

HORIZONTAL- UND VERTIKALGRADIENTEN IN EINEM FLACHSEE (NEUSIEDLERSEE, ÖSTERREICH).

M. DOKULIL

Abstract

Neusiedlersee is a very shallow steppe lake ($\bar{m} = 1.3$ m). High inorganic turbidity and horizontal watertransportation is common, because of strong wind in this region. Except for light, horizontal gradients, such as turbidity, chlorophyll or biomass, are more important than is vertical differentiation. The effects on primary production are discussed.

Auf die allgemeine Charakterisierung dieses 300 km² großen, einzigen Steppensees Europas braucht hier wohl nicht näher eingegangen zu werden, zumal darüber zahlreiche Publikationen vorliegen (z.B. RUTTNER-KOLISKO & RUTTNER 1959, WEISSER 1970, DOKULIL 1974a und vor allem LÖFFLER 1974).

Infolge der geringen Tiefe (Mittel etwa 1,3 m) und der starken Windexposition, bevorzugt aus Nordwest und Südost (STEINHAUSER 1970), sind vertikale Mischung und horizontale Wasserverlagerung im offenen See (174 km²) die Regel. Schon bei geringen Windstärken greifen die Turbulenzen bis zum Sediment durch, weshalb der Neusiedlersee ständig durch anorganische Partikel feinsten Korngrößen getrübt ist, fehlt doch Weichschlamm mit Ausnahme der Makrophytenzone im offenen See völlig. Die Menge dieser Schwebstoffe schwankt, in Abhängigkeit von Windgeschwindigkeit und Windrichtung (DOKULIL 1975c), zwischen 10 und 500 mg Trockengewicht im Liter. Eine strenge vertikale Schichtung läßt sich dabei nur unmittelbar nach Einsetzen des Windes oder bei Eintritt von Ruhigwetterlagen feststellen.

In unmittelbarem Zusammenhang mit der Trübung (Sichttiefe 5–50 cm) steht das Lichtklima im See, da das Ausmaß der Extinktion von der Menge der Schwebstoffe entscheidend beeinflußt wird (DOKULIL 1973a, 1975c). Dadurch entsteht ein deutlicher und variabler Lichtgradient in der Vertikalen (Abb. 1). Die euphotische Zone kann bis zum Grund reichen oder aber bis auf 10 cm abnehmen, was wiederum große Bedeutung für die planktische Primärproduktion erlangt.

Der starke Lichtabfall mit der Tiefe ist aber zugleich auch der einzige ständige und ausgeprägte Vertikalgradient im Neusiedlersee. Stabilere Temperaturschichtungen sind wegen der meist starken Turbulenzen extrem selten. Der größte Temperaturunterschied zwischen Wasseroberfläche und Sediment beträgt etwa 6° C (ECKEL 1953, ZAKOVSEK 1961, MOTSCHKA 1974). Wegen des geringen Wärmervorrates dieses extremen Flachsee folgt die Wassertemperatur der Lufttemperatur mit geringer Verzögerung. Infolgedessen erreicht der See nach rascher Erwärmung im Frühjahr hohe Sommertemperaturen, Schlechtwetterperioden finden ihren Niederschlag in sofortiger Temperaturabnahme und er friert im Winter meist zu. Andere chemische oder physikalische Gradienten in der Vertikalen lassen sich nicht nachweisen, jedoch besteht eine chemische Differenzierung in der Längsrichtung.

So ist der südliche Seeteil wesentlich salzreicher (NEUHUBER 1971), wie an der erhöhten Leitfähigkeit in Abb. 2A–6A abzulesen ist. Die Verteilung der Leitfähigkeit im Nordteil hingegen ist weitgehend strömungsabhängig (z.B. Schilfwasserfahnen geringen Salzgehaltes, Abb. 5A). Ähnliches gilt auch für die Alkalinität, allerdings sind hier die Unterschiede sehr gering.

Während aber diese chemische Differenzierung mehr oder weniger stabil über Jahre bestehen bleibt, ist die horizontale Verteilung der Schwebstoffe sowie der Algen abhängig von der jeweiligen Windsituation (DOKULIL 1974 a,b; 1975 c).

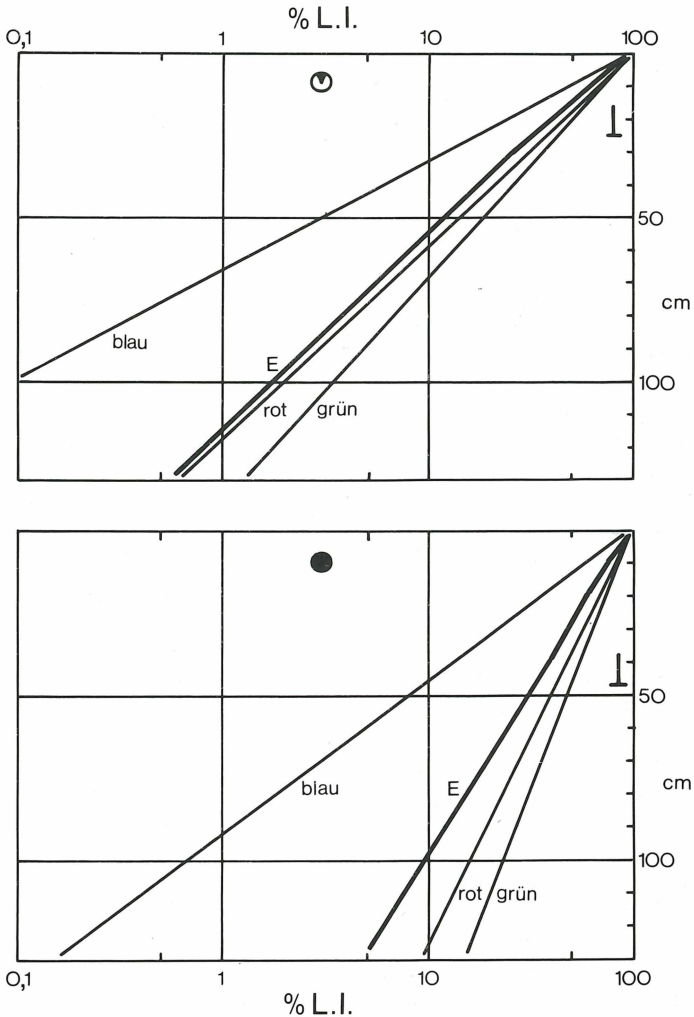


Abb. 1. Relative Lichtintensität unter Wasser in Prozent der Oberfläche für die Spektralbereiche Blau, Grün und Rot, sowie der Gesamtenergie (E) im Bereich von 400–700 nm (halb-logarithmisch). Oben: Am 25.8.1971; Schwebstoffgehalt 42,2 mg TG l⁻¹. Unten: Am 11.10.1970; Schwebstoffgehalt 18,4 mg TG l⁻¹.

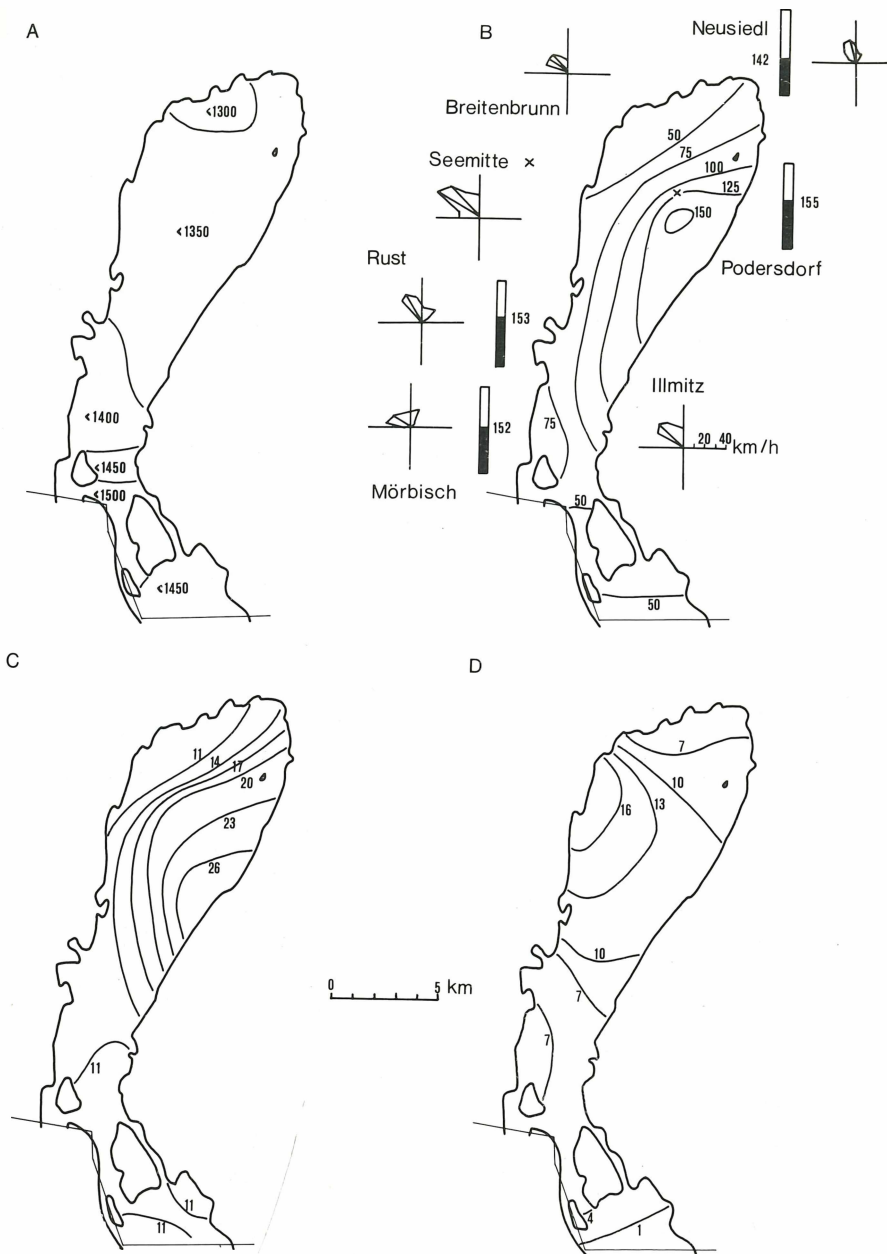
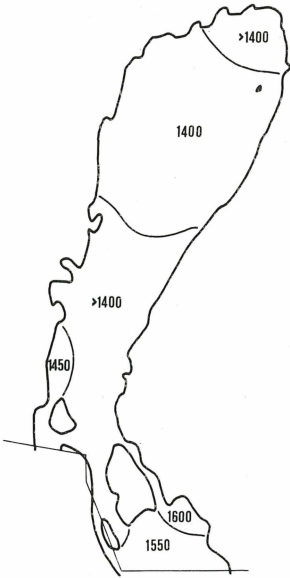
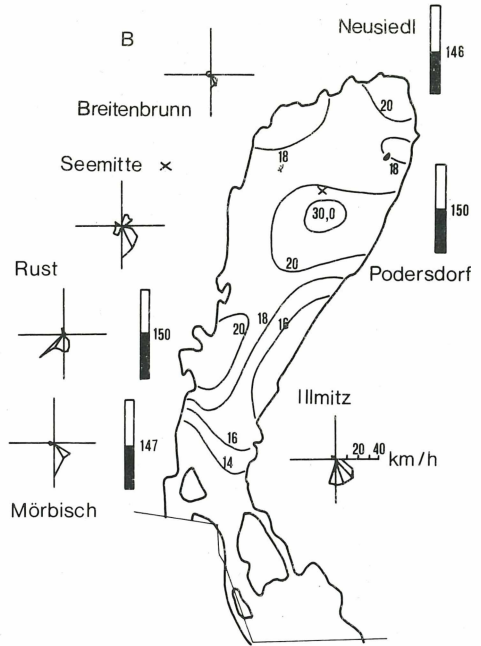


Abb. 2. Horizontalverteilungen am 12.8.1970 bei NW-Wind. Dargestellt ist nur die freie unverschilfte Seefläche des österreichischen Teiles des Neusiedlersees. Bei B sind die Windrichtungen und -geschwindigkeiten der vorhergegangenen 24 Stunden sowie die Pegelstände am Tage der Probenentnahme eingetragen. A: Elektrische Leitfähigkeit in μS . B: Schwebstoffe in mg TG l^{-1} . C: Chlorophyll A in $\mu\text{g l}^{-1}$. D: Phaeopigment in $\mu\text{g l}^{-1}$.

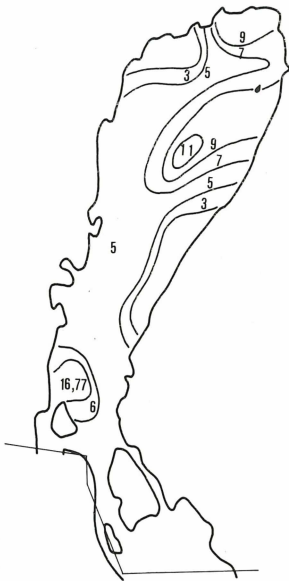
A



B



C



D

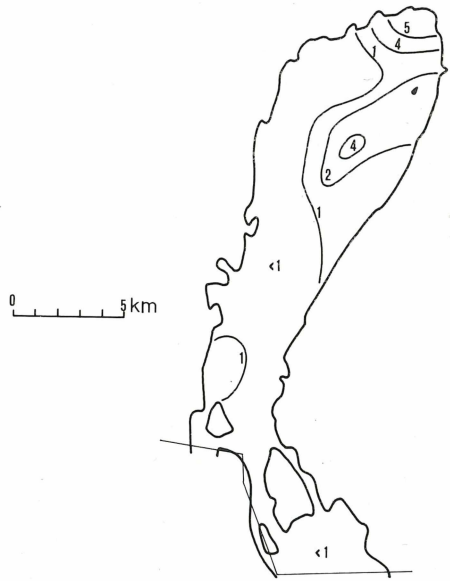


Abb. 3. Wie Abb. 2, jedoch am 11.9.1970 bei aufkommendem SO-Wind.

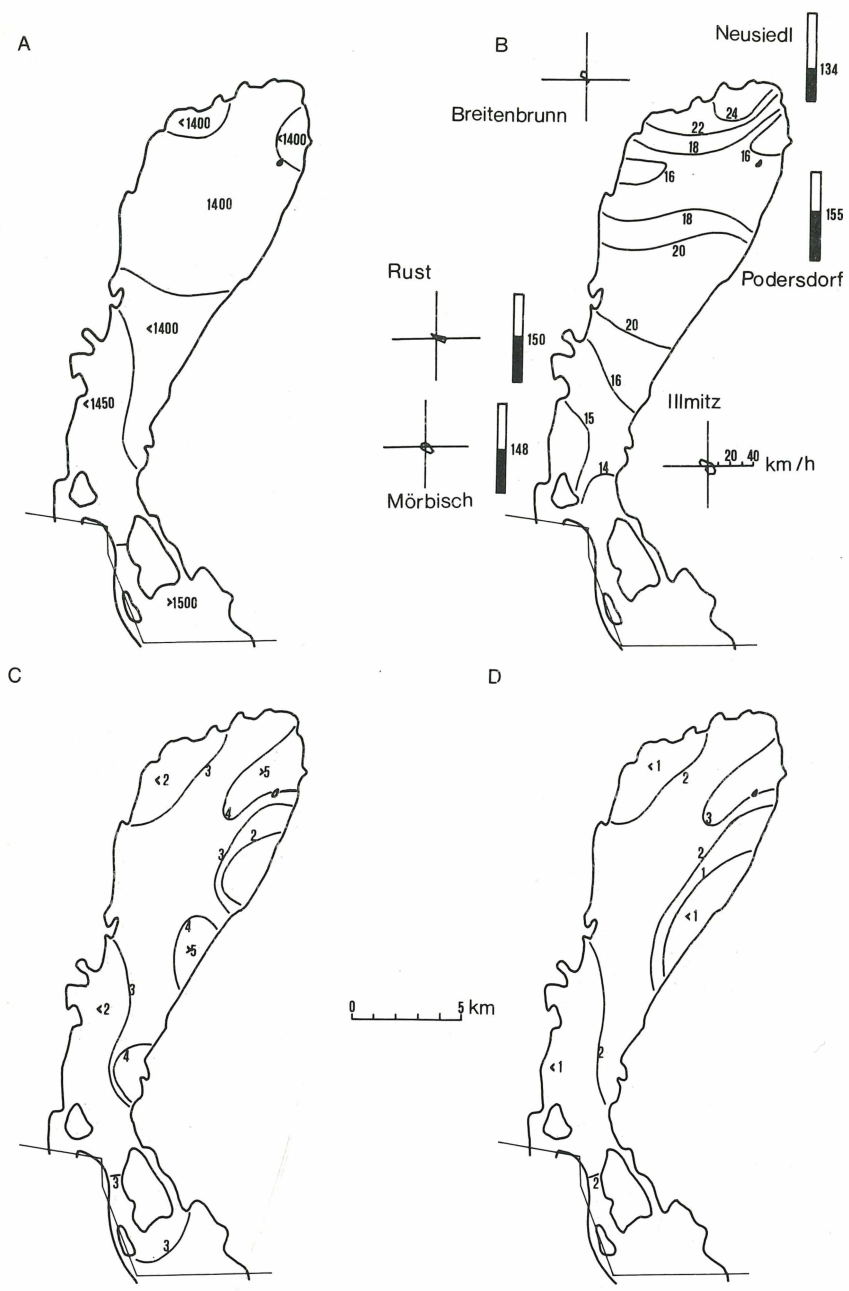


Abb. 4. Wie Abb. 2, jedoch am 11.10.1970, beinahe windstill.

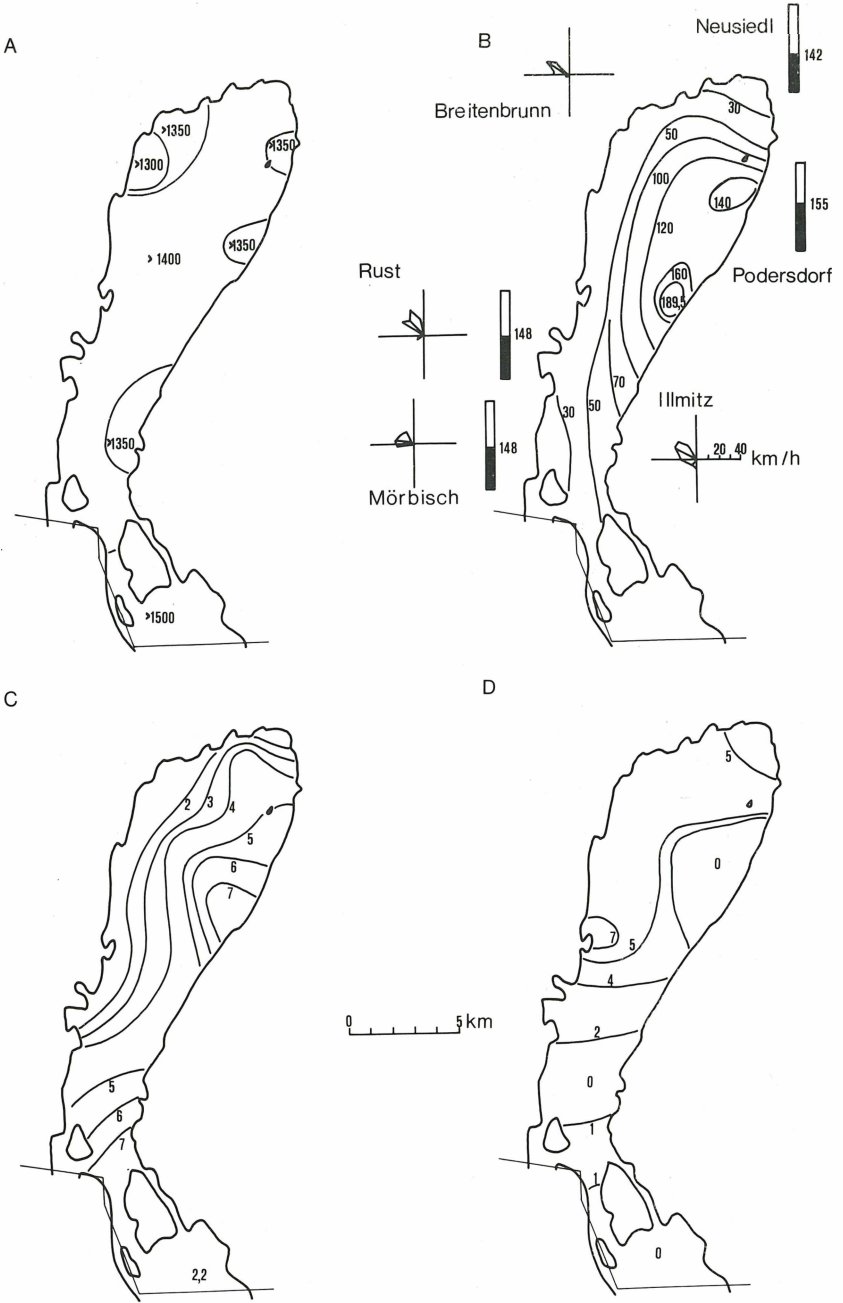


Abb. 5. Wie Abb. 2, jedoch am 22.10.1970 bei NW-Wind.

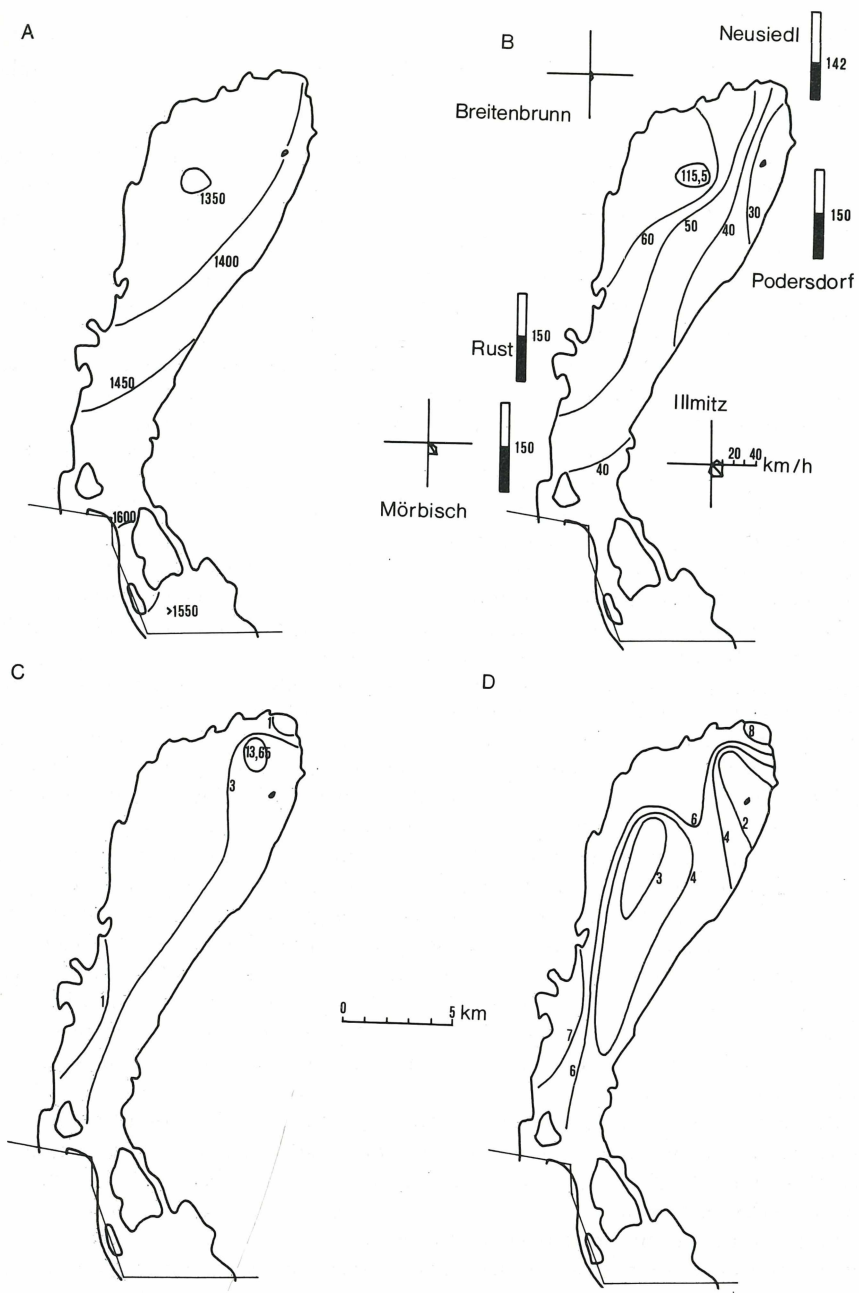


Abb. 6. Wie Abb. 2, jedoch am 18.11.1970 bei SO-Wind.

Wegen der geringen Tiefe und der damit verbundenen Bodenreibung, entstehen fortschreitende, trochoide Wellen, welche einen horizontalen Transport von Partikeln ermöglichen (SMITH & SINCLAIR 1972). Dadurch aber ergeben sich charakteristische Horizontalgradienten, wie sie in den Abbildungen 2 B,C–6 B,C dargestellt sind.

So finden sich die höchsten Werte bei NW – Wind am Ostufer (Abb. 2 u. 5), bei SO – Wind am Westufer (Abb. 3 u. 6). Von besonderem Interesse ist die Serie in Abb. 3, welche bei aufkommendem SO – Wind entnommen wurde. Deutlich ist im Nordteil des Sees eine Fahne erhöhter Konzentration zu bemerken, die nach NW wandernd zu denken ist. Infolge dieser horizontalen Wasserkörperverlagerungen dringt getrübtetes Seewasser in den Schilfgürtel ein, wo die Partikel in dem ruhigen Braunwasser sedimentieren.

Bei Ruhigwetterlagen (Abb. 4) ist die Pigment- und Trübeverteilung mehr zufällig, bzw. von lokalen Strömungen beeinflusst. Horizontale Unterschiede in der Artenzusammensetzung konnten nur in sehr geringem Umfange nachgewiesen werden. Lediglich im südlichsten, mehr abgeschlossenen Seeteil nahe der ungarischen Grenze weicht die Zusammensetzung deutlicher vom übrigen See ab.

Die Verteilung des Phäopigments, also der bereits toten Phytoplankter (Abb. 2 D–6 D), ist weniger leicht zu interpretieren, ist sie doch zusätzlich noch abhängig von augenblicklichen und vergangenen Todesraten, Ablagerungen aber auch der momentanen Phytobenthosentwicklung. Sehr wahrscheinlich spielen starke Stürme durch ihre mechanische Wirkung mit eine Rolle, wie dies auch vom Zooplankton bekannt ist (HERZIG 1974). Vergleicht man daher die Chlorophyll- und Phäopigment-Verteilungsbilder in Abb. 2–6, so ergeben sich teils Übereinstimmungen, oft aber auch genau umgekehrte Verhältnisse oder überhaupt keine Deckung.

Phytoplankton und Phytobenthos sind trotz der geringen Tiefe deutlich voneinander getrennt, sowohl artenmäßig – kleine leichte Arten, wenig Diatomeen im Plankton (KUSEL 1974, DOKULIL 1975d); hauptsächlich schwere große Diatomeen im Benthos- als auch zeitlich, da die benthischen Algen ihre Hauptentwicklung im Winter unter Eis haben (PROSSER, unveröffentlicht). In der eisfreien Periode sind sie auf die schilfnahen Zone und den Bereich der untergetauchten Makrophyten beschränkt. Im offenen See bietet zu dieser Zeit die Instabilität des Sediments keine geeigneten Lebensbedingungen. Aufwirbelung und Vermischung mit dem Plankton kann deshalb nur in bestimmten Bereichen stattfinden, ist meist von der Menge her unbedeutend und daher auch prozentuell an der Gesamtbiomasse des Planktons nur gering beteiligt (Abb. 7). Überdies sind nur wenige Benthosarten leicht genug, um länger in Schwebelag zu bleiben; die meisten Arten sedimentieren rasch wieder.

Deutlich korreliert mit der Schwebstoffmenge ist hingegen die Biomasse der Bakterien, welche offensichtlich mit dem Sediment aufgewirbelt werden (DOKULIL 1975a). Nach KOHL 1969 sind auch windbedingte horizontale Verlagerungen von Bakterien möglich.

Fixiert man das Phytoplankton zur Messung der Primärproduktion in Flaschen in verschiedenen Tiefen, so erhält man selbstverständlich einen starken Vertikalgradienten, welcher, wie in einem tiefen See, der Lichtkurve mehr oder weniger folgt. Tatsächlich werden aber die planktischen Algen ständig infolge der Turbulenzen durch einen Lichtgradienten zirkuliert. Ahmt man diese Rotation nach (JEWSON & WOOD 1975) so zeigt sich, daß der Gradient wesentlich schwächer, die

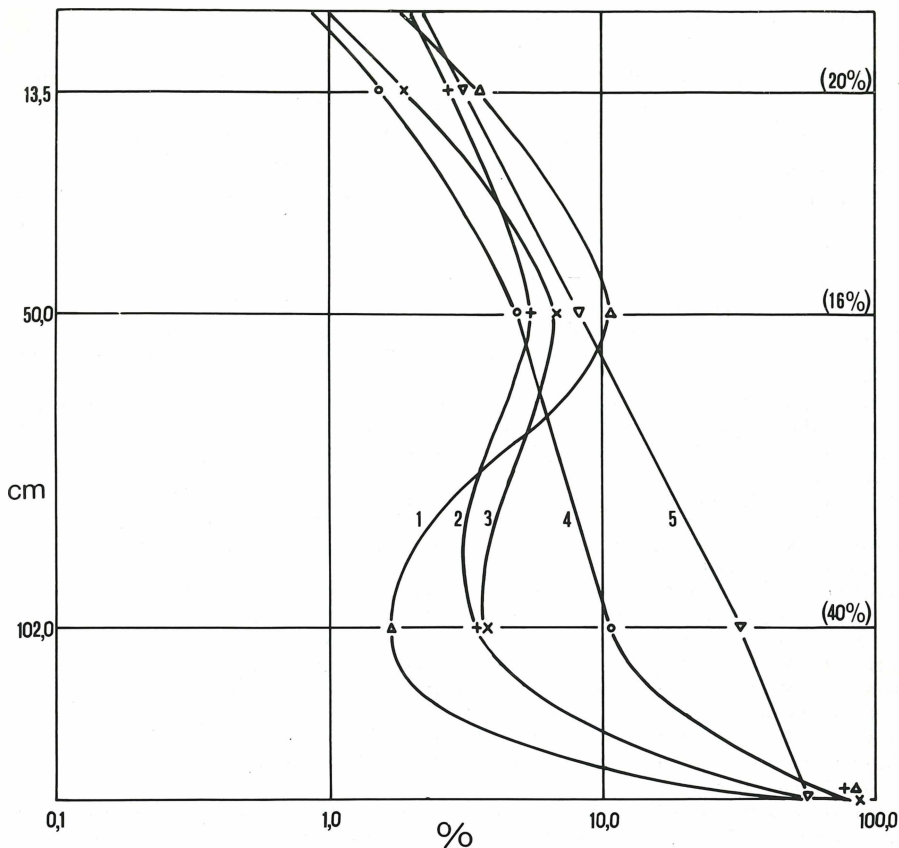


Abb. 7. Verteilung von 5 benthischen Diatomeen in der Wassersäule. Integrierende Probe am 30.3.1974, 150 m südlich des Schilfgürtels bei Neusiedl. Mittlere Windgeschwindigkeit $9,1 \text{ km h}^{-1}$, mittlere Windrichtung 154° . Dargestellt in Prozent insgesamt (halblogarithmisch). Die Prozentzahlen in Klammer am rechten Rand geben den Anteil der 5 Arten am Gesamtphytoplankton wieder. 1=*Nitzschia* sp., 2=*Nitzschia acicularis* 3=*Navicula* sp., 4=*Nitzschia lorenziana*, 5 = *Fragilaria brevistriata*.

Oberflächenhemmung geringer und auch das Integral kleiner wird.

Zusammenfassend muß hervorgehoben werden, daß ein Flachsee wie der Neusiedlersee durch einige wenige Probenentnahmen nicht adäquat beschrieben werden kann, da die horizontalen Unterschiede viel zu groß sind, um dann Aussagen über den gesamten See zu erlauben. Während man also wegen fehlender Schichtungen in der Vertikalen die Probenmenge beschränken kann, ist dies in der Horizontalen kaum möglich, es sei denn man verfügt über Modelle, welche Voraussagen mit hinreichender Genauigkeit erlauben. Für einen Teil der besprochenen Parameter ist dies bereits möglich (DOKULIL 1975c). Für die Primärproduktion soll auf der Basis von Chlorophyll, Licht und tatsächlich gemessenen Raten (^{14}C) eine Möglichkeit der Berechnung geschaffen werden, um auf der Grundlage der Verteilungsbilder

den horizontalen Unterschieden gerecht zu werden und so zu besseren Werten der Produktion für den gesamten freien See zu kommen.

Wesentlich schwieriger gestalten sich Angaben über die planktische Produktion innerhalb des Schilfgürtels. Für einzelne Punkte lassen sich Verlauf und steuernde Mechanismen angeben (DOKULIL 1973b, 1975 b). Hochrechnungen für den gesamten Schilfgürtel sind aber wegen der enormen horizontalen kleinräumigen Differenzierung unmöglich.

LITERATUR

- DOKULIL, M. (1973a): Zur Steuerung der planktischen Primärproduktion durch die Schwebstoffe. In: H. ELLENBERG, Ökosystemforschung, S. 109–110, Springer Verlag Heidelberg, New York.
- DOKULIL, M. (1973b): Planktonic primary production within the phragmites community of Neusiedlersee (Austria). *Pol. Arch. Hydrobiol.* 20: 175–180.
- DOKULIL, M. (1974a): Der Neusiedlersee (Österreich). *Ber. Naturhist. Ges. Hannover* 118: 205–211.
- DOKULIL, M. (1974b): Die Seetrübe und ihre Bedeutung. In: H. LÖFFLER, Der Neusiedlersee. Naturgeschichte eines Steppensees. S. 52–54, Verlag Molden Wien, München, Zürich.
- DOKULIL, M. (1975a): Bacteria in water and mud of Neusiedlersee (Austria). *Symp. Biol. Hung.* 15: 135–140.
- DOKULIL, M. (1975b): Planctonic primary and bacterial productivity in shallow waters within a large phragmites community (Neusiedlersee, Austria). *Verb. int. Ver. Limnol.* 19: 1295–1304.
- DOKULIL, M. (1975c): Light-Turbidity-Wind relations in a shallow lake. In Vorbereitung.
- DOKULIL, M. (1975d): Biomasse und Phytoplanktonentwicklung des Neusiedlersees in den Jahren 1968–1975. In Vorbereitung.
- ECKEL, O. (1953): Zur Thermik des Neusiedlersees. *Wetter und Leben* 5. 72–78.
- HERZIG, A. (1974): Some population characteristics of planktonic crustaceans in Neusiedlersee. *Oecologia (Berl.)* 15: 127–235.
- JEWSON, D.H. & R.B. WOOD (1975): Some effects on integral photo-synthesis of artificial circulation of phytoplankton through light gradients. *Verb. int. Ver. Limnol.* 19. Im Druck.
- KOHL, W. (1969): Die bakterielle Belastung der Badeseen. *Wasser und Abwasser 1969*: 117–135.
- KUSEL-FETZMANN, E. (1974): Beiträge zur Kenntnis der Algenflora des Neusiedlersees I. *Sitz. Ber. Österr. Akad. Wiss., Mathem.-naturw. Kl., Abt. I*, 183: 5–28.
- LÖFFLER, H. (1974): Der Neusiedlersee. Naturgeschichte eines Steppensees. 175 S., Verlag Molden Wien, München, Zürich.
- MOTSCHKA, O. (1974): Der See und sein Klima. In: H. LÖFFLER, Der Neusiedlersee. S 21–26, Verlag Molden Wien, München, Zürich.
- NEUHUBER, F. (1971): Ein Beitrag zum Chemismus des Neusiedlersees. *Sitz. Ber. Österr. Akad. Wiss., Mathem.-naturw. Kl., Abt. I*, 179: 225–231.
- RUTTNER-KOLISKO, A. & F. RUTTNER (1959): Der Neusiedlersee. *Wiss. Arb. Burgenland* 23: 195–202.
- SMITH, I.R. & I.J. SINCLAIR (1972): Deep water waves in lakes. *Freshwat. Biol.* 2: 387–399.
- STEINHAUSER, F. (1970): Kleinklimatische Untersuchung der Windverhältnisse am Neusiedlersee. 1. Teil: Die Windrichtungen. *Idöjárás* 74: 76–88.
- WEISSER, P. (1970): Die Vegetationsverhältnisse des Neusiedlersees. *Wiss. Arb. Burgenland* 45: 1–83.
- ZAKOVSEK, G. (1961): Jahreszyklische Untersuchungen am Zooplankton des Neusiedlersees. *Wiss. Arb. Burgenland* 27: 1–85.

Der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, insbesondere Hr. Dr. MOTSCHKA, sowie dem Hydrographischen Zentralbüro sei an dieser Stelle für die Überlassung meteorologischer und hydrographischer Daten gedankt.

Anschrift des Verfassers

Dr. M. DOKULIL, Institut für Limnologie und Gewässerschutz der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, A-1090 Wien, Berggasse 18/19.