

Vergleichende Untersuchungen zur Primärproduktion des Phytoplanktons im Neusiedlersee.  $O_2$ ,  $^{14}C$  und Experimente mit künstlicher Zirkulation.

DOKULIL, M., HAMMER, L. und JEWSON D.H.

Some observations on phytoplankton primary production in Neusiedler See.  $O_2$ ,  $^{14}C$ -, and artificial circulation experiments.

Abstract

Artificial circulation of algal cells in situ through the natural steep light gradient resulted in a somewhat lower integral photosynthesis at superficial light levels as compared to stationary bottles. Comparison between oxygen- and  $^{14}C$ -light and dark bottle experiments revealed unclear whether the  $^{14}C$ -technique measures gross- or net production. Specific productivity based on chlorophyll a resulted in relatively high rates due to the species composition of the phytoplankton assemblage.

1. Einleitung:

Zur Bestimmung der planktischen Primärproduktionsrate wird derzeit bei weitem am häufigsten die Hell-Dunkel-Flaschenmethode in situ angewendet. Diese Technik erfordert die Isolierung eines Wasservolumens samt der darin befindlichen natürlichen Planktonpopulation in Glasflaschen und deren Resuspendierung in der Tiefe aus der die Probe stammt für eine bestimmte Zeitspanne. Die Messung erfolgt entweder durch Bestimmung der Inkorporation radioaktiv markierten Kohlenstoffs in die Algenzellen (STEEMAN-NIELSEN, 1952) oder durch Erfassung des abgegebenen Sauerstoffs während der Photosynthese. Parallel inkubierte Dunkelflaschen dienen im ersten Fall zur Korrektur bakterieller bzw. planktischer Dunkelfixation und im zweiten Fall zur Ermittlung des Atmungsverlustes der Population, welche



wegen des gleichzeitigen Vorkommens von Bakterien, Protozoen und Zooplanktern, nur in erster Näherung der Phytoplanktonrespiration gleichzusetzen ist.

Diese Messungen erlauben Aussagen über verschiedene physiologische Parameter, wie Lichthemmung, Beginn der Lichtsättigung, Kompensationspunkt oder photosynthetische Kapazität zur Zeit des Experiments (TALLING, 1957). In tiefen stabil geschichteten Seen kann angenommen werden, daß trotz des Festhaltens der Algenpopulationen in bestimmten Tiefen einigermaßen realistische Werte erhalten werden, da der vertikale Austausch gering ist. Zur Zeit der Durchmischung jedoch, besonders aber in windexponierten Flachseen müssen stark artifizielle Ergebnisse erwartet werden. Die auftretenden großen Turbulenzen zirkulieren Algenzellen durch einen Lichtgradienten, sowohl was die Intensität als auch was die Qualität des Lichtes anlangt. Versucht man diese Verhältnisse künstlich nachzuahmen (JEWSON und WOOD, 1975), so zeigt sich eine Reduzierung der Photosyntheseinhibition bei hohen Lichtintensitäten und eine Verringerung des Integrals bei Zirkulation über die gesamte euphotische Zone.

Erste Versuche am Neusiedlersee im Jahr 1971 mit rotierenden Flaschen (DOKULIL unveröff.) erbrachten unwesentlich niedrigere Integralwerte und wurden nicht weiter verfolgt. Ein Studienaufenthalt von Herrn Jewson im Juli 1977 machte es möglich, den von ihm konstruierten Zirkulierapparat am Neusiedlersee einzusetzen. Ziel der Untersuchung war es, mit dieser verbesserten Technik herauszufinden, ob die von JEWSON und WOOD (1975) im Lough Neagh beobachteten Effekte im morphologisch und windklimatisch ähnlichen Neusiedlersee ebenfalls aufzufinden sind. Da bei der  $^{14}\text{C}$ -Technik nach wie vor Unsicherheit darüber besteht, ob diese Methode Brutto- oder Nettowerte liefert, war es ein weiteres Anliegen durch Vergleichsmessungen mit der Sauerstoffmethode diese Frage zumindest für den Neusiedlersee einigermaßen zu klären. Neben der grundsätzlichen Bedeutung ist dieses Problem für den See insofern von Interesse, als die planktische Primärproduktion hier bisher nur mit der Radiokohlenstoffmethode bearbeitet wurde.

## 2. Methode:

Die Bestimmung der Produktionsrate erfolgte parallel in Flaschen durch Messung der  $^{14}\text{C}$ -Aufnahme und der  $\text{O}_2$ -Abgabe sowie in zwei Zirkulationsapparaten (Abb.1). Eine detaillierte Beschreibung des Gerätes findet sich in JEWSON und WOOD (1975). Die Sauerstoffflaschen waren paarweise in 0, 10, 20, 40, 60 und 80 cm Tiefe horizontal aufgehängt. Zwei verdunkelte Flaschen in 40 und 80 cm dienten der Ermittlung der Respiration. Die  $^{14}\text{C}$ -Proben lagen ebenfalls horizontal in einer speziellen Plexiglashalterung in 12, 37, 62 und 87 cm Tiefe. Die beiden Zirkulationsgeräte reichten bis in 85 cm Tiefe. Die Strömungsgeschwindigkeit in dem einen Apparat war auf im Mittel 2 cm pro Sekunde eingestellt, d.h. jede Alge benötigte etwa 80 Sekunden für einen vollen Umlauf. Im zweiten Gerät wurde das Wasser nicht zirkuliert, um eine zusätzliche Kontrolle des Zirkuliereffekts zu ermöglichen.

Die Anfangskonzentration des Sauerstoffs, sowie die  $\text{O}_2$ -Änderungen in den Flaschen und Zirkulatoren wurde nach der Winkler-Methode mit amperometrischer Endpunktsbestimmung durch Rücktitration ermittelt (vergl. TALLING, 1973). Die Auswertung der  $^{14}\text{C}$ -Membranfilter erfolgte durch die " $^{14}\text{C}$ -Zentralen, Kopenhagen, Dänemark".

Als Parameter der Biomasse wurde Chlorophyll a nach Filtration über Watman Glasfaserfilter GF/C durch Extraktion mit 90 %igem Aceton bestimmt. Die Messung erfolgte nach LORENZEN (1967), da ein hoher Phäophytin-Anteil zu erwarten war.

Zur Ermittlung der Lichtverhältnisse über und unter Wasser diente ein Quantum-Photometer der Firma Lambda Instr., welches den photosynthetisch verwertbaren Anteil der Strahlung zwischen 400 und 700 nm direkt erfaßt. Da Quanten gemessen werden, ist die Einheit, u Einstein pro  $\text{m}^2$  und Sekunde, wobei 1 E pro  $\text{m}^2$  und Sekunde, wobei 1 E pro  $\text{m}^2$  und Sekunde gleichzusetzen ist mit  $51,2 \text{ Kcal m}^{-2}\text{sec}^{-1}$  (EAWAG, 1976, S.25). Die Temperaturmessungen erfolgten mit einem YSI-Thermistor.

Alle Untersuchungen wurden am Ostufer des Neusiedlersees vom Meßsteg der Biologischen Station Illmitz aus durchgeführt, wo die Wassertiefe zur Zeit der Experimente im Juli 1977 105 cm betrug.

### 3. Ergebnisse und Diskussion:

Abb.2 zeigt ein Experiment bei vollständig bedecktem Himmel und dementsprechend geringer Einstrahlung. An der Oberfläche betrug der photosynthetisch aktive Anteil (PAR) um die Mittagszeit  $150 \mu$  Einstein pro  $m^2$  und Sekunde. Umgerechnet auf Kalorien ergibt das eine PAR-Strahlung von  $27,65 \text{ kcal pro } m^2 \text{ und Stunde}$ , bzw.  $60,1 \text{ kcal } m^{-2}h^{-1}$  Globalstrahlung (TIR = 0,46 PAR, TALLING, 1957). Diese Lichtintensität war gerade ausreichend zur Sättigung der Photosynthese, weshalb die Maximalraten der C-Aufnahme und der  $O_2$ -Abgabe direkt an der Oberfläche erreicht werden ( $0,04 \text{ mg C}$  bzw.  $0,145 \text{ mg } O_2$  pro Liter und Stunde. Bezogen auf Sauerstoff wird der Kompensationspunkt, welcher im allgemeinen bei 1 % der Oberflächenhelligkeit auftritt, in 70 cm Tiefe erreicht. Überraschenderweise korrespondiert die Kompensationstiefe im vorliegenden Fall mit 6,3 % der einfallenden Strahlung.

Da die beiden Maßstäbe in Abb. 2 zum direkten Vergleich der Methoden entsprechend  $\text{mg } O_2$  gleich  $2,75 \times \text{mg C}$  (WINBERG, 1971) gegeneinander versetzt sind, muß die Differenz der Kurven dahingehend gedeutet werden, daß die  $^{14}\text{C}$ -Methode in diesem Fall nicht Bruttowerte mißt. Tatsächlich ergibt ein Vergleich mit den Nettosauerstoffwerten recht gute Übereinstimmung. Offensichtlich kam es trotz der relativ kurzen, dreistündigen Expositionszeit bereits zu einer signifikanten Veratmung markierter Substanzen.

Die Produktion pro  $m^2$  Seeoberfläche berechnet durch Integration des Tiefenprofils ist praktisch ident mit dem aus der Zirkulation erhaltenen Integralwert:

O <sub>2</sub> Flaschen	47,4 mg O <sub>2</sub>	m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup>
Zirkulation	48,0 mg O <sub>2</sub>	m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup>

Der zweite nicht umwälzende Zirkulierapparat ergab ebenfalls den Wert von 48 mg C pro m<sup>2</sup> und Stunde. Irgend ein Einfluß der künstlichen Zirkulation auf die Photosynthese ließ sich also nicht nachweisen. Bei den vorgegebenen Lichtverhältnissen war dieses Ergebnis allerdings zu erwarten, da nach JEWSON und WOOD (1975) nachweisbare Effekte erst bei höheren Lichtintensitäten und dem Auftreten einer Oberflächenhemmung zu finden sind. Das Integral auf den <sup>14</sup>C-Daten errechnet sich zu 9,72 mg C pro m<sup>2</sup> und Stunde, äquivalent zu 26,7 mg O<sub>2</sub> gleich 56 % der Bruttoproduktion des Tiefenprofils.

Das zweite hier wiedergegebene Experiment (Abb.3) stammt vom 3.7.1977, einem schwach windigen wolkenlosen Hochsommertag. Die Einstrahlung um 12 Uhr betrug 1.750  $\mu$  Einstein pro m<sup>2</sup> und Sekunde (= 322,56 kcal m<sup>-2</sup>h<sup>-1</sup> PAR = 701 kcal m<sup>-2</sup>h<sup>-1</sup> TIR). In Folge der überoptimalen Lichtintensität ist die Photosynthese der Phytoplanktonpopulation in den oberflächennahen Schichten gehemmt. Die maximale Produktionsrate wird erst in 40 cm Tiefe erreicht (0,068 mg C bzw. 0,15 mg O<sub>2</sub> l<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>). Mit zunehmender Tiefe fällt die Produktionsleistung dann linear ab und erreicht in 90 cm Tiefe bei 2,5 % der Oberflächenintensität den Kompensationspunkt. Der Nullwert der Sauerstoffproduktion an der Oberfläche resultiert wahrscheinlich aus Photooxydation von Zellsubstanzen in Folge der hohen Lichtintensität, was besonders bei Schwachlicht adaptierten Zellen auftritt (McALLISTER, 1961). Dies würde auch die Diskrepanz zwischen Sauerstoff- und Kohlenstoffwerten im oberen Intensitätsbereich erklären. Da die <sup>14</sup>C-Aufnahme aber generell größer ist als die Bruttosauerstoffabgabe, reicht diese Erklärung für die tieferen Schichten nicht aus.

War im zuvor beschriebenen Fall kein Einfluß der Zirkulation feststellbar, so verringert sich das Tiefenintegral aus Abb. 3 von  $89,2 \text{ mg O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  aus den Flaschenexperimenten auf  $85,8 \text{ mg O}_2$  pro  $\text{m}^2$  und Stunde (=96 %) bei künstlicher Zirkulierung. Der Effekt geringerer flächenspezifischer Produktion bei nachgeahmter Turbulenz ist also feststellbar, aber nicht so ausgeprägt wie im Lough Neagh, wo Verminderungen bis zu 10 % beobachtet wurden (vergl. JEWSON und WOOD, 1975).

Bezogen auf die Biomasseeinheit ergeben sich hohe Produktionsleistungen bei Lichtsättigung:

30.6.	$15 \text{ mg O}_2$	$(\text{mg Chl } a)^{-1} \text{ h}^{-1}$
bzw.	$4 \text{ mg C}$	" " " " "
3.7.	$22,4 \text{ mg O}_2$	$(\text{mg Chl } a)^{-1} \text{ h}^{-1}$
bzw.	$10,4 \text{ mg C}$	" " " " "

Dies muß auf die günstige Lichtausnutzung von 1,0 bzw. 1,4 % zurückgeführt werden. Für die flächenbezogene Produktion ergeben sich daraus Ausbeuten von 0,096 und 0,61 %, welche größenordnungsmäßig mit dem längerfristigen Mittel von 0,11 % (DOKULIL, 1974) übereinstimmen. Die relativ großen Ausnützungsraten der eingestrahnten Energie sind wohl zum Großteil der während der Untersuchungsperiode dominierenden Diatomee, *Cyclotella meneghiniana* Kütz, zuzuschreiben. Von dieser Art sind hohe spezifische Produktionsleistungen bekannt (STULL et al. 1971). Die oben angeführten Produktionspro-Biomasse-Werte stimmen auffallend mit Ergebnissen von JØRGENSEN (1964b) aus Kulturen dieser Alge überein.

Abb. 4 stellt die Ergebnisse der beiden beschriebenen Experimente in relativen Einheiten in Bezug zur Lichtintensität dar. Aus dieser Darstellung ist einerseits abzulesen, daß am 30.6. das gesamte Profil im linearen Lichtbereich lag und Sättigung gerade erreicht wurde, während andererseits am 3.7. überoptimale Intensitäten auftraten. Weiters ergeben

sich aus dieser Abbildung  $I_k$ -Werte (Lichtintensität bei Sättigung der Photosynthese) von 100 bzw. 150 u Einstein pro  $m^2$  und Sekunde. Durch Umrechnen läßt sich zeigen, daß diese Sättigungsintensitäten identisch sind mit den Angaben bei JØRGENSEN (1964 a,b) für *Cyclotella meneghiniana*. Ähnliche Absolut- und  $I_k$ -Werte fand TALLING (1957) für die Diatomee *Asterionella formosa*. Auch der Respirationsanteil der lichtgesättigten Photosynthese liegt mit 1/13 bzw. 1/7 in vergleichbarer Höhe.

#### 4. Zusammenfassung:

Aus den vorliegenden Experimenten können folgende Schlüsse gezogen werden.

- 1) Eine meßbare Verringerung der flächenbezogenen Produktion durch künstliche Zirkulation tritt nur bei überoptimalem Lichtangebot auf. Der Effekt ist geringfügig, etwa 4 %. Ob höhere Turbulenzen deutlichere Ergebnisse zeitigen muß in weiteren Experimenten und durch mathematische Analysen nach BAUMERT (1976a, b) geprüft werden.
- 2) Da in nicht zirkulierenden Apparaten die selben Integralwerte erhalten werden, ist offensichtlich der Einfluß intermittierender Strahlung von sehr geringer Bedeutung. Daraus darf der Schluß gezogen werden, daß zur adäquaten Beschreibung der flächenbezogenen Produktion die Suspendierung entsprechend langer Plastikröhren genügt, da so direkt und mit weniger Aufwand integrierte Produktionsraten erhalten werden.
- 3) Die Frage, ob die  $^{14}C$ -Methode Brutto- oder Nettowerte liefert, muß auf Grund der widersprüchlichen Resultate im Augenblick unbeantwortet bleiben.

- 4) Mit der empfindlichen amperometrischen Winkler-Bestimmung lassen sich rasch Produktions- und Respirationswerte mit großer Genauigkeit ermitteln. Allerdings dürfte die Erfassungsgrenze in den Wintermonaten unterschritten werden, sodaß dann auf Messungen mit radioaktiv markiertem Kohlenstoff zurückgegriffen werden muß.
- 5) Die spezifischen Produktionsleistungen der Algenpopulationen, was in der Artenzusammensetzung und der Schwachlichtadaption in Folge der anorganischen Trübe begründet ist.

## L i t e r a t u r

- BAUMERT, H., 1976: Mathematisches Modell zur Deutung der durch intermittierende Belichtung von Phytoplanktern hervorgerufenen Mehrleistung der Photosynthese. Int.Rev.ges.Hydrobiol. 61, 517-527
- DOKULIL, M., 1974: Der Neusiedlersee (Österreich). Ber.Naturhist.Ges.Hannover 118,205-211.
- EAWAG, 1976: Jahresbericht 1976. 102 Seiten.
- JEWSON, D.H. & WOOD, R.B., 1975: Some effects on integral photosynthesis of artificial circulation of phytoplankton through light gradients. Verh.Int.Verein.Limnol. 19, 1037-1044.
- JØRGENSEN, E.G., 1964a: Adaption to Different Light Intensities in the Diatom *Cyclotella meneghiniana* Kütz. Physiologia Plantarum 17, 136-146.
- 1964b: Chlorophyll Content and Rate of Photosynthesis in Relation to Cell Size of the Diatom *Cyclotella meneghiniana* Kütz. Physiologia Plantarum 17, 407 - 413.
- LORENZEN, C.J., 1967: Determination of Chlorophyll and Pheo-pigments Spectrophotometric equations.-Limnol.Oceanogr.12,343-346.
- McALLISTER, C.D., 1961: Observations in the variation of planktonic photosynthesis with light intensity, using both the  $O_2$  and  $C^{14}$  methods. Limnol. Oceanogr. 6, 483-484.

- STEEMAN-NIELSEN, E., 1952: The use of radioactiv carbon  $^{14}\text{C}$  for measuring organic production in the sea. J.Cons.Perm.Int. Explor.Mer. 18, 117-140.
- STULL, E.A., De AMAZAGA, E. und GOLDMAN, Ch.R., 1973: The contribution of individual species of algae to primary productivity of Castle Lake, California. Verh.Int.Verein.Limnol 18, 1776-1783.
- TALLING, J.F., 1957: Photosynthetic characteristics of some freshwater plankton diatoms in relation to underwater radiation. New Phytol. 56, 29-50.
- 1973: The application of some electrochemical methods to the measurements of photosynthesis and respiration in fresh waters. Freshwater Biol. 3, 335,362.
- WINBERG, G.G., 1971: Symbols, units and conversion factors in studies of freshwater productivity. IBP Publ. 23 pp, Cable Print.Serv., London.

Anschrift der Verfasser:

Dr. M. Dokulil

Limnolog.Institut der Österr.Akad.d.Wiss.

Berggasse 18

1090 Wien

Dr.L.Hammer

Biologische Station, 7142 Illmitz

Jewson D.H.

School of Biological & Environmental Studies

The New University of Ulster,

Coleraine, Co. Derry (N.-Irland)



BIOLOGISCHE STATION NEUSIEDLER SEE

Abbildungslegende:

- Abb. 1: Der für die Untersuchung verwendete Zirkulationsapparat nach JEWSON und WOOD.
- Abb. 2: Experiment vom 30.6.1977, S<sub>0</sub>, 10/10, leichter West.  
Biomasse 10,7 µg Chlorophyll a pro Liter.  
Durchgezogene Linie: O<sub>2</sub> - Werte aus Flaschen  
Strichlierte Linie: <sup>14</sup>C - Daten aus Flaschen  
Schraffierte Fläche: Nettoproduktion aus Zirkulation,  
weiße Fläche rechts davon: Respiration.  
Kurve im rechten Teil der Abbildung: Photosynthetische Strahlung
- Abb. 3: Experiment vom 3.7.1977. S<sub>4</sub>, 0/10, leichter West.  
Biomasse 6,7 µg Chlorophyll a pro Liter.  
Sowas wie Abb. 2
- Abb. 4: Relative Photosynthese in Abhängigkeit von der photosynthetisch aktiven Strahlung für die beiden Untersuchungstage.

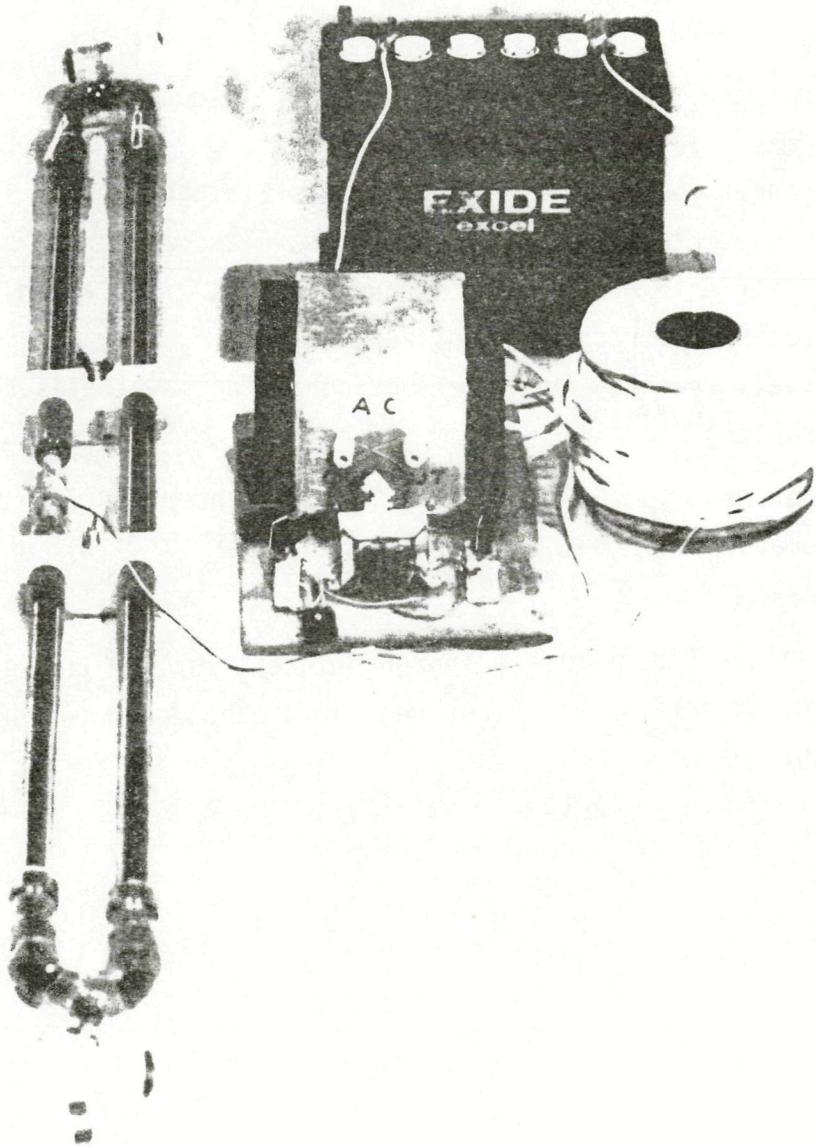


Abb. 1

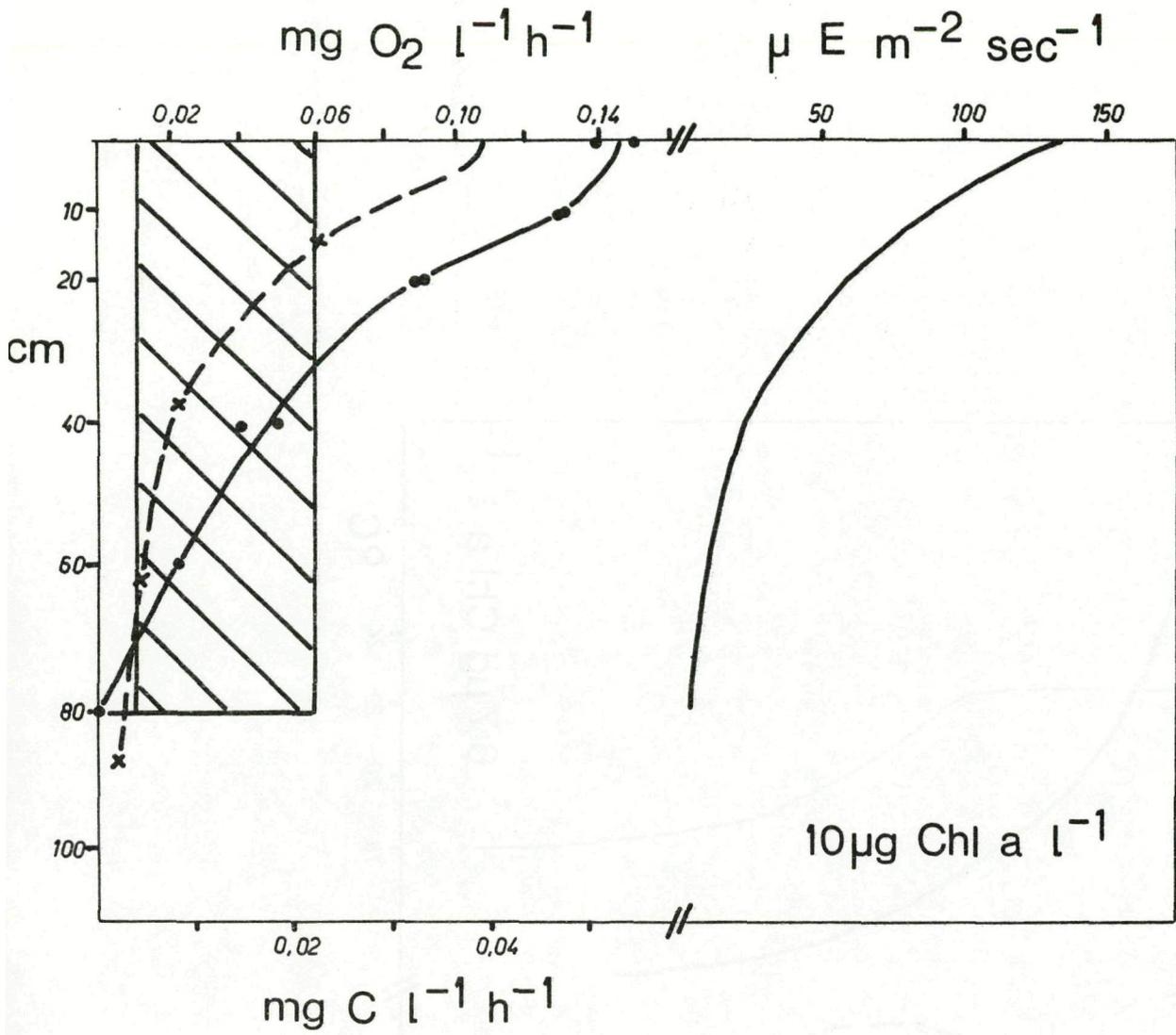
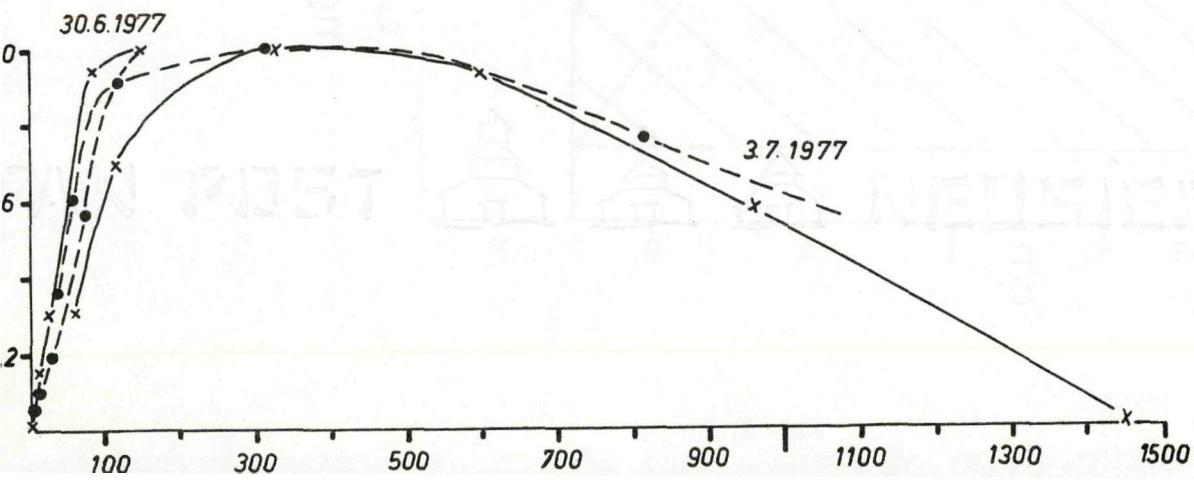


Abb. 2



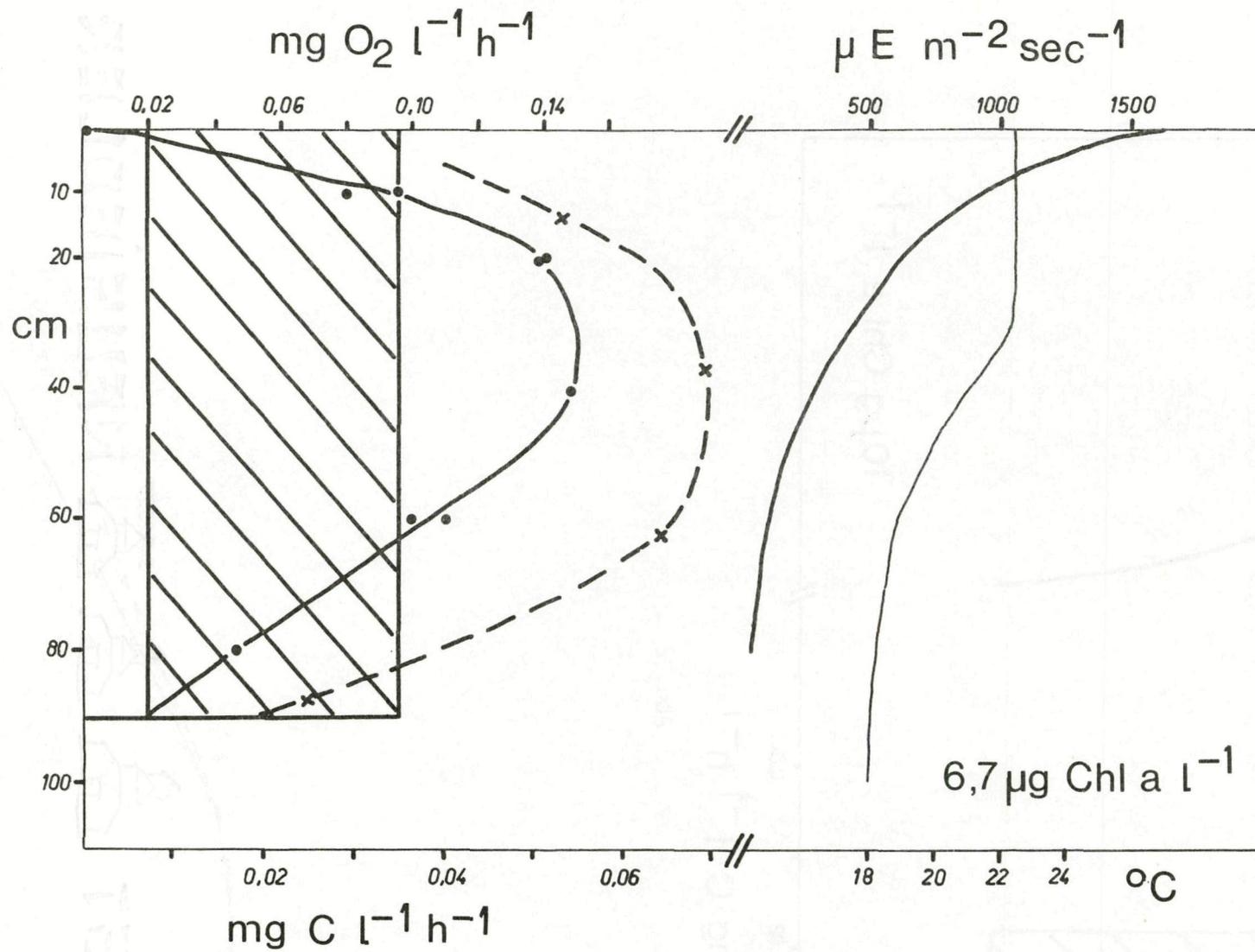


Abb. 3

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

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [BFB-Bericht \(Biologisches Forschungsinstitut für Burgenland, Illmitz 1](#)

Jahr/Year: 1978

Band/Volume: [29](#)

Autor(en)/Author(s): Dokulil Martin T., Hammer L., Jewson D. H.

Artikel/Article: [Vergleichende Untersuchungen zur Primärproduktion des Phytoplankton im Neusiedlersee. O2, C14 und Experimente mit künstlicher Zirkulation 60-73](#)