

EINFLÜSSE EINER GEWÄSSERBELASTUNG AUF DIE MAKROPHYTEN-VEGETATION DER OSTERSEEN, EINER SEENKETTE IN OBERBAYERN

A. MELZER

Abstract

Outstanding hydrologic and morphologic circumstances favoured the Oster lakes for studies on aquatic vascular plants. The Oster lakes include 19 small lakes that are located south of „Lake of Starnberg“ (Upper Bavaria) and which all drain in south-north direction.

One of the main problems to be investigated was the effect of eutrophication due to single species of macrophytic water plants. As the sources of sewage (consisting of agricultural and communal waste water) are located only at the upper southern lakes, the effect of displacement of organic nutrition, respectively the hold-off was clearly observed. Not only pollution caused by man but also ground water flowing into some of the lakes controls variety of aquatic vegetation. Within the chain of lakes there are four distinctive elements of flora; either belonging to a natural lake or to a polluted lake – with or without ground water inlets.

From the results it is revealed that the most sensory species are the Characeae. They only will grow up to a certain amount of total phosphorus ($20 \mu\text{g P/l}$) – passing this rate will soon cause a sudden collapse as it is displayed in parts of this group of lakes.

1. Einleitung

In fließenden wie in stehenden Gewässern vollziehen sich als Reaktion auf belastende Einflüsse Veränderungen in der Zusammensetzung der makrophytischen Vegetation. Solche Ergebnisse wurden bisher u.a. an Seen in Skandinavien (vgl. z.B. Forsberg 1964a, Suominen 1968, Kurimo 1970), an grossen Seen des Alpenraumes (Bodensee: Lang 1973, Zürichsee: Lachavanne & Wattenhofer 1975) und Fließgewässern in Süddeutschland (vgl. Kohler et al. 1971, 1974) gewonnen. Für bayerische Seen liegen dagegen noch keine vergleichbaren Untersuchungen vor, die Arbeiten von Hamm (1975) über Baggerseen ausgenommen.

Um die Veränderungen in der Vegetationszusammensetzung von Seen in Abhängigkeit von Belastungen zu studieren, wurden die makrophytische Wasservegetation einer Seengruppe (Osterseen) kartiert und mit den Ergebnissen chemisch-physikalischer Erhebungen verglichen. Dabei sollte gleichzeitig Aufschluß über den Indikatorwert einzelner Vegetationsglieder erhalten werden.

2. Untersuchungsgebiet

Im Süden des Starnberger Sees liegen die Osterseen, ein aus 19 miteinander verbundenen Gewässern bestehendes Toteisseengebiet. Auf Grund ihrer gemeinsamen Entstehungsart bestehen für ihre morphologischen und hydrologischen Kenngrößen, den Großen Ostersee ausgenommen, weitgehende Übereinstim-

mungen. Innerhalb der Seenkette ist eine natürliche Durchströmung vom südlichsten See bis zum Ende der Seenkette im N festzustellen. Bei einer Gesamtlänge des Seensystems von ca. 5 km beträgt die Höhendifferenz zwischen dem südlichsten und dem nördlichsten See 10 m. 15 der 19 Seen, die man wegen ihres sommerlichen Schichtungstyps als solche bezeichnen kann, sind größer als 2 ha und dabei zwischen 10 und 30 m tief. Besondere Erwähnung verdient der Lustsee, ein im nördlichen Teil des Seensystems gelegener Anhangsee, der nicht in der durchströmten Gewässerkette liegt, sondern, von zahlreichen Grundwasseraustritten gespeist, in diese entwässert. Er liefert als völlig unbelastete „Nullparzelle“ wichtige chemische und biologische Daten.

3. Belastung der Seen

Durch zahlreiche Analysen konnte nachgewiesen werden, daß die Osterseen im wesentlichen durch häusliche und kommunale Abwässer belastet werden, die in die südlichen Seen, also den „Anfang“ der Seenkette eingeleitet werden. Dort reichen auch zahlreiche landwirtschaftliche Nutzflächen bis an die Seenufer heran, so daß oberflächlich eingeschwemmte Nährstoffe die Belastungssituation in diesem Bereich verschärfen. Bei Starkregen konnten im oberflächlich in die Seen fließenden Hangwasser z.B. sehr hohe Konzentrationen an gelöstem o-Phosphat (über 20 mg P/l), Kalium (ca. 60 mg K⁺/l) und Nitrat (ca. 15 mg N/l) nachgewiesen werden. Diese Konzentrationen liegen z.T. einige hundertmal höher als die des Seewassers.

Für die chemisch-physikalischen Verhältnisse des Seensystems spielt das einigen Seen reichlich zuströmende Grundwasser eine entscheidende Rolle. Da im Bereich der Ortschaften Iffeldorf und Staltach, die im S an die Seen angrenzen, noch keine Kanalisierung und Reinigung der anfallenden häuslichen Abwässer durchgeführt wird, gelangen durch Versickerungen Nährstoffe in den Grundwasserstrom. Durch vergleichende Untersuchungen konnte nachgewiesen werden, daß die Zusammensetzung des Wassers siedlungsnaher Quelltrichter wesentlich von der siedlungsferner Quelltrichter abweicht. Das betrifft auch die Gehalte an gelöstem, pflanzenverfügbarem o-Phosphat.

Wegen der Durchströmung der Seenkette erfolgt eine Verschleppung der in die südlichen Seen importierten Nährstoffe in die sich nach N anschließenden Gewässer. Dabei ergeben sich für einzelne Nährstoffe, je nach ihrer pflanzenphysiologischen Bedeutung oder den für sie zutreffenden Fällungs- bzw. Sorptionsmechanismen, sehr unterschiedliche Rückhalteraten.

4. Chemismus der Seen

Die Osterseen weisen für Stillgewässer des Alpenvorlandes sehr hohe Calciumgehalte (und damit auch Wasserhärten und Leitfähigkeitswerte) auf. Sie liegen mit 55–115 mg Ca⁺⁺/l (Wasserhärte: 13–18° dGH, spez. Leitf.: 250–550 μ S₁₈) wesentlich über denen anderer oberbayerischer Seen. Wie für diese drei Parameter, so zeigt sich auch bei den Kalium- und Natriumgehalten eine annäh-

**Gesamt-P-gehalt
d. Osterseen, Oberfl.
Apr.-Sept. 75 ($\mu\text{g P/l}$)**

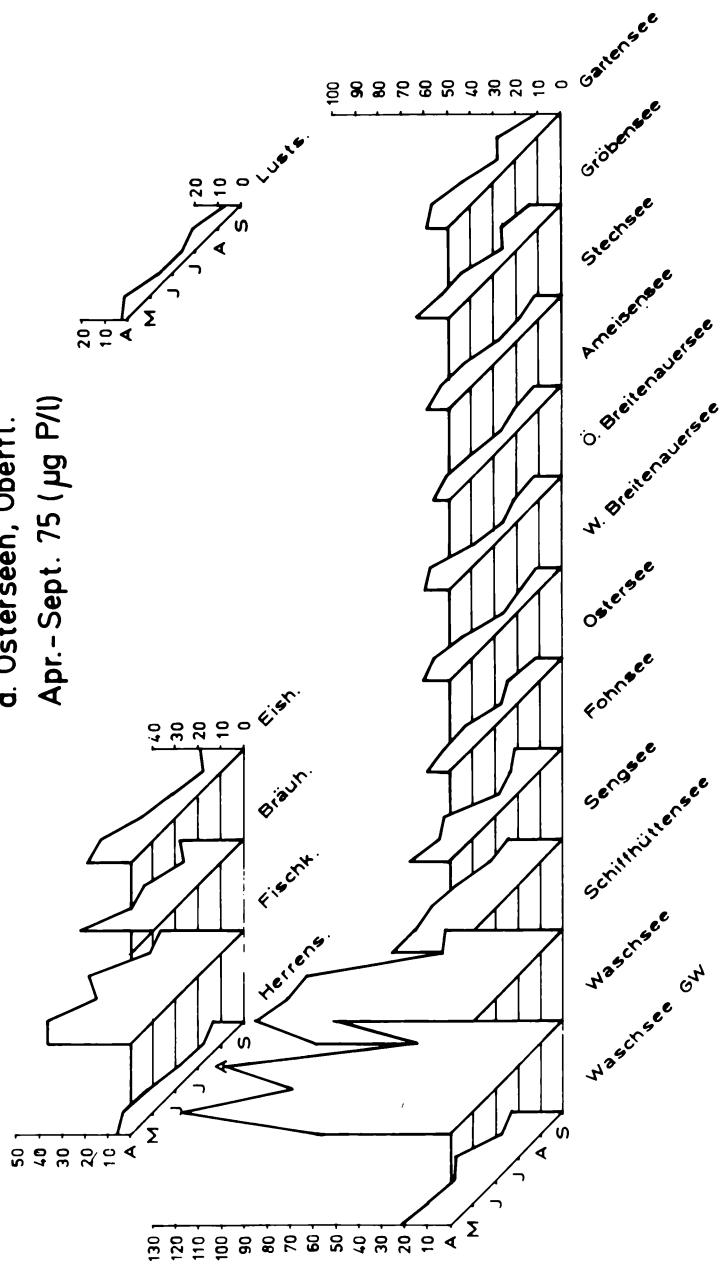


Abb. 1. Gesamt-Phosphatgehalt der Osterseen im Sommerhalbjahr 1975 (nach Melzer 1976). Die Reihung der Seen erfolgte nach ihrer natürlichen Lage innerhalb der Seenkette.

erdn lineare, abnehmende Tendenz vom höchsten See der Kette (Waschsee) bis zum nördlichsten See. Während des Sommers schwanken die Konzentrationen beim Kalium zwischen 0,5 und 2,0 mg K⁺/l, beim Natrium zwischen 4 und 7 mg Na⁺/l. Die Osterseen weisen relativ hohe Gehalte an Nitrat auf. Sie liegen bei den belasteten Seen zwischen 3 bis max. 5mg NO₃⁻-N/l, bei den unbelasteten Seen zwischen 1 und 2 mg.

Die Gesamt-P-Gehalte der Seen verdeutlichen das Ausmaß der Belastung besonders nachdrücklich. Abb. 1 gibt die Verhältnisse für das Sommerhalbjahr 1975 wieder. Die Seen wurden in der Graphik nach ihrer natürlichen Lage innerhalb der Seenkette angeordnet. Die Durchströmung erfolgt von links nach rechts. Parallel zum Hauptstrang wurden ein südöstlicher Nebenzweig und der Lustsee gesetzt, die am Fohnsee bzw. am Gröbensee in das große Seensystem münden (vgl. Karte 1). Zusätzlich aufgeführt sind die Gehalte eines Quelltrichters, der am Anfang der Seenkette liegt. Die sich in hohen Gesamt-P-Gehalten äußernde Belastung konzentriert sich deutlich auf die südlichen Seen. Für das allochthon zugeführte Phosphat stellen die Seen somit eine wirksame „Falle“ dar, d.h. die Rückhalteraten in den einzelnen Seen sind hier besonders hoch.

5. Einfluß auf den Makrophytenbestand

Als Folge der variierenden Nährstoffverhältnisse zwischen den einzelnen Seen ergeben sich innerhalb des kleinräumigen Gebietes der Osterseen erstaunliche Konsequenzen für die Zusammensetzung der makrophytischen Wasservegetation. Um die Vegetationsverteilung möglichst genau zu erfassen, wurde der gesamte von makrophytischen Wasserpflanzen bewachsene Uferbereich durch Taucharbeit kartiert und die „Pflanzenmenge“ (vgl. Tüxen & Preisung 1942) nach einer fünfstufigen Skala geschätzt. In den belasteten, produktiven und damit wenig transparenten Seen wurde die Vegetation vom Boot aus mit einem Rechen kartiert. Im Lustsee reichte die Vegetation bis 17 m Tiefe hinab, sonst lag ihre Tiefengrenze zwischen 4 und 8 m (zur genauen Kartierungstechnik vgl. Melzer 1976). Insgesamt wurden an den Osterseen 51 verschiedene Wasserpflanzenarten gefunden, ganzjährig vom Seewasser beeinflusste Amphi- und Helophyten eingerechnet.

Neben den anthropogen verursachten Gewässerbelastungen reguliert auch das den einzelnen Seen unterschiedlich stark zuströmende Grundwasser die Vegetationszusammensetzung nachhaltig. Vor allem deshalb, weil das Grundwasser CO₂-reich ist und einigen Pflanzen damit die Kohlenstoffform liefert, auf die sie bei der Assimilation angewiesen sind (vgl. Schwoerbel 1974).

Im Gebiet der Osterseen ergibt sich auf Grund der derzeitigen Belastungssituation die Konstellation, daß man vier Haupttypen von Gewässern voneinander abgrenzen kann. Diesen können meistens ganz spezielle Pflanzenarten, zumindest jedoch Verbreitungsschwerpunkte einzelner Florenelemente zugeordnet werden. Diese vier Seetypen sind:

1. unbelastete Grundwasserseen
2. belastete " "
3. unbelastete Seen ohne Grundwasserzufluß

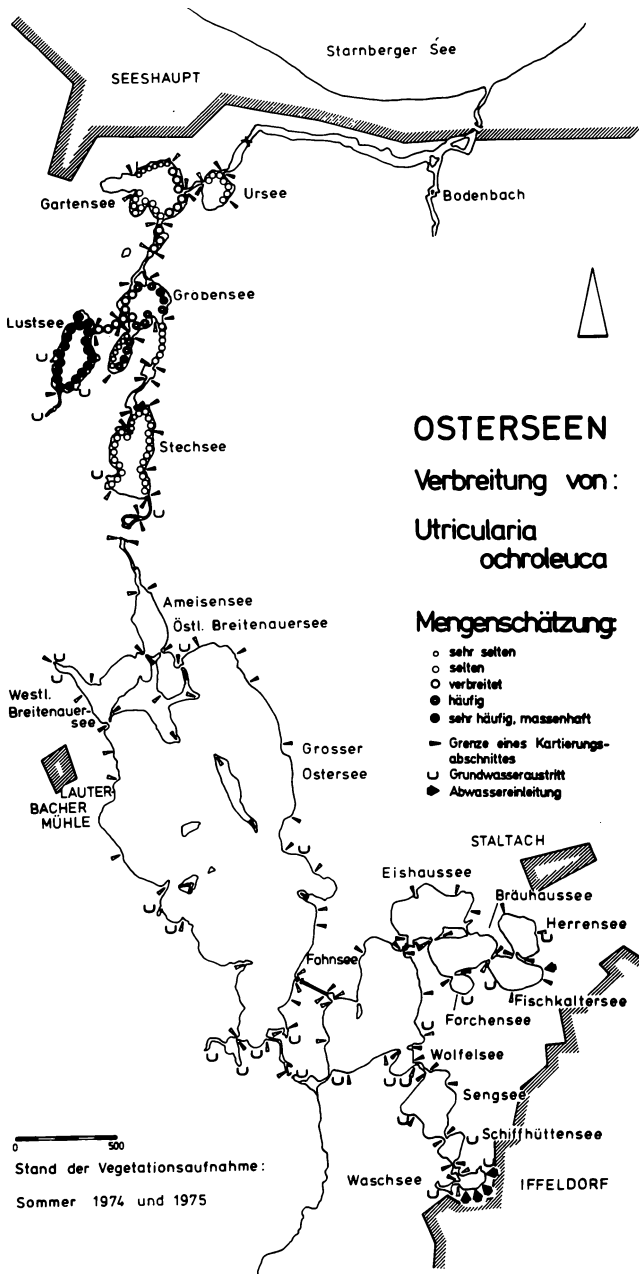


Abb. 2. Verbreitung von *Utricularia ochroleuca* im Osterseengebiet (nach Melzer 1976). Das Vorkommen dieser oligotraphenten Art beschränkt sich auf die unbelasteten nördlichen Seen.

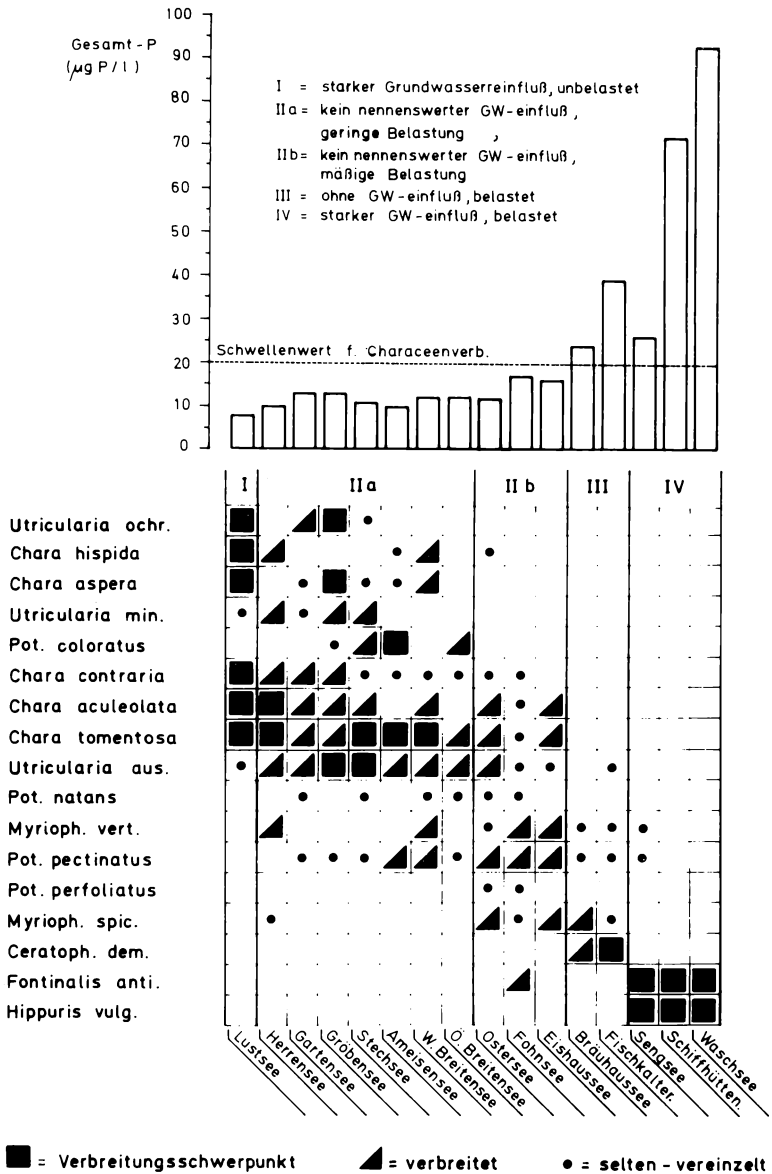


Abb. 3. Übersicht über Gesamt-P-Gehalt, Seetypen und Pflanzenverbreitung im Osterseen-gebiet (nach Melzer 1976).

4. belastete Seen ohne Grundwasserzustrom

Wie sich die Verhältnisse für eine Art der unbelasteten Seen darstellen, zeigt Abb. 2. Der Verbreitungsschwerpunkt des ockerfarbenen Wasserschlauches liegt eindeutig im Lustsee. Einige sehr häufige Vorkommen kann man aber auch noch in den unbelasteten Seen ohne Grundwasserzustrom feststellen, die ebenfalls im nördlichen Teil der Seenkette liegen. Ähnlich hohe Anforderungen an die Wasserqualität stellen *Chara hispida*, *Chara aspera*, *Potamogeton coloratus* und *Utricularia minor*. Weniger streng an die völlig unbelasteten Seen sind die übrigen Characeen sowie *Utricularia australis*, *Menyanthes trifoliata* und *Potamogeton pectinatus* gebunden. Diese Arten gedeihen aber ebenfalls noch nicht in den belasteten Seen. Mit ihrem Verbreitungsschwerpunkt näher an die belasteten Seen heran rücken *Potamogeton pectinatus*, *P. perfoliatus* sowie die beiden Tausendblattarten *Myriophyllum spicatum* und *M. verticillatum*. Ausschließlich in den belasteten Seen, die nicht vom Grundwasser beeinflusst werden ist *Ceratophyllum demersum* zu finden. Spezialisten für die belasteten Grundwasserseen sind *Fontinalis antipyretica* und *Hippuris vulgaris*.

Abb. 3 gibt den Zusammenhang zwischen Pflanzenverbreitung, Seetypen und Gesamt-P-Gehalt der Seen (= Ausmaß der Gewässerbelastung) in Form einer ökologischen Reihe wieder. Zu diesem Zweck wurden aus dem Makrophyteninventar der Osterseen 17 submerse Arten ausgewählt, aus deren Verbreitungsbild eine deutliche „Ja/Nein“-bzw. „Viel/Wenig“-Verteilung zwischen den einzelnen Seen festzustellen war. Damit wird auch besonders deutlich, wo und in welchem Umfang Veränderungen in der Vegetationszusammensetzung durch belastende Einflüsse stattgefunden haben.

Die Reihung der Seen entspricht der tatsächlichen topographischen Abfolge innerhalb der Seenkette, nur für den Lust- und Herrensee trifft das nicht zu, sie wurden als unbelastete und eingenständige „Anhangseen“ an den Anfang gestellt.

Aus der Graphik ist zu ersehen, daß der Großteil der Osterseen wenig belastet ist, was durch das Übergewicht oligo- und mesotraphenter Arten deutlich zum Ausdruck kommt. Die Vegetationsverhältnisse dieser unbelasteten Seen können als ursprünglich angenommen werden. Abweichungen davon sind auf den Einfluß von Gewässerbelastungen zurückzuführen. Daß sich diese weniger im Auftreten vieler verschiedener eutraphenter Arten ausdrücken, sondern durch das Ausbleiben der oligo- und mesotraphenten Vegetationsglieder erkennbar werden, zeigt deren starke Gefährdung durch eine Gewässereutrophierung an.

5.1. Characeen als Indikatoren einer Gewässerveränderung

Characeen zeigen Veränderungen im Gewässerzustand in Richtung auf einen steigenden Trophiegrad durch ihr rasches Absterben und Verschwinden aus dem Gewässer an. Dieser Vorgang findet u.a. bei der Beurteilung des Gütezustandes des Bodensees große Beachtung (vgl. Lang 1973).

Im Osterseengebiet ist die Toleranzgrenze der Characeen gegenüber einer Belastung wegen der experimenthaften Feinabstufungen im Nährstoffhaushalt des Seensystems gesichert feststellbar. Belastung ist an den Seen gleichzusetzen mit Gesamt-P-Gehalt des Wassers. Bei einem sommerlichen Durchschnittswert

von mehr als 20 $\mu\text{g P/l}$ ist die Toleranzgrenze für Characeen erreicht, und sie sterben ab. Ob die mit erhöhten Gesamt-P-Gehalten stets einhergehende Sichttiefenverminderung oder direkte schädigende Wirkungen durch das Phosphat diesen Effekt hervorrufen, kann noch nicht endgültig beurteilt werden. Untersuchungen von Forsberg (1964b) weisen auf die letztere der beiden Möglichkeiten hin.

Literatur

- Forsberg, C. (1964a): The vegetation changes in Lake Takern. *Svensk Bot. Tidskrift* 58: 44–54.
- Forsberg, C. (1964b): Phosphorus, a maximum factor in the growth of Characeae. *Nature* 201: 517–518.
- 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.
- Kohler, A., H. Vollrath, & Elisabeth Beisl (1971): Zur Verbreitung, Vergesellschaftung und Ökologie der Gefäßmakrophyten im Fließwassersystem Moosach (Münchener Ebene). *Arch Hydrobiol.* 69: 333–365.
- Kohler, A., R. Brinkmeier & H. Vollrath (1974): Verbreitung und Indikatorwert der submersen Makrophyten in den Fließgewässern der Friedberger Au. *Ber. Bayer. Bot. Ges.* 45: 5–36.
- Kurimo, U. (1970): Effect of pollution on the aquatic macroflora of the Varkaus area, Finish Lake District. *Ann. Bot. Fennici* 7: 213–245.
- Lachavanne, J.-B. & R. Wattenhofer (1975): Contribution à l'étude des Macrophytes du Léman. Commission internat. pour la protection des eaux du Léman et du Rhône contre la pollution. Genf.
- Lang, G. (1973): Die Makrophytenvegetation in der Uferzone des Bodensees. (Unter besonderer Berücksichtigung ihres Zeigerwertes für den Gütezustand). Internat. Gewässerschutzkommission für den Bodensee, Bericht 12: 1–67.
- Melzer, A. (1976): Makrophytische Wasserpflanzen als Indikatoren des Gewässerzustandes oberbayerischer Seen, dargestellt im Rahmen limnologischer Untersuchungen an den Osterseen und den Eggstätt-Hemhofer Seen. *Dissertationes Botanicae* 34. Lehre.
- Schwoerbel, J. (1974): Einführung in die Limnologie. 2. Aufl. Stuttgart.
- Suominen, J. (1968): Changes in the aquatic macroflora of the polluted Lake Rautavesi, SW-Finland. *Ann. Bot. Fennici* 5: 65–81.
- Tüxen, R. & E. Preisig (1942): Grundbegriffe und Methoden zum Studium der Wasser- und Sumpfpflanzengesellschaften. *Dtsch. Wasserwirtschaft* 37: 10–17, 57–69.

Anschrift des Verfassers:

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