

Mitt. österr. geol. Ges.	83 (1990) Themenband Umweltgeologie	S. 9-22 5 Abb., 4 Tab.	Wien, Februar 1991
--------------------------	-------------------------------------------	---------------------------	--------------------

## Schwermetallbelastung zweier seichter Seen (Neusiedler See und Balaton – Österreich und Ungarn)

Von Mária DINKA<sup>\*</sup>)

Mit 5 Abbildungen und 4 Tabellen

### Zusammenfassung

Es wurde der Schwermetallgehalt (Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Pb) bzw. seine Akkumulation im Sediment und in den Arten *Phragmites australis*, *Typha latifolia* sowie *T. angustifolia* zweier seichter Seen untersucht.

Im Neusiedler See wurde die regionale und tiefenmäßige Verteilung des Schwermetallgehaltes, im Balaton aber die Auswirkung verschieden mäßig belasteter Zuflüsse auf den Schilfbestand registriert. Die fleckenartige innere Gliederung des Neusiedler Sees widerspiegelt sich auch in dem regional mosaikartig unterschiedlichen Schwermetallgehalt im Sediment. Die prägnantesten Abweichungen waren sowohl regional wie auch tiefenmäßig im Zn-Gehalt festzustellen.

Im Wirkungsbereich der belasteten Bäche des Balatons wird in den Schilfbeständen die Art *Phragmites australis* immer mehr von den Arten *Typha latifolia* und *T. angustifolia* verdrängt. Bei den untersuchten drei Arten werden die Schwermetalle am meisten von den unterirdischen Organen/Rhizom, Wurzel/ akkumuliert. Die hier nach acht Jahren wiederholte Untersuchungsserie hat erwiesen, daß die langzeitige Belastung vor allem den Schwermetallgehalt des Sedimentes bereichert.

Die Untersuchung der zwei Seen macht auf die erhöhte Bedrohung durch die Schwermetallakkumulation für seichte Seen aufmerksam.

### Summary

Heavy metal loading in two shallow lakes (Neusiedler See and Balaton – Austria and Hungary)

The heavy metal content (Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Pb) of the sediment and its accumulation in *Phragmites australis*, *Typha latifolia* and *T. angustifolia* were investigated in two shallow lakes in Hungary.

In Fertő/Neusiedler See the regional and vertical distributions of heavy metals in the sediment were investigated, in the lake Balaton however the effect of the different degree of pollution of the influx in the reed-belt has been studied.

The different internal division of Fertő/Neusiedler See is reflected in the mosaic pattern of heavy metal content of sediment too. The most remarkable differences were measured in the regional and vertical distributions of the Zn content of the sediment.

<sup>\*</sup>) Adresse der Verfasserin: Mária DINKA, Institut für Ökologie und Botanik der Ungarischen Akademie der Wissenschaften, H-2163 Vácraát, Ungarn.

In those regions of the lake Balaton, which are influenced by polluted brooks (including cleaned sewages) the following changes in reedbelt could be observed: The *Phragmites australis* is more and more replaced by *Typha latifolia* and *T. angustifolia*, which had a better ability to accumulate the heavy metals. The roots and rhizomes of the three investigated plants accumulated these heavy metals in largest quantities. After eight years, the repeated investigation pointed out that the effects of pollution had increased the heavy metal content of sediment.

The investigation of these two lakes shows an increasing threat by heavy metal accumulation in relation to the lakes shallowness.

## Inhalt

1. Einleitung .....	10
2. Material und Methoden .....	11
3. Ergebnisse .....	13
Fertő/Neusiedler See .....	13
Balaton .....	18
4. Literatur .....	21

### 1. Einleitung

Auch am Fertő/Neusiedler See haben sich Schwermetalluntersuchungen in den Vordergrund geschoben. Nach der Aufnahme der räumlichen Unterschiede des Sedimentcharakters im See (DINKA 1986a) wurden die Serienmessungen betreffend den Schwermetallgehalt in Gang gesetzt.

Unsere neueren Untersuchungen bezweckten:

- den Zn-, Cu-, Pb-, Mn- und Sr-Gehalt des Sediments zu bestimmen;
- die regionale und die Tiefenverteilung der Menge dieser Elemente zu schildern.

Mit der in der jüngsten Zeit zunehmenden Eutrophisation des Balaton (PÁSZTÓ 1963, KÁRPÁTI UND KÁRPÁTI 1969, TÓTH 1972, PONYI 1975, KOVÁCS 1976 usw.) konnte die Zergliederung und der Rückgang der Schilfbestände sowie parallel damit auch die immer größere Ausbreitung von *Typha latifolia* und *T. angustifolia* beobachtet werden. Diese Prozesse verfolgend, wurden Untersuchungen über den qualitativen Einfluß der verschiedenen Zuflußgewässer auf die ihnen ausgesetzten Schilfbestände durchgeführt.

Zur Untersuchung der der Wasserreinigung zufallenden Rolle des Schilfrohres haben wir am Nordufer des Balatons an vier Probenentnahmestellen die Schilfrohrbestände analysiert. Von diesen Arealen sind zwei (I. und IV.) Abwasserzuflüsse, eines (II.) die Mündung eines natürlichen Zuflusses und eines (III.) ein vom Wasserzufluß nicht berührtes Gebiet.

Unsere Untersuchungen bezweckten:

- die Bestimmung der Menge der sich in den Organen des Schilfrohres anhäufenden Elemente, die Untersuchung der Dynamik der Elemente;
- die Untersuchung eventueller Unterschiede des Elementengehaltes in den verschiedenen Zonen der abweichenden äußeren Nährstoffbelastungen ausgesetzten Schilfbestände;

- Messungen der auf den Elementgehalt des Schilfrohres ausgeübten Wirkung der verschiedenen Belastungen;
- die Bestimmung der Hauptvertreter der Schilfzone (Schilfrohr, breitblättrige und schmalblättrige Rohrkolben) die die Elemente in größeren Mengen akkumulieren.

## 2. Material und Methoden

### Fertő/Neusiedler See

Wir entnahmen im ungarischen Seeabschnitt am 23., 24. Juli und am 2. Oktober, im österreichischen Abschnitt am 18. Juli und am 2. Oktober 1984 insgesamt 39 Sedimentproben (zwölf von der österreichischen Wasserfläche, 27 aus dem ungarischen Abschnitt; davon waren elf aus den Blänken, fünf aus der Bucht von Fertőrákos, elf von der offenen Wasserfläche). Das Sediment wurde mit einem Plexi-Probeentnahmerohr von 5 cm Durchmesser entnommen und in die folgenden Schichten zerlegt: Nach dem 1., 2., 3., 4., 5., 10., 15. und dem 20. cm. Aus Proben von zwölf Untersuchungsstellen (Abb. 1.) wurde nach Trocknung (105 °C) und Homogenisierung mit saurem Aufschluß durch Salpetersäure (in einer Teflonbombe) mit Hilfe eines UNICAM-Atomabsorptions-Spektrophotometer der Fe-, Sr-, Mn-, Zn-, Cu- und Pb-Gehalt bestimmt (PRICE 1977, KATZ et al. 1981, WILLET & ZARCINAS 1986).

### Balaton

Es wurden an allen Probeentnahmestellen zwei Punkte ausgewählt, mit 20-50 cm bzw. 120-150 cm Wassertiefe. Von einer jeden Probeentnahmestelle (Abb. 2.) wurde je Zone eine Probe eingeholt, die aus je zehn Schilfrohren bestand. Vom April bis Oktober 1980 haben wir in monatlichen Abständen Schilfrohr-, breitblättrige-, schmalblättrige Rohrkolben-, und Sedimentproben eingesammelt.

Am 27. Juli 1988 haben wir wieder Schilfrohr-, Rohrkolben- und Sedimentproben entnommen, um über die während dieser acht Jahre erfolgten Änderungen Informationen zu gewinnen.

Nach ihrer Einlieferung und ihrer Vorbereitung zur Analyse (DINKA 1986b) bestimmten wir aus den verschiedenen Organen des Schilfes und der Rohrkolben (Blattfläche, Blattscheide, Stengel, Adventivwasserwurzel, Rhizom, Adventivwurzel) N und P nach Schwefelsäureaufschluß mit dem Spektrophotometer (GYÖRI 1973), ferner Fe, Mn, Cu, Zn, Pb, Cd, Ni und Co nach einem Salpetersäureaufschluß in der Teflonbombe mit Hilfe eines UNICAM Atomabsorptions-Spektrophotometers (TAYMAZ et al. 1984, WILLET & ZARCINAS 1986). Aus der Lösung, die aus dem Sediment nach dem Salpetersäureaufschluß in einer Teflonbombe gewonnen wurde, konnten ihre sämtlichen Fe-, Mn-, Zn-, Cu-, Ni-Konzentrationen und der leicht lösliche Teil dieser Elemente aus der nach der Schüttelung mit einprozentigem EDTA erhaltenen Lösung mit Hilfe des UNICAM Atomabsorptions-Spektrophotometers bestimmt werden (GYÖRI 1976, PRICE 1977).

Den signifikanten Charakter der Unterschiede zwischen den verschiedenen Parametern haben wir mit dem Vergleich der Mittelwerte durch Varianzanalyse nachgewiesen (SVAB 1973).

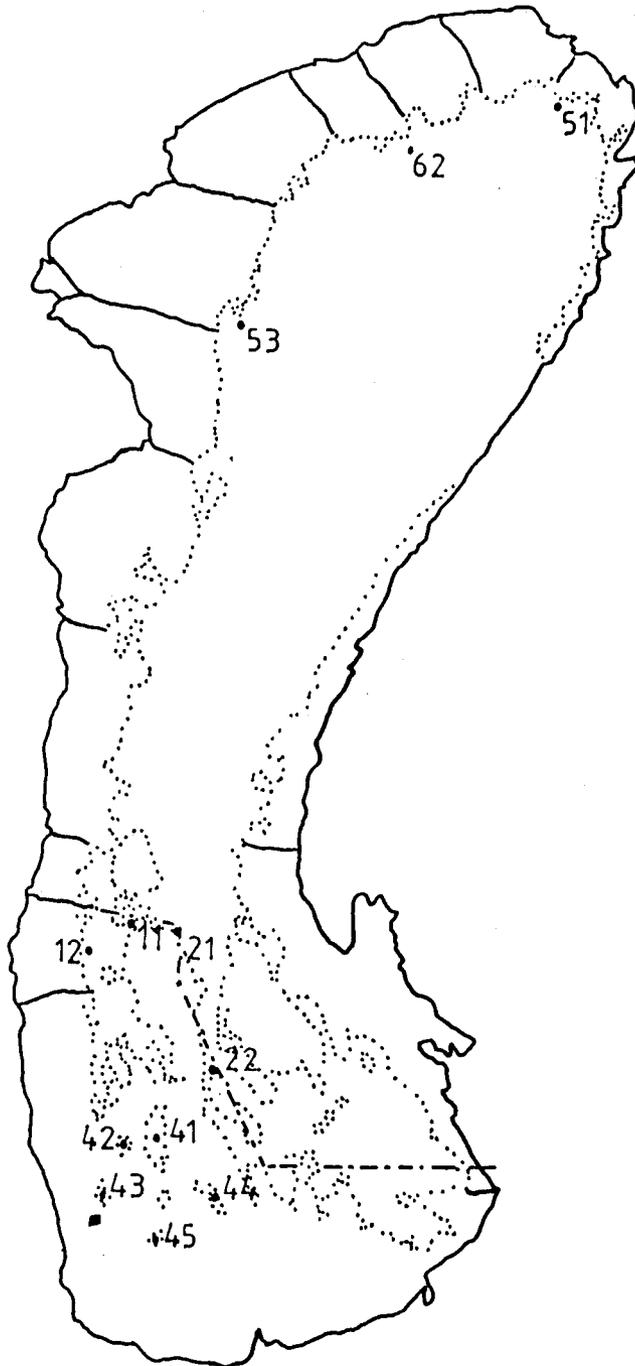


Abb. 1: Probeentnahmestellen am Fertő/Neusiedler See

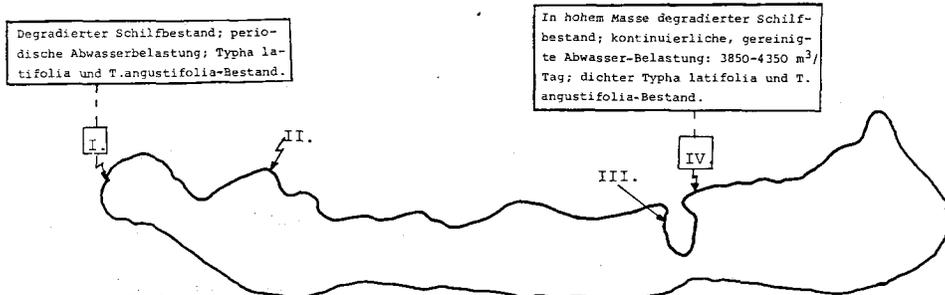


Abb. 2: Probeentnahmestellen am Balaton

### 3. Ergebnisse

#### Fertő/Neusiedler See

In der oberen Schicht des Sediments schwankt der Schwermetallgehalt zwischen folgenden Werten — Fe: 9,7-13,0 mg/g; Mn: 360-420  $\mu\text{g/g}$ ; Zn: 46-85  $\mu\text{g/g}$ ; Cu: 16,7-28,0  $\mu\text{g/g}$ ; Pb: 10-31  $\mu\text{g/g}$ ; Sr: 440-660  $\mu\text{g/g}$ . (Abb. 3., 4., Tab. 1.) Betreffend den ungarischen Seeteil wurden (HORVATH & PANNONHALMI 1989) ähnliche Konzentrationen festgestellt.

Während in den Cu-, Zn-, Sr-, Fe- und Mn-Gehalten des Sediments der verschiedenen Probeentnahmestellen ein signifikanter Unterschied besteht, sind die Unterschiede im Pb-Gehalt unwesentlich.

Der Fe-Gehalt der Probe 43 (Oberlakni-Blänke) ist signifikant der geringste. In den Proben 44 und 42 (Hidegségi- und Kisherlakni Blänke) beträgt der Fe-Gehalt 10,12 mg/g; dies ist signifikant geringer als die an den übrigen Stellen gemessenen Werte, mit Ausnahme der Proben der Untersuchungsstellen 22, 42, 44 und 51.

Die aus der offenen Wasserfläche näher liegenden Blänken stammenden Proben (42, 43, 41) und die Proben aus der Untersuchungsstelle 22 enthalten signifikant weniger Mn als die im südlichen Bereich des Sees liegenden Blänken (45, 44) sowie die Proben 51, 53 des österreichischen Seeabschnittes.

Der Sr-Gehalt, der aus dem Oberlakni-Blänke (Probe 43) und der aus der Mündung des Wulka-Baches stammenden Probe (53), beträgt 658  $\mu\text{g/g}$ ; dies ist signifikant der größte Wert.

Der größte Cu-Gehalt (28  $\mu\text{g/g}$ ) im Sediment der Probe 43 ist signifikant größer als der Cu-Gehalt der übrigen Proben. Im Sediment der Probeentnahmestellen 22, 45 und 41 liegt der Cu-Gehalt zwischen 16,7-17,3  $\mu\text{g/g}$  und diese Stellen enthalten signifikant weniger Cu, als die Proben 11, 42, 43, 44 und 53.

Der im Sediment des in der Probe 42 (Kisherlakni-Blänke) gemessene geringste Zn-Gehalt (46  $\mu\text{g/g}$ ) ist signifikant geringer als die an den übrigen Stellen gemessenen Werte. Der Zn-Gehalt der in der Bucht von Fertőrákos gemessenen Probe 12 (85  $\mu\text{g/g}$ ) ist signifikant größer als der im Sediment der der offenen Wasserfläche näher gelegenen Blänken (Probeentnahmestellen 42, 43, 44).

Entlang der West-Ost Transekten zeigt der Zn-Gehalt im ganzen See nach Ost eindeutig fallende Tendenz (Abb. 5.).

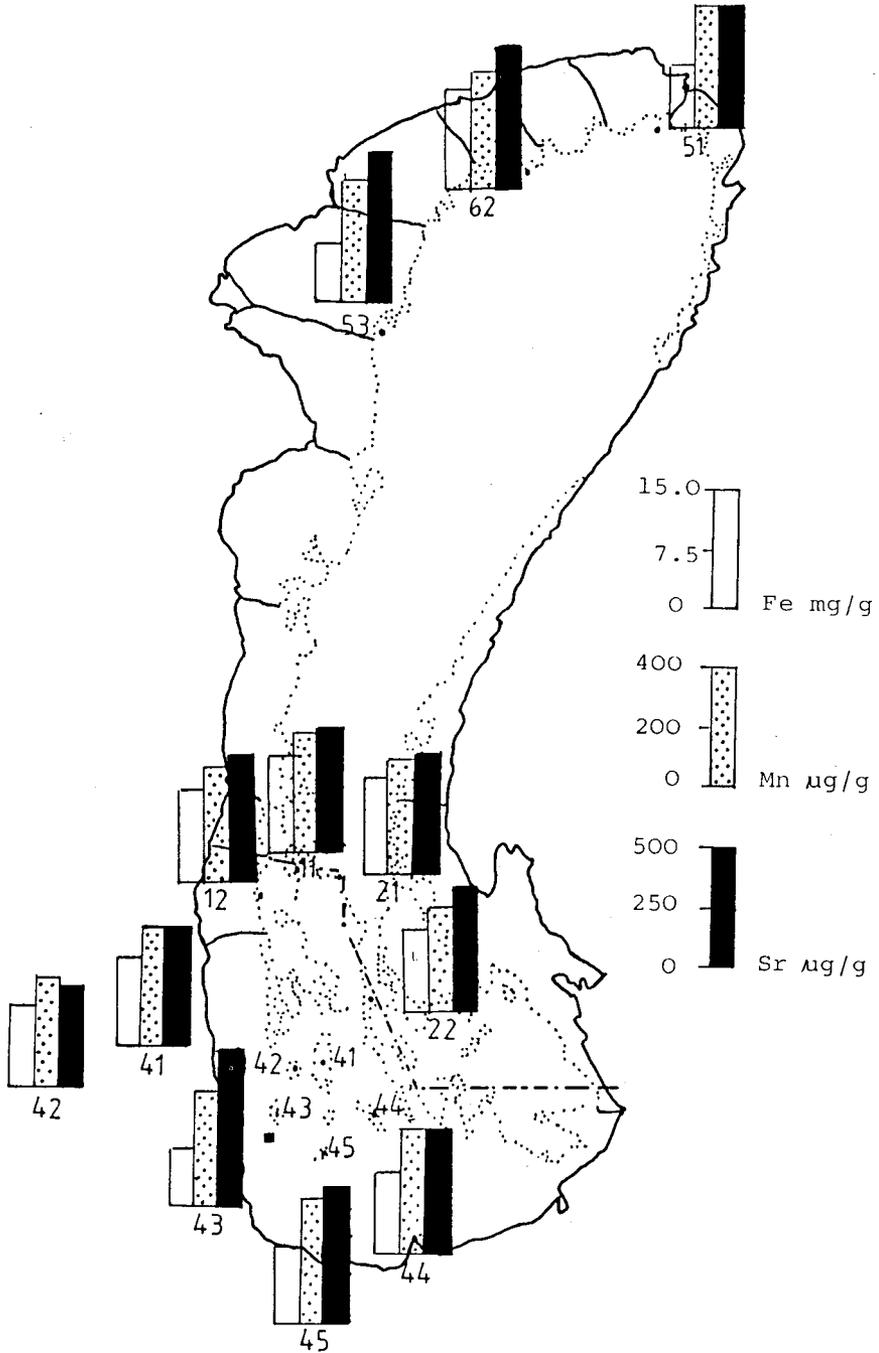


Abb. 3: Durchschnittlicher Fe-, Mn- und Sr-Gehalt in den oberen Schichten des Sediments von Fertő/Neusiedler See

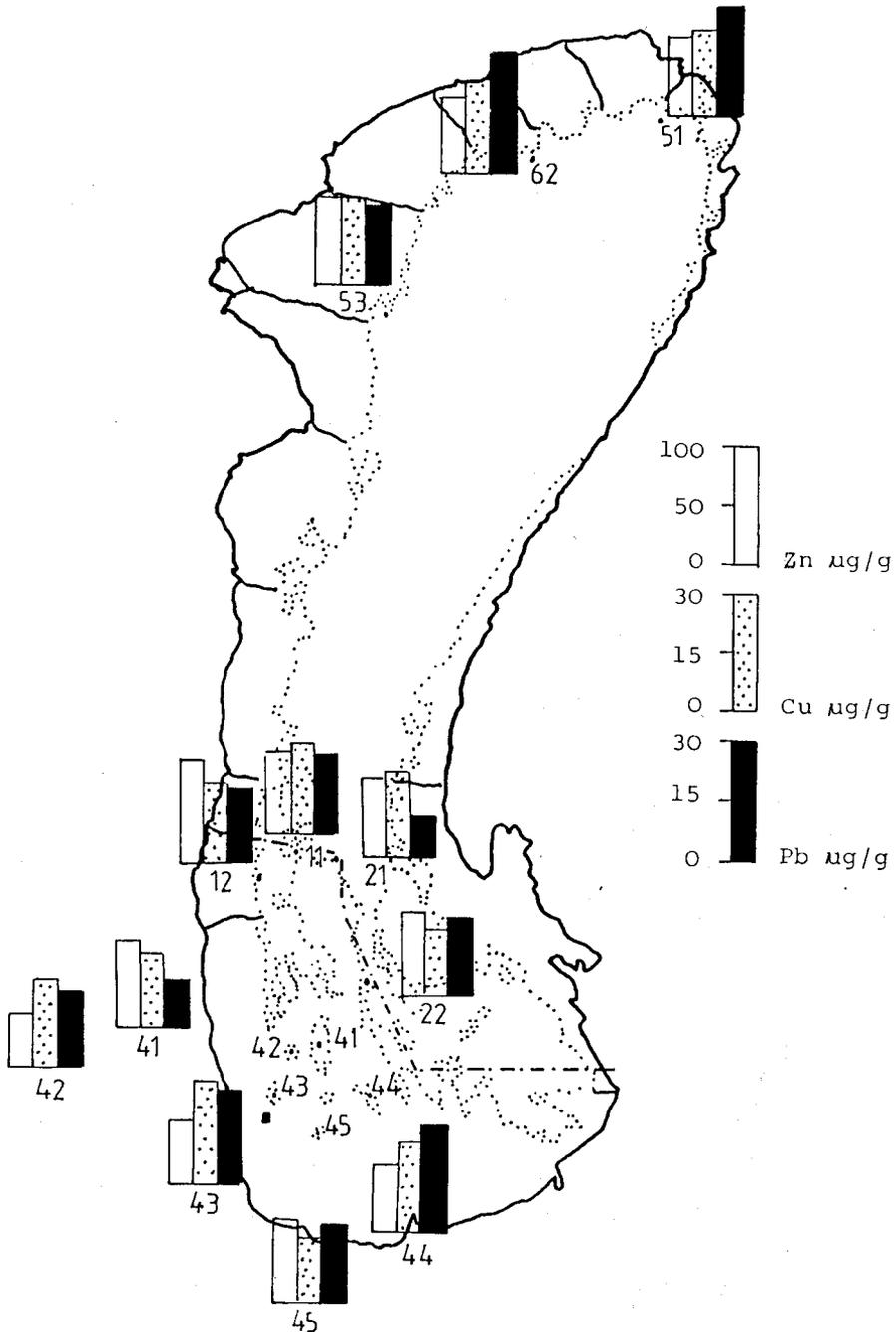


Abb. 4: Durchschnittlicher Zn-, Cu- und Pb-Gehalt in den oberen Schichten des Sediments von Fertő/Neusiedler See

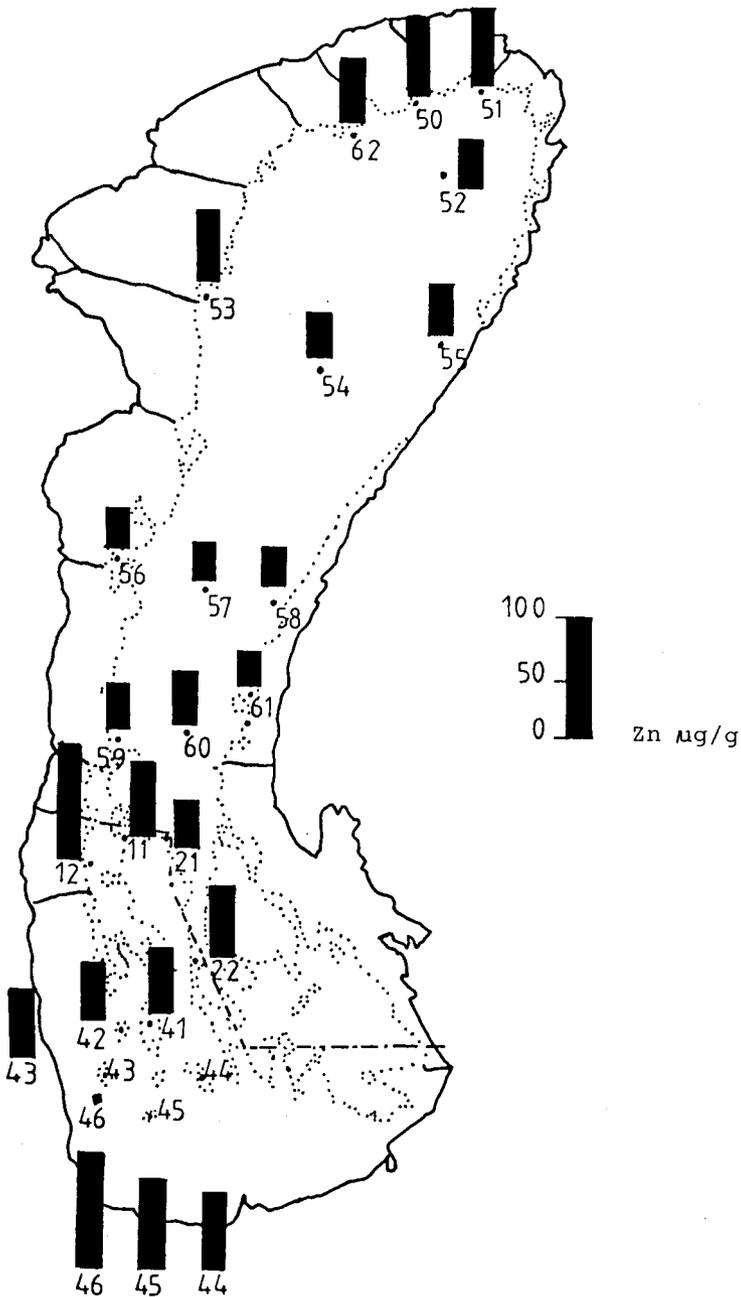


Abb. 5: Durchschnittlicher Zn-Gehalt in oberen Schichten des Sediments von Fertő/Neusiedler See (diese Zn-Gehalt wurde aus der Asche — 550 °C zwei Stunden — nach zwölfstündigem Schütteln mit In HCl bestimmt)

Es besteht überall im See ein loser stochastischer Zusammenhang (Korrelation  $r=0,38$ ) zwischen dem organischen Material und der Zn-Konzentration des Sedimentes. An einigen Probeentnahmestellen (meistens wo das Sediment an organischen Stoffen reicher ist) ist dieser Zusammenhang ziemlich eng ( $R=0,7-0,9$ ).

Der Fe- und Mn-Gehalt steigt mit zunehmender Tiefe an (Tab. 1.). Der Cu-, Pb- und Sr-Gehalt ändert sich von der Oberfläche bis zu den von uns untersuchten 15-20 cm Tiefe nicht wesentlich, die Werte sind an den einzelnen Probeentnahmestellen fast gleich.

In der Tiefenverteilung des Zn-Gehaltes können abweichende Tendenzen wahrgenommen werden. Während im Sediment der südlicher gelegenen Blänken (Probenentnahmestellen 44, 45, 46) gegen die tieferen Schichten zu der Zn-Gehalt eindeutig abnimmt, zeigt der Zn-Gehalt in den von anderen Teilen des Sees stammenden Proben gegen die Tiefe hin keine wesentlichen Veränderungen (Bucht von Fertörákos, offene Wasserfläche des Sees).

Tab.1.: Schwermetallgehalt des Sediments und Wassers im Fertő/Neusiedlersee

	Fe mg/g	Mn µg/g	Sr µg/g	Zn µg/g	Cu µg/g	Pb µg/g	Fe mg/g	Mn µg/g	Sr µg/g	Zn µg/g	Cu µg/g	Pb µg/g
62						51						
1-5. cm	12,92	414,74	599,98	66,02	24,30	31,25	11,05	410,66	525,20	66,32	21,66	27,50
15. cm	13,35	422,40	645,80	67,70	21,07	50,00	11,50	430,20	503,30	57,28	21,07	12,50
20. cm	-	-	-	-	-	-	12,67	452,00	503,30	60,76	21,07	12,50
53						11						
Wasser µg/l	-	-	-	-	-	-	480	80	545	40	15	-
1-5. cm	11,76	422,24	657,92	76,79	22,49	20,00	11,95	399,78	529,36	68,74	22,49	-
15. cm	12,50	472,40	645,80	76,55	18,75	12,50	11,58	389,40	458,30	51,38	22,91	12,50
20. cm	12,50	394,70	503,30	68,57	22,91	12,50	12,04	408,30	479,10	57,28	25,00	12,50
12						21						
Wasser µg/l	200	20	457	35	15	-	360	50	457	21	-	-
1-5. cm	11,67	390,84	520,80	85,19	19,58	17,50	11,04	305,98	508,30	66,59	21,04	10,00
15. cm	12,72	418,30	479,10	63,54	27,00	50,00	14,62	415,60	437,40	59,02	25,00	12,50
20. cm	13,75	432,70	500,00	68,74	20,83	12,50	14,62	437,50	458,30	64,23	22,91	12,50
22						41						
Wasser µg/l	360	60	545	72	-	-	280	50	655	32	15	-
1-5. cm	10,51	370,64	524,96	68,47	16,67	20,00	11,50	399,52	495,78	72,66	17,32	12,50
15. cm	10,81	346,00	479,10	56,25	16,67	12,50	13,75	437,70	500,00	66,66	16,67	12,50
20. cm	11,04	309,40	604,10	66,66	17,71	12,50	-	-	-	-	-	-
42						43						
Wasser µg/l	200	50	600	25	-	-	240	60	709	69	-	-
1-5. cm	10,12	365,44	437,98	46,07	22,28	20,00	7,91	378,82	658,34	56,08	27,91	23,75
15. cm	10,78	398,80	458,30	44,53	21,07	6,00	15,00	447,40	521,00	53,01	25,00	12,50
44						45						
Wasser µg/l	200	35	709	42	-	-	280	70	695	27	15	-
1-5. cm	10,12	409,90	500,46	56,28	22,71	27,50	9,85	415,40	503,30	71,14	16,09	20,00
15. cm	12,67	422,90	458,30	52,00	12,50	12,50	11,75	313,00	419,20	66,66	22,91	12,50

## Balaton

Die verschiedenen Organe des Schilfes enthalten die untersuchten Elemente in anderen Konzentrationen und in einer anderen Reihenfolge (Tab. 2., 3.). In den oberirdischen Organen — besonders im Blatt — können in größeren Mengen N und P gemessen werden. In den unterirdischen Organen ist vor allem Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Co, Cd und Pb in größeren Mengen nachweisbar (KVĚT 1973, KOVÁCS et al. 1978, DINKA 1986b). Ein Vergleich der Ergebnisse aus den beiden Tiefenzonen jeder Probestelle brachte keine wesentlichen Unterschiede.

In der Tendenz spiegeln die in den Schilfpflanzen gemessenen Elementkonzentrationen die Konzentrationsverhältnisse im Sediment der jeweiligen Probestelle wider. Wo die Umgebung an Nährstoffen und chemischen Elementen reicher ist und ständig Nachschub erhält, können sie in den Pflanzen auch in größeren Mengen nachgewiesen werden. (KOVÁCS 1976, DINKA et al. 1979, HO 1981, DINKA 1986b). Das Schilf an der IV. Probestelle, welche einer ständigen Abwasserbelastung ausgesetzt ist, enthält die einzelnen Elemente in größeren Mengen. Insbesondere die N-, P- und Zn-Werte sind signifikant höher als an den Probestellen mit geringer Belastung.

Auch bei den beiden Rohrkolbenarten differieren die Element-Konzentrationen in den ober- und unterirdischen Teilen der Pflanzen (Tab. 3., KOVÁCS 1982, KÁRPÁTI-SZEGLET 1985, DINKA 1986c). In den Wurzeln beider *Typha*-Arten kommt es zu einer Akkumulation von Cu und Zn um das sieben- bis achtfache im Vergleich zu den übrigen Organen.

*Typha latifolia* akkumuliert die untersuchten Elemente im allgemeinen in größeren Mengen als *T. angustifolia*. Die letztgenannte Art spiegelt jedoch in der Zusammensetzung der nachweisbaren Elemente wesentlich genauer die jeweiligen Umweltverhältnisse wider.

Bezüglich des Indikationswertes der untersuchten Pflanzen kann die Reihe *Typha angustifolia* — *T. latifolia* — *Phragmites australis* — in abnehmender Reihenfolge ihrer Empfindlichkeit — vorgeschlagen werden.

Die Tab. 4. enthält die Konzentrationen der sämtlichen und leicht löslichen Elemente aus dem Sediment der untersuchten Seeabschnitte. Dabei weist die Probestelle IV, an der vorgeeinigtes Abwasser in den See eingeleitet wird, die größten Konzentrationen aller gemessenen Elemente auf. Die N-, P- und Zn-Konzentrationen sind signifikant größer als die Werte der anderen Untersuchungsstellen. Lediglich an der III. Probestelle konnte bei N und Zn ein signifikanter Unterschied zwischen den unterschiedlichen Tiefenzonen nachgewiesen werden. Der Anteil der leicht löslichen Elemente im Sediment betrug bei Fe 0,5-4,0 Prozent, Mn 10-40 Prozent, Zn und Cu 12-80 Prozent, Ni 12-50 Prozent.

Aufgrund der nach acht Jahren wiederholten Untersuchungen können wir bezüglich der Schilfbestände folgendes feststellen:

Die frühere, direkte Abwasserbelastung der I. Probeentnahmestelle wurde liquidiert. Die Zergliederung, Degradation des Schilfbestandes sowie das Vordringen von *Typha latifolia* und *T. angustifolia* nahm trotzdem zu. Trotz der in diesem Raum durchgeführten Baggerungen hat sich der Schwermetallgehalt des Sedimentes nicht verringert.

Im Raum der einer ständig hochgradigen, gereinigten Abwasserbelastung ausgesetzten IV. Probeentnahmestelle schob sich die Grenze von *Typha-Phragmites* gegen die offene Wasseroberfläche hin hinaus. Von der Mündung des Ausflusses wurde das Schilfrohr in einem 150-200 m breiten Streifen von einem massiven Rohrkolbenbestand abgelöst.

Tab.2: Elementgehalt von Phragmites australis in Balaton

	Gewicht		N		P		Fe		Mn		Zn		Cu		Ni		Cd		Pb		Co		
	1980	1988	1980	1988	1980	1988	1980	1988	1980	1988	1980	1988	1980	1988	1980	1988	1980	1988	1980	1988	1980	1988	
I/a																							
B.fläche	2,74	8,36	30,0	21,51	1,5	2,24	178,0	170,1	277	241,7	14	12,3	4	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B.schneide	8,76	2,26	1,7	8,63	0,62	0,62	92,0	69,8	68	110,3	7	10,1	2	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Stengel	23,32	21,85	2,0	8,88	1,1	1,01	35,0	41,5	44	49,1	15	1,9	4	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
W.wurzel	0,63	0,42	9,5	15,70	2,2	-	5088,0	1859,6	673	1522,1	34	60,3	11	16	42,40	1,41	49,93	8,74	-	-	-	-	-
Rhizom	-	-	1,0	16,09	0,5	2,10	251,0	251,5	41	43,1	8	2,3	4	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A.wurzel	-	-	17,0	17,10	1,1	2,45	1847,0	510,1	158	207,9	11	100,7	14	17	7,45	0,89	41,39	4,97	-	-	-	-	-
	40,68	36,39																					
II/a.																							
B.fläche	10,18	11,35	30,6	21,49	1,9	2,43	147,0	154,2	183	189,4	15	63,8	10	4	-	-	0,59	16,45	2,47	-	-	-	-
B.schneide	8,36	7,49	11,0	9,53	0,5	0,87	60,0	82,0	66	103,5	15	24,3	26	4	-	-	1,15	-	-	-	-	-	-
Stengel	28,73	23,62	4,8	3,70	3,0	0,73	33,2	33,2	22	36,8	3	31,5	3	16	4,94	1,14	16,40	3,70	-	-	-	-	-
W.wurzel	0,63	0,43	17,0	15,99	1,0	1,92	2115,0	1804,8	144	286,3	50,5	33,5	38	12	4,99	0,89	-	-	-	-	-	-	-
Rhizom	-	-	9,5	5,67	1,1	1,48	340,0	560,9	42	56,0	15	11,3	10	4	4,94	0,89	-	-	-	-	-	-	-
A.wurzel	-	-	10,8	10,53	1,1	2,29	8706,0	14021,9	537	114,6	55	36,3	16	16	4,94	1,40	16,52	6,19	-	-	-	-	-
	47,85	42,89																					
II/b.																							
B.fläche	9,56	2,16	30,0	12,02	1,8	2,51	125,0	170,5	156	293,4	14	14,4	10	4	-	-	0,89	-	-	-	-	-	-
B.schneide	2,33	2,37	10,7	12,01	0,8	1,20	83,0	162,4	77	174,4	8	22,8	4	7	-	-	0,89	-	-	-	-	-	-
Stengel	27,03	23,51	6,0	6,09	0,7	1,78	95,0	49,1	27	78,8	8	31,8	8	4	-	-	0,89	-	-	-	-	-	-
W.wurzel	0,37	1,56	16,0	16,70	1,6	2,92	502,0	832,4	487	1091,5	26	52,1	12	11	49,30	4,42	32,86	20,95	-	-	-	-	-
Rhizom	-	-	9,0	6,05	1,2	1,33	225,0	1831,7	30	67,5	17	6,8	5	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A.wurzel	-	-	9,1	7,28	1,4	0,92	3358,0	5349,8	178	109,4	17	69,4	19	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	43,40	39,60																					
III/a.																							
B.fläche	12,32	7,48	28,2	28,50	2,0	-	105,0	131,1	275	206,4	10	8,0	8	4	-	-	9,56	-	-	-	-	-	-
B.schneide	2,33	2,70	19,2	9,50	0,8	0,82	52,0	49,1	38	131,9	9	14,1	6	4	-	-	0,88	-	-	-	-	-	-
Stengel	36,41	16,80	16,2	3,10	0,8	0,86	152,0	1428,6	283	681,4	20	30,3	16	11	12,40	1,14	2,48	-	-	-	-	-	-
W.wurzel	0,43	0,16	18,2	4,80	1,5	1,01	1127,0	1472,3	64	59,3	14	3,0	15	4	20,00	0,90	2,50	-	-	-	-	-	-
Rhizom	-	-	12,2	30,30	2,0	1,32	3603,0	1477,0	284	136,1	61	36,2	10	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A.wurzel	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	54,33	30,14																					
III/b.																							
B.fläche	7,54	8,00	29,2	23,86	1,6	2,53	95,0	170,4	213	84,1	6	3,0	5	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B.schneide	3,04	2,55	8,9	6,58	0,2	0,72	51,0	61,5	120	81,1	6	25,4	5	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Stengel	23,05	17,84	17,9	3,12	0,6	1,32	152,0	41,3	84	56,3	6	1,9	4	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
W.wurzel	0,39	0,38	13,3	18,18	1,2	1,32	224,0	1891,2	103	54,7	18	25,5	2	11	4,93	1,39	4,92	-	-	-	-	-	-
Rhizom	-	-	3,3	3,62	0,3	1,32	248,0	323,2	17	28,9	5	14,0	7	11	24,97	1,66	16,40	5,00	-	-	-	-	-
A.wurzel	-	-	13,4	12,15	1,0	1,33	2038,0	3213,5	177	238,9	136	14,0	10	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	36,61	31,77																					
IV/b.																							
B.fläche	7,61	8,44	30,6	31,55	2,0	3,02	368,0	565,6	189	56,5	52	53,8	105	4	-	-	0,59	-	-	-	-	-	-
B.schneide	3,19	5,75	13,0	7,44	0,9	2,60	53,0	65,3	73	44,8	37	58,8	4	4	4,96	-	-	-	-	-	-	-	-
Stengel	21,70	14,60	10,8	17,76	1,0	1,38	211,0	41,3	17	14,3	10	18,3	15	11	9,90	0,89	2,48	-	-	-	-	-	-
W.wurzel	0,39	0,81	26,5	14,46	3,0	9,81	2063,0	1934,2	71	32,4	203	188,2	12	11	9,90	0,89	-	-	-	-	-	-	-
Rhizom	-	-	13,0	14,46	1,9	2,41	771,0	133,2	17	23,2	17	10,2	13	16	9,90	1,66	16,60	4,98	-	-	-	-	-
A.wurzel	-	-	21,7	-	3,5	-	1951,0	3220,6	47	62,4	229	653,8	13	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	35,03	29,60																					

I, II, III, IV: Probeentnahmestellen

a: Ufernahe Zone, Wassertiefe 20-40 cm; b: Tiefwasser-Zone, Wassertiefe 100-120 cm

Tab. 3.: Durchschnittlicher Schwermetallgehalt von *Typha angustifolia*, *T. latifolia* und *Phragmites australis* von April bis September in 1980

Element	Blattfläche		Blattscheide		Rhizom		Wurzel	
	I.	IV.	I.	IV.	I.	IV.	I.	IV.
<u><i>Typha angustifolia</i></u>								
Mn $\mu\text{g/g}$	151,6 <sup>x</sup>	48,5 <sup>x</sup>	69,0 <sup>x</sup>	19,5 <sup>x</sup>	63,4 <sup>x</sup>	15,3 <sup>x</sup>	164,6 <sup>x</sup>	51,3 <sup>x</sup>
Zn $\mu\text{g/g}$	17,2	30,5	11,0 <sup>x</sup>	36,0 <sup>x</sup>	11,8 <sup>x</sup>	69,3 <sup>x</sup>	88,2 <sup>x</sup>	355,3 <sup>x</sup>
Cu $\mu\text{g/g}$	4,2	5,5	3,0	5,8	3,4	5,3	14,6	28,3
<u><i>Typha latifolia</i></u>								
Mn $\mu\text{g/g}$	249,8 <sup>x</sup>	72,6 <sup>x</sup>	116,5 <sup>x</sup>	23,0 <sup>x</sup>	77,2 <sup>x</sup>	17,2 <sup>x</sup>	183,4 <sup>x</sup>	88,8 <sup>x</sup>
Zn $\mu\text{g/g}$	26,0	29,8	25,0	32,6	24,4	33,8	95,6 <sup>x</sup>	291,6 <sup>x</sup>
Cu $\mu\text{g/g}$	4,7	5,6	3,5	4,4	5,2	5,6	15,0	26,6
<u><i>Phragmites australis</i></u>								
Mn $\mu\text{g/g}$	211,4 <sup>x</sup>	52,5 <sup>x</sup>	75,6 <sup>x</sup>	25,0 <sup>x</sup>	49,6 <sup>x</sup>	15,8 <sup>x</sup>	390,4 <sup>x</sup>	40,8 <sup>x</sup>
Zn $\mu\text{g/g}$	29,8	25,0	13,8	23,2	16,8	23,0	65,6 <sup>x</sup>	294,3 <sup>x</sup>
Cu $\mu\text{g/g}$	20,8	5,8	5,0	3,5	3,2	3,5	10,2 <sup>x</sup>	23,8 <sup>x</sup>

I, IV: Probeentnahmestellen

<sup>x</sup> der Unterschied zwischen Proben ist Signifikant /P = 5 %/

Tab.4: Elementgehalt im Sediment des Balatons

	pH	N mg/g	Mn $\mu\text{g/g}$		Zn $\mu\text{g/g}$		Cu $\mu\text{g/g}$		Ni $\mu\text{g/g}$	
			1	2	1	2	1	2	1	2
			I/a.							
31.07.1980.	7,0	1,3	170,0	68,8	50,4	33,0	1,5	3,6	16,6	5,0
27.07.1988.	7,1	1,7	236,9	82,5	168,1	59,3	-	2,8	19,9	8,8
II/a.										
31.07.1980.	7,3	0,6	95,2	17,8	4,2	3,4	1,3	1,0	13,3	5,0
27.07.1988.	7,9	0,9	115,6	26,8	19,3	4,2	2,0	1,6	7,8	3,5
II/b.										
31.07.1980.	7,0	1,4	97,6	28,8	26,0	14,4	1,8	3,6	16,6	5,0
27.07.1988.	7,8	0,5	105,0	24,6	6,1	4,4	-	0,03	7,1	3,5
III/a.										
31.07.1980.	6,7	3,9	177,5	56,4	129,8	52,7	17,9	8,1	30,0	6,7
27.07.1988.	7,5	4,8	322,7	48,2	179,3	37,5	15,0	8,4	39,8	5,8
III/b.										
31.07.1980.	7,3	0,6	144,8	36,5	10,5	4,0	1,2	1,6	26,6	6,7
27.07.1988.	7,7	0,6	243,3	31,9	10,9	2,6	0,5	0,3	35,0	4,3
IV/b.										
31.07.1980.	6,4	9,6	165,0	37,5	1229,6	153,3	44,0	11,9	43,3	11,7
27.07.1988.	7,4	9,6	306,3	28,6	1285,4	252,2	120,2	11,4	39,6	6,5

I, II, III, IV: Probeentnahmestellen

a: Ufernahe Zone, Wassertiefe 20-40 cm, b: Tiefwasser-Zone, Wassertiefe 100-120 cm

1: Gesamtgehalt des Elements, 2: in 1% EDTA lösliches Element

In den Elementenkonzentrationen der Organe des Schilfrohres sowie der breit- und schmalblättrigen Rohrkolben wurde — mit Ausnahme der in den unterirdischen Organen gemessenen größeren Schwermetallkonzentration — kein wesentlicher Unterschied gemessen.

In den Sedimenten der Probeentnahmestellen ergaben sich im Gegensatz zu den Pflanzen wesentliche Unterschiede. Vor allem wuchs in den einer ständigen Belastung ausgesetzten Gebieten der Zn-, Cu- und Ni-Gehalt des Sedimentes in einem größeren Maße (auf das 1,5-2,0 fache) an.

Der während der acht Jahre angewachsene Elementengehalt des Sedimentes weist darauf hin, daß sich der überwiegende Teil der (Schwermetall-) Belastung, der der See ausgesetzt ist, hier akkumuliert.

#### 4. Literatur

- DINKA, M.: Beiträge zum Elementgehalt des Sedimentes im Neusiedler See (ung.) — MHT VI. Orsz. Vándorgy. Héviz, 182-191, 1986a.
- : The Effect of Mineral Nutrient Enrichment of Lake Balaton on the Common Reed (*Phragmites australis*). — *Folia Geobot. et Phytotax.*, **21**, 65-84, 1986b.
- : Accumulation and Distribution of Elements in Cattail Species (*Typha latifolia* L., *T. angustifolia* L.) and Reed (*Phragmites australis*/Cav./Trin ex Steudel/living in Lake Balaton. — *Proceed. EWRS/AAB 7<sup>th</sup> Symp. on Aquatic Weeds*, 81-86, 1986c.
- DINKA, M., KOVÁCS, M. & PODANI, J.: Die Untersuchung des Elementgehaltes des Schilfes in Balaton. II. Die Elementeakkumulation des Schilfes an den belasteten und unbelasteten Ufern. — *Bot. Közlem.*, **66**, 285-290, 1979.
- GYÖRI, D.: Soil and plant investigation method. Lecture notes. (ung.) — Keszthely, 1-50, 1973.
- : Soil investigations. Lecture notes. (ung.) — Keszthely, 1-117, 1976.
- HO, Y. B.: Mineral composition of *Phragmites australis* in Scottish Lochs as related to eutrophication. I. Seasonal changes in organs. — *Hydrobiologia*, **85**, 227-237, 1981.
- HORVÁTH, L. & PANNONHALMI, M.: Heavy metal pollution in the sediment of Lake Fertő. (ung.) — *Hidr. Közlöny*, **69**, 220-223, 1989.
- KÁRPÁTI, V. & KÁRPÁTI, I.: Der Tagesrhythmus des freien CO<sub>2</sub> und absorbierten O<sub>2</sub> in einigen Wasserpflanzengesellschaften der Musterfläche bei Vonyarcvashegy. — *Acta Bot. Acad. Sci. Ung.*, **15**, 81-99, 1969.
- KÁRPÁTI, V. & SZEGLET, P.: Die Veränderung des Bioelementgehaltes bei *Phragmites australis* und *Typha angustifolia*. — *BFB-Bericht*, **55**, 67-70, 1985.
- KOVÁCS, M.: Die Bedeutung der Balaton-Uferzone für den Umweltschutz am See. — *Acta Bot. Acad. Sci. Hung.*, **22**, 85-105, 1976.
- KOVÁCS, M.: Chemical Composition of the Lesser Reedmace (*Typha angustifolia* L.) in Lake Balaton. — *Acta Bot. Acad. Sci. Hung.*, **28**, 297-307, 1982.
- KOVÁCS, M. & PRÉCSÉNYI, I. & PODANI, J.: Anhäufung von Elementen im Balatoner Schilfrohr (*Phragmites communis*). — *Acta Bot. Acad. Sci. Hung.*, **24**, 99-111, 1978.
- KVÉT, J.: Mineral nutrients in shoots of reed (*Phragmites communis trin.*) — *Pol. Arch. Hydrobiol.*, **20**, 137-147, 1973.
- PÁSZTÓ, P.: Water quality investigation of Lake Balaton (ung.) — *VITUKI Tanulmányok és Kutatási Eredmények*, **11**, 1-125, 1963.
- PONYI, J.: Water pollution, lake eutrophication. [In:] KOVÁCS, M. (Ed.): *Biological foundation of environmental control*. — Budapest, 109-132, 1975.
- PRICE, W. J.: *Analytical Atomic Absorption Spectrometry* (ung.) — *Műszaki Kiadó Bpest*, 1-242, 1977.
- SVÁB, J.: *Biometric methods in agricultural research*. (ung.) — *Mészgazdasági Kiadó, Budapest*, 1-498, 1973.
- TAYMAZ, K., YIGIT, V., ÖZBAL, H., CERITOGULU, A. & MÜFTÜGİL, N.: Heavy metal concentrations in water, sediment and fish from Izmit Bay, Turkey. — *Intern. J. Environ. Anal. Chem.*, **16**, 253-265, 1984.

- TÓTH, L.: Survey of water quality of Lake Balaton, the study of phosphorous cycle of Lake Balaton. Information on hydrological research of standing water. (ung.) — VITUKI Kiadv. Budapest, 69-72, 1972.
- WILLETT, I. R. & ZARCINAS, B. A.: Nitric acid dissolution and multi-element analysis of soils and sediments by Inductively coupled Plasma Spectrometry. — Commun. In Soil Sci. Plant Anal. 17/2, 183-193, 1986.

Bei der Schriftleitung eingelangt am 30. Juli 1990