©Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschaft; www.tuexenia.de; download unter www.zobodat.at

Floristisch-ökologische Charakterisierung und Gliederung der Osterseen (Oberbayern) mit Hilfe von submersen Makrophyten

von

A. Melzer, W. Haber und A. Kohler

Einführung

Makrophytische Wasserpflanzen haben in den vergangenen Jahrzehnten für die Typisierung von Gewässern, vor allem aber für die Kennzeichnung ihres Gütezustandes ständig an Bedeutung zugenommen. In den skandinavischen Ländern wurde mit Hilfe dieser Wasserorganismen ein detailliertes Seetypensystem entwickelt (vgl. z.B. MARISTO 1941). Während über die Zusammenhänge zwischen Gewässerbelastung und Makrophytenverbreitung aus Skandinavien umfangreiche Studien vorliegen (vgl. SUOMINEN 1968, KURIMO 1970, ELORANTA 1970, 1972, UOTILA 1971), wurden in Mitteleuropa Fragestellungen dieser Art erst in diesem Jahrzehnt intensiver bearbeitet. Über den Zeigerwert der Makrophyten in Fließgewässern konnten durch genaue Kartierungen und durch Messungen chemisch-physikalischer Parameter gründliche Erfahrungen gemacht werden, die in vielen Fällen eine Güteklassifikation dieser Ökosysteme nach floristischen Kriterien erlauben (vgl. KOHLER 1975, s. dort weitere Literatur). Im Hinblick auf die Typisierung und Güteeinteilung von Stillgewässern liegen ebenfalls neuere Arbeiten vor. PIETSCH (1972) legte eine Gewässertypologie vor, die aufgrund von floristisch-vegetationskundlichen und wasserchemischen Parametern entwickelt wurde. Auch für die Gütekartierung des Bodensees (LANG 1973) und des Zürichsees (LACHAVANNE & WATTENHOFER 1975) haben sich Makrophyten gut bewährt.

Der vorliegenden Studie, welche sich auf die Arbeit von MELZER (1976) stützt, liegen detaillierte Kartierungsergebnisse und chemisch-physikalische Wasseranalysen an den Osterseen zugrunde. Mit Hilfe von diesen floristischen und wasserchemischen Parametern soll versucht werden, eine Güteklassifikation dieser Seen und somit eine Typeneinteilung zu erarbeiten.

Für das Studium der kontrollierenden Wirkung der Gewässerbelastung auf die Verbreitung von Submersen stellen die Osterseen, die von Natur aus einem oligotrophen, aber Ca-Hydrogencarbonatreichen Grundtypus (*Chara*-See) angehören, ein nahezu ideales modellhaftes Untersuchungsobjekt dar. Sie weisen folgende Charakteristika auf:

- die 19 Osterseen stehen durch Kanäle miteinander in Verbindung;
- es erfolgt eine natürliche Durchströmung (in S-N-Richtung);
- Belastungen (häusliche, kommunale Abwässer, Landwirtschaft) wirken punktförmig auf den Anfang der Seenkette im S ein;
- die Seen sind klein (1–8 ha) nur der Fohnsee (21 ha) und der Große Ostersee (119 ha) sind größer;
- wegen ihrer gemeinsamen Entstehungsart (Toteisseen) ähneln sie sich in ihrer Morphologie (Trichterform) sehr;
- es gibt einige Anhangseen, die nicht in der durchströmten Seenkette liegen, sondern in diese entwässern. Unter diesen Anhangseen liefert vor allem der Lustsee als völlig unbelastete „Nullparzelle" wichtige biologische und chemische Vergleichsdaten;
- somit reicht das Spektrum der Seetypen vom oligotrophen bis zum eutrophen See, mit einem gut feststellbaren Gradienten zwischen diesen Extrempunkten.

Die starke Fächerung und Variation der standörtlichen Gegebenheiten setzen sich in eine große Speciesdiversität der limnischen Lebensgemeinschaften um. Trotz der Kleinräumigkeit der Seenkette (6 km Gesamtlänge) ist die Anzahl der vorkommenden makrophytischen Wasserpflanzen daher sehr groß. Wir fanden nicht weniger als 51 Arten, wobei von den Helophyten nur diejenigen erfaßt wurden, deren Standort ganzjährig vom Seewasser beeinflußt wurde.

©Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschaft; www.tuexenia.de; download unter www.zobodat.at

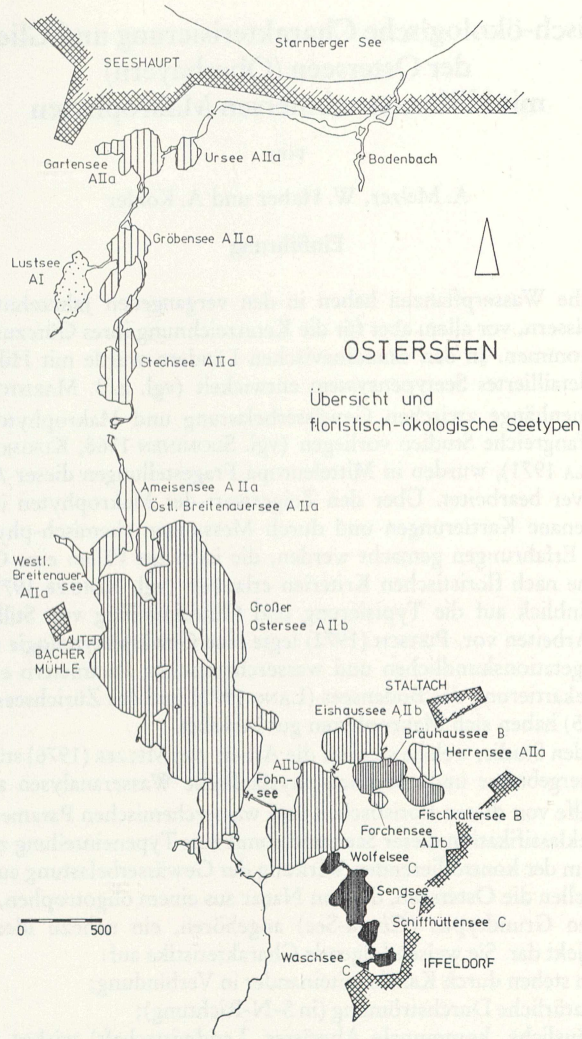

Abb. 1: Osterseen. Floristisch-ökologische Seetypen, s. Legende Abb. 2.

Differenzierende Umweltfaktoren

1. Das Grundwasser

An den Osterseen erfahren die erwähnten standortbedingenden Faktoren eine zusätzliche Überformung durch das Grundwasser. Manche Seen werden durch Quelltrichter, Limnokrenen und diffuse Sickerwasseraustritte reichlich mit dem kühl-stenothermen und sauerstoffreichen Grundwasser gespeist, andere nur unwesentlich oder gar nicht. Zu unterscheiden sind diese Seen u. a. in ihrem thermischen Verhalten, der Stabilität ihrer Schichtung, der Bedeckung mit Eis im Winter, sowie ihren hypolimnischen Sauerstoffgehalten während der beiden Stagnationsperioden. Dabei wirkt das zuströmende Grundwasser dämpfend auf den vertikalen Temperaturgradienten im See wie auch auf die Intensität der Sauerstoffzehrung im Tiefenwasser.

Völliger O_2-Schwund über Grund tritt bei den Grundwasserseen – selbst bei starker Belastung – nicht auf, während in einigen unbelasteten Seen ohne Grundwasserzutritte gegen Ende des Sommers völlige Sauerstoffzehrung und z. T. sogar Schwefelwasserstoffbildung festzustellen ist. Ursache dafür ist ausschließlich der vom Sediment ausgehende Sauerstoffverbrauch.

©Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschaft; www.tuexenia.de; download unter www.zobodat.at

Ein Extrem unter den Grundwasserseen stellt noch der Lustsee (Tiefe: 18 m) dar. An diesem völlig unbelasteten See treten nicht nur – wie zu erwarten – geringe O_2-Zehrungen auf, sondern es kann sogar zu hypolimnischen Sauerstoffübersättigungen in 10–15 m Tiefe kommen. Begründet liegt diese selten zu beobachtende Schichtung ursächlich in der außergewöhnlichen Wassertransparenz dieses Sees (durchschnittliche sommerliche Sichttiefen um 10 m!), die es den *Characeen*-Rasen ermöglicht, den Gewässergrund bis in große Tiefen (max. 17 m) massenhaft zu besiedeln. Durch ihren assimilatorisch produzierten Sauerstoff erfolgt somit jene O_2-Übersättigung.

2. Nährstoffbelastung

Im Bereich der südlich an die Seenkette angrenzenden Ortschaften Iffeldorf und Staltach konnten direkte Einleitungen häuslicher und kommunaler Abwässer festgestellt werden. Deren Nährstoffkonzentrationen weichen von denen des Seewassers in krasser Weise ab. Für das gelöste o-Phosphat und Ammonium liegen sie z. B. einige hundertmal höher (mg- anstatt µg-Bereich). In ähnlichen Dimensionen bewegen sich die Konzentrationen des von seeangrenzenden Dauerweiden bei Starkregen oberflächlich eingetragenen Abflußwassers. In diesem waren mehr als 20 mg an pflanzenverfügbarem o-Phosphat im Liter gelöst, der Kaliumgehalt in der gleichen Menge Wassers lag bei nahezu 60 mg.

Nicht in allen Fällen trifft die Aussage zu, daß das in die Seen strömende Grundwasser diese in Richtung auf Oligotrophie beeinflußt. Die im Bereich von Iffeldorf und Staltach versickernden häuslichen Abwässer führen nämlich zu einer Belastung des Grundwassers. Durch eine vergleichende Untersuchung verschiedenster Grundwasseraustritte im Gebiet der Seenkette konnte diese Nährstoffanreicherung nachgewiesen werden. Für das Problem der Abwasserbeseitigung in diesem Gebiet ergibt sich somit die Konsequenz, daß eine Versickerung, selbst vorgereinigter Abwässer, keine brauchbare Lösung darstellt.

Chemisch-physikalische Gewässercharakterisierung

Es sind im Osterseengebiet daher zwei, in ihrer Intensität stark variierende Einflußgrößen, die die Zusammensetzung der makrophytischen Wasserpflanzen steuern: das Grundwasser und die eingeleiteten und eingeschwemmten Nährstoffe. Offensichtlich ist dabei, daß das Grundwasser (fast immer) in Richtung auf Oligotrophie, die anthropogen verursachten Einleitungen in Richtung auf Eutrophie wirken. Da die beiden steuernden Größen die Seen nicht streng getrennt voneinander, sondern z. T. auch gemeinsam beeinflussen, ergibt sich derzeitig folgende Seetypenkonstellation:

1. unbelastete Seen mit starkem Grundwasserzustrom
2. unbelastete Seen ohne Grundwasserzutritte
3. belastete Seen mit starkem Grundwasserzustrom
4. belastete Seen ohne Grundwasserzutritte

Da sich innerhalb einer Seenkette die beschriebenen Feinabstufungen im Gehalt an festen und gelösten Stoffen unterschiedlichster Qualität einstellen, verkörpern nur wenige Seen diese Typen in vollkommener Art und Weise, viele stellen Übergangsformen dar. Zur Charakterisierung des Gewässerzustandes untersuchten wir eine Reihe chemisch-physikalischer Meßgrößen, von denen die meisten den von Höll (1970) als „chemische Verschmutzungsindikatoren" angegebenen entsprechen. Im einzelnen wurden erfaßt: Temperatur, pH, Leitfähigkeit, Sauerstoff, Sichttiefe, Wasserhärten, Hydrogenkarbonat, Abdampfrückstand, Glühverlust, Glührückstand, Permanganatverbrauch, Calcium, Kalium, Natrium, Ammonium, Nitrat, gel. Ortho-Phosphat, Gesamtphosphat, Chlorid, Sulfat, Kieselsäure.

Einige der aufgeführten Parameter stellen für die Makrophyten der Seenkette keine regulierende Größe dar. Das liegt zum einen daran, daß sie nicht essentiell für das Pflanzenwachstum sind, zum anderen daran, daß manche Elemente in allen Seen in so großen Mengen vorhanden sind, daß die zusätzlichen, durch eine Belastung bedingten Erhöhungen zwischen den Seen keine Rolle spielen.

Für eine Anzahl von Meßgrößen ergibt sich eine annähernd lineare Abnahme vom Anfang der Seenkette im S, d. h. also von der Belastungsquelle an, bis zu ihrem Ende im Norden. Die prozentuale Abnahme von See zu See kann bei den einzelnen Größen jedoch sehr wohl ver-

©Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschaft; www.tuexenia.de; download unter www.zobodat.at

schieden sein (zur genauen Beschreibung der chemisch-physikalischen Verhältnisse an den Osterseen vgl. MELZER 1976). Mehr oder weniger gleichmäßige Gradienten weisen folgende Parameter auf:

Calcium:	55–115 mg Ca^{++}/l
Wasserhärte:	13–18° dGH
spez. Leitfähigkeit:	250–550 μS_{18}
Kalium:	0,2–2,0 mg K^{+}/l
Natrium:	1,5–7,5 mg Na^{+}/l
Nitrat:	1,0–5,0 mg NO_3^{-}-N/l

Am Anfang der Seenkette wurden somit die höheren Werte, an ihrem Ende die niederen ermittelt. Beim Kalium, Natrium und Nitrat stellen die niedrigsten Werte jedoch die Gehalte des unbelasteten Lustsees dar. Seine Calciumkonzentrationen (und damit auch Wasserhärten und Leitfähigkeitswerte) tendieren dagegen zu den Höchstwerten, da das zuströmende Grundwasser sehr reich an Calciumhydrogencarbonat ist.

Gleich hoch liegen etwa die Sulfatkonzentrationen der Seen. Die möglichen Schwankungen eines einzelnen Sees während des Sommerhalbjahrs (10–20 mg SO_4^{--}/l sind genau so hoch wie die zwischen den Seen festgestellten. Nur die Gehalte des südöstlichen Nebenzweiges weichen davon ab (15–25, in einem Fall ca. 40 mg/l). Überaus groß sind die Fluktuationen der Konzentrationen an Ammonium und gelöstem o-Phosphat. Sie sind nicht nur zwischen den Seen groß, sondern sie sind es auch innerhalb eines Sees, zeitlich wie räumlich. Die an der Oberfläche gemessenen Werte liegen beim gelösten o-PO_4^{3-} zwischen 0 und ca. 100 µg P/l, bei Ammonium zwischen 0 und max. 250 µg N/l. Im Hypolimnion werden diese Gehalte jedoch wesentlich überschritten.

Den eindeutigsten Nachweis einer Gewässerbelastung liefern, wie auch an vielen anderen Seen, die Gesamt-Phosphat-Konzentrationen. Dabei ist neben deren Höhe vor allem das Ausmaß und die Intensität der Phosphatverschleppung innerhalb der Seenkette bemerkenswert. Unter allen aufgeführten Parametern liegen hier die stärksten Rückhalteraten vor. Die hohen Werte des belasteten Waschsees (um 100 µg P/l) nivellieren sich in den nachfolgenden Seen sehr rasch auf ein niedrigeres und konstantes Niveau von ca. 15 µg P/l. Rasch gedämpft werden auch die seeinternen Schwankungen im Gesamt-P-Gehalt; wesentlich sind sie nur an den beiden ersten Seen der Gewässerkette (Waschsee, Schiffhüttensee).

Die Makrophytenvegetation der Seenkette

Nachstehend wird ein Überblick über die an der Osterseegruppe gefundenen makrophytischen Wasserpflanzen gegeben, die nach der von SEGAL (1968) vorgeschlagenen Gliederung geordnet sind. SEGAL unterteilt Wasserpflanzen nach ihren Wuchs- und Lebensformen in drei Hauptgruppen: die Pleusto-, Rhizo- und Haptophyten. Wir zählen zu den Wasserpflanzen i.e.S. auch noch die am Gewässerrand wachsenden amphi- und helophytischen Arten, falls sie – zumindest mit ihrem Wurzelbereich – ganzjährig vom Seewasser beeinflußt werden.

Pleustophyten

Lemniden:
Lemna minor

Ceratophylliden:
Ceratophyllum demersum
Utricularia australis
Utricularia intermedia
Utricularia minor
Utricularia ochroleuca

©Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschaft; www.tuexenia.de; download unter www.zobodat.at

Rhizophyten

Elodeiden:

a) Potamiden

Chara aculeolata f. *intermedia* und f. *polyacantha*
Chara aspera
Chara contraria
Chara contraria var. *hispidula*
Chara fragilis
Chara hispida
Chara tomentosa
Chara vulgaris
Elodea canadensis
Hippuris vulgaris
Nitella opaca
Potamogeton coloratus
Potamogeton crispus
Potamogeton gramineus
Potamogeton lucens
Potamogeton x *nitens*
Potamogeton pectinatus
Potamogeton perfoliatus
Potamogeton pusillus s.l.
Tolypella glomerata
Zannichellia palustris

b) Myriophylliden

Myriophyllum spicatum
Myriophyllum verticillatum
Ranunculus circinatus

Nymphaeiden:

Nuphar lutea
Nymphaea alba var. *minor*
Potamogeton natans

Haptophyten:

Fontinalis antipyretica

Amphiphyten

Agrostis stolonifera f. *submersa*
Juncus alpino-articulatus
Juncus subnodulosus
Mentha aquatica
Myosotis palustris
Nasturtium officinale
Schoenoplectus lacustris
Sparganium erectum
Sparganium minimum
Veronica anagallis-aquatica
Veronica beccabunga

Helophyten

Cicuta virosa
Cladium mariscus
Iris pseudacorus
Menyanthes trifoliata
Phragmites australis
Solanum dulcamara
Typha latifolia

Sehr verschieden ist die Häufigkeit der Arten innerhalb der Seenkette. Einige sind an allen Seen mehr oder weniger stark verbreitet, von anderen liegt nur ein Fundort vor und wieder andere bevorzugen ganz spezielle Gewässerabschnitte. So gibt es z.B. Spezialisten, die im Bereich der Quellaustritte ausschließlich *(Agrostis stolonifera* f. *submersa, Juncus alpino-articulatus, Veronica anagallis-aquatica)* oder bevorzugt *(Juncus subnodulosus, Mentha aquatica)* vorkommen.

Vergleicht man das Verbreitungsbild der einzelnen Arten mit den Ergebnissen der chemisch-physikalischen Untersuchungen, so können Aussagen über den Indikatorwert der Makrophyten getroffen werden. Da sich die Belastungssituation am deutlichsten im Gesamt-Phosphatgehalt der Seen widerspiegelt, lohnt es sich besonders, zwischen diesem und der Pflanzenverbreitung vergleichende Betrachtungen anzustellen.

©Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschaft; www.tuexenia.de; download unter www.zobodat.at

Floristisch-ökologische Seetypen

Im Folgenden sollen den weiter oben nach Gesichtspunkten der Gewässerbelastung und dem Einfluß des Grundwasserzustroms aufgestellten Seetypen die jeweils charakteristischen Florenelemente zugeordnet werden.

1. Chara-Seen (A)

Hierzu gehören alle unbelasteten, höchstens mäßig belasteten Seen des Gebietes. Die Abgrenzung der Seen mit von den Seen ohne Grundwasserzutritte erfolgt dabei neben qualitativen vor allem durch quantitative Unterschiede der vorhandenen Characeen, sowie deren räumliche Verteilung im See.

a) Subtypus mit Tiefen-Charetum (A I)

Der einzige Vertreter dieses Typs ist der bereits mehrfach erwähnte Lustsee, also ein unbelasteter Grundwassersee. Aufgrund seiner geringen Phytoplanktonproduktion weist der See hohe Sichttiefen auf (maximal festgestellt: 16 m). Besonders charakteristisch ist die räumliche Verteilung der Armleuchteralgen im See. Erst unterhalb 6–8 m Tiefe treten Characeen massenhaft auf, wo sie großflächige, bis zu einem Meter hohe und dicht verfilzte Bestände ausbilden. Dieses Tiefen-Charetum setzt sich zusammen aus: *Chara hispida, Chara tomentosa, Chara aculeolata* und *Chara contraria.* Letztgenannte Art steigt bis etwa 10 m Tiefe hinab, die anderen bis ca. 15 m (zur Erfassung und Kartierung der submersen Vegetation vgl. MELZER 1976). Ausschließlich auf den Flachwasserbereich (0,5–2 m Tiefe) beschränkt ist dagegen das Vorkommen von *Chara aspera,* ohne daß die kleine und zartwüchsige Art aber ähnliche Häufigkeiten erreicht wie die in der Tiefe wachsenden Characeen.

An submersen Gefäßmakrophyten kommen ausschließlich Wasserschlaucharten vor, wobei *Utricularia minor* und vor allem *U. ochroleuca* hier ihren Verbreitungsschwerpunkt besitzen. *Utricularia australis* wächst hier dagegen nur vereinzelt.

b) Subtypus ohne Tiefen-Charetum (A II)

Hierzu gehören alle übrigen Seen, mit Ausnahme der stärker belasteten Seen im Süden (Waschsee, Schiffhüttensee, Sengsee, Wolfelsee, Fischkaltersee und Bräuhaussee). Kennzeichen dieser *Chara*-Seen ist, daß unterhalb 7–8 m Tiefe überhaupt keine *Chara*-Rasen mehr gedeihen. Das ist die Tiefengrenze, bei der im Lustsee die Besiedlung erst richtig beginnt. Das Fehlen der Characeen auf dem Seegrund dürfte wohl mit den geringeren Sichttiefen dieser Seen zusammenhängen, die im Sommer durchschnittlich 3,0–4,0 m betragen. Das verbindende Glied zwischen beiden Varianten stellt der Herrensee, ein Anhangsee im SO dar, bei dem die Sichttiefe um 5 m und die Tiefengrenze der Characeenverbreitung zwischen 9 und 10 m liegt.

Außer durch ihr fehlendes Tiefen-Charetum unterscheiden sich die übrigen *Chara*-Seen vom Lustsee aber auch noch dadurch, daß sie von anderen oder zusätzlichen Makrophyten besiedelt werden. Hierbei treten Abweichungen nicht nur im Vergleich zum Lustsee auf, sondern auch innerhalb dieser Gruppen von Seen sind sie so offensichtlich, daß eine Unterteilung in zwei Varianten möglich ist:

Utricularia-Variante (A II a)

Diese steht dem Lustsee noch sehr nahe. Wie in diesem kommen auch hier *Utricularia ochroleuca* und *U. minor* häufig vor, zusätzlich auch *U. australis.* Ausschließlich an diese Variante gebunden ist auch *Potamogeton coloratus,* bevorzugt *P. natans.*

Alle nördlich der Großen Osterseen gelegenen Seen gehören dieser floristischen Variante an.

©Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschaft; www.tuexenia.de; download unter www.zobodat.at

Myriophyllum-Variante (A IIb)

Durch das häufige Auftreten von *Myriophyllum verticillatum* und *M. spicatum* wird die Ablösung der *Chara*-Seen durch eutrophere Typen angezeigt. In den nördlichsten, unbelasteten Seen gedeihen die beiden *Myriophyllum*-Arten überhaupt nicht, vielmehr gehören sie zum Arteninventar der weiter südlich gelegenen *Chara*-Seen, die den belasteten Seen nachgeschaltet sind. Ähnliche Indikatoreigenschaften kommen auch *Potamogeton perfoliatus* zu.

2. Ceratophyllum-Seen (B)

Nur vier der 19 Osterseen kann man anhand ihrer Temperatur- und Sauerstoffschichtung als reine Grundwasserseen einstufen (Lustsee, Waschsee, Schiffhüttensee, Sengsee). Für die übrigen, mehr oder weniger grundwasserunbeeinflußten Seen, die also zahlenmäßig überwiegen, ist bei einer Gewässerbelastung demnach eine andere floristische Entwicklung zu erwarten als an den Grundwasserseen. Am eutrophen Fischkaltersee und dem nachgeschalteten Bräuhaussee hat sich diese Entwicklung bereits vollzogen und in der Herausbildung eines *Ceratophyllum*-Sees ihr derzeitiges Endstadium erreicht. Das Vorkommen von *Ceratophyllum demersum* beschränkt sich ausschließlich auf die beiden nahe der Ortschaft Staltach gelegenen, grundwasserunbeeinflußten Seen.

Schon einen Monat nach der Vollzirkulation ist die hypolimnische Sauerstoffzehrung an diesen Seen so stark, daß über Grund Schwefelwasserstoffbildung stattfindet. Bis zum Ende des Sommers schreitet diese weiter nach oben fort, so daß in etwa 4 m Tiefe die H_2S-Zone mit der höchsten Sauerstoffsättigung zusammenstößt. Extrem sind auch die Sichttiefenverhältnisse der Seen, denn selten liegt die Wassertransparenz über 2 m.

Wie in den *Fontinalis*-Seen, dem Typ des belasteten Grundwassersees, gedeihen hier ebenfalls keine Characeen und von den übrigen im Seengebiet gefundenen submersen Makrophyten sind darüberhinaus nur sehr wenige Arten entdeckt worden. Dabei waren lediglich die beiden Tausendblatt-Arten, die das in der Sukzession zeitlich vorgeschaltete *Myriophyllum*-Stadium der *Chara*-Seen charakterisieren, häufiger zu finden.

3. Fontinalis-Seen (C)

Im Verhältnis zu ihrem Volumen ist die Grundwasserbeeinflussung der drei Seen bei Iffeldorf (Waschsee, Schiffhüttensee und Sengsee) besonders groß, was an ihrer Temperaturschichtung deutlich abzulesen ist. Aber nicht nur der relative Grundwasserzustrom ist hier groß, auch das Ausmaß der Gewässerbelastung übersteigt das der übrigen Seen.

Aufgrund dieser extremen Standortverhältnisse hat sich an den drei Seen ein eigener submerser Bewuchs mit Makrophyten entwickelt. Neben *Fontinalis antipyretica* kommt *Hippuris vulgaris* etwa die gleiche Bedeutung zu. Von anderen submersen Arten liegen nur Einzelfundorte vor, Characeen gedeihen hier überhaupt nicht. Für das Quellmoos gilt dabei mit Sicherheit, daß nicht die Belastung der Seen Ursache für seine Ansiedlung war, sondern vielmehr seine bekannte und namengebende Bevorzugung des dort zu Tage tretenden Quellwassers. Ein Widerspruch scheint dabei in der Tatsache zu liegen, daß das vermeintlich an reines Quellwasser gebundene Vorkommen des Mooses trotz der starken Gewässerbelastung bestehen blieb. Die Erklärung dafür liegt darin, daß *Fontinalis antipyretica* Quellwasser wegen dessen Gehalt an freiem Kohlendioxid bevorzugt. Wie für andere Wassermoose auch, stellt freies CO_2 die einzige assimilatorisch verwertbare Kohlenstofform für *Fontinalis* dar (vgl. RUTTNER 1948). Gegenüber der Gewässergüte ist das Moos dagegen euryök (vgl. auch KOHLER & ZELTNER 1974).

Überblick über die Makrophytenverteilung

Anhand einer ökologischen Reihe (vgl. Abb. 2) soll die Verteilung der wichtigsten Indikatorpflanzen des Seengebietes zusammenfassend dargestellt werden. Diese Arten kennzeichnen auch die drei floristischen Haupttypen (*Chara*-, *Fontinalis*-, *Ceratophyllum*-Seen), sowie deren mögliche Subtypen und Varianten.

©Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschaft; www.tuexenia.de; download unter www.zobodat.at

Im Gelände wurden die Seen, entsprechend ihrer Größe, in mehr oder weniger viele Einzelabschnitte unterteilt und in diesen die Pflanzenhäufigkeit nach einer fünf Stufen umfassenden Skala (vgl. TÜXEN & PREISING 1942) geschätzt. Zur besseren Übersichtlichkeit faßten wir die Häufigkeiten der Einzelabschnitte eines Sees zusammen und reduzierten die gemittelten Werte auf drei Häufigkeitsstufen (Verbreitungsschwerpunkt, verbreitet, selten bis vereinzelt), um keine größere Genauigkeit vorzutäuschen, als bei dieser Durchschnittsbildung erzielt werden konnte.

Mit zwei Ausnahmen wurden die Seen in der Graphik entsprechend ihrer geographischen Lage innerhalb der Seenkette aufgetragen. Das betrifft den Lust- und Herrensee, die als unbelastete Anhangseen an den Anfang der Reihung gesetzt wurden, wo sie nach ihrem Gewässerzustand und damit auch ihrer floristischen Entwicklungsstufe hingehören. Vom Garten- bis zum Fischkaltersee schließt sich die Gruppe der grundwasserbeeinflußten Seen an, wobei die Durchströmung allerdings in umgekehrter Richtung verläuft. Am Ende stehen die drei belasteten Grundwasserseen bei Iffeldorf, die nicht in den Fischkalter See, sondern in den Fohnsee entwässern. An diesem spaltet sich die Seenkette in zwei Seitenzweige auf (vgl. Abb. 1).

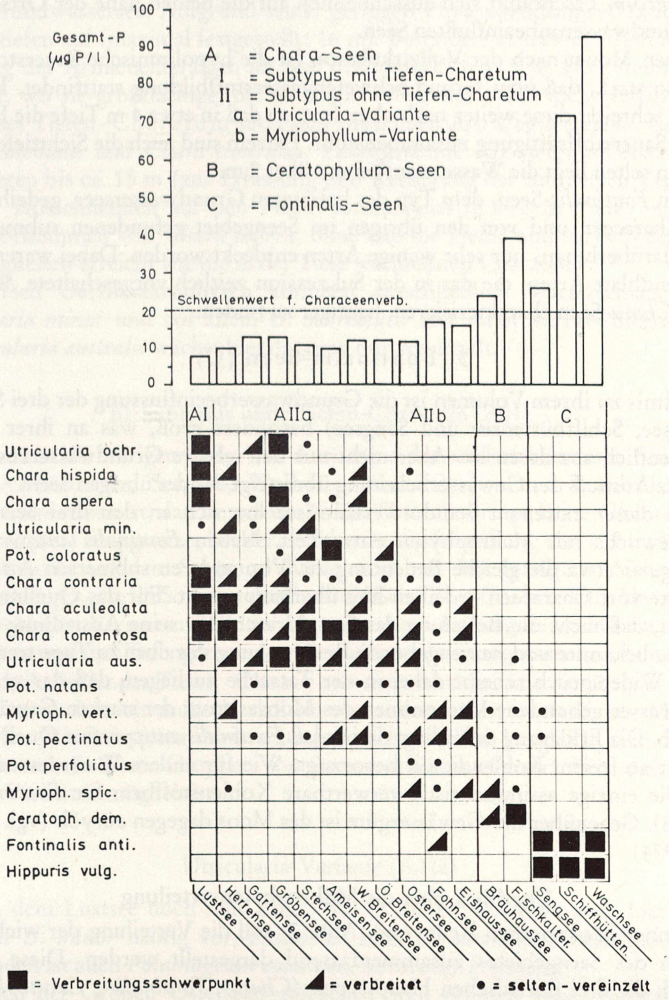

Abb. 2: Makrophytenverbreitung in den Osterseen als Basis für die floristisch-ökologischen Seetypen.

©Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschaft; www.tuexenia.de; download unter www.zobodat.at

Eine weitere Information wird durch die Gesamtphosphatgehalte der Seen (sommerlicher Durchschnitt) gegeben. Man erkennt, daß dort, wo die Phosphatgehalte stark ansteigen, die Arten der *Chara*-Seen fast vollständig zurückgedrängt werden. Auffallend ist auch die Artenarmut der belasteten Seen (Typ B u. C), d.h. eine Gewässerbelastung drückt sich im Seengebiet weniger durch das Auftreten vieler eutraphenter (grundwasserbevorzugender oder -meidender) Arten aus, sondern viel auffälliger im Ausfallen der oligo- und mesotraphenten Vegetationsglieder. Nachdrücklich wird damit unter Beweis gestellt, wie stark diese Arten durch eutrophierende Einflüsse gefährdet werden und welche grundlegende Umstellungen in der Makrophytenzusammensetzung von Seen dabei ablaufen können. In diesen Tatsachen liegt die besonders gute Eignung submerser Makrophyten als Indikatororganismen u. a. begründet.

Characeen als Indikatorpflanzen

In Abb. 2 wird graphisch angedeutet, daß Characeen-Vorkommen vom Gesamt-P-Gehalt des Wassers eindeutig beeinflußt werden. Auf diesen Sachverhalt soll im Folgenden näher eingegangen werden (vgl. dazu Abb. 3).

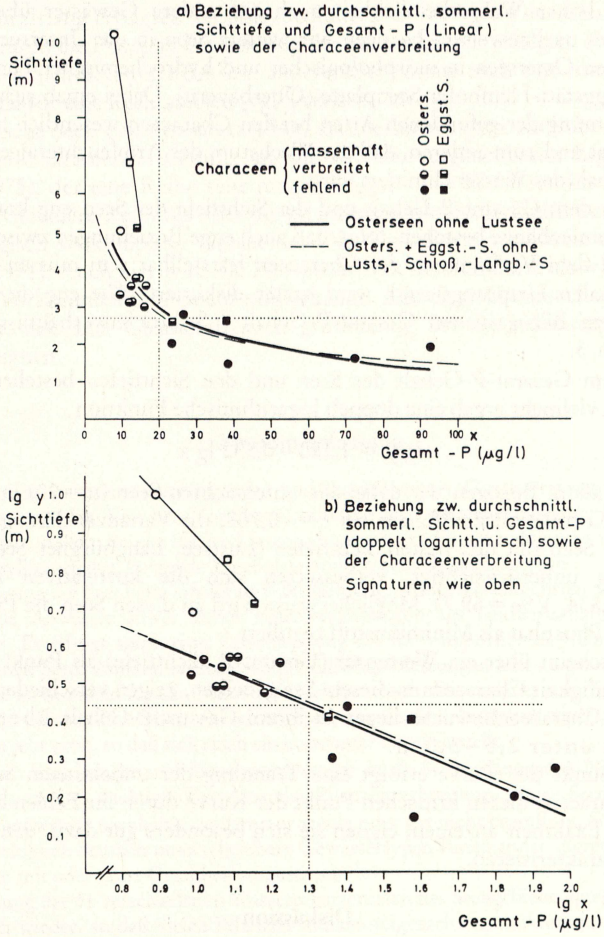

Abb. 3: Beziehungen zwischen durchschnittlicher sommerlicher Sichttiefe und dem Gesamt-Phosphat sowie der Characeenverbreitung: a) linear, b) doppelt logarithmisch.

©Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschaft; www.tuexenia.de; download unter www.zobodat.at

Im Gebiet der Osterseen gedeihen Characeen nur in den Seen, deren durchschnittlicher sommerlicher Gesamt-P-Gehalt nicht mehr als 20 µg P/l beträgt. Zwar stellt diese Phosphatkonzentration auch für die anderen oligotraphenten Arten einen kritischen Schwellenwert dar, am Vorhandensein oder Fehlen der Characeen kann dieser jedoch gesicherter festgestellt werden, denn:

- Characeen treten zumeist massenhaft auf, sind daher oft leichter zu finden als andere Makrophyten
- Characeen sind in oligotrophen Stillgewässern fast immer anzutreffen
- Characeen besiedeln als „Therophyten" günstige Standorte in kürzester Zeit
- unter günstigen Umweltbedingungen können sie den Gewässergrund – vom Flachwasserbereich bis in größere Tiefen – besiedeln
- fast alle Characeen reagieren gleich auf eine zunehmende Gewässerbelastung. So stark divergierende Reaktionen, wie etwa unter den Laichkraut- oder Hahnenfußgewächsen, bestehen nicht.

Für submerse Gefäßpflanzen treffen diese Gesichtspunkte nicht oder nur weniger eindeutig zu; Characeen sind daher für die Indikation bestimmter Gewässerzustände besonders gut geeignet. Vor allem auch deshalb, weil die an einem See oder einer Seengruppe gewonnenen Ergebnisse mit hoher Wahrscheinlichkeit auch auf andere Gewässer übertragen werden können. Um dies nachzuweisen, bezogen wir weitere Seen in die Untersuchungen mit ein, und zwar die den Osterseen in morphologischer und hydrochemischer Hinsicht ähnelnden Gewässer der Eggstätt-Hemhofer Seenplatte (Oberbayern). Dabei ergab sich zum einen, daß die Übereinstimmung der gefundenen Arten bei den Characeen wesentlich höher als bei den Gefäßpflanzen ist und zum anderen, daß das Wachstum der Armleuchteralgen auch an diesen Seen vom P-Gehalt des Wassers limitiert wird.

Da zwischen dem Gesamt-P-Gehalt und der Sichttiefe der Seen eng korrelierte und gut erklärbare Zusammenhänge bestehen, folgt, daß auch enge Beziehungen zwischen der Wassertransparenz und dem Vorkommen der Characeen feststellbar sein müssen. Ob diese möglicherweise kausalen Ursprungs sind, wird später diskutiert. Wie eng die Characeen-Verbreitung mit dem Bezugssystem Gesamt-P-Gehalt / Sichttiefenverhältnisse verknüpft ist, verdeutlicht Abb. 3.

Zwischen dem Gesamt-P-Gehalt der Seen und den Sichttiefen bestehen keine linearen Abhängigkeiten, vielmehr ergab eine doppelt logarithmische Funktion

$$\lg y = 1{,}180 - 0{,}532 \lg x$$

die beste Korrelation. Bezogen wir dabei alle untersuchten Seen ($n = 20$) in die Berechnung ein, so lag der Korrelationskoeffizient bei $r = -0{,}768$, die Varianzerklärung bei $V\% = 59{,}0$. Blieben die drei Seen mit den besten Sichttiefen (Lustsee, Langbürgner See, Schloßsee) bei der Berechnung unberücksichtigt, verbesserten sich die korrelativen Zusammenhänge deutlich ($r = -0{,}834$, $V\% = 69{,}7$). Möglicherweise wird an diesen Seen die Primärproduktion nicht allein vom Phosphat als Minimumstoff reguliert.

Jeder See erscheint über ein Wertepaar (Gesamt-P, Sichttiefe) als Punkt in der Graphik. Mit welcher Häufigkeit Characeen in diesem See gedeihen, zeigen verschiedene Signaturen an. Alle Seen ohne Characeenbewuchs liegen in ihrem Gesamt-P-Gehalt über 20 µg P/l, in ihren Sichttiefen unter 2,5 – 3,0 m.

Am Wendepunkt der Kurve erfolgt eine Trennung der unbelasteten Seen von den belasteten. Da Characeen diesen kritischen Punkt der Kurve durch ihr Fehlen oder Vorhandensein mit großer Exaktheit anzeigen, eignen sie sich besonders gut dazu, den Trophiezustand eines Sees zu charakterisieren.

Diskussion

Welche starke Veränderungen eine zunehmende Gewässereutrophierung für die Zusammensetzung und Artenvielfalt der Makrophyten eines Sees nach sich ziehen kann, verdeutlicht

©Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschaft; www.tuexenia.de; download unter www.zobodat.at

in Mitteleuropa der intensiv untersuchte Bodensee am besten. Die seit dem Anfang dieses Jahrhunderts (vgl. BAUMANN 1911) bis heute (vgl. LANG 1968) aufgetretene Florenverarmung und Umschichtung innerhalb der dominierenden Artengruppen sind eindrucksvolle Kennzeichen der fortschreitenden Gewässerveränderung.

Die spezielle Anordnung der Osterseen ist der Grund dafür, daß die einzelnen Stadien einer zunehmenden Trophierung in einem räumlichen Nebeneinander angeordnet sind und jeder Teilabschnitt in seinen Folgen sichtbar wird. Vorgänge, die an einzelnen Seen oft sehr langsam ablaufen und deren Auswirkungen z. T. erst nach einer Reihe von Jahren zu bemerken sind, werden an dieser Seenkette in ihre Teilphasen aufgelöst und in gut ablesbare Informationen umgesetzt. Den Zustand, den heute noch der oligotrophe Lustsee repräsentiert, kann man mit Sicherheit als einen gemeinsamen Ausgangspunkt ansehen, von dem aus Veränderungen einsetzten, deren Ursachen aber keinesfalls nur auf menschliche Einflüsse zurückzuführen wären. Die in den letzten drei Jahrzehnten so rasch eingetretenen sind dagegen sicherlich anthropogener Natur. Durch die (mündl.) Aussagen von Fischern und Seeanliegern wird diese letzte Entwicklungstendenz bestätigt. An Vergleichsdaten liegen für die Osterseen leider nur die Ergebnisse einiger Temperatur- und Sauerstoffmessungen vor (ZORELL 1941).

Allgemein drückt sich die Belastung der Osterseen in einer Verarmung an oligotraphenten Arten aus. Daß sich hier ein Ersatz durch eutraphente Arten kaum vollzogen hat, liegt z. T. an dieser erst kurzfristig erfolgten Trophiezunahme. Der Rückgang der Characeen dürfte auf der einen Seite durch die Phosphatbefrachtung der Seen mittelbar erfolgen, etwa durch die sich verschlechternden Sichttiefenverhältnisse; andererseits könnte auch eine direkte Wirkung des P als Maximumfaktor eine Rolle spielen (vgl. FORSBERG 1964).

Für schwedische Seen gibt FORSBERG (1965) darüberhinaus ganz ähnliche Phosphatschwellenwerte für die Characeenverbreitung an wie wir. Zu vergleichbaren Ergebnissen kommt auch HAMM (1975), der eine Reihe sehr junger Bagger- und Kleinseen im Münchner Raum untersucht hat. Genauere Kenntnis über die pflanzensoziologische Einbindung der Characeen in das hydrologisch so komplexe Gebiet der Oberrheinebene vermitteln die Arbeiten von KRAUSE (1969, 1971). Auch hier wird die Phosphatarmut der Standorte als wichtiges Regulativ für Characeen-Vorkommen untersucht und erkannt. Alle diese Untersuchungen sind sichere Hinweise dafür, daß sich Characeen auch großräumig zur Bioindikation von Gewässerzuständen gut eignen.

Zusammenfassung

Da die Osterseen ein zusammenhängendes und durchflossenes Gewässersystem darstellen, dessen einzelne Seen nicht nur vom Alter her (Toteisseen), sondern auch weitgehend in ihrer Morphologie Übereinstimmung zeigen, stellen sie ein ideales Untersuchungsobjekt für limnologische und speziell hydrobotanische Fragestellungen dar. Folgende Ergebnisse können herausgestellt werden:

- Die Durchströmung der Seenkette erfolgt in S-N-Richtung, wobei die südlichsten Seen durch häusliche und kommunale Abwässer sowie durch Einschwemmungen aus landwirtschaftlichen Nutzflächen belastet werden. Es erfolgt somit eine Verschleppung der im S importierten Nährstoffe in die weiter nördlich gelegenen Seen. Anhand chemisch-physikalischer Messungen konnte gezeigt werden, daß der Umsatz von See zu See nicht für alle Nährstoffe gleich verläuft. Die meisten unterliegen linearen Rückhalteraten; beim Gesamt-Phosphat, als wichtigstem chemischen Indikator einer Gewässerbelastung, sind sie dagegen sehr groß, so daß sich rasch ein konstanter Pegel einstellt.
- Neben den durch Einleitungen und Einschwemmungen in die Seen gelangenden Nährstoffen wirkt das Grundwasser als zweites wichtiges Regulativ der Pflanzenverbreitung. Einige Seen werden durch zuströmendes Grundwasser nachhaltig, andere nur wenig oder gar nicht beeinflußt. Somit lassen sich vier chemisch-hydrologisch deutlich unterscheidbare Gewässertypen voneinander abgrenzen: belastete bzw. unbelastete Seen mit oder ohne Grundwasserzustrom.
- In der Verbreitung der 51 verschiedenen Wasserpflanzenarten des Seengebietes spiegelt sich diese Typisierung deutlich wieder, so daß vielen Pflanzen Indikatoreigenschaften zukommen (Abb. 1 und 2). Im Seensystem gehören alle unbelasteten bis höchstens mäßig eutrophierten Gewässer dem Typus des *Chara*-Sees an. Dabei bestehen zwei Subtypen, die sich durch das Vorhandensein oder Fehlen eines

©Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschaft; www.tuexenia.de; download unter www.zobodat.at

Tiefen-Charetum unterscheiden. Eine weitere Differenzierung, die der natürlichen Sukzession entspricht, bedeutet der Übergang vom *Utricularia*- zum *Myriophyllum*-Stadium dieser *Chara*-Seen (Abb. 1 und 2).

Eine floristisch völlig voneinander abweichende Entwicklung nehmen die beiden belasteten Seetypen, die einerseits grundwasserbeeinflußt, andererseits -unbeeinflußt sein können. Erstere haben sich zu *Fontinalis*-Seen, zweitere zu *Ceratophyllum*-Seen umgebildet. Characeen konnten hier nicht nachgewiesen werden.

- Durch eine ökologische Reihe (Abb. 2) wird ein zusammenfassender Überblick über die Verbreitung der häufigsten Makrophyten innerhalb des Seengebietes vermittelt. Deutlich zu erkennen ist dabei, daß oligotraphente Arten nur in den Seen vorkommen, deren durchschnittliche sommerliche Gesamt-P-Gehalte nicht über 20 µg P/l liegen (Abb. 3). Dieser Beobachtung wird bei den Characeen durch Einbeziehung weiterer Seen näher nachgegangen. Da für Characeen an diesen Seen (Eggstätt-Hemhofer Seenplatte) die gleiche Limitierung durch Phosphat besteht, eignen sie sich besonders gut dazu, bestimmte Gewässerzustände zu indizieren, zumal diese Zusammenhänge statistisch abgesichert werden konnten.

Schriften

Baumann, E. (1911): Die Vegetation des Untersees (Bodensee). – Arch. Hydrobiol. Suppl. I: 1–554.

Eloranta, P. (1970): Pollution and aquatic flora of waters by sulphite cellulose factory at Mäntta, Finish Lake District. – Ann. Bot. Fennici 7: 63–141. Helsinki.

Forsberg, C. (1964): Phosphorous, a maximum factor in the growth of Characeae. – Nature 201: 517–518.

–,– (1965): Environmental conditions of Swedish charophytes. – Symb. Bot. Ups. 18 (4): 1–67.

Glänzer, U. (1974): Experimentelle Untersuchungen über das Verhalten submerser Makrophyten bei NH_4^+-Belastung. – Verh. Ges. Ökol. Saarbrücken 1973: 175–179. Den Haag.

Hamm, A. (1975): Chemisch-biologische Gewässeruntersuchungen an Kleinseen und Baggerseen im Großraum München im Hinblick auf die Bade- und Erholungsfunktion. – Münchener Beiträge 26: 75–110.

Höll, K. (1970): Wasser-Untersuchung, Beurteilung, Aufbereitung, Chemie, Bakteriologie, Biologie. – 5. Aufl., Berlin.

Kohler, A. (1975): Makrophytische Wasserpflanzen als Bioindikatoren für Belastungen von Fließgewässer-Ökosystemen. – Verh. Ges. Ökol. Wien 1975: 225–276. Den Haag.

Kohler, A. & Zeltner, G. (1974): Verbreitung und Ökologie von Makrophyten in Weichwasserflüssen des Oberpfälzer Waldes. – Hoppea 33: 171–232. Regensburg.

Krause, W. (1969): Die Characeenvegetation der Oberrheinebene. – Arch. Hydrobiol. Suppl. 35 (2): 202–253. Stuttgart.

–,– (1971): Die makrophytische Wasservegetation der südlichen Oberrheinebene. – Die Äschenregion. – Arch. Hydrobiol. Suppl. 37: 387–465. Stuttgart.

Kurimo, U. (1970): Effect of pollution on the aquatic macroflora of the Varkaus area, Finish Lake District. – Ann. Bot. Fennici 7: 213–245. Helsinki.

Lachavanne, J.-B. & Wattenhofer, R. (1975): Contribution à l'étude des Macrophytes du Léman. – Comm. internat. pour la Prot. des eaux du Léman et du Rhône contre la pollution. Genf.

Lang, G. (1968): Vegetationsveränderungen am Bodenseeufer in den letzten hundert Jahren. – Schrift. Ver. Gesch. d. Bodensees 86: 295–319.

–,– (1973): Die Makrophytenvegetation in der Uferzone des Bodensees. – Ber. Gewässerschutzkommission f. d. Bodensee 12: 1–67.

Maristo, L. (1941): Die Seentypen Finnlands auf floristischer und vegetationsphysiognomischer Grundlage. – Ann. Bot. Soc. Zool. – Bot. Fenn. Vanamo 15: 1–314. Helsinki.

Melzer, A. (1976): Makrophytische Wasserpflanzen als Indikatoren des Gewässerzustandes oberbayeri-Seen; dargestellt im Rahmen limnologischer Untersuchungen an den Osterseen und den Eggstätt-Hemhofer Seen (Oberbayern). – Dissert. Bot. 34. Vaduz.

Pietsch, W. (1972): Ausgewählte Beispiele für die Indikatoreigenschaften höherer Wasserpflanzen. – Arch. Naturschutz u. Landschaftsforsch. 12 (2): 121–151. Berlin.

Ruttner, F. (1948): Das Verhalten von Elodea canadensis und Fontinalis antipyretica in Lösungen von Natrium- bzw. Kaliumkarbonat. – Österr. bot. Z. 95: 208–238. Wien.

Segal, S. (1968): Ein Einteilungsversuch der Wasserpflanzengesellschaften. – In: R. Tüxen, Pflanzensoziologische Systematik: 191–219. Den Haag.

©Floristisch-soziologische Arbeitsgemeinschaft; www.tuexenia.de; download unter www.zobodat.at

Suominen, J. (1968): Changes in the aquatic macroflora of the polluted Lake Rautavesi, SW-Finland. – Ann. Bot. Fennici 5: 65–81. Helsinki.

Tüxen, R. & Preising, E. (1942): Grundbegriffe und Methoden zum Studium der Wasser- u. Sumpfpflanzengesellschaften. – Dtsch. Wasserwirtschaft 37: 10–17 u. 57–69. München, Stuttgart.

Uotila, P. (1971): Distribution and ecological features of hydrophytes in the polluted Lake Vanajavesi, S-Finland. – Ann. Bot. Fennici 8: 257–295. Helsinki.

Zorell, F. (1941): Beiträge zur Kenntnis der oberbayerischen Osterseen. – Mitt. Geogr. Ges. München 33: 19–42.

Anschriften der Verfasser:

Dr. A. Melzer, Am Hörchersberg 6, D-7800 Freiburg-Littenweiler.

Prof. Dr. W. Haber, Institut für Landschaftsökologie der T.U. München, D-8050 Freising-Weihenstephan.

Prof. Dr. A. Kohler, Institut für Landeskultur und Pflanzenökologie der Univ. Hohenheim (LH), D-7000 Stuttgart 70.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Mitteilungen der Floristisch-soziologischen Arbeitsgemeinschaft (alte Serie)

Jahr/Year: 1977

Band/Volume: NF_19-20

Autor(en)/Author(s): Haber Wolfgang, Kohler Alexander, Melzer Arnulf

Artikel/Article: Floristisch-ökologische Charakterisierung und Gliederung der Osterseen (Oberbayern) mit Hilfe von submersen Makrophyten 139-151