

Béla Entz

Instituti Biologici - Tihany

Physikalische und chemische Mikroschichtungen im seichten
Balatonsee

Unter Schichtungen versteht man in der Limnologie hauptsächlich jene im Sommer am auffälligsten in eutrophen Seen auftretende, stabile Temperatur- und Sauerstoffschichtungen die als Epilimnion, Metalimnion und Hypolimnion bezeichnet werden.

Von einer solchen dauerhaften Schichtung kann in großen aber flachen Seen wie z.B. in Ungarn im Balatonsee mit einer Oberfläche von rund 600 km^2 und einer mittleren Tiefe von kaum 3.3 m nie die Rede sein. Aber auch hier kann eine anhaltende windlose Periode in hydrobiologischer Hinsicht sehr bedeutungsvolle vertikale Mikroschichtungen hervorrufen.

Gleichzeitig können sich auch in horizontaler Richtung in einigen Seeteilen, aber besonders im Litoral mit ausgedehnten Makrophytenbeständen charakteristische mit dem Ufer parallel laufende und bedeutende horizontale und vertikale Unterschiede aufweisende Biotope gestalten. Diese Lage hat auf die Ökologie der Lebewelt des Gewässers einen wichtigen Einfluß, wobei die Lebewelt selbst auch auf die Ausbildung der Wasserschichtungen eine Rückwirkung ausübt.

In diesem Zusammenhang hatte ich im Balatonsee sämtliche Untersuchungsserien unternommen. Bei dieser Gelegenheit möchte ich einige von diesen näher betrachten.

Einer von denen wurde im Juni 1978 im Balatonsee in der Bucht von Keszthely einem Querprofil entlang durchgeführt. Andere hatten in der Bucht von Paloznak in der litoralen Zone gleichzeitig im Sommer 1978 stattgefunden. Wieder andere wurden im offenen Wasser vor dem Biologischen Forschungsinstitut in Tihany erforscht.

Schon früher wurden ähnliche Untersuchungen im Balatonsee durchgeführt, aber diese beschränkten sich entweder auf spezielle Biotope bzw. Seeteile FELFÖLDY - TÓTH(1959), ENTZ, PONYI u. TAMAS (1963), TÓTH (1975) oder waren allgemeine horizontale Wasseranalysen ENTZ (1949-50), (1954), (1959), oder

handelte es sich dort hauptsächlich um Untersuchungen von tageszeitlichen Sauerstoff- und Temperatur-Schwankungen ENTZ (1976).

Die zu besprechenden Messungen wurden an Ort und Stelle mit einem Kahl'sico-Hydrolab Feldapparat unternommen, wobei Temperatur T °C, gelöster Sauerstoffgehalt O_2 mg/L, elektrische Leitfähigkeit μ S, Hydrogenionenkonzentration pH und Redoxpotential rH berücksichtigt wurden. Die Stellen der einzelnen Messungen wurden in Abbildung 1 dargestellt (Abb. 1).

In der Bucht von Keszthely (Abb. 1) wurde hauptsächlich der Einfluß bzw. die Verbreitung des Zalawassers in verschiedenen Entfernungen von der Zalamündung bis zum Gegenufer bei Vonyarcvashegy (6.5 km) studiert. Diese Messungen wurden im meist eutrophenen Teil des Sees vorgenommen, wo die physikalisch-chemischen Verhältnisse durch den Zalafluss beträchtlich beeinflusst werden. Wie bekannt führt der stark verunreinigte Zalafluss Wasser reich an Nährstoffen herbei, die etwa 50 % aller einmündenden Gewässer ausmachen.

Die meist intensiven Veränderungen konnten bei stiller Witterung im Querprofil besonders innerhalb von 2 km von der Flussmündung festgestellt werden (Abb. 2.1 - 2.4)

Von dort waren die horizontalen Unterschiede fast unbedeutend aber es konnten wohl ausgeprägte vertikale Schichtungen festgestellt werden. In ufernahen Stellen ergaben sich wiederum nennenswerte Unterschiede, die in der Bucht von Paloznak (Abb. 1.2) ausführlich untersucht wurden (Abb. 3-5).

In der Bucht von Keszthely war die Temperatur tagsüber am 8. Juni 1978 bei Windstille in einem seichten, sandigen Abschnitt vor der Flussmündung maximal, wo an der Oberfläche 26° C und in 1 m Tiefe 23° C gemessen werden konnten. Auch im offenen Wasser konnte eine typische Schichtung wahrgenommen werden, jedoch ergaben sich dort in 0-3 m Tiefe Werte zwischen 24.5 und 21° C, wobei im Norden nahe zum Ufer die mittlere Temperatur wieder anstieg (Abb. 2.1).

Mittlere Temperaturen konnten im Süden in 0.2 - 0.7 m Tiefe, in den zentralen Abschnitten der Bucht dagegen in etwa 1.5 m Tiefe erfaßt werden.

In Abb. 2.1 wurde der Temperatur-Schwerpunkt des Querprofils mit dem Buchstaben "Q" gekennzeichnet.

Die Sauerstoffmessungen ergaben (Abb.2.2), daß die höchsten Werte gleichfalls vor der Mündung des Zalaflusses im seichten Wasser zu finden waren, wogegen die Werte in Bodennähe fast in der ganzen Bucht-Region niedrig waren (2.2 - 5.0 mg/l), was trotz der geringen Wassertiefe eine nennenswerte Mikrostratifikation bedeutet.

Die höchsten pH-Werte (8.3) konnten gleichzeitig auch vor der Flußmündung in seichtem Wasser wahrgenommen werden (Abb. 2.3). Im Zalafluss selbst ergaben sich niedrige pH-Werte (7.3), die sich in der Bucht hinter der Schwelle in immer größer werdendem Abstand von der Mündung zwar langsam, aber eindeutig erhöhten.

Ein typisches Bild zeigte sich auch hinsichtlich der elektrischen Leitfähigkeit (Abb. 2.4), welche in der Mündung besonders nahe zum Boden sehr hohe Werte aufwies (925-700, μ S) in den übrigen Seeteilen aber sehr ähnlich erschien (610-630, μ S).

Das Redoxpotential zeigte auch gewisse Schwankungen auf, die jedoch nicht eindeutig bezeichnet werden konnten.

In der Bucht von Paloznak (Abb.1.2) wurden in den Monaten Juni bis August vom Ufer bis ins offene Wasser, besonders aber ausführlich innerhalb des Röhrichts, öfters Messungsserien durchgeführt.

Anhand der Messungen vom 2. Juni und 25. Juli 1978 konnten folgende Resultate erhalten werden (Abb. 3-5).

1.) Die Temperatur war in ganz seichten, sumpfigen Stellen und im Inneren der Röhrichte niedrig (18 - 20°C), dagegen die Höchstwerte direkt vor dem Röhricht im Windschatten in 1.5 - 2 m tiefem Wasser (21 - 22°C). Die Temperatur des offenen Wassers wies - wie gewöhnlich - eine geringe vertikale Schichtung auf.

2.) Der Sauerstoffgehalt war ähnlicherweise in seichten sumpfigen Abschnitten und im Röhricht nahe zum Boden (etwa in 1 m Tiefe, 1 bis 5 mg/l O₂) am niedrigsten, wogegen in schilffreien, tieferen Stellen der Bucht von Paloznak sich hohe Sauerstoffwerte (10-14 mg/l) vorfanden. Ganz merkwürdig schien es, daß außerhalb des Röhrichts, nahe zum Wasserboden Werte

bis 16 sogar 22 mg/l O_2 zu messen waren, die Sauerstoffsättigungswerten von 177 bzw. 252 % entsprachen. Fast gleiche Ergebnisse (170% Sättigungswerte) ergaben sich auch in einer Uferentfernung von etwa 2 km in 3.5 m Tiefe, direkt über dem Wasserboden.

3.) Die hohen Leitfähigkeitswerte (800-1200 μ S) der sumpfigen ufernahen Stellen wurden bis zum äußeren - dem offenen Wasser anliegender Rande des Röhrichts bis auf 600 μ S reduziert. Eine weitere Änderung dieser Werte konnte im offenen Wasser selbst bis auf eine Entfernung von etwa 4 km überhaupt nicht festgestellt werden.

4.) Die gleichzeitig im Inneren der Röhrichte ausgeführten Messungen ergaben eine wesentliche Veränderung der untersuchten Komponente vom inneren Rand des Röhrichts bis zum äußeren Rande und gleichzeitig eine vertikale Veränderung von der Wasseroberfläche bis zum Boden. Infolgedessen konnten hier innerhalb des schmalen Schilfrohrs - dessen Breite hier bloß etwa 100 m betrug - immer gürtelförmige Veränderungen aufgezeichnet werden (Abb. 5).

In ufernahen Wasserschichten vor Tihany (Abb. 1:3) wurden mehrere tageszeitliche Untersuchungen durchgeführt. Ich möchte mich hier auf diejenige verlassen, welche innerhalb einer längeren windstillen Periode vom 11. Oktober (10^h) bis 24. Oktober (21^h) 1978 durchgeführt wurden (Abb. 6.1 und 6.2).

Bei Sonnenschein konnte tagsüber in drei m Tiefe eine zwar kleine Unterschiede aufweisende, jedoch ausgeprägte Schichtung festgestellt werden, die sich während der Nacht auflöste, trotzdem das Wetter absolut ruhig blieb.

Am nächsten Tage entwickelte sich eine dem vorigen Tag ganz ähnliche Situation. Diese Schwankungen konnten mehrere Tage aufrechterhalten bleiben, solange das ruhige sonnige Herbstwetter andauerte (Abb. 6.1).

Die Sauerstoffverhältnisse wiesen andere Charakterzüge auf. Die Gesamtmenge des in der Wassersäule von 1 m² gelösten Sauerstoffs stieg von 35 g auf 39 g von Vormittag bis abends 20-22 Uhr empor, das heißt noch eine lange Weile nach Sonnenuntergang. Darauf folgte ein Absinken des Sauerstoffgehaltes bis 10-12 Uhr vormittags. Währenddessen veränderte sich die Verteilung des innerhalb der Wassersäule gelösten Sauerstoffs zwar in kleiner

Mengen aber von Stunde zu Stunde. Jedoch war diese Veränderung nicht eindeutig mit Ausnahme während der Nacht, die Menge des gelösten Sauerstoffs im gegebenen Zeitpunkt innerhalb der ganzen Wassersäule gleich war und sich in gleichem Masse reduzierte (Abb. 6.2).

Diskussion:

Aus der ersten Messungsserie ergab sich, daß das strömende Zalawasser, das im Fluß selbst gleichmäßig durchmischt ist, nach der Schwelle vor der Mündung sich in den tieferen Wasserschichten der Keszthelyer-Bucht fast allmählich ausdehnt.

Die hohe Leitfähigkeit besonders in Bodennähe im südlichen Teil der Keszthelyer-Bucht wird unbedingt vom Zalawasser verursacht (Abb. 2.4).

Dieses Wasser wird stufenweise in Balatonwasser umgewandelt und ist in einer Entfernung von etwa 2 - 2.5 km nicht mehr messbar. Dieser Vorgang ist desto mehr verständlich, weil sich die Hauptströmungen in diesem Seeteil hauptsächlich periferial abspielen (GYÖRKE 1973).

Die Temperaturverhältnisse werden tagsüber bei ruhiger, sonniger Witterung hauptsächlich durch die starken Wärmeabsorption beeinflusst (Abb. 2.1). Der niedrige Sauerstoffgehalt des stark verschmutzten und einen hohen Nährstoffgehalt aufweisenden Zalawassers hängt zweifellos damit zusammen, daß darin das Phytoplankton bloß eine untergeordnete Rolle spielt. Sobald aber dieses über die Schwelle hinausströmt, wird die Fließgeschwindigkeit gehemmt, und so entfaltet sich eine wahre Algenwucherung. Demzufolge steigt die Sauerstoffsättigung an der Oberfläche bis fast 200 %, was in etwas ermässiger Form dem ganzen Querprofil entlang (150 % Oberflächensättigung des Sauerstoffs). Gleichzeitig wird aber durch die hohen Algenkonzentration eine Selbstbeschattung verursacht, folglich sinkt die Sauerstoffsättigung vertikal sehr steil ab. In 1 m Tiefe konnte noch 140, in 2 m Tiefe 120 und in 3 m Tiefe dagegen nur 51 % O_2 Sättigung festgestellt werden. Die niedrigen pH-Werte des Zalafusses (7.3 - 7.5) wurden durch zunehmende biogene Entkalkung in der zentralen Region der Keszthelyer-Bucht auf etwa 8.3 erhöht. Inzwischen ist der Einfluss des Zalawassers in 1 km Abstand vor der Mündung noch spürbar, wird aber all-

mählich abgeschwächt. Weil aber wegen starker Selbstbeschattung unterhalb 2 m in der Bucht praktisch überall Photolyse dominiert, werden die pH-Werte dort sekundär auf 7.6 - 7.8 erniedrigt. Solche niedrige Werte konnten in anderen Seeteilen im offenen Wasser bis jetzt noch nicht gemessen werden.

In der Bucht von Paloznak wurden äußerst extreme Umstände angetroffen. Die niedrige Wassertemperatur (18-20°C) der ganz seichten Uferstrecken (Wassertiefe 0.2 - 1 m) kann dem Einfluß der üppig gedeihenden Sumpfpflanzen zugeschrieben werden (Schatteneffekt von Segge, Schilfrohr und Binse), weil ja in kleinen Lücken des Röhriches im Gegenteil 2-5°C höhere Temperaturwerte festgestellt werden konnten. Ebenso wurden die höchsten Werte gleichfalls in der schilffreien, windgeschützten Zone vor dem Röhricht im offenen Wasser der Bucht gemessen (Abb.5). Danach folgt eine etwas kühlere Zone, und dann wieder eine wärmere Region. Die niedrigen Temperaturen der Röhrichte wurden mit gleichfalls niedrige Sauerstoffwerte (1-5 mg/l O₂ = 20-60% Sättigung), mit hoher Leitfähigkeit (1200-800 µS) und mit niedrigen pH-Werten (6.9-7.3) verkoppelt.

Von hier wuchsen die Werte von Sauerstoff, Temperatur, pH in Richtung offenes Wasser, wogegen die Leitfähigkeit abnahm. Dieser Prozeß dauerte bis zum äußeren Rand des Schilfgürtels, mit einer allmählich abflauenden Tendenz. Gleichzeitig nahmen aber die Unterschiede zwischen Oberfläche und Boden im tiefer werdenden Wasser zu. Diese Erscheinungen deuten auf die engen Beziehungen zwischen den oberen Schichten des Wassers und gleichzeitig auf ähnliche Beziehungen zwischen Sumpfwasser am Ufer und den bodennahen Schichten des Röhrichts (Abb.4) hin.

Bei starkem Nordwind kann z.B. ein bedeutender zum offenen Wasser gerichteter Wasserstrom besonders in den bodennahen Wasserschichten wahrgenommen werden.

Am äußeren Rande des Röhrichts verändert sich das Bild vollkommen. Hier zeigt die Temperatur nur geringe vertikale Veränderungen, aber der Sauerstoffgehalt wächst abwärts allmählich (Messungen am Nachmittag),

dann steigt der Gehalt in der Nähe des Bodens ganz plötzlich empor (Abb.3 und 5).

Dieses Phänomen kann nur mit einer sehr üppigen, und tatsächlich vorhandenen, Makrovegetation im Inneren der Bucht (hauptsächlich *Potamogeton pectinatus*) und deren sehr starker Photosynthese erläutert werden. Im Einklang damit steigen ebendort auch die pH-Werte von der Oberfläche (8.5) bis zum Boden (8.65 - 8.75), während die Leitfähigkeit sinkt (Kalkausscheidung). Im offenen Wasser, in einer Entfernung von etwa 2 km vom Ufer, war keine Makrovegetation anzutreffen. Trotzdem trat auch dort unmittelbar in der Nähe des Bodens bei ruhigem Wetter eine beträchtliche Sauerstoffanreicherung auf, was zweifellos dem an der Schlammoberfläche befindlichen Diatomeenrasen zu verdanken war.

Unsere dritte Untersuchungsreihe, herbstliche tageszeitliche Messungen, zeigte daß auch hier die unmittelbar oberhalb des Schlammes, zwar in viel mässigerem Ausmaß als im Sommer, vorhandene Sauerstoffanreicherung der Assimilation der dort entstandenen Algenmatte zuzuschreiben sei.

Es konnte also festgestellt werden, daß im seichten Balatonsee unabhängig von der Jahreszeit schon nach 10-12 stündigem ruhigem Wetter sich am Seeboden charakteristische Algenrasen bilden die bis 3-3.5 m Tiefe über dem Boden einen nennenswerten Sauerstoffanstieg verursachen. Gleichzeitig bringt die während der Nacht bei stillem Wetter immer vorhandene stärkere Wärmeausstrahlung ein auf der Differenz im spezifischen Gewicht beruhendes labiles Gleichgewicht hervor, das durch typische Konvektionsströmungen begleitet ist. All dies verhindert die gefährliche Ausbildung einer sauerstoffarmen oder sogar sauerstofffreien Wasserschicht über dem Schlammboden. Bis jetzt konnten wir Sauerstoffschwund in tiefen Wasserschichten des offenen Wassers im Balatonsee nirgends nachweisen.

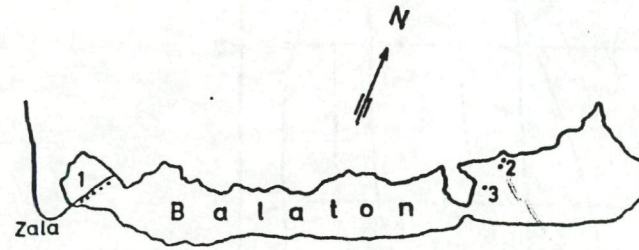
Zusammenfassend können folgende Feststellungen gemacht werden:

1.) Bei andauerndem ruhigem Wetter entwickelt sich im seichten offenen Wasser des Balatonsees regelmäßig eine vertikale Temperatur-, Sauerstoff- und pH-Schichtung zwischen Wasseroberfläche und Boden.

Es können tagsüber Unterschiede von 5-7°C gemessen werden. Die Sauerstoffreduktion kann manchmal 10-14 mg/l O₂ ausmachen. Demgegenüber können mit Ausnahme der Bucht von Keszthely oberhalb des Bodenschlammes sehr hohe Sauerstoffsättigungswerte (170-250 %) erreicht werden. Diese Erscheinung wird in ganz seichtem Wasser (0.5 - 2 m) durch Wassermakrophyten und deren Biotekton im tieferen Wasser (bis 3.5 m) von der sich dort vorfindlichen Diatomeenrasen verursacht.

2.) Im hypertrophen Wasser der Bucht von Keszthely kann sich im Sommer wegen Lichtmangel (Selbstbeschattung) im offenen Wasser weder eine Makrophytenwiese, noch ein assimilierender Diatomeenrasen ausbilden.

3.) Bei windigem Wetter wird durch starke Wellenbewegung im Balatonsee bis zum Boden eine hohe Sauerstoffsättigung gesichert. Aber auch bei ruhigem Wetter kann kein Sauerstoffmangel auftreten. Dies kann dadurch leicht erklärt werden, daß die nächtliche Abkühlung der obersten Wasserschichten bis 3-4 m Tiefe ein labiles Gleichgewicht verursacht, worauf in den späten Nachtstunden und in den frühen Morgenstunden regelrechte Konvektionströmungen auftreten.



Balaton-See mit Querprofil in der Bucht von Keszthely, zwischen Zalamündung und Vonyarcvashegy (1) und mit Sammelstellen in der Bucht von Paloznak (2) und vor dem Biologischen Forschungsinstitut in Tihany (3).

Abb. 1

Abb. 2.1 - 2.4 Verschiedene Messungen im Querprofil in der Bucht von Keszthely. Ordinate: Wassertiefe in m. Abscisse: Entfernung der Sammelstellen von der Zalamündung in km. Isothermen (21-26⁰ C) mit mittleren Temperaturen (-----) und Temperaturschwerpunkt (Q) (2.1). Sauerstoffprofile (5 - 14 mg O₂/l - 2.2) pH-Werte (7.3 - 8.3) (2.3). Werte der elektrischen Leitfähigkeit (610 u S - 925 uS - 2.4).

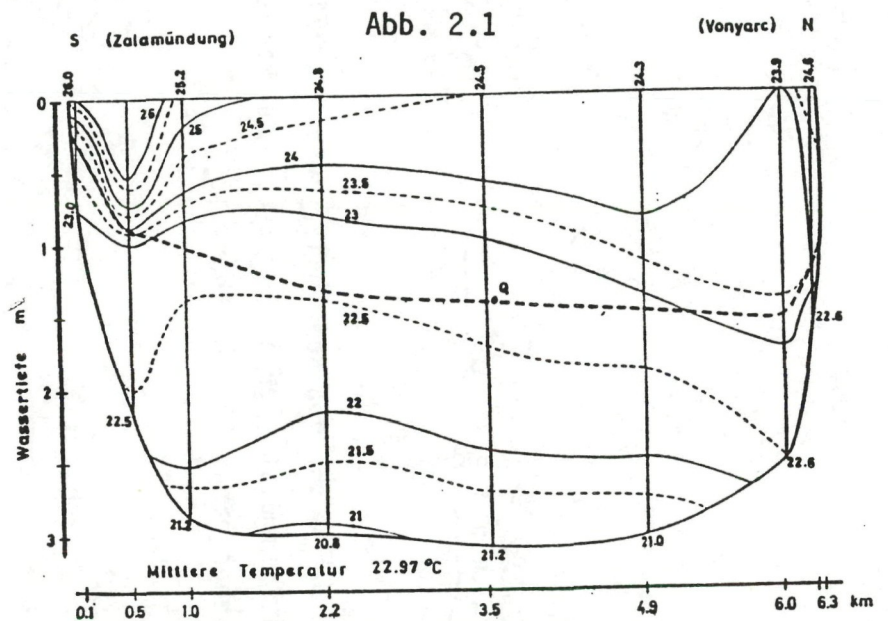


Abb. 2.2

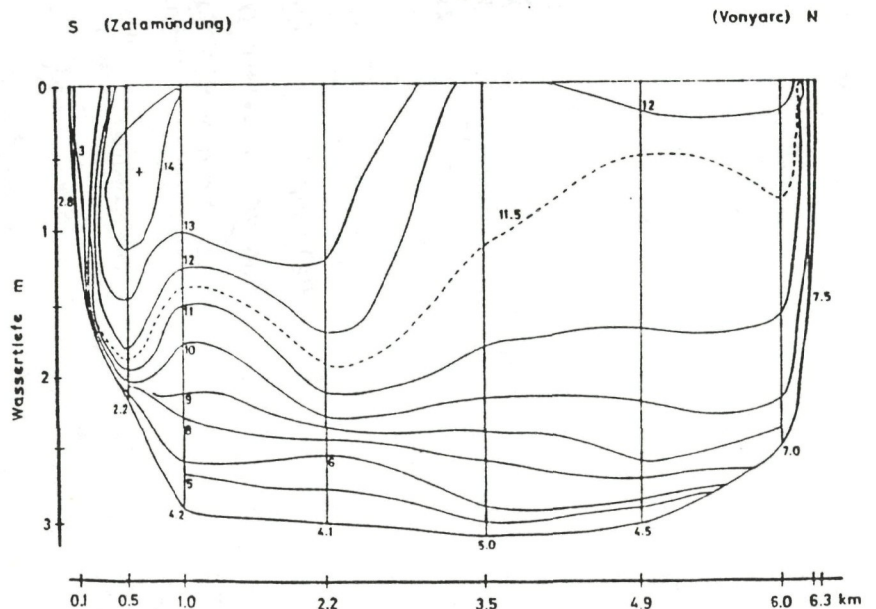


Abb. 2.3

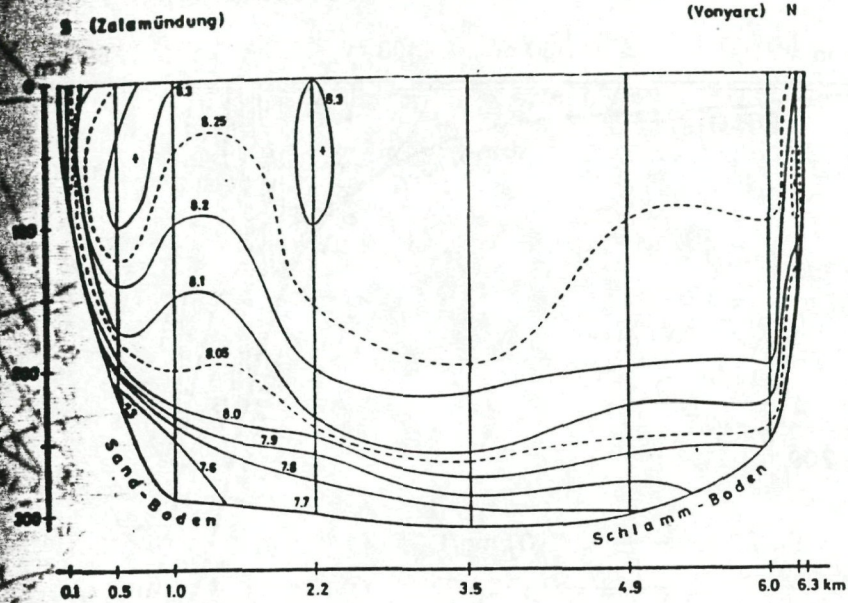


Abb. 2.4

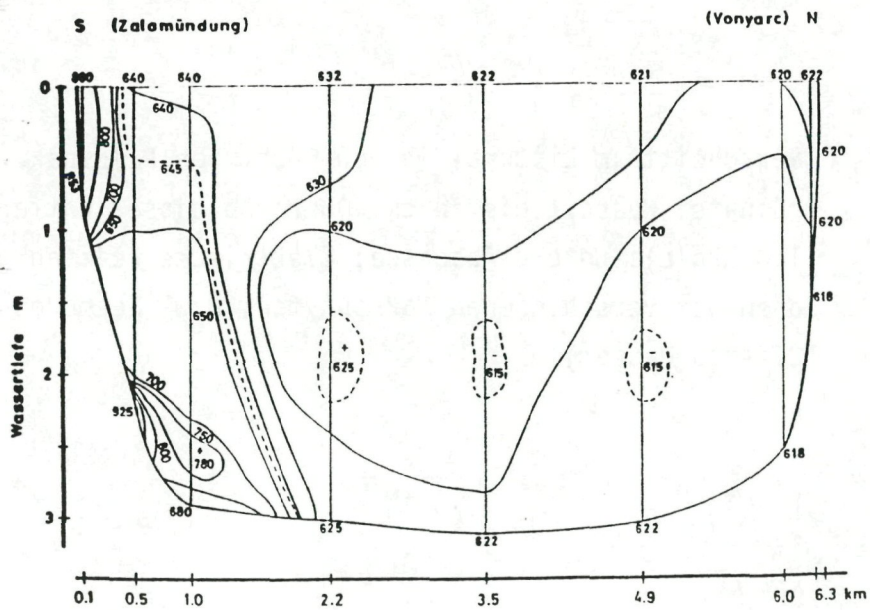
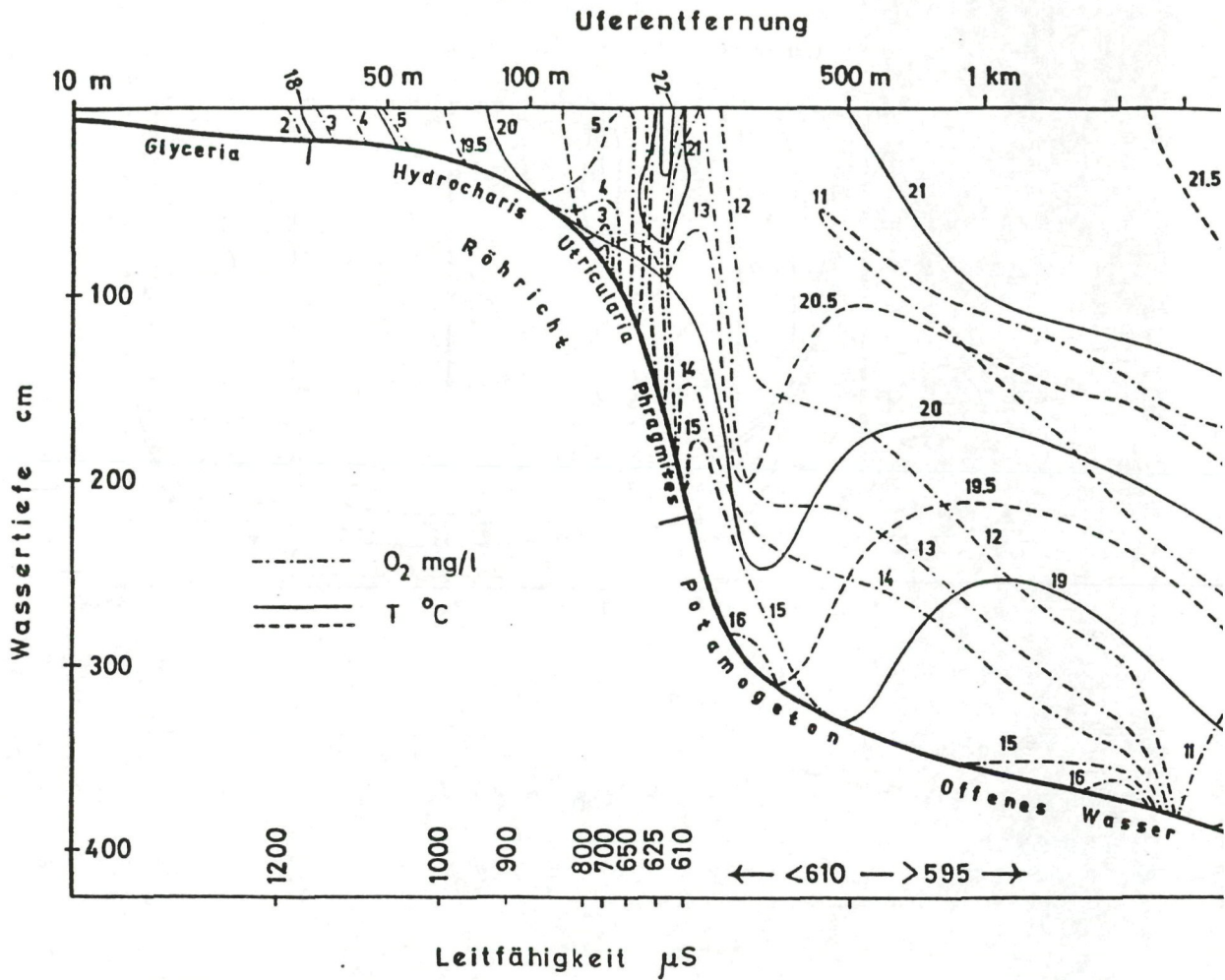


Abb. 3



Querschnitt im Littoral in der Bucht von Paloznak.

Ordinate: Wassertiefe in cm. Obere Abscisse: Entfernung vom Ufer (log. Skala). Untere Abscisse: Elektrische Leitfähigkeit (μ S)

Zonen der verschiedenen Makrophyten, bzw. Seeboden ohne Wasserpflanze (Offenes Wasser).

Abb. 4

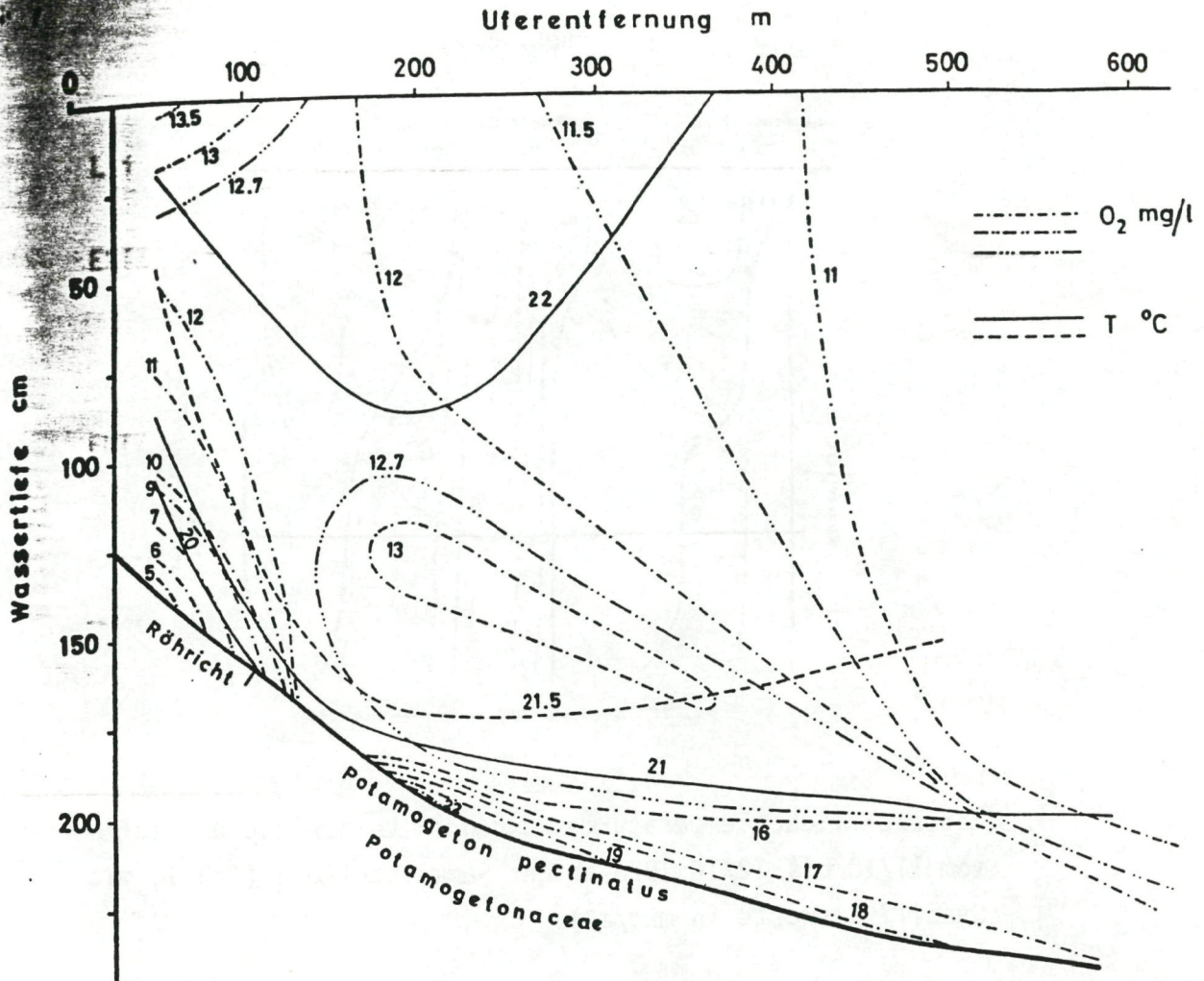


Abb. 5

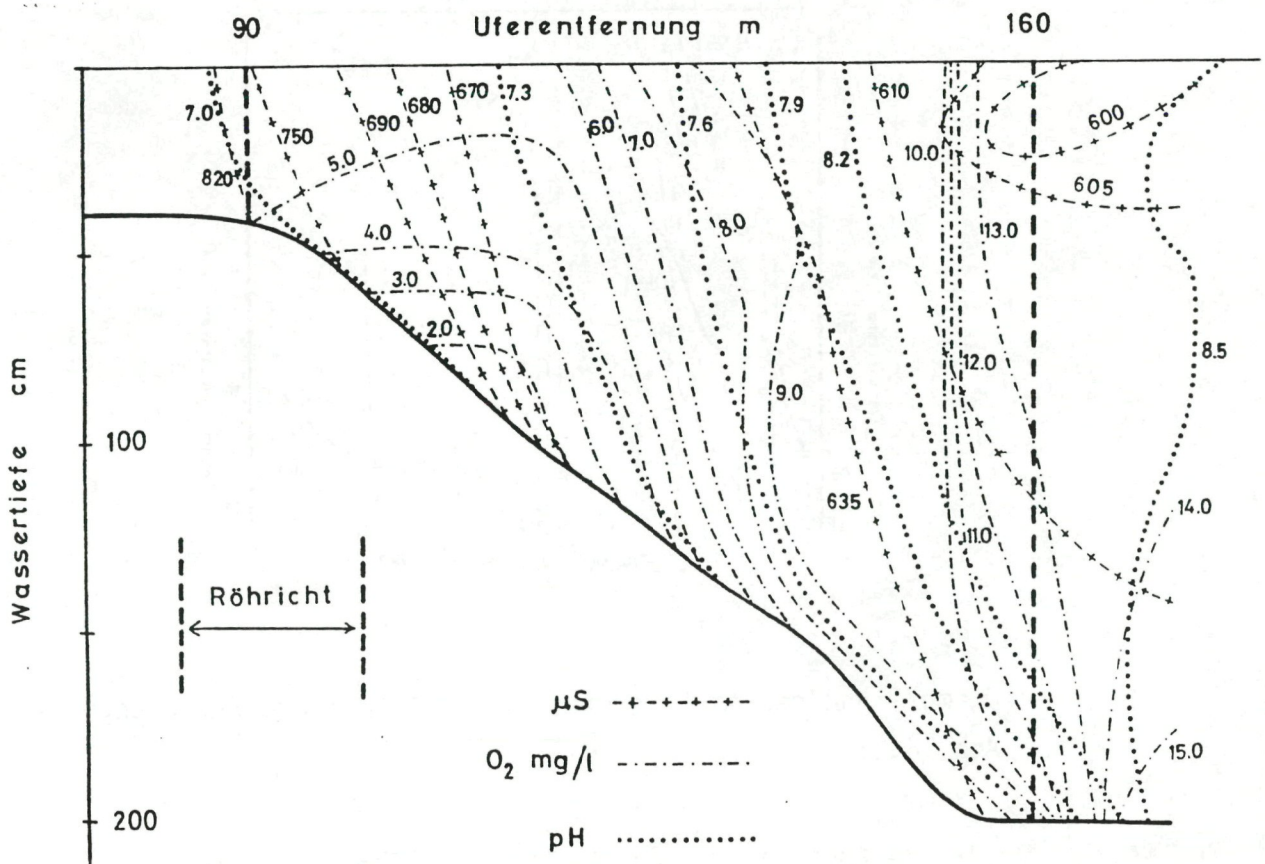
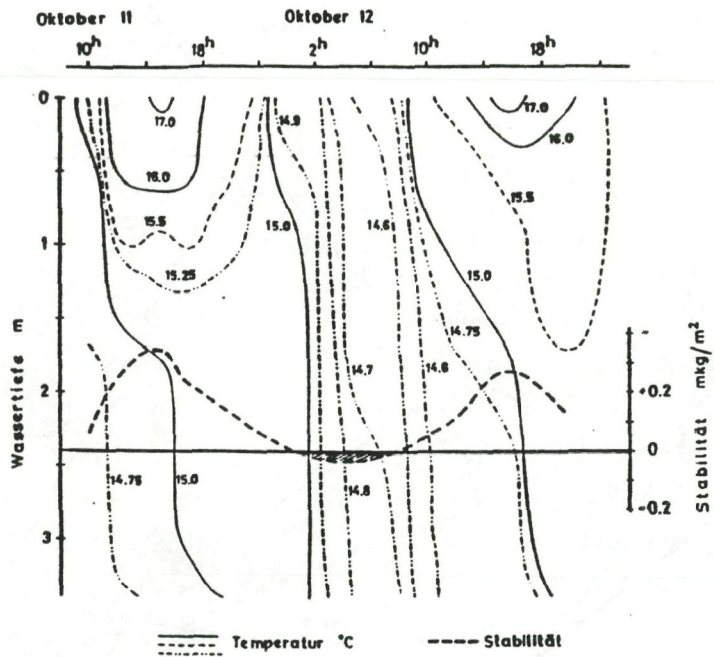
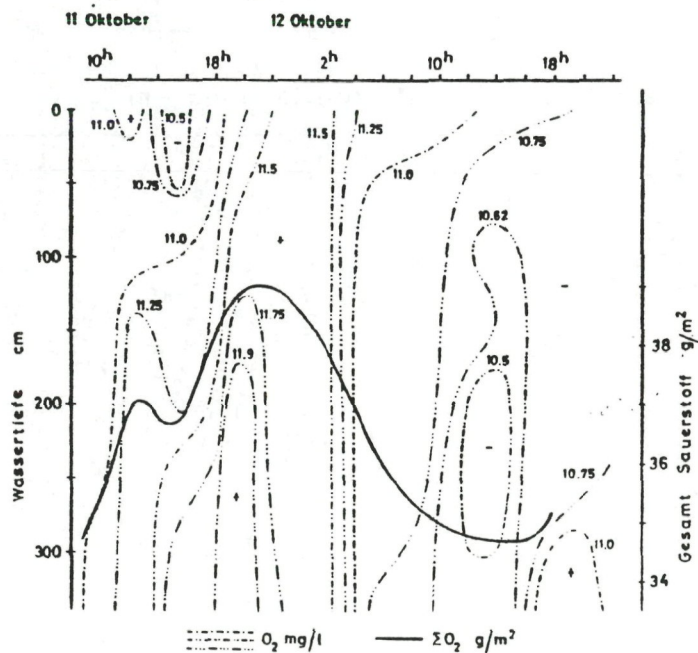


Abb. 6.1



Tageszeitliche Temperaturmessungen in verschiedenen Tiefen vom 11/10 bis 12/10 1978 an der Sammelstelle 3. (Abb.1) mit Stabilitätswerte in mkg/m^2 .

Abb.6.2



O₂ mg/l und gesamt Sauerstoff in g/m^2 (Weitere Erklärungen siehe Abb. 6.1).

L i t e r a t u r

- ENTZ, B.** (1949-50): Some physical and chemical conditions of the water of Lake Balaton, investigated from September, 1948 to April 1949. (Temperature, transparency, dissolved oxygen, pH and inorganic substances). - *Annal.Biol.Tihany* 19, 69-81.
- ENTZ, B.** (1954): Horizontale chemische Wasseranalysen in verschiedenen Biotopen des Balaton-Sees, und in einigen in den See mündenden Bächen im Sommer 1950 und 1952. - *Annal.Biol.Tihany* 21, 29-48.
- ENTZ, B.** (1959): Chemische Charakterisierung der Gewässer in der Umgebung des Balatonsees (Plattensees) und chemische Verhältnisse des Balatonwassers. - *Annal.Biol.Tihany* 26, 131-201.
- ENTZ, B.** (1976): Regional and circadian oxygen determinations in Lake Balaton concerning the eutrophication of the lake. - *Annal.Biol.Tihany* 43, 60-82.
- ENTZ, B., PONYI, J., TAMAS, G.** (1963): Sedimentuntersuchungen im südwestlichen Teile des Balaton, in der Bucht von Keszthely in 1962. - *Annal.Biol.Tihany* 30, 103-125.
- FELFÖLDY, L., TOTH, L.** (1957): Das Vorkommen des *Fontinalis antipyretica* und *F. hypnoides* im Balatonsee. - *Annal.Biol.Tihany* 24, 335-344.
- GYÖRKE, O.** (1973): A Keszthelyi-öböl rendezésével kapcsolatos kismintavizsgálatok. - *Tájékoztató az állóvizek feltárájáról*, 1971. VITUKI pp. 3.
- TOTH, L.** (1975): A Balaton vízminőségi vizsgálata. - *VITUKI Tájékoztató* 1973, 51-56.

ZOBODAT - 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: 1979

Band/Volume: [33](#)

Autor(en)/Author(s): Entz Bela [Belá]

Artikel/Article: [Physikalische und chemische Mikroschichtung im seichten Balatonsee 3-17](#)