

FID Biodiversitätsforschung

Archiv für Naturschutz und Landschaftsforschung

Ausgewählte Beispiele für Indikatoreigenschaften höherer Wasserpflanzen

Pietsch, Werner

1972

Digitalisiert durch die *Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg, Frankfurt am Main* im Rahmen des DFG-geförderten Projekts *FID Biodiversitätsforschung (BIOfid)*

Weitere Informationen

Nähere Informationen zu diesem Werk finden Sie im:

Suchportal der Universitätsbibliothek Johann Christian Senckenberg, Frankfurt am Main.

Bitte benutzen Sie beim Zitieren des vorliegenden Digitalisats den folgenden persistenten Identifikator:

[urn:nbn:de:hebis:30:4-281956](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hebis:30:4-281956)

WERNER PIETSCH

Ausgewählte Beispiele für Indikatoreigenschaften höherer Wasserpflanzen

Eingegangen: 25. 1. 72

1. Einleitung

Die exakte Erfassung der unterschiedlichen Ansprüche der Pflanzen gegenüber einzelnen Bodenfaktoren macht es möglich, bestimmte Pflanzen als „Bodenindikatoren“ zu benutzen. Die Standortsbewertung mit Hilfe von ökologischen Gruppen setzt die Untersuchung ganzer Faktorenkomplexe, mehrerer bodenphysikalisch- und bodenchemischer Komponenten voraus (ELLENBERG 1963).

In der Ökologie der höheren Wasserpflanzen liegen bisher noch keine ähnlich umfangreichen Untersuchungen vor, wie sie aus der terrestrischen Ökologie bereits bekannt sind. Die Verwendung der Wasserpflanzen und ihrer Gesellschaften zur Beurteilung der Standortverhältnisse nach verschiedensten Gesichtspunkten ist zwar schon seit langem bekannt, und es bestehen deshalb zahlreiche Aussagemöglichkeiten über den Zeigerwert von Wasserpflanzen für bestimmte Eigenschaften der Siedlungsgewässer. Eine komplexe Erfassung der wesentlichsten ökochemischen Faktoren als Grundlage zur Klärung der Verbreitung der Wasserpflanzen und ihrer Gesellschaften und zur Aufstellung ökologischer Gruppen gestatten sie z. Z. jedoch noch nicht.

Bei seinen Untersuchungen an der Wasserflora Minnesotas gelangte MOYLE (1945) zu der Auffassung, daß der Wasserchemismus den wichtigsten Einfluß auf die Verbreitung höherer Wasserpflanzen ausübt, obgleich der Typ des Gewässerbodens und gewisse physikalische Faktoren sehr wichtig sein mögen. Im allgemeinen ist es die Wasserchemie eines Gewässers, die, am Beispiel der Verhältnisse in Schottland untersucht, kontrolliert, ob eine Art an diesem Standort wachsen kann oder nicht (SPENCE 1964). Es darf dabei jedoch nicht die Wirksamkeit biotischer Faktoren übersehen werden, die das Verhältnis höhere Pflanze und Wasser beeinflussen kann. Die Zusammensetzung des vorhandenen Gesteinsmaterials und des angrenzenden Bodens sowie ein evtl. Einfluß durch die Tätigkeit des Menschen bestimmen vorrangig die hydrochemische Beschaffenheit der Gewässer. Diese ist wiederum eine der wesentlichen Voraussetzungen für die Gestaltung der Vegetationsverhältnisse höherer Wasserpflanzenbestände (ALEKIN 1970).

Infolge der strengen gesetzmäßigen Abhängigkeit der einzelnen Ionen des Wassers untereinander und gegenüber dem Gesamtsalzgehalt weisen sie bestimmte bevorzugte Ionenkombinationen auf (ROHDE 1949, GESSNER 1959). Will man die Verteilung der höheren Wasserpflanzen bzw. ihren Zeigerwert gegenüber der hydrochemischen Beschaffenheit ihrer Siedlungsstandorte untersuchen, so ist die Erfassung der relativen Ionenanteile wichtigste Voraussetzung.

In der vorliegenden Arbeit soll deshalb die Beziehung zwischen der Verbreitung höherer Wasserpflanzen und dem relativen Ionenanteil (in mval-%) bzw. der bevorzugten Ionenkombination ihrer Siedlungsgewässer untersucht werden.

2. Bisherige Verwendung höherer Wasserpflanzen als Indikatoren

Die Verwendung höherer Wasserpflanzen als Zeiger bzw. Indikatoren für bestimmte Eigenschaften ihrer Siedlungsgewässer ist seit langem bekannt und wurde vornehmlich von dem jeweiligen Stand der Gewässerklassifizierung bestimmt.

2.1. Zeigerwert für den Trophiegrad

Eine in der Limnologie und Hydrobiologie gebräuchliche Einteilung der Gewässer beruht auf dem durch NAUMANN (1919) und THIENEMANN (1921) eingeführten Trophiesystem. Die Ernährungsverhältnisse und der Stoffumsatz bilden die Grundlage der Klassifizierung in oligotrophe und eutrophe Gewässer; bei beiden bestehen zahlreiche graduelle Abstufungen. Für kalkarme und im allgemeinen nährstoffarme Gewässer, die jedoch besonders reich an im Wasser gelösten Humusstoffen sind, wurde zusätzlich der Begriff dystroph eingeführt (THIENEMANN 1921). In der Mehrzahl der während der letzten Jahrzehnte publizierten Arbeiten über die Verbreitung höherer Wasserpflanzen wird das Trophiesystem zur Standortcharakterisierung den Gesellschaftsbeschreibungen zugrunde gelegt (siehe Literaturzusammenstellungen bei HEJNY 1960, KRAUSCH 1964, SEGAL 1965, SCULTHORPE 1967 und HILBIG 1971).

2.2. Zeigerwert für den Gewässertyp

In nordeuropäischen Ländern wurde mehrfach der Versuch unternommen, die Gewässer nach der vorherrschenden Makrophytenvegetation zu untergliedern. Das Vorkommen einer Reihe von Wasserpflanzen kennzeichnet einen ganz bestimmten Gewässertypus; wir sprechen von einem *Isoëtes*-Typ, einem *Lobelia*-Typ, einem *Littorella*-Typ, einem *Juncus bulbosus*-Typ, einem Seentyp mit *Stratiotes aloides* etc. *Lobelia*-Seen, *Isoëtes*-Seen oder auch *Littorella*-Seen sind seit langem zu einem feststehenden Begriff in der Gewässerkunde, der Hydrobotanik und der Pflanzengeographie geworden und waren gleichzeitig Gegenstand eingehender synökologischer Untersuchungen (siehe Literaturzusammenstellungen bei HEJNY 1960, KRAUSCH 1965, SEGAL 1965 und SCULTHORPE 1967). Besonders hervorzuheben ist eine Klassifizierung von Gewässern Finnlands nach der vorherrschenden Makrophytenvegetation (MARISTO 1941) und die Verwendung der Seentypen als Bonitierungsgrundlage (VAARAMA 1942).

2.3. Zeigerwert für Gewässersediment und Schwankungen des Wasserspiegels

Erstmalig messen POND (1905) und PEARSALL (1921) der physikalisch-chemischen Beschaffenheit der Gewässersedimente eine Bedeutung für die Verbreitung höherer Wasserpflanzen bei. Diese Beziehungen werden später durch experimentelle Untersuchungen bestätigt (MISRA 1938, YAMAGUTI 1955, HILD u. REHNELT 1965, 1966 u. a.). Eine Klassifizierung der höheren Wasserpflanzen nach den Lebens- und Wuchsformen in Abhängigkeit vom Bodensubstrat und einigen ökophysikalischen Faktoren wird am Beispiel der Wasservegetation S-Finnlands (LUTHER 1949, 1951) und der Niederlande (DEN HARTOG u. SEGAL 1964, SEGAL 1965) vorgenommen. Den natürlichen Standortverhältnissen wird weit gerechter eine Gliederung nach dem Grad der Anpassungsfähigkeit der einzelnen Arten bzw. ökologische Gruppen an den Wasserstand (HEJNY 1960).

Die plastische Beschaffenheit der Hydrophyten zeigt nach der Auffassung von SCULTHORPE (1967) jedoch, wie hoffnungslos es ist, absolute Grenzwerte für Klassenzustände zu schaffen, ganz gleich, welche Kriterien auch benutzt werden.

2.4. Zeigerwert für den Aziditäts- und Alkalitätsgrad

Eine weitere Einteilung beruht auf der vorherrschenden Wasserreaktion, insbesondere dem Aziditätsgrad (OLSEN 1950) oder dem Alkalitätsgrad (SOERENSEN 1948, SPENCE 1964). Nach YOSHIMURA (1933) werden die sauren Gewässer je nach der Herkunft des Säuregrades in mineralogen-azidotypische — der Säuregrad beruht auf dem Vorhandensein freier Schwefel- und Salzsäure, wie z. B. bei den Tagebaugewässern, — und organogen-azidotypische — die Säure ist überwiegend organischer Herkunft, wie z. B. in den Moorgewässern — unterschieden. Diese Methode der Gewässerklassifizierung wurde z. B. für die Untergliederung der Tagebauseen des Lausitzer Braunkohlenrevieres angewandt (PIETSCH 1966). Eine Reihe von Makrophyten sind als Zeigerpflanzen für bestimmte Gewässertypen ausgeschieden worden, die lokalen Indikatorwert für die Kartierung der Tagebauseen und Restlöcher besitzen und entsprechend zu verwenden sind.

2.5. Zeigerwert für die wasserchemische Beschaffenheit

Frühzeitige Bestrebungen, eine Korrelation zwischen Wasserchemie und Verteilung der höheren Wasservegetation herauszufinden, sind vornehmlich in den nordischen Ländern zu verzeichnen und gehen auf die richtungsweisende Arbeit von LOHAMMAR (1938) zurück.

Seit dieser Zeit wurden Arbeiten ähnlicher Thematik an den Gewässern Dänemarks (IVERSEN u. OLSEN 1943, STEEMANN-NIELSEN 1944), Schwedens (OLSEN 1950, ALMESTRAND 1951, LUNDH 1951, GILLNER 1960), Finnlands (LUTHER 1951, MARISTO 1941), Schottlands (SPENCE 1964), Wales (SEDDON 1965), Frankreichs (GEHU 1963), Polens (SZMAL 1959, KEP CZYNSKI 1960) und unabhängig von diesen Arbeiten auch an der Wasserflora Minnesotas (MOYLE 1945) und Wisconsin in N-Amerika (WILSON 1939, SWINDALE u. CURTIS 1957) durchgeführt. In fast allen genannten Arbeiten wurde die Verbreitung der höheren Wasserpflanzen entweder nur auf einzelne Faktoren, wie z. B. den pH-Wert, den Elektrolytgehalt oder den Gehalt an Bikarbonat bzw. den Kohlensäurefaktor, bezogen oder nur selten zu dem absoluten Gehalt mehrerer wasserchemischer Komponenten in Beziehung gesetzt, ohne dabei die jahreszeitlich bedingten Veränderungen innerhalb eines Gewässers zu berücksichtigen. Gesamthärte oder Alkalität sind oft als eine willkürlich ausgewählte Basis zur Klassifizierung verwendet worden (MOYLE 1945, SPENCE 1964). Es ist unzumutbar, die scheinbar breite Toleranz der meisten Wasserpflanzen durch grobe und wenig spezifische Kriterien, wie z. B. die Gesamthärte oder den pH-Wert, abzuschätzen (SCULTHORPE 1967).

3. Zeigerwert höherer Wasserpflanzen für die vorherrschende Ionenkombination

Für eine moderne Gewässerkartierung und eine Beurteilung der Siedlungsgewässer höherer Wasserpflanzen nach ökologischen Gruppen erweist sich die alleinige Verwendung des Trophiegrades, die Verwendung ökophysikalischer Faktoren oder die alleinige Beziehung auf einzelne hydrochemische Faktoren, wie Azidität, Alkalität, Gesamthärte oder elektrolytisches Leitvermögen, oder die Beschaffenheit der Gewässersedimente als unzureichend.

Seit den Untersuchungen durch MAUCHA (1932), ROHDE (1949), ALEKIN (1962, 1970) und TOLSTICHIN (1967) werden die Gewässer nach dem relativen Ionen-

anteil in mval-% beurteilt. Je nach den vorherrschenden Anionen und Kationen werden Gewässer der Calciumsulfat-, der Calciumbikarbonat- oder der Natriumchlorid-Klasse unterschieden. Für das gesamte Mitteleuropa sind Gewässer des Calciumhydrogenkarbonat-Typus bezeichnend, die als Klimaxstadium in der Gewässerentwicklung anzusehen sind und die Mehrzahl der vorhandenen Binnengewässer umfassen. Obwohl diese Untergliederung der Gewässer für große Gebiete Eurasiens bereits angewandt wird, unterblieb von hydrobotanischer Seite bisher jeder Versuch, die Verbreitung der höheren Wasserpflanzen in Beziehung zum relativen Ionenanteil ihrer Siedlungsgewässer zu betrachten.

Die umfangreichen Untersuchungen an 151 schwedischen Seen durch LOHAMMAR (1938) bilden die Grundlage für die von ROHDE aufgestellten Gesetzmäßigkeiten der Ionenrelationen in den Binnengewässern, deren Kenntnis für das Verständnis der Verteilung der höheren Wasserpflanzen unerlässlich und der vorliegenden Arbeit zugrunde gelegt ist.

3.1. Ausgewählte Beispiele

An 17 ausgewählten natürlichen oder durch die Tätigkeit des Menschen entstandenen Siedlungsgewässern höherer Wasserpflanzen werden sowohl die floristisch-soziologische Struktur (Tab. 1) als auch die wichtigsten hydrochemischen Faktoren untersucht. Es handelt sich dabei um Gewässer, die sich durch auffällige Unterschiede in den Vegetationsverhältnissen und der wasserchemischen Beschaffenheit auszeichnen. Die Amplitude erstreckt sich dabei von ökologisch extrem unausgeglichenen Standorten mit teilweise ausgesprochen wuchsfeindlichem Charakter (Moor- und Tagebaugewässer) bis zu solchen mit völlig ökologisch ausgewogenen Verhältnissen (wie z. B. Seen und Altwässer). Bei der Auswahl der Beispiele wurde weiterhin darauf geachtet, daß die wichtigsten höheren Einheiten der Wasserpflanzengesellschaften vertreten sind. Bei diesen handelt es sich nicht um ausgefallene, einmalige Standortverhältnisse, sondern vielmehr, bis auf Ausnahme des *Isoëtes*-Gewässer aus dem Böhmerwald, um typische Siedlungsgewässer im östlichen Mitteleuropa verbreiteter Wasserpflanzengesellschaften.

Charakteristik der ausgewählten Beispiele:

1. Moorgewässer im Naturschutzgebiet „Kleiner Kranichsee“ bei Johanngeorgenstadt, Kr. Schwarzenberg; Wassertiefe 80 bis 90 cm; Torfsubstrat. Die Vegetationsverhältnisse entsprechen dem von KÄSTNER u. FLÜSSNER (1933) beschriebenen *Drepanocladus fluitans*-Schwamm der Hochmoorteiche und -schlenken; Ionenfelddiagramm No. 1; 22. 7. 1971.
2. Moorgewässer im ehemaligen Torfstichgelände des Klosterforstes St. Marienstern bei Michalken, Kr. Hoyerswerda; Wassertiefe 140 cm; Torfsubstrat. *Juncus bulbosus* ssp. *bulbosus* bildet eine dichte, rasenartige Vegetation PIETSCH (1971); 6. 8. 1971.
3. Tagebausee „Ferdinand III“ bei Schwarzheide-Ost, Kr. Senftenberg, im Lauseitzer Braunkohlenrevier; eisenhydroxidreiche Schlammauflage auf sandigem Substrat. *Juncus bulbosus* entfaltet dichte, bis in 4 m Wassertiefe reichende flutende und untergetauchte Bestände (PIETSCH 1965); Ionenfelddiagramm No. 2; 6. 8. 1971.

4. Infiltrationsbecken für eisenchlorid vorgeklärtes Wasser, Wasserwerk Wiesenburg, Kr. Zwickau; Wassertiefe 80 bis 130 cm; eisenhydroxidhaltiges, sandiges Bodensubstrat. *Utricularia neglecta* und *U. minor* bilden mehrere Meter breite Gürtel an den Beckenrändern; es handelt sich um eine Ausbildung des Utricularietum neglectae Müller u. Görs 1960; 22. 7. 1971.
5. Heidegewässer im Naturschutzgebiet „Niederspreer Teiche“ bei Quoolsdorf, Kr. Niesky; Wassertiefe 80 bis 120 cm; dyartiger Moorboden. *Utricularia minor* und *U. intermedia* bilden als Utricularietum intermedio-minoris Pietsch 1965 eine sehr artenarme Vegetation (PIETSCH 1971); 9. 8. 1971.
6. Moorgewässer im ehemaligen Torfstichgelände am Forsthaus Jannowitz, Kr. Senftenberg, Wassertiefe 60 bis 80 cm; schlamm-sandig durchmisches Torfsubstrat. *Utricularia ochroleuca* und *U. minor* bilden zusammen mit *Sphagnum cuspidatum* eine zum Sphagno-Utricularietum ochroleuci (Schumacher 37) Oberd. 57 gehörende Vegetation; Ionenfelddiagramm No. 3; 6. 8. 1971.
7. Moorschlenke im Teufelsbruch nordwestl. Speck, Kr. Neustrelitz; Wassertiefe 30 bis 40 cm; Torfsubstrat. *Utricularia minor* und *U. intermedia* bilden zusammen mit *Scorpidium scorpioides* eine für das Scorpidio-Utricularietum (Ilschner 1959) Müller u. Görs 1960 bezeichnende Vegetation (JESCHKE 1963); Ionenfelddiagramm No. 4; 21. 8. 1971.
8. Schwarzer See im Böhmerwald (Cerneho jezero) bei Železna Ruda, Bez. Klatovy; grobsandig-steinig fraktionierter humusarmer Boden. Eine geschlossene Vegetationsdecke ist nicht vorhanden; *Isoetes lacustris*, *Juncus bulbosus* und *Sparanium angustifolium* sind die bezeichnendsten Arten, von denen sich *Isoetes* mehr auf die tieferen Wasserpflanzen beschränkt (HOLUB 1965 und mdl. Mitteilung durch Herrn Dr. Kučera, Mitarbeiter am Institut für Naturschutz in Sučice, 29. 7. 1971); Ionenfelddiagramm No. 5; 30. 7. 1971.
9. Schmolow-See (Jezero smolove) östl. von Miastka in W-Pommern, Kr. Miastka; humusarmer feinsandig-fraktionierter Boden. *Isoetes lacustris*, *Lobelia dortmanna* und *Littorella uniflora* bilden eine Litoralvegetation, die dem Isoëto-Lobelietum Tx. 1937 entspricht (SZMAL 1959); Ionenfelddiagramm No. 6; 16. 7. 1971.
10. Sorgenteich bei Guteborn, Kr. Senftenberg, Fischteich in der Oberlausitzer Niederung; Wassertiefe 120 bis 160 cm; feinsandig-fraktioniertes Bodensubstrat mit geringem Humusanteil. *Littorella uniflora* und *Eleocharis acicularis* bilden eine dichte, rasenartige Vegetation, die dem Littorello-Eleocharitetum acicularis (Koch 1926) Maleuit 1929 entspricht (PIETSCH 1968); Ionenfelddiagramm No. 7; 6. 8. 1971.
11. Altwasser der Elbe nördlich Prettin, Kr. Jessen, Hüfers-Kolk; Wassertiefe 140 bis 180 cm; lehmig-feinsandig-fraktioniertes humusarmes Bodensubstrat. Es handelt sich um eine dem Trapetum natantis Müller u. Görs 1960 zugehörige Ausbildung, die von Unterwasser-Rasen von *Eleocharis acicularis* besiedelt wird (FREITAG, MARKUS u. SCHWIPPEL 1958); Ionenfelddiagramm No. 8; 5. 8. 1971.
12. Gewässer bei Skepe (jezero wielkie), Kr. Torun; Wassertiefe 120 bis 160 cm; feinsandig-fraktionierter Gewässerboden mit geringer organischer Auflage. Es handelt sich um eine typische Großblaukrautgesellschaft des Potametum lucentis Hueck 1931 (KEPCZYNSKI 1960); Ionenfelddiagramm No. 10; 17. 7. 1971.
13. Altwasser der Latorica bei Latorica-most in der SE-Slowakei; Wassertiefe 90 bis 120 cm; schlamm-sandiges Bodensubstrat. *Nymphoides peltata* bildet eine sehr dichte Vegetation, die dem Trapo-Nymphoidetum Slavnič 1956 entspricht (HEJNY 1960); Ionenfelddiagramm No. 11; 13. 8. 1971.
14. Altwasser der Schwarzen Elster bei Meuselko, Kr. Jessen; Wassertiefe 150 cm; Sapropelsubstrat. *Lemna minor* bildet eine fast geschlossene Vegetationsdecke als typisches Spirodello-Lemnetum minoris Müller u. Görs 1960 (FREITAG, MARKUS u. SCHWIPPEL 1958). 5. 8. 1971.

Tabelle 1
Vegetationsverhältnisse ausgewählter Siedlungsgewässer höherer Wasserpflanzen

Nr. des Beispiels Artenzahl Art des Gewässers	Calciumsulfat-Gewässer				Calciumbikarbonat-Gewässer												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Wasser Moose:																	
<i>Sphagnum cuspidatum</i> fo.	2	.	.	.	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Sphagnum obovatum</i> fo.	5	1	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Drepanocladus fluitans</i>	+	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Cephalozia fluitans</i>	4	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Scorpidium scorpidioides</i>	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Calliergon giganteum</i>
Utricularien-Arten:																	
<i>Utricularia minor</i>	.	+	.	2	4	2	2	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Utricularia intermedia</i>	.	.	.	3	1	4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Sparangium minimum</i>	.	.	.	+	+	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Utricularia neglecta</i>	.	.	.	4	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Utricularia ochroleuca</i>	3	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Drosera intermedia</i> (D)	.	1	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Littorelletea-Arten (Grundsproßgewächse):																	
<i>Juncus bulbosus</i>	.	4	5	+	+	+	.	+	2	+	.	.	.	.	.	.	.
<i>Eleocharis acicularis</i>	2	3	.	.	.	.	.	.	.
<i>Isaetes lacustris</i>	3	4	.	.	.	.	.	.	.
<i>Littorella uniflora</i>	3	4	.	.	.	.	.	.	.
<i>Elatine hydrospiper</i>	1	.	.	.	.	.	.	.
<i>Sparangium affine</i>
<i>Lobelia dortmanna</i>	4	.	.	.	.	.	.	.
<i>Ranunculus</i>	1	.	.	.	.	.	.	.
<i>Myriophyllum alterniflorum</i>	1	.	.	.	.	.	.	.

<i>Larionium natans</i>
<i>Eleocharis multicaulis</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.
<i>Deschampsia setacea</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Potamogetea-Arten (im Gewässerboden wurzelnde und im Wasser flutende Arten incl. Schwimmblattpflanzen):																		
<i>Potamogeton natans</i> fo.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	1	.	.	.	.	.	.
<i>Potamogeton crispus</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	2	1	.	.	.	.
<i>Polygonum amphibium</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.
<i>Eleocharis canadensis</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Potamogeton polygonifolius</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Potamogeton lucens</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Potamogeton perfoliatus</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Potamogeton pusillus</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Nymphaea alba</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.
<i>Nuphar luteum</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Myriophyllum verticillatum</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Ranunculus aquatilis</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Trapa natans</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Hottonia palustris</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Myriophyllum spicatum</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Nymphoides peltata</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Ranunculus circinatus</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Lemnetea-Arten (Wasserschweber):																		
<i>Lemna minor</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Lemna triculosa</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Spirodela polyrrhiza</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Salvinia natans</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Riccia fluitans</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Hydrocharis morsus-ranae</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Ceratophyllum demersum</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Stratiotes aloides</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

15. Altwasser der Elbe bei Gehmen, Kr. Jessen; Wassertiefe 60 bis 120 cm; Spirodela-Salvinietum Slavnič 1956 über einem an organischer Substanz reichem Bodensubstrat (FREITAG, MARKUS u. SCHWIPPEL 1958); Ionenfelddiagramm No. 9; 5. 8. 1971.
16. Altwasser der Schwarzen Elster bei Prieschka, Kr. Liebenwerda; Wassertiefe 90 bis 120 cm; bis zu 30 cm mächtige Sapropelschicht; sehr dichte Vegetationsentfaltung eines Ceratophylletum demersi Hild 1956 (FREITAG, MARKUS u. SCHWIPPEL 1958); Ionenfelddiagramm No. 12, 5. 8. 1971.
17. Altwasser der Tica bei Sv. Maria und Hrusov in der SE-Slowakei; Wassertiefe 150 bis 170 cm; über 30 cm starke Sapropelschicht. *Stratiotes aloides* entfaltet eine dichte Vegetation, die dem Hydrocharitetum morsus-ranae van Langendonck 1935 entspricht (HEJNY 1960); Ionenfelddiagramm No. 13; 13. 8. 1971.

3.2. Untersuchungsmethoden

Die Entnahme der Wasserproben erfolgte zu vier verschiedenen Jahreszeiten, Mitte April, Mitte Juli bis August, Mitte Oktober und Mitte Januar. Nur die Werte aus dem Schwarzen-See im Böhmerwald beruhen auf einer einmaligen Probenentnahme. Die Ergebnisse aus je vier Parallelbestimmungen wurden gemittelt und als Ausgangswerte für die weitere statistische Erfassung bzw. für die graphische Darstellung der hydrochemischen Verhältnisse verwendet. Die Probenentnahme erfolgte im allgemeinen aus 1 m Wassertiefe.

Aus den Proben wurden je nach Erfordernis folgende Parameter bestimmt: pH-Wert, Salzsäurebindungsvermögen (SBV), Azidität (p- und m-Wert), Kaliumpermanganat-Verbrauch (PV), Gesamthärte, Karbonathärte, freie und aggressive Kohlensäure, Nitrat, Nitrit, Ammonium, Chlorid, Sulfat, Gesamtphosphat, Kieselsäure (SiO₂), Calcium, Magnesium, Natrium, Kalium, Gesamteisen, Mangan und Abdampfrückstand. Die quantitative Bestimmung der einzelnen wasserchemischen Komponenten erfolgte nach den allgemein gebräuchlichen Laborverfahren (REINHOLD, WALDMANN u. BALKS 1953, HÖLL 1960, CZESNY 1961).

3.3. Absoluter Ionengehalt

Einen Überblick über den absoluten Ionengehalt der ausgewählten Beispiele geben die graphischen Darstellungen Abb. 1—4. Aus Gründen der Übersichtlichkeit und der pflanzensoziologischen Zugehörigkeit sind die Siedlungsgewässer in zwei Gruppen untergliedert, die durch eine unterbrochene senkrechte Linie voneinander getrennt werden. Wie der Vergleich der einzelnen wasserchemischen Komponenten zeigen wird, weisen diese auch gewisse Ähnlichkeiten im hydrochemischen Milieu auf.

Vergleichen wir zunächst die Wasserreaktion der einzelnen Standorte, so lassen sich in den ersten 9 Siedlungsgewässern pH-Werte im extrem sauren und sauren Bereich feststellen (Abb. 1). Die *Littorella uniflora*- und *Eleocharis acicularis*-Rasen im Fischteich (Beispiel 10) gedeihen bei neutralen Wasserverhältnissen und leiten bereits zu denen der folgenden Gewässer über. Sämtliche Siedlungsgewässer auf der rechten Seite des Diagramms zeigen eine Wasserreaktion im neutralen bzw. schwach alkalischen Bereich mit pH-Werten bis zu pH 8,5.

Eindeutige Unterschiede ergeben sich weiterhin aus der Betrachtung der Alkalität, als SBV (= Salzsäurebindungsvermögen) in mval berechnet, die aus dem Gehalt an Bikarbonaten, Karbonaten, Hydroxiden und bisweilen Boraten, Silikaten oder Phosphaten resultiert (Abb. 1). Unter den Gewässern mit einer

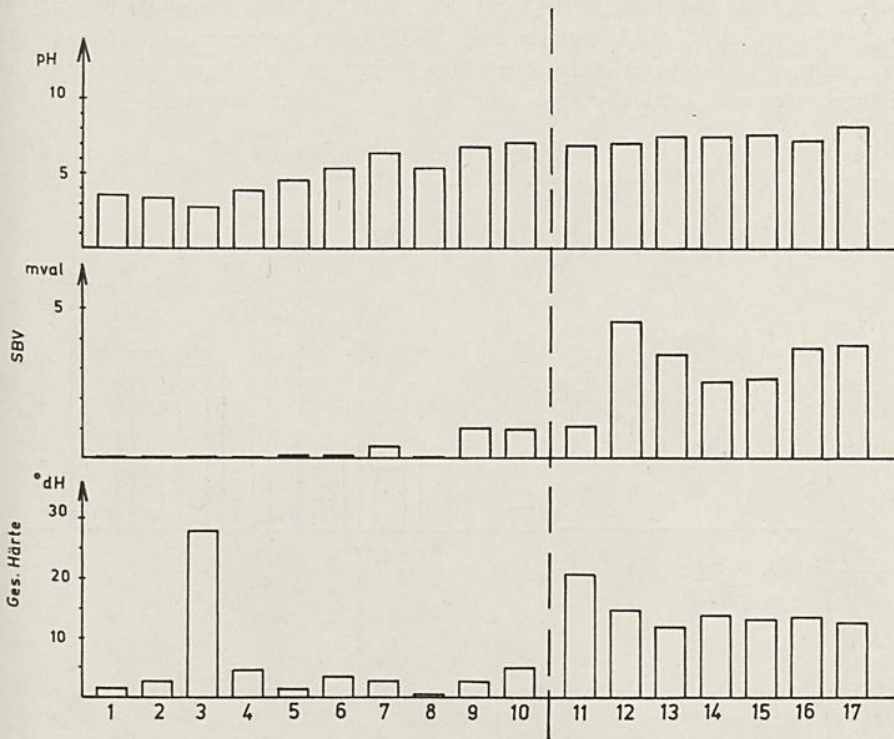


Abb. 1: pH-Wert, Alkalität (SBV) und Gesamthärte in 17 ausgewählten Siedlungsgewässern höherer Wasserpflanzen

sauren Wasserbeschaffenheit konnten nur in fünf Beispielen SBV-Werte ermittelt werden, nämlich in den 3 *Utricularia minor*-reichen Gewässern (Beispiele 5 bis 7), dem *Lobelia*-See aus Pommern (Beispiel 9) und dem *Littorella*-reichen Fischteich (Beispiel 10). Demgegenüber weisen die Siedlungsgewässer mit der neutralen bis schwach alkalischen Wasserbeschaffenheit eine sichtbare Alkalität auf, die bis auf die *Trapa natans*-Siedlung SBV-Werte von über 2,0 mval besitzt.

Ein in ökologischen Arbeiten oft benutztes Kriterium zur Beurteilung von Gewässern ist der Härtegrad, in Abbildung 1 als Gesamthärte dargestellt. Diese setzt sich aus der Gesamtmenge der Kalk- und Magnesium-Verbindungen zusammen, gleichgültig, ob an Kohlensäure oder Mineralsäuren gebunden. Für die Verteilung der höheren Wasserpflanzen ist jedoch die Herkunft der den Härtegrad bedingenden Säuren, ob von anorganischer oder organischer Beschaffenheit, als evtl. in Frage kommende C-Quelle für die Assimilation besonders wesentlich. Mit Ausnahme des *Juncus bulbosus*-reichen Tageausees (Beispiel 3) besitzen die Standorte der anderen neun Beispiele der ersten Gruppe nur sehr geringe Härtegrade im Bereich „sehr weich“ und „weich“. Dagegen besiedeln die Wasserpflanzenbestände der Beispiele 11 bis 17 Gewässer mit höheren

Härtegraden im Bereich „mittelhart“ bis „hart“. Diese Tatsache ist auf das Vorhandensein größerer Mengen von an Kohlensäure gebundenen Calcium- und Magnesiumverbindungen zurückzuführen. In den Siedlungsgewässern der Littorelletea und Utricularietea sind Calcium, Magnesium und Eisen über-

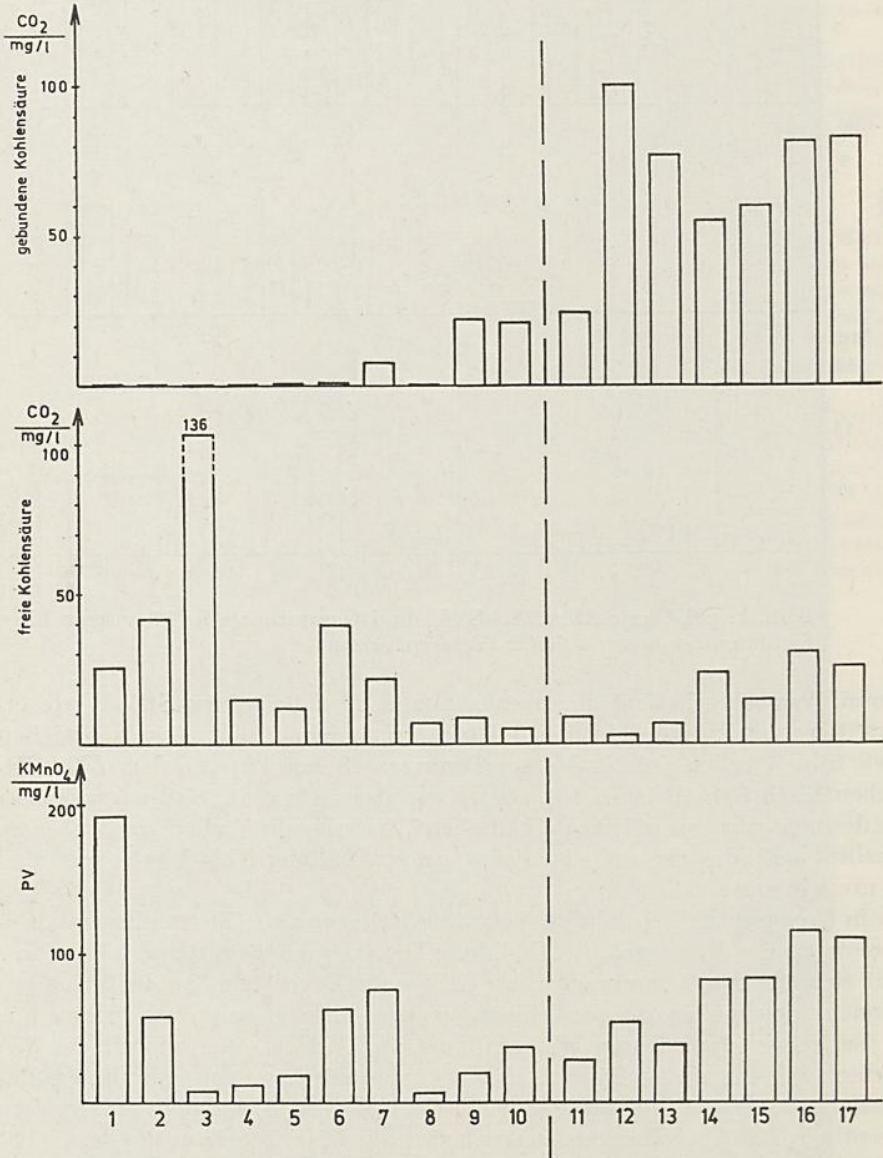


Abb. 2: gebundene Kohlensäure (HCO_3), freie Kohlensäure (CO_2) und Gehalt an im Wasser gelöster organischer Substanz (PV) in 17 ausgewählten Siedlungsgewässern höherer Wasserpflanzen

wiegend als Sulfate, weniger als Nitrate, Chloride und Silikate gebunden. Die Nichtkarbonathärte entspricht dann vollkommen der Gesamthärte (Beispiele 1 — 4 und 8) oder besitzt einen wesentlich höheren Anteil an der Gesamthärte als die Karbonathärte. Demgegenüber ist in den Gewässern der Potametea und Lemnetea Calcium und Magnesium vornehmlich an die Kohlensäure als Bikarbonat gebunden. Der Anteil der Karbonathärte ist deshalb wesentlich höher als der der Nichtkarbonathärte.

Gemäß dieser Unterschiede ergeben sich zwangsläufig auch auffällige Verschiedenheiten im Gehalt an gebundener Kohlensäure (Abb. 2). Im Gehalt an freier, gelöster Kohlensäure (CO_2) zeigen sich entgegengesetzte Relationen. Die Siedlungsgewässer mit der sauren Wasserreaktion, die frei bzw. arm an gebundener Kohlensäure sind, besitzen hohe Mengen an freier Kohlensäure.

Eine Aussage über die Menge an im Wasser gelöster organischer Substanz gibt der Permanganat-Verbrauch, als PV-Wert bezeichnet (Abb. 2). Mit Ausnahme der *Drepanocladus*- und *Juncus bulbosus*-reichen Moorgewässer weisen sämtliche folgenden acht Standorte (Beispiel 3 bis 10) nur sehr geringe Mengen an organischer Substanz auf (PV 20 mg/l KMnO_4). Höhere Werte finden wir in den Siedlungsgewässern der zweiten Gruppe, insbesondere in denen, die durch ein optimales Auftreten von im Wasser schwebenden Arten der Lemnetea gekennzeichnet sind.

Recht eindeutige Verhältnisse zeigen sich im absoluten Gehalt der wichtigsten Kationen Calcium und Magnesium (Abb. 3). Mit Ausnahme der extremen Verhältnisse beim Tagebaugewässer, das geologisch bedingt durch einen sehr hohen Gehalt an $\text{Ca}(\text{SO}_4)_2$ gekennzeichnet ist, besitzen die Gewässer der Littorelletea- und Utriculariетеa-Siedlungen nur äußerst geringe Mengen an Calcium und Magnesium. Beim *Isoetes*-Gewässer aus dem Böhmerwald konnten nur 3 mg/l Ca und 0,6 mg/l Mg festgestellt werden. Daraus erklären sich auch die geringe Gesamthärte (0,4 °dH) und der geringe Gesamtsalzgehalt (23 mg/l). Auffällig hohe Mengen an Calcium und Magnesium besitzen die Siedlungsgewässer der Lemnetea und Potametea.

Ebenfalls sehr unterschiedliche Relationen zeigen sich im Gehalt der Anionen (Abb. 3 u. 4). Mit Ausnahme des Tagebaugewässers ist Chlorid (Abb. 3) in den Siedlungsgewässern der ersten Gruppe in Konzentrationen unter 30 mg/l vorhanden. Extrem niedrige Werte finden wir im *Drepanocladus*-reichen Moorgewässer und dem *Lobelia*-See aus Pommern. Mit Ausnahme des *Stratiotes*-reichen Gewässers liegen die Chloridwerte in den anderen Siedlungsgewässern über 30 mg/l. Im Sulfatgehalt (Abb. 4) der zu vergleichenden Beispiele bestehen erhebliche Unterschiede. Der hohe Sulfatwert des Tagebaugewässers (750 mg/l) erklärt sich aus der geologischen Herkunft des anstehenden und z. T. verkippten Bodenmaterials.

Während fünf Gewässern der ersten Gruppe jegliches Bikarbonat fehlt, besitzen diejenigen der zweiten Gruppe bis auf Ausnahme des *Trapa natans*-Standortes Werte von $\text{HCO}_3 > 150$ mg/l. Die höchsten Bikarbonatmengen befinden sich in den Gewässern, die den niedrigsten Sulfatgehalt besitzen (Beispiel 12 u. 13).

9 Arch. für Naturschutz u. Landschaftsforsch. Bd. 12, H. 2

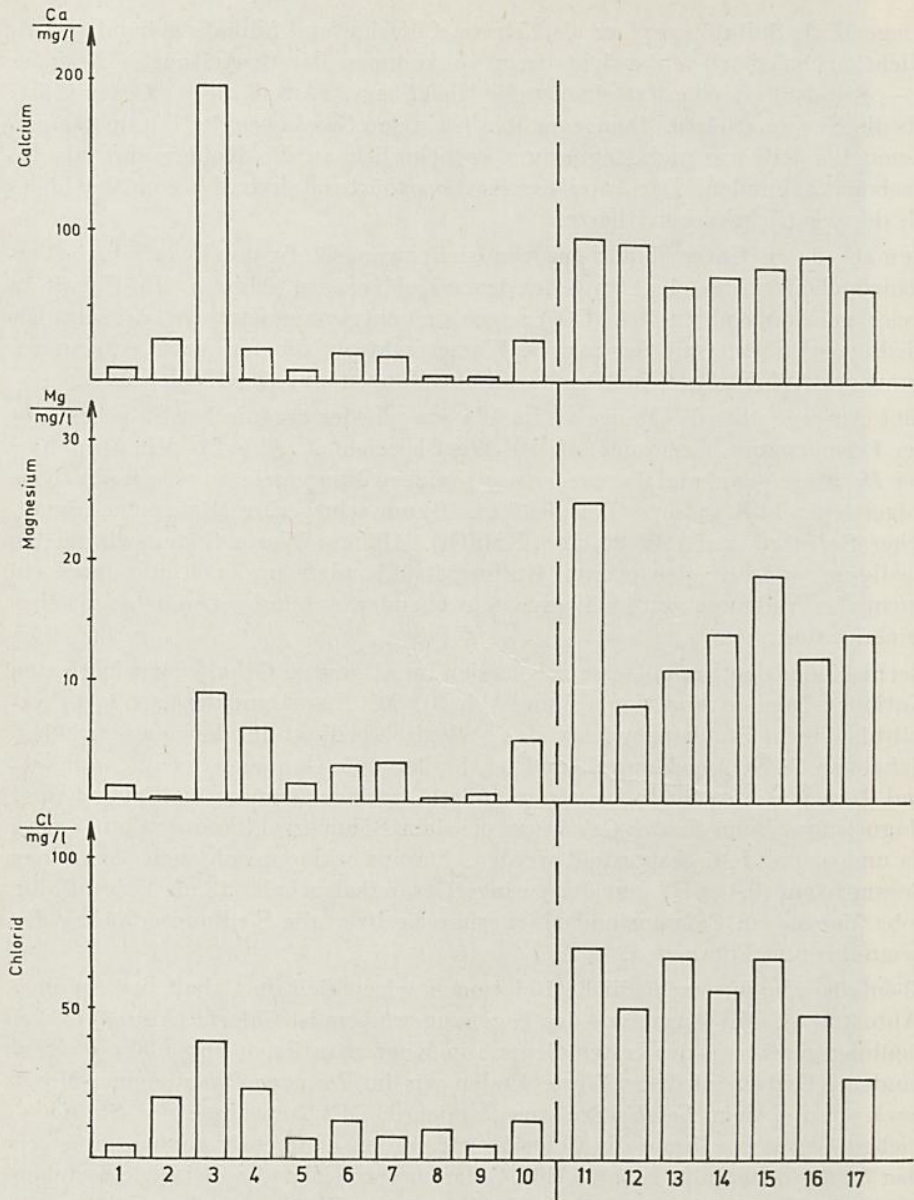


Abb. 3: Calcium-, Magnesium- und Chlorid-Gehalt in 17 ausgewählten Siedlungsgewässern höherer Wasserpflanzen

Gemäß den Verhältnissen im Gehalt der wichtigsten Kationen und Anionen sind die Siedlungsgewässer der Littorelletea und der Utricularietea durch einen ausgesprochen geringen Gesamtsalzgehalt gekennzeichnet; eine Ausnahme bilden die Verhältnisse in dem *Juncus bulbosus*-reichen Tagebausee (Abb. 4). Ein

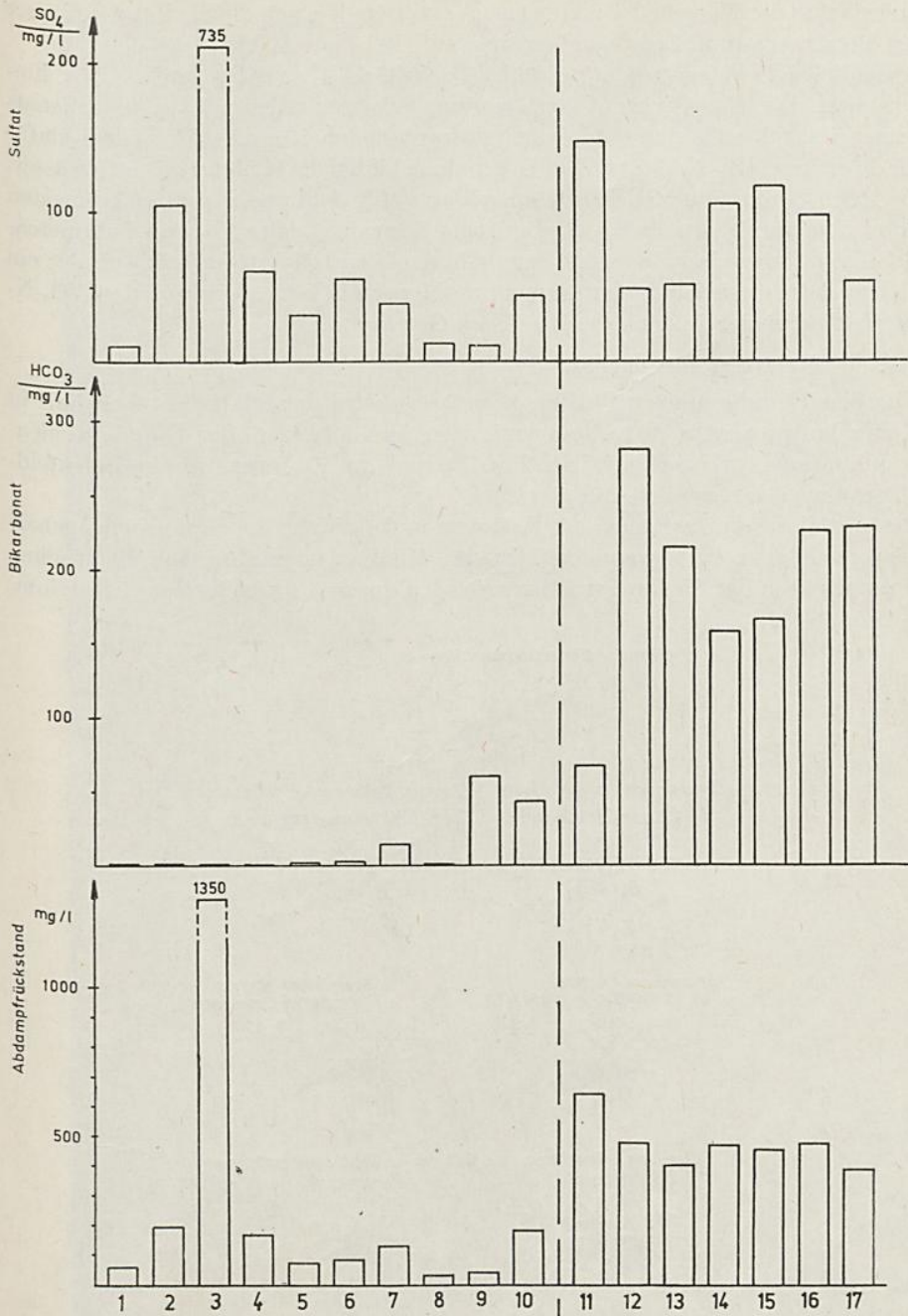


Abb. 4: Sulfat-, Bikarbonat- und Gesamtsalzgehalt in 17 ausgewählten Siedlungsgewässern höherer Wasserpflanzen

Mehrfaches der Mengen der ersten Gruppe weisen dagegen die Siedlungsgewässer der Potametea- und Lemnetaebestände auf (Beispiele 11 bis 17).

Abschließend sei auf den unterschiedlichen Gehalt an NO_3^- - und $\text{NH}_4\text{-N}$ hingewiesen. Die Gewässer mit dem sauren, bikarbonatfreien bzw. bikarbonatarmen Charakter besitzen auch den geringsten Gehalt an $\text{NO}_3\text{-N}$, jedoch dafür die höchsten $\text{NH}_4\text{-N}$ -Werte. Eine Ausnahme bilden die beiden *Isoëtes*-Gewässer, in denen Ammonium-Stickstoff entweder völlig fehlt oder nur in geringsten Spuren nachweisbar ist. Die Siedlungsgewässer der Lemneta- und Potametea-Gesellschaften weisen dagegen einen höheren Nitratstickstoffgehalt auf, der ein Mehrfaches der vorhandenen Ammonium-Mengen beträgt. Die höchsten $\text{NO}_3\text{-N}$ -Werte finden sich in den *Lemna*-reichen Gewässern.

3.4. Relativer Ionengehalt

Von den 17 aufgeführten Siedlungsgewässern wird der relative Ionengehalt in Äquivalentprozenten berechnet, mit den Verhältnissen der Standardionenkombinationen verglichen (Tab. 2 u. 3) und an 13 Beispielen in Ionenfelddiagrammen dargestellt (Abb. 5 u. 6).

Der Anteil der vorherrschenden Kationen und Anionen am Gesamtionengehalt wird nach dem Verfahren von MAUCHA (1932) dargestellt. Die chemischen Eigenschaften der Siedlungsgewässer werden durch die vier Kationen Natrium,

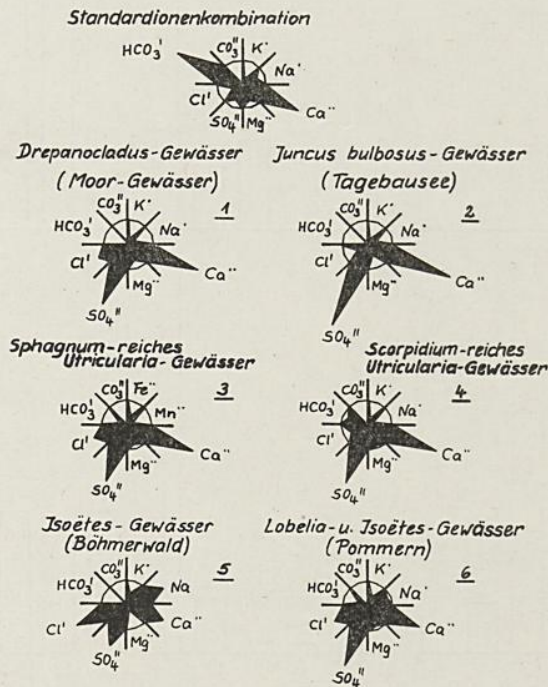


Abb. 5: Ionenfelddiagramme einiger Siedlungsgewässer der Littorelletea und Utricularietea des östlichen Mitteleuropas (Calciumsulfat-Gewässer)

Tabelle 2
Relativer Ionenanteil der wichtigsten Kationen in mval-% und ihr Grad der Abweichung von der Standardionen-
kombination

Nr. des Beispiels	Art des Siedlungsgewässers	relativer Ionenanteil in mval-%				Grad der Abweichung von der Standardionenkombination in %				
		Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	
1	<i>Drepanocladus</i> -Moorgewässer	4,8	2,2	76,4	16,6	-	-	+20,3	-	4,6
2	<i>Juncus bulbosus</i> -Moorgewässer	0,2	0,1	95,1	4,6	-	-	+49,7	-	73,6
3	<i>Juncus bulbosus</i> -Tagebausee *	2,1	1,6	89,6	6,7	-	-	+41,2	-	61,3
4	<i>Utricularia neglecta</i> -Gewässer	22,9	4,4	50,3	22,4	+	+	-20,8	+	28,7
5	<i>Utricularia minor</i> -Gewässer	6,3	3,3	70,3	20,1	-	-	+10,7	-	15,5
6	<i>Sphagnum</i> -reiches <i>Utricularia</i> -Gewässer	0,2	0,1	57,3	14,2	-	-	+9,8	-	18,4
7	<i>Scorpidium</i> -reiches <i>Utricularia</i> -Gewässer *	2,6	0,7	74,5	22,2	-	-	+17,2	-	27,6
8	<i>Isocetes</i> -Gewässer (Böhmerwald)	42,1	11,2	42,1	4,6	+	+	-33,7	-	73,6
9	<i>Lobelia</i> -Gewässer (Pommern)	18,2	13,6	59,1	9,1	+	+	-6,9	-	47,8
10	<i>Eleocharis acicularis</i> -Gewässer	19,6	0,34	58,4	17,5	+	+	-8,0	+	0,6
11	<i>Trapa natans</i> -Gewässer	13,8	2,6	50,8	23,8	-	-	-20,0	+	36,8
12	<i>Potamogeton lucens</i> -Gewässer	16,6	1,9	67,2	14,3	+	+	+5,8	-	17,8
13	<i>Nymphoides peltata</i> -Gewässer	28,1	3,5	54,4	14,1	+	+	-14,3	-	19,0
14	<i>Lemna minor</i> -Gewässer	14,2	3,3	62,3	20,2	-	-	-1,9	+	16,9
15	<i>Salvinia natans</i> -Gewässer	14,2	3,2	58,6	24,0	-	-	-7,7	+	37,9
16	<i>Ceratophyllum demersum</i> -Gewässer	21,2	4,8	48,8	25,3	+	+	-23,1	+	45,4
17	<i>Stratiotes aloides</i> -Gewässer	15,6	3,6	59,1	21,7	-	-	-6,9	+	24,7
	Standardionenkombination (nach GESSNER 1959)	15,7	3,4	63,5	17,4					

* Unter den Kationen sind Fe⁺⁺ und Mn⁺⁺ wesentlich beteiligt. Ihre Anteile betragen für Beispiel 3: Fe⁺⁺ = 3,8% und Mn⁺⁺ = 1,5% und für Beispiel 6: Fe⁺⁺ = 27,8% und Mn⁺⁺ = 0,4%.

Tabelle 3
 Relativer Ionenanteil der wichtigsten Anionen in mval.-% und ihr Grad der Abweichung
 von der Standardionenkombination

Nr. des Beispiels	Art des Siedlungsgewässers	relativer Ionenanteil in mval.-%			Grad der Abweichung von der Standardionenkombination in %		
		Cl'	SO ₄ '	HCO ₃ '	Cl'	SO ₄ '	HCO ₃ '
1	<i>Drepanocladus</i> -Moorgewässer	32,3	67,7	0	+ 219,8	+ 323,1	- 100
2	<i>Juncus bulbosus</i> -Moorgewässer	20,1	79,9	0	+ 99,0	+ 393,1	- 100
3	<i>Juncus bulbosus</i> -Tagebauee	6,5	93,5	0	- 35,4	+ 484,3	- 100
4	<i>Utricularia neglecta</i> -Gewässer	33,8	66,2	0	+ 236,8	+ 313,7	- 100
5	<i>Utricularia minor</i> -Gewässer	27,7	69,2	3,1	+ 174,2	+ 332,5	- 95,8
6	Shagnum-reiches <i>Utricularia</i> -Gewässer	23,5	74,6	1,9	+ 133,0	+ 365,7	- 97,4
7	Scorpidium-reiches <i>Utricularia</i> -Gewässer	16,8	63,2	20,0	+ 66,3	+ 295,0	- 72,9
8	<i>Isoetes</i> -Gewässer (Böhmerwald)	54,9	45,1	0	+ 443,6	+ 181,9	- 100
9	<i>Lobelia</i> -Gewässer (Pommern)	34,4	56,3	9,3	+ 240,4	+ 51,6	- 87,3
10	<i>Ellecharis acicularis</i> -Gewässer	17,7	46,8	35,5	+ 75,2	+ 192,5	- 52,0
11	<i>Trapa natans</i> -Gewässer	24,7	38,2	37,1	+ 144,6	+ 138,8	- 49,8
12	<i>Potamogeton lucens</i> -Gewässer	15,5	17,8	66,7	+ 53,5	+ 11,3	- 9,7
13	<i>Nymphaeoides peltata</i> -Gewässer	29,4	16,6	54,0	+ 191,1	+ 3,8	- 26,6
14	<i>Lemna minor</i> -Gewässer	25,0	34,4	40,6	+ 147,5	+ 115,0	- 45,1
15	<i>Salvinia natans</i> -Gewässer	27,0	34,6	38,4	+ 167,3	+ 116,3	- 48,0
16	<i>Ceratophyllum demersum</i> -Gewässer	14,0	21,0	65,0	+ 38,6	+ 31,3	- 12,0
17	<i>Stratiotes aloides</i> -Gewässer	13,9	19,8	66,3	+ 37,6	+ 23,8	- 10,3
	Standardionenkombination (nach GESSNER 1959)	10,1	16,0	73,9			

Kalium, Calcium und Magnesium und die vier Anionen Chlorid, Sulfat, Bikarbonat und Karbonat charakterisiert. In zwei Beispielen sind Eisen und Mangan anstelle von Natrium bzw. Kalium die wichtigsten Kationen hinter dem Calcium bzw. dem Magnesium.¹ Eine Übersicht über die relativen Ionenbeziehungen und die hydrochemischen Formeln gibt Tab. 4.

Die Ionenfelddiagramme der Abbildung 5 charakterisieren Siedlungsgewässer von Makrophytengesellschaften, die zur Klasse der Calciumsulfatwässer vom bikarbonatfreien Typ IV oder vom bikarbonatarmen Typ III nach der Klassifizierung der Gewässer sensu ALEKIN (1970) gehören. In sämtlichen Beispielen herrscht unter den Kationen das Calcium und unter den Anionen das Sulfat vor, während das Bikarbonat entweder vollkommen fehlt oder aber nur einen geringen Anteil am Gesamtionengehalt besitzt. Unter den bikarbonatfreien Gewässern zeichnen sich das *Drepanocladus*-reiche Moorgewässer und der *Juncus bulbosus*-reiche Tagebausee durch extrem saure Wasserverhältnisse, hohe Mengen an freier Kohlensäure und ein eindeutiges Vorherrschen des Sulfations gegenüber dem Chlorid aus. Der hohe Aziditätsgrad des Tagebaugewässers wird durch beachtliche Mengen an freier Schwefelsäure bedingt. Im *Isoëtes*-Gewässer aus dem Böhmerwald ist dagegen der Anteil des Chlorids sogar etwas höher als der des Sulfates; der Anteil des Natriums ist gegenüber den anderen in Abb. 5 dargestellten Beispielen auffällig erhöht und kommt demjenigen des Calciums gleich. Bei den bikarbonatarmen *Sphagnum*-reichen und *Scorpidium*-reichen *Utricularia minor*-Gewässern und dem *Lobelia*-See aus Pommern zeigen die relativen Ionenbeziehungen ein eindeutiges Vorherrschen des Sulfates gegenüber dem Chlorid.

In allen Beispielen handelt es sich um Siedlungsgewässer von Gesellschaften der Littorelletea oder Utricularietea. Der Grad der Abweichung der hydrochemischen Beschaffenheit von den Verhältnissen der Standardionenkombination ist zwangsläufig bei den bikarbonatfreien Gewässern am höchsten (Tab. 4). Der *Lobelia*-See aus Pommern läßt bereits eine gewisse Annäherung an die ökologisch ausgewogenen Verhältnisse erkennen. Mit dem Grad der Zunahme an Bikarbonationen, allerdings noch im Bereich der Calciumsulfat-Gewässer, nimmt die Artenzahl zu, wie es aus den Vegetationsaufnahmen in Tab. 1 ersichtlich wird.

In den Ionenfelddiagrammen 2 und 3 folgen in der Relation der Kationen auf das vorherrschende Calcium, Eisen, Magnesium und Mangan. Der Anteil von Natrium und Kalium ist so gering, daß er bei der Erfassung im Ionenfeld keine Rolle spielt. Am Beispiel des *Sphagnum*-reichen *Utricularia ochroleuca*-Gewässers beträgt der Anteil des Eisens sogar 28% am Gesamtkationengehalt; im Tagebaugewässer sind es immerhin fast 8%.

Die in Abb. 6 dargestellten Ionenfelddiagramme charakterisieren völlig andere Verhältnisse. Während in den ersten beiden Beispielen, dem *Littorella*- und

¹ Außer den berechneten, wichtigsten Kationen und Anionen sind in den Siedlungsgewässern noch weitere Ionen vorhanden. Diese liegen jedoch nur in sehr geringer Konzentration vor; sie werden deshalb nicht in die Berechnungen zur Ermittlung des relativen Ionengehaltes mit einbezogen.

Tabelle 4

Klassifizierung 17 ausgewählter Siedlungsgewässer höherer Wasserpflanzen nach der hydrochemischen Beschaffenheit nach ALEKIN (1962, 1970) und TOLSTICHIN (1967)

Nr. des Beispiels	Art des Siedlungsgewässers	Klassifizierung der Siedlungsgewässer		Relation der wichtigsten Kationen		Relation der wichtigsten Anionen
		nach ALEKIN	nach TOLSTICHIN	Kationen	Anionen	
1	<i>Drapanocladus</i> -Moorgewässer	S IV 1,6 Ca IV 0,06	31/94	Ca > Mg > Na > K	SO ₄ > Cl	
2	<i>Juncus bulbosus</i> -Moorgewässer	S IV 2,8 Ca IV 0,2	11/92	Ca > Mg > Na > K	SO ₄ > Cl	
3	<i>Juncus bulbosus</i> -Tagobausco	S IV 2,8 Ca IV 1,35	1/92	Ca > Mg > Fe > Na	SO ₄ > Cl	
4	<i>Utricularia neglecta</i> -Gewässer	S IV 4,6 Ca IV 0,2	33/95	Ca > Na > Mg > K	SO ₄ > Cl	
5	<i>Utricularia minor</i> -Gewässer	S III 1,3 Ca III 0,08	22/93	Ca > Mg > Na > K	SO ₄ > Cl > HCO ₃	
6	<i>Sphagnum</i> -reiches <i>Utricularia</i> -Gewässer	S III 3,5 Ca III 0,08	23/95	Ca > Fe > Mg > Mn	SO ₄ > Cl > HCO ₃	
7	<i>Scorpidium</i> -reiches <i>Utricularia</i> -Gewässer	S III 2,8 Ca III 0,13	11/83	Ca > Mg > Na > K	SO ₄ > Cl > HCO ₃	
8	<i>Isotles</i> -Gewässer (Böhmerwald)	S III 0,4 S Cl IV 0,03	55/96	Ca > Na > K > Mg	Cl > SO ₄	
9	<i>Lobelia</i> -Gewässer (Pommern)	S III 2,8 Ca III 0,04	34/95	Ca > Na > K > Mg	SO ₄ > Cl > HCO ₃	
10	<i>Eleocharis acicularis</i> -Gewässer	S II 5,1 Ca II 0,18	12/65	Ca > Na > Mg > K	SO ₄ > HCO ₃ > Cl	
11	<i>Trapa natans</i> -Gewässer	SC II 20,6 Ca II 0,6	22/65	Ca > Mg > Na > K	HCO ₃ > SO ₄ > Cl	
12	<i>Potamogeton lucens</i> -Gewässer	C II 14,8 Ca II 0,48	12/34	Ca > Na > Mg > K	HCO ₃ > SO ₄ > Cl	

13	<i>Nymphoides peltata</i> -Gewässer	C II 12 Ca II 0,4	24/45	Ca > Na > Mg > K	HCO ₃ > SO ₄ > Cl
14	<i>Lemna minor</i> -Gewässer	C II 14 Ca II 0,5	22/54	Ca > Mg > Na > K	HCO ₃ > SO ₄ > Cl
15	<i>Salvinia natans</i> -Gewässer	C II 13,3 Ca II 0,46	22/65	Ca > Mg > Na > K	HCO ₃ > SO ₄ > Cl
16	<i>Ceratophyllum demersum</i> -Gewässer	C II 13,4 Ca II 0,48	13/36	Ca > Mg > Na > K	HCO ₃ > SO ₄ > Cl
17	<i>Stratiotes aloides</i> -Gewässer	C II 12,8 Ca II 0,39	12/35	Ca > Mg > Na > K	HCO ₃ > SO ₄ > Cl
	Standardionenkombination (nach GESSER 1959)	C II Ca II	12/24	Ca > Mg > Na > K	HCO ₃ > SO ₄ > Cl

Erklärung zur hydrochemischen Formel nach ALEKIN:

S = Sulfatgewässer

C = Bikarbonatgewässer

S Cl = Sulfat Chloridgewässer

SC = Sulfat Bikarbonatgewässer

Bedeutung der arabischen Ziffern:

obere Zahl: Gesamthärte in °dH

untere Zahl: Gesamtsalzgehalt in g/kg

Eleocharis acicularis-reichen Fischteich und dem *Trapa natans*-reichen Altwasser, der Gehalt an Sulfat noch etwas höher ist als derjenige des Bikarbonates (Diagramm No. 7) oder der Anteil der beiden wichtigsten Anionen etwa gleich groß ist (Diagramm No. 8), herrscht bei den restlichen Beispielen das Bikarbonat eindeutig unter den Anionen vor. Charakterisieren die ersten beiden Gewässer einen Übergang zwischen Calciumsulfat- und Calciumbikarbonat-Gewässern, so handelt es sich bei den restlichen Beispielen (Diagramm No. 9–13) um solche des Calciumbikarbonat-Typus. Das *Potamogeton lucens*-Gewässer (Diagramm No. 10), das *Nymphoides peltata*-reiche Altwasser (Diagramm No. 11) und das *Stratiotes aloides*-reiche Gewässer (Diagramm No. 13) sind in der hydrochemischen Beschaffenheit den Verhältnissen der Standardionenkombination fast identisch. Es handelt sich um Siedlungsgewässer von Gesellschaften der Lemnatea und Potametea mit einer neutralen bis schwach alkalischen Beschaffenheit und einem hohen Bikarbonatgehalt.

Die hydrochemischen Verhältnisse aller ausgewählten Beispiele sind in Tab. 2 bis 4 dargestellt².

In sämtlichen Siedlungsgewässern der Littorelletea und Utricularietea (Beispiele 1–10) herrscht unter den Anionen das Sulfat vor. Nach der Klassifizierung der Binnengewässer sensu ALEKIN (1962, 1970) gehören diese zur Klasse der Calciumsulfat-Gewässer. In 5 Fällen liegt der bikarbonatfreie Typ IV vor (Beispiele 1–4 u. 8). Sulfat und Chlorid bilden abgesehen von geringfügigen

² Die gebundene Kohlensäure wird in allen Beispielen gemäß der Gewässerklassifizierung nach ALEKIN und TOLSTICHIN als Bikarbonat angegeben.

Mengen an Silikat oder Nitrat, die in unsere Berechnungen deshalb nicht mit einbezogen wurden, die wichtigsten Anionen. Es gelten die Beziehungen $\text{HCO}'_3 = 0$. Weitere 4 Beispiele (Beispiele 5–7 u. 9) lassen sich dem bikarbonatarmen Typ III zuordnen; Bikarbonat ist zwar vorhanden, jedoch ist sein Anteil wesentlich geringer als der von Sulfat oder Chlorid. Die hydrochemischen Verhältnisse folgen den Beziehungen: $\text{HCO}'_3 + \text{SO}''_4 < \text{Ca}'' + \text{Mg}''$ oder $\text{Cl}' < \text{Na}'$. In dem durch Strandlings-Rasen und Nadelbinsenfluren gekennzeichneten

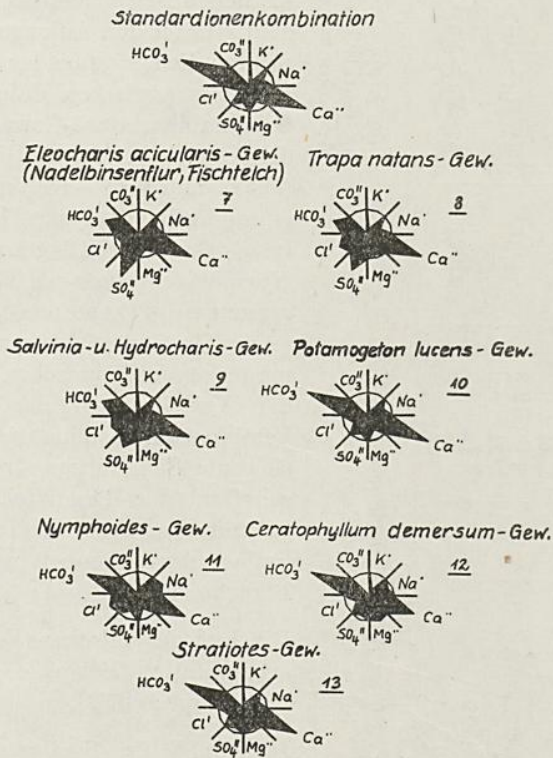


Abb. 6: Ionenfelddiagramme einiger Siedlungsgewässer der Potametea und Lemnetea des östlichen Mitteleuropas (Calciumbikarbonat-Gewässer)

Fischteich (Beispiel 10) haben wir den bikarbonatreicheren Typ II vorliegen, für den die folgenden Beziehungen gelten: $\text{HCO}'_3 < \text{Ca}'' + \text{Mg}'' < \text{HCO}'_3 + \text{SO}''_4$. Im Beispiel des *Trapa natans*-Gewässers (Beispiel 11) liegen Übergangsverhältnisse vor, da der Anteil des Sulfates und des Bikarbonates etwa gleich hoch sind, die in der hydrochemischen Formel sensu ALEKIN entsprechend berücksichtigt werden (Tab. 4). Sämtliche anderen Siedlungsgewässer der Potametea und Lemnetea (Beispiele 12–17) gehören dagegen eindeutig in die Klasse der Calciumbikarbonat-Gewässer, die sich durch das Vorherrschen des Bikarbonates unter den Anionen auszeichnen. In allen Fällen liegt der durch folgende Ionenbeziehung gekennzeichnete Typ II vor: $\text{HCO}'_3 < \text{Ca}'' + \text{Mg}'' < \text{HCO}'_3 + \text{SO}''_4$.

Typ IV handelt, ist der Anteil des Bikarbonates in beiden Fällen gleich Null. Im unteren Bereich befinden sich die Gewässer mit einem vorherrschenden Bikarbonatanteil, der demjenigen der Standardionenkombination entspricht. Der Anteil des Sulfates ist dagegen nur sehr gering. Der Raum zwischen den Gewässern mit einem hohen Sulfatanteil und solchen mit einem hohen Bikarbonatanteil ist variabel genug, um die Vielzahl der möglichen Ionenkombinationen natürlicher und durch die Tätigkeit des Menschen entstandener Gewässer in graduellen Abstufungen aufzunehmen. Je mehr ein Siedlungsgewässer der Standardionenkombination gleicht, desto mehr ist es im unteren Teil einzuordnen; je größer dagegen der Grad der Abweichung ist, desto mehr ist es im oberen Bereich der Übersicht einzugruppieren.

Unabhängig vom relativen Ionenanteil und dem jeweiligen hydrochemischen Typus des Gewässers wird der Gesamtsalzgehalt als weiteres spezifisches Merkmal berücksichtigt. Es lassen sich elektrolytarmer Siedlungsgewässer mit einem geringen Gesamtsalzgehalt von elektrolytreichen mit einem hohen Gesamtsalzgehalt unterscheiden. Außerdem wird der Gehalt an im Wasser gelöster freier Kohlensäure (CO_2) berücksichtigt, deren Verhältnis zur an Bikarbonat gebundenen Kohlensäure (HCO_3) einer pH-abhängigen Löslichkeitsverteilung unterliegt (HUTCHINSON 1957). Danach zeichnen sich Gewässer mit extrem saurer bzw. saurer Wasserbeschaffenheit, wie z. B. die bikarbonatfreien und bikarbonatarmen Gewässer der Calciumsulfat-Klasse, durch einen hohen Gehalt an freier Kohlensäure aus. In Gewässern unterhalb pH 4 können sich keine Bikarbonate mehr bilden; mit steigendem pH-Wert erhöht sich der Gehalt an gebundener Kohlensäure.

Ordnen wir unsere ausgewählten Beispiele nach ihrer Ionenkombination, so ergibt sich die in Abb. 7 dargestellte Verteilung. Sie entspricht gleichzeitig einer Gruppierung der höheren Wasserpflanzen und deren Gesellschaften aufgrund des natürlichen Verbreitungsoptimums, in dem die Konkurrenzfaktoren bereits mit einbegriffen sind. Durch eine doppelte Querlinie wird die Übersicht in zwei Hälften unterteilt, von denen die obere die Wasserpflanzen und deren Gesellschaften der Calciumsulfat-Gewässer, die untere dagegen diejenigen der Calciumbikarbonat-Gewässer umfassen. Im mittleren Bereich der Übersicht ordnen wir die Artengarnituren der Siedlungsgewässer vom Übergangsscharakter ein.

Die ersten zehn unserer ausgewählten Beispiele verteilen sich auf den Bereich der Calciumsulfat-Gewässer und erstrecken sich vom bikarbonatfreien Typ IV, über den bikarbonatarmen Typ III bis zum bikarbonatreicheren Typ II.

Die *Drepanocladus fluitans*-reiche Wassermoosgesellschaft der Moorschlenke, die *Juncus bulbosus*-Rasen des Moor- und Tagebaugewässers, die *Utricularia neglecta*-Kolonien eines Infiltrationsbeckens und die *Isoëtes*-Siedlung im Urgesteinssee des Böhmerwaldes charakterisieren bikarbonatfreie, extrem saure bis saure Gewässer vom Typ IV, die mit Ausnahme des Tagebausees auch einen geringen Gesamtsalzgehalt besitzen. Der Grad der Abweichung von der Standardionenkombination ist am größten (Beispiele 1–4 u. 8).

Saure, elektrolytarmer Gewässer vom Typ III mit bereits geringen Mengen an Bikarbonat werden von den verschiedensten Ausbildungen der Kleinwasser-

schlauchgesellschaften besiedelt (Beispiele 5–7), in denen z. T. Torfmoose an der Gestaltung der Vegetationsverhältnisse maßgeblich beteiligt sind (Sphagno-Utricularietum, Beispiel 6). Das gemeinsame Vorkommen von *Scorpidium scorpidioides*, *Sparganium minimum* und *Hydrocharis morsus-ranae* innerhalb von *Utricularia minor*- und *U. intermedia*-Kolonien (Scorpidio-Utricularietum, Beispiel 7) kennzeichnet bereits nährstoffreichere Standorte mit einem etwas höheren Gesamtsalzgehalt. Die Siedlungsgewässer von Kleinwasserschlauch-Gesellschaften besitzen z. T. hohe Mengen an Gesamteisen und an Ammonium-Stickstoff und sind reich an im Wasser gelöster organischer Substanz.

Isoëtes lacustris, *Lobelia dortmanna* und *Myriophyllum alterniflorum*, als Vertreter des Lobelio-Isoëtion PRIETSCHE 1965 innerhalb der Littorelletea, charakterisieren schwach saure, bikarbonatarme Gewässer mit einem humusarmen, nährstoffarmen, feinsandig-fraktioniertem Bodensubstrat und besitzen außerdem einen sehr geringen Gesamtsalzgehalt, geringe Mengen an Gesamteisen, an Ammonium-Stickstoff und an freier Kohlensäure (Beispiel 9).

Im mittleren Teil der Übersicht finden wir, jedoch noch innerhalb des Bereiches der Calciumsulfat-Gewässer, die zum bikarbonatreicheren Typ II gehörenden Nadelbinsenfluren und Strandlingsrasen des Littorello-Eleocharitetum acicularis (Koch 26) Malcuit 1929 eines Fischteiches (Beispiel 10). Der hohe Anteil des Bikarbonates erklärt sich aus der jährlich durchgeführten Düngung des Teiches. Neben den *Eleocharis acicularis*-Rasen und den *Polygonum amphibium*- und *Potamogeton natans*-Beständen des elektrolytreichen Teiches charakterisieren ebenfalls die *Eleocharis multicaulis*- und *Potamogeton natans*-reichen Ausbildungen der elektrolytärmeren Heidegewässer-Standorte, die ökologisch zwar noch nicht völlig ausgewogen sind, jedoch in der wasserchemischen Beschaffenheit unter den Beispielen der Calciumsulfat-Gewässer den Verhältnissen der Standardionenkombination am weitesten angenähert sind.

Etwa gleich hohe Anteile von Bikarbonat und Sulfat finden sich in den Siedlungsgewässern der *Nuphar luteum*- und *Potamogeton natans*-reichen Vegetation elektrolytärmerer Heidegewässer und in der *Trapa natans*-Siedlung eines elektrolytreichen Altwassers (Beispiel 11). Beide Gewässertypen leiten in ihrer hydrochemischen Beschaffenheit zu den ausgesprochen bikarbonatreichen Gewässern, den Siedlungsorten von Potametea- und Lemnetae-Gesellschaften, über; in der Übersicht sind sie deshalb unterhalb der doppelten Querlinie eingeordnet. *Trapa natans* ist ein guter Indikator für das Alter der Siedlungsgewässer. In Übereinstimmung mit HEJNY (1960) rechnen wir die Art zu den ersten Pionieren unter den höheren Wasserpflanzen, die die Altwässer nach ihrer Abtrennung vom ehemaligen Flußbett besiedeln. Niemals aber findet man *Trapa natans* in Altwässern im mittleren Stadium der Verlandung, in denen bereits das *Hydrocharitetum morsus-ranae* vorherrscht. Die Verbreitung von *Trapa natans* in der Niederlausitz bestätigt diese Tatsache (KRAUSCH 1968).

Die letzten sechs Beispiele verteilen sich auf den unteren Bereich der Übersicht und kennzeichnen ausgesprochene Bikarbonat-Gewässer mit einem geringeren Sulfat- und Chloridanteil. Den Hauptanteil an der Vegetation bilden entweder

Arten der im Gewässersediment wurzelnden Schwimmblattpflanzen, wie Laichkräuter und Seerosen (Beispiel 12 u. 13), oder aber Arten der Lemnetaea, die auf der Wasseroberfläche teilweise geschlossene Decken entfalten (Beispiel 14 bis 17). Je nährstoffreicher die Siedlungsgewässer sind, desto üppiger ist die Gesellschaftsentwicklung und die Stoffproduktion der einzelnen Individuen.

Lemna minor und *Hydrocharis morsus-ranae*, als Vertreter der Lemnetaea, und einige *Potamogeton*-Arten, *Nymphaea alba* und *Nuphar luteum* als Vertreter der Potametea, besitzen eine weite Verbreitungsamplitude und dringen auch in saure Gewässer des Calciumsulfat-Typus vor, obwohl sie den Schwerpunkt ihrer Verbreitung in den Calciumbikarbonat-Gewässern besitzen. Diese Arten treten deshalb auch in Ausbildungen der Littorelletea- und Utricularietea auf, bilden mit diesen zusammen typische Vegetationsüberlagerungen und charakterisieren schließlich eine nährstoffreiche Subassoziatioon der jeweiligen Gesellschaft (PIETSCH 1971).

3.6. Schlußfolgerung

Nach der Besprechung der Ergebnisse LOHAMMARS sah sich GESSNER (1959) zu der Feststellung veranlaßt, daß die Beziehungen zwischen dem Wasserchemismus und der höheren Wasservegetation keine sehr engen sind. Nur im Bereich geringer Elektrolytmengen werden die Besonderheiten im Vegetationscharakter deutlich.

Wird jedoch in Gewässern mit unterschiedlicher Artengarnitur, aber einem etwa gleich hohen Gesamtsalzgehalt der Anteil der wichtigsten Kationen und Anionen in mval-% am Gesamtionenengehalt untersucht, so ergeben sich oft recht erhebliche Unterschiede. Diese ermöglichen durchaus, die Verbreitung der höheren Wasserpflanzen in Beziehung zur hydrochemischen Beschaffenheit zu bringen.

Da die untersuchten Siedlungsgewässer eine spezifische Artengarnitur ihrer Wasserpflanzenvegetation tragen und gleichzeitig eine spezifische bevorzugte Ionenkombination aufweisen, ergibt sich daraus die Schlußfolgerung, daß die jeweilige Artengarnitur einen bestimmten Zeigerwert für die bevorzugte Ionenkombination besitzt. Das natürliche Verbreitungsoptimum der einzelnen Wasserpflanzenarten, das die Wirksamkeit von Konkurrenzfaktoren bereits mit einbezieht, wird durch bestimmte Relationen in der Ionenkombination gekennzeichnet, für die die einzelnen Arten spezifische Indikatoreigenschaften besitzen. Die Wasserpflanzen lassen sich deshalb aufgrund der unterschiedlichen Ionenanteile ihrer Siedlungsgewässer als Indikatoren für die Wasserbeschaffenheit und somit für den Grad der Genese der betreffenden Gewässer verwenden.

Die Untersuchung der Verbreitung höherer Wasserpflanzen in Abhängigkeit vom absoluten und relativen Ionengehalt liefert eine Grundlage zur Aufstellung genau definierter ökologischer Gruppen, die zur Standortsbeurteilung in ähnlichem, in der terrestrischen Ökologie bereits praktiziertem Maße herangezogen werden kann. Durch Berechnung der Koinzidenzen der einzelnen wasserchemischen Komponenten der Siedlungsgewässer werden die einzelnen Arten bzw. Artengruppen faktoriell geeicht. Ihre Aussage läßt sich dann als ein sehr

„empfindliches“ Meßinstrument eines Standortes — analog den Saprobienstufen in der Hydrobiologie — in Faktorenzahlen verwerten. Ähnlich den Verhältnissen in der terrestrischen Ökologie lassen sich dann aus der floristisch-soziologischen Struktur der jeweiligen Vegetationsaufnahme der betreffende Wert für die wichtigsten ökochemischen Standortsfaktoren berechnen.

Bei dieser Methode der Beurteilung von Standortverhältnissen werden in Zukunft die sogenannten „Mischbestände“, die bisher bei der pflanzensoziologischen Erfassung oft vernachlässigt wurden, für die Aussage des besonderen ökologischen Charakters des jeweiligen Siedlungsgewässers an Bedeutung gewinnen.

Die jeweilig vorherrschende Ionenkombination eines Siedlungsgewässers kontrolliert so gewissermaßen, um mit SPENCE (1964) zu sprechen, ob eine Art darin vorkommen kann oder nicht. Die geologischen Voraussetzungen und die Zusammensetzung des an das Gewässer angrenzenden Bodens bestimmen im wesentlichen die hydrochemische Beschaffenheit des Gewässers; deren vorherrschende Ionenkombination wiederum die Entfaltung einer spezifischen Wasserpflanzenvegetation erlaubt. Aufgrund der Vielfalt verschiedenster Ionenkombinationen ergibt sich auch eine Vielfalt in der Vegetationsstruktur. Die von uns vorgenommene Verteilung höherer Wasserpflanzen auf der Grundlage der hydrochemischen Beschaffenheit der Siedlungsgewässer ist kein starres, willkürlich gewähltes Schema, das sich im wesentlichen nur auf die Veränderung eines oder weniger wasserchemischer Faktoren beschränkt. Ihr liegen vielmehr die im wesentlichen durch ROHDE erarbeiteten Gesetzmäßigkeiten der für die Binnen-gewässer gültigen Ionenrelationen zugrunde.

4. Allgemeine ökologische Betrachtungen

Das ungemein komplizierte Wechselspiel und Ineinandergreifen der verschiedensten ökologischen Faktoren macht es meist nicht leicht, zu entscheiden, welcher von ihnen nun gerade für die Zusammensetzung einer Artenkombination bzw. eines Ökosystems ausschlaggebend ist. Diese Entscheidung wird jedoch zusehends leichter, je extremer der betreffende Faktor ist. Nur wenige Arten sind in der Lage, sich diesen Extremfaktoren anzupassen, so daß also, wie ein bekanntes ökologisches Gesetz von THIENEMANN besagt, extreme Lebensräume durch Artenarmut gekennzeichnet sind. Da nun diese wenigen Arten, wie z. B. die Vertreter der Littorelletea und Utricularietea, kaum Konkurrenten haben, ist diese Artenarmut oft mit einem sehr großen Individuenreichtum verbunden. Gleichzeitig läßt sich aber auch umgekehrt aus der Artenarmut eines Gewässers, soweit es sich nicht auf ein ganz junges, eben erst in Besiedlung begriffenes oder aufgrund der geomorphologischen Beschaffenheit um ein schwer zugängliches Gewässer handelt, der Schluß ziehen, daß sich irgend ein Faktor im Extrem befindet.

Wie überall in der Ökologie geht die Auslesewirkung nicht von den Mittelwerten, sondern von den Extremen aus (GESSNER 1955).

Jedes neu entstandene Gewässer entwickelt sich von Natur aus mehr oder minder rasch von einer nährstoffarmen zu einer nährstoffreichen Lebensstätte (ELLENBERG 1963), vom extrem ökologisch unausgewogenen Calciumsulfat-Gewässer zum ausgeglichenen Calciumbikarbonat-Gewässer. Die für die mineralische Ernährung notwendigen Stickstoff- und Phosphorverbindungen und die als C-Quelle für die Assimilation erforderlichen anorganischen C-Verbindungen gelangen erst nach und nach in die Gewässer.

In den Siedlungsgewässern der Littorelletea- und Utricularietea-Gesellschaften sind Calcium, Magnesium, Natrium und vereinzelt auch Eisen als Sulfate vorhanden; an Bikarbonat gebundene Kohlensäure (HCO_3) fehlt oder ist nur in geringer Menge festzustellen. Die einzige anorganische C-Quelle, die für die Assimilation infrage kommt, ist die im Wasser freie, gelöste Kohlensäure (CO_2). Die extrem sauren und sauren bikarbonatfreien bzw. bikarbonatarmen Gewässer können deshalb nur von ausgesprochenen Spezialisten besiedelt werden, die zur Ausnutzung dieser C-Quelle befähigt sind oder aufgrund ihres sehr langsamen Wachstums mit den evtl. vorhandenen geringen Bikarbonatmengen zur Aufrechterhaltung der Assimilation auskommen.

In den Siedlungsgewässern der Lemnetea und der Mehrzahl der Potametea sind die wichtigsten Kationen an die Kohlensäure als Bikarbonat gebunden. Der Anteil der Karbonathärte an der Gesamthärte ist deshalb wesentlich höher als derjenige der Nichtkarbonathärte. Die Gewässer werden von solchen Pflanzen besiedelt, die die Fähigkeit zur Bikarbonatspaltung besitzen, wie es für die eigentlichen Schwimmblattpflanzen und Wasserschweber zutrifft. Dagegen gehen jene Arten in ihrem Vorkommen zurück bzw. fehlen bereits völlig, die Bikarbonat als C-Quelle nicht verwerten können. Inwieweit jedoch diese Arten evtl. nur aus Gründen der Konkurrenz sich nicht zu entwickeln vermögen, kann an dieser Stelle nicht entschieden werden (ROLL 1939).

In den Calciumsulfat-Gewässern wird deshalb relativ wenig organische Substanz produziert, während in typischen Calciumbikarbonat-Gewässern jährlich große Mengen erzeugt werden, die die Verlandung der Gewässer begünstigen. Die Besiedlung von Standorten mit verschiedener hydrochemischer Beschaffenheit beruht u. a. auf der unterschiedlichen Fähigkeit, anorganische C-Verbindungen zur Assimilation auszunutzen.

In den extrem sauren und sauren Calciumsulfat-Gewässern, den Standorten der Littorelletea- und Utricularietea-Gesellschaften, bleibt die Zusammensetzung der Artengarnitur oft über viele Jahre hin stabil, wenn sich nicht die Beschaffenheit des Gewässerbodens und des Wassers selbst sowie der Wasserstand grundlegend ändern. Dies gilt sowohl für die Moor- und Heidegewässer als auch für die durch die Tätigkeit des Menschen geschaffenen Restgewässer des Braunkohle-, Sand- und Kiesabbaus. In den bikarbonatreichen Gewässern, den Siedlungsstätten der Potametea- und Lemnetea-Gesellschaften, sind dagegen verschiedene Zonierungen und Sukzessionsstadien ausgebildet, die stets Ausdruck einer von Pflanzenbeständen verursachten Verlandung sind. Die physikalisch-chemische Beschaffenheit der Gewässersedimente steht im allgemeinen in einer

korrelativen Beziehung zur Hydrochemie der Siedlungsgewässer. Den wichtigsten Gewässertypen sind deshalb auch spezifische Bodentypen eigen.

5. Praktische Anwendung für Fragen der Landeskultur

Für die Anwendung des Zeigerwertes höherer Wasserpflanzen bei der Gewässerkartierung im Rahmen landeskultureller Arbeiten eignet sich besonders die von TOLSTICHIN (1967) entwickelte neue Variante zur chemischen Nummerierung natürlicher Gewässer. Danach setzt sich die Nummerierung eines Gewässers aus zwei Ziffern zusammen, die durch die Koordinaten des Na-, K- und des Cl-Ions und des Ca- und HCO_3 -Ions in einer Quadrat-Graphik gebildet werden. Anhand der relativen Ionenanteile unserer ausgewählten Beispiele sind die jeweiligen Ziffern zur Nummerierung der Siedlungsgewässer errechnet und in Tab. 4 aufgeführt. Die erste Ziffer charakterisiert den Na- und K- und den Cl-Anteil, die zweite denjenigen des Ca- und HCO_3 -Anteils. Werden diese beiden Punkte direkt miteinander verbunden, so erhält man einen Vektor. Dieser bildet in einem rechtwinkligen Dreieck die Hypotenuse mit den beiden Katheten, die im Maßstab entsprechend den Anteil des Sulfates und des Magnesiums in mval-% geltend machen. Je höher die zweite Ziffer ist und sich der 100 nähert, desto größer ist der Anteil des Sulfates und somit der Grad der Abweichung von der Standardionenkombination. Je niedriger die zweite Ziffer ist, desto höher ist der Bikarbonatanteil und desto niedriger der Sulfatanteil; die hydrochemische Beschaffenheit entspricht den Verhältnissen der Standardionenkombination. Für zwei Beispiele (2 u. 17) sind die Ionenäquivalente in das Quadrat nach TOLSTICHIN eingetragen und die Ziffern zur Nummerierung der beiden, sich in der hydrochemischen Beschaffenheit wesentlich unterscheidenden Gewässer, aus den Punkten A und B der zugehörigen rechtwinkligen Dreiecke abzulesen (Abb. 8). Für das *Juncus bulbosus*-reiche Moorgewässer gelten so die Ziffern

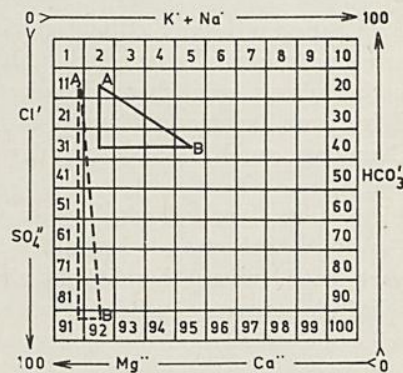


Abb. 8: Quadratische Graphik zur Nummerierung von Siedlungsgewässern höherer Wasserpflanzen nach der hydrochemischen Beschaffenheit (nach TOLSTICHIN 1967)
 - - - : *Juncus bulbosus*-reiches Moorgewässer (Beispiel 2)
 ——— : *Stratiotes aloides*-reiches Altwasser (Beispiel 17)

11/92, während das bikarbonatreiche *Stratiotes aloides*-reiche Altwasser durch die Ziffern 12/35 charakterisiert wird.

Im Rahmen der landeskulturellen Erfassung und Nutzung unserer heimischen Gewässer lassen sich die höheren Wasserpflanzen deshalb als Indikatoren von

teilweise sehr spezifischem Zeigerwert für Güte und Qualität des jeweiligen Siedlungsgewässers verwenden. Sie geben Auskunft über den Grad der gegenwärtigen Gewässergenese und ermöglichen eine Prognose über den ungefähren Weg, den das Gewässer in seiner Entwicklung in den folgenden Jahren einschlagen wird.

Erklärung zu den Abbildungen 1–4: Die in den Abbildungen 1–4 aufgeführten arabischen Zahlen entsprechen den laufenden Nummern der 17 ausgewählten Beispiele:

Nr. des Beispiels	Art des Siedlungsgewässers
1	<i>Drepanocladus</i> -reiches Moorgewässer
2	<i>Juncus bulbosus</i> -reiches Moorgewässer
3	<i>Juncus bulbosus</i> -reicher Tagebau-see
4	<i>Utricularia neglecta</i> -reiches Gewässer
5	<i>Utricularia minor</i> u. <i>U. intermedia</i> -Gewässer
6	<i>Sphagnum</i> -reiches <i>Utricularia ochroleuca</i> -Gewässer
7	<i>Scorpidium</i> -reiches <i>Utricularia minor</i> -Gewässer
8	<i>Isoëtes</i> -Gewässer (Böhmerwald)
9	<i>Lobelia</i> -Gewässer (Pommern)
10	<i>Littorella</i> - und <i>Eleocharis acicularis</i> -reiches Gewässer
11	<i>Trapa natans</i> -Gewässer
12	<i>Potamogeton lucens</i> -Gewässer
13	<i>Nymphoides peltata</i> -Gewässer
14	<i>Lemna minor</i> -Gewässer
15	<i>Salvinia natans</i> - und <i>Hydrocharis</i> -Gewässer
16	<i>Ceratophyllum demersum</i> -Gewässer
17	<i>Stratiotes aloides</i> -Gewässer

6. Zusammenfassung

An 17 ausgewählten Siedlungsgewässern höherer Wasserpflanzen wird der absolute und relative Ionengehalt untersucht und mit den jeweiligen Vegetationsverhältnissen verglichen. Höhere Wasserpflanzen besitzen einen spezifischen Zeigerwert für eine bestimmte, bevorzugte Ionenkombination, die als geeignete Grundlage zur Klassifizierung der Gewässer in verschiedene Typen zu verwenden ist.

Littorelletea- und Utricularietea-Gesellschaften besiedeln die Calciumsulfat-Gewässer, während die Lemnetaea-Gesellschaften vornehmlich auf die Calciumkarbonat-Gewässer beschränkt sind. Arten der Potametea und ihre Gesellschaften besitzen den Schwerpunkt ihrer Verbreitung zwar in den bikarbonatreichen Gewässern, dringen aber auch vereinzelt in die sauren, bikarbonatarmen Gewässer vor.

Резюме

В 17 избранных ареалах высших водяных растений исследуются абсолютное и относительное содержание ионов и сравниваются его с действующими вегетационными условиями.

Высшие водяные растения имеют специфический указатель для определенной, предпочтительной комбинации ионов, которая оказывается благоприятным основанием для классифицирования вод на разные типы.

Общества Littorelletea и Utricularietea заселяют воды, содержащие сульфат кальция, а общества Lemnetaea прежде всего воды, содержащие карбонат кальция. Виды Potametea и их общества хотя в основном распространены в водах, богатые бикарбонатом, но отдельно они и проникают в кислые, бедные бикарбонатом воды.

Summary

Specific concentrations and relative proportions of ions in 17 selected standing waters colonised by higher aquatic plants and their communities are examined and compared with the actual composition of vegetation.

Higher aquatic plants are of important indicator value for a specific, especially ionic composition, which may be used as a principal base for classifying waters into several types.

Littorelletea and Utricularietea associations will inhabit especially waters of calcium-sulphate type, whilst Lemnetaea communities are chiefly constricted to the waters of calcium-hydrogencarbonate. Species of Potametea and their communities also have their distribution optimum in waters rich in bicarbonate, however singly are to be found in acid waters poor in bicarbonate.

Literatur

- ALEKIN, O. A.: Grundlagen der Wasserchemie. Leipzig 1962
- ALEKIN, O. A.: Osnovy gidrochimii. Leningrad 1970
- ALMESTRAND, A.: Studies on the vegetation and hydrochemistry of Scanian lakes. II. Determinations in lake waters. Bot. Not. Suppl. 2, 3 (1951), S. 145—174
- CZENSNY, R.: Wasser-, Abwasser- und Fischereichemie. 2. Aufl. Leipzig 1961
- ELLENBERG, H.: Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. In: H. WALTER, Einführung in die Phytologie Bd. 4, 2. Grundlagen der Vegetationsgliederung. Stuttgart 1963
- FREITAG, H., MARKUS, CH. u. SCHWIPPEL, J.: Die Wasser- und Sumpfpflanzengesellschaften im Magdeburger Urstromtal südlich des Fläming. Wiss. Z. Paed. Hochsch. Potsdam, math.-nat. R. 4 (1958), S. 65—92
- GEHU, J.-M.: Notes sur la conductivité électrique des eaux du Sud-Est du département du Nord et de ses corrélations avec la végétation aquatique. Bull. Soc. Bot. Nord de la France 16, 2 (1963), S. 76—89
- GESSNER, F.: Hydrobotanik I und II. Berlin 1955 u. 1959
- HARTOG, C. DEN u. SEGAL, S.: A new classification of the waterplant communities. Acta Bot. Neerl. 13, 3 (1964), S. 367—393
- HEJNY, S.: Ökologische Charakteristik der Wasser- und Sumpfpflanzen in den Slowakischen Tiefebene (Donau- und Theißgebiet). Bratislava 1960
- HILBIG, W.: Übersicht über die Pflanzengesellschaften des südlichen Teiles der DDR. I. Die Wasserpflanzengesellschaften. Hercynia, N.F. 8, 1 (1971), S. 4—33
- HILD, J., und REHNELT, K.: Ökosoziologische Untersuchungen an einigen nieder-rheinischen Kolken. Ber. dtsh. bot. Ges. 78 (1965), S. 289—304
- HILD, J. und REHNELT, K.: Hydrobotanische Untersuchungen am Altrhein bei Rees (Niederrhein). Ber. dtsh. bot. Ges. 79 (1966), S. 355—372.
- HOLUB, J.: Přspěvek k poznání vegetačních a floristických poměrů okolí Železné Rudy. Preslia, 37 (1965), S. 95—110

- HÖLL, K.: Untersuchung, Beurteilung, Aufbereitung von Wasser. 3. Aufl. Berlin 1960
- HUTCHINSON, G. E.: A treatise on Limnology. I. Geography, physics and chemistry. New York 1957
- IVERSEN, J. u. OLSEN, S.: Die Verbreitung der Wasserpflanzen in Relation zur Chemie des Wassers. Bot. Tidsskr. 46 (1943), 136
- JESCHKE, L.: Pflanzengesellschaften einiger Seen bei Feldberg in Mecklenburg. Beitr. z. Vegkde. 3 Fedd. Repert. Beih. 138 (1959), S. 161—214
- JESCHKE, L.: Die Wasser- und Sumpflvegetation im Naturschutzgebiet „Ostufer der Müritz“. Limnologica, 1 (1963), S. 475—545.
- KÄSTNER, M. u. W. FLÖSSNER: Die Pflanzengesellschaften des westsächsischen Berg- und Hügellandes. II. Die Pflanzengesellschaften der erzgebirgischen Moore. Veröff. Landesver. sächs. Heimatschutz (1933)
- KEPCZYNSKI, K.: Zespoly roślinie jezior Skepskich i otaczających je lak. Stud. Soc. sc. Torunensis 6 (1960) 244 S.
- KRAUSCH, H.-D.: Die Pflanzengesellschaften des Stechlinseegebietes. I. Die Gesellschaften des offenen Wassers. Limnologica 2 (1964), S. 145—203
- KRAUSCH, H.-D.: Vegetationskundliche Beobachtungen im Donaudelta. Limnologica 3 (1965), S. 271—313
- KRAUSCH, H.-D.: Die Wassernuß in der Niederlausitz. Niederlaus. flor. Mitt. 4 (1968), S. 8—17
- LOHAMMAR, G.: Wasserchemie und höhere Vegetation schwedischer Seen. Symb. Bot. Uppsal. 3 (1938), S. 1—252
- LUNDH, A.: Studies on the vegetation and hydrochemistry of Scanian lakes. I. Higher aquatic vegetation. Bot. Not. Suppl. 2, 3, (1951) S. 5—141; III. Distribution of macrophytes and some algal groups. Bot. Not. Suppl. 2, 1 (1951), S. 1—138
- LUTHER, H.: Vorschlag zu einer ökologischen Grundeinteilung der Hydrophyten. Acta Bot. Fenn. 44 (1949), S. 1—15
- LUTHER, H.: Verbreitung und Ökologie der höheren Wasserpflanzen im Brackwasser der Ekenäs-Gegend in Südfinnland, I—II. Acta Bot. Fenn. 49 (1951), S. 1—231; 50 (1951), S. 1—370
- MARISTO, L.: Die Seetypen Finnlands auf floristischer und vegetations-physiognomischer Grundlage. Ann. Bot. Soc. Zool. bot. Fenn. Vanamo 15 (1941), S. 1—312
- MAUCHA, R.: Hydrochemische Methoden in der Limnologie. In: Die Binnengewässer 12, Stuttgart 1932
- MISRA, R. D.: Edaphic factors in the distribution of aquatic plants in the english lakes. Journ. of Ecology 26 (1938), S. 411—451
- MOYLE, J. B.: Some chemical factors influencing the distribution of aquatic plants in Minnesota. Ann. Midl. Nat. 34 (1945), S. 402—420
- NAUMANN, E.: Nagra synpunkter angående planktons ökologie, med särskild hänsins till fytoplankton. Svensk Bot. Tidsskr. 13 (1919)
- OLSEN, S.: Aquatic plants and hydrospheric factors. I. Aquatic plants in SW-Jutland, Denmark. Svensk. Bot. Tidsskr. 44 (1950), S. 1—34. II. The hydrospheric types. idem. 44 (1950), S. 332—372
- PEARSALL, W. H.: A suggestion as to factors influencing distribution of free-floating vegetation. Journ. of Ecol. 9 (1921), S. 241—253
- PIETSCH, W.: Die Erstbesiedlungsvegetation eines Tagebaugewässers. Limnologica 3, 2 (1965), S. 177—222
- PIETSCH, W.: Wasserchemie und Vegetationsentwicklung in den Tagebauseen des Lausitzer Braunkohlenreviers. Niederlaus. flor. Mitt. 2 (1966), S. 34—41
- PIETSCH, W.: Die Verlandungsvegetation des Sorgenteiches bei Ruhland in der Oberlausitzer Niederung und ihre pflanzengeographische Bedeutung. Ber. Arbeitsgem. sächs. Botaniker N. F. 8 (1968), S. 55—91

- PIETSCH, W.: Beiträge zur Soziologie und Ökologie der Littorelletea- und Utricularietea-Gesellschaften des östlichen Mitteleuropas. Mskr. Dresden 1971
- POND, R. H.: The biological relation of aquatic plants to the substratum. Rep. Comm. Fish and Fisheries 29 (1905), Washington
- REINHOLD, F., WALDMANN, H. u. BALKS, R.: Verwertung der Abwässer und die Untersuchung von Rauchschäden. Radebeul und Berlin 1953
- ROHDE, W.: The ionic composition of lake waters. Verh. Int. Ver. theor. u. angew. Limnol. 10 (1949), S. 377—386
- ROLL, H.: *Isoëtes*, *Lobelia* und *Littorella* in kalkarmen und kalkreichem Wasser. Beih. bot. Centralbl. 59 (1939), S. 345—358
- SCULTHORPE, C. D.: The biology of aquatic vascular plants. London 1967
- SEDDON, B.: Occurrence of *Isoëtes echinospora* in eutrophic lakes in Wales. Journ. Ecol. 46, (1965), S. 747—748
- SEGAL, S.: Een vegetatieonderzoek van de hogere waterplanten in Nederland. Wetensch. Meded. K.N.N.V. 57 (1965), S. 1—80
- SOERENSEN, H.: Studies on the ecology of Danish water- and bogmosses. Dansk. Bot. Ark. 12 (1948), S. 1—10
- SPENCE, D., H., N.: The macrophytic vegetation of freshwater lochs, swamps and associated fens. In: The vegetation of Scotland, ed. BURNETT, J. H. S. 306 bis 425. Edinburgh und London 1964
- STEMMANN-NIELSEN, E.: Dependence of freshwater plants on quantity of carbon-dioxide and hydrogen ion concentration illustrated through experimental investigations. Dansk. Bot. Ark. 11 (1944) 88
- SWINDALE, D. N. u. CURTIS, J. T.: Phytosociology of the large submerged plants in Wisconsin lakes. Ecology 38 (1957), S. 397—407
- THIENEMANN, A.: Seetypen. Naturwissenschaften 9 (1921), S. 343—346
- TOLSTICHIN, I. N.: Nowyj wariant chimiceskoj numerazii prirodnych wod. Sb. dokl. otdel. i komiss. GO SSSR, b 2 (1967), Leningrad
- VAARAMA, A.: Beobachtungen über die Wasservegetation des Kuhaistenlamhi, eines mittelfinnischen eutrophen Kleinsees, nebst Betrachtungen über die Verwendung der Seetypen als Bonitierungsgrundlage. Ann. Bot. Soc. Zool.-Bot. Fenn. Vanamo 16 (1942), S. 62—80
- WILSON, L. R.: Rooted aquatic plants and their relation to the limnology of freshwater lakes. In: Problems of lake biology. Ann. Ass. Advent. Sci. 10 (1939), S. 107—122
- YAMAGUTI, H.: Bottom deposits and higher aquatic plants of Lake Yogo, north of Lake Biwa. Jap. Journ. Limnol. 17 (1955), S. 81—90
- YOSHIMURA, S.: Kata-Numa, a very strong acid water lake on volcano Katanuma, Miyagi Prefecture, Japan. Arch. Hydrobiol. 26 (1933), S. 197—202

Anschrift des Verfassers:

Dr. rer. nat. habil. WERNER PIETSCH
8027 Dresden, Am Tälchen 16

1.
Bei
unk
Sta
allg
Kö
sch
die
phi
sch
geli
bin
Ein
Hir
Koi
glei
MEC
Abg
ten
sch
For
ver
sieh
for
Ver
Da
lage
fall
unt
gen
bes
lich

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Archiv für Naturschutz und Landschaftsforschung](#)

Jahr/Year: 1972

Band/Volume: [12_2](#)

Autor(en)/Author(s): Pietsch Werner

Artikel/Article: [Ausgewählte Beispiele für Indikatoreigenschaften höherer Wasserpflanzen 121-151](#)