

beon“-Fall, von dem bisher 54 Einzelmeteorite im Gesamtgewicht von über 15 to gefunden wurden [2]. Proben davon gibt es in vielen Museen der Welt. Dort



Fig. 9. Eisenmeteorit (Oktaedrit) „Mbosi“, Rungwe District, Tanganjika. Größte Länge 3,4 Meter. Geschätztes Gewicht 25 to

konnten wir auf einer Farm einen bisher unbekannten Eisenmeteoriten „Nico“ erwerben, der wahrscheinlich auch zum Gibeon-Fall zu rechnen ist.

Auf der Fahrt in östlicher Richtung wäre von manchen Abenteuern zu berichten. Aber es sollen nur noch zwei

„Meteoriten-Stationen“ kurz erwähnt werden. Im Museum von Livingstone gibt es Stücke des Steinmeteoritenschauers „Monze“ zu sehen, und in Monze selbst konnten auch die Einschlagsstellen gezeigt werden.

Am Ende der Fahrt gab es noch einen Aufenthalt am „Mbosi“ (Fig. 9). Probenentnahmen stellten sich sowohl aus technischen als auch aus administrativen Gründen als sehr schwierig heraus. Viele Pseudometeorite wurden auf der langen Fahrt überall unterwegs gezeigt und beschrieben. Um wirklich neue Funde auszumachen, gehört mehr Glück und mehr Zeit, als wir hatten.

- [1] BARNES, V. E.: Texas Univ. Publ. No. 3945, 477 (1939). — [2] CITRON, ROBERT: Smithsonian Astrophys. Observ. 25. Jan. 1965. — [3] EL GORESY, A.: Earth and Planetary Sci. Letters 1, 23 (1966). — [4] GENTNER, W., u. J. ZÄHRINGER: Z. Naturforsch. 14a, 686 (1959); 15a, 93 (1960). — [5] GENTNER, W., H. J. LIPPOLT u. O. A. SCHAEFFER: Geochim. et Cosmochim. Acta 27, 191 (1963). — [6] GENTNER, W., H. J. LIPPOLT u. O. MÜLLER: Z. Naturforsch. 19a, 150 (1964). — [7] LACROIX, A.: Arch. Mus. hist. nat. Paris, Ser. VI 12, 151 (1935). — [8] O'KEEFE, J. A.: Tektites. Chicago: Chicago University Press 1963. — [9] ROHLEDER, H. P. T.: Centr. Mineral. Geol. 316 (1936). — [10] SCHNETZLER, C. C., W. H. PINSON u. P. M. HUSLEY: Science 151, 817 (1966). — [11] SUSS, FRANZ E.: Jahrb. K. K. geol. Reichsanstalt Wien 50, H. 2 (1900). — [12] ZÄHRINGER, J.: Radioactive dating S. 289. Vienna: International Atomic Energy Agency 1963. — [13] ZÄHRINGER, J., u. W. GENTNER: Nature 199, 583 (1963).

Eingegangen am 25. April 1966

Reinigung von Gewässern durch höhere Pflanzen

KÄTHE SEIDEL

Limnologische Station in der Max-Planck-Gesellschaft, Krefeld-Hülserberg

1. Mikroorganismen bei der Elimination von Schmutz- und Ballaststoffen

Fauna und Flora der Gewässer bringen beim Absterben postmortales Material, das aus den primären und sekundären Inhaltsstoffen der Organismen besteht, in den Biotop ein. Unter normalen Verhältnissen, d. h. bei ausreichendem Sauerstoffangebot, mittleren pH-Werten und Abwesenheit spezieller Hemmfaktoren kommt es zu einer raschen Zersetzung dieses Materials und am Ende zur Mineralisierung. In Sonderfällen aber kann es zur Anhäufung wenig zersetzter pflanzlicher und tierischer Rückstände auf dem Gewässerboden kommen. Gelegentlich kann bereits der herbstliche Blätterfall von Uferbäumen zu einer erheblichen Belastung des davon betroffenen Gewässers führen, besonders dann, wenn die zu seinem restlosen Abbau benötigten Sauerstoffmengen nicht zur Verfügung stehen.

Entsprechende Veränderungen der normalen Gewässerfauna und -flora sind Gegenstand zahlreicher Untersuchungen und Veröffentlichungen gewesen [1–10]. Sie treten in starkem Maße auf, wenn Gewässer, wie

es heute weitgehend der Fall ist, zusätzlich auch noch anthropogenen Belastungen ausgesetzt sind; doch sollen die sog. „Verschmutzung der Gewässer“ bzw. das „Abwasserproblem“ hier nicht ausführlicher erörtert werden.

Die in „kranken“ Gewässern sich entwickelnde Flora und Fauna zeigt sich, auch für den Laien sinnfällig, etwa in der Massenvermehrung des Abwasser„pilzes“ (*Sphaerotilus natans*). Sicherlich wird der Laie das Massenaufreten dieses Bakteriums in einem Gewässer vom ästhetischen Standpunkt aus ungünstig beurteilen. Der Fachmann dagegen vergegenwärtigt sich, daß hier die mikrobielle Eliminierung der Schmutzstoffe im Gange ist.

Die heute praktizierten biologischen Methoden zur Reinigung oder Vorreinigung verschmutzter Gewässer knüpfen an diesen Tatbestand an. Der hohe Sauerstoffbedarf der mikrobiologischen Verfahren hat zum Bau der verschiedensten technischen Belüftungsanlagen geführt (Tropfkörpertürme, Tauchtropfkörper, Belebungsschlammbecken, Oxydationsgräben). Die Verwendung von Mikroorganismen zur Abwasserreinigung

bietet sich als Folge ihrer besonderen biochemischen Leistungen an.

Mikrobiologie und Biochemie haben in den letzten Jahrzehnten eine Fülle von Material erarbeitet, aus dem die erstaunlichen Stoffwechselleistungen der Mikroorganismen überzeugend hervorgehen. Im Hinblick auf die Gewässerreinigung durch Mikroorganismen ist es besonders wichtig, daß nicht nur die normalen, primären Inhaltsstoffe von Pflanze und Tier (Proteine, Kohlenhydrate, Phosphatide, Fette usw.) schnell und vollständig abgebaut werden sollen, sondern auch andere organische Verbindungen, deren Vorkommen beschränkter ist, z. B. Alkaloide, Glykoside, Phenole usw., ja auch synthetische Verbindungen, die nicht in Tier und Pflanze vorkommen (Detergentien, Insektizide, aromatische und aliphatische Kohlenwasserstoffe). Die primären Inhaltsstoffe können von den meisten heterotrophen Mikroorganismen als Kohlenstoff- oder Stickstoffquelle benutzt werden. Für den Abbau der seltener vorkommenden Verbindungen gibt es Spezialisten. RIPPEL erwähnt den Abbau von aromatischen Ringsystemen durch Streptomyces- und Actinomycesarten [8]. Eine gute Übersicht über die metabolischen Leistungen von Mikroorganismen geben THIMAN [11] und ADELBERG [12].

2. Aufnahme und Verwertung organischer Verbindungen durch höhere Pflanzen

Die Leistungen der höheren Pflanze bei der Aufnahme und Metabolisierung organischer Verbindungen wurden bisher von vornherein niedriger angesetzt als diejenige der heterotrophen Mikroorganismen. Zwar war zu Beginn des 19. Jahrhunderts z. B. ALBRECHT THÄER noch der Meinung, die höhere Pflanze ernähre sich vom Kohlenstoffvorrat des Bodens, also dem Humus; doch zeigte LIEBIG bald, daß sie dem Untergrund im wesentlichen Mineralstoffe entnimmt. Die umgebende Atmosphäre wurde wenig später als Quelle des assimilierten Kohlenstoffes erkannt. Diese beiden Entdeckungen ließen die Diskussion um die Aufnahme von organischen Verbindungen durch die Wurzel für ein halbes Jahrhundert verstummen. Erst zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurde die Aufnahme organischer Verbindungen durch die Wurzel in Zusammenhang mit der Toxintheorie durch SCHREINER und REED [13] wieder erwogen. Später gelang es zahlreichen Forschern [14–17], die Aufnahme organischer Verbindungen unterschiedlichen Typs durch die höhere Pflanze nachzuweisen. Daß die aufgenommenen Stoffe auch für den Stoffaufbau der höheren Pflanze verwendet werden können, haben erst allerjüngste Untersuchungen zeigen können. Genau genommen stellt auch die extraradikuläre Applikation von Harnstoff, wie sie in der Praxis durchgeführt wird, die Aufnahme und Verwertung einer organischen Verbindung durch höhere Pflanzen dar.

Die Ionenaufnahme durch die höhere Pflanze steht nicht zur Diskussion, obwohl sie unter dem Gesichtswinkel einer Gewässerreinigung durchaus von praktischer Bedeutung ist. So stellt z. B. das Phosphat eine wichtige Eutrophierungskomponente verschmutzter Gewässer dar, an deren Entfernung der Praxis viel gelegen ist.

3. Höhere Wasserpflanzen und ihre biozönotischen Funktionen

Im Gegensatz zu den zahlreichen Veröffentlichungen über die Stoffaufnahme bei Landpflanzen ist über Wasserpflanzen, insbesondere über ihre Aufnahme organischer Stoffe, nichts bekannt. Das ist umso bemerkenswerter, als die Wasserpflanzen in systematischer, morphologischer und soziologischer Hinsicht gut bearbeitet worden sind [18–30]. Es soll nicht verschwiegen werden, daß diese Arbeiten bereits zu Überlegungen geführt haben, in welcher Form höhere Wasserpflanzen sinnvoll in die Gestaltung limnischer Biotope mit einzubeziehen seien. Dabei ging man u. a. auch von dem Gedanken aus, eine gewisse Schmutzentfernung durch Sedimentation (LIEBMANN) zu erzielen. Vorzugsweise aber verfolgte man diesen Aspekt unter dem Gesichtspunkt eines „gesunden Landschaftsbildes“ und der „natürlichen Uferbefestigung“ [31–38]. Von keiner Seite sind bisher unseres Wissens höhere Wasserpflanzen gezielt zur Elimination von Ballaststoffen aus Gewässern eingesetzt worden. Unsere Arbeiten, die sich vorzugsweise diesem Problem widmen, gehen von sorgfältigen Pflanzenanalysen aus. Diese Untersuchungen haben den Zweck, zunächst einmal eine allgemeine orientierende Übersicht über die Aufnahme- und Umsatzleistung verschiedener Wasserpflanzen zu gewinnen. Pflanzen mit besonders hohem Aufnahmevermögen für bestimmte Ionen, besonders für solche, deren Entfernung aus dem Wasser angestrebt wird, könnte man dann zu weiteren Untersuchungen heranziehen. Allerdings soll hier gleich auf einen wichtigen Punkt hingewiesen werden, der mit richtunggebend für alle diesbezüglichen Untersuchungen ist: Für eine Elimination von Ballaststoffen ist es nicht allein wichtig, daß der untersuchte Organismus diese Stoffe in ausreichendem Maße aufzunehmen vermag, sondern es kommt wesentlich darauf an, daß diese Verbindungen zusammen mit der postmortalen Masse bei Seneszenz oder nach dem Absterben des Organismus nicht wieder in das Substrat zurückgegeben werden. Damit aber ist wohl in der Mehrzahl aller Fälle zu rechnen. Es kommen dann nicht nur die zunächst aufgenommenen Ionen zurück, sondern eine große Menge organischen Materials, das z. B. als Cellulose-Schlamm von der Wasserwirtschaft besonders gefährdet ist. Nur wenn die in Betracht kommende Pflanze durch besondere morphologische Eigentümlichkeiten ausgezeichnet ist — etwa ausgedehntes aerenchymatisches Gewebe —, kommt es nach dem Absterben der Halme zu einer Flotation; die auf der Wasseroberfläche befindliche postmortale Substanz wird durch Wasser und Wind an die Ufer gespült und damit aus dem Biotop entfernt. Man sollte sich vergegenwärtigen, daß dieser Vorgang eine der ganz wenigen Möglichkeiten darstellt, den zwangsläufig meerrwärts gerichteten Stofftransport in unseren Gewässern landwärts zu leiten.

4. Analysen einiger Wasserpflanzen

Die Tabellen 1 und 2 geben die Produktion 10 verschiedener Wasserpflanzen an Biovolumen und an Biomasse sowie ihren Gehalt an einer Reihe von Elementen wieder. In der Massenproduktion sind die oberirdischen Organe der untersuchten Pflanzen ver-

hältnismäßig wenig differenziert, wenn man von dem weichblättrigen *Myosotis* (Vergißmeinnicht) und *Mentha* (Minze) mit ihrer geringen Massenleistung und der hohen von *Sc. lac.* absieht. Stärkere Unterschiede zeigen die Wurzel- und Rhizomgewichte. *Scirpus lacustris* (Flechtbinse) und *Carex stricta* (Segge) sind hier den 8 anderen untersuchten Spezies überlegen. Allerdings unterscheiden sich die Biovolumina dieser beiden Pflanzen erheblich voneinander. Auf etwa die gleiche, oberirdisch erzeugte Biomasse entfällt bei *Scirpus* ein gegenüber *Carex* doppelt so großes Volumen. Wir werden weiter unten darauf noch einmal zurückkommen.

Hinsichtlich der aufgenommenen Ionen fällt vor allem der sehr hohe Mangengehalt von *Myosotis* und *Scirpus*, die sehr starke Eisenaufnahme von *Myosotis* und der sehr hohe Calciumgehalt von *Iris pseudacorus* und *Mentha aquatica* auf. Für eine Beurteilung der Aufnahmeleistung am Standort ist es aber aufschlußreicher, die Flächenleistungen der untersuchten Pflanzen miteinander zu vergleichen. So ergibt sich etwa für *Myosotis palustris* trotz ihres hohen Eisengehaltes

nur eine Flächenleistung von 3,26 g/m², während *Carex stricta* mit einem mäßigen Eisengehalt eine Leistung von 10,34 g/m² erbringt. Bei dieser Art der Betrachtung fällt auch *Scirpus lacustris* mit einer Mangan-Aufnahme von 4032 mg/m² sofort auf. Auch ihr Aufnahmevermögen für Natrium, Phosphor, Silicium, Molybdän, Zink, Kobalt und Kupfer ist auf die Fläche bezogen ungewöhnlich hoch.

Die in dieser Tabelle wiedergegebenen Flächenleistungen beziehen sich auf Pflanzenmaterial aus einem gleichen Biotop, in dem die Bestände der untersuchten Pflanzen nach der Bonitur zu einer vergleichbar günstigen Entfaltung gekommen waren. Es ist nicht anzunehmen, daß bei der Überführung einzelner Spezies in einen anderen Biotop die Relation erheblich verschoben würde.

5. Die Flechtbinse *Scirpus lacustris* L. und ihre morphologischen und physiologischen Besonderheiten

Unter Berücksichtigung der aus Tabelle 1 ersichtlichen besonderen Leistungen von *Scirpus lac.* hinsichtlich ihrer Biomasse und besonders ihres Biovolumens ist diese Pflanze auch vom Standpunkt der bereits erörterten Entfernung von postmortalem Material aus der Limnosphäre die einzige Pflanze aus dem untersuchten Sortiment, die für die weiteren Untersuchungen mit dem Blick auf eine praktische Verwendung in Frage kommt. Wir wollen diese interessante Pflanze zunächst einmal vorstellen [39]:

Scirpus lacustris L. (mit vielen Synonymen belegt), die Flechtbinse, aus der Familie der Cyperaceen, ist ein Kosmopolit. Sie ist in stehenden und fließenden Süß- und Brackwässern überall dort zu finden, wo sie Mensch und Tier nicht vernichtet haben. Sie verträgt Ebbe und Flut. Die langen, knotenlosen Halme sind hochgeschobene Blütenhalme, denen allerdings oft die Blüte fehlt. Die eigentlichen Blätter hüllen zunächst den Blütenhalm ein, stellen aber nach einiger Zeit ihr Wachstum ein. Selten werden sie länger als 30–50 cm, das aber auch nur dann, wenn die langen grünen Blütenhalme vernichtet wurden und sie die Assimilationstätigkeit übernehmen müs-

Tabelle 1. Biomasse einiger höherer Wasserpflanzen vom gleichen Standort (geerntet am 12. 10. 1962) in Halmen, Rhizomen und Wurzeln in cm³ je m² bewachsener Fläche

| | Halm | Rhizom | Wurzel |
|----------------------------|-------|--------|--------|
| <i>Scirpus lacustris</i> | 72,0 | 12,1 | 33,76 |
| <i>Carex stricta</i> | 33,6 | — | 29,6 |
| <i>Iris pseudacorus</i> | 40,48 | 5,6 | 15,14 |
| <i>Typha angustifolia</i> | 35,2 | 8,0 | 4,0 |
| <i>Glyceria aquatica</i> | 33,6 | 4,8 | 8,0 |
| <i>Phragmites communis</i> | 28,8 | 11,2 | 1,6 |
| <i>Acorus calamus</i> | 19,8 | 4,0 | 3,52 |
| <i>Sparganium erectum</i> | 38,4 | 5,6 | 2,4 |
| <i>Myosotis palustris</i> | 8,0 | — | 3,2 |
| <i>Mentha aquatica</i> | 19,6 | 1,6 | 1,92 |

Tabelle 2. Analysen der „oberirdischen“ Pflanzenteile der gleichen Pflanzen wie in Tabelle 1. Menge der Elemente jeweils links in g bzw. mg je kg Trockensubstanz, rechts in g bzw. mg je m² bewachsener Fläche

| | Ca | | Mg | | P | | K | | Na | | Fe | | Si | |
|----------------------------|--------------|------------------|--------------|------------------|--------------|------------------|--------------|------------------|--------------|------------------|--------------|------------------|--------------|------------------|
| | g/kg Tr—S | g/m ² | g/kg Tr—S | g/m ² | g/kg Tr—S | g/m ² | g/kg Tr—S | g/m ² | g/kg Tr—S | g/m ² | g/kg Tr—S | g/m ² | g/kg Tr—S | g/m ² |
| <i>Scirpus lacustris</i> | 3,95 | 12,17 | 0,98 | 3,29 | 2,00 | 6,72 | 10,30 | 34,61 | 6,30 | 21,17 | 0,78 | 2,62 | 12,60 | 43,34 |
| <i>Carex stricta</i> | 4,84 | 13,16 | 2,06 | 5,60 | 2,20 | 5,98 | 13,90 | 38,31 | 2,20 | 5,58 | 3,80 | 10,34 | 17,60 | 47,87 |
| <i>Iris pseudacorus</i> | 16,97 | 42,09 | 2,58 | 6,39 | 2,50 | 6,20 | 35,40 | 87,79 | 1,70 | 4,22 | 1,30 | 3,22 | 4,30 | 10,46 |
| <i>Typha angustifolia</i> | 14,36 | 22,48 | 1,49 | 2,29 | 2,20 | 3,17 | 14,10 | 20,30 | 12,20 | 17,57 | 1,10 | 1,58 | 3,70 | 5,33 |
| <i>Glyceria aquatica</i> | 4,79 | 9,96 | 1,46 | 3,04 | 2,50 | 5,20 | 26,00 | 54,00 | 1,20 | 2,50 | 1,30 | 2,70 | 14,80 | 30,78 |
| <i>Phragmites communis</i> | 1,70 | 7,62 | 0,82 | 3,99 | 1,40 | 6,27 | 8,10 | 36,29 | 1,10 | 4,93 | 0,92 | 4,12 | 21,70 | 57,22 |
| <i>Acorus calamus</i> | 12,33 | 19,73 | 1,84 | 2,94 | 2,90 | 4,64 | 20,00 | 32,00 | 4,10 | 6,56 | 0,97 | 1,55 | 3,30 | 9,28 |
| <i>Sparganium erectum</i> | 10,11 | 12,94 | 2,10 | 2,69 | 3,90 | 4,99 | 24,80 | 31,74 | 6,80 | 8,70 | 3,60 | 4,61 | 6,80 | 8,70 |
| <i>Myosotis palustris</i> | 9,13 | 2,92 | 1,50 | 0,48 | 2,00 | 0,64 | 42,50 | 13,60 | 5,00 | 1,60 | 10,20 | 3,26 | 8,30 | 2,66 |
| <i>Mentha aquatica</i> | 16,95 | 28,48 | 1,58 | 2,75 | 2,20 | 3,70 | 10,50 | 17,64 | 6,90 | 11,59 | 3,10 | 5,21 | 4,10 | 6,89 |

| | Cu | | Co | | Zn | | Ni | | Mo | | Mn | | B | |
|----------------------------|---------------|-------------------|---------------|-------------------|---------------|-------------------|---------------|-------------------|---------------|-------------------|---------------|-------------------|---------------|-------------------|
| | mg/kg Tr—S | mg/m ² | mg/kg Tr—S | mg/m ² | mg/kg Tr—S | mg/m ² | mg/kg Tr—S | mg/m ² | mg/kg Tr—S | mg/m ² | mg/kg Tr—S | mg/m ² | mg/kg Tr—S | mg/m ² |
| <i>Scirpus lacustris</i> | 4,8 | 16,13 | 5,68 | 2,28 | 50 | 168,00 | 1,71 | 5,75 | 0,55 | 1,85 | 1200 | 4032,00 | 14,6 | 49,6 |
| <i>Carex stricta</i> | 5,6 | 15,23 | 6,72 | 1,96 | 63 | 171,36 | 2,46 | 6,69 | 0,29 | 0,79 | 970 | 2638,4 | 21,4 | 58,21 |
| <i>Iris pseudacorus</i> | 5,7 | 14,14 | 1,11 | 2,75 | 50 | 124,0 | 1,75 | 4,34 | 0,33 | 0,93 | 382 | 947,36 | 10,3 | 25,41 |
| <i>Typha angustifolia</i> | 4,7 | 6,77 | 0,44 | 0,63 | 43 | 62,92 | 1,86 | 2,68 | 0,30 | 0,43 | 779 | 1121,76 | 24,5 | 35,28 |
| <i>Glyceria aquatica</i> | 5,6 | 11,65 | 0,48 | 0,99 | 73 | 151,84 | 1,99 | 4,14 | 0,24 | 0,49 | 586 | 1218,88 | 15,0 | 31,20 |
| <i>Phragmites communis</i> | 4,2 | 18,82 | 0,62 | 2,78 | 37 | 165,76 | 1,53 | 6,85 | 0,26 | 1,16 | 166 | 743,68 | 8,2 | 36,74 |
| <i>Acorus calamus</i> | 4,1 | 6,56 | 0,53 | 0,85 | 38 | 60,8 | 1,08 | 1,73 | 0,30 | 8,48 | 383 | 612,8 | 56,9 | 91,04 |
| <i>Sparganium erectum</i> | 5,6 | 7,17 | 1,07 | 1,37 | 76 | 97,28 | 2,27 | 2,91 | 0,24 | 0,31 | 604 | 773,12 | 40,2 | 51,46 |
| <i>Myosotis palustris</i> | 12,2 | 3,90 | 1,44 | 0,46 | 104 | 33,28 | 3,19 | 1,02 | 0,53 | 0,17 | 2000 | 640,0 | 30,8 | 9,86 |
| <i>Mentha aquatica</i> | 8,5 | 14,28 | 0,54 | 0,91 | 78 | 131,04 | 2,03 | 3,41 | 0,47 | 0,79 | 381 | 640,1 | 38,3 | 64,34 |

sen. Das filigranartig unterkammerte Aerenchym des Blütenhalmes (bis 80 % des Blütenhalmes sind Luft) steht durch Stomata mit der Atmosphäre in Verbindung. Diaphragmen geben dem bis 6 m langen Halm eine vollendete Aussteifung gegenüber Zug und Druck (Fig. 1). Das daumenstarke Rhizom ist braun oder schwarz, in jungem Zustand weiß. Es entsendet über das ganze Jahr (in geringem Umfang selbst im Winter, wenn die Eisverhältnisse es erlauben) Halme durch das Wasser an die Oberfläche. Die nach dem Absterben verbleibenden „Stoppeln“ sind unter der Wasseroberfläche noch grün, sie wachsen auch im Winter, selbst bei Eisbildung ständig, wenn auch verlangsamt weiter. Auffallend ist die gleiche Oberwasserlänge gleichaltriger Blütenhalme verschiedener Pflanzen, unabhängig von der Unterwasser-Halmhöhe. Nur der älteste Halm trägt keimfähige Samen, später gebildete Blütenhalme tragen entweder hohle Samen, nur Blütenrudimente, oder sie bleiben völlig ohne Infloreszenz.

Das Meristem der Halme befindet sich nicht an ihrer Spitze, sondern an ihrer Basis. Diese intercalare Wachstumszone ist nur 3–4 mm

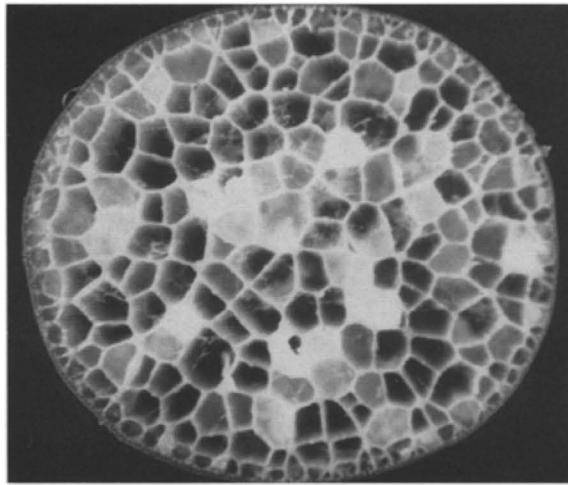


Fig. 1. Halmquerschnitt von *Scirpus lacustris*. Die filigranartige, luftgefüllte Unterkammerung (das Aerenchym ist deutlich sichtbar). Das weiße „Mark“ der Binse besteht aus drei verschiedenen hauchdünnen Gewebsarten. Queraussteifungen (Diaphragmen) erscheinen auf der Abbildung als weiße Flächen

hoch. Sie muß aber von großer Vitalität sein, weil der Halm Wachstumsleistungen von mehreren cm/Tag zeigt.

Die ältesten Halme beginnen in der Regel ab August, von der Spitze her braun zu werden. Nach dem völligen Absterben wird der Halm abgestoßen, bleibt auf dem Wasser schwimmen und wird an das Ufer getrieben. Das Wachstumsmaximum von Wurzel und Rhizom ist gegenüber dem Maximum beim Halm zeitlich verschoben. In der Regel stößt die Pflanze ihre Wurzeln im Frühsommer ab, bildet neue und zehrt ihren eigenen Wurzelhumus auf. In stark eutrophen Gewässern kann das Rhizom völlig wurzellos sein. Es besitzt dann keine Schuppen und keine Endodermis. Die Pflanzen wachsen jedoch ebenso üppig wie mit Wurzeln. Die Vermehrung von *Scirpus lacustris* geschieht vegetativ durch Sprossung aus dem verzweigten Rhizom, generativ durch Samen, die von einer starken Schale umgeben sind und die im allgemeinen im Frühjahr in sehr warmen Uferzonen zum Keimen kommen. Wird die junge, nährstoffreiche Pflanze nicht von Weidetieren vernichtet, so wandert sie nach und nach in tiefere Wasserzonen bis zu 4 m ein.

Die Unterteilung der Art in eine Reihe von Subspezies, wie es verschiedentlich geschieht, erscheint nicht vertretbar, weil es sich bei dieser äußerst plastischen Pflanze um ökologische Phänotypen handelt [40]. Die Chromosomenzahl beträgt $2n = 42$ [41].

Hinsichtlich der Eliminierung von Stoffen aus Gewässern ist die „ökologische Breite“ der Flechtbinse von besonderem Interesse. Allerdings wird ihre Aufnahmeleistung — dieser Punkt interessiert bei einer praktischen Verwendung besonders — durch Standortunterschiede beträchtlich beeinflusst. Die Tabellen 3–5 zeigen Aufnahmeleistungen von *Sc. lacustris* bei gleichem Untergrund und unterschiedlicher Wassertiefe (Tabelle 3), bei gleicher Wassertiefe und verschiedenem Untergrund (Tabelle 4) und bei unterschiedlicher Wasserqualität (Tabelle 5).

Tabelle 3. Mineralstoffgehalte von Halmen, Rhizomen und Wurzeln der Flechtbinse aus verschiedenen Wassertiefen

| | Wassertiefe cm | g/kg Ca | K | mg/kg Cl | Cu | Zn | Mn | B |
|--------|----------------|---------|-------|----------|------|-----|-----|------|
| Halme | 0 | 6,13 | 22,81 | 17,23 | 6,6 | 57 | 178 | 13,1 |
| | 50—75 | 7,09 | 31,29 | 27,39 | 6,0 | 46 | 56 | 12,2 |
| | 100—150 | 15,02 | 37,93 | 35,14 | 6,5 | 55 | 98 | 13,8 |
| Rhizom | 0 | 3,20 | 7,06 | 2,94 | 9,0 | 44 | 161 | 8,2 |
| | 50 | 1,44 | 9,22 | 4,42 | 12,8 | 53 | 110 | 6,0 |
| Wurzel | 0 | 15,31 | 4,11 | 4,43 | 41,0 | 301 | 602 | 15,7 |
| | | 13,80 | 8,06 | 7,09 | 43,4 | 514 | 433 | 18,0 |

Der Gehalt an bestimmten Elementen weist sowohl bei verschiedenen Wassertiefen als auch bei den einzelnen Pflanzenorganen zum Teil erhebliche Unterschiede auf. Bei den in der Tabelle nicht genannten Elementen (Mg, P, Na, Fe, Co, Ni, Mo) schwankt der Gehalt im allgemeinen nur wenig. Nur bei Fe und Ni ergeben sich höhere Gehalte in der Wurzel (Fe 11,86 und 7,96; Ni 13,0 und 18,2).

Tabelle 4. Mineralstoffgehalt der Flechtbinse im Halm (H), Rhizom (R) und Wurzel (W) nach einer Vegetationsperiode bei gleichen Nährstoffgaben (1 %ige von der Cronsche Nährlösung wöchentlich erneuert) und gleichen Kulturmaßnahmen, aber verschiedenem Untergrund (Torf, Schlamm, Sand, Kies, Lehm und als Hydrokultur)

| Substrat | | K | Na | P | Substrat | | K | Na | P |
|----------|---|------|-----|------|-------------|---|------|-----|-----|
| Torf | H | 21,4 | 3,3 | 1,2 | Kies | H | 20,0 | 2,2 | 0,8 |
| | R | 27,2 | 2,6 | 10,5 | | R | 10,2 | 1,5 | 3,6 |
| | W | 21,3 | 2,2 | 1,9 | | W | 1,9 | 0,4 | 0,2 |
| Schlamm | H | 7,5 | 2,2 | 0,7 | Hydrokultur | H | 5,5 | 0,8 | 2,5 |
| | R | 7,5 | 1,0 | 2,3 | | R | 16,7 | 1,7 | 6,7 |
| | W | 1,6 | 0,4 | 1,5 | | W | 1,9 | 0,3 | 5,7 |
| Sand | H | 15,1 | 2,5 | 0,7 | Lehm | H | 9,7 | 1,7 | 0,5 |
| | R | 10,6 | 1,2 | 3,2 | | R | 4,8 | 0,8 | 1,1 |
| | W | 2,3 | 0,5 | 0,4 | | W | 2,6 | 0,6 | 0,1 |

Tabelle 5. Quantitativ unterschiedliche Aufnahme von Metall-Ionen durch den Halm von *Scirpus lacustris* aus zwei verschiedenen stark eutrophen Gewässern, nämlich einem holsteinischen gesunden See und einem ungeklärten städtischen Abwasser. Angaben in mg/kg Trockensubstanz

| | Cu | Co | Mn | Cr | Ni | V |
|--------------|----|----|------|-----|-----|-----|
| Gesunder See | 18 | 3 | 260 | 2,5 | 3,5 | 6 |
| Abwasser | 50 | 15 | 2500 | 115 | 30 | 115 |

Zu den Analysenwerten der Tabellen sei bemerkt, daß durch solche Zahlen nur der augenblickliche Zustand der Pflanze erfaßt wird. Die Zahlen stellen „Nettowerte“, d. h. Differenzbeträge zwischen Menge an aufgenommenem und der Menge abgegebener Substanz dar. Mit hin lassen diese Werte keine unmittelbaren Rückschlüsse auf die tatsächliche Ionen-Elimination durch die Pflanze zu. Man kann z. B. zeigen, daß bei Kultur von *Sc. lac.* in stark natriumchlorid- oder phosphat-haltigem Wasser ein Teil der aufgenommenen Salze durch den Halm rekrutiert wird. Von dort können sie selbstverständlich dem Standort wieder zurückgegeben werden. Sie können aber auch unter bestimmten Bedingungen von der Blattoberfläche als Aerosol mit der Luftbewegung abtransportiert werden (Fig. 2 u. 3). Desgleichen kann aufgenommenes Phenol gasförmig wieder abgegeben werden, worauf an anderer Stelle zurückgekommen wird.

Die bisherigen analytischen Angaben für die Flechtbinse beziehen sich auf Ionen, die als Makro- und Mikronährstoffe für die Pflanze von Bedeutung sind (ausgenommen vielleicht das Nickel). Es hat sich im Verlauf der Untersuchungen indessen herausgestellt, daß auch phytotoxische bzw. für die Pflanzen nicht direkt verwertbare anorganische Stoffe dem Standort entzogen werden. So wird das Mangan auch als MnO_4^- -Ion von der Flechtbinse mindestens bis zu Konzentrationen von 50 mg/l anstandslos vertragen und ausgenutzt. Wie weit Mn(VII) dabei direkt aufgenommen wird, ist noch unbekannt. Auch für die Eliminierung von Cyaniden liegen Anhaltspunkte vor.

6. Eliminierung organischer Verbindungen aus dem Wasser durch *Scirpus lacustris*

Von besonderem theoretischen und praktischen Interesse war die Beobachtung, daß die Flechtbinse auch in der Lage ist, organische Verbindungen der unterschiedlichsten Konstitutionen dem Wasser zu entziehen [42, 43]. Für die höheren Wasserpflanzen ist dieser Befund neu und in quantitativer Hinsicht überraschend und ungewöhnlich für höhere Pflanzen überhaupt. Die Aufnahme von organischen Verbindungen erstreckt sich nicht nur auf verhältnismäßig inerte Verbindungen, sondern auch auf physiologisch wirksame Stoffe wie Phenole. Die bemerkenswerten Leistungen von *Scirpus lacustris* bei der Elimination des Phenols aus dem Wasser geht aus Fig. 4 hervor. Die Abbauleistungen sind natürlich jahreszeitlich verschieden, doch geht auch während der Wintermonate ein erheblicher Abbau vonstatten. Die über mehrere Jahre durchgeführten Untersuchungen lieferten grundsätzlich die gleichen Ergebnisse, wenn auch mit geringfügigen, quantitativen Unterschieden gemäß dem Witterungsverlauf der einzelnen Versuchsjahre. 300 g Ausgangs-Biomasse haben in 3 Jahren 35 g Phenol eliminiert, d. h. mehr als 10% vom ursprünglichen Eigengewicht. In diesen Versuchen haben wir mit Maximalkonzentrationen von 100 mg Phenol pro Liter Brunnenwasser gearbeitet. Die Pflanze ist in der Lage, mit wesentlich höheren Phenolgaben fertig zu werden (siehe Tabelle 6).

Tabelle 6. Eliminierung von Phenol höherer Konzentration durch Einwirkung von *Scirpus lacustris*. Beginn der Versuche am 20. 6. 1962. Die Versuche mußten wegen Eisbildung abgebrochen werden

Es wurden an Phenol/l abgebaut

| | | |
|-------------------|-------------------|--------------------|
| 10 mg am 4. Tag | 140 mg am 52. Tag | 300 mg am 101. Tag |
| 20 mg am 9. Tag | 160 mg am 55. Tag | 400 mg am 106. Tag |
| 40 mg am 12. Tag | 180 mg am 60. Tag | 500 mg am 110. Tag |
| 60 mg am 23. Tag | 200 mg am 65. Tag | 600 mg am 120. Tag |
| 80 mg am 24. Tag | 220 mg am 70. Tag | 700 mg * |
| 90 mg am 28. Tag | 240 mg am 75. Tag | 800 mg * |
| 100 mg am 29. Tag | 260 mg am 85. Tag | 900 mg * |
| 120 mg am 51. Tag | 280 mg am 96. Tag | |

* nach 142 Tagen (Frostbeginn) noch nicht abgebaut.

Es ist bemerkenswert, daß die Flechtbinse durch derart hohe Konzentrationen einer physiologisch wirksamen Verbindung keine dauernden Schädigungen er-

leidet. Zwar werden z. B. beim Übersetzen der Pflanze in sehr starke Phenollösungen häufig ältere Halme abgestoßen, jedoch bildet *Scirpus lacustris* sofort neue,

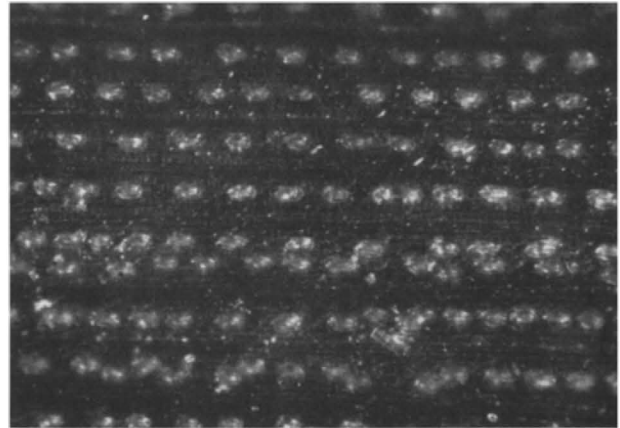


Fig. 2. Salzausscheidungen (Phosphat) am Halm der Flechtbinse. (Vergr. 56×)

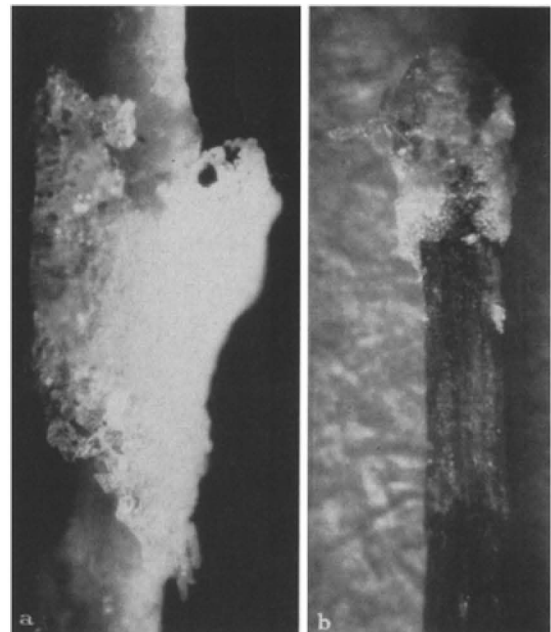


Fig. 3. a Salzausscheidungen (Phosphat) am Halm der Flechtbinse b Phenolausscheidung an der Halmspitze (angesetzt in 125 mg Phenol je Liter)

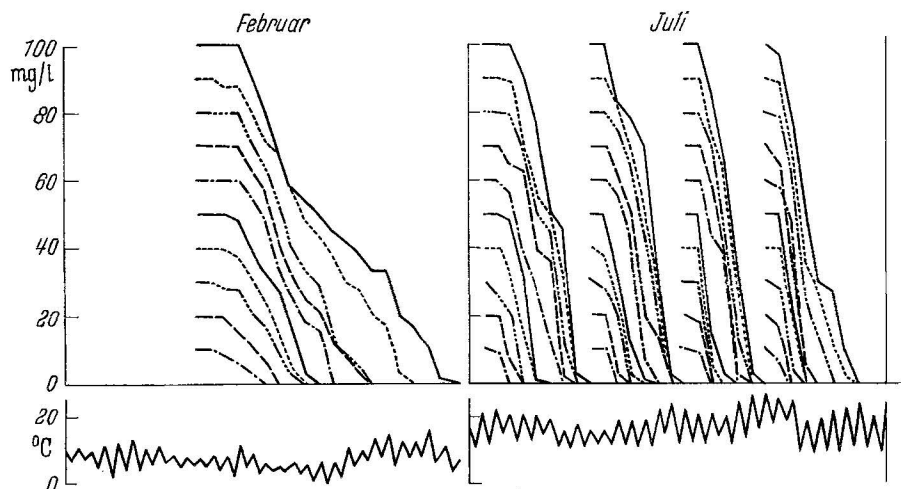


Fig. 4. Abbau von Phenol aus 5 l Brunnenwasser, in das Flechtbinsen gepflanzt wurden (je 300 g Biomasse). Ordinate: Phenolkonzentration des Brunnenwassers. Abszisse: Abbaupzeit in Tagen. Darunter: Temperatur-Kurve. Die bei biochemischen Prozessen bekannte „lag“-Phase, also die Phase der Adaptation ist vor allem bei den höheren Phenolgaben besonders gut zu erkennen.

gesunde Halme, die offenbar diesen ungewöhnlichen Verhältnissen voll angepaßt sind. Mikroskopische Bilder zeigen, daß die Gewebe wie Epidermis, Parenchym, Aerenchym, Xylem und Phloem im Querschnitt unverändert erscheinen, daß jedoch die An-

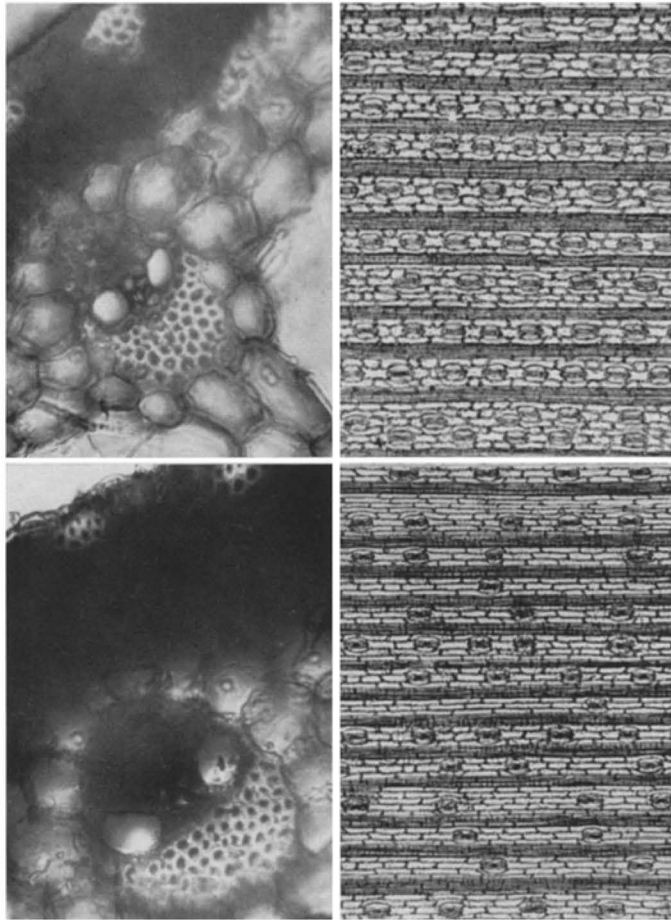


Fig. 5. Reaktion auf Gewebsteile von *Sc. lacustris*, die im Brunnenwasser mit und ohne Phenole wuchsen. Links Gewebsquerschnitte; rechts Epidermis mit Spaltöffnungen. Obere Reihe: Ohne Phenolgaben; untere Reihe: links in 900 mg, rechts in 700 mg Phenol im Liter

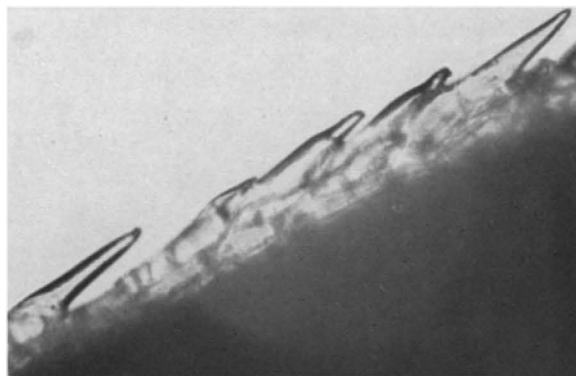


Fig. 6. Hydropoten (Ausstülpungen der Epidermis) an Flechtbinnen, die in höheren Phenol-Konzentrationen gewachsen sind

lagen der Stomata um so unregelmäßiger werden, je höher die Phenol-Konzentrationen sind (Fig. 5). Andererseits bilden Halme, die in Phenollösungen stehen, Hydropoten aus, die bei *Scirpus lacustris* sonst unbekannt sind (Fig. 6).

Die Versuche mit Phenol waren derart ermutigend, daß daraufhin auch andere Verbindungen untersucht wur-

den, die als Gewässerverunreinigung zum Teil von größtem Interesse sind. Bis jetzt wurde das Verhalten von *Sc. lacustris* gegenüber einer Reihe von aromatischen Verbindungen geprüft. Die Ergebnisse dieser Versuche zeigt Tabelle 7. Wir wählten Konzentrationen, die nach BANDT der doppelten Letalitäts-grenze für Fische entsprechen.

Tabelle 7. Elimination von Aromaten durch *Sc. lacustris*. Als Konzentration wurde das Doppelte der Menge gewählt, die nach BANDT für bestimmte Fische Letalitätsgrenze ist. Beginn des 1. Versuchs 15. 6. 1965, des 2. Versuchs 11. 8. 1965; für beide wurden dieselben Pflanzen verwendet. Angegeben wird die Eliminationszeit in Tagen

| Eingesetzt | mg/l | 1. Vers. | 2. Vers. |
|----------------------------|------|----------|----------|
| 1. Phenol | 100 | 15 | 29 |
| 2. <i>p</i> -Kresol | 30 | 15 | 52 |
| 3. Xylol (Isomerengemisch) | 20 | 15 | 9 |
| 4. Brenzkatechin | 30 | 5 | 9 |
| 5. Resorcin | 70 | 5 | 9 |
| 6. Pyrogallol | 100 | 15 | 52 |
| 7. Pyridin | 400 | 7 | 9 |
| 8. <i>a</i> -Naphthol | 10 | 7 | 9 |
| 9. Chinolin | 20 | 7 | 9 |
| 10. Hydrochinon | 20 | 9 | 9 |
| 11. <i>p</i> -Chinon | 10 | 15 | 9 |
| 12. 8-Hydroxychinolin | 20 | 15 | 49 |
| 13. 2,4,6-Collidin | 20 | 8 | 9 |
| 14. Anilin | 20 | 15 | 52 |
| 15. Guajacol | 10 | 15 | 9 |
| 16. Phloroglucin | 20 | 15 | 49 |
| 17. <i>p</i> -Chlorphenol | 10 | 14 | 52 |

So erstaunlich diese Befunde sind, so wenig soll mit ihnen gesagt werden, daß damit das letzte Wort zur Eliminierung von Aromaten aus Gewässern durch *Sc. lacustris* gesprochen wäre. Verträglichkeitsgrenzen, Abbauleistung und -dynamik sind hier noch völlig offen, ganz zu schweigen von der biochemischen Durchleuchtung dieses Prozesses, an der uns dringend gelegen ist. Auch wäre es falsch, aus der Mannigfaltigkeit der in der Tabelle genannten Verbindungen den Schluß zu ziehen, daß die Flechtbinse in der Lage sein müßte, dem Wasser alle denkbaren organischen Schadstoffe zu entziehen.

7. Der Einfluß von Pflanzen der Limnosphäre auf Mikroorganismen

So vorsichtig wir in der Beurteilung dieser Vorgänge sind, so wenig dürfen wir eine andere, äußerst wichtige Eigenschaft der *Scirpus lacustris* in dieser Arbeit übergehen: Wir meinen ihre Fähigkeit, auf bestimmte Mikroorganismen in der Limnosphäre einzuwirken. Es hat sich nämlich gezeigt, daß *Escherichia coli* in Gewässern, die mit Flechtbinnen in Kontakt stehen oder kommen, die also etwa einen Binsenbestand durchströmen müssen, eindrucksvoll reduziert wird [44]. Dieser Effekt ist auch mit anderen Pflanzen der Limnosphäre, etwa mit *Spartina Townsendii*, *Mentha aquatica*, *Cirsium pratense* zu erreichen. Für *Scirpus* und *Spartina* sind in der Tabelle 8 Auszählungsergebnisse wiedergegeben.

Die Ergebnisse beziehen sich auf Untersuchungen in Weithalsflaschen. Effekte dieser Art sind durchaus nicht charakteristisch für höhere Wasserpflanzen allgemein. *Phragmites communis*, *Agrostis alba*, *Alisma plantago* setzen zwar die Keimzahl ebenfalls herab, jedoch bei weitem nicht so eindrucksvoll. Untersuchungen an der Wasserschwertlilie (*Iris pseudacorus*) er-

Tabelle 8. Abnahme der Coli-Keime durch Einwirkung von bestimmten Pflanzen. Anzahl von *E. coli* je ml mit und ohne Versuchspflanzen

| Datum 1961 | Mit Scirpus lacustris | Ohne Scirpus lacustris | Datum 1961 | Mit Spartina Townsendii | Ohne Spartina Townsendii |
|---------------|--------------------------|---------------------------|---------------|----------------------------|-----------------------------|
| 30. 6. | 43800000 | 43800000 | 21. 8. | 9000000 | 9000000 |
| 3. 7. | 15000 | 43000000 | 22. 8. | 450000 | 10770000 |
| 4. 7. | 1000 | 29000000 | 24. 8. | 70000 | 1000000 |
| 5. 7. | 1345 | 35500000 | 28. 8. | 600 | 8000000 |
| 6. 7. | 300 | 34600000 | 5. 9. | 200 | 11650000 |
| 7. 7. | 86 | 15000000 | 7. 9. | 200 | 11000000 |
| 10. 7. | 54 | 22950000 | 12. 9. | 150 | 8500000 |
| 11. 7. | 27 | 14000000 | 14. 9. | 60 | 13000000 |
| 12. 7. | 400 | 22000000 | | | |
| 13. 7. | 1100 | 12000000 | | | |
| 14. 7. | 220 | 6000000 | | | |
| 17. 7. | 0 | 4000000 | | | |

gaben, daß zwar bei unverletztem Rhizom die Keimzahl zurückgeht, daß aber bei Rhizomverletzungen durchweg eine Erhöhung der Keimzahlen zu beobachten ist. Offenbar ist der austretende Zellsaft hier ein Nährboden.

Die Wirkung dieser Pflanzen auf *E. coli* kann mit ihrer Fähigkeit zur Sauerstoffvermittlung an das Wasser zusammenhängen. Versuche deuten darauf hin, daß Coli-Zahlen proportional zur Sauerstoff-Anreicherung des Wassers gesenkt werden können. Allgemein beobachtet man einen Rückgang von Keimzahlen als Folge photosynthetischer Aktivität [45]. Wir haben oben auf besondere Eigentümlichkeiten des Binsenhalmes hingewiesen, die mit einer besonders intensiven Sauerstoffvermittlung zwischen Atmosphäre und Limnosphäre gerade durch diese Pflanze in Zusammenhang gebracht werden können. Diesen Effekt kann man experimentell nachweisen.

8. Verhalten der Flechtbinse gegenüber technischen Abwässern und in technischen Anlagen

Alle bisher angeführten Ergebnisse und Messungen beziehen sich auf bekannte und einheitliche Verbindungen bez. auf einen speziellen Mikroorganismus. In Siedlungs- und Industrieabwässern liegt aber im allgemeinen ein äußerst komplexes Stoffgemisch mehr oder weniger hoher Konzentrationen vor, das zu völlig anderen Reaktionen von *Scirpus lacustris* Anlaß geben kann. Deshalb war es für uns von besonderem Interesse, vor allem auch im Hinblick auf eine praktische Verwendung dieser Pflanze zur Wasserreinigung, zu prüfen, ob

1. die verschiedenen Industrie- und Siedlungsabwässer von der Pflanze vertragen werden und
2. ob *Scirpus lacustris* auch aus solchen Substraten Stoffe in diesem ungewöhnlichen Umfang eliminieren kann.

Orientierende Untersuchungen zeigten, daß das der Fall ist. So senkt *Scirpus lacustris* nicht nur den Kaliumpermanganat-Titer aller in Fig. 7a näher beschriebenen Abwässer, sondern bewirkt auch eine Regulation der Wasserstoffionenkonzentration, die sich auf einen pH-Wert von etwa 7,5 schon nach kurzer Zeit einpendelt, gleich-

gültig, ob die eingelaufenen Wässer sauer oder alkalisch waren (Fig. 7b).

Inzwischen sind diese Untersuchungen bereits in den technischen Maßstab übertragen worden. So läuft seit Sommer 1964 in Urach eine Anlage, in der die in dieser Arbeit beschriebenen Eigenschaften von *Scirpus lacustris* ausgenutzt werden. Abwässer verschiedenster Herkunft laufen nach Passieren eines Absatzstrichters in bestimmter Anordnung durch Binsenanpflanzungen. Über die Leistung dieser Anlage gibt Tabelle 9 Auskunft. Die Meßdaten der Tabelle wurden durch das „Institut für angewandte Chemie des Wassers“ Dr. HAMMER in Reutlingen und durch das Hygiene-Institut der Universität Tübingen ermittelt.

Ausblick

Erstaunlich sind die Leistungen mancher Wasserpflanzen, vor allem in quantitativer Hinsicht. In ihrer Wirkung sind manche von ihnen gewissen Mikroorganismen mindestens gleichzusetzen. Das zeigt sich etwa an dem geringeren Abbaueffekt eines Tropfkörpers gegenüber einer *Scirpus*-Anlage gleicher Flächengröße [46]. Den Abbauleistungen der Mikroorganismen entspricht dabei bei den Wasserpflanzen die Elimination der Schadstoffe aus dem Wasser. Für die höheren Pflanzen bleibt bis heute ungeklärt, in welchem Umfang organische Verbindungen in den Stoffwechsel einbezogen werden. Soweit uns bekannt ist, liegen dazu nur Untersuchungen von WINTER und SCHÖNBECK [47] vor, die eine Glukosidierung von applizierten Phenolen beobachteten, und von KICKUTH und ALDAG [48], die eine Umwandlung aufgenommener N-Methylverbindungen über Serin und Methionin in

Tabelle 9. Leistung der Versuchsanlage in Urach. Die ersten Messungen begannen am 25. 7. 1964 mit Durchlaufzeiten von 48 h. Diese sind auf 24 h und später verkürzt worden. Weitere Erklärungen unter der Tabelle

| I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | X |
|------------|----|-------|------|-------|-------|------|------|---------|-----------|
| 29. 12. 64 | E | 255,0 | 10,4 | 13,0 | 19,6 | 29,8 | 0,17 | 400000 | 0,000001 |
| 36 h | A | 5,8 | 7,4 | 0 | 0,9 | 14,5 | 0,09 | 3000 | 0,1 |
| 26. 1. 65 | E | 41,1 | 8,6 | 8,6 | 6,4 | 13,1 | 0,1 | 2000000 | 0,001 |
| 36 h | A | 4,9 | 8,0 | 0 | 0,55 | 5,6 | 0 | 600 | 0,01 |
| 23. 2. 65 | E | 53,0 | 17,1 | 10,8 | 3,9 | 12,3 | 1,2 | 70000 | 0,000001 |
| 36 h | A | 4,5 | 10,7 | 0,7 | 0,3 | 9,0 | 0,1 | 20000 | 0,1 |
| 30. 3. 65 | E | 22,2 | 5,8 | 5,0 | 5,0 | 10,9 | 0,15 | 170000 | 0,0001 |
| 36 h | A | 4,1 | 5,1 | 0 | 2,8 | 9,6 | 0 | 1000 | 100 |
| 16. 5. 65 | E | 28,4 | 6,2 | 6,1 | 4,5 | 9,3 | 1,8 | 800000 | 0,0000001 |
| 24 h | A | 9,5 | 3,2 | 0 | 1,1 | 5,2 | 0,08 | 6000 | 1,0 |
| 16. 9. 65 | E | 133,0 | 11,5 | 12,95 | 10,35 | 20,4 | — | 30000 | 0,00001 |
| 48 h | A | 3,6 | 8,9 | 0 | 0 | 6,4 | — | 1800 | 10,0 |
| 1. 12. 65 | E | 120,0 | 7,9 | 11,2 | 5,9 | 14,6 | 0,08 | 27000 | 0,000001 |
| 24 h | A | 4,5 | 6,7 | 4,3 | 1,7 | 11,2 | 0 | 2500 | 1,0 |

Die Flechtbinsen sind hier in Tanks eingepflanzt, die eine bestimmte Unterkammerung haben, so daß das mit Ballaststoffen beladene, ungeklärte Abwasser die Wurzeln, Rhizome und Halme der Pflanzen umspülen muß, die über 1 m tief in diesem Wasser stehen und dabei ihre ganze Wirkungs-Leistung entfalten können. Es fließen ständig häusliche und in Stößen auch gewerbliche extrem-beladene Abwässer (z.B. Cyanide einer metallverarbeitenden Industrie und Blut eines Großschlachthofes) ein. Das Wasser wird durch die Pflanzen so stark gereinigt, mit Sauerstoff beladen und wohlschmeckend, daß es im Auslauf trinkbar ist. Die Tabelle zeigt einige Meßtage (I) und die jeweilige Aufenthaltszeit, d.h. die Zeit des Durchlaufens des Abwassers durch die Anlage in Stunden, Einlauf (E) — und Auslauf (A) — (II), Werte des BSB₅ (III), das ist der biochemische Sauerstoffbedarf als Maßstab der Mengen oxydierbarer Substanzen, die im Abwasser enthalten sind und wie er sich nach 5 Tagen im geschlossenen Gefäß bei 20° C im Dunklen einstellt. PO₄ (IV) und NH₄ (V), organisch gebundener Stickstoff (VI), Gesamtstickstoff (VII), Detergentien (VIII), Keimzahl (IX) und *Escherichia coli* (Coli-Titer) (X) wurden als typische Abwasser-Kriterien gemessen. Der „Coli-Titer“ ist eine Zahl, die angibt, in wieviel ml Wasser oder Teilen von ml ein Coli-Keim enthalten ist. Die entsprechenden Zahlen bei (E) und (A) vermitteln ein eindrucksvolles Bild über die Elimination bestimmter Stoffe unter Einwirkung der Versuchspflanzen.

Säuren aus dem Citrat-Zyklus nachweisen konnten. Diese Umwandlungen gehen allerdings in einem so geringen Umfang vorstatten, daß es schwer fällt, die Eliminationsleistungen der Wasserpflanzen allein auf dieser Basis zu deuten. Schon die Verträglichkeitsgrenzen für Phenol liegen bei Landpflanzen durchweg um etwa 2 Zehnerpotenzen niedriger als bei *Scirpus*

noch keine experimentelle Stütze außer dem morphologischen Tatbestand. Sicher ist, daß zum mindesten im Falle des Phenols nicht die gesamte von der Pflanze aufgenommene Phenolmenge metabolisiert wird. Wie SEIDEL und KICKUTH [49] zeigen konnten, wird ein Teil des aufgenommenen Phenols durch den Halm ausgeschieden. Auch eine Speicherung von Phenol in

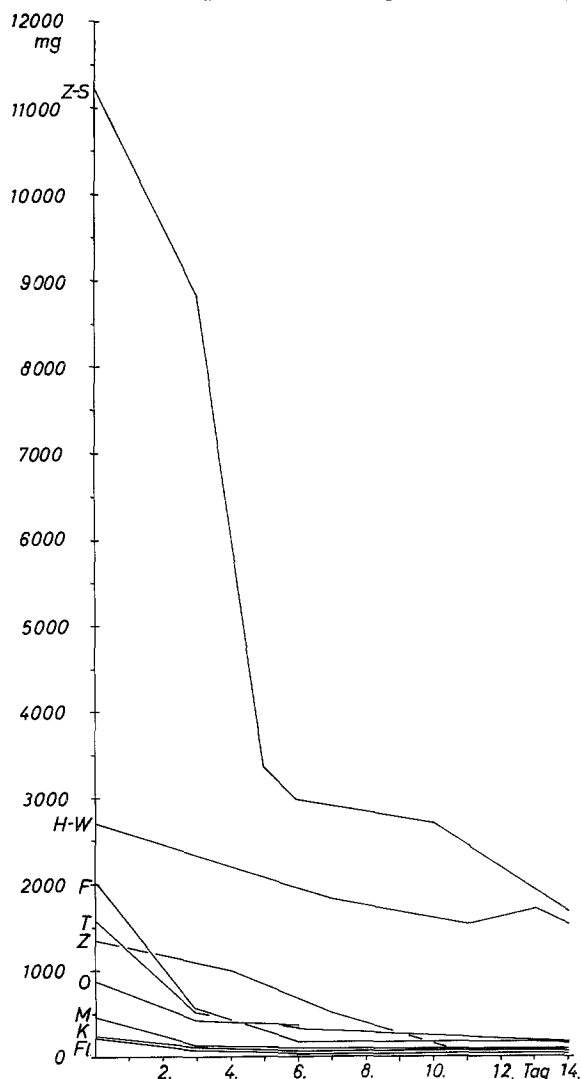


Fig. 7a. Veränderungen des Kaliumpermanganat-Verbrauchs (als Nachweis organischer, toter Substanz), unter der Einwirkung von *Sc. lacustris* in 0 bis 14 Tagen. Ordinate: mg $K MnO_4$ in 1000 ml. Zeichenerklärung: O = Obstverwertungsabwasser, M = Margarineabwasser, FI = Fleischverwertungsabwasser, K = Abwasser einer Keksfabrik, F = Abwasser einer Feinkostfabrik, T = Abwasser einer Teigwaren- und Konservenfabrik, Z = Abwasser einer Zuckerfabrik, H-W = Abwasser einer Hefe- und Würzefabrik, Z-S = Abwasser einer Zuckerfabrik und Siedlung

lacustris. Freilich gibt es auch Anhaltspunkte dafür, daß man u. U. die biologische Leistung zumindest einiger Wasserpflanzen anders zu beurteilen hat. Die meristematischen Gewebe, die Orte der größten biochemischen Aktivität, sind im allgemeinen in der Spitze des Sprosses lokalisiert. Bei *Scirpus lacustris* aber und auch bei einigen *Juncus*-Arten, die intercalares Wachstum zeigen, liegt ein basales Meristem vor, dessen biochemische Aktivität, nach den Zuwachseleistungen zu urteilen, außergewöhnlich groß sein muß. Es ist nicht ausgeschlossen, daß dieses aktive basale Meristem auch bei der Metabolisierung aufgenommener organischer Verbindungen Ungewöhnliches leisten kann. Diese Vermutung hat bisher

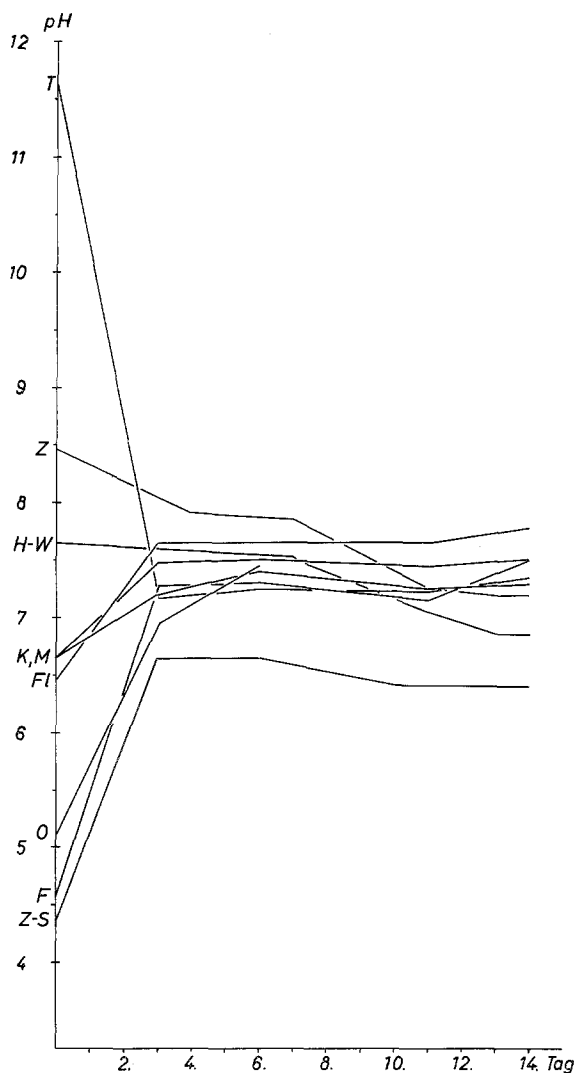


Fig. 7b. Veränderung der pH-Werte durch Einwirkung von *Sc. lac.* nach 0 bis 14 Tagen. Die Abwässer zu den Figuren 7a und 7b stammen aus verschiedenen Fabrikationszweigen der Ernährungsindustrie. Zeichenerklärung wie in Fig. 7a

den Organen der Flechtbinse ist nachgewiesen. Die auffälligen Zunahmen der Biomasse unter dem Einfluß von Phenol können als Hinweis dafür aufgefaßt werden, daß diese Verbindung als C-Quelle für den Aufbau von Pflanzeninhaltsstoffen verwertet wird (Fig. 8). Im Hinblick auf die Problematik der Aufnahme und besonders der Verwertung organischer Verbindungen durch die höhere Pflanze wollen wir diese Möglichkeit nur mit allem Vorbehalt andeuten. Hingegen gibt es zahlreiche Hinweise dafür, daß solche Verbindungen die Massenleistungen höherer Pflanzen aufgrund von Wirkstofffunktionen beeinflussen können. Ausführliche Literatur dazu findet man bei FLAIG [50].

Die Stoffaufnahme kann selbstverständlich auch über den untergetauchten Teil des Halmes geschehen. Die untergetauchten assimilierenden Organe werden auf jeden Fall für den Gasstoffwechsel des Standortes von

Bedeutung sein. Die Anreicherung verschmutzter Gewässer mit Sauerstoff durch *Scirpus lacustris* ist im Vorangegangenen beschrieben worden. Bei der Ätiologie dieses Vorganges spielt der anatomische Bau des Halmes sicherlich eine Rolle, worauf wir bereits hingewiesen haben.

Mit ihren beiden so hervortretenden Fähigkeiten, nämlich der Stoffelimination aus dem Wasser und ihrer Sauerstoffvermittlung an das Wasser, ist die Flechtbinse an den beiden von VELZ und GANNON [51] als unabhängig voneinander geschilderten Vorgängen der

reits isoliert wurden [56]. Orientierende Untersuchungen scheinen darauf hinzudeuten, daß bei *Sc. lacustris* Sauerstoffanreicherung und die Exkretion antibiotisch wirksamer Stoffe synergistisch wirksam werden.

Zum Gelingen dieser Arbeiten hat der selbstlose Einsatz meiner Mitarbeiter Frau IRMA BIEDERBICK, Frau HELGA HAPPEL, Herr HERMANN KLEFGES wesentlich beigetragen. Ich spreche Ihnen auch an dieser Stelle meinen Dank dafür aus. Dem Bundesministerium für Gesundheitswesen danke ich für die Bereitstellung der Mittel.

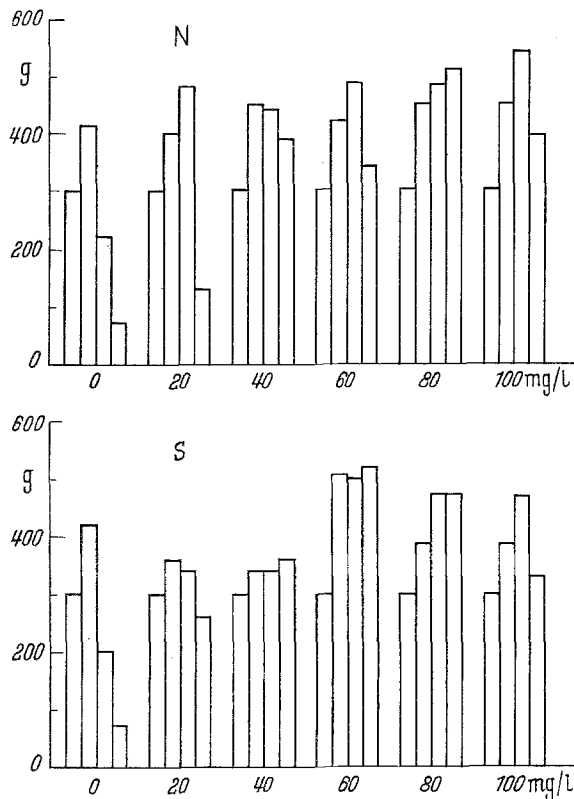


Fig. 8. Die Säulen in jeder Kolumne zeigen von links nach rechts das Ausgangsgewicht (300 g Biomasse im Jahr 1962) und die Biomasse derselben Pflanzen in den Jahren 1963, 1964 und 1965. Die Pflanzen wurden in zwei Versuchsreihen (Nord- und Südseite im Gewächshaus = N bzw. S) in Brunnenwasser mit Zugaben von Phenol in Konzentrationen von 0–100 mg im Liter kultiviert

Selbstreinigung von Gewässern simultan beteiligt. Es ist uns gegenwärtig kein anderer Prozeß oder Organismus bekannt, der — wenn überhaupt — in einem vergleichbaren Umfang diese beiden Grundvoraussetzungen gleichzeitig erfüllt.

Der eindrucksvolle Rückgang der Coli-Keimzahl unter dem Einfluß der Flechtbinse ist bereits mit der Sauerstoffanreicherung des Standortes in Verbindung gebracht worden. Für diesen Effekt bietet sich natürlich auch eine andere Erklärungsmöglichkeit an: Die Einwirkung mikrobizider Exkrete aus der Wurzel, dem Rhizom oder dem untergetauchten Halm auf die Mikroflora. Solche Vorgänge sind in den letzten Jahren für die höhere Landpflanze von zahlreichen Autoren beschrieben worden, z.B. [52–55]. Ähnliche Untersuchungen an höheren Wasserpflanzen sind uns unbekannt. Antibiotische Effekte dieser Art wird man jedenfalls bei *Mentha* und *Cirsium* annehmen dürfen. *Mentha* enthält antibiotisch wirksame ätherische Öle. *Cirsium* könnte wirksame Acetylenverbindungen enthalten, die aus der nahestehenden Gattung *Carlina* be-

- [1] AMBÜHL, H.: Schweiz. Z. Hydrol. 2, 569 (1964). — [2] BELING, A., u. W. JANNASCH: Hydr. 1/2, 36 (1955). — [3] ELSTER, H.-J.: Naturwissenschaften 49, 49 (1962). — [4] JAAG, O.: Österr. Wasserwirtsch. 44, 69 (1962). — [5] KNÖPF, H.: Dtsch. gew. Mitt. S-H17 (1965). — [6] KUSNEZOW, S. I.: Die Rolle der Mikroorganismen im Stoffkreislauf des Sees. Berlin: VEB Verl. d. Wiss. 1959. — [7] LIEB-MANN, H.: Handbuch der Frischwasser- und Abwasserbiologie II. München: Oldenbourg 1964. — [8] RIPPET-BALDES, A.: Grundriß der Mikrobiologie. Berlin-Göttingen-Heidelberg: Springer 1952. — [9] SCHWARTZ, W.: Mikrobiologie der Gewässer. In: Handbuch der Pflanzenphysiologie, Bd. XI, S. 752 (1960). [10] UHLMANN, D.: Wiss. Z. Karl-Marx-Univ. Leipzig 14, 359 (1965). — [11] THIMAN, K.: V.: Das Leben der Bakterien. Wachstum, Stoffwechsel und Verwandtschaftsbezieh. Jena: VEB Fischer 1965. — [12] STANIER, R. Y. M. DOUDORFF and E. A. ADELBERG: General Microbiology. London: Mcmillan 1958. — [13] SCHREINER, O. S., and H. S. REED: Bull. Torrey Bot. Club. 34, 378 (1907). — [14] HITCHCOCK, A. E., and P. W. ZIMMERMANN: Contribts. Boyce Thompson Inst. 7, 447 (1936). — [15] KLOKE, A.: Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenk. 63, 150 (1953). — [16] SCHARRER, K., u. W. SCHRÖPP: Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenk. 13, 1 (1934); — Biochim. Z. 281, 314 (1935). — [17] SCHEFFER, F., E. WELTE u. A. KLOKE: Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenk. 56, 151 (1952). — [18] ESENBECK, E.: Flora (Jena) 7, 151 (1914). — [19] GAMS, H.: Hdbuch der biologischen Arbeitsmethoden, Bd. IX, S. 713 (1925). — [20] GESSNER, F.: Hydrobotanik I, II. Berlin: VEB Verl. d. Wiss. (1955, 1959). — [21] GLÜCK, H.: Biologische und morphologische Untersuchungen über Wasser- und Sumpfpflanzen, Bd. 3. Jena: Gustav Fischer 1911. — [22] HEJNY, S.: Ökologische Charakteristik der Wasser- und Sumpfpflanzen in den slowakischen Tiefebene. Bratislava: Verl. Slow. Ak. d. Wiss. 1960. — [23] LOHAMMAR, G.: Symbolae Botan. Upsalienses 3, 1 (1938). — [24] LUTHER, H.: Acta Botan. Fenn. 49, 1 (1951). — [25] MÜLLER-STOLL, W.: Ber. deut. bot. Ges. 56, 355 (1938). — [26] OTIS, CH. H.: Botan. Gaz 58, 457 (1914). — [27] RODEWALD-RUDESCU, L.: Stuful si valorificarea Lui Editura Tehnica (1953). — [28] ROLL, H.: Arch. Hydrobiol. 31, 159 (1939). — [29] RUTNER, F.: Österr. Botan. Z. 94, 265 (1947). — [30] FASSETT, N. C.: A manual of aquatic plants. London: McGraw-Hill Book Co. 1940. — [31] BITTMANN, E.: Landw. ang. Wiss. 79, 47 (1956). — [32] HILFER, K.: Wasser und Boden 6, 174 (1952). — [33] KIRWALD, E.: Gewässerpflege. München-Basel-Wien: BLV Verlagsges. 1964. — [34] BORDO, J. A.: Deut. Wasserwirtsch. 10, 253 (1959). — [35] RODEWALD-RUDESCU, L.: Arch. Hydrobiol. 54, 303 (1958). — [36] WALLNER, J. X.: Deutsch. Wasserwirtsch. 44, 3 (1953/54). — [37] WANDEL, G.: Arb. d. Landesamt f. Gewk. i. Min. f. Wi. u. Verk. d. L. Nordrhein-W. — [38] WEIMANN, R.: VDG-Mitt. 9/10, 2 (1960). — [39] SEIDEL, K.: Die Flechtbinse, *Scirpus lacustris* L., Ökologie, Morphologie und Entwicklung, ihre Stellung bei den Völkern und ihre wirtschaftliche Bedeutung. Stuttgart: Schweizerbartsche Verlagsb. 1955. — [40] BAKKER, D.: Acta Botan. Neerl. 3, 425 (1954). — [41] OTZEN, D.: Acta Botan. Neerl. 11, 37 (1962). — [42] SEIDEL, K.: Naturwissenschaften 50, 452 (1963). — [43] SEIDEL, K.: Naturwissenschaften 52, 398 (1965). — [44] SEIDEL, K.: Naturwissenschaften 51, 395 (1964). — [45] WOHLRABR u. S. C. EMEIS: Gesundheitswesen und Desinfektion. Hamburg: Dr. Blume (1956/57). — [46] ALTHAUS, W.: Gas- u. Wasserfach (1966) (im Druck). — [47] WINTER, A. G., u. F. SCHÖNBECK: Naturwissenschaften 46, 537 (1959). — [48] KICKUTH, R., u. R. ALDAG: Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenk. (1966) (im Druck). — [49] SEIDEL, K., u. R. KICKUTH: Naturwissenschaften 52, 517 (1965). — [50] FLAIG, W., u. E. SAALBACH: Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenk. 72, 1 u. 7 (1956). — [51] VELZ, C. J., u. J. J. GANNON: Intern. Conf. Water Poll. Res. 1/16, Oxford (1963). — [52] PARKISON, D. u. R. PEARSON: Nature 205, 205 (1965). — [53] SCHEFFER, F., R. KICKUTH u. I. H. VISSER: Z. Pflanzenernähr. Düng. Bodenk. 98, 114 (1962). — [54] LACY, M. L., u. C. E. HORNER: Phytopathology 52, 39 (1962). — [55] NAUMOWA, A. N.: Mikrobiologiya 22, 281 (1953). — [56] BOHLMANN, F., H. BORNOWSKI u. C. ARNDT: Fortschr. chem. Forsch. S. 138 (1962).

Eingegangen am 15. April 1966