

Nährstoffkreisläufe im Überlinger See und ihre Beziehungen zu den biologischen Untersuchungen

Hans-Henning Stabel und Max Tilzer

In the Überlinger See (north western portion of Lake Constance), concentrations of dissolved oxygen, total phosphorus, phosphate-phosphorus, nitrate and silicate were monitored weekly between March 1979 and March 1980 in 20 depths over the entire 147-m water column. The Überlinger See was chosen for this study because it is relatively isolated from the rest of the lake and allochthonous inputs from the main tributary are expected to be minimal. Nevertheless, wind-induced currents and internal seiches cause a significant exchange of water masses between the Überlinger See and the rest of the lake.

The lake mixed completely in March 1980 whereas in 1979 it did not so. Isopleths of all components measured exhibit significant simultaneous short-term fluctuations of vertical concentration gradients. They can mainly be attributed to internal seiches. This becomes obvious from the isotherms which show similar patterns. The hypolimnetic oxygen depletion reached a minimum saturation of 54% in October. Maximum supersaturation in the trophogenic zone due to phytoplankton photosynthesis was 157%.

Silicon became depleted during the phytoplankton spring bloom in May. During extensive zooplankton grazing in June which in Lake Constance regularly eliminates most of the phytoplankton, some Si was regenerated. During the rest of the summer silicon was depleted, but recurred during the deepening of lake mixing in October. Nitrate is the major nitrogen source whereas ammonia usually is below the level of detection. Maximum levels of $\text{NO}_3\text{-N}$ are $800 \mu\text{g l}^{-1}$ in April. During summer nitrate decreases to levels of about $200 \mu\text{g l}^{-1}$. Phosphorus is the major limiting nutrient and has been extensively studied in the past. Concentrations of both total-phosphorus and phosphate-phosphorus have increased exponentially since 1950, mainly due to municipal loading. Maximum water column averages of the year were $102 \mu\text{g l}^{-1}$ in 1979 and $90 \mu\text{g l}^{-1}$ in 1980, respectively. This does not necessarily imply declining phosphorus loading during that time.

Changing average nutrient concentrations over the water column reveal uptake by phytoplankton and sedimentation losses. By studying sedimentation rates in conjunction with nutrient depletion in the trophogenic zone, rough estimates of allochthonous nutrient inputs should be possible.

Food chain, isolines, Lake Constance, nitrogen, nutrient cycles, oxygen, phosphorus, phytoplankton, zooplankton.

1. Einführung

Bei limnologischen Untersuchungen von großen und tiefen Seen entstehen oft erhebliche Schwierigkeiten, die in überschaubaren kleineren Gewässern weniger stark hervortreten. Sie werden vor allem durch große Inhomogenitäten im Wasserkörper hervorgerufen, die durch die morphologischen und hydrographischen Gegebenheiten bedingt sind. Bei der Anwendung von bisher gebräuchlichen limnologischen Untersuchungstechniken auf große Seen gelingt es daher kaum, bilanzierende Aussagen zu treffen. Wesentliche Abhilfe kann in diesem Fall nur ein zeitlich und räumlich dicht geknüpftes Probenentnahmenetz schaffen. Der zur Erreichung dieses Zieles nötige Arbeitsaufwand kann nur von größeren Arbeitsgruppen geleistet werden. In neuerer Zeit können überdies einige wichtige grundlegende Parameter im See kontinuierlich registriert werden und die gewonnenen Daten in Rechenanlagen verarbeitet werden.

Am Bodensee, dem größten deutschen Binnengewässer, sind drei hydrographische Faktoren für das Auftreten von Inhomogenitäten des Wasserkörpers von Bedeutung:

1. Der Rheinzufuß mit seiner anorganischen Schwebstofffracht, der ca. 70% des gesamten Zuflusses beisteuert,
2. windinduzierte Wasserströmungen und
3. interne Wellen, die oft noch tagelang nach einer Windeinwirkung auf die Oberfläche wirksam bleiben (WASMUND 1927; AUERBACH, RITZI 1938; ELSTER 1960; LEHN 1968 u. a.).

Um den Einfluß des Rheinstromes so weit wie möglich vernachlässigen zu können, werden unsere Untersuchungen im Überlinger Seeteil durchgeführt. Hydrographische Untersuchungen von HOLLAN, SIMONS (1978) in diesem Seabschnitt zeigten allerdings, daß bei bestimmten Windlagen interne Wellen extrem hohe Amplituden erreichen können (vgl. LEHN 1965) und daß durch damit verbundene Horizontalströmungen ein starker Wasseraustausch mit dem Oberseebecken stattfinden kann. Dieser Seeteil erschien uns am ehesten für die Untersuchungen von Stoffkreisläufen im Bodensee geeignet, da er durch die Mainauschwelle vom Obersee relativ stark abgetrennt ist.

Messungen zur Erfassung der Konzentrationen der wichtigsten Phytoplankton-Nährstoffe wurden in den vergangenen Jahren im Bodensee vielfach durchgeführt (ELSTER, EINSELE 1937; GRIM 1939; FAST 1955, 1960; KLIFFMÜLLER 1960, 1969; ELSTER 1977 u.a.). Speziell über den Überlinger See sind Daten in den LIMNOLOGISCHEN MONATSBERICHTEN - ÜBERLINGER SEE (BODENSEE) (1957-1963) einsehbar; neuere Werte wurden von GELLER (1976 und 1980) sowie MÄCKLE, MAIER (1980) veröffentlicht.

Die vorliegende Untersuchung ist vor allem bestrebt, die Nährstoffversorgung bzw. Nährstoffverknappung als wichtigen produktions- und sukzessionssteuernden Faktor für das Phytoplankton im Jahreslauf aufzuklären. Es war nicht unser Ziel, komplette Nährstoffbilanzen aufzustellen. ELSTER (1977) beschrieb eine dramatische exponentielle Zunahme von Phosphat- und Gesamtphosphor-Konzentrationen, die von einer Zunahme der Phytoplankton-Biomasse und Verschiebungen im Artenspektrum begleitet waren. Da Produktivität und Struktur der Phytoplankton-Biocoenose wichtige Schwerpunkte unseres Projekts darstellen, ist die Erfassung der Kreisläufe der wichtigsten Pflanzennährstoffe im Jahreszyklus eine wichtige Voraussetzung.

Von März 1979 bis März 1980 wurden in wöchentlichen Abständen von einer festen Probenentnahmestelle (Mitte der Linie zwischen Wallhausen und Hafn Überlingen, 147 m Tiefe) aus in 20 Wassertiefen Temperatur, Leitfähigkeit, pH und Sauerstoffgehalt gemessen (an Wasserschöpfern befestigte Beckman-Kippthermometer der Fa. Gohla, Kiel; pH- und Leitfähigkeitsmeßgerät Fa. Radiometer, Kopenhagen). Der O₂-Gehalt wurde titrimetrisch nach Winkler bestimmt (vgl. DEUTSCHE EINHEITSVERFAHREN 1960).

Die mit metallfreien 9 l Van Dohrn-Wasserschöpfern entnommenen Wasserproben wurden sofort an Bord filtriert (vorgewaschene Membranfilter, Porenweite 0.1 µm) und die Nährstoffe unmittelbar nach der Rückkehr ins Labor mit einem Auto-Analyser (Fa. Technicon, Auto-Analyser II) analysiert.

Dabei wurden simultan gelöstes Phosphat (LENNOX 1979), Nitrat (WILHELMS, BERNHARDT 1969) sowie Silicium (ALBRECHT, OVERBECK 1969) in Parallelansätzen bestimmt.

Unfiltrierte Wasserproben wurden im Labor zur Bestimmung des Gesamt-Phosphors nach der Methode von VOGLER (1965) und zur Bestimmung des Säurebindungsvermögens (SBV) nach der Vorschrift der DEUTSCHEN EINHEITSVERFAHREN (1960) untersucht.

2. Ergebnisse und Diskussion

Die zeitlich-räumlichen Darstellungen der gemessenen Werte vermitteln einen Überblick über die aktuellen Konzentrationen zum Zeitpunkt der Entnahme und beschreiben damit z.B. die Nährstoffsituation der gleichzeitig erfaßten Phytoplanktonpopulation. Sie geben ferner Anhaltspunkte für den Verlauf dynamischer Veränderungen.

Mit Hilfe von Temperaturmessungen können Bewegungen im Wasserkörper bzw. Stagnationsperioden festgestellt werden. Einige Veröffentlichungen (LEHN 1968; HOLLAN 1974; HOLLAN, SIMONS 1978 u.a.) enthalten Temperaturdaten aus dem Überlinger Seeteil. Kontinuierliche Werte über eine Jahresperiode finden sich bei GELLER (1980) und MAECKLE, MAIER (1980).

Aus der folgenden, zeitlich-räumlichen Darstellung der von März 1979 bis März 1980 mit Serienkippthermometern gemessenen Temperaturen wird deutlich, daß im März/April 1979 keine vollständige Durchmischung des Wasserkörpers erfolgte (Abb. 1). Im März 1980 konnte dagegen eine Durchmischung bis zur Maximaltiefe des Überlinger Sees festgestellt werden. Besonders auffällig ist der unruhige Verlauf der Temperaturisoplethen, die starke Vertikalschwankungen aufweisen. Sie beruhen auf Vertikalverfrachtungen von Wassermassen durch interne Wellen. Besonders im September 1979 konnten Amplituden von 20 m registriert werden. Dadurch kommt es zu einer dauerhaften Ausprägung einer Sprungschicht; ein Epilimnion läßt sich nicht deutlich abgrenzen. Im Zuge der Erhöhung des Strahlungsenergieeinfalls im Jahresverlauf erwärmte sich der Wasserkörper von einer Durchschnittstemperatur von 4.25 °C auf eine maximale Durchschnittstemperatur von 7.1 °C (17. September). Eine anfänglich schwache Schichtung zum April 1979 wurde durch Windeinwirkung wieder aufgehoben, was zu einer Verteilung der an der Oberfläche konzentrierten Planktonbiomasse über die ganze Wassersäule führte.

Während der Frühjahrsvollzirkulation führte der See sein Sauerstoff-Defizit nur bis zur 80% Sättigung auf (Abb. 2). Zusätzlich zur physikalisch-chemischen Sauerstoffaufnahme führte die starke photosynthetisch bedingte Sauerstofffreisetzung in den thermisch abgetrennten oberen Wasserschichten zu einer Übersättigung von bis zu 157%. In der gesamten Wassersäule betrug der höchste Durchschnittswert im Mai 91.6%, der niedrigste 71.2% O₂-Sättigung Ende Oktober. Horizontale und vertikale Verfrachtungen der Wassermassen bewirkten zusammen mit biogenen und abiogenen Prozessen starke Verschiebungen im O₂-Gehalt. Im Sommer und Herbst wurden negativ heterograde Sauerstoffkurven verzeichnet, was sich im Isoplethendiagramm in einem Bereich niedrigerer O₂-Konzentrationen im Metalimnion zwischen 15 und 30 m Tiefe ausdrückte (Oktober). Negativ heterograde O₂-Kurven sind im Bodensee seit 1935 beobachtet worden (ELSTER 1977). Die niedrigsten Sauerstoffspannungen betragen 54% über dem Seegrund (Ende Oktober).

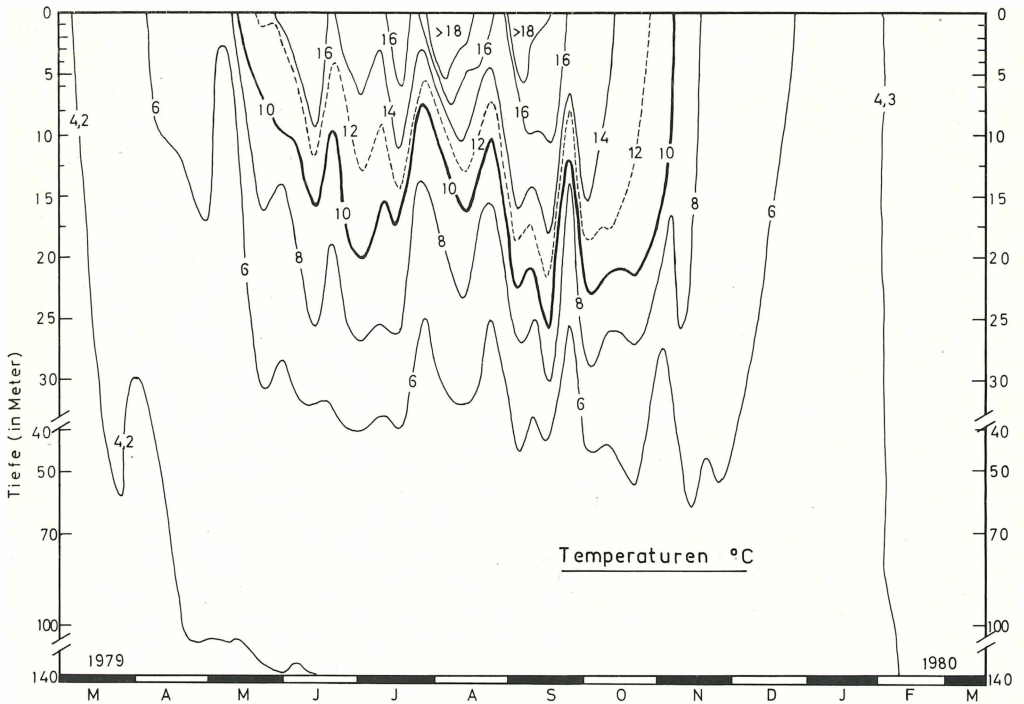


Abb. 1: Temperaturisoplethen im Überlinger See 1979/1980

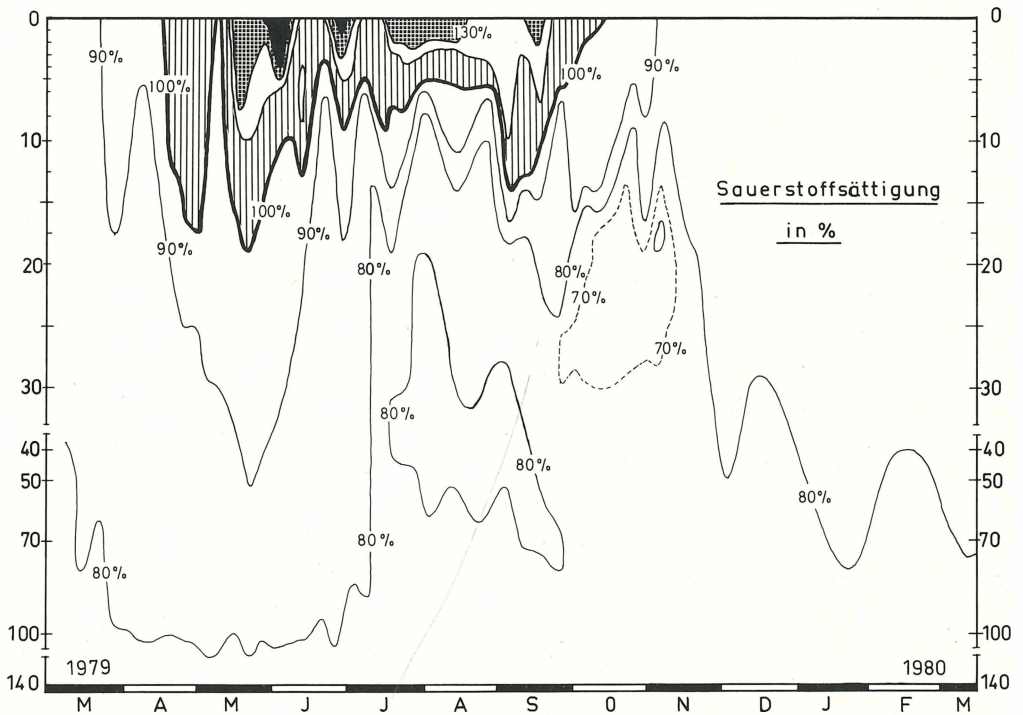


Abb. 2: Isoplethendarstellung des gelösten Sauerstoffs (in % Sättigung) im Überlinger See 1979/1980.

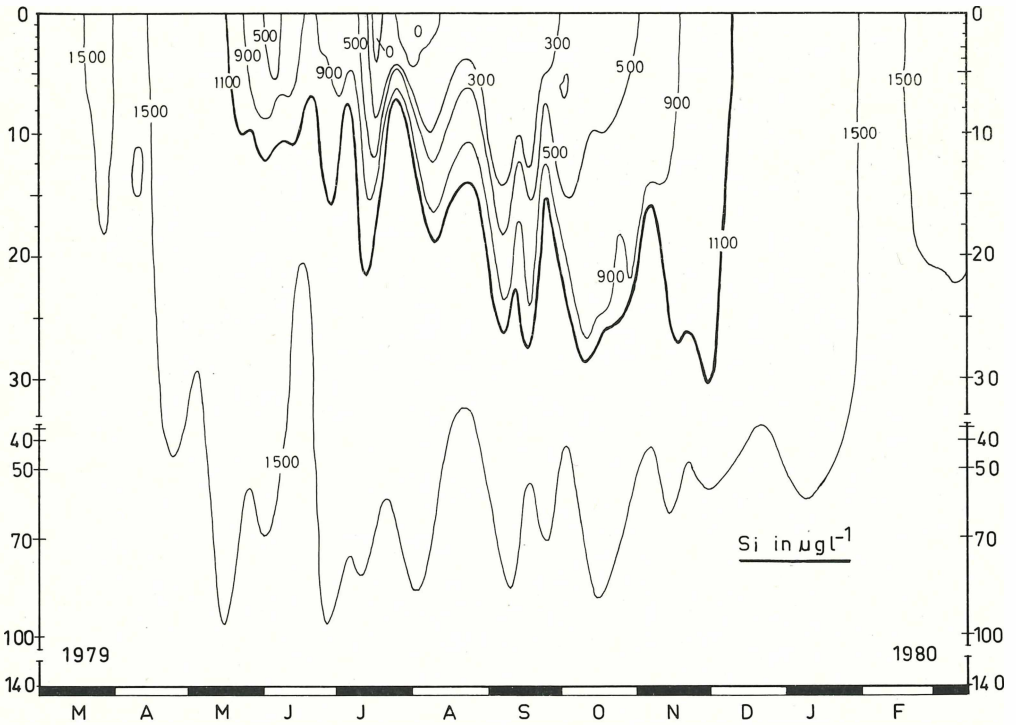


Abb. 3: Isoplethendarstellung der Siliciumkonzentrationen im Überlinger See 1979/1980.

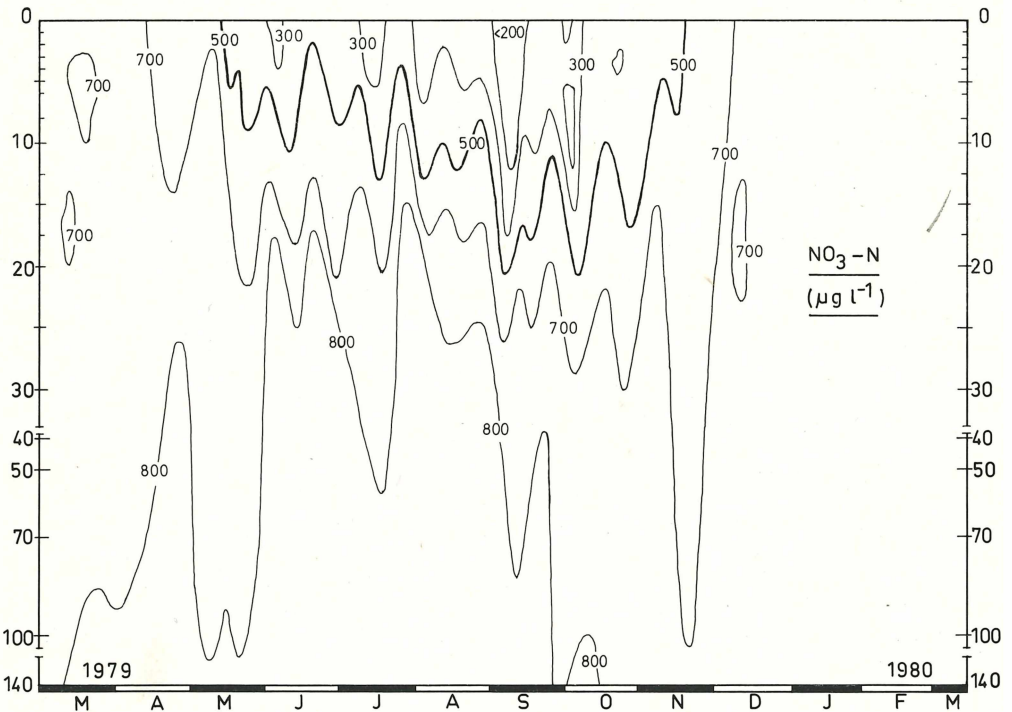


Abb. 4: Isoplethendarstellung der Nitratkonzentrationen im Überlinger See 1979/1980.

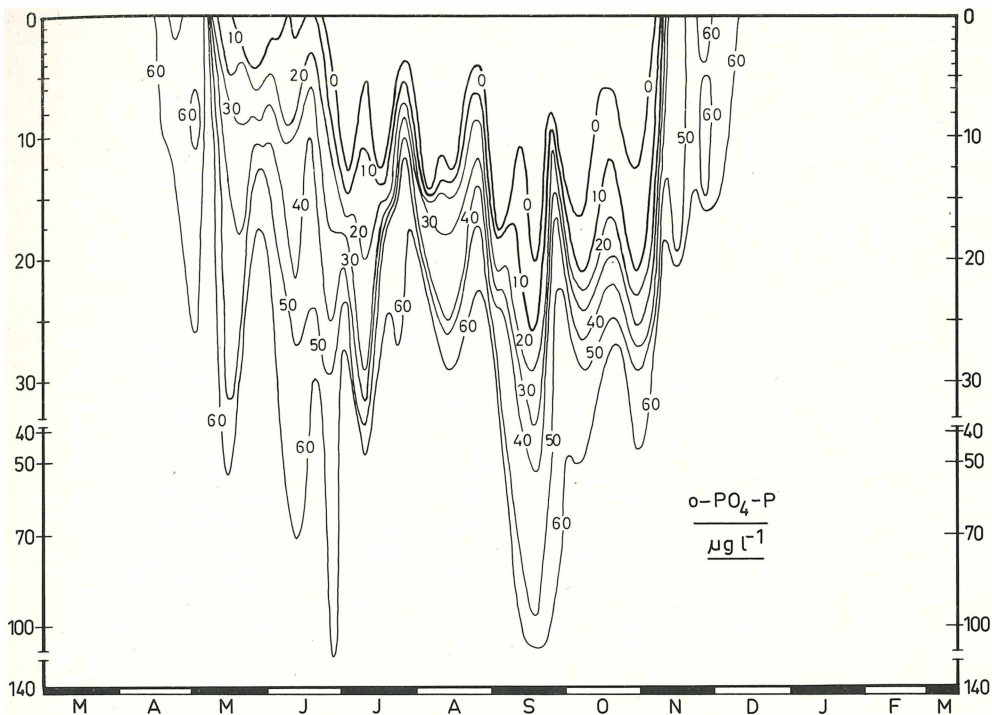


Abb. 5: Isoplethendarstellung der Konzentrationen des gelösten Phosphats im Überlinger See 1979/1980.

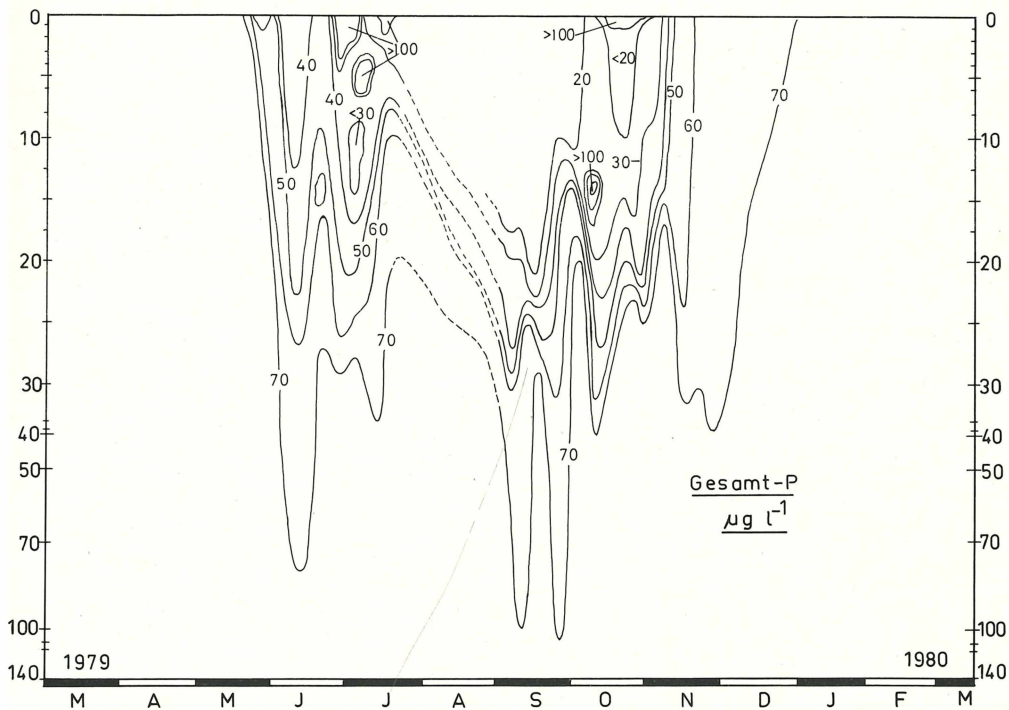


Abb. 6: Isoplethendarstellung der Konzentrationen des Gesamt-Phosphors im Überlinger See 1979/1980.

Im März 1979 waren etwa $1600 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ *Silicium* gleichmäßig über die gesamte Wassersäule verteilt (Abb. 3). Deutliche Abnahmen erfolgten während der Frühjahrsblüte erst im Mai, die vor allem durch Diatomeen hervorgerufen wird. Unterhalb von Konzentrationen von $500 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ wirkt *Silicium* begrenzend für das Wachstum vieler Kieselalgen. Im Klarwasserstadium Anfang Juni kam es zu einer Freisetzung von gelöster Kieselsäure durch die Aktivität des Zooplanktons, so daß die Voraussetzungen für eine erneute Kieselalgenblüte gegeben waren (vgl. SOMMER 1981). Ende Juni war auch dieser *Silicium*-Vorrat aufgezehrt, und die Diatomeen verschwanden aus dem Phytoplankton. Die Si-Konzentrationen sanken auf nicht mehr nachweisbare Werte ab. Ab Mitte Oktober nahm die Si-Konzentration in 15-20 m Tiefe, entweder durch Rückführung aus größeren Tiefen oder aus dem Litoralbereich, derart zu, daß sich dort erneut eine kleine Kieselalgenpopulation aufbauen konnte. Im allgemeinen ist die biogene *Silicium*abnahme auf die oberen 10-15 m beschränkt (Abb. 3).

Die wichtigsten *Stickstoff*-Verbindungen im Bodensee sind in der Rangfolge (1) gelöstes Nitrat, (2) N_2 und (3) gelöste organische *Stickstoff*komponenten. Ammonium spielt eine untergeordnete Rolle und ist stets nur in nicht mehr nachweisbaren Konzentrationen vorhanden (kleiner als $20 \mu\text{g NH}_4\text{-N} \cdot \text{l}^{-1}$). Gelegentlich sind Nitritkonzentrationen im Bereich zwischen 1 und $5 \mu\text{g N} \cdot \text{l}^{-1}$ nachweisbar. Während der Durchmischung im März/April lagen über $800 \mu\text{g NO}_3\text{-N} \cdot \text{l}^{-1}$ vor. Die Nitrataufnahme des Phytoplanktons führte zu einer Abnahme auf Minimalwerte von weniger als $200 \mu\text{g NO}_3\text{-N} \cdot \text{l}^{-1}$ in den obersten 12 m der Wassersäule im September (Abb. 4). Zu einer vollständigen Aufzehrung des in anorganischen Komponenten gebundenen *Stickstoff*s durch das Phytoplankton kommt es jedoch nie. Zur Zeit der geringsten NO_3 -Konzentrationen Mitte September und Anfang Oktober setzten sich im Phytoplankton die wenig *Stickstoff*bedürftigen Blaualgenpopulationen durch (vgl. SOMMER 1981). Im Hypolimnion kommt es beim Eintrag von partikulärem *Stickstoff*, der entweder bei der Vollzirkulation aus dem Sediment oder während der Vegetationsperiode aus absinkendem Seston stammt, zur Bildung von Nitrat durch nitrifizierende Bakterien.

Es ist bekannt, daß im Bodensee das Algenwachstum im Freiwasser durch *Phosphor* begrenzt wird. Diesem Nährstoff wurde daher in den zurückliegenden Jahren erhöhte Aufmerksamkeit geschenkt. Hier sind neben anderen vor allem die Untersuchungen von FAST (1955, 1960), KLIFMÜLLER (1960, 1969) sowie von WAGNER (1976) zu nennen (vgl. auch ELSTER 1974). Die bisherigen Sanierungsmaßnahmen, die zu einer Verbesserung der Abwassersituation für die Anliegergemeinden geführt haben, hatten in den letzten Jahren eine Abflachung der vorher exponentiell angestiegenen *Phosphor*-konzentrationskurve im Bodenseewasser zur Folge (ELSTER 1977). Nur gelöstes Orthophosphat kann durch Planktonalgen aufgenommen werden. Alle anderen Formen des *Phosphors* müssen zuerst durch chemische Umsetzungen verfügbar gemacht werden. Im Filtrat werden stets auch geringe Mengen organisch gebundenen *Phosphors* mit erfaßt. Die räumlich-zeitliche Verbreitung der *Phosphat*konzentration ist in Abb. 5 dargestellt. Die starke Verknüpfung des Vorkommens von *Phosphat*konzentrationen mit internen Wasserverfrachtungen und biogenen Einwirkungen belegt eindringlich die Notwendigkeit eines zeitlich und räumlich dichten Probenentnahmenetzes. Zu Beginn des Frühjahrs lagen mehr als $80 \mu\text{g l}^{-1}$ o- $\text{PO}_4\text{-P}$ gleichmäßig verteilt über die Wassersäule vor. Eine deutliche Abnahme erfolgte erst während der Frühjahrsblüte (Mitte Mai). Zu dieser Zeit nahmen die Oberflächenkonzentrationen auf unter $10 \mu\text{g P} \cdot \text{l}^{-1}$ ab. Im darauffolgenden Klarwasserstadium kam es zu einer geringen Wiederauffüllung des *Phosphat*-*Phosphor*-pools. Zum Beginn des Juli fielen die Konzentrationen dann erneut unter die Nachweisgrenze der verwendeten Methode ($\geq 3 \mu\text{g P} \cdot \text{l}^{-1}$) ab. Diese äußerst geringen Konzentrationen wurden bis November in den oberen Wasserschichten gemessen. Daß zu dieser Zeit dennoch ein starkes Phytoplanktonwachstum stattfand, lag u.a. an der sehr geringen turnover-Zeit der gelösten *Phosphor*komponenten (zwischen 1 und 3 Min. für große See nach LEAN, NALEWAJKO 1979). Zusätzlich kann durch Vertikalverfrachtung bisweilen genügend *Phosphor* aus dem Hypolimnion in die trophogenen Schicht gelangen und dort zu vermehrtem Phytoplanktonwachstum führen.

Bei der Messung des Gesamt-*Phosphors* wird neben den gelösten Fraktionen auch sämtlicher in Partikeln gebundener *Phosphor* erfaßt. Hier existieren ebenfalls anorganische und organische Komponenten. Im Isoplethendiagramm (Abb. 6) sind die biogenen Umsetzungen dieses Pools gut lesbar. Im Juni 1979 kam es zu einer spürbaren Verringerung des Gesamt-*Phosphors*, die zu Abnahmen von über $100 \mu\text{g P} \cdot \text{l}^{-1}$ zur Zeit der Durchmischung auf Werte unter $40 \mu\text{g P} \cdot \text{l}^{-1}$ im Mai führte (Abb. 6). Im Juli wurde eine Anreicherung von Gesamt-*Phosphor* in oberflächennahen Wasserschichten sichtbar. Die Einschichtung einer Diatomeenblüte in 15 m Tiefe im Oktober und eine erneute Algenblüte Anfang November an der Oberfläche führten zu weiteren Konzentrationszunahmen. Da es zu einer ständigen Umwandlung zwischen den verschiedenen *Phosphor*-Pools kommt, kann nur der Gesamt-*Phosphor* zur Beurteilung des Trophiezustandes eines Sees herangezogen werden (vgl. VOLLENWEIDER 1968, 1975). Im Überlinger See betrug die höchste Durchschnittskonzentration über die Wassersäule während der Durchmischung im Jahre 1979 $102 \mu\text{g P} \cdot \text{l}^{-1}$; im März 1980 betrug sie $90 \mu\text{g P} \cdot \text{l}^{-1}$. Die Abnahme um fast 12% zwischen 1979 und 1980

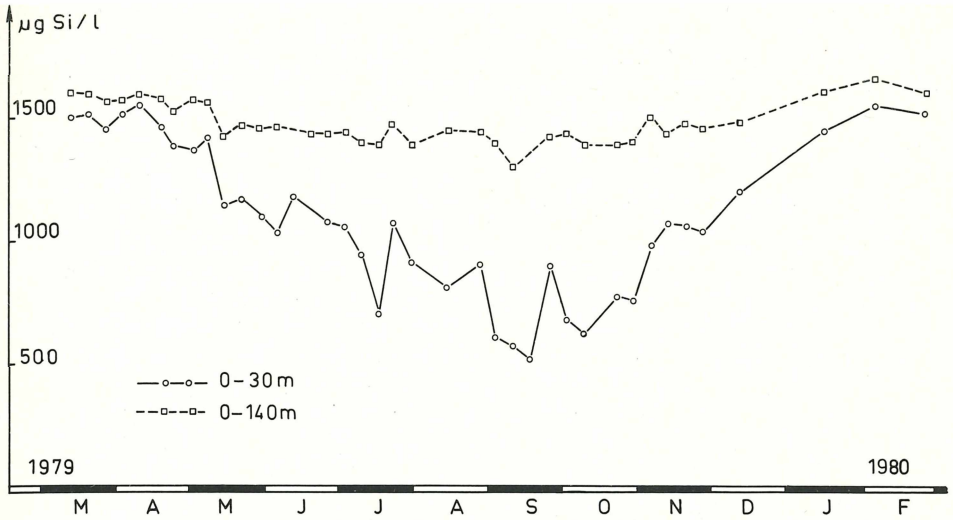


Abb. 7: Durchschnittskonzentration der Wassersäule an Silicium im Überlinger See (März 1979 - März 1980).

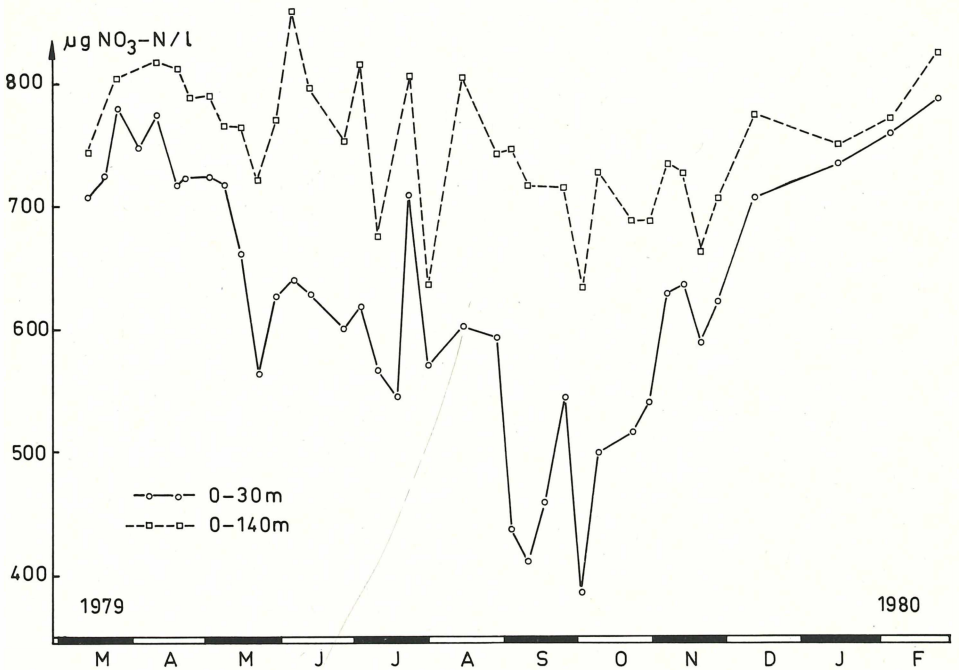


Abb. 8: Durchschnittskonzentration der Wassersäule an Nitrat an der tiefsten Stelle des Überlinger Sees (März 1979 - März 1980).

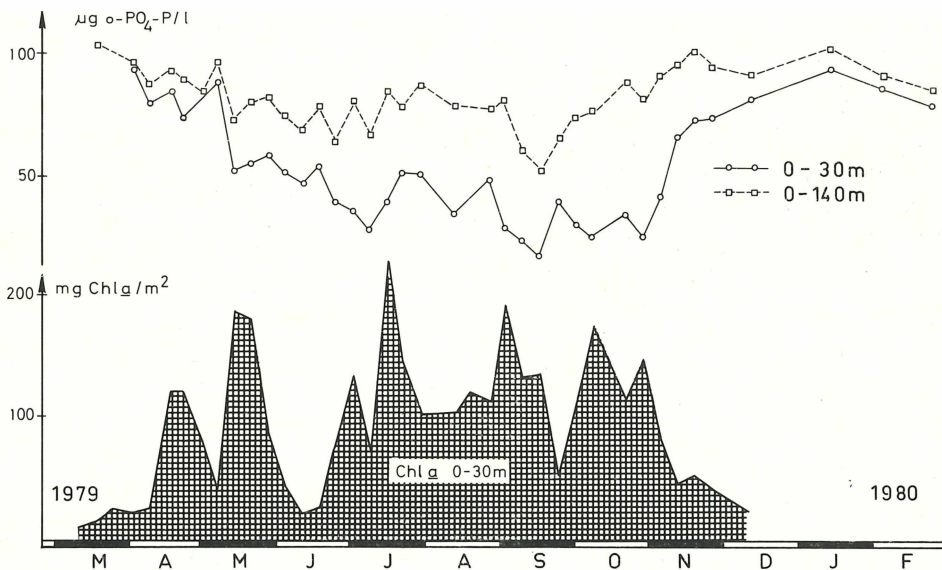


Abb. 9: Durchschnittskonzentration der Wassersäule an gelöstem Phosphat an der tiefsten Stelle des Überlinger Sees (März 1979 - März 1980).

darf nicht als Oligotrophierung infolge der eingeleiteten Sanierungsmaßnahmen gedeutet werden. Vielmehr sind langjährige Trends von Kurzzeitfluktuationen überlagert, die durch stochastische Prozesse (Wetterablauf, Durchmischungstiefe etc.) im jeweiligen Untersuchungsjahr bedingt sind.

In den folgenden Diagrammen sind diese Durchschnittskonzentrationen, die sich auf die oberen 30 m bzw. die ganze Wassersäule beziehen, im Jahresverlauf dargestellt. Beim gelösten Silicium (Abb. 7) wird deutlich, daß die Konzentrationsabnahmen im wesentlichen in der Vegetationsperiode des Phytoplanktons erfolgen. Diese Abnahmen sind - betrachtet man die gesamte Wassersäule - gering. Wird dagegen das Mittel aus den oberen 30 m betrachtet, erfolgt für diesen Wasserkörper eine starke biogene Abnahme. Diese Bezugstiefe wurde gewählt, um alle potentiellen Photosyntheseprozesse im See zu erfassen. Die Konzentrationsminima können jeweils mit dem Auftreten von Kieselalgenpopulationen verknüpft werden (vgl. SOMMER 1981). Die unruhig verlaufenden Abnahmekurven des Nitrats entstehen durch zeitlich begrenzte Neubildung von Nitrat durch nitrifizierende Organismen (Abb. 8).

Die o-Phosphatabnahme im Wasserkörper ist ebenfalls mit der Phytoplankton-Entwicklung korreliert. Dieser Zusammenhang wird durch die Darstellung der Chlorophyll-a-Konzentrationen im See verdeutlicht (vgl. RAUSCH 1981).

Im Gegensatz zu den Isoplethendarstellungen, in denen Momentaufnahmen der Konzentrationen innerhalb eines Vertikalprofils miteinander graphisch verbunden sind, vermittelt die zeitliche Verbindung der Durchschnittskonzentrationen in der Wassersäule (Abb. 7 bis 9) einen realistischeren Überblick über quantitative biogene und abiotische Abnahme von Nährstoffen in der trophogenen Schicht des Sees.

Zur Erstellung von Nährstoffbilanzen ist allerdings noch die allochthone Nährstoffzufuhr während der Vegetationsperiode durch Regen, Zulauf der Flüsse und aus diffusen Quellen zu berücksichtigen. Bestimmungen dieser Frachten und Berechnungen erwiesen sich als schwierig und aufwendig (WAGNER 1976). Um dennoch einen Überblick über das Ausmaß biogeochemischer Prozesse zu gewinnen, werden in weiteren Untersuchungen Sedimentationsraten der Elemente P, N und Si bestimmt. Die Gegenüberstellung der Verarmung der trophogenen Schicht an Gesamt-Phosphor mit der gemessenen Phosphorsedimentationsrate erlaubt eine Abschätzung des allochthonen Phosphoreintrages. Entsprechende Untersuchungen wurden 1980 aufgenommen.

Diese Arbeit wurde durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft gefördert (Ti 115/3). Frau G. Hauswald sagen wir für die Durchführung der Analysen unseren Dank.

Literatur

- ALBRECHT D., OVERBECK J., 1969: Wasseranalysen in der Limnologie mit Hilfe des Technicon Auto-Analyzers. Technicon Wasserkolloquium Bad Nauheim 1969, Sdnr. R. 855: 1-15.
- AUERBACH M., RITZI M., 1938: Die Oberflächen- und Tiefenströme des Bodensees IV: Der Lauf des Rheinwassers durch den Bodensee in den Sommermonaten. Arch. Hydrobiol. 32: 409-433.
- DEUTSCHE EINHEITSVERFAHREN zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung 1960: Weinheim (Verlag Chemie), 3. Aufl.
- ELSTER H.-J., EINSELE W., 1937: Beiträge zur Hydrographie des Bodensees (Obersee). Int. Revue ges. Hydrobiol. 35: 522-585.
- ELSTER H.-J., 1960: Der Bodensee als Organismus und die Veränderungen seines Stoffwechsels in den letzten Jahren. GWF-Wasser/Abwasser 101: 1-10.
- ELSTER H.-J., 1974: Wechselwirkungen zwischen Chemie und Biologie bei der Eutrophierung des Bodensees. Vom Wasser 43: 1-14.
- ELSTER H.-J., 1977: Der Bodensee - Bedrohung und Sanierungsmöglichkeiten eines Ökosystems. Naturwiss. 64: 207-215.
- FAST H., 1955: Systematische Untersuchungen über den chemischen und bakteriologischen Zustand des Bodensees. Jb. vom Wasser 22: 11-37.
- FAST H., 1960: Neuere Untersuchungsergebnisse über den Zustand des Bodensees (westl. Obersee). Jb. vom Wasser 27: 11-32.
- GELLER W., 1976: Limnologische und bakteriologische Untersuchungen des Bodensees-Überlingersees. Jahresber. Arbeitsgem. Wasserwerke Bodensee-Rhein (AWBR) 1976: 162-181.
- GELLER W., 1980: Stabile Zeitmuster in der Plankton sukzession des Bodensees (Überlinger See). Verh. Ges. f. Ökol. 8: 373-382.
- GRIM J., 1939: Beobachtungen am Phytoplankton des Bodensees (Obersee) sowie deren rechnerische Auswertung. Int. Rev. ges. Hydrobiol. 39: 193-315.
- HOLLAN E., 1974: Wenn der Bodensee aufgewühlt wird. Umschau 74: 152-154.
- HOLLAN E., SIMONS J., 1978: Wind-induced changes of temperature and currents in Lake Constance. Arch. Met. Geoph. Biokl. Ser. A 27: 333-373.
- KLIFFMÜLLER R., 1960: Beiträge zum Stoffhaushalt des Bodensees (Obersee) I. Die in den Bodensee (Obersee) eingebrachten Schmutz- und Nährstoffe und ihr Verbleib (Versuch einer bilanzmäßigen Erfassung für 1958/59). Int. Revue ges. Hydrobiol. 45: 359-380.
- KLIFFMÜLLER R., 1969: Beiträge zum Stoffhaushalt des Sees (Obersee) II. Stickstoff- und Phosphorhaushalt. Arch. Hydrobiol./Suppl. 35: 309-371.
- LEAN D.R.S., NALEWAJKO C., 1979: Phosphorus turnover time and phosphorus demand in large and small lakes. Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol. 13: 120-132.
- LEHN H., 1965: Isothermen-Schwankungen im Bodensee. Umschau 65: 644-647.
- LEHN H., 1968: Wasserbewegungen im Bodensee. Ein Beitrag zu den Ausbreitungsmöglichkeiten von Rohöl im Bodensee. GWF 109: 89-94.
- LENNOX L.J., 1979: An automated procedure for the determination of phosphorus. Water Res. 13: 1329-1333.
- LIMNOLOGISCHER MONATSBERICHT - ÜBERLINGER SEE (Bodensee), 1957-1963: [Anstalt f. Bodenseeforschung d. Stadt Konstanz] Konstanz-Staad.
- MÄCKLE H., MAIER D., 1980: Limnologische Untersuchungen im Bodensee-Überlingersee unter spezieller Berücksichtigung der UV-Differenzspektroskopie. Ber. Arbeitsgem. Wasserwerke Bodensee-Rhein (AWBR) 11: 90-108.
- RAUSCH T., 1981: Verschiebungen der biochemischen Zusammensetzung von Phytoplankton als Indikator physiologischer Zustände. Verh. Ges. f. Ökol. 9:
- SOMMER U., 1981: Phytoplankton-Biozönosen und -sukzessionen im Bodensee/Überlingersee. Verh. Ges.f. Ökol. 9:
- VOGLER P., 1965: Beiträge zur Phosphatanalytik in der Limnologie. Fortschr. Wasserchem. Grenzgeb. 2: 100-119.
- VOLLENWEIDER R.A., 1968: Scientific fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular reference to nitrogen and phosphorus as factors of eutrophication. O.E.C.D. Report (Paris): 192 p.
- VOLLENWEIDER R.A., 1975: Input-output models - with special reference to the phosphorus loading concept in limnology. Schweiz. Z. Hydrol. 37: 53-84.
- WAGNER G., 1976: Simulationsmodelle der Seeneutrophierung, dargestellt am Beispiel des Bodensee-Obersees. II: Simulation des Phosphorhaushaltes des Bodensee-Obersees. Arch. Hydrobiol. 78: 1-41.

WASMUND E., 1927: Die Strömungen im Bodensee. Int. Revue ges. Hydrobiol. 18: 84-114.

WILHELMS A., BERNHARDT H., 1969: Erfahrungen mit dem Einsatz des Auto-Analyzers in einem Trinkwasserlaboratorium. Vom Wasser 36: 353-382.

Adressen

Dr. Hans-Hennig Stabel
Prof. Dr. M. Tilzer
Limnologisches Institut
Fakultät für Biologie
Universität Konstanz
Mainaustr. 212
D-7750 Konstanz

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

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

Jahr/Year: 1981

Band/Volume: [9_1981](#)

Autor(en)/Author(s): Stabel Hans-Henning, Tilzer Max M.

Artikel/Article: [Nährstoffkreisläufe im Überlinger See und ihre Beziehungen zu den biologischen Untersuchungen 23-32](#)