

**DIE CHEMISCHE ZUSAMMENSETZUNG DES KAMMLAICHKRAUTES  
(POTAMOGETON PECTINATUS) IM DONAUARM VON VÁC  
(Danubialia Hungarica CIII)**

von

B. RÁTH

Ungarische Donauforschungsstation, Göd

Eingegangen: 5. Februar 1982

**Einleitung**

Die höheren Wasserpflanzen, als autochtonen Organismen, erfordern während ihren Lebenstätigkeiten grossen Mengen der mineralischen Elementen, daneben sind sie auch fähig zu der Akkumulation in grösserem Masse der Stoffe von toxischer Wirkung, die mit der Verschmutzung in das Wasser gelangen. Aufgrund aller ihren diesen Eigenschaften ist das Studium ihrer chemischen Zusammensetzung ein wichtiges Kettenglied zu der Erkenntnis des aquatischen Stoffwechsels und fallweise zu dem Nachweis der Verschmutzung der Gewässer.

Die chemischen Untersuchungen der Laichkrautenarten in Ungarn waren bis jetzt meistens in Teichen durchgeführt. Besonders Deutungsvoll sind die Forschungen, die sich mit dem Elementeninhalt der submersiven Laichkräuter im Plattensee beschäftigen (Tóth 1972, Kovács 1978, 1979). Aus Flusswasser veröffentlicht Kárpáti (1967) Angaben über den Manganengehalt der aquatischen Pflanzen.

In den Forschungen, die die Erkenntnis der chemischen Zusammensetzung der Donau-Laichkräuter erzielen, untersuchten wir als erster Schritt das bestandbildende Kammlaichkraut (*Potamogeton pectinatus*) des Donau-Armes von Vác. Diese Laichkrautart verbreitete sich in den letzten Jahren in dem einen, am meist frequentierten Erholungsgebiet des Landes in Donauknie (Ráth 1980), so sind die Untersuchungen auch aus den Umweltschutz-Hinsichten begründet.

**Probeentnahme und Untersuchungsmethode**

Das zu untersuchende Material haben wir in 1979 und 1980 im Raum Verőcsmaros (Stromkm 1688), Vác (Stromkm 1679,5), Sződliget (Stromkm 1672,7), Surány (Stromkm 1670,4) aus der verschlammte Uferzone gesammelt (Abb. 1. Probeentnahmestellen Nr. 1–4). In 1981 haben wir noch an zwei weiteren Probeentnahmestellen in dem Nebenarm der Buki-Insel

(Stromkm 1682) und im Donauarm von Ráckeve (km 44,5) das Sammeln fortgesetzt (Abb. 1. Probenentnahmestellen Nr. 5–6).

Die Laichkrautproben haben wir in dem gleichen Entwicklungsstadium der Pflanzen, aber in den zwei Kalenderjahren nicht zu dem gleichen Zeitpunkt gesammelt. Dessen Grund war, dass in 1981 wegen in der günstigeren Wasserführung die Vegetationsperiode einen Monat früher begonnen war, als in 1979.



Abb. 1.

An jeden Probeentnahmenstellen haben wir von mehreren Punkten je 3 Kg Menge Proben genommen, aus der wir nach der üblichen Vorbereitung (wie Waschen, Trocknen, Einäscherung) die chemische Analyse vollendeten.

Die Bestimmung des gesammten N- und P-Gehaltes des Pflanzenmaterials der Kjeldahlschen Methode (Felföldy 1974). Die Bestimmung des K-, Na- und Ca-Gehaltes geschah aus 2 n-Salzsäure gelöstem Aschenfiltrat mit dem Zeiss-Flammenphotometer, die Messung von Mg, Sr, Mn, Fe, Zn, Pb, Cu, Cd erfolgte in einem Unicam Atomabsorptions-Spektrophotometer auf der von C o o k e (1969) beschriebenen Weise.

In 1981 bestimmten wir bei einigen Elementen den, den Anhäufungsausmass indizierenden Konzentrationsfaktor die chemische Zusammensetzung des Wassers betreffend.

$$\text{Konzentrationsfaktor} = \frac{\text{Quantität des Elementes bezogen auf das Trockengewicht der Pflanzen in ppm}}{\text{Gehalt des Wassers an Elementen in } \mu\text{g/ml}}$$

Bei dem Elementengehalt des Wassers haben wir den Durchschnittswert der Komponenten der während des Vegetationsperiode bei Göd (Stromkm 1669) wöchentlich entnommen Wasserproben aufgrund der in der Ungarische Donauforschungsstation durchgeführten Analysen in Betracht gezogen.

### Ergebnisse und Auswertung

Die Ergebnisse der chemischen Untersuchungen des im Donauarm von Vác gesammeltes Kammlaichkrautes (*Potamogeton pectinatus*), haben wir in der Tafel I zusammengefasst. Das meist angehäuferte Element ist N, im Durchschnitt von 8 Untersuchungen 2,83%. Die Ähnlichkeit der Sammelstellen kennzeichnet, dass binnen einem Untersuchungs-jahr keine wesentliche Abweichung in dem Gesamtstickstoffgehalt der Pflanzen nicht existiert. Die zwei Jahren vergleichend haben wir den grösseren Durchschnittswert in 1981 gemessen ( $\bar{x}$ : 3,06%). Das kann sich vermutlich dem ausgeglicheneren Wasserablauf der Donau in der Vegetationsperiode in 1981 verdanken. In 1979 haben nämlich Hochflutwellen die Entwicklung der Pflanzen gestört.

Der Phosphorgehalt ist im Durchschnitt 0,37%. Dieser Wert hindeutet auf das reichliche, aufnehmbare Phosphorangebot des Donauwassers. W a g n e r (1966) hat auf der, mit Abwasser belasteten Uferstrecke des Bodensees 0,38–0,42% Phosphorgehalt in *Potamogeton pectinatus* festgestellt.

#### Probeentnahmestellen

1. Verőcemasos .....	rechtes Ufer	1688,0	Stromkm
2. Vác .....	rechtes Ufer	1679,5	Stromkm
3. Sződliget .....	linkes Ufer	1672,7	Stromkm
4. Surány .....	rechtes Ufer	1670,4	Stromkm
5. Nebenarm von Buki-Insel .....		1682,0	Stromkm
6. Donauarm von Ráckeve .....		44,5	Km

Tabelle I

Das Elementengehalt von Potamogeton pectinatus im Donauarm von Vác  
(in % der Trockensubstanz)

Stelle und Zeitpunkt der Probenahmen	Asche %	N %	P %	K %	Na %	Ca %	Mg %	Mn ppm	Fe ppm	Zn ppm	Sr ppm	Pb ppm	Cu ppm	Cd ppm
Verőcsemaros (Stromkm 1688)														
20. VIII. 1979. ....	24,51	2,47	0,37	1,36	0,97	2,05	0,68	482	216	107	79	16	12	4
15. VII. 1981. ....	17,0	3,06	0,35	2,20	1,31	0,73	0,88	459	427	94	27	13	10	2
Vác (Stromkm 1679,5)														
15. VIII. 1979. ....	23,54	3,04	0,39	1,33	0,83	2,02	0,57	485	159	112	74	16	13	4
14. VII. 1981. ....	17,82	3,43	0,36	2,94	1,56	0,54	0,71	345	282	53	18	13	9	2
Szödliget (Stromkm 1672,7)														
3. VIII. 1979. ....	24,11	2,13	0,35	2,23	1,27	2,18	0,72	644	458	106	78	16	17	5
15. VII. 1981. ....	18,84	2,82	0,40	2,58	0,85	1,39	0,71	631	431	90	62	15	11	3
Surány (Stromkm 1670,4)														
3. VIII. 1979. ....	23,75	2,81	0,39	2,30	0,85	1,48	0,58	455	682	83	54	14	12	4
12. VII. 1981. ....	18,69	2,93	0,36	2,53	1,17	0,74	0,71	346	448	168	27	13	10	2
Durchschnittswert i. J.														
1979 .....	23,98	2,61	0,37	1,80	0,98	1,93	0,64	516	379	102	71	15	13	4
1981 .....	18,09	3,06	0,37	2,56	1,22	0,85	0,75	445	397	101	33	13	10	2



Laut heimischen Messungen ist der Phosphorgehalt des Balatoner Kammlaichkrautes (*Potamogeton pectinatus*) im Raum von Keszthelyi-Bucht 0,17–0,23% (K o v á c s 1979).

Aufgrund unserer Angaben ist in der Phosphorgehalt je nach Sammelstellen und Untersuchungs Jahren kein Unterschied nachweisbar.

Bis der Stickstoff und der Phosphor die wichtigsten Nährstoffe der autotrophen Wasserorganismen sind, so lange sind die Kationen der im Wasser gelösten Salze in erster Linie zu der Auferhaltung des Stoffwechsels nötig.

In unseren Untersuchungen die quantitative Reihenfolge der Anhäufung der Kationen ist die folgende:  $K > Ca > Na > Mg$ .

Mit Ausnahme des Kalziums haben wir in 1981 an allen Sammelstellen die grösseren Werte gemessen. Das kann wohl mit dem früher erwähnten, günstigeren hydrologischen Verhältnissen in einem Zusammenhang sein. Auffallend ist es dagegen, dass die Quantität des Kalziums sich eben umgekehrt gebildet hat. 1979 haben wir mehr, als das Zweifache des Kalziums in den Pflanzen gefunden, als in 1981. Es ist vorstellbar, dass dessen Grund die, in den Blättern häufige Kalkinkrustation war. Den Durchschnitt der zwei Jahren betrachtend, zeigt der Kaliumgehalt der Pflanzen von Verőcsemaros bis Surány einen steigenden Wert. Bei den übrigen Kationen kann man solche Tendenz nicht beobachten.

Unter natürlichen Verhältnissen sind die Mikroelementen in kleinerer Quantität zu der Lebenstätigkeit und Entwicklung der Pflanzen unentbehrliche Stoffe. In unseren Tagen aber, wegen der grossartigen Verschmutzung der Gewässer anhäufeln sie sich in den Pflanzen erhöht. Gleichzeitig erscheinen in den Pflanzen auch die Schwermetalle von toxischer Wirkung.

Was rein die Quantität betrifft, ist in *Potamogeton pectinatus* das Mangan an der ersten Stelle. Sein Durchschnittswert war in 1979 566 ppm, in 1981 445 ppm. Laut der Mitteilung von K á r p á t i (1967) kann der Mn-Gehalt der Pflanze von der Gewinnungsstelle anhängig äusserst extrem: 240–2350 mg/kg sein.

Unsere Ergebnisse zeigen eine grosse Abweichung nicht, die, den Durchschnittswert übertreffende Mangananhäufung ist nur in den Proben von Szódliget beobachtbar.

Das Eisen ist auch ein, in wesentlichen Mengen sich akkumulierendes Mikroelement. Der Unterschied des Eisengehaltes nach Sammelstellen ist der grösste. Besonders in 1979 sind die Differenzen augenfällig (die extremen Werte sind: 159–682 ppm). Eine relativ grössere Konzentration haben wir in beiden Jahren in den Proben von Surány gemessen.

Nach Mangan und Eisen ist als dritt in grösster Menge angehäufteres Mikroelement das Zink, dessen erhöhte Aufnahme an allen Wasserpflanzen charakteristisch ist (T ö l g y e s i 1967). Der durchschnittliche Zinkgehalt ist 101 ppm. Mit Ausnahme der Surányer Sammelstelle haben wir in 1979 die grössten Werte gemessen.

Das Strontium ist chemisch mit dem Kalzium verwandtes Element. Seine Quantität in den Wasserpflanzen hängt in grossem Masse auch von der Kalziumaufnahme ab (H u t c h i n s o n 1975). Sein Durchschnitts-

wert in *Potamogeton pectinatus* war in 1979 71 ppm, in 1981 33 ppm, in beiden Jahren annähernd ein Drittel des Wertes des Kalziums.

Von den Mikroelementen von toxischer Wirkung kommen das Blei, ( $\bar{x}$ : 14 ppm) das Kupfer ( $\bar{x}$ : 12 ppm) und besonders das Kadmium ( $\bar{x}$ : 3 ppm) in verhältnismässig kleinen Mengen vor.

Das ist in Übereinstimmung mit der Untersuchungen der UNDP/WHO Projekt in der Donau, die Werte für das Kadmium Nulla, für das Kupfer und Blei 0,000–0,010 mg/dm<sup>3</sup> sind (Északdunántúli Vízügyi Igazgatóság jelentése, 1979). Gleichzeitig darf man aber nicht ausser Aufmerksamkeit lassen, dass die Schwerelementakkumulation der wurzelnden Wasserpflanzen kann nicht aus dem Wasser, sondern auch aus dem Sediment geschehen.

Die Anhäufung der Elementen kann in den Wasserpflanzen eine hundertfache, oder sogar grösser als eine tausendfache Quantität sein, als in welcher Menge das Element in der Umwelt vorkommt. Das Mass der Anhäufung können wir mit Konzentrationsfaktoren charakterisieren.

Aus den Tabellen II und III ist es ersichtbar, dass das Wasser der Donau reichlich Stickstoff und Phosphor enthält, was *Potamogeton pectinatus* in einem wesentlichen Faktorenwert von 10<sup>4</sup> in seinem Körper reserviert. Bei der Anhäufung des Kalziums und des Magnesiums spielt nicht der Elementengehalt des Wassers, sondern die selektive Kationaufnahme der Pflanze eine Rolle.

Der gelöster Eisen- und Mangangehalt der Donau ist wenig, oder mit analytischen Methoden gar nicht nachweisbar. Die Strömung des Wassers aber sichert einen kontinuierlichen Nachschub für die Pflanzen, darum anhäufern sie diese in mehrfacher Weise in einem Faktorenwert von 10<sup>4</sup>

Table II.

Monatsdurchschnitt der wöchentlich gemessenen Werte einigen wasserchemischen Komponenten in 1981 bei Göd (Stromkm 1669)

		April	Mai	Juni	Juli	August	Sept.	Durchschnittswerte
NH <sub>4</sub> -N	mg/l	0,53	0,31	0,27	0,35	0,19	0,17	0,30
NO <sub>2</sub> -N	mg/l	0,034	0,042	0,053	0,038	0,028	0,039	0,039
NO <sub>3</sub> -N	mg/l	1,63	1,57	1,50	1,31	1,26	2,06	1,55
Summe der anorganischen N-Formen des Wassers	mg/l	2,194	1,922	1,823	1,698	1,478	2,269	1,889
PO <sub>4</sub> -P	mg/m <sup>3</sup>	126,0	124,0	156,5	120,4	138,0	160,0	137,5
Ca <sup>++</sup>	mg/l	52,0	49,7	44,2	43,3	47,9	53,8	48,15
Mg <sup>++</sup>	mg/l	13,5	12,5	11,9	10,6	12,2	12,9	12,3
Fe gelöst	mg/l	0,02	0,01	0,005	0,02	0,01	0,00	0,01
gesamt	mg/l	0,57	0,51	0,56	0,92	0,61	0,51	0,61
Mn gelöst	mg/l	S	0,0	0,0	0,0	S	0,0	0,0



Tabelle III

Konzentrationsfaktoren des *Potamogeton pectinatus* in 1981

N	auf die Summe der anorganischen N-Formen des Wassers gerechnet	1,62 × 10 <sup>4</sup>
P	auf den PO <sub>4</sub> -P-Gehalt des Wassers gerechnet	2,7 × 10 <sup>4</sup>
Ca	.....	1,76 × 10 <sup>2</sup>
Mg	.....	6,1 × 10 <sup>2</sup>
Fe	auf den gelösten Fe-Gehalt des Wassers gerechnet	3,97 × 10 <sup>4</sup>
	auf den gesamten Fe-Gehalt des Wassers gerechnet	6,5 × 10 <sup>3</sup>
Mn	auf den gelösten Mn-Gehalt des Wassers gerechnet	4,4 × 10 <sup>2</sup>

bzw. 10<sup>12</sup>. Da in der Donau 95–98% des Eisengehaltes zu dem schwebenden Stoff absorbiert ist, (Benedek et al. 1976), bei den, auf den gesamten Eisengehalt gerechneten Konzentrationswert haben wir auch das berücksichtigt. Bei dem Mangan haben wir solche Rechnungen nicht gemacht, da bisherig aus dem Wasser nur die Untersuchung des gelösten Mangans geschehen ist.

Der Elementengehalt der einzelnen Laichkräuter ändert sich von der Probeentnahmestellen abhängig. Zur Illustration haben wir den Elementengehalt des im Donauarm von Vác gesammelten *Potamogeton pectinatus* mit der chemischen Zusammensetzung der, an anderen Donau-Sammelstellen gewachsenen Exemplaren verglichen. Aus der vergleichenden Untersuchung stellt es sich hervor, (Tabelle IV), dass die grösste Werte wurden in den Proben des mit Abwasser mehr belasteten Donauarmes von Ráckeve gemessen. Die kleinste ist die Akkumulation im Nebenarm der Buki-Insel, wo die Laichkrautvegetation die Nahrung aus einem durch dem Überschwemmungsgebiets-Weidenbestand „durchsiebten“ Donauwasser bekommt. Die beinahe gleiche Quantität einigen Elementen (K, Na, Mg) indiziert dagegen auch das, dass in der chemischen Zusammensetzung des Laichkrautes neben der Umweltwirkung auch die Kationselektivität eine wesentliche Rolle hat.

\*

## Zusammenfassung

Auf der etwa 20 Kilometer langen Strecke der Donau, an mehreren Probeentnahmestellen haben wir zwei Jahren hindurch die chemische Zusammensetzung des *Potamogeton pectinatus* untersucht.

In der schlammigen Uferzone sich verbreitetes Laichkraut akkumuliert Stickstoff und Phosphor in einer wesentlichen Quantität in seinem Körper und zwar im Durchschnitt 2,83% bzw. 0,37%. Die Werte der einzelnen Proben machen die Ähnlichkeit der Sammelstellen gut wahrnehmbar, das Reichtum in Nahrungsstoffen. Die Anhäufung der Kationen hängt in erster Reihe von der biologischen Eigenartigkeit der Pflanze ab, doch aber kann die günstige Gestaltung der hydrologischen Verhältnissen (wie z. B. ein gleichmässiger Wasserführung) die Anhaufung steigern.

Elementengehalt des *Potamogeton pectinatus* an verschiedenen Sammelstellen

Stelle und Zeitpunkt der Probeentnahmen	Asche %	N %	P %	K %	Na %	Ca %
Donauarm von Vác (Stromkm 1670 – 1688) 12 – 15. VII. 1981.	18,09	3,06	0,37	2,56	1,22	0,85
Nebenarm von Buki-Insel (Stromkm 1682) 9. VI. 1981. ....	15,12	2,67	0,29	1,70	0,99	0,88
Donauarm von Ráckeve bei Dunaharaszti (Km 44,5) 10. VII. 1981. ....	22,26	3,38	0,43	2,09	1,05	3,61

Unter den Mikroelementen in grösster Quantität kann man das Mangan und das Eisen finden. Der Konzentrations-Faktorenwert des letzteren ist auf den gelösten Eisengehalt des Wassers gerechnet  $10^4$ . Die etwas grössere Anhäufung der Mikroelementen ist an den Sammelstellen unter Vác beobachtbar. Laut unseren vergleichenden Untersuchungen von informativem Charakter scheint *Potamogeton pectinatus* aufgrund seiner chemischen Zusammensetzung geeignet zu sein um die Strecken der Donau von unterschiedlicher Qualität damit charakterisieren zu können.

Als Schluss spreche ich meinen Dank der Professorin Dr. Margit Kovács, wissenschaftlicher Berater für ihre wertvollen fachlichen Ratschlägen, dem László Németh für die Abmessung der Aschenelementen, weiterhin meinen Kollegen dr. Keve Kiss und Frau Gusztáv Augusztin für ihre Hilfe, die sie in der Bestimmung des Stickstoffes und des Phosphors geleistet haben, aus.

## SCHRIFTTUM

- Benedek, F. – Literathy, P. – Jolánkai, G. – László, F. 1976. A magyar Duna-szakasz néhány vízminőségi problémája (Einige Wasserqualitätsproblemen der ungarischen Donau-Strecke). Hidr. Közl. **56**: 49 – 57.
- Északdunántúli Vízügyi Igazgatóság jelentése (Bericht der Nordtransdanudischen Wasserdirektion). 1979. A Duna szennyezettsége és vízminőségváltozása 1968 – 1978. (Verschmutzung und die Änderung der Wasserqualität der Donau zwischen 1968 – 1978). Manuskript, Győr. 85 p.
- Hutchinson, G. E. 1975. A treatise on limnology. III. 660 p.
- Kárpáti, I. – Kárpáti, V. – Tölgyesi, Gy. 1967. Manganese content of aquatic plants. Acta Bot. Acad. Sci. Hung. **13**: 95 – 112.
- Kovács, M. 1978. The element accumulation in submerged aquatic plant species in lake Balaton. Acta Bot. Acad. Sci. Hung. **24**: 273 – 283.
- Kovács, M. – Tóth, L. 1979. A balatoni hínások biogénelem felhalmozásáról (Über Anhäufung der biogenen Elementen der Laichkräuter des Plattensees). VITUKI Közlemények **14**: 49 – 74.



Tabelle IV.

(in % der Trockensubstanz)

Mg %	Mn ppm	Fe ppm	Zn ppm	Sr ppm	Pb ppm	Cu ppm	Cd ppm
0,75	445	397	101	33	13	10	2
0,74	187	353	71	44	13	8	3
0,65	430	508	344	139	23	16	6

- R á t h, B. 1980–1981. Untersuchung der Laichkrautvegetation im Donauarm bei Vác und in seinen Nebengewässern (Danubialia Hungarica CIV). Ann. Univ. Sci. Budapest. Sect. Biol. **22/23**: 109–124.
- T ó t h, L. 1972. On the chemical composition of submerged aquatic plants in lake Balaton. Vízminőségi és Víztechnológiai Kut. Eredm. **2**: 48–53.
- T ö l g y e s i, G y. 1969. A növények mikroelemtartalma és ennek mezőgazdasági vonatkozásai (Der Mikroelementengehalt der Pflanzen und dessen landwirtschaftlichen Beziehungen). Budapest. 190 p.
- W a g n e r, G. 1966. Phosphatspeicherung und N/P Quotient bei Laichkräutern in abwasserbelasteten und unbelasteten Ufergebieten des Bodensees. Int. Rev. Ges. Hydrobiol. **51**: 229–235.