu kurzzeitigen Wasserblüten. Der Längsee zeigte ein Aufstreben von *Oscillatoria*-flocken bei Schlechtwetter im Sommer. Beim Klopeiner See traten zwar keine Algenblüten auf, er war aber durch die nach oben hin ansteigende sauerstoffarme Zone gefährdet. Beim Längsee kam es im Winter 1984 unter dem Eis zu einem Fischsterben, das durch einen Sauerstoffschwund bis fast an die Oberfläche ausgelöst wurde. Diese auffallenden Erscheinungen an den Seen zeigten die Dringlichkeit einer Sanierung an.

### **Sanierungsmaßnahmen**

Es wurde 1964 beim Wörther See mit der Ringkanalisation begonnen, 1968 beim Millstätter See, 1974 beim Keutschacher See. Diese Anlagen waren 1978 in ihrer ersten Ausbaustufe fertiggestellt. Teile des Einzugsgebietes sind heute noch in Bau. Die Ringkanalisation des Klopeiner Sees wurde 1979 fertiggestellt. Wegen der anwachsenden, sauerstoffarmen Zone wurde zusätzlich eine Tiefenwasserableitung installiert (SAMPL et al., 1982). Nach dem fast gänzlichen Sauerstoffschwund beim Längsee wurde sofort mit dem Bau der Kanalisation im Einzugsgebiet des Sees begonnen und diese bereits 1986 beinahe fertiggestellt. Eine Tiefenwasserableitung ist beim Längsee geplant.

Die morphologischen Begebenheiten der Seen sind SAMPL et al. (1982) zu entnehmen, über den Längsee SAMPL (1972).

### **Bisherige limnologische Untersuchungen**

Die frühesten limnologischen Untersuchungen an den Seen wurden von Prof. FINDENEGG getätig. Ihm ist es zu verdanken, daß heute Vergleichsdaten für die Eutrophierungs- und Reoligotrophierungsprozesse vorhanden sind (FINDENEGG, 1932, 1933, 1934, 1935, 1937, 1938, 1947, 1953, 1954, 1962, 1965, 1971, 1972, 1973).

Im Rahmen österreichischer und internationaler Studienprogramme waren auch Kärntner Seen Gegenstand eingehender Untersuchungen (SCHULZ L. et al., 1984, und POLZER et al., 1983).

Seit 1970 werden die Seen im Zuge der Seengütekontrolle durch das Kärntner Institut für Seenforschung ständig untersucht (SAMPL, 1975, und SAMPL et al., 1976, 1977, 1978, 1979 und 1981).

### Epilimnische Algenbiomasse

Aufgrund der strengen thermischen Schichtung im Sommer, der damit verbundenen Nährstoffarmut und der Meromixis wirkte sich die Eutrophierung bzw. Reoligotrophierung im Oberflächenbereich der Seen nur sehr langsam aus. Dies war auch der Grund, daß die Badequalität der Seen trotz der Eutrophierung weitestgehend erhalten blieb.

Die epilimnische Algenbiomasse bewegte sich im Schnitt zwischen 0,7 und 1,7 g/m<sup>3</sup>. Dieser geringen Algenbiomasse im Epilimnion entsprach auch ein relativ niedriger Gesamtphosphorgehalt. Er war im Durchschnitt aller Untersuchungsjahre beim Keutschacher See 9 mg/m<sup>3</sup>, beim Klopeiner See und beim Längsee 11 mg/m<sup>3</sup>, beim Wörther See und Millstätter See 14 mg/m<sup>3</sup>, in 2 m Tiefe.

### Sichttiefe

Deutlicher zeigte sich die zunehmende Eutrophierung in einer Verringerung der Sichttiefe. So wurden am Höhepunkt der Eutrophierung in den Jahren 1970 bis 1974 minimale Werte von 0,9 m beim Millstätter See, 1,5 m beim Wörther See und Längsee, 2,0 m beim Keutschacher See und 2,2 m beim Klopeiner See gemessen.

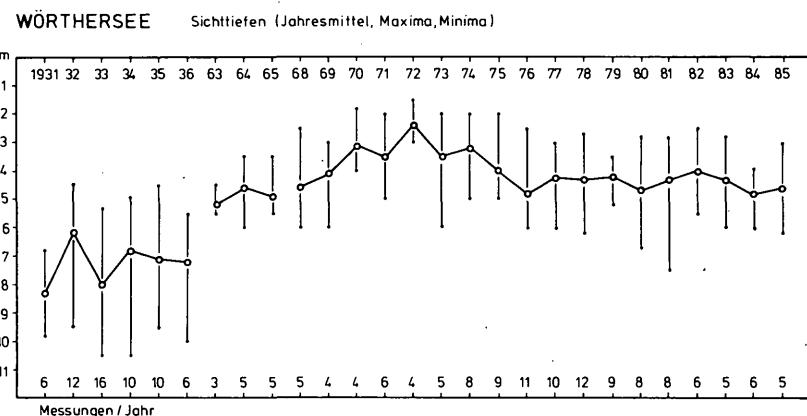


Abb. 2: Wörther See, Sichttiefe (Jahresmittel, Maxima, Minima).

Die Sichttiefen aller Seen haben sich überraschenderweise noch vor (Teil-) Fertigstellung der Kanalisation anlagen deutlich verbessert. Das war in den Jahren 1975/76. Ungefähr seit den letzten zehn Jahren hat sich die Sichttiefe beim Wörther See und beim Keutschacher See zwischen 4 und 5 m im Jahresdurchschnitt eingependelt, beim Millstätter See zwischen 5 und 6 m, beim Klopeiner See in den letzten vier Jahren zwischen 6 und 8 m und beim Längsee, obwohl er noch nicht saniert war, zwischen 4 und 7 m. Einzelne Sichttiefewerte beim Millstätter See waren so gut wie Werte in den dreißiger Jahren. Die Jahresdurchschnittswerte der Sichttiefe beim

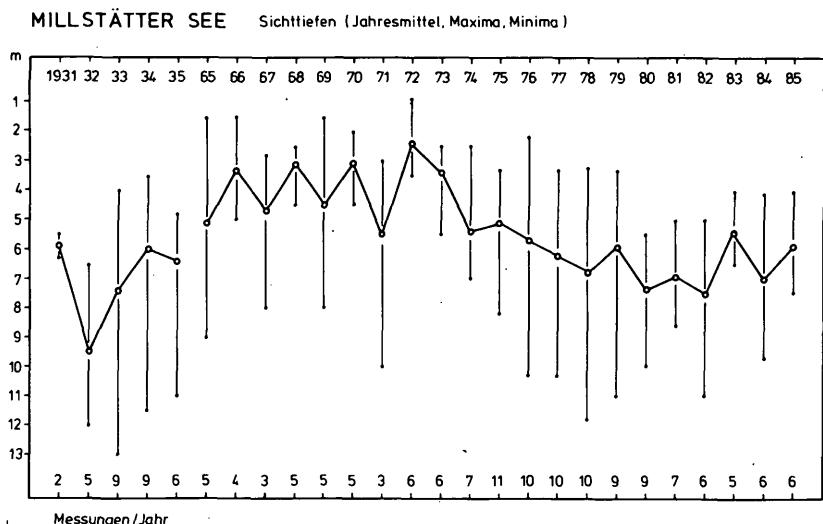


Abb. 3: Millstätter See, Sichttiefe (Jahresmittel, Maxima, Minima).

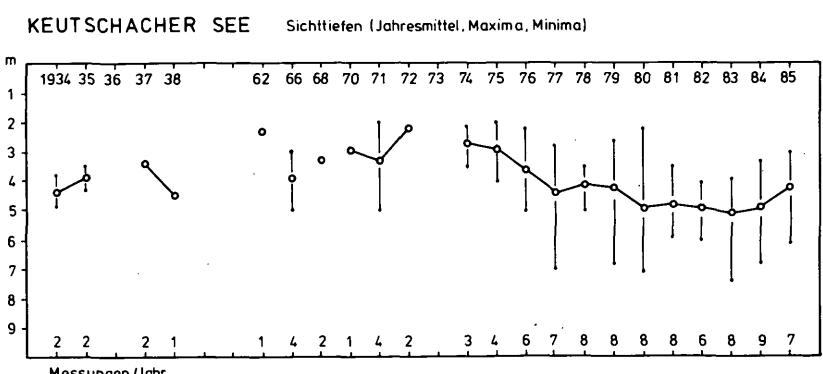


Abb. 4: Keutschacher See, Sichttiefe (Jahresmittel, Maxima, Minima).

Keutschacher See waren gleich wie die der Jahre vor der Eutrophierung. Beim Wörther See entsprachen nur Maximalwerte den Minimalwerten in den dreißiger Jahren. Der Längsee zeigte 1985 eine ausgezeichnete Sichttiefe. Das Ansteigen der Sichttiefe beim Längsee täuschte eine Verbesserung des Sees vor, die in keiner Weise wirklich gegeben war. (Dies dürfte mit dem Vorhandensein der Dinophyceen im Zusammenhang stehen, die trotz einer hohen Biomasse eine gute Sichttiefe zulassen.) (Abb. 2, 3, 4, 5, 6).

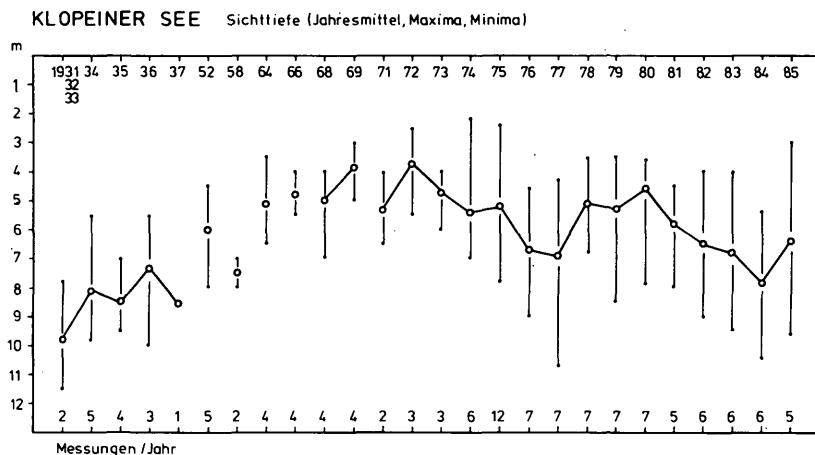


Abb. 5: Klopeiner See, Sichttiefe (Jahresmittel, Maxima, Minima).

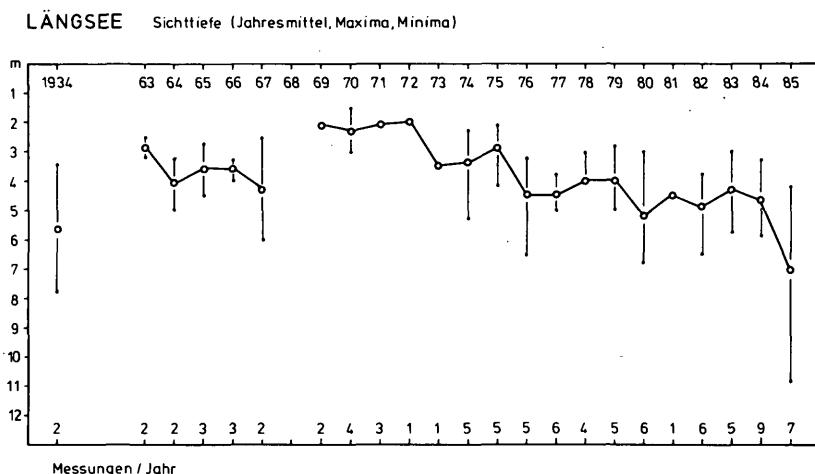


Abb. 6: Längsee, Sichttiefe (Jahresmittel, Maxima, Minima).

## ENTWICKLUNG DER BLAUALGEN

### Wörther See

Die eigentliche Reaktion auf die Nährstoffzufuhr zeigte sich beim Wörther See in einer Massenentwicklung von *Oscillatoria rubescens*.

Die 1909 im Wörther See von Dr. Roman PUSCHNIGG (FINDENEGG, 1973) erstmals beobachtete Blaualge *Oscillatoria rubescens* zeigt im Laufe des Jahres ein charakteristisches Verhalten: Während der Zirkulationsperioden im Frühjahr und im Herbst ist sie im ganzen Wasserkörper verteilt. Sie beginnt sich im Frühling aus dem Epilimnion zurückzuziehen, um dann im Sommer im Metalimnion eine mehr oder weniger mächtige Algenschicht zu bilden. So ist das Epilimnion während der Sommermonate relativ nährstoff- und planktongenarm. Als Beispiel ist in der Abbildung 7 die Vertikalverteilung der Phytoplankton- und *Oscillatoria*-biomasse im Laufe zweier Jahre dargestellt (Vergleich Abb. 1).

Zwischen 8 und 15 m entwickelte sich eine mächtige Schicht von *Oscillatoria rubescens*. Die höchste in einem Jahr gefundene *Oscillatoria*-menge ist ein guter Anzeiger für die Eutrophierung.

In der Abbildung 8 wurden die höchsten *Oscillatoria*-werte, die pro Jahr in einem bestimmten Monat und in einer bestimmten Tiefenstufe gefunden wurden, aufgetragen. Es konnte ein Anstieg der *Oscillatoria*-spitzenwerte bis zum Jahre 1975 beobachtet werden. In diesem Jahr wurde der höchste Wert im Juli in 12 m Tiefe gefunden. Er betrug 23,6 g/m<sup>3</sup>. Ein

WÖRTHERSEE

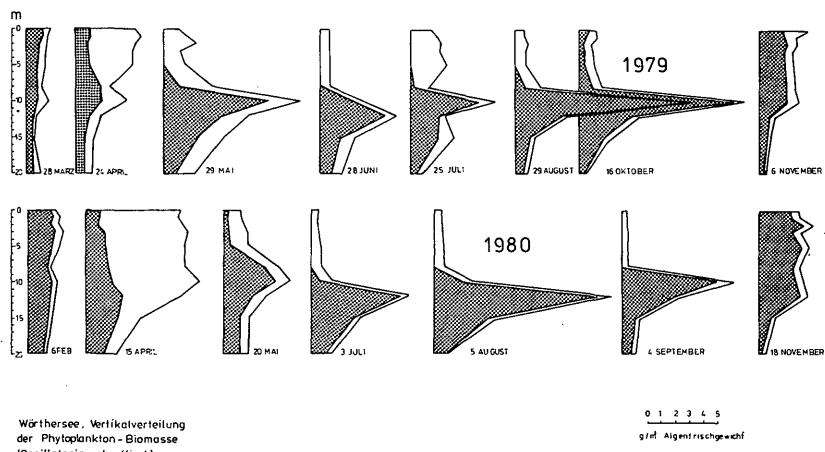


Abb. 7: Wörther See, Vertikalverteilung der Phytoplankton-Biomasse (*Oscillatoria*, schraffiert).

ähnlich hoher Wert wurde auch im Jahre 1981 festgestellt. Er wurde im Juni in 10 m Tiefe mit  $22 \text{ g/m}^3$  gemessen. Die anderen Werte schwankten ab 1976 zwischen 11 und  $18 \text{ g/m}^3$ .

Mit einer Massenentwicklung von *Oscillatoria rubescens* ist auch die gesamte Algenmenge unter  $1 \text{ m}^2$  Seefläche ab dem Jahre 1967 schlagartig angestiegen. Zu diesem Zeitpunkt hatte die Entwicklung des Fremdenverkehrs ihren ersten Höhepunkt erreicht. Betrug 1967 die durchschnittliche gesamte Algenmenge  $12 \text{ g/m}^2$ , so war sie im Jahre 1970 bereits auf  $29 \text{ g/m}^2$  und 1975 auf ca.  $53 \text{ g/m}^2$  angestiegen. Im Juli 1975 wurde der höchste Cyanophyceen-Biomassewert mit  $125,5 \text{ g/m}^2$  gefunden. Die Gesamtalgenmenge erreichte zu diesem Zeitpunkt den Wert von  $132 \text{ g/m}^2$ . Der Anteil der Cyanophyceen an der Gesamtbiomasse betrug 95%.

Nach einem Rückgang der Gesamtbiomasse im Jahre 1976 gab es 1977 einen neuerlichen Anstieg. Es wurde ein Gesamtbiomassewert von beinahe  $62 \text{ g/m}^2$  festgestellt, die Cyanophyceen-Biomasse betrug  $50 \text{ g/m}^2$ .

In den darauffolgenden Jahren ging die Gesamtbiomasse wie auch die Cyanophyceen-Biomasse zurück. Doch vom Jahre 1981 an gab es wiederum einen Anstieg an Cyanophyceen-Biomasse, die dann im Jahre 1983 mit  $52,5 \text{ g/m}^2$  ihren Höhepunkt erreichte. Im Jahre 1984 konnte die höchste Gesamtbiomasse überhaupt beobachtet werden. Sie betrug  $77 \text{ g/m}^2$ . Im Juni wurde eine Biomasse von  $140 \text{ g/m}^2$  festgestellt, die allerdings nur zu 50% auf Cyanophyceen-Biomasse zurückzuführen war. Die Kiesel-

WÖRTERSEE      *Oscillatoria* - Spitzenwerte in  $\text{g/m}^3$

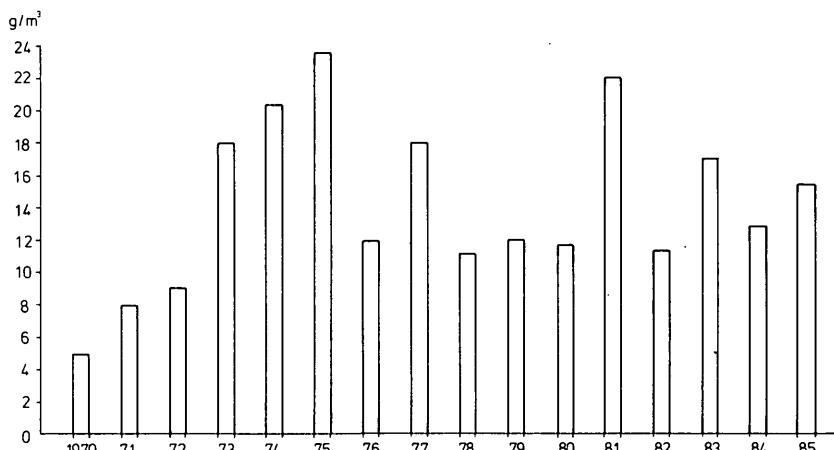


Abb. 8: Wörther See, Biomasse von *Oscillatoria rubescens* (größte im jeweiligen Jahr gemessene Biomasse).

algen traten hier besonders in Erscheinung. Erst im Jahre 1985 konnte ein allgemeiner Rückgang, sowohl an Gesamtbiomasse wie auch an Cyanophyceen-Biomasse beobachtet werden (Abb. 9).

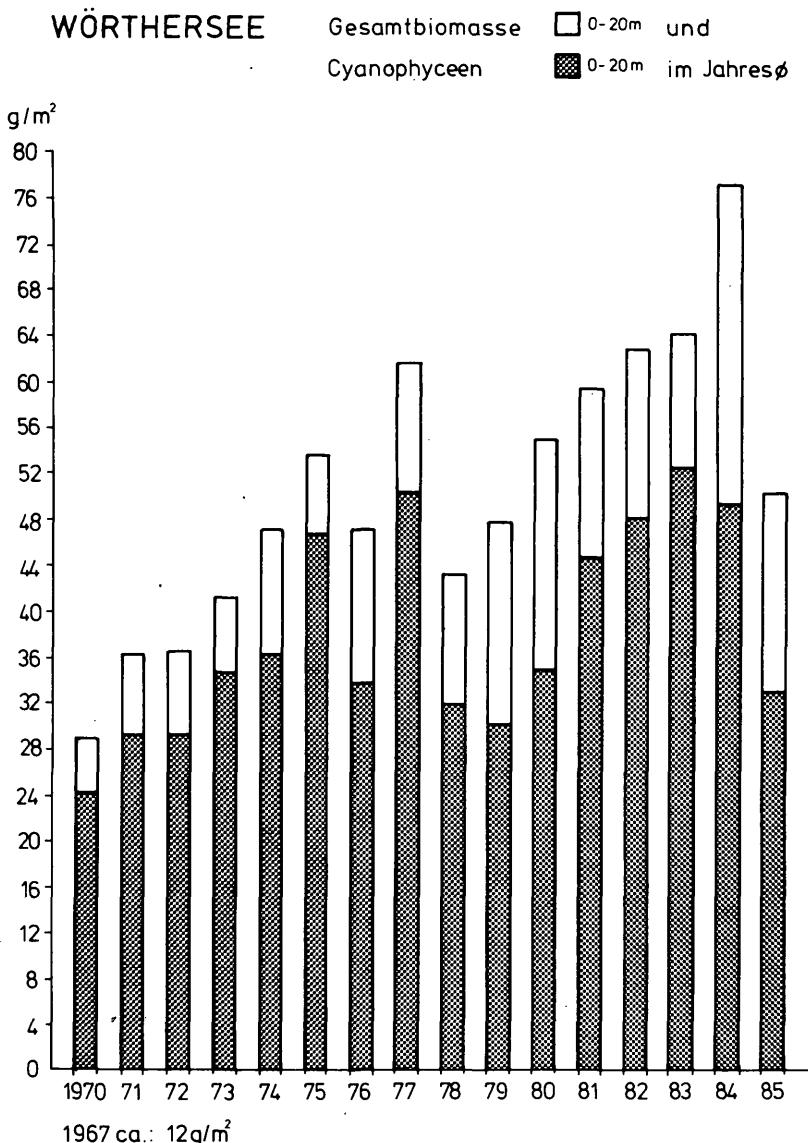


Abb. 9: Wörther See, Gesamt- und Cyanophyceen-Biomasse (Jahresdurchschnitt).

Die hohe Nährstoffzufuhr während der Eutrophierungsphase brachte neben dem schlagartigen Ansteigen der *Oscillatoriamengen* zugleich auch eine Ansammlung von Nährstoffen im stagnierenden Tiefenwasser des Wörther Sees. Durch eine naturgegebene stärkere Durchmischung des Sees können diese Nährstoffe dem Stoffkreislauf teilweise wieder zugeführt werden. So könnte auch der neuerliche Anstieg an *Oscillatoriabiomasse* erklärt werden.

Es schien interessant, mit welchem Anteil die Cyanophyceen an der Gesamtbiomasse beteiligt waren, und ob außer *Oscillatoria rubescens* noch andere Blaualgen auftraten und zu welchem Prozentsatz. Die Abbildung 10 veranschaulicht dies.

Bis zum Jahre 1977 fielen andere Blaualgenarten kaum ins Gewicht. Eine Ausnahme stellt das Jahr 1975 dar, wo der größte Prozentsatz an anderen Blaualgenarten gefunden wurde, und zwar im September, mit fast 10%.

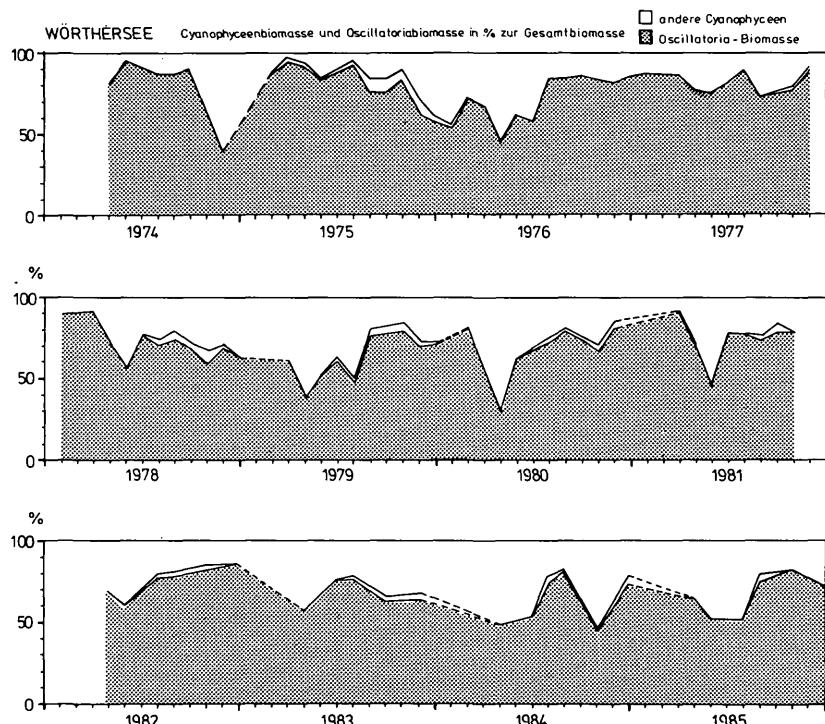


Abb. 10: Wörther See, Cyanophyceen- und Oscillatoria-Biomasse in % der Gesamtbiomasse.

Ab dem Jahr 1978 konnte man gewöhnlich ab Juli einen kleinen Prozentsatz an anderen Blaualgenarten beobachten. Das waren folgende Arten:

Artenliste der im Wörther See gefundenen Cyanophyceen:

**CYANOPHYTA**

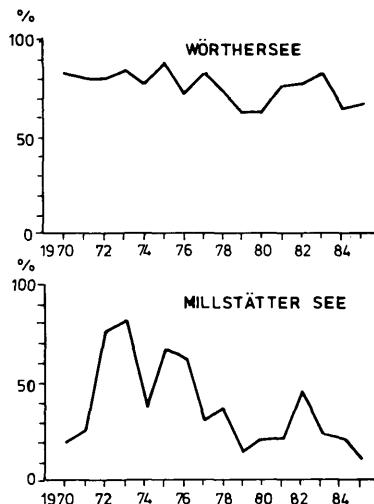
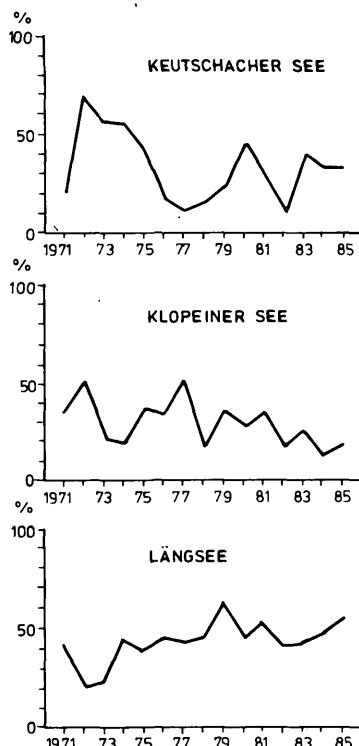
**CYANOPHYCEAE**

**Chroococcales:**

- Chroococcus limneticus*
- Chroococcus minutus*
- Chroococcus turgidus*
- Gomphosphaeria lacustris*
- Radiocystis geminata*
- Coelosphaerium kuetzingianum*
- Microcystis aeruginosa*
- Dactylococcopsis smithii*
- Aphanocapsa delicatissima*
- Aphanocapsa elachista*
- Aphanothecce clathrata*

**Oscillatoriales:**

- Oscillatoria rubescens*
- Anabaena flos aquae*
- Anabaena f. circinalis*
- Anabaena sp.*
- Lyngbya limnetica*
- Aphanizomenon flos aquae*



% Cyanophyceen an  
der Gesamtbiomasse  
Jahresdurchschnitt

Abb. 11: Anteil der Cyanophyceen an der Gesamtbiomasse (Jahresdurchschnitt).

Der Anteil der Cyanophyceen lag in den Jahren 1970 bis 1985 zwischen 63% und 87% (Abb. 11).

Trotz der hohen Beteiligung der Blaualgen am Aufbau der Biomasse konnte ein relativer Rückgang der Cyanophyceen – und damit an *Oscillatoria rubescens* – um 20% seit dem Höhepunkt der Eutrophierung festgestellt werden. Dies ist sicherlich auf die bereits weitgehende Sanierung des Sees zurückzuführen.

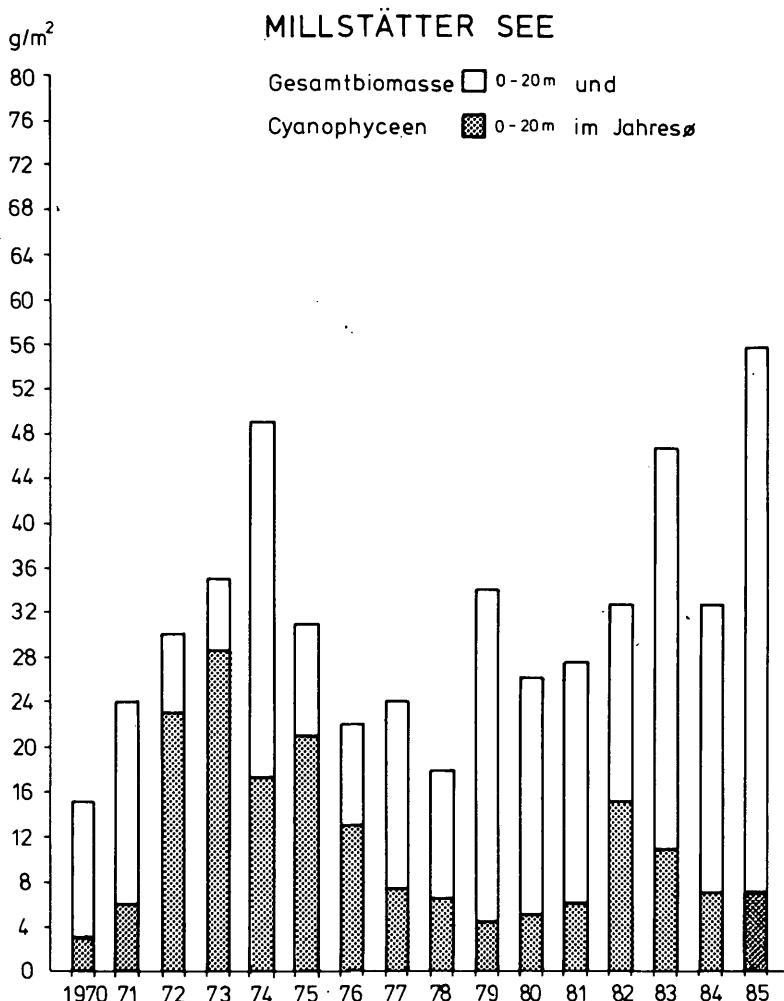


Abb. 12: Millstätter See, Gesamt- und Cyanophyceen-Biomasse (Jahresdurchschnitt).

Da aber die theoretische Wassererneuerungszeit des Wörther Sees mit 9,5 Jahren sehr lange ist, können limnologische Veränderungen nur langsam eintreten.

### Millstätter See

Während der Eutrophierungsphase stieg die Gesamtbiomasse schlagartig an und erreichte im Jahre 1974 ihren Höhepunkt mit  $49 \text{ g/m}^2$  Seefläche. Die Cyanophyceen-Biomasse hatte bereits im Jahre 1973 ihr Maximum mit etwas mehr als  $28 \text{ g/m}^2$  im Jahresdurchschnitt. Das Jahr 1974 zeigte einen Rückgang der *Oscillatoria*-Biomasse, aber zugleich einen Anstieg an Kieselalgen (*Asterionella* und *Fragilaria*). Bis zum Jahre 1978 gab es einen Rückgang sowohl an *Oscillatoria* als auch an Gesamtbiomasse. Im Jahre 1979 gelangten durch starke Niederschläge Nährstoffe in den See, wodurch die Gesamtalgenbiomasse auf  $34 \text{ g/m}^2$  anstieg. 1985 wurde die bisher höchste Gesamtbiomasse gemessen ( $55,6 \text{ g/m}^2$ ), bedingt durch eine starke Vermehrung der Kieselalgen (*Synedra ulna*) im April. Aus der Abbildung 12 kann die Gesamt- und die Cyanophyceen-Biomasse im Jahresdurchschnitt ersehen werden.

Die größte im Jahr gemessene Biomasse an *Oscillatoria rubescens* wurde im Juni 1973 in 10 m Tiefe gefunden. Sie wurde mit  $11,7 \text{ g/m}^3$  berechnet. Eine größere Oscillatoriadichte fand sich auch im Jahre 1974 mit  $10,4 \text{ g/m}^3$  und im Jahre 1982 mit ca.  $8,5 \text{ g/m}^3$ . Die *Oscillatoria*-Spitzenwerte

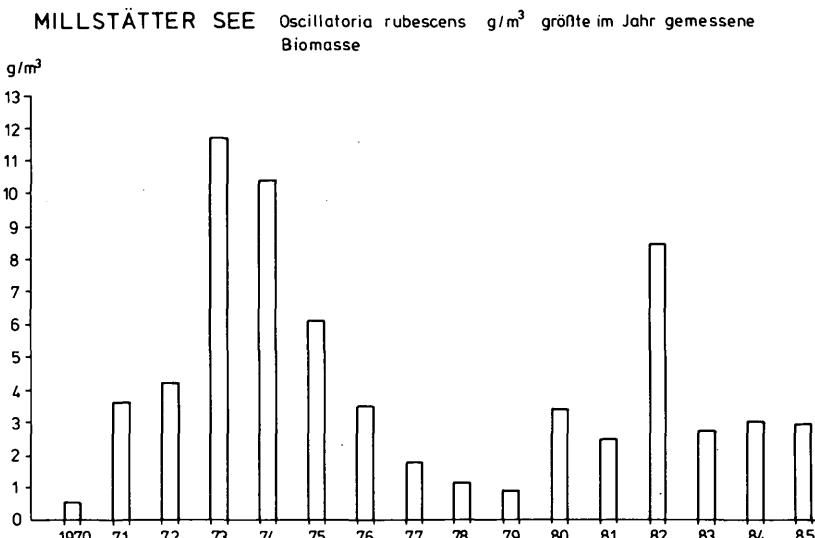


Abb. 13: Millstätter See, Biomasse von *Oscillatoria rubescens* (größte im jeweiligen Jahr gemessene Biomasse).

schwankten in den anderen Jahren zwischen 0,5 und 6,1 g/m<sup>3</sup>, und damit war die *Oscillatoriadichte* bei weitem geringer als im Wörther See (Abbildung 13).

Ähnlich wie beim Wörther See begannen sich in der Mitte des Sommers auch andere Blaualgen, außer *Oscillatoria rubescens*, zu vermehren. Ihr Anteil war im Oktober 1978 mit fast 60% höher als beim Wörther See (Max. 10%). Daran waren vor allem die Arten *Chroococcus limneticus* und *Gomphosphaeria lacustris* beteiligt (siehe Artenliste). Der höchste Anteil der Cyanophyceen an der Gesamtbiomasse wurde im Juli 1973 mit 98,5% beobachtet. Zu diesem Zeitpunkt war es nur *Oscillatoria rubescens*, die am Aufbau der Biomasse beteiligt war. Im Jahresdurchschnitt waren 1973 die Cyanophyceen mit 82% am Aufbau der Biomasse beteiligt. Der niedrigste Wert wurde im Oktober 1980 mit 3,1% gefunden.

Artenliste der im Millstätter See gefundenen Cyanophyceen:

**CYANOPHYTA**

**CYANOPHYCEAE**

**Chroococcales:**

*Chroococcus limneticus*  
*Chroococcus turgidus*  
*Gomphosphaeria lacustris*  
*Gomphosphaeria naegeliana*  
*Microcystis* sp.  
*Aphanocapsa delicatissima*  
*Aphanothecae clathrata*

**Oscillatoriales:**

*Oscillatoria rubescens*  
*Oscillatoria agardhii*  
*Aphanizomenon* sp.  
*Anabaena flos aquae*  
*Anabaena spiroides*  
*Anabaena solitaria*  
*Pseudoanabaena catenata*

Die prozentuelle Beteiligung der Cyanophyceen an der Gesamtbiomasse im Jahresdurchschnitt zeigte seit den Jahren 1972/73 eine abnehmende Tendenz, d. h., also nach der großen Invasion der *Oscillatoria rubescens* zur Zeit des Höhepunktes der Eutrophierung des Millstätter Sees, waren die Cyanophyceen immer weniger am Aufbau der Biomasse beteiligt. Der prozentuelle Anteil der Cyanophyceen an der Biomasse im Jahre 1970 war gleich wie der im Jahre 1984, nämlich fast 20%, sank aber 1985 auf 13%. Der Durchschnitt aller Jahre betrug ca. 37%; das ist die Hälfte des Anteiles der Cyanophyceen an der Biomasse beim Wörther See (Abbildung 11).

Die 1968 begonnene dauerhafte Sanierung des Sees – einerseits durch den Ausbau ausgedehnter Kanalisationssanlagen, andererseits durch die Maßnahmen der magnesitverarbeitenden Industrie in Radenthein – brachte eine rasche limnologische Verbesserung des Millstätter Sees mit sich. Durch das Fernhalten vor allem des eutrophierenden Phosphors ist ein Reoligotrophierungsprozeß im See eingeleitet worden (SAMPL et al., 1982).

Starke Regenfälle können allerdings Nährstoffe in größeren Mengen von den fruchtbaren Böden des Einzugsgebietes abschwemmen und über die Zuflüsse in den Millstätter See einbringen. Dadurch kann es kurzzeitig zu stärkerem Algenwachstum kommen, zuerst vor allem im Epilimnium. Auch die Sichttiefe würde dadurch zeitweise verringert werden.

## Keutschacher See

Aus dem westlichen Einzugsgebiet gelangten große Mengen nährstoffreicher Abwässer vor allem über den Schieflinger Bach in den Hafnersee. Dieser ist dem Keutschacher See wie ein Klär- und Sammelbecken vorgeschaltet. Dadurch wurde eine schnellere Eutrophierung des Keutschacher Sees verhindert (POLZER et al., 1983).

Auch beim Keutschacher See wirkte sich die Nährstoffbelastung in der Tiefe aus. Zwischen 8 und 12 m kam es zu einer zeitweilig sehr starken Vermehrung der *Oscillatoria rubescens*, die bereits 1930 im Keutschacher See beobachtet wurde (FINDENEGG, 1973). Die Abbildung 14 läßt erkennen, daß im Jahre 1974 eine sehr starke Vermehrung von *Oscillatoria* aufgetreten ist. Die Biomasse betrug  $14,9 \text{ g/m}^3$  (Vergleich Millstätter See, max. Biomasse im Jahre 1973 mit  $11,7 \text{ g/m}^3$ ). Dieser hohe *Oscillatoria*-Biomassewert wurde im Juli 1974 in 10 m Tiefe gefunden. 1983 war nochmals eine größere *Oscillatoria*-Spitze zu beobachten. Sie trat im September in 12 m Tiefe mit  $9,3 \text{ g/m}^3$  auf und war wahrscheinlich eine Folge der langen Schönwetterperiode in diesem Sommer.

Hohe *Oscillatoria*-Werte in der Tiefe machten sich auch in einer hohen Gesamtbiomasse im Jahresdurchschnitt bemerkbar. So wurde 1974 eine

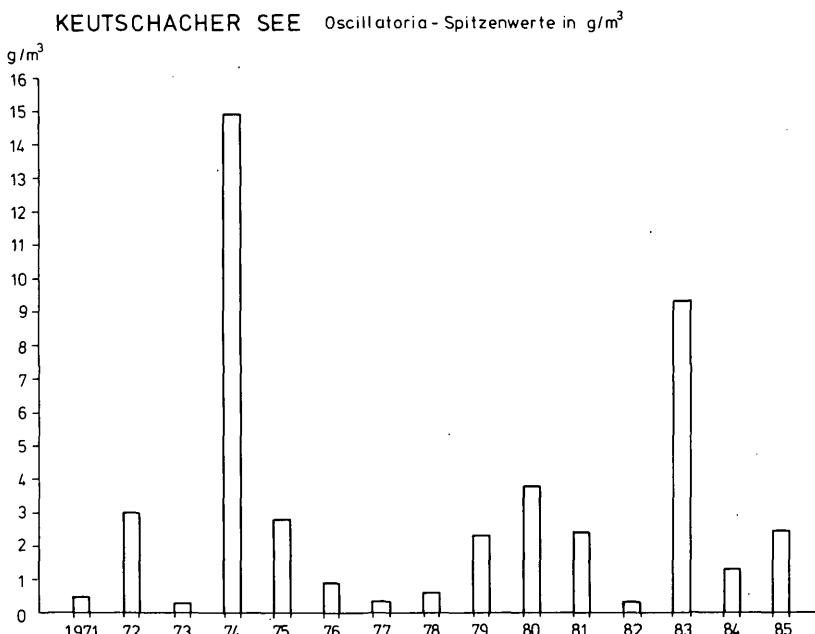


Abb. 14: Keutschacher See, Biomasse von *Oscillatoria rubescens* (größte im jeweiligen Jahr gemessene Biomasse).

Gesamtbiomasse unter 1 m<sup>2</sup> Seefläche von 40 g gefunden. 55% dieser Biomasse wurden von Cyanophyceen gebildet. Durch ein Hochwasser im Frühjahr 1975 kam es zur Ausschwemmung und Sedimentation von Algen, wodurch eine vorübergehende Besserung des Sees eintrat. Die Gesamtbiomasse im Jahresdurchschnitt ist 1979 noch einmal angestiegen,

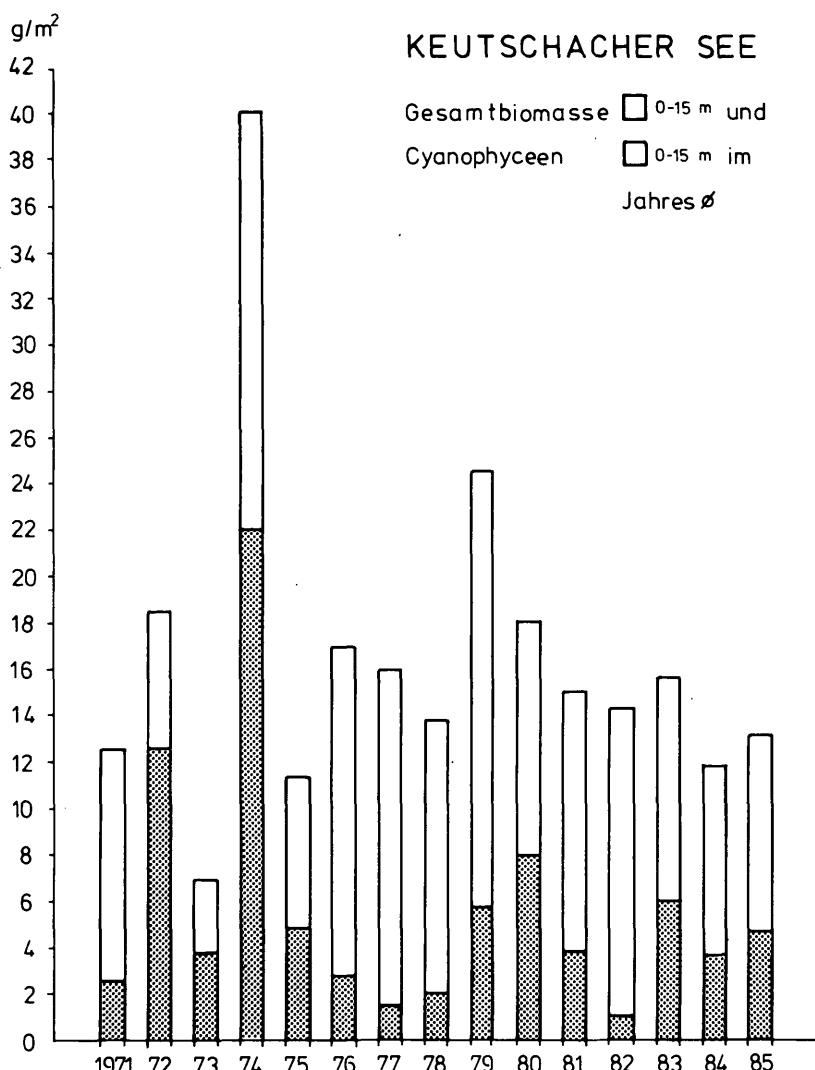


Abb. 15: Keutschacher See, Gesamt- und Cyanophyceen-Biomasse (Jahresdurchschnitt).

und zwar auf 24,6 g/m<sup>2</sup>, zeigte aber in den folgenden Jahren eine abnehmende Tendenz.

Die Cyanophyceen-Biomasse im Jahresdurchschnitt schwankte seit 1975 zwischen 1,1 g/m<sup>2</sup> im Jahre 1982 und 7,9 g/m<sup>2</sup> im Jahre 1980 (Durchschnitt 4 g/m<sup>2</sup>). In Abbildung 15 sind die Gesamtbiomassen und Cyanophyceen-Biomassen im Jahresdurchschnitt dargestellt.

Auch im Keutschacher See konnte beobachtet werden, daß ab Mitte des Sommers neben *Oscillatoria rubescens* auch andere Cyanophyceen am Aufbau der Biomasse beteiligt waren. Der höchste Anteil (68%) wurde im August 1977 gefunden.

Die im Keutschacher See festgestellten Cyanophyceen sind aus der Artenliste zu ersehen.

#### Artenliste der im Keutschacher See gefundenen Cyanophyceen:

##### CYANOPHYTA

##### CYANOPHYCEAE

###### Chroococcales:

- Gomphosphaeria lacustris*
- Gomphosphaeria pusilla*
- Chroococcus limneticus*
- Aphanocapsa elachista*
- Aphanocapsa delicatissima*
- Microcystis aeruginosa*
- Microcystis wesenbergii*
- Microcystis incerta*
- Aphanothece clathrata*
- Aphanothece stagnina*
- Synechococcus linearis*
- Merismopedia elegans*
- Gloeothecce* sp.
- Coelosphaerium kuezingianum*
- Dactylococopsis smithii*
- Synechocystis limnetica*
- Radiocystis geminata*

###### Oscillatoriales:

- Oscillatoria rubescens*
- Anabaena flos aquae*
- Anabaena solitaria*
- Aphanizomenon* sp.
- Spirulina* sp.
- Lyngbya* sp.
- Pseudoanabaena catenata*

Der Prozentanteil der Cyanophyceen an der Gesamtbiomasse war im Durchschnitt aller Jahre 32%. Der höchste Anteil von 68% wurde im Jahr 1972 registriert, der niedrigste 1982 mit 8%.

Es läßt sich erkennen, daß während des Höhepunktes der Eutrophierung zwischen 1972 und 1975 auch hohe Prozentsätze an Cyanophyceen zu finden waren (68 bis 42%). Seit dem Jahr 1972 ist der Prozentsatz an Cyanophyceen auf etwa die Hälfte herabgesunken (von 68% auf 31%), (Abb. 11).

Seit Fertigstellung der Kanalisationen anlagen war eine kontinuierliche Abnahme der Algenmengen zu beobachten. Es waren jedoch die Cyanophyceenmengen, wahrscheinlich witterungsbedingt, stärkeren Schwankungen unterworfen.

## Klopeiner See

Die Gesamt- und Cyanophyceen-Biomasse in der Wassersäule von 0–20 m war im Jahresmittel starken Schwankungen unterworfen. Vergleicht man die Jahre vor der Fertigstellung der Kanalisation mit den Jahren danach, so kann man erkennen, daß die Gesamtbiomasse in den Jahren 1971 bis 1979 14 g/m<sup>2</sup> im Durchschnitt betrug, in den Folgejahren jedoch 21 g/m<sup>2</sup>. Die Cyanophyceen-Biomasse war aber in beiden Abschnitten gleich (4,5 g/m<sup>2</sup>). Es scheint also, daß die Eutrophierungsphase ihre Nachwirkung hatte. Allerdings war die Erhöhung der Gesamtbiomasse

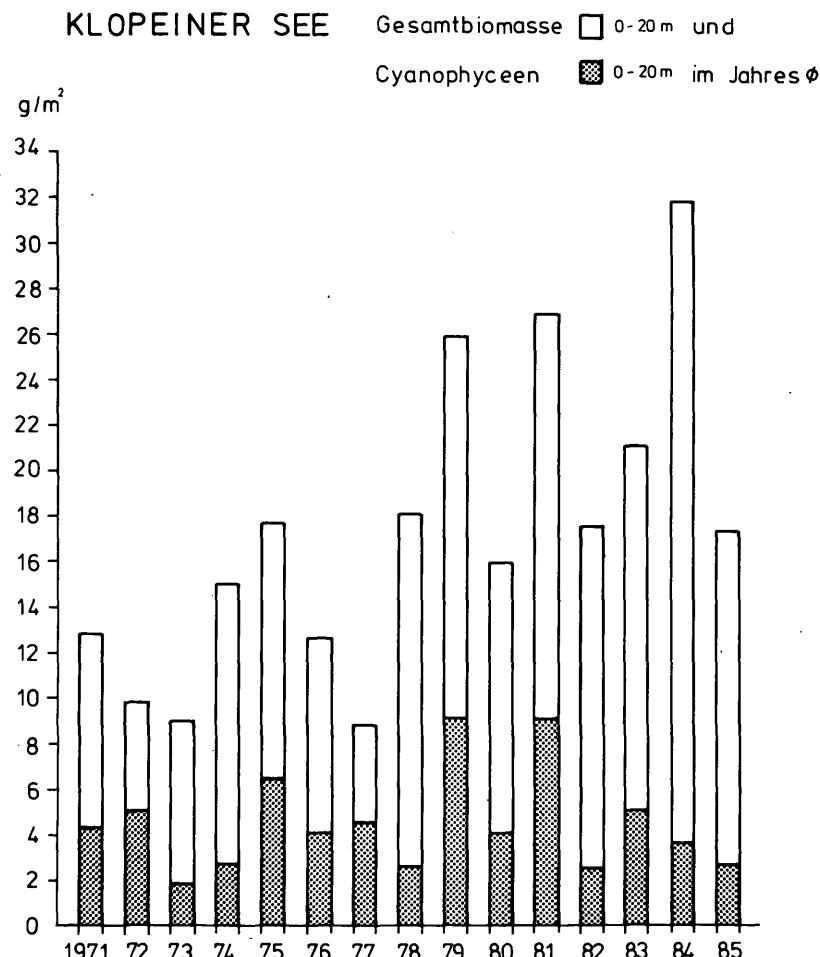


Abb. 16: Klopeiner See, Gesamt- und Cyanophyceen-Biomasse (Jahresdurchschnitt).

masse nicht auf eine Vermehrung der Cyanophyceen zurückzuführen, da deren Biomasse gleichgeblieben ist. Es haben sich nun andere Algengruppen stärker vermehrt, wie z. B. die Dinophyceen (Abbildung 16).

Am stärksten betroffen von der Eutrophierung war das Hypolimnion, und zwar durch die Vergrößerung des sauerstoff-freien Bereiches nach oben hin. Im Jahr 1931 wurde in 15 m Tiefe ein Sauerstoffgehalt von über 11 mg/l gefunden. 1972 und auch 1980 waren in dieser Tiefe weniger als 0,5 mg/l Sauerstoff vorhanden. Aufgrund des starken Sauerstoffschwundes wurde 1975 eine Tiefenwasserableitung installiert (SAMPL et al., 1982). Seit 1981 zeigte sich ein kleiner Erfolg dieser Maßnahme. So wurden 1981 und 1982 am Ende der Sommerstagnation in 15 m Tiefe fast 4 mg/l Sauerstoff gemessen. 1983 stieg der Wert auf 6,5 mg/l. Der Sauerstoffgehalt ist aber 1985 wieder auf 2,2 mg/l gesunken (Abbildung 17).

Artenliste der im Klopeiner See gefundenen Cyanophyceen:

**CYANOPHYTA**

**CYANOPHYCEAE**

**Chroococcales:**

- Gomphosphaeria lacustris*  
*Chroococcus limneticus*  
*Aphanocapsa delicatissima*  
*Microcystis aeruginosa*  
*Dactylococcopsis smithii*

**Oscillatoriales:**

- Oscillatoria rubescens*  
*Anabaena flos aquae*  
*Anabaena sp.*  
*Aphanizomenon flos aquae*  
*Lyngbya limnetica*

## KLOPEINER SEE

Sauerstoff am Ende der Sommerstagnation

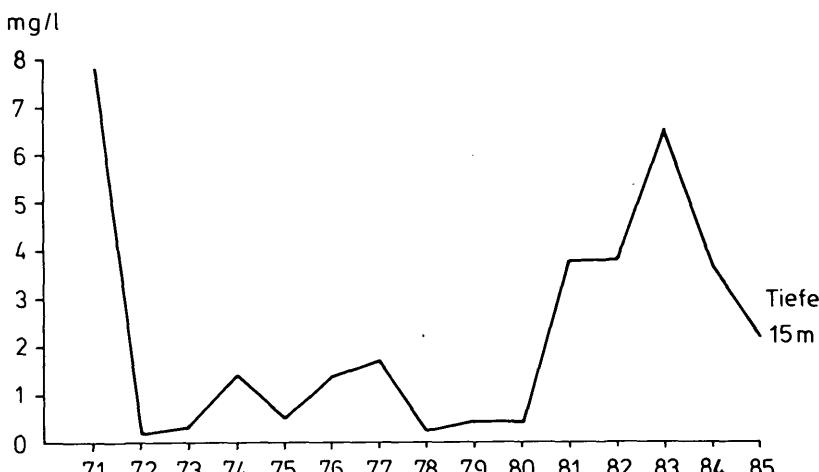


Abb. 17: Klopeiner See, Sauerstoffgehalt am Ende der Sommerstagnation in 15 m Tiefe.

Trotz der Zunahme der Gesamtbiomasse konnte eine prozentuelle Abnahme der Cyanophyceen an der Gesamtbiomasse beobachtet werden. Betrug der Prozentsatz an Cyanophyceen im Jahre 1972 noch 52%, so ist er 1985 auf 15% gesunken, das ist also weniger als ein Drittel (Abb. 11).

Da vereinzelt höhere Algenmengen im Epilimnion gefunden wurden und auch die Gesamtbiomasse eher angestiegen ist, ist es notwendig, den See weiterhin limnologisch zu beobachten und ihn möglichst keiner weiteren Phosphorbelastung auszusetzen. Wegen seiner äußerst geringen Durchflutung braucht der See zu seiner Wiederherstellung in den tieferen Wasserschichten sicherlich noch sehr lang.

### Längsee

Der Längsee ist einer der seichtesten bisher bekannten meromiktischen Seen. Er wird nur bis 15 m Tiefe durchmischt, ein etwa 6 m mächtiger Tiefenbereich (Monimolimnion) bleibt in dauernder Stagnation. In diesem Bereich sammeln sich große Nährstoffmengen, insbesondere Phosphor und Ammonium, die jedoch wegen der Stagnation von hier nicht mehr in den biologischen Kreislauf eingreifen können.

Auf das Epilimnion folgt nach der Tiefe zu eine auf wenige Tiefenmeter zusammengedrängte Sprungschicht, in der sich während des Sommers gewaltige Mengen von *Oscillatoria rubescens* vorfinden, und zwar etwa zwischen 8 und 12 m. Knapp darunter beginnt sogleich der sauerstoffleere Raum, an dessen Obergrenze Massen von Schwefelbakterien leben (SAMPL, 1972).

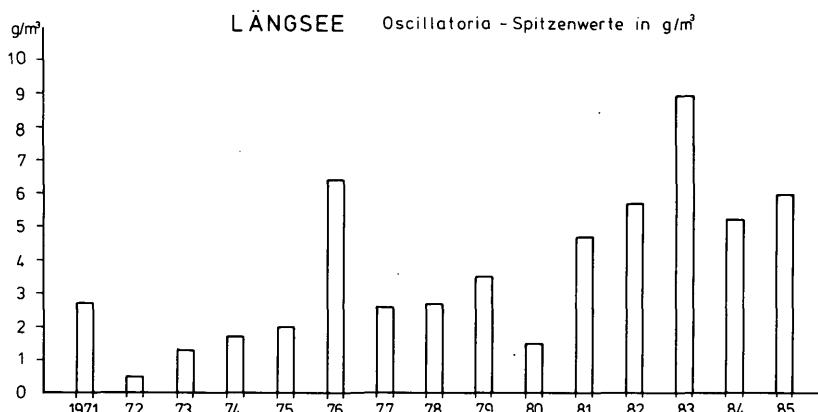


Abb. 18: Längsee, Biomasse von *Oscillatoria rubescens* (größte im jeweiligen Jahr gemessene Biomasse).

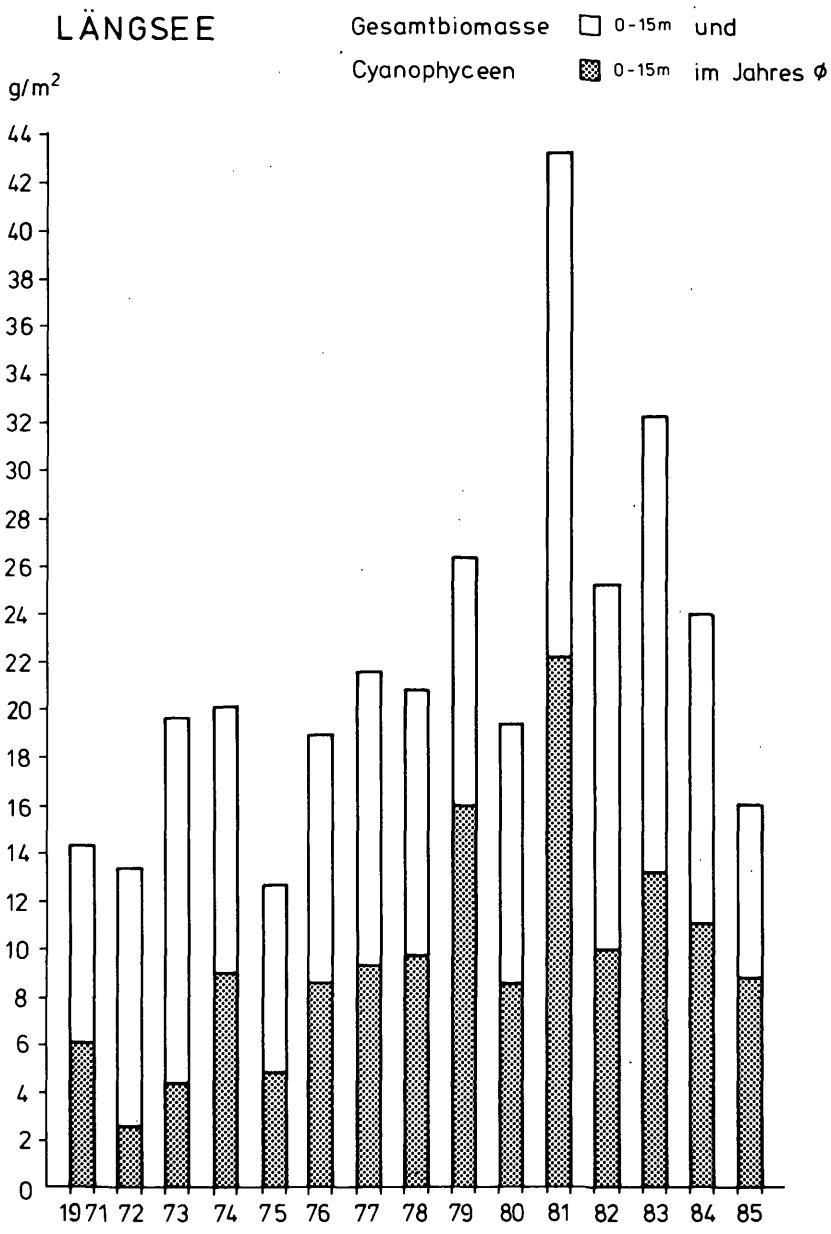


Abb. 19: Längsee, Gesamt- und Cyanophyceen-Biomasse (Jahresdurchschnitt).

Die eigentlichen Eutrophierungserscheinungen zeigten sich in der Tiefe des Sees. Zwischen 8 und 10 m kam es zu einer von Jahr zu Jahr stärkeren Entwicklung von *Oscillatoria rubescens*. Die größte *Oscillatoria*-Biomasse wurde im Jahre 1983 im August in 10 m Tiefe mit 8,9 g/m<sup>3</sup> gefunden. Die Abbildung 18 zeigt die zunehmende Tendenz der *Oscillatoria*-Spitzen.

Die zunehmende *Oscillatoria*-Dichte machte sich auch in der Gesamt- und Cyanophyceen-Biomasse im Jahresmittel bemerkbar. Die Gesamtalgenmenge stieg von 1971 von 14,4 g/m<sup>3</sup> auf 32,3 g/m<sup>3</sup> im Jahre 1983. Die hohe Gesamtbiomasse von 43,3 g/m<sup>3</sup> im Jahre 1981 beruhte nur auf zwei Messungen im Juli und August, und könnte deshalb ausgeklammert werden. Die Cyanophyceen-Biomasse schwankte zwischen 5 und 16 g/m<sup>2</sup> (1981 22 g/m<sup>2</sup>), (Abbildung 19).

Beim Längsee traten andere Blaualgenarten, außer *Oscillatoria rubescens*, kaum in Erscheinung. Im Juni 1980 wurde der höchste Prozentsatz an anderen Blaualgen gefunden (56%). Zu diesem Zeitpunkt trat vor allem *Gomphosphaeria lacustris* auf.

Der Anteil der Cyanophyceen an der Gesamtbiomasse ist von 1971 bis 1985 um ca. 25% gestiegen. Diese zunehmende Tendenz lässt sich aus der Abbildung 11 recht gut erkennen.

Ausgelöst durch ein extremes Witterungsgeschehen, kam es im Winter 1984 zu einem fast vollständigen Sauerstoffschwund im See. Damit dürfte sich der See selbst verbessert haben. Die abgestorbenen Algenmengen sind, gleichsam wie in einer Falle, in den Tiefenbereich des Sees abgesunken und sind damit dem biologischen Kreislauf entzogen.

Bei fortschreitender Nährstoffbelastung des Sees würde sich dieser Vorgang sicherlich öfters wiederholen. Es bestünde somit die Gefahr weiterer Fischsterben. Deshalb war es wichtig, den Bau der Kanalisationen anlagen sofort in Angriff zu nehmen und damit den Eutrophierungsvorgang zu bremsen.

#### Artenliste der im Längsee gefundenen Cyanophyceen:

##### CYANOPHYTA

##### CYANOPHYCEAE

###### *Chroococcales:*

- Microcystis aeruginosa*
- Microcystis* sp.
- Gomphosphaeria lacustris*
- Aphanocapsa delicatissima*
- Aphanocapsa elachista*
- Chroococcus minutus*
- Chroococcus* sp.
- Synechocystis* sp.
- Synechococcus* sp.
- Merismopedia f. glauca*

###### *Oscillatoriales:*

- Oscillatoria rubescens*
- Anabaena flos aquae*
- Anabaena* sp.
- Aphanizomenon flos aquae*
- Lyngbya limnetica*
- Pseudoanabaena catenata*

## VERGLEICHENDE ZUSAMMENFASSUNG UND DISKUSSION

Die deutlichsten Eutrophierungserscheinungen zeigten sich in der Tiefe der Seen. Zwischen 8 und 15 m entwickelte sich eine mächtige Schicht von *Oscillatoria rubescens*. Die höchste in einem Jahr gefundene *Oscillatoria*-menge ist ein guter Anzeiger für die Eutrophierung. Die höchsten *Oscillatoriaspitzen* wurden in den Jahren 1973 und 1975 beim Millstätter See, Keutschacher See und Wörther See gefunden, beim Längsee im Jahr 1983. Sie stimmen mit dem Höhepunkt der Eutrophierung überein. Die größte *Oscillatoriamenge* trat beim Wörther See mit 24 g/m<sup>3</sup>, beim Keutschacher See mit 15 g/m<sup>3</sup>, beim Millstätter See mit 12,0 g/m<sup>3</sup> und beim Längsee mit 9 g/m<sup>3</sup> auf.

Die starke Massenentwicklung von *Oscillatoria rubescens* bewirke einen Anstieg der gesamten Algenmenge unter 1 m<sup>2</sup> Seefläche. Vergleicht man die Algenbiomasse der Jahre vor der Fertigstellung der Kanalisation mit den Jahren nach ihrer Fertigstellung, so kommt man zu folgendem Ergebnis: Nur beim Keutschacher See gingen sowohl Gesamtbiomasse wie auch Cyanophyceenbiomasse zurück. Beim Millstätter See stieg die Gesamtbiomasse an, während die Cyanophyceenbiomasse zurückging. Auch beim Klopeiner See gab es einen Anstieg an Gesamtbiomasse, die Cyanophyceenbiomasse blieb gleich. Im Wörther See ist sowohl die Gesamtbiomasse wie auch die Cyanophyceenbiomasse angestiegen.

Beim Längsee fiel ab 1979 ein neuerlicher Anstieg an Gesamt- und Cyanophyceenbiomasse auf. Beim Vergleich der Jahre 1971 bis 1978 und der Jahre 1979 bis 1985 lässt sich erkennen, daß die Gesamtbiomasse um 1,5, die Cyanophyceenbiomasse auf das Doppelte angestiegen ist.

Da bei allen Seen 1979 im Jahresdurchschnitt eine höhere Biomasse gefunden wurde, ist anzunehmen, daß dies auf witterungsbedingte Einwirkungen zurückzuführen ist. Bei den meromiktischen Seen könnten durchaus durch stärkere Windeinwirkung Nährstoffe aus dem sonst stagnierenden Bereich in den Stoffkreislauf gekommen sein und in der Folge ein stärkeres Algenwachstum ausgelöst haben. Beim holomiktischen Keutschacher See ist die Biomasse wieder sogleich nach 1979 zurückgegangen.

Neben *Oscillatoria rubescens* spielten andere Cyanophyceen nur eine untergeordnete Rolle. Ab Mitte des Sommers ließen sich auch diese in geringem Ausmaß beobachten.

Im Durchschnitt aller untersuchten Jahre bildeten die Cyanophyceen mit folgendem Prozentsatz die Gesamtbiomasse: 76% beim Wörther See, ca. 42% beim Längsee, 37% beim Millstätter See, 32% beim Keutschacher See und 28% beim Klopeiner See. Die höchsten Prozentsätze wurden zur Zeit des Höhepunktes der Eutrophierung gefunden (1972 bis 1975). Beim Längsee wurde im Jahr 1979 der höchste Anteil mit 60% festgestellt.

Seit dem Höhepunkt der Eutrophierung ist der prozentuelle Anteil an Cyanophyceen bei allen Seen zurückgegangen. Beim Millstätter See war der Rückgang 85%, beim Klopeiner See 71%, beim Keutschacher See 46% und beim Wörther See nur 20%. Der Anteil der Cyanophyceen an der Gesamtbiomasse ist beim Längsee seit dem Jahre 1971 um 25% angestiegen. Selbst im Jahre 1985, das eine geringe Biomasse aufwies, ist der prozentuelle Gehalt der Cyanophyceen angestiegen (Abbildung 11).

Die Menge an Cyanophyceen gilt als Anzeiger des Eutrophierunggrades. Die Entwicklung der Cyanophyceen in diesen fünf Seen zeigt einerseits die Eutrophierung eindeutig an, andererseits aber auch in den bereits längerfristig sanierten Seen den Reoligotrophierungsprozeß. Wenn auch nur in zwei Seen bis jetzt ein absoluter Rückgang der Cyanophyceen zu verzeichnen war, so zeigt doch ihr relativer Rückgang – teilweise mit sehr hohen Prozentsätzen – die Auswirkung der Sanierung der Seen an. Da die Durchflutung eines Sees für limnologische Veränderungen eine große Rolle spielt, werden Verbesserungen der schwach durchfluteten Seen nur langsam eintreten. Vor allem ist es wichtig, daß der See möglichst keiner weiteren Phosphorbelastung ausgesetzt wird, denn im zunehmenden Maße wird ein See nicht nur dem Fremdenverkehr und Erholungszwecken dienen, sondern die Funktion eines großen Trinkwasserreservoirs übernehmen. Im Trinkwasser jedoch haben Cyanophyceen keinen Platz.

## BEDEUTUNG DIESER ARBEIT

Erst die Langzeitbeobachtung der Natur, in diesem Fall der Seen, läßt es zu, daß Aussagen getroffen werden können über Gütezustand und Entwicklung, und ob Maßnahmen, wie die Seensanierung, Erfolg gebracht haben oder nicht.

Chemische Parameter zeigen den momentanen Zustand eines Sees an, Zusammensetzung und Menge des Phytoplanktons jedoch geben darüber Auskunft, wie ein See auf alle ihn beeinflussenden Faktoren reagiert, und in welchem limnologischen Zustand er sich befindet.

Die Blaualgen selbst sind zur Zeit der Überdüngung der Seen unangenehm in Erscheinung getreten, so daß der Fremdenverkehr, der für das Land Kärnten von größter wirtschaftlicher Bedeutung ist, ernstlich in Gefahr geriet.

Durch das steigende Umweltbewußtsein der Bevölkerung und der Gäste des Landes ist es auch weiterhin nötig, durch ständige Gütekontrolle der Seen, in die die sorgfältige Beobachtung der Planktonalgen eingeschlossen ist, die Grundlage für eine erfolgreiche Fremdenverkehrswirtschaft zu sichern und mitzuwirken, unseren Lebensraum lebenswert zu erhalten.

## DANK

Das Kärntner Institut für Seenforschung hat die Daten, die dieser Langzeituntersuchung zugrunde liegen, erstellt. Das Thema ist eine Anregung des Leiters des Institutes, Hofrat Univ.-Doz. Dr. Hans SAMPL. Ihm und meiner Kollegin Dr. Lilo SCHULZ danke ich für die Durchsicht und Verbesserung des Manuskripts.

Mein Dank gebührt auch Frau Barbara LAKONIG für die Reinschrift und Frau Rositta VALENT für die saubere Ausführung der Abbildungen.

## LITERATUR

- FINDENEGG, I. (1932): Beobachtungen an den Kärntner Seen. – *Carinthia II*, Klagenfurt, 121.–122./41.–42.:41–54.
- (1933): Zur Naturgeschichte des Wörther Sees. – 2. Sonderheft der *Carinthia II*, Klagenfurt.
- (1934): Zur Frage der Entdeckung pseudoeutropher Schichtungsverhältnisse in den Seen. – *Arch. Hydrobiol.*, 27:621–625.
- (1935): Limnologische Untersuchungen im Kärntner Seengebiet. *Int. Rev. ges. Hydrobiol. u. Hydrographie*, 32:369–423.
- (1937): Holomiktische und meromiktische Seen. – *Inter. Revue ges. Hydrobiol. u. Hydrogeographie*, 32:568–610.
- (1938): Drei kleine Kärntner Seen: Pressegger See, Turnersee und Keutschacher See. – *Carinthia II*, Klagenfurt, 128./48.:89–104.
- (1947): Der Längsee. Eine limnologische Studie. – *Carinthia II*, Klagenfurt, 136./56.:77–93.
- (1953): Kärntner Seen naturkundlich betrachtet. – *Carinthia II*, Sonderheft 15.
- (1954): Versuch einer soziologischen Gliederung der Kärntner Seen nach ihrem Phytoplankton. – *Festschrift Aichinger*, 1:299–309.
- (1962): Über Änderungen der optischen Eigenschaften einiger Ostalpenseen. – *Wetter und Leben*, Jg. 14:47–56.
- (1965): Die Eutrophierung des Klopeiner Sees. – *Österr. Wasserwirtschaft*, Jg. 17:175–181.
- (1965): Die Verunreinigung des Wörther Sees. – *Mitteilungen der österr. Sanitätsverwaltung* 66, Heft 5.
- (1971): Wie steht es um die Verschmutzung der Kärntner Seen? *Carinthia II*, Sonderheft 28 (Festschrift HR Dr. F. KAHLER): 421–439.
- (1972): Auswirkung der Eutrophierung einiger Ostalpenseen auf die Lichttransmission des Wassers. – *Wetter und Leben*, 24:110–118.
- (1973): Vorkommen und biologisches Verhalten der Blaualge *Oscillatoria rubescens* D.C. in den österreichischen Alpenseen. – *Carinthia II*, 163./83.:317–330.
- POLZER, E., W. HONSIG-ERLENBURG und H. SAMPL (1983): Eutrophierungs- und Selbstreinigungsvorgänge in der Seenkerre Hafnersee – Keutschacher See – Wörther See. – Ergebnisse des Österreichischen Eutrophieprogrammes 1978–1982, BMGU – BMWF, Wien: 106 pp.
- RUTTNER, F. (1962): Grundriß der Limnologie (Hydrobiologie des Süßwassers). – 3. Auflage, Verlag Walter de Gruyter & Co., Berlin: 332 pp.
- SAMPL, H. (1972): Die Eutrophierung des Längsees und deren Ursachen. – *Kärntner Naturschutzblätter*, Jg. 11:65–80.
- (1975): Bericht über die limnologischen Untersuchungen der Kärntner Seen im Jahre 1974. – *Veröffentlichungen des Kärntner Institutes für Seenforschung*, Nr. 1.

- SAMPL, H., R. E. GUSINDE und H. TOMEK (1982): Seenreinhaltung in Österreich, Limnologie – Hygiene, Maßnahmen – Erfolge. – Schriftenreihe Wasserwirtschaft, Heft 6, 1–252.
- SAMPL, H., L. SCHULZ und N. SCHULZ (1976, 1977, 1978, 1979, 1981): Bericht über die limnologischen Untersuchungen der Kärntner Seen im Jahre 1975/76/77/78/79 und 80. – Veröffentlichungen des Kärntner Institutes für Seenforschung, Nr. 2, 3, 4, 5, 6.
- SCHULZ, L. (1981): Nährstoffeintrag in Seen durch Badegäste. – Zbl. Bakt. Hyg., I Abt. Orig. B 173:528–548.
- SCHULZ, L., N. SCHULZ und H. SAMPL (1984): Verlauf und Ursachen der Eutrophierung in zwei Kärntner Seen (Wörther See und Millstätter See) mit unterschiedlichem Einzugsgebiet. – Der Einfluß des diffusen Nährstoffeintrages auf die Eutrophierung von Seen. – Veröffentlichungen des Österreichischen MaB-Programms Bd. 8, Teil 1: 75–170.
- SCHULZ, N., K. KANZ und G. DEISINGER (1983): Limnologische Untersuchungen am Falkertsee (Kärnten, Österreich). – Carinthia II, Klagenfurt, 173./93.:205–219.
- UTERMÖHL, H. (1958): Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton-Methode. – Mitt. int. Verein. Limnol. 9:1–38.

Anschrift des Verfassers: Dipl.-Ing. Gerhild DEISINGER, Kärntner Institut für Seenforschung, Flatschacher Straße 70, A-9020 Klagenfurt.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Carinthia II](#)

Jahr/Year: 1987

Band/Volume: [177\\_97](#)

Autor(en)/Author(s): Deisinger Gerhild

Artikel/Article: [Langzeitentwicklung der Cyanophyceen in einigen  
Kärntner Seen vor und nach der Sanierung. 101-129](#)