

BIOINDIKATION DER OSTERSEEN - EUTROPHIERUNG

von A. Melzer

Einleitung:

Pflanzliche und tierische Organismen reagieren auf die an ihre Standort jeweils wirksam werdenden Umweltfaktoren auf je nach Art verschiedene, z.T. aber sehr typische Weise. Neben stenöken Arten, die sich durch eine besonders enge Standortbindung auszeichnen, gibt es solche, die wegen ihres euryöken Charakters ein sehr weites Spektrum an Umweltfaktoren tolerieren. Daraus läßt sich ableiten, daß einzelne Pflanzen- oder Tierarten zur Bioindikation von Umweltfaktoren besser oder schlechter geeignet sind. Denn ein wesentliches Kriterium, das ein Bioindikator erfüllen muß, ist das der engen quantitativen oder qualitativen Kopplung an einen biotischen oder abiotischen Umweltfaktor.

Im aquatischen Bereich werden sowohl Pflanzen wie auch Tiere seit langer Zeit zur Bioindikation von Gewässerzuständen herangezogen (vgl. z.B. KOLKWITZ und MARSSON 1908, 1909), wobei sich jedoch in vielen Fällen gezeigt hat, daß die einem Indikatororganismus zugesprochenen Zeigereigenschaften nicht ohne weiteres von einem Gewässer auf das andere zu übertragen^{sind}, denn es ist sehr bedeutsam, in welcher Faktorenkombination ein Einzelfaktor am Standort zur Wirkung kommt. So hat sich z.B. bei der Gütebeurteilung von Fließgewässern mit Hilfe tierischer Organismen gezeigt, daß viele Insektenlarven in langsam fließenden Gewässern bei organischer Belastung rasch verdrängt werden, während sie die gleiche Belastung bei höheren Fließgeschwindigkeiten ohne weiteres tolerieren. Daraus folgt, daß diese Insektenlarven in den schnell fließenden Gewässern einen scheinbar besseren Gütezustand indizieren.

Von den in Gewässern als Bioindikatoren zur Verfügung stehenden Organismen wurden makrophytische Wasserpflanzen erst in den letzten Jahren hinsichtlich ihres Zeigerwertes intensiver untersucht. Besondere Impulse erhielt diese Forschungsrichtung dabei durch Arbeiten an skandinavischen Gewässern (vgl. ELORANTA 1970, UOTILA 1971). Im süddeutschen Raum waren es KOHLER und seine Mitarbeiter (1973, 74, 75), die Fließwassermakrophyten von Gewässersystemen mit sehr unterschiedlicher Wasserqualität untersuchten. Auch eine Reihe stehender Gewässer Süddeutschlands, wie der Bodensee (LANG 1967), der Waginger-Tachinger See (NÄHER et al. 1974), einige Seen des Allgäus (FRÖBRICH et al. 1977), die Osterseen und die Eggstätt-Hemhofer Seen (MELZER 1976, 77), der Starnberger See (MELZER 1979) sowie eine Reihe von Baggerseen im Großraum München (HAMM 1975) wurden bereits kartiert, und die Verbreitungsmuster der Makrophyten zu den chemisch-physikalischen Verhältnissen der jeweiligen Gewässer in Beziehung gesetzt.

Geologische, hydrologische, chemisch-physikalische und morphologische Gründe favorisierten dabei die am Südende des Starnberger Sees gelegene Osterseengruppe als Objekt entsprechender Untersuchungen in besonderem Maße.

Geologische und hydrologische Beschreibung der Osterseen.

Im Gebiet der Osterseen findet sich eine ungeheure Fülle spätglazialer Reliefformen, wie Oser, Kames, Drumlins, Eisrandterrassen, Kesselfelder, Erosionsrinnen, Seiten- und Grundmoränen, sowie die in besonderer Weise die Landschaft prägenden Toteisseen. Die Bildung und der Erhalt dieser Formen beruht nach ROTHPLETZ (1917) auf dem raschen Rückzug des Isar-Vorlandgletschers und dessen Zerfall in unzählige Toteislinsen und -felder. Die postglaziale Entwicklung im Voralpenland führte zu einer Separierung des Osterseengebietes vom hydrologischen Regime der Alpen, was letztlich mitverantwortlich dafür war, daß ein Auffüllen oder Abtragen der oben genannten Reliefformen verhindert wurde.

Die Osterseen ähneln sich nicht nur hinsichtlich ihrer Entstehung, sondern sie besitzen auch alle die für Toteisseen typische trichterartige Form des Seebeckens. Die 20 zwischen 0,5 und 120 ha großen Seen außerdem durch Kanäle miteinander in Verbindung stehen und in Süd-Nord-Richtung durchströmt werden, gleichen sie sich ursprünglich auch vom Chemismus her: sie gehörten dem kalkoligotrophen Seetypus an. Heute muß diese Charakterisierung modifiziert werden. Obwohl hohe Ca-Gehalte immer noch ein auffälliges chemisches Merkmal der Seen sind, haben sich, ausgelöst durch anthropogen bedingte Gewässerbelastungen, starke Verschiebungen im Trophiezustand der Seen ergeben.

Als zusätzliche hydrologische Besonderheit ist auch noch die rege Grundwassertätigkeit innerhalb des Seengebietes anzusehen. Sichtbare Zeugen eines Grundwasserzustroms in die Seen sind dabei die im Uferbereich zahlreich anzutreffenden Quelltrichter, Limnokrenen und Sickerwasseraustritte. Nimmt man Tiefenprofile der Wassertemperatur, so vermitteln diese einen deutlichen Eindruck vom Ausmaß der Grundwasserbeeinflussung auf die Seethermik. Vor allem der Waschsee, Schiffhüttensee und Sengsee, die in der Nähe der Ortschaft Iffeldorf liegen (vgl. Abb. 1), spiegeln diese Beeinflussung sehr deutlich wider. Im Sommer erwärmen sich die drei Seen an der Oberfläche selten über 18°C. Mit der Tiefe nimmt die Temperatur dann rasch auf etwa 10°C ab, um auf diesem Niveau bis zum Gewässergrund zu bleiben. In Iffeldorf sind die stark Grundwasser beeinflussten Seen Wessensee, Sengsee und Waschsee u.a. bekannt. Man äußert, daß sie "wenn überhaupt", lange noch den Seen zuzufrieren, die keinen Grundwasserzuström aufweisen. Auch der im Nordteil der Seenkette gelegene Lustsee, ein Anhangsee, der in den Hauptstreng entwässert, gehört zu den Grundwasserseen. Dadurch er sich jedoch von den drei vorher erwähnten Seen dieses Typus völlig unterscheidet, ist seine Nährstoffsituation. Da der Lustsee auch heute noch völlig unbelastet ist, weist er alle Merkmale eines oligotrophen Sees auf, während die drei südlich gelegenen Grundwasserseen bei Iffeldorf durch Abwassereinleitungen und Nährstoffeinschwenkungen eine ganz andere Entwicklung genommen haben.

Belastung der Seen

Große Teile des Seengebietes werden von Wäldern, Flach- und Hochmooren umgeben und blieben daher nahezu unbewohnt. Die höher gelegenen und damit trockeneren Flächen der südlichen und südöstlichen Eisrandterrassen boten dagegen bessere Siedlungsvoraussetzungen und Nutzungsmöglichkeiten durch die Landwirtschaft, so daß es zu einer auffälligen Ungleichverteilung des menschlichen Einflusses im Seengebiet kam. Nur dort, wo Ortschaften und landwirtschaftliche Nutzflächen an die Seen grenzen, also im Süden und Südosten des Gebietes, traten Eutrophierungsprozesse auf, die sich in den letzten 30 Jahren, wie an vielen Gewässern Mitteleuropas, besonders rasch vollzogen haben und augenfällig wurden.

Hauptursachen der Belastung im Osterseengebiet sind dabei:

- a) direkte Einleitungen häuslichen und kommunalen Abwassers
- b) Einschwemmungen von Nährstoffen aus seeangrenzenden Weiden und Ackerflächen sowie
- c) der Zustrom nährstoffangereicherten Grundwassers.

Zu a) Ausschließlich der Waschsee und der Fischkaltersee werden durch direkte Abwassereinleitungen beeinflusst, wobei es an letzterem See Straßenabwässer sind, die vor allem bei Starkregen zu einer erheblichen Belastung führen können. Häusliches Abwasser wird am Waschsee eingeleitet, wo wir vier, von der Gemeinde nicht registrierte Zuflüsse fanden. Die Nährstoffkonzentration des dort zulaufenden Abwassers übersteigt die des Waschseewassers um Dimensionen. Einer der Zuläufe enthielt z.B. 12 mg Gesamtphosphat - P/l, während die durchschnittlichen Gehalte des Waschsees bei ca. 0,08 mg/l liegen. Extrem hoch gegenüber den Konzentrationen des Seewassers waren auch die an Ammonium-Stickstoff (28 mg NH_4^+ -N/l) und an Natrium (15 mg Na^+ /l), was für häusliches Abwasser aber charakteristisch ist.

Zu b) Auch die von landwirtschaftlichen Nutzflächen oberflächlich eingeschwemmten Nährstoffe können einzelne Seen erheblich

belasten. Diese Situation ist an den südlichen Seen bei Iffeldorf (Wasch-, Schiffhütten- und Sengsee) gegeben, wo die als Weideflächen genutzten Hänge der Eisrandterrasse bis an die Seeufer herantreten.

Es sind dabei verschiedene, den Bestrebungen des Gewässerschutzes zuwiderlaufende Bewirtschaftungsmaßnahmen, die sich negativ auf den Nährstoffzustand der Seen auswirken. Zu nennen sind hierbei das im Frühjahr erfolgende Ausbringen von Handels- und wirtschaftseigenem Dünger auf z.T. noch schneebedeckten und gefrorenen Boden, das Ablagern von Mist in der vom Seewasser beeinflussten Zone des Röhrichtgürtels sowie das Tränken des Viehs im See. Da die Weiden meistens ohne Abzäunung bis an die Seeufer herantreten, zerbeißen die Tiere das Röhricht, treten Uferteile herunter und entlassen ihre Exkremente oft direkt in die Seen.

An den stark geneigten Hängen kann die Einschwemmung von Nährstoffen bei Starkregen sehr groß sein. Das den drei Iffeldorfer Seen in kleinen Rinnsalen oberflächlich zuströmende Regenwasser enthielt bei einer Messung sehr hohe Gehalte an Ortho- und Gesamtphosphat (21,7 bzw. 24,3 mg P/l), Nitrat (14,5 mg N/l) sowie Kalium (58,1 mg K⁺/l). Diese Einschwemmungen sind mitverantwortlich dafür, daß nach längeren Regenperioden an diesen drei Seen Algenblüten und damit starke Verminderungen der Sichttiefen auftreten, was an den von Wald- und Moorkomplexen umgebenen Seen nicht festzustellen ist.

Zu c) Als dritte Belastungsursache für die Osterseen kommt schließlich noch das Grundwasser in Betracht. Zurückzuführen ist diese überraschende Tatsache darauf, daß die Abwässer der Ortschaften Iffeldorf und Staltach zum größten Teil versickert werden und auf diese Weise erhebliche Nährstoffmengen in den mit großer Zügigkeit fließenden Grundwasserstrom gelangen. Da dieses Grundwasser unmittelbar nach der im Ortsbereich erfolgenden Nährstoffanreicherung an den südlichen Seen zu Tage tritt, spielen Sorptionsprozesse während der kurzen Passage durch die Glazialschotter keine entscheidende Rolle.

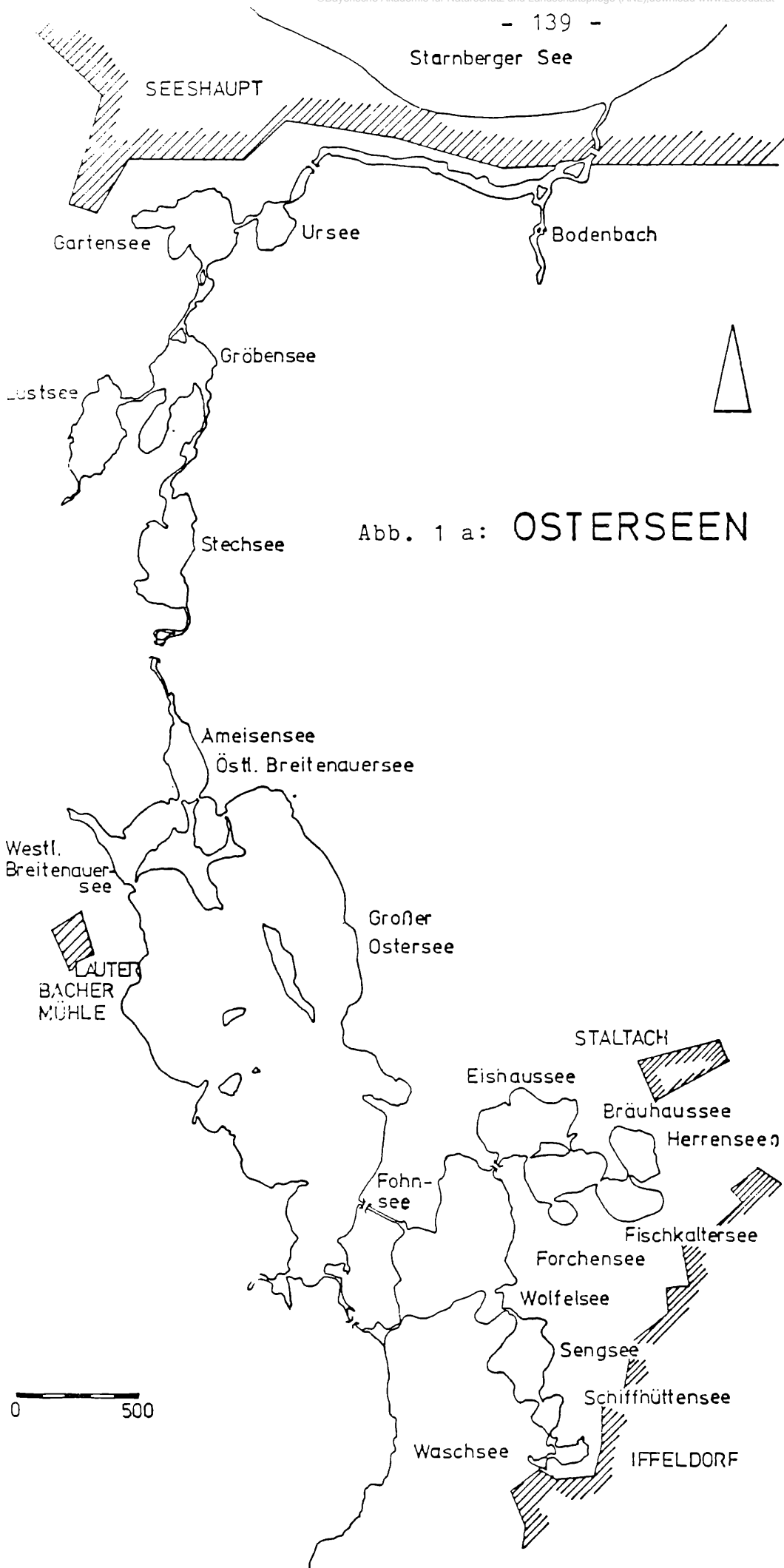


Abb. 1 a: OSTERSEEN

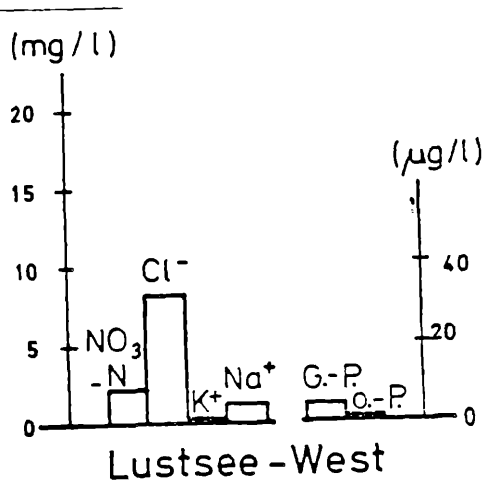
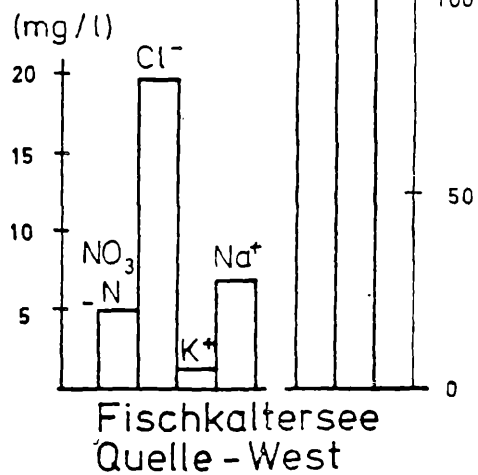
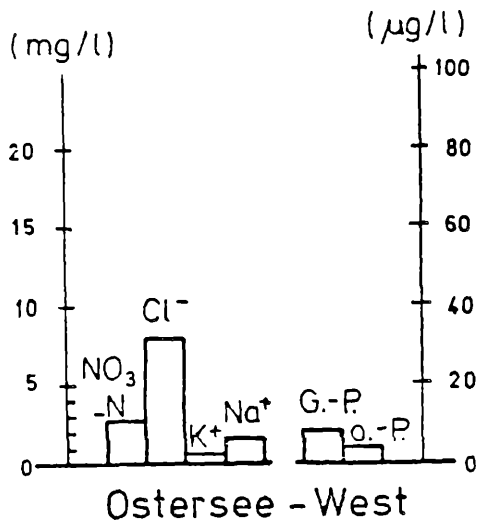
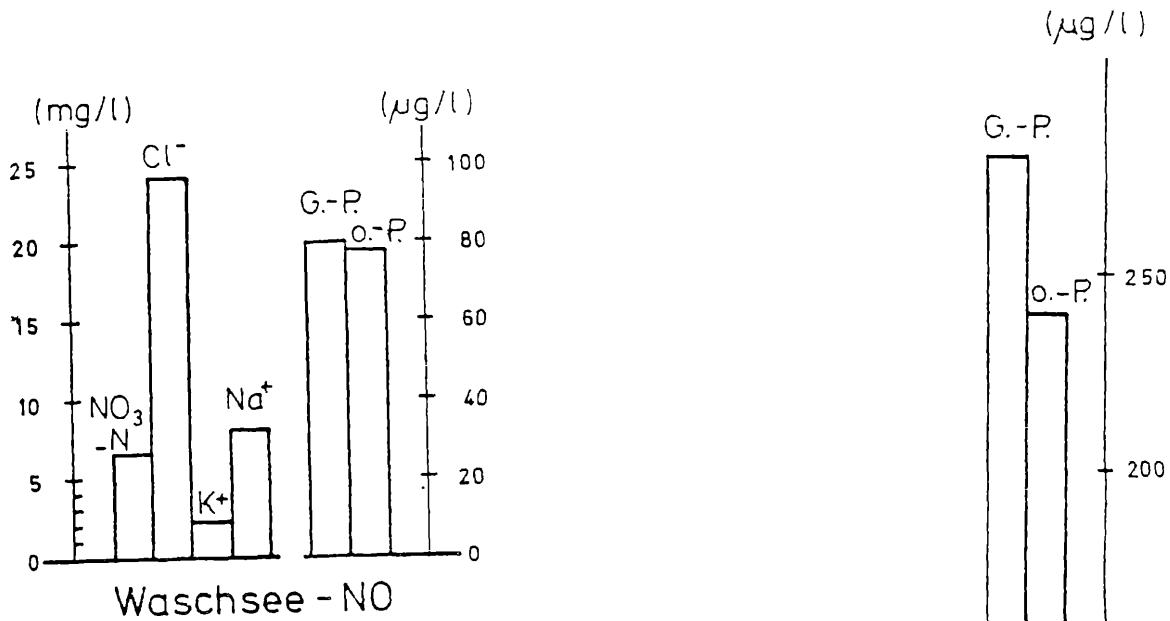


Abb. 1 b: OSTERSEEN
Chemismus des
Grundwassers

Abb. 1 zeigt die chemische Zusammensetzung von vier verschiedenen Grundwasseraustritten. Die beiden ortsfernen Quelltrichter am Ostersee und Lustsee weisen nahezu identische Gehalte an Nitrat, gelöstem $\text{o-PO}_4\text{-P}$, Gesamt-P, Kalium, Natrium und Chlorid auf, während der Quelltrichter am Waschsee und vor allem die Quelle am Fischkaltersee die erwähnten Nährstoffanreicherungen des Grundwassers im Ortsbereich belegen. Für den kritischen Trophiezustand des Fischkaltersees spielen die über diese Quelle eingetragenen Nährstoffe neben der Einleitung von Straßenabwässern die wichtigste Rolle. Einen Hinweis über die Strömungsgeschwindigkeit des Grundwassers im Ortsbereich konnte man erhalten, als in ca. 300 m Entfernung von der Quelle Aushubarbeiten stattfanden, bei denen man bis in die grundwasserführenden Schichten vordrang. Bereits eine halbe Stunde nach diesem Eingriff traten an der Quelle Trübungen auf.

Chemisch-physikalische Seetypisierung

Weil alle drei beschriebenen Belastungsursachen auf die Seen im Süden und Südosten einwirken, entwickelten sie sich zu eutrophen Gewässern. (Eine Ausnahme bilden in diesem Teil der Seenkette der Herrensee und Forchensee, die als unbelastete Anhangseen in die Hauptkette entwässern.) Die Eutrophierungsprozesse wirken sich jedoch an den Seen bei Iffeldorf (Wasch-, Schiffhütten- und Sengsee) wegen des dort so intensiv zuströmenden Grundwassers ganz anders aus als am Fischkalter- und Bräuhausee bei Staltach, die kaum vom Grundwasser beeinflusst werden.

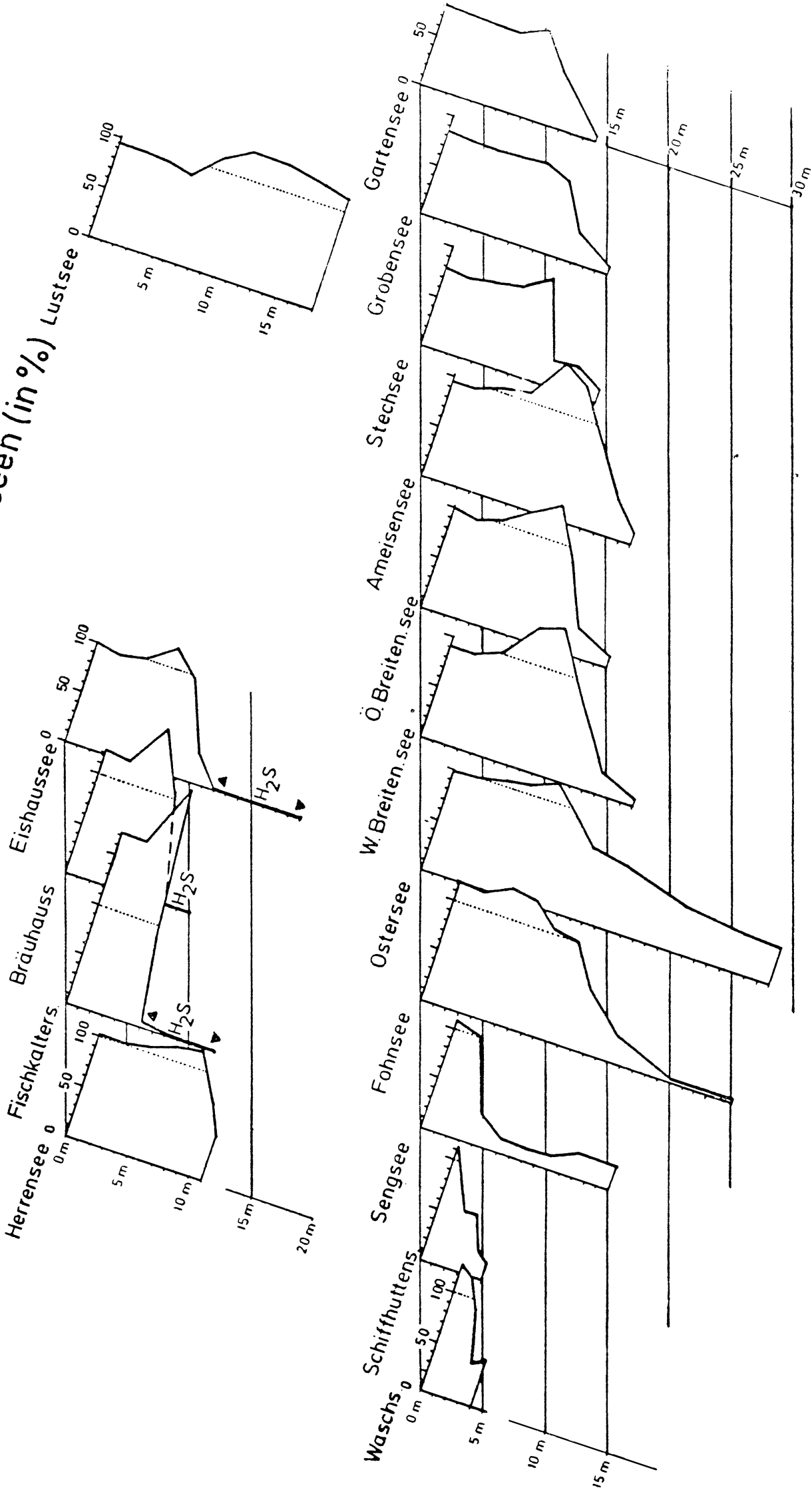
Auch für den Gewässerzustand der übrigen, mehr oder weniger unbelasteten Seen des sich nach Norden anschließenden Teils der Seenkette spielt das Grundwasser eine entscheidende Rolle. Da es sich dort nicht mit Nährstoffen anreichert, wirkt es jedoch nicht eusondern oligotrophierend.

Durch die Wirkung der beschriebenen Belastungsursachen und des Grundwassers haben sich im Osterseengebiet vier deutlich voneinander unterscheidbare Seetypen herausgebildet:

- a) unbelastete Grundwasserseen
- b) unbelastete Seen ohne Grundwasserzustrom
- c) belastete Grundwasserseen
- d) belastete Seen ohne Grundwasserzustrom

Abb. 2:

Sauerstoffsättigung d. Osterseen (in %) Tiefenprofil , Juli 1975



zu a) unbelastete Grundwasserseen

Nur noch ein See, der im Nordteil des Seengebietes gelegene Lustsee repräsentiert heute diesen Typus. Der Lustsee ist ein Anhangsee, der in den Hauptstrang der Seenkette entwässert und den eine Reihe von Eigenschaften kennzeichnen, wie sie charakteristisch für oligotrophe Seen sind.

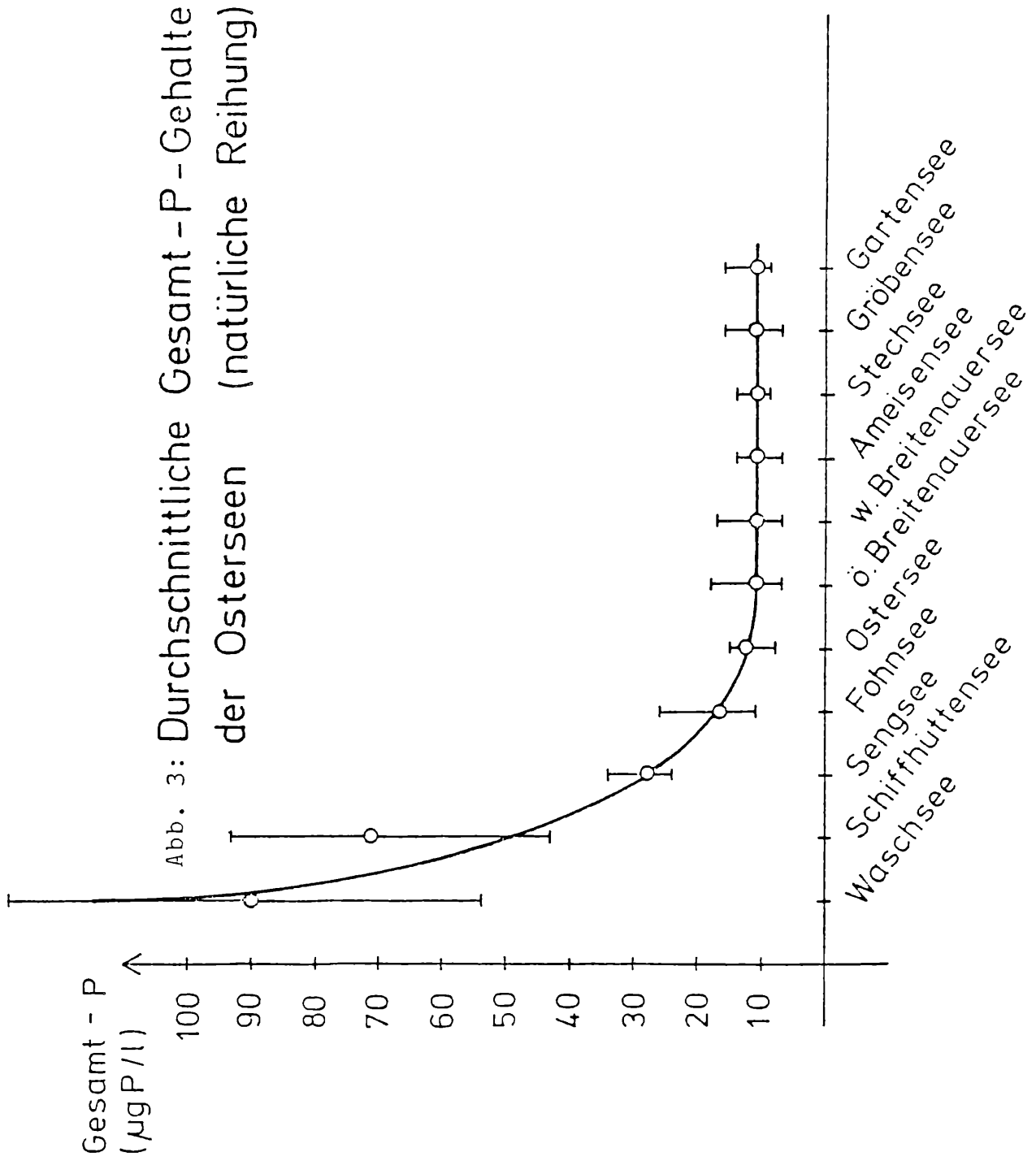
Wegen der Nährstoffarmut des Lustsees treten keine Algenblüten auf, und deshalb liegen die Sichttiefen selbst im Sommer bei ca. 10 m (Wintermaximum 16 m !). Limitierend für die Produktion wirkt sich der geringe Phosphatgehalt des Wassers aus. Der durchschnittliche jährliche Gesamt-P-Gehalt liegt bei ca 7 µg P/l, ortho-Phosphat ist oft nicht nachweisbar.

Besonders günstig sind die Sauerstoffverhältnisse des Sees zu beurteilen. Das Hypolimnion weist niemals größere O₂-Zehrungen auf, im Gegenteil, da in 8-14 m Tiefe dichte Bestände von Armleuchteralgen (Characeen) vorkommen, bilden sich im Sommer in dieser Tiefenzone oft hohe Sättigungswerte von mehr als 160 % aus.

zu b) unbelastete Seen ohne Grundwasserzustrom

Die übrigen Gewässer des nördlichen Seeteils sowie die sich nach Süden anschließenden Seen bis einschließlich des Fohnsees unterscheiden sich deutlich vom Lustsee. An diesen Seen spielt die Menge des zuströmenden Grundwassers im Verhältnis zum Seevolumen keine entscheidende Rolle, und die O₂-Tiefenprofile zeigen während der sommerlichen Stagnationsperiode daher auch ein anderes Bild. Abb. 2 gibt von diesen Verhältnissen einen Eindruck. (In der Graphik sind die Seen entsprechend ihrer natürlichen Reihung wiedergegeben. Abgesetzt vom Hauptstrang liegen der südöstliche Nebenzweig und der Lustsee, die am Fohnsee bzw. am Gartensee in die Hauptkette einmünden.)

Charakteristisch für die mehr oder weniger unbelasteten Seen ohne Grundwasserzutritte sind sommerliche O₂-Maxima in etwa 8 m Tiefe und während der Stagnationsperiode allmählich fortschreitende, hypolimnische Sauerstoffzehrungen, die im September so weit fortgeschritten sein können, daß über Grund Schwefelwasserstoffbildung festzustellen ist.



Die Gesamt-P-Gehalte im Wasser der Seen geben den besten Hinweis auf den Belastungszustand. Wie sehr sich die einzelnen Seen, die den Hauptstrang der Seenkette bilden, in ihren Gesamt-P-Gehalten unterscheiden, vermittelt Abb. 3. (Die durchschnittlichen Gehalte errechnen sich aus 6 - 10 Einzelmessungen; angegeben sind außerdem die festgestellten Streubreiten.)

Einerseits ist für die Seen, die in der durchströmten Kette dem Fohnsee nachgeschaltet sind, ein niedriger Gesamt-P-Gehalt von weniger als 20 µg P/l charakteristisch, andererseits zeichnen sie sich durch geringe Schwankungen im Gesamt-P-Gehalt aus, wie sie z.B. an den durch Einleitungen und Einschwemmungen belasteten Grundwasserseen am Anfang der Gewässerkette (Waschsee, Schiffhüttensee, Sengsee) auftreten.

zu c) belastete Grundwasserseen

Trotz der starken Belastung dieser Seen und den daraus resultierenden hohen Gesamt-P-Gehalten weisen sie günstigere Sauerstoffverhältnisse im Tiefenwasser auf als manche unbelastete Seen. Zurückzuführen ist diese scheinbar widersinnige Erscheinung auf das Grundwasser. Wenn sich die Seen im Sommer erwärmen, sinkt das zuströmende kühle Grundwasser wegen seiner temperaturbedingten größeren Dichte in die Tiefe ab und versorgt die tropholytische Schicht der Seen immer wieder mit Sauerstoff. Mit diesem Vorgang ist auch das seltene Phänomen zu erklären, daß der O₂-Gehalt dieser Seen über Grund wieder leicht ansteigen kann (vgl. Abb. 3). Die gleiche Graphik zeigt auch, daß das Maximum der Produktion, das sich in Sauerstoffübersättigungen ausdrückt, an diesen drei Seen direkt an der Oberfläche liegt. Wegen der hohen Produktivität ist die Wassertransparenz nämlich so schlecht, daß sich ein Algenwachstum nur in der oberflächennahen Schicht abspielen kann.

zu d) belastete Seen ohne Grundwasserzutritt

Auch am Fischkalter- und Bräuhaussee liegen die Sauerstoffmaxima knapp unterhalb der Seespiegelfläche. Da die beiden Seen aber nicht vom Grundwasser beeinflusst werden, wirken sich die

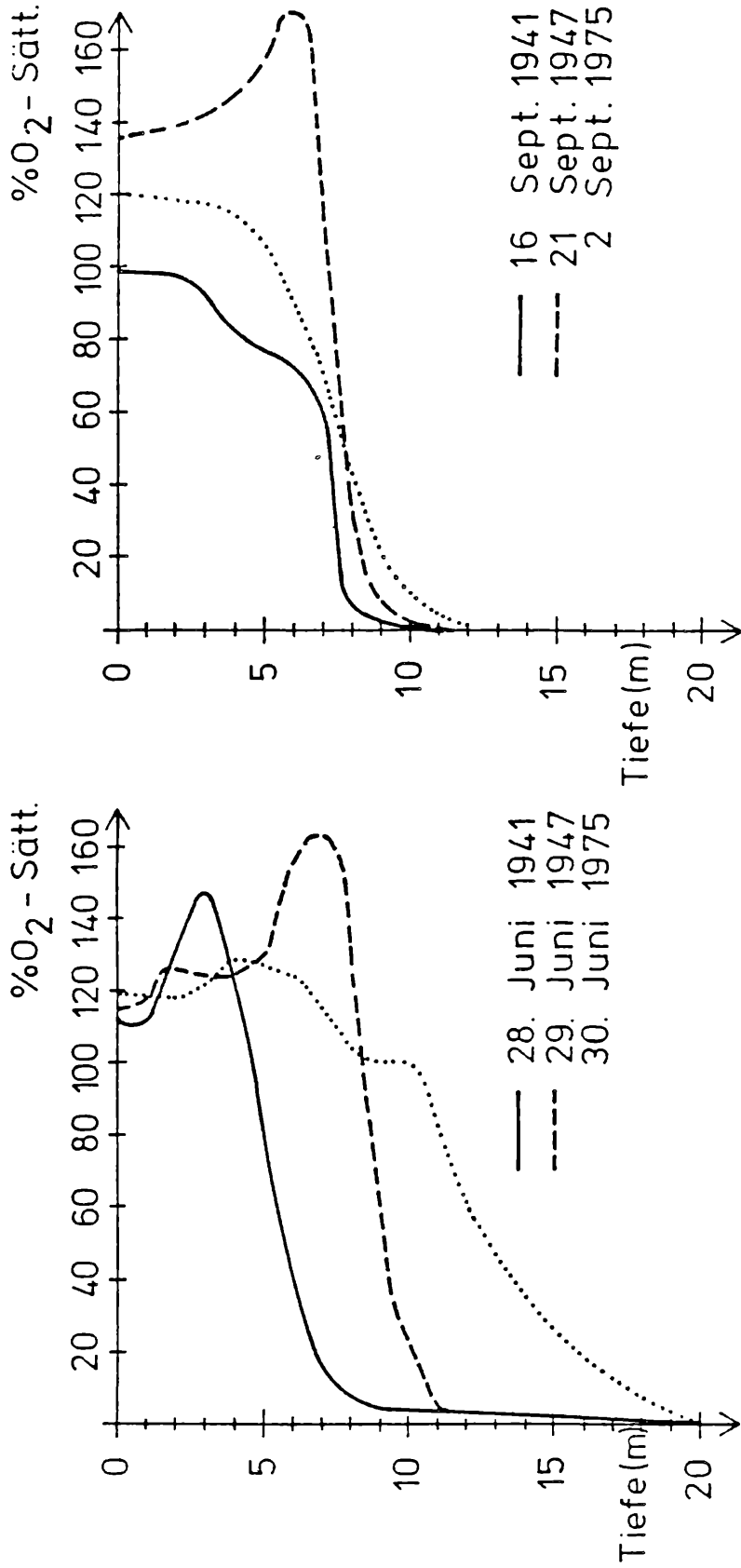


Abb. 4: Sauerstoffsättigungsprofile des Fohnsees in verschiedenen Jahren (1941 Zorell ; 1947 Zorell; 1975 Melzer)

im Hypolimnion stattfindenden Abbauprozesse absinkenden organischen Materials sehr drastisch und nachteilig auf den Sauerstoffvorrat des Tiefenwassers aus. Schon im März, wenige Wochen nach der Frühjahrszirkulation, ist der O_2 -Vorrat über Grund aufgebraucht, und Schwefelwasserstoff kann man bereits im April nachweisen. Bis zum Spätsommer dehnt sich die H_2S -Zone weiter nach oben aus und trifft im September in 5 m Tiefe mit der Zone der höchsten O_2 -Gehalte innerhalb eines Tiefenmeters direkt zusammen. Bei der herbstlichen Zirkulation verteilt sich das H_2S -haltige Wasser im ganzen See, was zu einem allgemeinen O_2 -Schwund und damit häufig verbundenem Fischsterben führt.

Die Wassertransparenz des Fischkaltersees beträgt während des Sommerhalbjahrs durchschnittlich nur 1,6 m und verbessert sich auch im Winter nur unwesentlich. In diesem Verhalten unterscheidet sich der See von den beiden belasteten Grundwasserseen deutlich, deren gemittelte Sichttiefenwerte zwar auch nicht sehr groß sind, dafür aber starke Schwankungen aufweisen.

Vergleich mit älteren Untersuchungen

Für eine langfristige Abschätzung der Trophieentwicklung von Seen liefert ein Vergleich von aktuellen Analysendaten mit solchen früherer Jahre wertvolle und entscheidende Hilfen. Für die Osterseen liegen ältere, z.T. unveröffentlichte Ergebnisse von Sauerstoffbestimmungen am Großen Ostersee und Fohnsee vor, die ZORELL in den Jahren 1941 und 1947 vornahm. (Die Unterlagen stellte freundlicherweise der Fischereiverein "Die Gespließten" zur Verfügung.) Wenn sich an diesen beiden Seen seit damals belastungsbedingte Veränderungen im O_2 -Haushalt ergeben haben, dann ist das eher am Fohnsee zu erwarten, denn in diesen münden die belasteten südlichen Grundwasserseen sowie die Seen der belasteten südöstlichen Nebenkette ein. Die Gegenüberstellung von Sauerstoff-Profilen aus den Jahren 1941 und 1947 mit solchen des Jahres 1975 (vgl. Abb. 4) zeigt jedoch, daß zwischen den in ca. 30 jährigem Abstand genommenen Proben kaum Unterschiede bestehen, vielmehr sind die Juniwerte des Jahres 1975 günstiger zu bewerten.

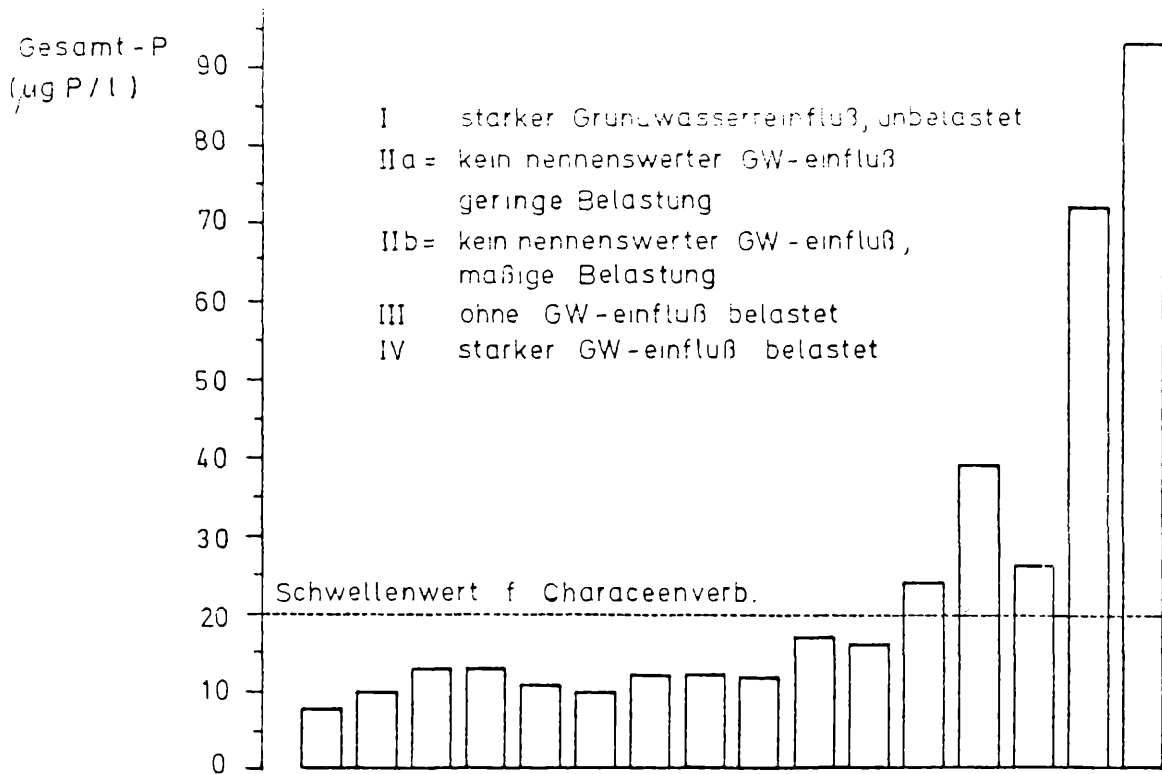
Die Zehrung im Tiefenwasser war nämlich nicht so groß wie sie ZORELL in den vierziger Jahren feststellte. Aus diesem Verhalten allgemeine Tendenzen abzuleiten, ist aber nicht möglich, da sich die durch klimatische Einflüsse bedingten jährlichen Schwankungen im Sauerstoff-Haushalt in diesen Dimensionen abspielen können.

Bioindikation des Gewässerzustandes durch makrophytische Wasserpflanzen

Die in den Osterseen vorkommenden 51 verschiedenen Wasserpflanzenarten zeigen z.T. sehr charakteristische Verbreitungsbilder. Unter diesen Arten gibt es solche, die ausschließlich in einem der vier nach chemisch-physikalischen Gesichtspunkten aufgestellten Seetypen gedeihen und solche, die zwar in mehreren Seetypen zu finden sind, dabei aber deutliche Unterschiede in der Häufigkeit ihres Vorkommens zeigen.

Bei Arten, die eine enge Standortbindung an Quelltrichter und Sickerwasseraustritte aufweisen (*Mentha aquatica*, *Juncus alpino-articulatus*, *Juncus subnodulosus*, *Agrostis stolonifera*, *Veronica beccabunga*, *V. anagallis-aquatica* und *Nasturtium officinale*), vermittelt das Verbreitungsbild allein keine Aussage über den Indikatorwert. Dasselbe gilt für Pflanzen, von denen nur Einzel-funde gemacht wurden (z.B. *Elodea canadensis*, *Nitella opaca*, *Potamogeton gramineus*, *Ranunculus circinatus*, *Tolypella glomerata* oder *Zannichellia palustris*), und für einige Röhricht- und Schwimmblattpflanzen (*Phragmites communis*, *Cladium mariscus*, *Schoenoplectus lacustris*, *Nymphaea alba var. minor* und *Nuphar lutea*), die in (fast) allen Seen anzutreffen sind. Bei der zuletzt genannten Pflanzengruppe wirkt sich der unterschiedliche Nährstoffgehalt der Seen jedoch stark auf die Wüchsigkeit der einzelnen Arten aus. Während z.B. das Schilfrohr am oligotrophen Lustsee sehr locker steht, nur ca. einen halben Meter über die Wasseroberfläche herauswächst und nicht fruchtet, bildet es an den belasteten Seen dichte, bis 3 m hohe und reichlich fruktifizierende Bestände aus.

Für die Seerode wurde die Beziehung zwischen Schwimmblattgröße



	I	IIa					II b			III	IV					
Utricularia ochr.	■	▲	■	●												
Chara hispida	■	▲		●	▲	●	▲	●								
Chara aspera	■	●	■	●	●	▲										
Utricularia min.	●	▲	●	▲	▲											
Pot. coloratus			●	▲	■	▲										
Chara contraria	■	▲	▲	▲	●	●	●	●	●							
Chara aculeolata	■	■	▲	▲	▲		▲	●	▲							
Chara tomentosa	■	■	▲	▲	■	■	■	▲	▲	●	▲					
Utricularia aus.	●	▲	▲	■	■	▲	▲	▲	▲	●	●					
Pot. natans			●	●		●	●	●	●							
Myrioph. vert.		▲				▲	●	▲	▲	●	●	●				
Pot. pectinatus			●	●	●	▲	▲	●	▲	▲	▲	●	●			
Pot. perfoliatus							●	●								
Myrioph. spic.		●					▲	●	▲	▲	●					
Ceratoph. dem.									▲	■						
Fontinalis anti.								▲			■	■	■			
Hippuris vulg.											■	■	■			
	Lustsee	Herrensee	Gartensee	Grobensee	Stechsee	Ameisensee	W Breitensee	O Breitensee	Ostersee	Fohnsee	Eishaussee	Brauhaussee	Fischwälder	Senäsee	Schiffhütten	Waschsee

■ = Verbreitungsschwerpunkt ▲ = verbreitet ● = selten - vereinzelt

Übersicht der Osterseen hinsichtlich Gesamt-P und Pflanzenverbreitung Abb. 5

(50 Messungen pro See) und dem Gesamt-P-Gehalt der jeweiligen Seen errechnet. Während die Blattflächen der Seerosen am Lustsee nur durchschnittlich 75 cm^2 betragen, überstiegen sie an den nährstoffreichsten Seen 400 cm^2 .

Der Zusammenhang zwischen Blattflächenindex und Gesamt-P-Gehalt ergab keinen linearen Kurvenverlauf, vielmehr zeigte dieser asymptotischen Charakter, so wie er typisch für das MITSCHERLICH'sche Ertragsgesetz ist, das die Beziehung zwischen Nährstoffverfügbarkeit und Pflanzenwachstum beschreibt.

Alle übrigen Arten zeigen deutliche Korrelationen hinsichtlich ihrer Verbreitung und dem Trophiezustand ihrer Siedlungsgewässer auf. Einen Überblick über die Kartierungsergebnisse solcher Indikatorpflanzen vermittelt Abb. 5.

Die Häufigkeit der Arten wurde nach einer drei Häufigkeitsstufen umfassenden Skala geschätzt. Die Reihung der Seen entspricht im Großen und Ganzen der natürlichen topographischen Abfolge im Gelände, allerdings erfolgt die Durchströmung der Seen in umgekehrter Reihenfolge. Der Lustsee- und Herrensee wurden als unbelastete Anhangseen an den Anfang der Serie gestellt, mit dem Garten- bis Fischkaltersee folgen die nicht vom Grundwasser beeinflussten Seen, am Ende stehen die drei belasteten Iffeldorfer Grundwasserseen. Die ebenfalls aufgetragenen Gesamt-P-Gehalte der Seen zeigen noch einmal den durch Belastungen bedingten Anstieg innerhalb der Seenkette.

Aus der Graphik ist zu ersehen, daß der Großteil der Osterseen noch wenig belastet ist, was durch das Übergewicht oligo- und mesotropher Arten (Seetyp I, IIa und IIb) zum Ausdruck kommt. Auf den saubersten Gewässerbereich konzentriert sich das Vorkommen von *Utricularia ochroleuca*, *U. minor*, von *Potamogeton coloratus* und den beiden Characeen-Arten *Chara hispida* und *Chara aspera*. Der Lustsee unterscheidet sich in seinem Arteninventar nur wenig von dem des Typs IIa (kein nennenswerter Grundwasser-einfluß, geringe Belastung); es bestehen jedoch grundsätzliche Abweichungen in der Tiefenverbreitung der Characeen. Nur der

Lustsee weist ein Tiefen-Charetum auf, d.h. die Characeen-Reihen erst in größeren Tiefen (8-14 m) optimal, während in den übrigen Seen 8 m Tiefe die untere Grenze des Vorkommens dieser Algen darstellt.

Wie stark die Verbreitung der Characeen durch den Gesamt-P-Gehalt der Seen gesteuert wird, verdeutlicht Abb. 5 ebenfalls. Der maximal tolerierte Schwellenwert beträgt 20 µg Gesamt-P/l. Wird er überschritten, sterben die Characeen rasch ab. Da auch FORSBERG (1965 a, 1965 b) bei Untersuchungen an schwedischen Seen dieselbe Toleranzschwelle herausfand und sie experimentell belegen konnte, scheinen Characeen besonders sensitive Bioindikatoren zu sein, die nicht nur regional zum Nachweis von Gewässerbelastungen herangezogen werden können.

Eine typische Art der belasteten, grundwasserunbeeinflussten Seen ist *Ceratophyllum demersum*, während sich das Vorkommen von *Fontinalis antipyretica* und *Hippuris vulgaris* auf die belasteten Grundwasserseen beschränkt. Die Eutrophierung der südlichen Osterseen bei Iffeldorf und Staltach drückt sich somit weniger durch das Auftreten vieler eigener Arten, als vielmehr durch das Fehlen der oligo- und mesotraphenten Florenelemente aus, was deren Gefährdung durch Nährstoffanreicherungen bestätigt.

Zusammenfassung

Die Osterseen bestehen aus 20 Einzelgewässern, die, hintereinander aufgereiht, eine in S-N-Richtung durchströmte Seenkette bilden. Als Toteisseen weisen sie alle die gleiche Entstehungsart auf, und auch in ihrer Morphologie bestehen Übereinstimmungen.

Wegen der Durchströmung ähneln sich die Seen grundsätzlich in der chemischen Zusammensetzung ihres Wassers, wobei jedoch durch Gewässerbelastungen wesentliche Differenzierungen hervorgerufen werden. Bedeutsam ist dabei, daß Belastungen nur am Anfang der Seenkette d.h. also im südlichen Teil des Gebietes einwirken.

Ursachen für die Eutrophierung sind: direkte Einleitungen häuslichen und kommunalen Abwassers, oberflächliche Nährstoffein-

schwemmungen von Weide- und Ackerflächen, die unmittelbar an die Seen angrenzen, sowie das Zuströmen nährstoffangereicherten Grundwassers.

Das den Seen zufließende Grundwasser besitzt sehr unterschiedliche Qualität, je nachdem ob es in Ortsnähe oder -ferne zu Tage tritt und wirkt daher eu- oder oligotrophierend. Zusammen mit den anthropogen verursachten Belastungsgrößen ist es der wichtigste Steuerungsfaktor für die Entwicklung der Seen. Heute sind vier verschiedene Seetypen zu unterscheiden, an denen diese beiden Größen entweder allein oder gemeinsam wirksam werden.

Ein Vergleich mit alten Untersuchungen zeigt, daß sich am Fohnsee noch keine Veränderungen im Sauerstoffhaushalt ergeben haben. Die Sauerstoffverhältnisse dienen als wichtiges Kriterium für die Belastungsabschätzung innerhalb der Seenkette, wobei sich einerseits die Tiefenposition des sommerlichen Sauerstoffmaximums und andererseits die Zehrungsverhältnisse im Hypolimnion zwischen den vier Seetypen unterscheiden. Auch der Gesamt-P-Gehalt grenzt die einzelnen Seetypen deutlich voneinander ab.

Die Verbreitung der makrophytischen Wasserpflanzen steht in engem Zusammenhang mit dem Trophiezustand der Seen. Die Pflanzen, die in ihrem Vorkommen sehr eng an Grundwasseraustritte gebunden sind und die nur in Einzelexemplaren gefundenen Arten eignen sich zwar nicht zur Charakterisierung des Gewässerzustandes der Seen, bei den übrigen Arten dienen jedoch eindeutige qualitative und quantitative Verbreitungsunterschiede als indikatorische Größen.

Ausschließlich in den unbelasteten Seen gedeihen Characeen, Wasser-schlaucharten und das gefärbte Laichkraut *Potamogeton coloratus*. Dagegen beschränkt sich das Vorkommen des rauhen Hornblattes *Ceratophyllum demersum* auf die belasteten Seen, die nicht vom Grundwasser beeinflusst werden, und das von *Fontinalis antipyretica* und *Hippuris vulgaris* auf das der belasteten Grundwasserseen.

Literatur:

- ELORANTA,P., 1970: Pollution and aquatic flora of waters by sulphite cellulose factory at Mänttä, Finish Lake District. Ann.Bot.Fennici 7, 63-141.
- FORSBERG,C., 1965 a: Environmental condition of swedish charophytes.- Symb.Bot.Ups. 18,4, 1-67.
- FORSBERG,C., 1965 b: Nutritional studies of Chara in axenic cultures. - Physiol.Plant. 18, 275-290.
- FRÖBRICH,G., MANGELSDORF,J.,SCHAUER,T.,STREIL,J. & WACHTER,H., 1977: Gewässerkundliche Studie über sechs Seen bei Füssen im Allgäu.- Schr.Bayer.Landesamt f.wasserw.,H.3, 1-169.
- HAMM,A., 1975: Chemisch-biologische Gewässeruntersuchungen an Kleinseen und Baggerseen im Großraum München im Hinblick auf die Bade- und Erholungsfunktion.- Münchner Beiträge, 26, 75-110.
- KOHLER,A., WÖRNEBERGER,Renate & ZELTNER,G., 1973: Die Bedeutung chemischer und pflanzlicher "Verschmutzungsindikatoren" im Fließgewässersystem Moosach (Münchner Ebene).- Arch.Hydrobiol. 72, 533-549.
- KOHLER,A., BRINKMEIER,R. & VOLLRATH,H.,1974: Verbreitung und Indikatorwert der submersen Makrophyten in den Fließgewässern der Friedberger Au. - Ber.Bayer.Bot.Ges.45, 5-36.
- KOHLER,A.,1975: Submerse Makrophyten und ihre Gesellschaften als Indikatoren der Gewässerbelastung. - Beitr. naturk. Forsch. Südw.-Dtl. 34, 149-159.
- KOLKWITZ,R. & MARSSON,M.,1908: Ökologie der pflanzlichen Saprobien. - Ber.Dtsch.Bot.Ges. 26a, 505-519.
- KOLKWITZ,R. & MARSSON,M., 1909: Ökologie der tierischen Saprobien. - Int.Rev.ges.Hydrobiol. 2, 126-152.
- LANG,G., 1967: Die Ufervegetation des westlichen Bodensees. - Arch.Hydrobiol., Suppl. 32, 437-574.
- MELZER,A., 1976: Makrophytische Wasserpflanzen als Indikatoren des Gewässerzustandes oberbayerischer Seen. - Diss.Bot. 34, 1-195.

MELZER, A., HABER, W. & KOHLER, A., 1977: Floristisch-ökologische Charakterisierung und Gliederung der Osterseen (Oberbayern) mit Hilfe submersen Makrophyten. - Mitt.flor.-soz. Arbeitsgem. N.F. 19/20, 139-151.

MELZER, A., 1979: Veränderungen der Makrophytenvegetation des Starnberger Sees und ihre indikatorische Bedeutung. (Im Druck)

NÄHER, W., MANGELSDORF, J. & SCHEURMANN, K. 1974: Der Waginger-Tacninger See.- Schr.Bayer.Landesst.Gewässerkd. 9, 1-129.

ROTHPLETZ, A., 1917: Die Osterseen und der Isar-Vorlandglätscher.- Mitt.Geogr.Ges.München 12, 99-314.

Anschrift des Verfassers:

Dr. Arnulf Melzer
Institut für Botanik und Mikrobiologie
der Technischen Universität München
Arcisstr. 21
8000 München 2

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Laufener Spezialbeiträge und Laufener Seminarbeiträge \(LSB\)](#)

Jahr/Year: 1979

Band/Volume: [3_1979](#)

Autor(en)/Author(s): Melzer Arnulf

Artikel/Article: [BIOINDIKATION DER OSTERSEEN - EUTROPHIERUNG 134-154](#)