

## Stabile Zeitmuster in der Planktonsuccession des Bodensees (Überlinger See)

Walter Geller\*)

After 30 years of increasing nutrient input the eutrophication level of Lake Constance has stabilized since 1975. In 1977 and 1978 seasonal succession phases of plankton development were investigated. They show a very constant sequence of events: the initiation of algal growth in spring was caused by favourable weather conditions, whereas the phase of maximal spring growth in the third week of May was observed to be nearly independent of the weather. It was followed by a rapid breakdown and a "clear water phase" in June. During the phytoplankton spring bloom the species composition of the zooplankton community started to change. Copepods were replaced by an increasing population of *Daphnia*. By early June phyto- and zooplankton biomass became equal. Estimates of daily food intake rates of herbivores show that the "clear water phase" is caused by zooplankton grazing activity.

*Lake Constance, eutrophication, algal bloom, plankton succession, succession patterns.*

### 1. Einführung und Problemstellung

Der Bodensee steht seit dem Ende des letzten Jahrhunderts unter einer zunehmend regelmäßiger werdenden wissenschaftlichen Beobachtung. Die kontinuierliche limnologische Untersuchung - insbesondere des Überlinger Seeteils - erfolgt seit etwa 25 Jahren, so daß der seit den fünfziger Jahren deutlich werdende Eutrophierungsvorgang mit seinen Folgeerscheinungen recht gut bekannt ist. Die Ergebnisse der langjährigen Arbeiten sind dokumentiert in den von 1957 bis 1963 erschienenen "Limnologischen Monatsberichten - Überlinger See" der ehemaligen "Anstalt für Bodenseeforschung" in Konstanz, sowie den "Berichten der internationalen Gewässerschutzkommission für den Bodensee". Das Phytoplankton wurde insbesondere von GRIM (1939, 1955, 1967), LEHN (1968, 1972, 1974, 1975, 1980), GELLER (1975a, 1977), BÜRGI (1976, 1977) und MOHAMMED (1977) bearbeitet. Eine übersichtliche Zusammenfassung langjähriger Beobachtungsdaten des Zooplanktons gab EINSLE (1977).

Die Artengemeinschaft des Planktons veränderte sich mit zunehmender Eutrophierung nicht nur in quantitativer, sondern auch in qualitativer Hinsicht. Einige der Phyto- und Zooplanktonorganismen, die im Verlauf der vergangenen 40 Jahre aus dem Bodensee verschwunden oder dort neu aufgetreten sind (GRIM 1955, 1967; EINSLE 1977) sind in der Abbildung 1 zusammengestellt. Der Vergleich mit den Konzentrationen des gelösten, anorganischen Phosphors während der Vollzirkulationsphasen des Sees macht deutlich, daß die fortschreitende Eutrophierung sich zunächst in einer Veränderung des Artenspektrums und erst später in einer deutlichen Zunahme des Minimumnährstoffs Phosphor anzeigte. Die für den ehemals oligotrophen Bodensee charakteristischen großen *Cyclotella*-Arten verschwanden schon am Ende der dreißiger Jahre. Zehn Jahre später wurde die früher vorhandene kleine Form der einzelligen Alge *Ceratium* durch

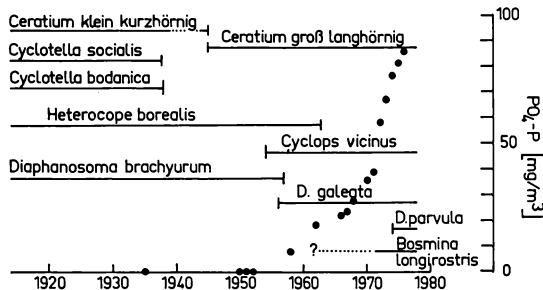


Abb. 1: Verschwinden und Neuauftreten von Planktonorganismen im Verlauf der Eutrophierung des Bodensees (nach GRIM 1955 und EINSLE 1977).

\*) Die vorliegende Untersuchung wurde im Betriebs- und Forschungslabor des Zweckverbandes Bodensee-Wasserversorgung/Überlingen-Süßenmühle durchgeführt.

die heutige große, langhörnige Form ersetzt. Die planktischen Crustaceen *Diaphanosoma brachyurum* und *Heterocope borealis* wurden 1958 bzw. 1963 letztmalig gefunden, während die Arten *Cyclops vicinus*, *Daphnia galeata* und *Bosmina longirostris* neu auftraten.

Mit dem Ausbau des Abwasseraufbereitungssystems im Einzugsgebiet des Bodensees ist der Eutrophierungszustand des Sees stabilisiert worden. Die Konzentration des gelösten, anorganischen Phosphors während der Vollzirkulationsphasen liegt etwa seit dem Jahr 1975 im Bereich von 80 - 90 µg/l. Die vorliegende Arbeit beschreibt die jahreszeitliche Sukzession des Planktons in dieser heute gegebenen Trophiesituation des Bodensees.

Die quantitative Entwicklung des Planktons im Jahresverlauf ist schon an den sehr einfach festzustellenden Sichttiefen (Abb. 2) deutlich erkennbar. Über die fünfjährige Beobachtungsperiode von 1975 - 1979 wies der Bodensee im Winter Sichttiefen von jeweils um 15 m, im Sommer zwischen 2 m und 6 m auf. Die Verminderung der Sichttiefen begann jeweils im März und erreichte den Jahresminimalwert im Mai. In der folgenden Phase im Juni traten regelmäßig Sichttiefen von etwa 10 m auf. Diese Phase, in der die Algen, die sich im Frühjahr entwickelt haben, wieder aus dem See verschwinden, wird als "Klarwasserstadium" bezeichnet. Es ist auffällig, daß sowohl die Algentfaltung im Mai als auch der darauf folgende Zusammenbruch dieser Algen-

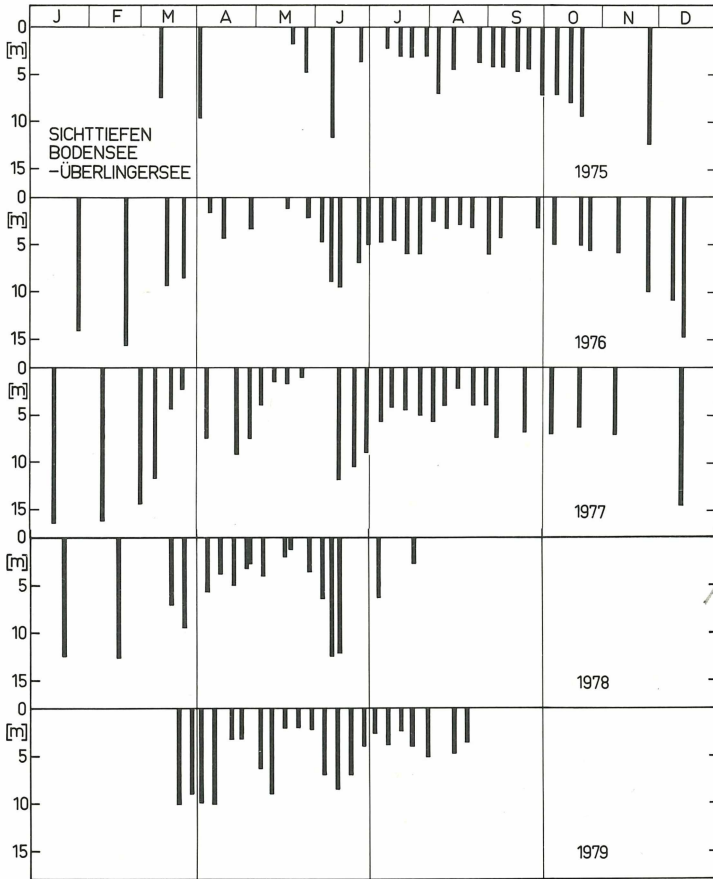


Abb. 2: Sichttiefen im Bodensee-Überlinger See 1975-1979.

population unabhängig von den jeweils herrschenden, verschiedenen Witterungsbedingungen über Jahre hinweg mit Abweichungen von nur wenigen Tagen auf dieselben Kalenderwochen fallen. Um die Phasenabfolge in der Planktonszukzession genau zu beschreiben und die Ursachen für die beobachteten Regelmäßigkeiten zu erfassen, wurde das limnologische Geschehen im Überlinger See in den Jahren 1977 und 1978 in Wochenabständen, über eine dreimonatige Periode 1978 in Tagesabständen untersucht. Dabei wurde das Phyto- und Zooplankton, die limitierenden Nährstoffe Phosphor und Silicium, die meteorologischen Bedingungen und die Temperaturschichtung im See verfolgt. Zusätzlich wurde die Wassertemperatur an der Wasseroberfläche kontinuierlich registriert.

## 2. Untersuchungsmethoden

In beiden Untersuchungsjahren wurden die meteorologischen Verhältnisse an Hand der täglichen Windgeschwindigkeiten an einer Meßstation im See 150 m vor dem Nordufer des Überlinger Sees bei Überlingen-Süßenmühle sowie der täglichen Sonnenscheindauer nach Daten des Wetteramtes Konstanz verfolgt. An einer Meßboje in der Nähe der Windmeßstation wurde die Oberflächentemperatur des Sees kontinuierlich registriert und in bezug auf die Tagesextremwerte ausgewertet. Zur Bestimmung des gelösten anorganischen Phosphors und Siliciums wurden wöchentliche Oberflächenproben entnommen. Das Zooplankton, das nur 1978 an Hand eigener Proben untersucht wurde, wurde durch Vertikalnetzfüge von 50 m Tiefe bis zur Oberfläche gewonnen. Diese Art der Probenahme impliziert insbesondere bei hohen planktondichten zu niedrige Werte. Die Zooplankter wurden nach Gruppen getrennt gezählt. Der Kohlenstoffgehalt wurde durch Verbrennung im CHN-Analysator (Heraeus) ermittelt.

Zur Bestimmung der Phytoplanktonbiomasse wurden in Seemitte zwischen Überlingen und Wallhausen über der größten Seetiefe Serienproben aus verschiedenen Wassertiefen entnommen. Die Zellvolumina wurden nach Auszählen im umgekehrten Mikroskop berechnet und ein Mittelwert für die oberen 10 m der Wassersäule gebildet. Zur Bestimmung des Phytoplankton-Kohlenstoffs wurden Oberflächenproben und Mischproben aus der Schicht 0 m - 10 m Tiefe verwendet. Die Mischproben wurden 1977 durch Mischung von in 1 m - Abständen entnommenen Teilproben, 1978 mittels eines integrierenden Wasserschöpfers gewonnen. Die in den Monaten April bis Juni 1978 zusätzlich entnommenen täglichen Proben wurden etwa 500 m vor dem Nordufer des Überlinger Sees bei Süßenmühle entnommen. Der Kohlenstoffgehalt des Phytoplanktons wurde nach Entfernen des Zooplanktons durch Sieben über 125 µm-Gaze und Filtrieren auf eine Kieselgurschicht im CHN-Analysator bestimmt. Zur Entfernung des suspendierten Karbonats wurde nach dem Filtrieren mit auf pH 3 eingestelltem Bodenseewasser nachgespült.

Im Jahr 1978 wurde die Phytoplanktonentwicklung parallel an Hand der Chlorophyllextinktion verfolgt. Dabei wurde folgende neue Schnellmethode verwendet (GELLER, MAIER unveröff.): Die Wasserprobe wurde über ein Membranfilter (MF) (0.45 µm, 25 mm Ø) filtriert, das MF in zwei Hälften geteilt und eine der Hälften in 1/10-konz. Chlorbleichlaugung entfärbt; nach Trocknen bei 40 °C wurden beide MF-Hälften zwischen zwei Glasplatten (Objektträger) plaziert, nachdem sie mit Immersionsöl transparent gemacht wurden; als Maß für den Chlorophyllgehalt diente die im Zweistrahlphotometer gemessene Extinktion bei 675 nm (in vivo); dabei ermöglichte die Verwendung der entfärbten MF-Hälfte als Referenzprobe die Eliminierung der von Begleitstoffen ausgehenden Störungen.

## 3. Untersuchungsergebnisse

Die Untersuchungsergebnisse des Jahres 1977 sind in den Abbildungen 3-5 in zeitgleichem Maßstab dargestellt. Die Witterungsbedingungen lassen sich an Windgeschwindigkeit und Sonnenscheindauer verfolgen. In der Oberflächentemperatur zeigt sich die tägliche Schwankungsbreite zwischen Minimal- und Maximalwerten. Die Vollzirkulation des warm-monomiktischen Bodensees fällt auf Januar und Februar als den kältesten Monaten des Jahres. Während dieser Zeit zeigte der See Oberflächentemperaturen zwischen 4° und 5 °C bei Sichttiefen von etwa 16 m. Die Konzentrationen der Nährstoffe Phosphor und Silicium lagen bei 80 µg/l P und 1.5 mg/l Si und waren zu dieser Zeit über die gesamte Wassersäule bis in 147 m Tiefe ähnlich. Im März stiegen die Oberflächentemperaturen nach einer Schönwetterphase bis auf 8 °C an; in dieser Zeit kam es zu einer ersten Algenentwicklung mit einem Rückgang der Sichttiefe auf 3 m. Die Nährstoffkonzentrationen wurden durch das Algenwachstum in dieser Zeit noch nicht deutlich vermindert. Die Biomasse des Phytoplanktons im Epilimnion (Mittelwert 0 - 10 m) gemessen als partikulärer organischer Kohlenstoff (POC) stieg von 0.1 mg/l auf etwa 1 mg/l an. Das Algenzellvolumen erhöhte sich von  $10^5$  auf  $2 \times 10^6$  µm<sup>3</sup>/ml. Diese erste Entfaltung der Algenpopulation im März brach im April während einer Schlechtwetterphase zusammen, die Wassertemperatur an der Seeoberfläche sank wieder unter 5 °C.

Im Mai erfolgte eine gleichmäßig verlaufende Erwärmung des Sees bis auf etwa 15 °C. In dieser Zeit war die Hauptentfaltung des Frühjahrsphytoplanktons in Verbindung mit einer starken Phosphatzehrung zu beobachten. Die Algenbiomasse stieg mit etwa 1.4 mg/l POC auf den Jahreshöchstwert, parallel sank die Sichttiefe auf weniger als 2 m. Nach einem kurzen Schlechtwettereinbruch in den ersten Junitagen erreichten die Wassertemperaturen im weiteren Verlauf des Juni 20 °C. Beginnend mit den ersten Junitagen trat ein scharf abgegrenztes Klarwasserstadium mit Sichttiefen von über 12 m auf, das etwa vier Wochen lang bestehen blieb. Der Anstieg der Sichttiefen wurde verursacht durch das Verschwinden der Frühjahrsalgen mit einer Verminderung der Biomasse auf ein Zehntel des Maximalwertes. Parallel dazu stiegen die Nährstoffkonzentrationen an. Eine erneute Zunahme des Phytoplanktons erfolgte erst im Juli. Die Konzentration der Algenbiomasse blieb dann den Sommer über auf etwa gleicher Höhe; erst im Herbst zeigte sich noch einmal eine Entfaltungsphase.

Die Artenzusammensetzung der Frühjahrsassoziation des Phytoplanktons war nicht sehr reichhaltig und entsprach der der vorhergehenden Jahre (LEHN 1973; GELLER 1975, 1977). Mit der zentralen Kieselalge *Stephanodiscus hantzschii* und den Flagellaten *Rhodomonas* und *Cryptomonas* beherrschten kleinzellige, schnellwachsende Formen das Bild. Die im Frühjahr vorherrschenden Arten verschwanden mit dem Auftreten des Klarwasserstadiums im Juni. Sie wurden wie in den vorhergehenden Jahren abgelöst durch eine artenreiche Assoziation aus pennaten Kieselalgen (*Fragilaria*, *Asterionella*, *Melosira*), fadenbildenden Grünalgen (*Mougeotia*) und Blualgen (*Microcystis*, *Anabaena*). Ein gemeinsames Merkmal dieser Sommerarten ist die Ausbildung von Kolonien.

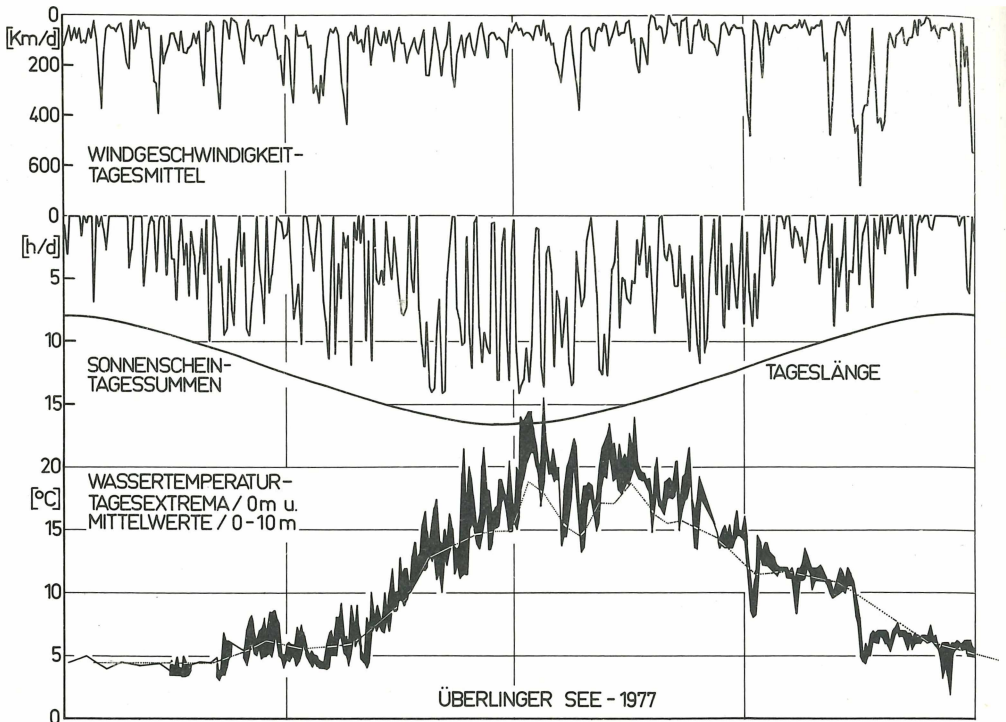


Abb. 3: Windgeschwindigkeiten, Sonnenscheindauer und Temperaturextrema an der Seeoberfläche 1977.

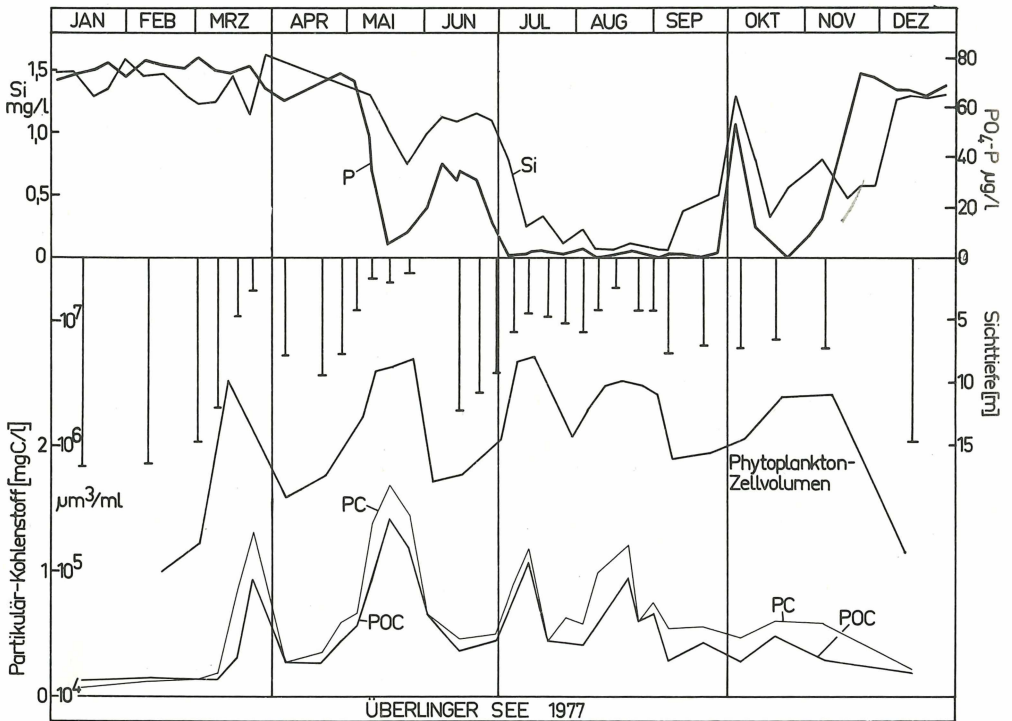


Abb. 4: Phosphor- und Siliciumkonzentrationen an der Seeoberfläche, Sichttiefen und Phytoplanktonbiomasse im Epilimnion (0 - 10 m Tiefe) 1977.

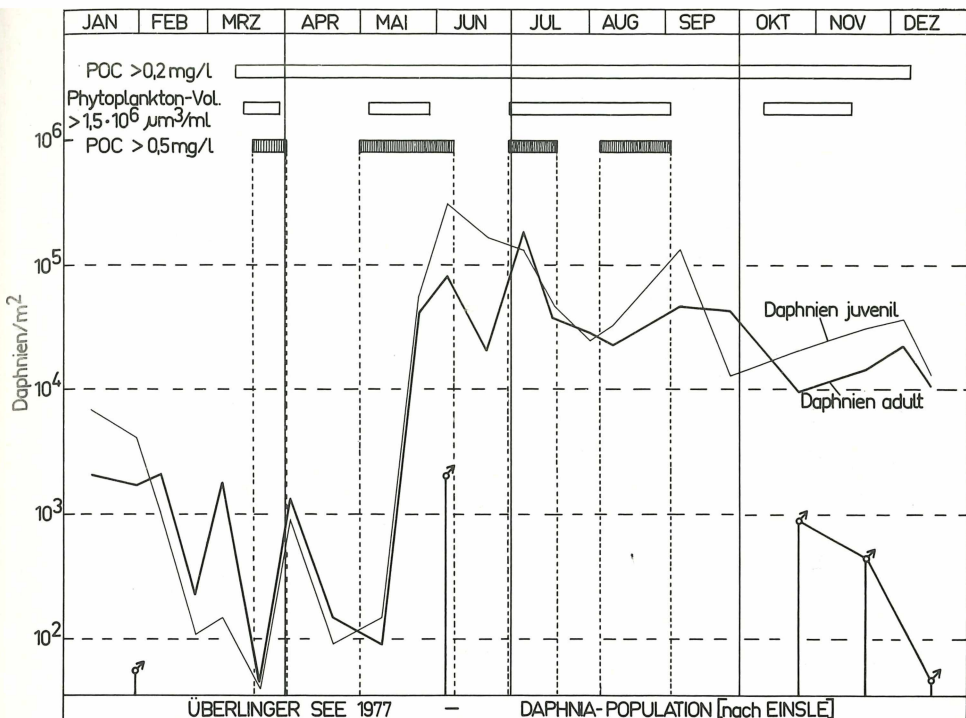


Abb. 5: Entwicklung der Daphnienpopulation 1977 im Überlinger See nach Daten von EINSLE; zum Vergleich sind die aus Laborversuchen bekannten "limitierenden Futterkonzentrationen" für *Daphnia* bezeichnet, die im See zu verschiedenen Zeiten über- und unterschritten werden.

In der Abbildung 5 ist die Entwicklung der Daphnienpopulation (nach Daten von EINSLE) im Überlinger See dargestellt. Erfasst wurden alle Tiere pro m<sup>2</sup> Seefläche vom Seegrund bis zur Oberfläche. Die Population besteht aus den Arten *Daphnia galeata*, die ständig im Epilimnion lebt, und *Daphnia hyalina*, die eine tägliche Vertikalwanderung ausführt (STICH, in Vorber.). Die Darstellung zeigt, daß das Hauptwachstum der Daphnienpopulation während des Frühjahrsalgenmaximums erfolgte. Dabei war ein Anstieg der Individuenzahlen um das Tausendfache zu verzeichnen. Um das Wachstum des herbivoren Zooplanktons mit dem Futterangebot zu vergleichen, wurden in der Abbildung die Zeitabschnitte gekennzeichnet, in denen die Konzentration des Phytoplanktons 0.5 mg/l POC oder 1.5 · 10<sup>6</sup> µm<sup>3</sup>/ml Zellvolumen überstieg. Unterhalb dieser kritischen Grenzwerte wird die Nahrungsaufnahme von *Daphnia* durch die zu geringe Futterkonzentration limitiert (GELLER 1975b). Es zeigt sich, daß die *Daphnia* population des Überlinger Sees anwächst, wenn die kritische Minimalkonzentration an Futter überschritten, und daß umgekehrt die Population abnimmt, wenn das notwendige Minimum des Futterangebots nicht vorhanden ist. Innerhalb der Vegetationsperiode traten nur während des Klarwasserstadiums Daphnien-♂♂ auf. Die damit verbundene miktische Fortpflanzungsweise mit der Bildung von Dauereiern wird sonst nur in der kalten Jahreszeit im Spätherbst und Winter beobachtet. Sie wird außer von Temperaturbedingungen und Tageslänge durch Hungerbedingungen gesteuert und weist auf die extreme Nahrungsmangelssituation während des Klarwasserstadiums hin.

Um die Entwicklungsphasen im Frühjahr bis zum Auftreten des Klarwasserstadiums genauer zu erfassen, wurde in der Zeit von März bis Juni 1978 eine detailliertere Untersuchung mit täglicher Probenahme durchgeführt. Die Ergebnisse sind in den Abbildungen 6 bis 10 dargestellt. Die Witterungsverhältnisse im Frühjahr 1978 unterschieden sich wesentlich von denen des Vorjahres. In der zweiten Märzhälfte führte eine windreiche Schlechtwetterperiode zu winterlichen Wassertemperaturen. Im April stieg die Oberflächentemperatur des Sees bei ruhigem, sonnigem Wetter bis auf 15 °C. Der Mai war im Gegensatz zum Vorjahr durch zwei Schlechtwettereinbrüche am Ende der ersten und dritten Maiwoche mit einem Rückgang der Oberflächentemperaturen auf 7° - 8 °C gekennzeichnet. Eine darauf folgende ausgeprägte Schönwetterphase in der letzten Maiwoche und der ersten Junihälfte bedingte einen sehr schnellen Anstieg der Seetemperatur auf über 20 °C.

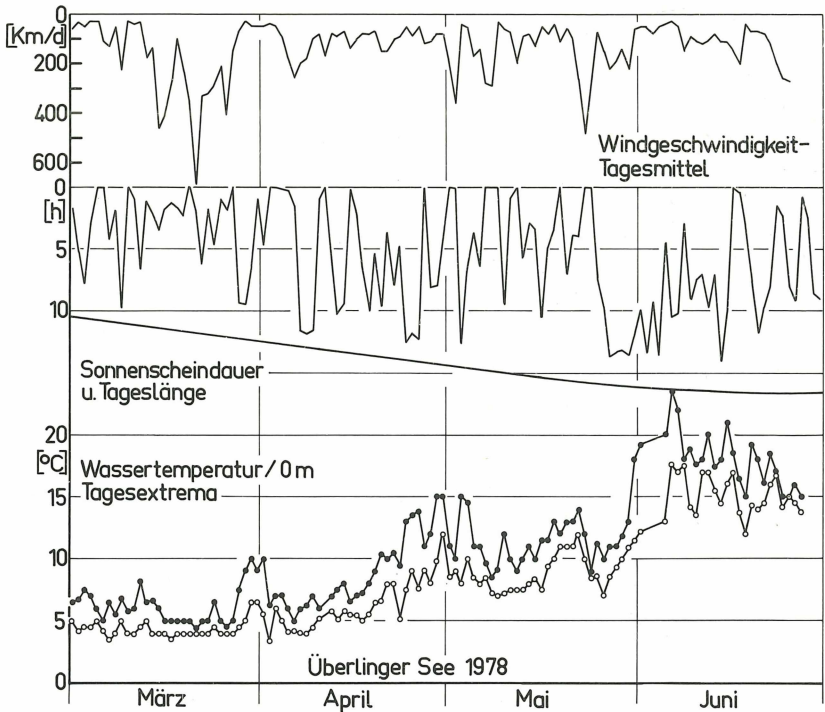


Abb. 6: Windgeschwindigkeit, Sonnenscheindauer und Extreme der Wassertemperatur an der Seeoberfläche von März bis Juni 1978.

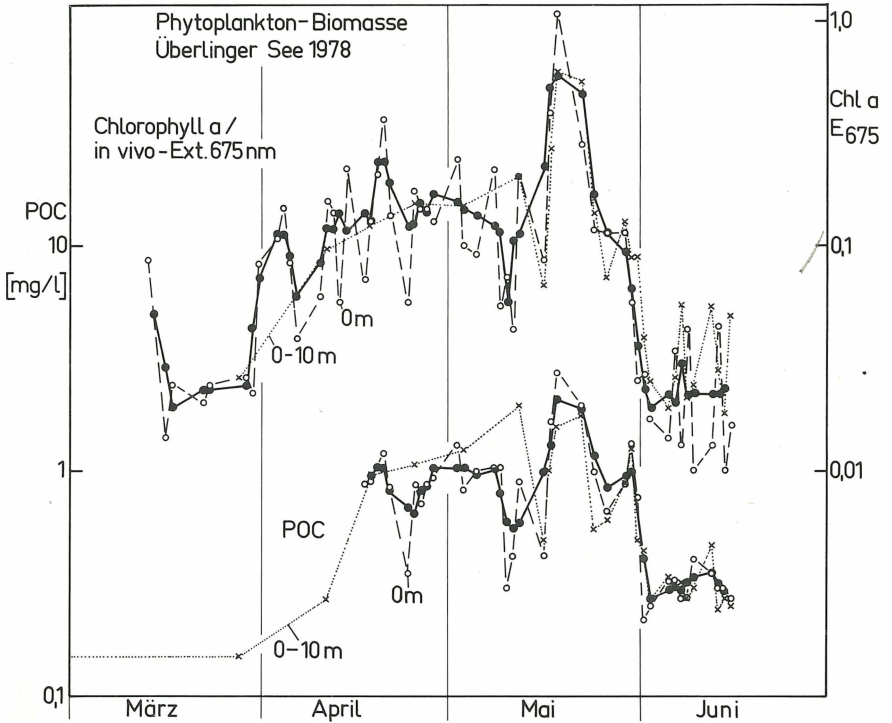


Abb. 7: Biomasse des Phytoplanktons; Chlorophyll-Extinktion und partikulärer organischer Kohlenstoff (März bis Juni 1978). Die Schwankungen der täglich entnommenen Proben wurden durch gleitende Mittelwertbildung über drei Tage ausgeglichen.

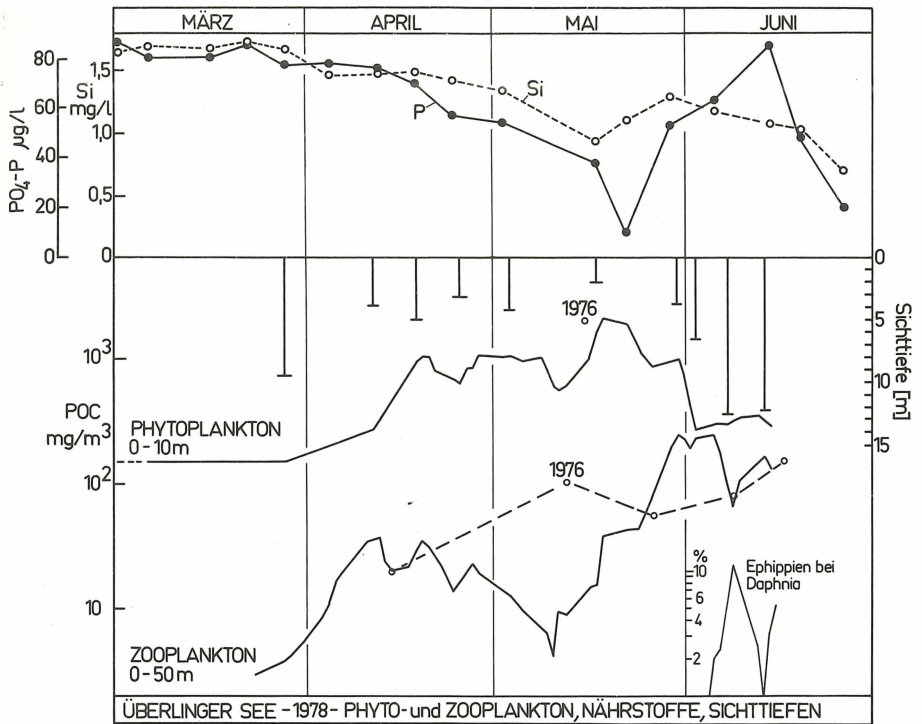


Abb. 8: Phosphor- und Siliciumkonzentrationen an der Seeoberfläche; Sichttiefen und Gegenüberstellung von Phyto- und Zooplanktonbiomasse (März bis Juni 1978). Vergleichswerte 1976 nach LAMPERT, SCHOBER (1978).

Die Folge der täglich entnommenen Planktonproben zeigte große Schwankungen der Tageswerte (Abb. 7). Kurzfristige Änderungen der Biomassen im See oder die bekannte "patchiness" in der Horizontalverteilung des Planktons sind als Ursachen für diese Schwankungen auszuschließen. Aus mehrjähriger Kenntnis der Situation wird als wahrscheinlich angenommen, daß windinduzierte großräumige Wasserbewegungen zu kurzfristigen Verfrachtungen des epilimnischen Wasserkörpers und damit zu den beobachteten Schwankungen führten. Daher wurden die Kurven zur Biomasse des Phyto- und Zooplanktons (Abb. 7/8) durch eine gleitende Mittelwertbildung über jeweils drei Tage geglättet. Die Entwicklung des Phytoplanktons - gemessen als Chlorophyll und POC - bewegte sich 1978 im gleichen Konzentrationsbereich wie 1977. Zu- und Abnahme der Biomasse war von März bis zu dem Schlechtwettereinbruch am Ende der ersten Maiwoche bei einer zeitlichen Verzögerung von wenigen Tagen mit den Witterungsverhältnissen gekoppelt. In der Zeit nach dem 10. Mai entwickelte sich das Frühjahrsmaximum trotz der ungünstigen Witterungsbedingungen zur gleichen Zeit wie im Vorjahr. Auch das Klarwasserstadium mit hohen Sichttiefen trat zur gleichen Zeit wie im Vorjahr ein; die *Stephanodiscus-Rhodomonas*-Assoziation verschwand. Die nachfolgende, mehr als dreiwöchige Schönwetterperiode bewirkte trotz ausreichender Nährstoffkonzentrationen keine erneute Algenentwicklung.

In Abb. 8 sind die Biomassen von Phyto- und Zooplankton einander gegenübergestellt. Bis zum Auftreten des Frühjahrsmaximums der Algenentwicklung bewegten sich Zu- und Abnahmetendenzen beider Planktongruppen gleichsinnig. Die Biomasse des Zooplanktons betrug etwa 1 % bis 10 % der Algenbiomasse. Beginnend mit dem Rückgang der Algenkonzentration und dem Einsetzen der Schönwetterphase zu Anfang der letzten Maiwoche nahm bei steigenden Wassertemperaturen die Biomasse des Zooplanktons schnell zu. Da das Phytoplankton gleichzeitig abnahm, war während des Klarwasserstadiums die Biomasse beider Gruppen mit etwa 0.2 mg/l POC gleich. Berücksichtigt man, daß die Werte für das Zooplankton infolge der Probennahmemethode nur als Minimalwerte anzusehen sind, und daß ein Teil des Zooplanktons während der Nacht die tieferen Wasserschichten verläßt und sich an der Oberfläche des Sees ansammelt, so überstieg die Biomasse des Zooplanktons die des Phytoplanktons zumindest zeitweise erheblich. In dieser Zeit bildeten mehr als 10 % der *Daphnia*-♀♀ infolge der Hungerbedingungen Dauereier.

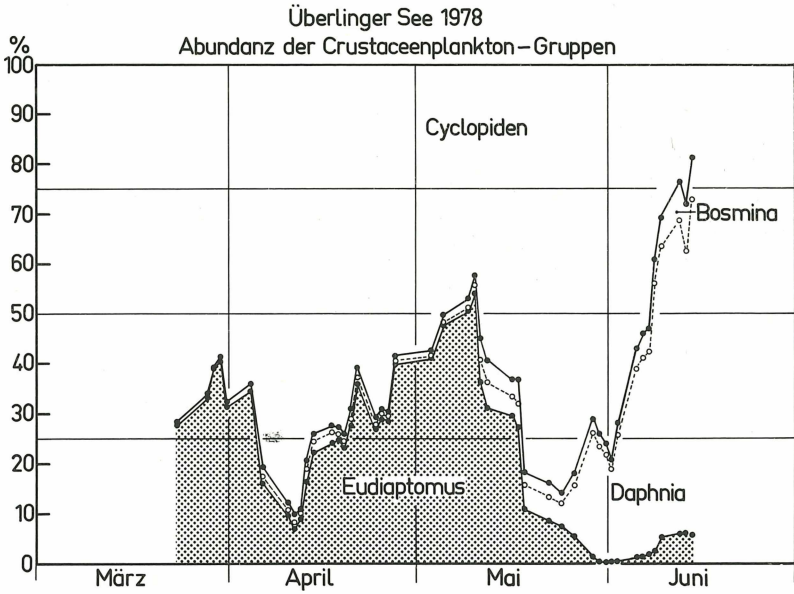


Abb. 9: Abundanz der verschiedenen Gruppen des Crustaceenplanktons im Überlinger See 1978.  
 Probennahme durch Vertikalnetzzug von 50 m Tiefe zur Oberfläche.

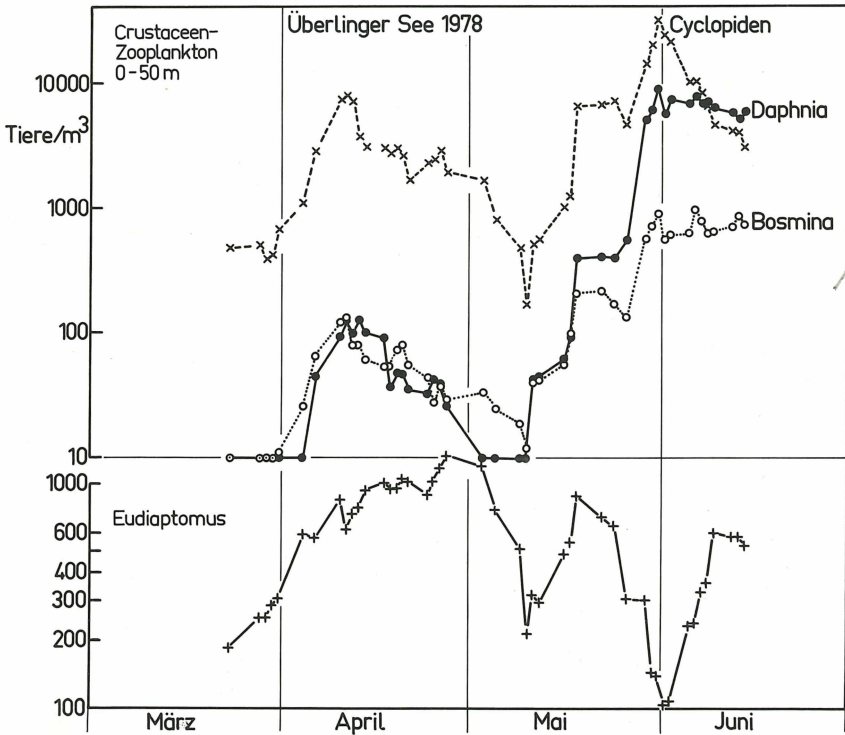


Abb. 10: Individuenzahlen der verschiedenen Gruppen des Crustaceenplanktons im Überlinger See 1978.  
 Mittelwerte der Wassersäule von 0 m bis 50 m Tiefe.



Von März bis Mitte Mai bestand das Zooplankton nahezu ausschließlich aus Copepoden bei einem Überwiegen der Cyclopiden (Abb. 9). *Diaptomus* zeigte einen relativen Anteil von 10 - 55 %. Beginnend mit der Frühjahrshauptentfaltung der Algen kam es zu einer markanten Verschiebung in der relativen Zusammensetzung des Crustaceenplanktons. In der zweiten Maihälfte verschwand *Diaptomus* nahezu vollständig und die Cyclopiden nahmen auf weniger als 20 % ab, so daß die Cladoceren und hier die Daphnien im Verlauf des Klarwasserstadiums auf etwa 70 % der Gesamtindividuenzahl zunahmen. Die Absolutzahl der Planktoncrustaceen (Abb. 10) erreichte im Juni in den oberen 50 m des Sees einen Mittelwert von  $10^4$  Individuen/m<sup>3</sup>.

#### 4. Diskussion

Bei der Interpretation der in Frühjahr und Frühsommer regelmäßig auftretenden Phasenabfolge der Planktonentwicklung muß zunächst hervorgehoben werden, daß die im Frühjahr im See erscheinende Algenassoziation im Gegensatz zu der im Sommer und Herbst auftretenden Artengemeinschaft ausschließlich aus solchen Algenarten besteht, die vom herbivoren Zooplankton gut als Futter verwertet werden können. Daher spielt die Fraßaktivität des Zooplanktons gegenüber den Frühjahrsalgen eine wichtige Rolle. Auf Grund der geringen Individuenzahlen der Zooplankter ist der Einfluß der Fraßaktivität auf die Entwicklung der Algen von Jahresbeginn bis zum Auftreten des Entfaltungsmaximums im Mai begrenzt und als steuernder Faktor nicht erkennbar. In dieser Periode wird das Wachstum des Phytoplanktons vorwiegend von den Lichtbedingungen bestimmt. Die Beobachtungsdaten zeigen, daß das Algenwachstum mit zunehmender Tageslänge zunehmend weniger von ruhigen und sonnigen Witterungsbedingungen abhängig ist. Nach Überschreiten einer Tageslänge von etwa 15 Stunden im Mai reicht die zur Verfügung stehende Lichtsumme auch bei weniger gutem Wetter für ein deutliches Wachstum des Phytoplanktons aus. Wie in den Monaten März und April erkennbar, ist eine Korrelation von ruhigem, sonnigem Wetter mit Phasen des Algenwachstums umso enger, je kürzer die Tageslängen sind. Die Hauptentfaltung der Frühjahrsalgenassoziation ist nahezu unabhängig vom jeweiligen Wetter in der dritten Maiwoche zu beobachten. Eine Abklärung dieses Fragenkomplexes ist durch begleitende Messungen der Einstrahlung möglich und muß zukünftigen Untersuchungen vorbehalten bleiben.

Mit dem Eintreten des Frühjahrsmaximums der Phytoplanktonentwicklung wird das Nahrungsangebot für das herbivore Zooplankton so weit verbessert, daß eine Futterlimitierung nicht mehr gegeben ist. Die gleichzeitig erfolgende Erwärmung des Sees bewirkt eine Beschleunigung von Eientwicklung und Wachstumsgeschwindigkeit und damit eine schnellere Generationsfolge. Die in dieser Phase ungehemmte Vermehrung des herbivoren Zooplanktons führt dazu, daß das Geschehen im See zunehmend vom Zooplankton und nicht mehr vom Wachstum des Phytoplanktons bestimmt wird. So ist das auf die Frühjahrshauptentfaltung der Algen folgende Klarwasserstadium eindeutig durch die Fraßtätigkeit des filtrierenden Zooplanktons, insbesondere der Daphnien bedingt. Schon eine einfache Bilanzabschätzung zeigt, daß die zu Beginn des Klarwasserstadiums im See vorhandenen Daphnien die vorhandenen Futteralgen in wenigen Tagen dezimieren und so den See klar filtrieren können. Der tägliche Nahrungsbedarf von Daphnien liegt bei etwa 30 % zur Deckung des Grundstoffwechsels, bei 60 % zur Erreichung einer hohen Fortpflanzungsrate (LAMPERT 1978). Bei den im Juni gegebenen Konzentrationen des Zooplanktons ist die Algenpopulation selbst unter optimalen Wachstumsbedingungen, wie sie in beiden Untersuchungsjahren bei hohem Nährstoff- und Lichtangebot gegeben waren, nicht in der Lage, den Nahrungsbedarf des herbivoren Zooplanktons zu decken. Für das Jahr 1976 kamen LAMPERT, SCHOBER (1978) auf Grund von Vergleichen der Primär- und Sekundärproduktion zu gleichen Schlußfolgerungen.

Ein Klarwasserstadium in der beschriebenen Form trat etwa von 1963 an auf (LEHN 1973). Seitdem ist es in unterschiedlich deutlicher Ausprägung regelmäßig (BÜRGI 1977), in der heutigen stark ausgeprägten Form zumindest seit 1975 zu beobachten. Zur Zeit des Klarwasserstadiums besteht die Daphnienpopulation vorwiegend aus der epilimnisch lebenden Art *Daphnia galeata*. Zwischen dem erstmaligen Auftreten dieser Art im Bodensee und dem Eutrophierungszustand des Sees scheint ein Kausalzusammenhang in der Form zu bestehen, daß die im See vorliegende Phosphorkonzentration mit etwa 20 µg/l erstmals im Jahr 1963 ausreichte, um die Produktion einer Algenkonzentration von 0.5 - 0.6 mg/l POC und damit die volle Fortpflanzungsrate für die heute während des Frühjahrs dominierende Daphnienart zu ermöglichen. Es erscheint möglich, diesen aus den vorliegenden Freilanduntersuchungen resultierenden Fragenkomplex experimentell zu prüfen.

#### Literatur

- BÜRGI H.R., 1976: Die Phytoplanktonentwicklung im Bodensee in den Jahren 1961 bis 1963. Intern. Gewässerschutzkomm. Bodensee Ber. 18.
- BÜRGI H.R., 1977: Die langjährige Entwicklung des Phytoplanktons im Bodensee (1963-1973), Teil 1 Untersee. Intern. Gewässerschutzkomm. Bodensee Ber. 21.

- EINSLE U., 1977: Die Entwicklung des Crustaceenplanktons im Bodensee, Obersee (1962-1974) und Rheinsee (1963-1973). Intern. Gewässerschutzkomm. Bodensee Ber. 20.
- GELLER W., 1975: Die Entwicklung des Phytoplanktons (1973-74) und der bakteriologischen Verhältnisse (1969-74) im Bodensee-Überlinger See. Arbeitsgem. Wasserw. Bodensee-Rhein (AWBR) Ber. 6.
- GELLER W., 1975: Die Nahrungsaufnahme von *Daphnia pulex* in Abhängigkeit von der Futterkonzentration, der Temperatur, der Körpergröße und dem Hungerzustand der Tiere. Arch. Hydrobiol. Suppl. 48: 47-107.
- GELLER W., 1977: Limnologische und bakteriologische Untersuchungen des Bodensee-Überlingersees. Arbeitsgem. Wasserw. Bodensee-Rhein (AWBR) Ber. 8.
- GRIM J., 1939: Beobachtungen am Phytoplankton des Bodensees (Obersee) sowie deren rechnerische Auswertung. Intern. Rev. ges. Hydrobiol. 39: 193-315.
- GRIM J., 1955: Die chemischen und planktologischen Veränderungen des Bodensee-Obersees in den letzten 30 Jahren. Arch. Hydrobiol. Suppl. 22: 310-322.
- GRIM J., 1967: Der Phosphor und die pflanzliche Produktion im Bodensee. GWF-Wasser/Abwasser 108: 1261-1271.
- LAMPERT W., 1977: Studies on the carbon balance of *Daphnia pulex* as related to environmental conditions. Arch. Hydrobiol. Suppl. 48: 287-360.
- LAMPERT W., 1978: A field study on the dependence of the fecundity of *Daphnia spec.* on food consumption. Oecologia 36: 363-369.
- LAMPERT W., SCHÖBER U., 1978: Das regelmäßige Auftreten von Frühjahrsalgenmaximum und "Klarwasserstadium" im Bodensee als Folge klimatischer Bedingungen und Wechselwirkungen zwischen Phyto- und Zooplankton. Arch. Hydrobiol. 82: 364-386.
- LEHN H., 1968: Sichttiefen im Überlinger See (Bodensee) 1853-1962. Schweiz. Z. Hydrol. 30: 67-74.
- LEHN H., 1972: Zur Beziehung Phytoplankton-Phosphat im Bodensee. Arch. Hydrobiol. 70: 556-559.
- LEHN H., 1974: Phytoplanktonänderungen im Bodensee und einige Folgeprobleme. Tagungsber. Ges. f. Ökologie 1973: 225-235.
- LEHN H., 1975: Entwicklung des Bodensee-Pelagials seit 1920. GWF-Wasser/Abwasser 116: 170-175.
- LEHN H., 1980: Das Phytoplankton während der Eutrophierungsphase des Bodensees. Verh. Ges. f. Ökologie (1979): 8.
- MOHAMMED A., 1977: Freilandmessungen und Experimente zur Frage der Nährstofflimitierung von Planktonalgen im Bodensee. Diss. Freiburg.

#### Adresse

Dr. Walter Geller  
 Limnologisches Institut  
 Universität Konstanz  
 Mainaustr. 212  
 D-7750 Konstanz

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

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1980

Band/Volume: [8\\_1980](#)

Autor(en)/Author(s): Geller Walter

Artikel/Article: [Stabile Zeitmuster in der Planktonsukzession des Bodensees \(Überlinger See\) 373-382](#)