

## Hydrochemische und hydrobotanische Untersuchungen an den Osterseen

Arnulf Melzer und Uta Raeder

### Synopsis

The Osterseen include 19 small lakes that are located south of "Lake of Starnberg" (Upper Bavaria) and which all drain in south-north direction. As the sources of sewage (consisting of agricultural and domestic waste water) are located only at the upper southern lakes, the water quality improves substantially with increasing distance from the village Iffeldorf. Not only pollution caused by man but also ground water flowing influences some of the lakes. These facts are reflected in a different composition of aquatic vegetation.

*Osterseen, nutrient content, groundwater, differences in water quality, aquatic macrophytes, indicator organism*

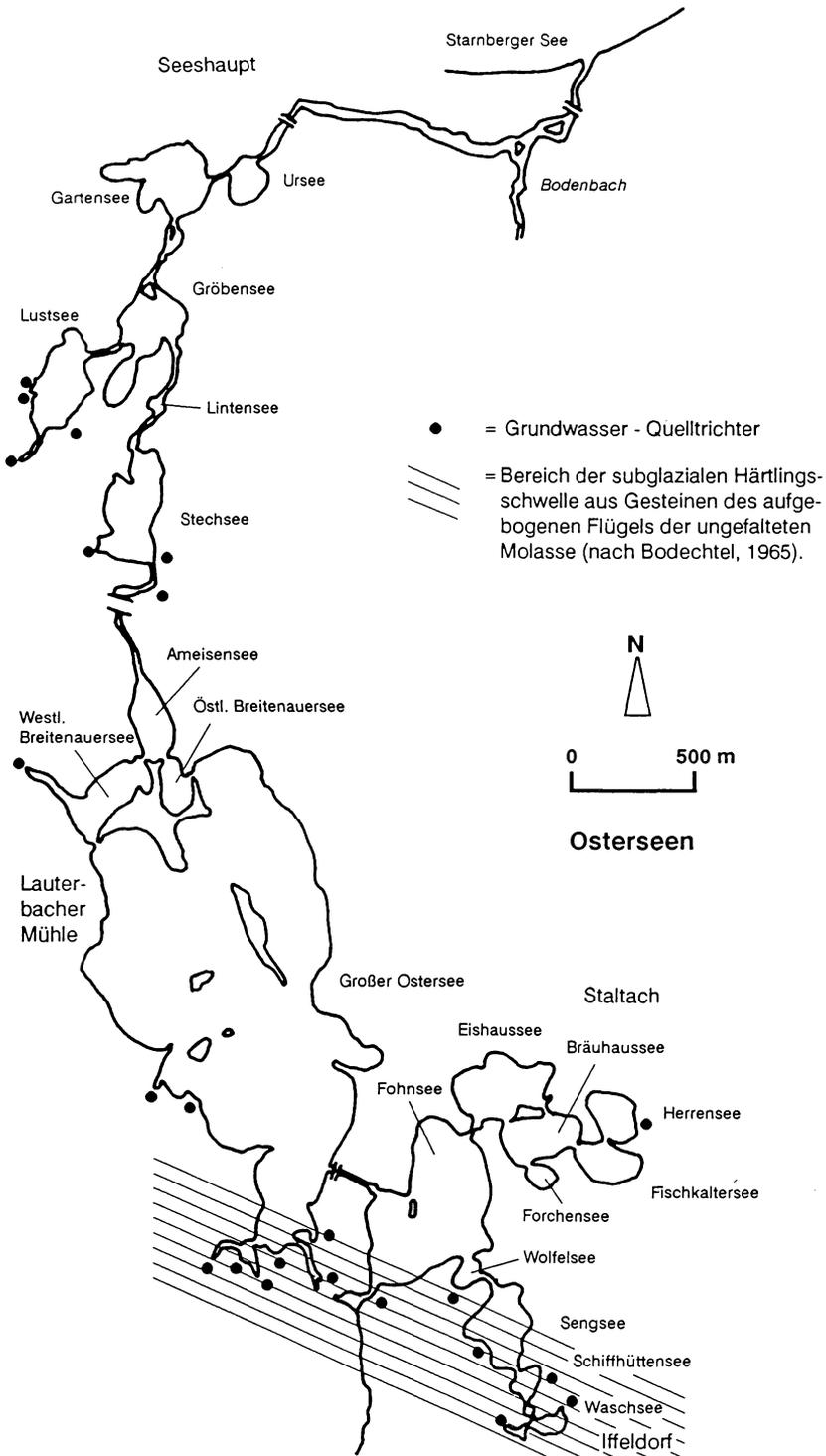
### 1. Das Untersuchungsgebiet

Die südlich des Starnberger Sees gelegenen Osterseen stellen ein Seensystem aus 19 kleineren Einzelgewässern dar, die von Natur aus miteinander in Verbindung stehen (s. Abb. 1). Die besondere Eignung dieses Seengebietes für biologische Untersuchungen ergibt sich aus der Tatsache, daß die Seen durch gleiche Entstehungsart (MUNTHE aus ROTHPLETZ 1917) eine ähnliche Morphologie aufweisen und durch ihre nachbarschaftliche Lage denselben klimatisch bedingten Umweltbedingungen ausgesetzt sind. Dennoch weisen die Osterseen, einerseits durch unterschiedlichen Grundwasserzustrom (ZORELL 1941, MELZER 1976) und andererseits durch verschiedene Nährstoffbelastung (MELZER 1976), ein breites Spektrum von Seentypen auf. Diese außerordentliche Vielfaltigkeit der hydrologischen und chemischen Eigenschaften bietet die ideale Basis für vergleichende limnologische Studien (MELZER 1976).

Die Existenz der zahlreichen Seen kann als Zeichen einer starken Grundwasserführung in den postglazialen Schotterablagerungen des Osterseengebietes gewertet werden.

Besonders im Süden der Seenplatte, an Wasch-, Schiffhütten- und Sengsee, sowie am Ostersee, tritt das Grundwasser in beträchtlichen Mengen aus diversen unterseeischen Quelltrichtern (Limnokrenen) und diffusen Zutritten in die Seen. Jedoch auch am Herrensee und an einigen der nördlichen Seen (Westl. Breitenauersee, Stechsee und Lustsee) lassen sich Grundwasserzutritte finden, wobei speziell die Grundwassertrichter des Lustsees durch eine starke Schüttung gekennzeichnet sind (siehe Karte). Der Zustrom des sommerkalten und winterwarmen Grundwassers prägt die Thermik der betroffenen Seen nachhaltig.

Ursprünglich gehörten alle Seen des Osterseengebietes dem kalk-oligotrophen Gewässertypus an. Eine anthropogen bedingte Belastung des Grundwassers im Einzugsbereich der Seen führte insbesondere im Süden des Untersuchungsgebietes zu einer Eutrophierung der Gewässer und es konnte sich ein deutlicher Nährstoffgradient innerhalb der Seenkette ausbilden. Lediglich der Lustsee blieb in einem nahezu unbelasteten Zustand erhalten.



**Abb. 1:** Überblickskarte des Osterseengebietes

## 2. Überblick über die physikalisch-chemischen Eigenschaften der Gewässer des Osterseengebietes

### 2.1 Die Temperaturverhältnisse

Allgemein unterliegt der Wärmehaushalt eines Sees der gemäßigten Klimazone im wesentlichen dem Witterungsverlauf. Die jahreszeitlichen Schwankungen der Lufttemperatur spiegeln sich in der Thermik eines Gewässers wider, wenn auch durch die physikalischen Eigenschaften des Wassers in abgeschwächter Form. Diese saisonal bedingten Temperaturschwankungen werden bei einem Teil der Osterseen durch den Zustrom von sommerkaltem und winterwarmem Grundwasser überdeckt (MELZER 1976). Ein Vergleich der durchschnittlichen Oberflächentemperaturen (Tab. 1) macht deutlich, daß diese bei Seen mit hoher Grundwasserschüttung deutlich niedriger liegt (RAEDER 1990).

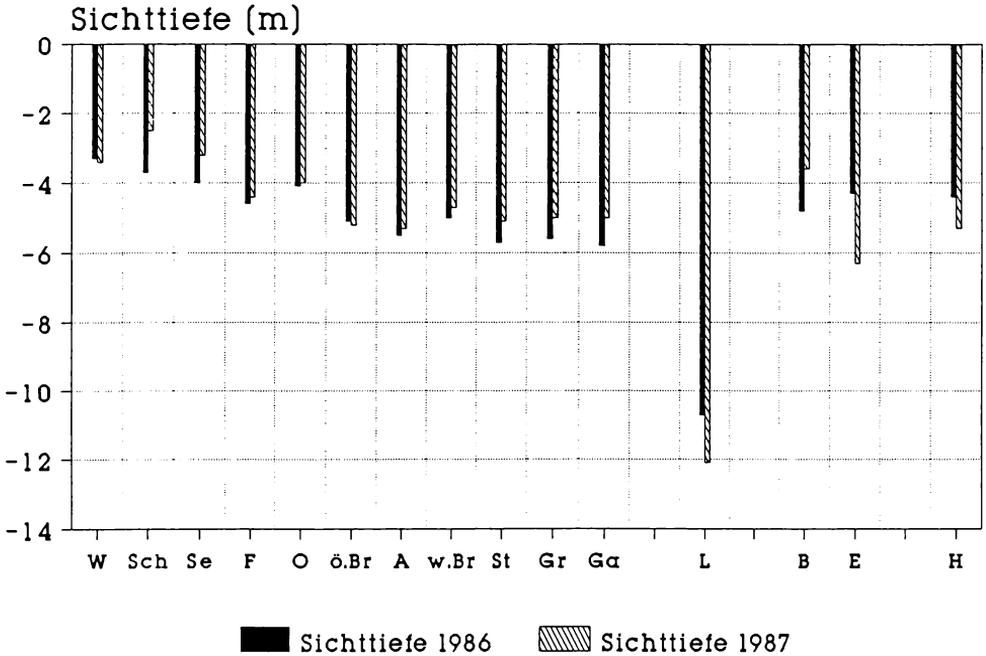
**Tab. 1:** Vergleich der Jahresdurchschnittstemperaturen der Gewässeroberflächen

See	Oberflächendurchschnitts-		Grundwasser-	
	temperatur (°C)			zustrom
	1986 Mai-Dez	1987 April-Dez		
Waschsee	12,9	13,0	stark	
Schiffhüttensee	13,9	14,0	stark	
Sengsee	14,3	14,0	stark	
Fohnsee	16,6	16,6	schwach	
Gr. Ostersee	17,0	17,1	schwach	
Ö. Breitenauersee	16,8	16,2	schwach	
W. Breitenauersee	16,2	15,6	schwach	
Ameisensee	16,6	15,9	schwach	
Stechsee	16,0	16,2	schwach	
Gröbensee	16,5	16,1	schwach	
Gartensee	16,6	16,1	schwach	
Lustsee	15,5	15,9	stark	
Eishaussee	17,7	17,4	schwach	
Bräuhäussee	17,5	16,9	ohne	
Herrensee	17,5	16,9	schwach	

## 2.2 Die Sichttiefe

Die Sichttiefe stellt eine relativ einfach zu ermittelnde Größe zur Bestimmung der Transparenz eines Gewässers dar. Sie ist durch die vom Nährstoffgehalt eines Sees abhängige Phytoplanktondichte bedingt. Da das Lichtoptimum für die sauerstoffproduzierende Primärproduktion des Phytoplanktons wiederum von der Transparenz abhängt, erklärt sich die enge Korrelation von Sichttiefe, Sauerstoffgehalt und Belastung eines Gewässers (MELZER 1976).

Ein Vergleich der Jahresmittelwerte der Sichttiefen der einzelnen Seen (Abb. 2) erlaubt Rückschlüsse auf ihren unterschiedlichen Belastungsgrad (RAEDER 1990). Im Untersuchungsjahr 1986 nahm die mittlere Sichttiefe der vom Waschsee zum Gartensee durchflossenen Hauptseenkette mit zunehmender Entfernung vom Waschsee zu, was auf eine sich von See zu See verbessernde Wasserqualität schließen läßt.



Reihenfolge nach natürlicher Lage im Gelände

W = Waschsee	w.Br = westl. Breitenauersee	Ga = Gartensee
Sch = Schiffhüttensee	A = Ameisensee	L = Lustsee
Se = Sengsee	ö.Br = östl. Breitenauersee	B = Bräuhausee
F = Fohnsee	St = Stechsee	E = Eishausee
O = Gr. Ostersee	Gr = Gröbensee	H = Herrensee

**Abb. 2:** Vergleich der mittleren Sichttiefen der Osterseen 1986 und 1987 (April-Dezember)

Die mittlere Sichttiefe des Eishaussees veränderte sich in den beiden Untersuchungsjahren signifikant. Sie stieg von 4,3 m (1986) auf 6,3 m (1987) an.

Besonders bemerkenswert ist die stets außerordentlich hohe Sichttiefe des Lustsees mit winterlichen Maximalwerten von bis zu 15 m. Jahresdurchschnittswerte von 10,7 m bzw. 12,1 m weisen auf den oligotrophen Charakter dieses Sees hin.

Der Schiffhüttensee zeichnete sich im Untersuchungsjahr 1987 durch die schlechtesten Sichtverhältnisse aus, wobei die Sichttiefe meistens um 2 m betrug.

Ein fröhsommerliches Klarwasserstadium, das durch eine rapide Zunahme der Sichttiefe in der Zeit zwischen Mitte Mai und Anfang Juli gekennzeichnet ist, konnte an verschiedenen Seen beobachtet werden. Besonders deutlich trat es im Süden der Hauptseenkette am Sengsee und am Fohnsee sowie in der Staltacher Gruppe am Eishaussee und am Bräuhaussee ein, während es an den nördlicheren Seen nur angedeutet war.

### 2.3 Phosphor

In Gewässern liegt Phosphor praktisch immer, selbst in organisch gebundener Form, als Phosphatrest ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) vor. Natürlicherweise gelangt er durch phosphorhaltige Gesteine wie Apatite, durch Niederschläge und durch den Abbau von abgestorbenen Organismen in die Seen (SCHWOERBEL 1984). Ein zusätzlicher anthropogen bedingter Phosphoreintrag in Form von häuslichen und industriellen Abwässern bzw. durch Oberflächenabfluß aus landwirtschaftlich genutzten Flächen führt in manchen Fällen zur Aufhebung der produktionslimitierenden Eigenschaft des Phosphors. In der Regel ziehen solche Belastungen die Eutrophierung des Gewässers nach sich.

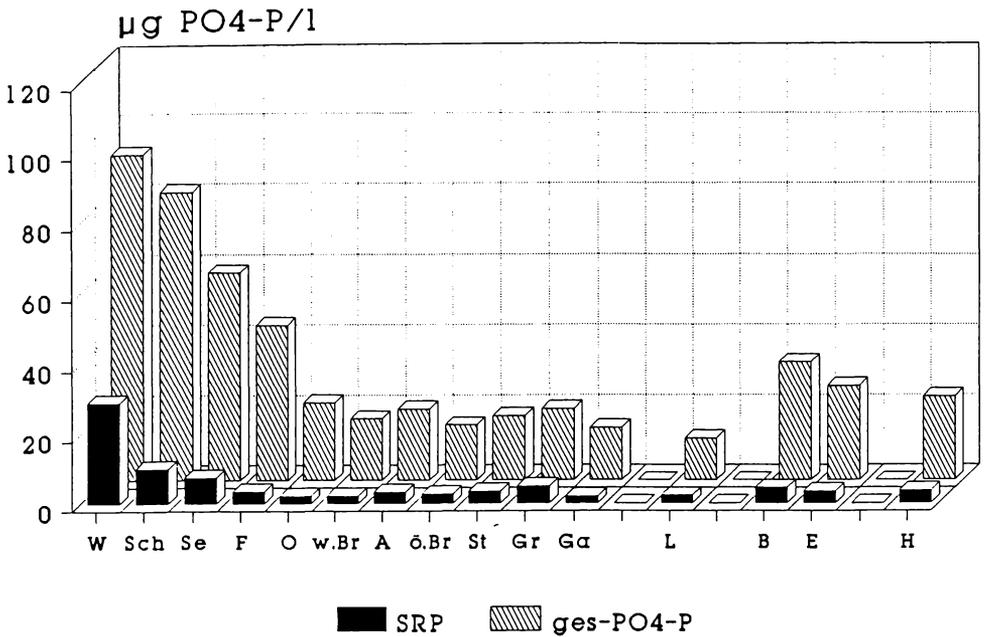
Einen vergleichenden Überblick der Phosphorverhältnisse im Epilimnion der Osterseen im Untersuchungsjahr 1987 gibt Abb. 3 (RAEDER 1990). Es zeigt sich deutlich, daß die ortsnahen Seen wesentlich höhere Phosphorwerte aufweisen. Insbesondere die mittleren Gesamt-P-Konzentrationen der Iffeldorfer Seen liegen mit  $92,8 \mu\text{g P/l}$  im Waschsee,  $82,0 \mu\text{g P/l}$  im Schiffhüttensee,  $59,3 \mu\text{g P/l}$  im Sengsee und  $44,4 \mu\text{g P/l}$  im Fohnsee erheblich über den Durchschnittskonzentrationen der anderen Seen.

Die hohe Phosphatbelastung dieser Seen läßt sich zum Teil auf Oberflächenabschwemmung von direkt an die Iffeldorfer Seen angrenzenden landwirtschaftlich genutzten Flächen zurückführen. Zusätzlich stellt das durch Auswaschung phosphathaltiger Böden belastete Grundwasser eine bedeutende Phosphatquelle dieser Seen dar. Obwohl seit des Anschlusses der Ortschaften Iffeldorf und Staltach an die Kanalisation von Penzberg im Jahr 1982 die direkte Belastung der Seen durch häusliche Abwässer wegfällt, kann davon ausgegangen werden, daß die Böden des Wassereinzugsgebietes der Iffeldorfer Seen nach wie vor eine erhebliche Phosphatlast speichern. Auch die Tatsache, daß die Kanalisation in Form eines sogenannten Trennsystems eingerichtet wurde, führte zu einer P-Belastung der Seen. Der auf Dächer und Straßen auftreffende Niederschlag fließt den Seen zu.

Die eutrophierenden Eigenschaften des über die Quelltrichter zuströmenden Grundwassers konnten durch Messungen von WIENDL (1987) zweifelsfrei bestätigt werden.

Die durch das phosphathaltige Grundwasser hervorgerufene Gewässerbelastung der drei Iffeldorfer Grundwasserseen wirkt sich noch deutlich auf den Phosphatgehalt des sich in der Durchströmungsrichtung anschließenden Fohnsees aus. Dessen Gesamt-P-Konzentration nimmt mit einem Durchschnittswert von  $44,4 \mu\text{g P/l}$  eine Mittelstellung zwischen den drei südlichsten und den übrigen Seen der Hauptseenkette ein.

Die außerordentliche Stellung des in die Hauptseenkette entwässernden Lustsees, die schon bei der Betrachtung der Sichtverhältnisse auffiel, wird durch seine niedrige mittlere Gesamt-P-Konzentration von  $12,1 \mu\text{g P/l}$  im Untersuchungsjahr 1987 unterstrichen.



Reihenfolge nach natürlicher Lage im Gelände

- |                       |                              |                 |
|-----------------------|------------------------------|-----------------|
| W = Waschsee          | w.Br = westl. Breitenauersee | Ga = Gartensee  |
| Sch = Schiffhüttensee | A = Ameisensee               | L = Lustsee     |
| Se = Sengsee          | ö.Br = östl. Breitenauersee  | B = Bräuhaussee |
| F = Fohnsee           | St = Stechsee                | E = Eishaussee  |
| O = Gr. Ostersee      | Gr = Gröbensee               | H = Herrensee   |

**Abb. 3:** Durchschnitt der Gesamtphosphat- und der SRP-Konzentrationen der Osterseen 1987 (April-Dezember, Mischprobe 0-4 m)

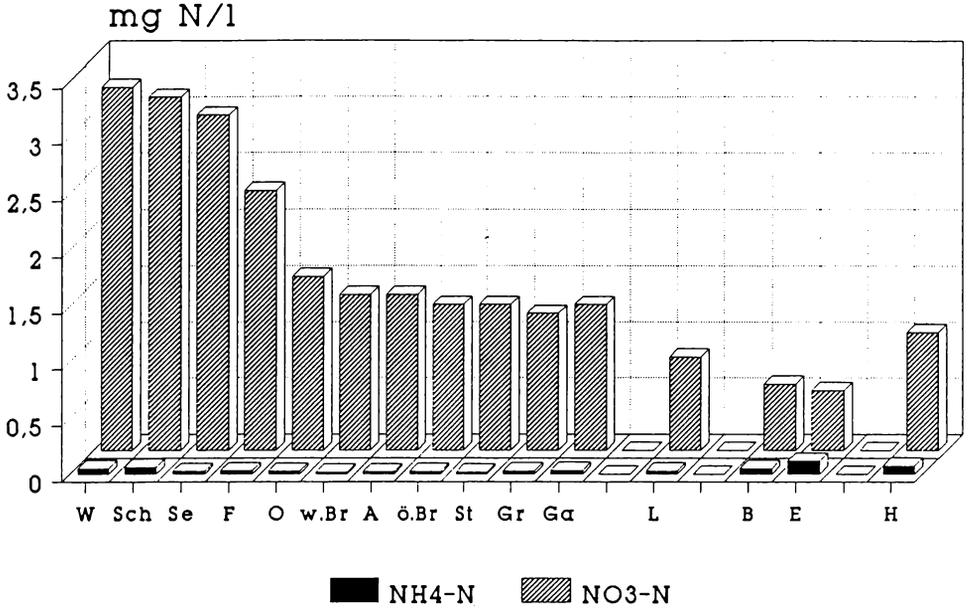
Die für die Staltacher Seengruppe ermittelten Gesamt-P-Werte für den Untersuchungszeitraum 1986/87 betragen 44,9 bzw. 24,0  $\mu\text{g P/l}$  für den Herrensee, 44,6 bzw. 33,8  $\mu\text{g P/l}$  für den Bräuhaussee und 34,8 bzw. 26,4  $\mu\text{g P/l}$  für den Eishaussee. Damit liegen die Phosphatkonzentrationen im Vergleich zur Ostersee- und zur Seeshaupter Gruppe deutlich höher, jedoch erheblich unter den Werten der drei südlichen Iffelder Grundwasserseen (Abb. 3).

In den Fischkaltersee wird das Wasser einer in seiner Nähe entspringenden Quelle, deren Wassereinzugsgebiet noch nicht exakt lokalisierbar ist, eingeleitet. Die hohen P-Konzentrationen dieses Zuflusses von 200-300  $\mu\text{g P/l}$  machen ihn, trotz seiner geringen Wasserschüttung, zu einem nicht unbedeutenden Phosphatlieferanten dieses Sees. Obwohl sich die Gewässerqualität des Fischkaltersees infolge der Sanierungsmaßnahmen, die von Seiten des BAYERISCHEN LANDESAMTES FÜR WASSERWIRTSCHAFT (1982) durchgeführt werden, beachtlich verbessert hat, muß weiterhin von einem Phosphatexport in den sich anschließenden Bräuhaussee ausgegangen werden.

Da der Herrensee in den Fischkaltersee entwässert, bleibt er von dessen Phosphatbelastung unbeeinträchtigt.

## 2.4 Stickstoff

Wie Abb. 4 zeigt, liegt anorganischer Stickstoff im Epilimnion aller untersuchten Seen vorwiegend in Form von Nitrat vor.



Reihenfolge nach natürlicher Lage im Gelände

W = Waschsee	w.Br = westl. Breitenauersee	Ga = Gartensee
Sch = Schiffhüttensee	A = Ameisensee	L = Lustsee
Se = Sengsee	ö.Br = östl. Breitenauersee	B = Bräuhaussee
F = Fohnsee	St = Stechsee	E = Eishaussee
O = Gr. Ostersee	Gr = Gröbensee	H = Herrensee

**Abb. 4:** Durchschnitt der Nitrat-N- und Ammonium-N-Konzentrationen der Osterseen 1987 (April-Dezember, Mischprobe 0-4 m)

Ebenso wie der Phosphorgehalt stellt der Nitratgehalt ein wesentliches Kriterium zur Beurteilung der Gewässerqualität eines Sees dar. Hohe Konzentrationen dieses Nährstoffs lassen sich zu meist auf anthropogen bedingte Nitratbelastung zurückführen.

Im Osterseengebiet stehen hier Düngerausschwemmungen aus landwirtschaftlich intensiv genutzten Flächen an erster Stelle. Durch den Zufluß von nitratbelastetem Grundwasser kommt es zu einer starken Beeinträchtigung der drei Iffeldorfer Grundwasserseen. Mit mittleren Nitrat-N-Konzentrationen von 3,23 mg/l im Waschsee, 3,14 mg/l im Schiffhüttensee und 2,98 mg/l im

Sengsee lagen die Nitratstickstoffwerte deutlich über dem Durchschnitt der anderen Seen. Die Nitratbelastung verschleppt sich auch noch in den sich anschließenden Fohnsee, der eine durchschnittliche Konzentration von 2,31 mg aufwies. Die Nitrat-N-Werte des Ostersees und der sich in Richtung Norden anschließenden Seen befanden sich in einem Bereich von 1,2-1,5 mg/l und lagen erheblich unter den Werten der südlichen Seen.

Im Lustsee, der bereits durch seine niedrigen Phosphorkonzentrationen auffiel, lagen die Nitrat-N-Konzentrationen stets unter der 1-mg-Grenze. Es ergab sich ein Durchschnittswert von 0,83 mg.

Die niedrigsten Nitrat-N-Konzentrationen waren jedoch in zwei Seen der Seitenkette zu beobachten. Der Eishaussee mit durchschnittlich 0,53 mg Nitrat-N/l und der Bräuhausee mit 0,59 mg Nitrat-N/l zeichnen sich als die nitratärmsten Seen des Untersuchungsgebietes aus. Im Herrensee lag der Durchschnittswert bei 1,1 mg Nitrat-N/l (RAEDER 1990). Diese beschriebene Tendenz konnte schon in den Jahren 1974/75 von MELZER (1976) belegt werden.

Da im Oberflächenwasser die ammoniumverbrauchenden Prozesse überwiegen, lassen sich jedoch in nahezu allen Seen nur geringe Ammoniumkonzentrationen (19-64 µg/l) feststellen.

Lediglich im meromiktischen Eishaussee liegen die Ammoniumkonzentrationen, deren Durchschnitt 118 µg/l betrug, stets über den Werten der anderen Seen. Die ganzjährig anaeroben Bedingungen in seinem Tiefenwasser führen zu einer Zunahme von Ammonium durch die Ammonifikationsprozesse. Diese Anreicherung wirkt sich im Laufe der Zeit auf den gesamten Wasserkörper aus.

### **3. Hydrobotanische Untersuchungen**

Anhand der Verbreitung der Wasserpflanzen ließen sich hochsignifikante Zusammenhänge zwischen dem Vorkommen bestimmter Arten und dem Nährstoffgehalt der Gewässer feststellen (MELZER 1976, 1988, BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR WASSERFORSCHUNG 1985). Zusätzlich konnte gezeigt werden, daß sich Grundwasserseen in ihrem Wasserpflanzeninventar von Seen ohne Grundwasserzufuhr unterscheiden. Aufgrund dieser Ergebnisse war es möglich, diversen makrophytischen Wasserpflanzen Indikatoreigenschaften zur Bestimmung des Gewässerzustandes eines Sees zuzuschreiben.

*Utricularia ochroleuca*, *U. minor*, *Potamogeton coloratus* und insbesondere Vertreter der Gattung *Chara* wie *Ch. hispida* und *Ch. aspera* kennzeichnen die Pflanzengesellschaft des unbelasteten Lustsees. Diese Arten finden sich jedoch auch in den geringfügig belasteten Gewässern, wengleich hier *Chara contraria*, *Ch. aculeolata* und *Ch. tomentosa* sowie *Utricularia australis* und *Potamogeton natans* dominieren. Zu diesem Gewässertypus gehören die nördlich des Ostersees anschließenden Seen der Hauptseenkette. *Myriophyllum spicatum*, *M. verticillatum*, *Potamogeton pectinatus* und *P. perfoliatus* prägen das Wasserpflanzeninventar der mäßig belasteten Seen, wozu der Ostersee, der Fohnsee und der Eishaussee zählen. *Ceratophyllum demersum* kommt nur in belasteten Gewässern ohne Grundwassereinfluß wie dem Bräuhausee und dem Fischkaltersee vor. *Fontinalis antipyretica* und *Hippuris vulgaris* sind dagegen an die nährstoffreichen Seen mit ausgeprägter Grundwasserzufuhr im Süden der Seenkette gebunden.

### **Literatur**

- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR WASSERFORSCHUNG, 1985: Die Bedeutung von Makrophyten für die Gewässerökologie. Ber. 1/85: 1-345.  
BAYERISCHES LANDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT, 1982: Beiträge zur Limnologie bayerischer Seen. Hrsg: BLfW. 1/82: 1-137.  
BODECHTEL, J., 1965: Die südlichen Osterseen bei Iffeldorf in Oberbayern. Erdkunde 19: 150-155.

- MELZER, A., 1976: Makrophytische Wasserpflanzen als Indikatoren des Gewässerzustandes oberbayerischer Seen. Diss. Bot. 34: 1-196.
- MELZER, A., 1988: Der Makrophytenindex - eine biologische Methode zur Ermittlung der Nährstoffbelastung von Seen. Habil.-Schrift TU München: 1-249.
- RAEDER, U., 1990: Vergleichende Untersuchungen der Phytoplanktonsuccession von 15 Seen des Osterseegebietes. Diss. TU München: 1-202.
- ROTHPLETZ, A., 1917: Die Osterseen und der Isarvorlandgletscher. Mitt. Geogr. Ges. München 12: 99-314.
- SCHWOERBEL, J., 1984: Einführung in die Limnologie. 6. Auflage. Uni-Taschenbuch 31, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart: 1-233.
- WIENDL, M., 1987: Hydrochemische Untersuchungen an den Osterseen. Diplomarbeit, Inst. f. Botanik u. Mikrobiologie TU München: 1-165.
- ZORELL, F., 1941: Beiträge zur Kenntnis der oberbayerischen Osterseen. Mitt. Geogr. Ges. München 33: 19-42.

### **Adresse**

Prof. Dr. Arnulf Melzer  
Dr. Uta Raeder  
Limnologische Station der TUM  
Hofmark 3

W - 8127 Iffeldorf

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie](#)

Jahr/Year: 1991

Band/Volume: [20\\_2\\_1991](#)

Autor(en)/Author(s): Melzer Arnulf, Raeder Uta

Artikel/Article: [Hydrochemische und hydrobotanische Untersuchungen an den Osterseen 487-495](#)