

# Die Limnologie des Oeschinensees, mit besonderer Berücksichtigung des Planktons, der Sedimentation und der Schwermetallbelastung

Autor(en): **Bloesch, Jürg / Hohmann, Doris / Leemann, Andreas**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern**

Band (Jahr): **52 (1995)**

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-318590>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

JÜRIG BLOESCH<sup>1)</sup>, DORIS HOHMANN<sup>2)</sup> UND ANDREAS LEEMANN<sup>3)</sup>

# Die Limnologie des Oeschinensees, mit besonderer Berücksichtigung des Planktons, der Sedimentation und der Schwermetallbelastung.

*Ein klarer ruhiger Bergsee in Gottes Natur  
ist das stille grosse Glück des Lebens (JBM)*

## 1. Einleitung

Seit den ersten Tagen der Limnologie haben Bergseen eine besondere Faszination auf den Forscher ausgeübt. Dies ist nicht nur auf die grosse Anziehungskraft der wunderbaren Szenerie der Bergwelt zurückzuführen, sondern auch damit zu begründen, dass Ökosysteme unter extremen Bedingungen besonders interessant sind. Allerdings sind Untersuchungen an entlegenen Bergseen bis heute meistens mit grossen logistischen Problemen verbunden, so dass noch viele Wissenslücken vorhanden sind.

Auch über die Limnologie des Oeschinensees oberhalb Kandersteg (Kt. Bern) ist relativ wenig bekannt. Zwar untersuchte BOURCART (1906) den Oeschinensee schon zu Beginn dieses Jahrhunderts chemisch und physikalisch, bei GROLL (1904) dagegen finden sich nur Angaben über Wasserstände, Temperatur, Lichtspektrum und Färbung. Aus jüngster Zeit liegen stichprobenartige chemische Untersuchungen vor (MOSELLO 1989, 1990; NEF 1992). SCHMASSMANN (1920) fand im Vergleich zu anderen Bergseen eine qualitativ und quantitativ arme Bodenfauna. Schliesslich beschrieb NIKLAUS (1967) in einer geomorphologisch-limnologischen Monographie die Geologie und Morphologie des Oeschinensees (siehe *Tab. 1*). Er charakterisierte den See als Bergsturzsee mit unterirdischem Abfluss (Seespiegelschwankungen zwischen 10 und 12 m) und einem Einzugsgebiet, welches grösstenteils aus Kalkgestein besteht und zu 31,6% vergletschert ist. Die extremen Seespiegelschwankungen haben zur Folge, dass sich praktisch keine Litoralfauna etablieren kann, und die

Adressen der Autoren:

- <sup>1)</sup> Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EAWAG), Dübendorf.
- <sup>2)</sup> Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (EAWAG), Forschungszentrum für Limnologie, Kastanienbaum.
- <sup>3)</sup> Institut für Geologie, ETH Zürich.

starke Vergletscherung des Einzugsgebietes bewirkt starke Trübungen («Gletschermilch»). Leider verzichtete NIKLAUS gänzlich auf biologische Untersuchungen, so dass bis heute ausser dem Benthos nur wenig über die «Biologie» des Oeschinensees bekannt ist, besonders was das Plankton anbetrifft. Von BACHMANN (1927) erfährt man lediglich, dass ein Phytoplanktonzug am 27. Juli 1906 erfolglos blieb, und NIKLAUS (1967) fand am 4. August 1965 in 7 m Tiefe eine starke Verbreitung der Hornalge *Ceratium hirundinella*. Fischereiliche Daten (Bewirtschaftung) finden sich bei NIKLAUS (1967) und werden vom Kant. Fischereinspektorat in Bern laufend erhoben (unpubl.).

Neuere Arbeiten über das Phytoplankton in alpinen Bergseen (PECHLANER 1971; SCHNEIDER 1981; ENVICO 1992) haben gezeigt, dass in diesen oligotrophen und klimatisch extremen Ökosystemen relativ artenreiches Nannoplankton mit geringen Biomassen und geringer Produktion vorhanden ist. Dies lässt die Vermutung aufkommen, dass die Probenahme- und Auswertungsmethoden von BACHMANN (1927) zu ungenau waren, um die kleinen, zarten Formen zu erfassen (Planktonnetze mit zu grosser Maschenweite, Nichterfassung der kleinen Zellen im Umkehrmikroskop). Da der Oeschinensee fischereilich seit langem intensiv genutzt wird, interessiert es, mehr über die trophische Pyramide (Phytoplankton, Zooplankton) zu erfahren.

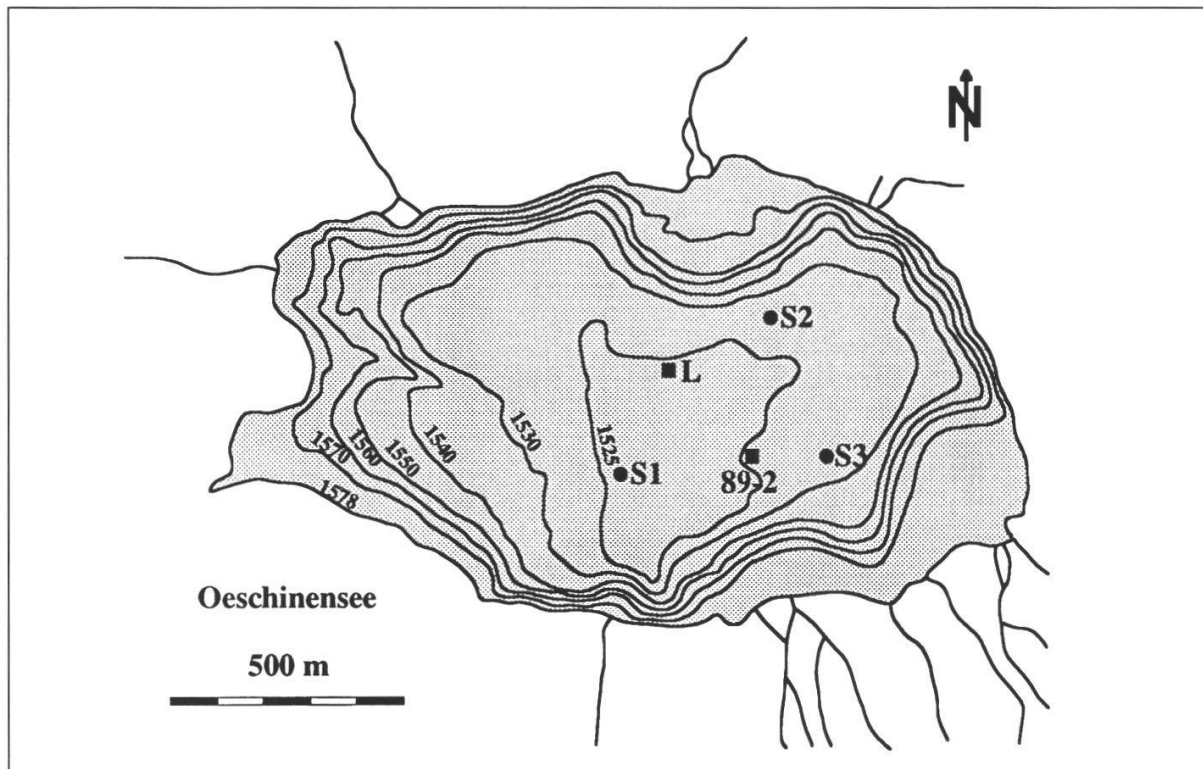
Ziel der vorliegenden Arbeit war deshalb eine limnologische bzw. planktologische Bestandesaufnahme (Artenliste) und eine Abschätzung der Primärproduktion. In Ergänzung zu den geologischen Untersuchungen von LEEMANN (LEEMANN et al. 1992; LEEMANN 1993) wurden zudem die Sedimentation und der Einfluss der Umweltbelastung durch Schwermetalle untersucht.

Meereshöhe	1573,2 m
Oberfläche	0,998 km <sup>2</sup>
maximale Tiefe	50,6 m
mittlere Tiefe	33,7 m
Volumen	33,6 km <sup>3</sup>
Fläche Einzugsgebiet	21,0 km <sup>2</sup>

*Tabelle 1:* Charakterisierung des Oeschinensees und seines Einzugsgebietes. Morphometrische Daten nach NIKLAUS (1967).

## 2. Methodik

Der Oeschinensee wurde am 31. Mai (nach Ende der Eisschmelze), 10. Juli, 19. August, 16. September und 14. Oktober 1991 untersucht. Mit einem Wasserschöpfer wurden verschiedene Tiefenstufen in der Seemitte (*Fig. 1*) beprobt; für die chemische Analyse wurden die Einzelproben in der Regel volumenproportional zu zwei Mischproben vereinigt (Epilimnion 0 bis 20 m, Hypolimnion 20 m bis Grund).



Figur 1: Oeschinensee mit Tiefenkurven und Zuflüssen. L = Probenahmestelle für die physikalisch-chemischen und planktologischen Untersuchungen; S1–S3 = Positionen der Sedimentfallen; 89–2 = Probenahmestelle für den Sedimentbohrkern.

**Physikalische Parameter.** – Die Temperatur und die elektrische Leitfähigkeit (normiert auf 20 °C) wurden mit dem Konduktometer LF 191 (Fa. WTW) in situ gemessen. Die Sichttiefe wurde mit der Secchi-Scheibe (Durchmesser 30 cm), die Wasserfarbe mit der Forel-Uhle-Skala bestimmt. Die Lichtmessungen (PAR = photosynthetisch aktive Strahlung) erfolgten nach UEHLINGER und BLOESCH (1989) und wurden auf einem DataLogger LI-1000 (LI-COR Inc. Lincoln, Nebraska, USA) abgespeichert.

**Chemische Parameter.** – Der Sauerstoff wurde nach der modifizierten Winkler-Methode bestimmt (ALSTERBERG 1926). Der pH-Wert und die Alkalinität (Säurebindungsvermögen, SBV) wurden mit dem 678 EP/KF Processor (Fa. Metrohm, Herisau) titrimetrisch gemessen. Der anorganische Gesamtkohlenstoff (TIC) wurde aus pH und SBV mit der Tabelle von Harvey und Rodhe (in SCHWOERBEL 1986) berechnet. Der partikuläre organische Kohlenstoff (POC) wurde nach Filtration der Proben durch GF/F Glasfaserfilter (vorgeglüht während 2 Stunden bei 500 °C) und Nachspülen mit 0.1 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (zur Auflösung des anorganischen Kohlenstoffes) durch Verbrennung bei 860 °C und Messung des CO<sub>2</sub>-Gases analysiert (SZABO et al. 1990).

Die Stickstoffkomponenten Nitrat und Nitrit im Filtrat, sowie gelöster Stickstoff (DN) und partikulärer Stickstoff (PN) nach einem Aufschluss mit Kaliumperoxodi-

sulfat wurden nach der Methode von SZABO et al. (1990) photometrisch bestimmt. Der Gesamt-N wurde aus der Summe von DN und PN berechnet.

Die Phosphorkomponenten Orthophosphat im Filtrat, sowie gelöster Phosphor (DP) und partikulärer Phosphor (PP) nach einem Aufschluss mit Kaliumperoxodisulfat wurden nach der Methode von SZABO et al. (1990) photometrisch bestimmt. Der Gesamt-P wurde aus der Summe von DP und PP berechnet.

Das Chlorophyll-a wurde nach einer Äthanolextraktion photometrisch bestimmt (DEV 1986).

**Biologische Parameter.** – Das Phytoplankton und Mikrozooplankton (Ciliaten und Rotatorien) wurden mit je drei Netzzügen (Maschenweite der Netze 250  $\mu\text{m}$ , 95  $\mu\text{m}$ , 30  $\mu\text{m}$ ) aus dem Epilimnion (0–20 m) und dem Hypolimnion (0–50 m) gewonnen. Die Proben wurden mit Lugol fixiert und im Umkehrmikroskop ausgezählt. Die Artbestimmung folgte im wesentlichen der Systematik nach PASCHER (1990), HUBER-PESTALOZZI (1976) und FOTT (1971). Die häufigsten Arten wurden ausgemessen, um die Zellvolumina zu berechnen; für seltenere Arten wurden Literaturangaben verwendet (Grim 1951; NAUWERCK 1963; PAVONI 1963; H.R.BÜRGI [EAWAG], unpubl.). Die Biomasse wurde durch Multiplikation der Zellzahlen mit dem entsprechenden Volumen berechnet, wobei das spezifische Gewicht des Phytoplanktons als 1 angenommen wird.

Das Makrozooplankton (Crustaceen) wurde mit je drei Netzzügen (Maschenweite der Netze 250  $\mu\text{m}$ , 95  $\mu\text{m}$ , 30  $\mu\text{m}$ ) von 0–20 m und 0–50 m gewonnen. Die Proben wurden mit Formol fixiert und unter dem Binokular ausgezählt. Die Biomasse wurde durch Volumenberechnung (eigene Daten; NAUWERCK 1963; H.R.BÜRGI [EAWAG], unpubl.) der häufigsten Arten berechnet.

Die Primärproduktion wurde mit der  $\text{C}^{14}$ -Methode gemessen (Exposition von 10 bis 14 Uhr nach UEHLINGER und BLOESCH (1989); «acid bubbling» nach GÄCHTER und MARES (1979)). Die Tagesproduktion wurde mit dem Modell von Gächter (1972) berechnet.

**Sedimentationsmessungen.** – Die Sedimentation des partikulären Materials wurde an drei Stellen (*Fig. 1*) mit zylindrischen Sedimentfallen (modifiziert nach BLOESCH und BURNS (1980): Höhe 80 cm, Durchmesser 8,5 cm) in 20 m Tiefe (Epifalle) und 3 m über Grund (Hypofalle) gemessen. Die Bodensedimente wurden mit einem Gravitations-Bohrlot nach KELTS et al. (1986) beprobt.

Das partikuläre Material wurde lyophilisiert; das Trockengewicht (48 Stunden bei 105 °C) wurde gravimetrisch bestimmt.

PP, PN und POC in den Sedimenten wurden mit den oben beschriebenen Methoden bestimmt. Für die Schwermetallanalyse wurde ein Königswasser-Aufschluss (6 ml HCl suprapur, 2 ml HNO<sub>3</sub> suprapur) im Mikrowellenofen durchgeführt. Die Messung von Mg, Ca, Cu, Cr, Ni, K, Fe, Mn und Zn erfolgte mit Atom-Absorptionsspektroskopie (ICP Perkin-Elmer); Cd und Pb wurden mit dem AAS-Graphitrohr und Hg mit dem AAS-Flammen-Photometer (5000 Perkin-Elmer) gemessen.

### 3. Resultate

#### 3.1 Physik und Chemie des Oeschinensees

Bezüglich der physikalischen und chemischen Limnologie erwies sich der Oeschinensee als «normaler» Bergsee, mit dimiktischem Schichtungsverhalten (zwei Vollzirkulationen im Frühling und im Herbst) und nährstoffarm (oligotroph). Die gemessenen Parameter werden im einzelnen wie folgt beschrieben:

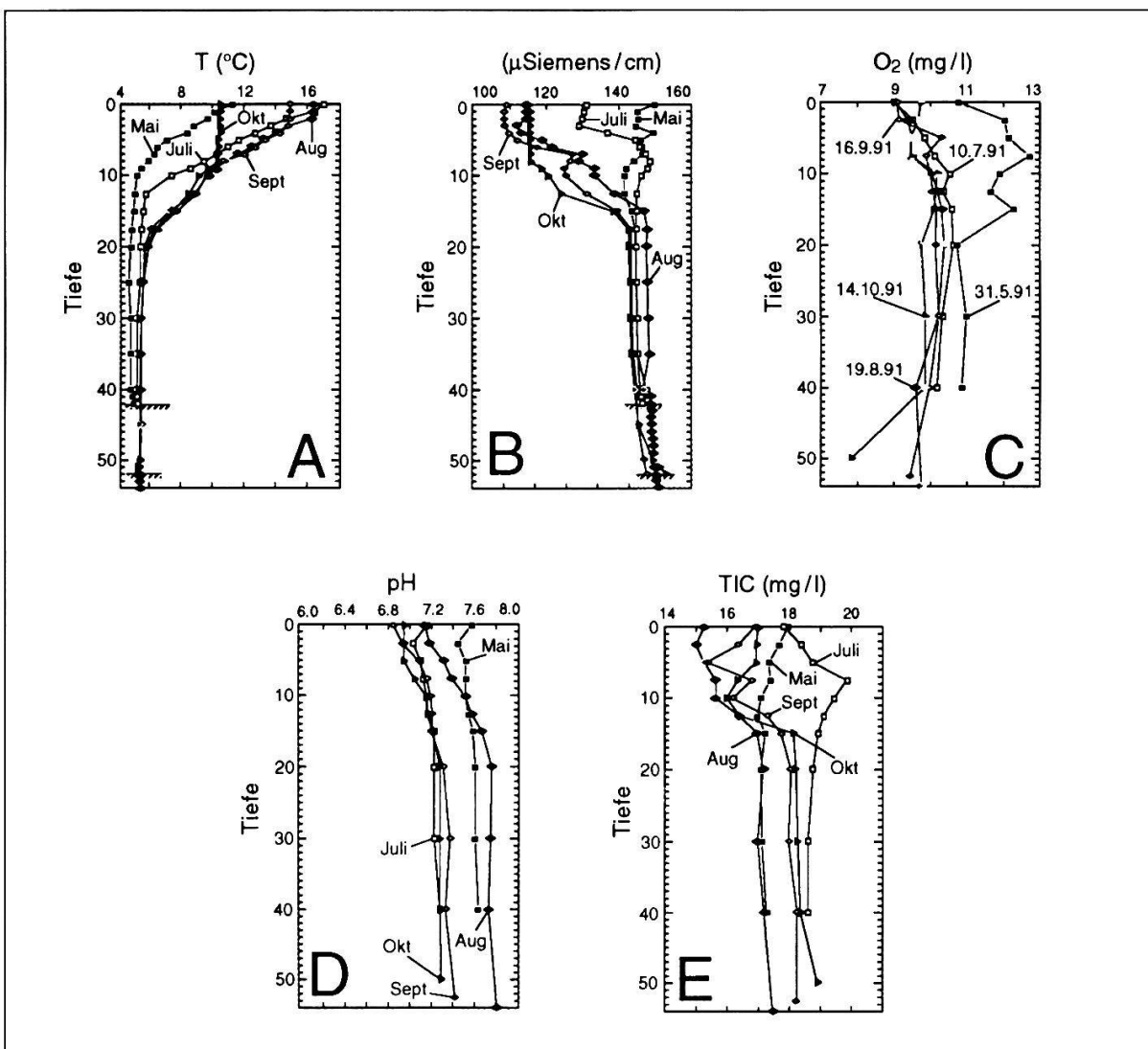
**Temperatur.** – Der Oeschinensee bildet keine eigentliche Sprungschicht bzw. kein klar abgrenzbares Epilimnion aus, wie dies aufgrund seiner alpinen Lage und Tiefe zu erwarten ist (*Fig. 2A*). Nur starke Winde könnten für kurze Perioden eine ausgeprägte Sprungschicht schaffen. Eine signifikante Erwärmung der Wassermassen im Sommer dringt nur bis ca. 20 m Tiefe. Die Schichtung war bereits am 31. Mai 1991 vorhanden und im August bis September maximal; am 14. Oktober war schon eine Teilzirkulation bis in 8 m Tiefe ersichtlich. Die Maximaltemperatur an der Oberfläche betrug 17 °C am 10. Juli. NIKLAUS (1967) und NEF (1992) vermerkten maximale Oberflächentemperaturen von über 18 °C.

**Leitfähigkeit.** – Die Leitfähigkeit (*Fig. 2B*) ist mit 110–150  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , dem kalkreichen Einzugsgebiet entsprechend, bedeutend höher als in Bergseen im Kristallin (10–100  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , SCHNEIDER 1981). Sie ist jedoch geringer als in vergleichbaren kalkreichen oligotrophen Alpenrandseen (z.B. Vierwaldstättersee 1990: 170–205  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , H. AMBÜHL [EAWAG], unpubl.). Eine saisonale Dynamik war nur in den obersten Schichten (0–15 m) ersichtlich (Abnahme vom Mai bis September/Oktober 1991 von 150 auf 110–115  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ), was mit der saisonalen Veränderung der Einschichtung der Zuflüsse erklärt werden kann.

**Lichtverhältnisse, Sichttiefe und Farbe.** – Im Frühling und im Herbst 1991 war die Sichttiefe rund 4–5 m, während sie im Sommer minimal war (Juli 0,9 m; August 2,2 m). NIKLAUS (1967) hat am 26.3.1961 eine maximale Sichttiefe von 17,25 m unter der Eisdecke gemessen.

Die gemessenen Eindringtiefen der photosynthetisch aktiven Strahlung (PAR) reflektieren diese grobe Bestimmung der Trübung (Juli: 20% PAR in 1,5 m Tiefe; August: 20% PAR in 3,2 m Tiefe; September: 20% PAR in 5 m Tiefe; siehe *Fig. 4*). Die beobachteten Trübungen werden nicht durch die Planktonbiomasse verursacht, sondern durch die von den Bergbächen eingeschwemmte Gletschertrübe (graue Farbe). Dies wurde auch bei der Bestimmung der Wasserfarbe mit der Forel-Uhleskala ersichtlich, welche, mit Ausnahme des 10. Juli (9 = grün plus Grauton) zwischen 4 und 6 (= blaugrün) lag.

**Sauerstoff.** – Die  $O_2$ -Konzentrationen bewegten sich in der Regel zwischen 9 und 10,5 mg/l (Fig. 2C); nur im Mai 1991 wurden höhere Werte bis zu 12,7 mg/l gemessen, welche möglicherweise durch eine nach der Eisschmelze einsetzende Phytoplanktonblüte verursacht worden sind (keine Messungen vorhanden). Die Sauerstoffsättigung (Tab. 2) betrug bis in 15 m Tiefe immer  $>100\%$ , und nahm im Sommer/Herbst graduell bis 74% in 50 m Tiefe ab (14. Oktober 1991). Das Phänomen der an der Seeoberfläche leicht verminderten  $O_2$ -Konzentrationen lässt sich mit einer geringen Primär- bzw. Sauerstoffproduktion und der Diffusion von  $O_2$  in die Luft erklären; die gegen den Herbst hin abnehmende Übersättigung ist auf die mit zunehmender Erwärmung begünstigte  $O_2$ -Entgasung zurückzuführen. Demgegenüber scheinen sich im Herbst über Grund Anzeichen einer allerdings sehr geringen  $O_2$ -Zehrung zu zeigen.



Figur 2: Fünf physikalisch-chemische Tiefenprofile im Oeschinensee, Sommer 1991. A: Temperatur; B: Leitfähigkeit; C: Sauerstoff; D: pH; E: Totaler anorganischer Kohlenstoff (TIC). Die genauen Probenahmedaten sind aus Figur 2C ersichtlich.

(Der tiefe Wert von 74% in 54 m Tiefe am 14. Oktober 1991 ist möglicherweise durch Kontamination der Wasserprobe mit Bodensediment entstanden.)

Tiefe	31.5.91	10.7.91	19.8.91	16.9.91	14.10.91
0 m	118	113	112	109	105
2,5 m	126	112	114	109	104
5 m	120	109	109	118	102
7,5 m	123	108	104	109	102
10 m	113	112	106	106	107
12,5 m	110	99	106	105	104
15 m	116	101	103	103	102
20 m	101	101	100	98	94
30 m	103	98	97	98	94
40 m	102	96	91	95	94
54 m	–	–	93	90	74

Tabelle 2: Sauerstoffsättigung (%) im Oeschinensee, 1991.

**Wasserstoffionenkonzentration bzw. Säuregrad (pH).** – Die gemessenen pH-Werte (Fig. 2D) bewegten sich zwischen 6,85 und 7,8. Sie reflektieren einerseits die Pufferung als Kalkgewässer gegen die Versauerung durch sauren Niederschlag (vgl. dazu die pH-Werte unter 6,6 bis 4,6 von Bergseen im Kristallin: STUMM und RIGHETTI 1982; EAWAG 1986); andererseits widerspiegeln sie die geringe Produktionstätigkeit des Phytoplanktons, welche in eutrophen Seen pH-Werte bis zu 9 und mehr verursachen kann (WETZEL 1983). Im Epilimnion waren die pH-Werte erniedrigt; die höchsten pH-Werte wurden im Mai und im August 1991 gemessen.

**Totaler anorganischer Kohlenstoff (TIC).** – Die TIC-Konzentrationen (Fig. 2E) waren mit 15–20 mg/l sehr gering. Die höchsten Werte wurden im Juli 1991 gemessen. Im Epilimnion waren die TIC-Konzentrationen meistens vermindert, was mit der Produktionstätigkeit des Phytoplanktons zusammenhängt.

**Gelöste Komponenten (Nährstoffe).** – Der Oeschinensee als abgelegener Bergsee ist dem nährstoffarmen, oligotrophen Seetyp zuzuordnen. Die gelösten Nährstoffe Phosphat ( $1\text{--}2\ \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ ) und Nitrat ( $260\text{--}340\ \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ ) zeigten keine wesentlichen zeitlichen und räumlichen Unterschiede (Tab. 3). Die tiefen Konzentrationen und die fehlende Dynamik deuten darauf hin, dass der Phosphor wachstumslimitierend und wenig Phytoplanktonbiomasse vorhanden ist. Organisch gelöste P- und N-Verbindungen (Gesamtkonzentration im Filtrat minus Phosphat- bzw. anorganische N-Konzentrationen) waren im Sommer erstaunlich hoch (P nur im Epilimnion):  $11\text{--}13\ \mu\text{g}\ \text{P}\cdot\text{l}^{-1}$  bzw.  $89\text{--}171\ \mu\text{g}\ \text{N}\cdot\text{l}^{-1}$ . Nitrit spielte im Stickstoffhaushalt keine Rolle (Konzentrationen von  $3\text{--}6\ \mu\text{g}\ \text{NO}_2\text{-N}\cdot\text{l}^{-1}$ ).



*Tabelle 3: Konzentrationen des Sestons, des Chlorophylls a und gelöster Nährstoffe im Epilimnion (0–20 m) und im Hypolimnion (20m–Grund) des Oeschensees, 1991.*

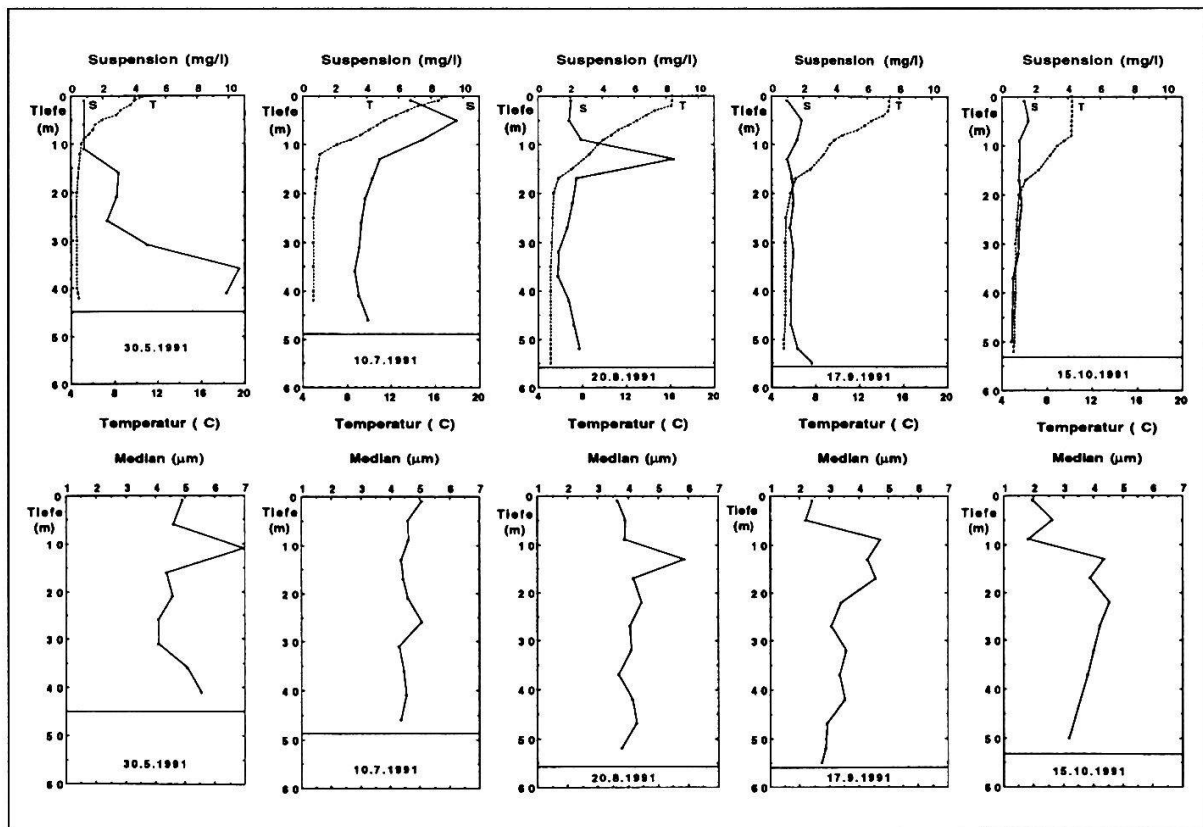
	31.5.91		10.7.91		19.8.91		16.9.91		14.10.91		Mittelwert ± Standardabweichung			
	Epi	Hypo	Epi	Hypo	Epi	Hypo	Epi	Hypo	Epi	Hypo	Epi	Hypo		
TG	2,4	5,1	5,7	2,7	3,5	2,8	1,5	1,7	0,7	0,8	2,8	± 1,9	2,6	± 1,6
PO <sub>4</sub> -P	2	2	2	5	2	1	2	1	2	2	2,0	± 0,0	2,2	± 1,6
DP	4	4	15	5	13	2	13	3	3	2	4,6	± 5,6	3,2	± 1,3
PP	5	6	6	4	5	4	3	2	3	3	4,4	± 1,3	3,8	± 1,5
Ges-P <sup>a</sup>	9	10	21	9	18	6	16	5	6	5	14,0	± 6,2	7,0	± 2,4
NO <sub>2</sub> -N	3	3	4	4	4	4	4	5	5	6	4,0	± 0,7	4,4	± 1,1
NO <sub>3</sub> -N	282	286	289	264	285	280	276	331	267	304	279,8	± 8,6	293,0	± 25,6
DN	299	302	382	366	460	420	388	342	316	414	369,0	± 64,3	386,8	± 49,6
PN	18	21	18	11	39	30	19	12	20	13	22,8	± 9,1	17,4	± 8,1
Ges-N <sup>b</sup>	317	323	400	377	499	450	407	354	336	427	391,8	± 71,6	386,2	± 52,1
POC	260	260	200	140	500	300	230	140	160	120	270,0	± 133,8	192,0	± 82,0
Chl a <sup>c</sup>	0,2	0,2	0,4	-	0,6	0,1	1,5	0,5	0,2	0,1	0,6	± 0,6	0,2	± 0,2

<sup>a</sup> Summe von DP und PP

<sup>b</sup> Summe von DN und PN

<sup>c</sup> berechnet aus einzelnen Stufenproben

**Partikuläre Komponenten.** – Die Konzentrationen der partikulären Parameter waren gering, obwohl durch die Gletscher eine signifikante allochthone Zufuhr partikulären Materials stattfindet (vgl. Trübungen, Sichttiefe). Dies kann damit erklärt werden, dass diese Partikel sehr feinkörnig sind (Gletscherschluff), was auch deutlich in der Korngrößenanalyse der suspendierten Sedimente zum Ausdruck kommt (mittlerer Korndurchmesser [Median] etwa 2–5  $\mu\text{m}$ , Fig. 3). Die vertikale Verteilung des Sestons (Fig. 3) zeigte die verschiedenen Einschichtungen der Gletscherzuflüsse im Frühling (35 m) und Sommer (5–15 m); im Herbst war keine Einschichtung mehr erkennbar, da die Gletscherschmelze abgeschlossen war (vgl. auch Trübung bzw. Sichttiefe). Die mittleren Sestonkonzentrationen (Tab. 3) bewegten sich nur zwischen 1 und 6  $\text{mg/l}$  und waren im Frühsommer am höchsten (Mai–Juli 1991). Die POC-Konzentrationen lagen zwischen 150 und 500  $\mu\text{g POC}\cdot\text{l}^{-1}$  (Maximum im August). Die PP und PN Konzentrationen waren sehr gering: PP 2–6  $\mu\text{g P}\cdot\text{l}^{-1}$ , PN 11–39  $\mu\text{g N}\cdot\text{l}^{-1}$ .



Figur 3: Obere Reihe: Fünf Tiefenprofile der Wassertemperatur (T, punktierte Linien) und des suspendierten partikulären Materials (Seston, S, ausgezogene Linien). Untere Reihe: Tiefenverteilung der mittleren Korngrösse der suspendierten Partikel (Median) im Oeschinensee, Sommer 1991. Die Seespiegelschwankungen (zwischen 45 m und 56 m) sind aus den waagrechten Linien ersichtlich.

### 3.2 Plankton, Biomasse und Primärproduktion

**Phytoplankton- und Zooplankton-Arten.** – Aus den Artenlisten (Tab. 4 bis 6) geht hervor, dass das Oeschinenseeplankton sehr artenreich ist (mindestens 55 bzw. 17 systematische Einheiten aus dem Phytoplankton bzw. dem Zooplankton). Allerdings sind die gefundenen Arten nur in sehr geringer Abundanz<sup>1)</sup> vorhanden, mit Ausnahme einer «Massenentwicklung» von *Chlorella neustonica* im August bis Oktober 1991 (rund 11–13,5 Millionen Zellen·l<sup>-1</sup>, Tab. 4) und von *Eudiaptomus gracilis* (rund 700 bis 3100 Tiere·m<sup>-3</sup>, bei einem Anteil von 67–86% juveniler Tiere von August–Oktober, Tab. 6). Die Gesamtzellzahlen (ohne die *Chlorella*-Blüte) sind mit denen vergleichbar, die SCHNEIDER (1981) in anderen Bergseen gefunden hat. Die halbquantitativen, aus Netzzügen gewonnenen Zahlen zeigen, dass die Chrysophyceen *Dinobryon cylindricum* und *Mallomonas elongata*, die Kieselalge *Stephanodiscus hantzschii*, die nicht näher bestimmbaren Chloromonadophyceen und die Grünalge *Chlorella neustonica* die dominanten Phytoplanktonformen sind (Tab. 4). Eine beachtliche Dichte erreichte das Mikrozooplankton (rund 30 000–60 000 Ciliaten·l<sup>-1</sup> und 8000–20 000 Rotatorien·l<sup>-1</sup>, Tab. 5); dabei waren *Keratella cochlearis* und *Polyarthra* sp. die weitaus häufigsten Rotatorien. Beim Makrozooplankton überwiegen die Crustaceen *Eudiaptomus gracilis*, *Cyclops abyssorum* (Copepoden) und *Daphnia* sp. (Phyllopoden), siehe Tab. 6. Sowohl die Fänge aus den Netzen mit Maschenweiten von 250, 95 und 30 µm als auch aus den Tiefenstufen 0–20 m und 0 m-Grund ergaben keine grossen Unterschiede in den Abundanzzahlen. Aus letzterem Befund kann gefolgert werden, dass das Crustaceenplankton im Sommer vorwiegend in den obersten 20 m des Sees lebt.

Das Phytoplankton ist vorwiegend durch kleine Arten (Nannoplankton) vertreten, was typisch für oligotrophe Seen ist. Die meisten gefundenen Chrysophyceen und *Gymnodinium* sind zudem ausgesprochene Kaltwasserformen, die in alpinen Seen häufig zu finden sind (HUBER-PESTALOZZI 1968, 1976). Analog zum Phytoplankton besteht das Crustaceen-Zooplankton aus Zwergformen der weitverbreiteten Gattungen *Cyclops*, *Eudiaptomus* und *Daphnia*.

1) Zwar sind die aus Netzzügen hochgerechneten Abundanzzahlen streng genommen nicht quantitativ; mit Hilfe von quantitativen Stichproben, am 22. Juni 1992 mit Wasserschöpfern entnommen, konnten jedoch die Netzzüge «geeicht» werden (vgl. SCHWOERBEL 1986). Somit sind die in den Tabellen 4–6 aufgeführten geringen Abundanzen in der richtigen Grössenordnung und können Aufschluss über die relativen Bestandesdichten der verschiedenen Planktonformen geben.

Systematische Einheit	31.5.91	10.7.91	19.8.91	16.9.91	14.10.91
<b>Bacteriophyta</b>					
<b>Chlamydobacteriales</b>					
Chlamydobacteriaceae					
<i>Leptothrix echinata</i> BEGER*)	17	–	–	–	–
<i>Leptothrix ochracea</i> (ROTH) KÜTZING *)	20	–	–	–	–
<b>Cyanophyceae</b>					
<b>Chlorococcales</b>					
Chroococcaceae					
<i>Dactylococcopsis linearis</i> GEITLER	–	–	–	14	–
<b>Hormonogales</b>					
Oscillatoriaceae					
<i>Oscillatoria</i> VAUCHER 1803 sp.	–	–	–	24	–
<b>Chrysophyceae</b>					
<b>Chromulinales</b>					
Chrysococcaceae					
<i>Chrysococcus</i> KLEBS sp. *)	7	–	–	4	–
<i>Kephyrion</i> PASCHER sp. *)	65	4	7	–	4
Pedinellaceae					
<i>Pseudopedinella erkensis</i> SKUJA *)	14	–	10	4	14
Chrysamoebaceae					
<i>Chrysamoeba</i> KLEBS sp.	–	–	–	10	–
<b>Ochromonadales</b>					
Ochromonadaceae					
<i>Ochromonas</i> WYSSOTZKI sp.	17	–	14	17	17
<i>Erkenia subaeqiciliata</i> SKUJA *)	–	–	–	7	10
Dinobryonaceae					
<i>Dinobryon cylindricum</i> IMHOF	52	18	5	65	715
<i>Pseudokephyrion</i> PASCHER emend SCHMID sp. *)	7	–	–	–	–
Synuraceae					
<i>Mallomonas elongata</i> REVERDIN *)	88	120	85	1	3
<b>Haptophyceae</b>					
<b>Prymnesiales</b>					
Prymnesiaceae					
<i>Chrysochromulina parvi</i> LACKEY	4	–	7	–	–
Diverse Chrysoflagellaten	–	–	10	35	4
<b>Xanthophyceae</b>					
<b>Mischococcales</b>					
Pleurochloridaceae					
<i>Goniochloris</i> GEITLER sp.	1	–	–	–	–
<b>Bacillariophyceae</b>					
<b>Centrales</b>					
Thalassiosiraceae					
<i>Melosira islandica helvetica</i> O. MÜLLER 1906 **)	–	–	–	–	–
<i>Cyclotella</i> KÜTZING sp.	6	35	14	24	55
<i>Stephanodiscus Hantzschii</i> GRUN. *)	240	58	28	48	38

Tabelle 4: Artenliste des Phytoplanktons im Oeschinensee, 1991. Zellzahlen \* 10<sup>3</sup> pro Liter, extrapoliert aus Netzzügen (Maschenweite 30 µm, 0–20 m) zur groben Abschätzung der Biomasse.

Systematische Einheit	31.5.91	10.7.91	19.8.91	16.9.91	14.10.91
<b>Pennales</b>					
<b>Fragilariaceae</b>					
<i>Meridion circulare</i> (GREVILLE) C.A. AGARDH 1831 **)	–	–	–	–	–
<i>Asterionella formosa</i> HASSALL 1850 **)	–	–	–	–	–
<i>Fragilaria crotonensis</i> KITTON *)	14	5	3	14	18
<i>Synedra acus</i> KÜTZING 1844 **)	–	–	–	–	–
<i>Synedra acus</i> var. <i>angustissima</i> GRUN. EHB. *)	1	1	–	1	2
<i>Synedra ulna</i> (NITZSCH.)	1	2	1	1	1
<i>Synedra</i> EHRENBERG 1830 sp.	–	–	–	–	2
<i>Tabellaria fenestrata</i> (LYNGB.) KÜTZING *)	–	–	–	5	–
<b>Eunotiaceae</b>					
<i>Eunotia</i> EHRENBERG sp. *)	–	2	–	–	–
<b>Naviculaceae</b>					
<i>Cymbella</i> AGARDH, 1830 sp.	1	–	–	9	–
<i>Navicula</i> BORY ST. VINCENT 1822 sp.	1	1	1	1	–
<b>Bacillariaceae</b>					
<i>Nitzschia</i> HASSALL sp. *)	1	–	–	–	2
<i>Nitzschia acicularis</i> (KÜTZING) W. SMITH 1853**)	–	–	–	–	–
Diverse Pennales *)	1	–	–	–	14
<b>Dinophyceae</b>					
<b>Peridinales</b>					
<b>Gymnodinaceae</b>					
<i>Amphidinium</i> CLAP. et LACHM. sp. *)	–	–	3	7	4
<i>Gymnodinium helveticum</i> PENARD	1	–	–	–	1
<i>Gymnodinium Lantzschii</i> UTERMÖHL *)	2	4	14	10	4
<b>Peridiniaceae</b>					
<i>Peridinium</i> EHRENBERG sp.	1	1	2	1	1
<i>Peridinium cinctum</i> PENARD 1891**)	–	–	–	–	–
<b>Ceratiaceae</b>					
<i>Ceratium hirundinella</i> (O.F.MÜLLER) SCHRANK	5	2	1	4	1
Diverse Dinocysten *)	2	1	8	–	7
<b>Chlorophyta</b>					
<b>Chlorophyceae</b>					
<b>Volvocales</b>					
<b>Chlamydomonadaceae</b>					
<i>Chlamydomonas</i> EHRENBERG sp.	–	7	7	28	–
<i>Carteria cordiformis</i> (CARTER) DILL	–	–	–	14	–
Diverse Volvocales	10	14	24	14	10
<b>Chlorococcaceae</b>					
<i>Planktosphaeria</i> G.M.SMITH sp.	–	–	–	7	–
<b>Botryococcaceae</b>					
<i>Botryococcus braunii</i> KÜTZING	–	3	–	–	–
<b>Dictyosphaeriaceae</b>					
<i>Dictyosphaerium pulchellum</i> WOOD **)	–	–	–	–	–

Tabelle 4: Fortsetzung 1

Systematische Einheit	31.5.91	10.7.91	19.8.91	16.9.91	14.10.91
<b>Radiococcaceae</b>					
<i>Eutetramorus</i> WALTON sp.	–	–	–	–	108
<i>Eutetramorus fottii</i> (HIND.) KOM. 1979**)	–	–	–	–	–
<b>Chlorellaceae</b>					
<i>Chlorella neustonica</i> BOURR.	95	1 325	11 750	12 000	13 500
<i>Monoraphidium</i> KOM.-LEGN. sp. *)	–	7	4	4	–
<i>Elakatothrix</i> WILLE sp. *)	135	2	–	21	–
<i>Elakatothrix gelatinosa</i> **)	–	–	–	–	–
<i>Kirchneriella obesa</i> (WEST) SCHMIDLE	–	–	4	–	–
Chlorophyta fädig	–	38	–	68	–
<b>Conjugatophyceae</b>					
<b>Desmidiiales</b>					
<b>Desmidiaceae</b>					
<i>Closterium leibleinii</i> KÜTZING	–	1	–	–	–
<i>Cosmarium depressum planktonicum</i>	–	–	1	–	–
<b>Euglenaphyceae</b>					
<b>Euglenaceae</b>					
	7	10	–	28	14
<b>Cryptophyceae</b>					
<b>Cryptomonadaceae</b>					
<i>Rhodomonas</i> KARSTEN 1898 sp. **)	–	–	–	–	–
<i>Cryptomonas</i> EHRENBERG 1838 sp. **)	–	–	–	–	–
<i>Cryptomonas Marssonii</i> SKUJA **)	–	–	–	–	–
<b>Chloromonadophyceae</b>	14	24	24	88	45
<b>Protomonadales</b>					
<b>Bodonaceae</b>					
<i>Bodo</i> STEIN 1878 sp. **)	–	–	–	–	–

\*) Diese Formen wurden auch in Stichproben vom 22.6.1992 gefunden.

\*\*\*) Diese Formen wurden 1991 nicht, aber in Stichproben vom 22.6.1992 gefunden.

Tabelle 4: Fortsetzung 2

Systematische Einheit	31.5.91	10.7.91	19.8.91	16.9.91	14.10.91
<b>Holotricha</b>					
Colepidae					
<i>Coleps</i> NITZSCH 1817 sp.	–	–	0,1	0,1	0,2
<b>Spirotricha</b>					
Tintinnidiidae					
<i>Tintinnidium fluviatile</i> STEIN 1863	–	0,3	0,3	1,2	–
<b>Halteriidae</b>					
<i>Strombidium viride</i> STEIN **)	–	–	–	–	–
<b>Ciliata</b>					
diverse kl. Ciliaten *)	1,1	0,9	1,6	1,6	
diverse gr. Ciliaten *)	0,5	0,5	1,2	2,5	1,0
farblose Ciliaten	37	30	48	58	55
<b>Nemathelminthes</b>					
<b>Rotatoria</b>					
<b>Monogonata</b>					
Brachionidae					
<i>Keratella cochlearis</i> GOSSE 1851	6	12	9	7	8
<i>Keratella quadrata</i> MÜLLER 1786	–	–	0,1	–	–
<i>Kellicottia longispina</i> KEL LICOTT 1879	0,1	0,1	0,1	–	–
Asplanchnidae					
<i>Asplanchna</i> GOSSE 1850 sp.	–	0,1	–	–	–
Synchaetidae					
<i>Polyarthra</i> EHRB. 1834 sp. *)	0,7	10	14	12	4
Testudinellidae					
<i>Filinia</i> BORY ST. VINCENT 1824 sp.	–	0,9	0,6	0,6	0,1
diverse Rotatorien	0,3	0,3	0,5	0,5	0,4
Rotatorien-Eier *)	1,4	11	5	4	9

\*) Diese Formen wurden auch in Stichproben vom 22.6.1992 gefunden.

\*\*) Diese Formen wurden 1991 nicht, aber in Stichproben vom 22.6.1992 gefunden.

Tabelle 5: Artenliste des Mikrozooplanktons (Ciliaten und Rotatorien) im Oeschinensee, 1991. Individuenzahlen  $\cdot 10^3$  pro Liter, extrapoliert aus Netzzügen (Maschenweite 30  $\mu\text{m}$ , 0–20 m) zur groben Abschätzung der Biomasse.

Systematische Einheit	31.5.91	10.7.91	19.8.91	16.9.91	14.10.91
<b>Arthropoda</b>					
<b>Crustacea</b>					
<b>Phyllopoda</b>					
<i>Daphnia</i> O.F. MÜLLER sp. adult	1	20	14	43	140
juvenil	1	33	6	16	79
<b>Copepoda</b>					
<i>Eudiaptomus gracilis</i> G.O. SARS 1862 adult	100	762	233	168	439
juvenil C1-C3	39	86	374	195	350
juvenil C4-C5	10	352	91	540	2 289
<i>Cyclops abyssorum</i> G.O. SARS 1863 adult	–	9	6	6	6
juvenil C1-C3	2	6	2	6	4
juvenil C4-C5	1	12	3	4	1
<i>Nauplius</i> sp.	36	106	312	168	266

Tabelle 6: Artenliste des Makrozooplanktons (Crustaceen) im Oeschinensee, 1991. Individuenzahlen pro  $\text{m}^3$ . Mittel aus 4 Netzzügen (Maschenweite 30  $\mu\text{m}$ , 95  $\mu\text{m}$  und 250  $\mu\text{m}$ ) von 0–20 m und 0 m-Grund.

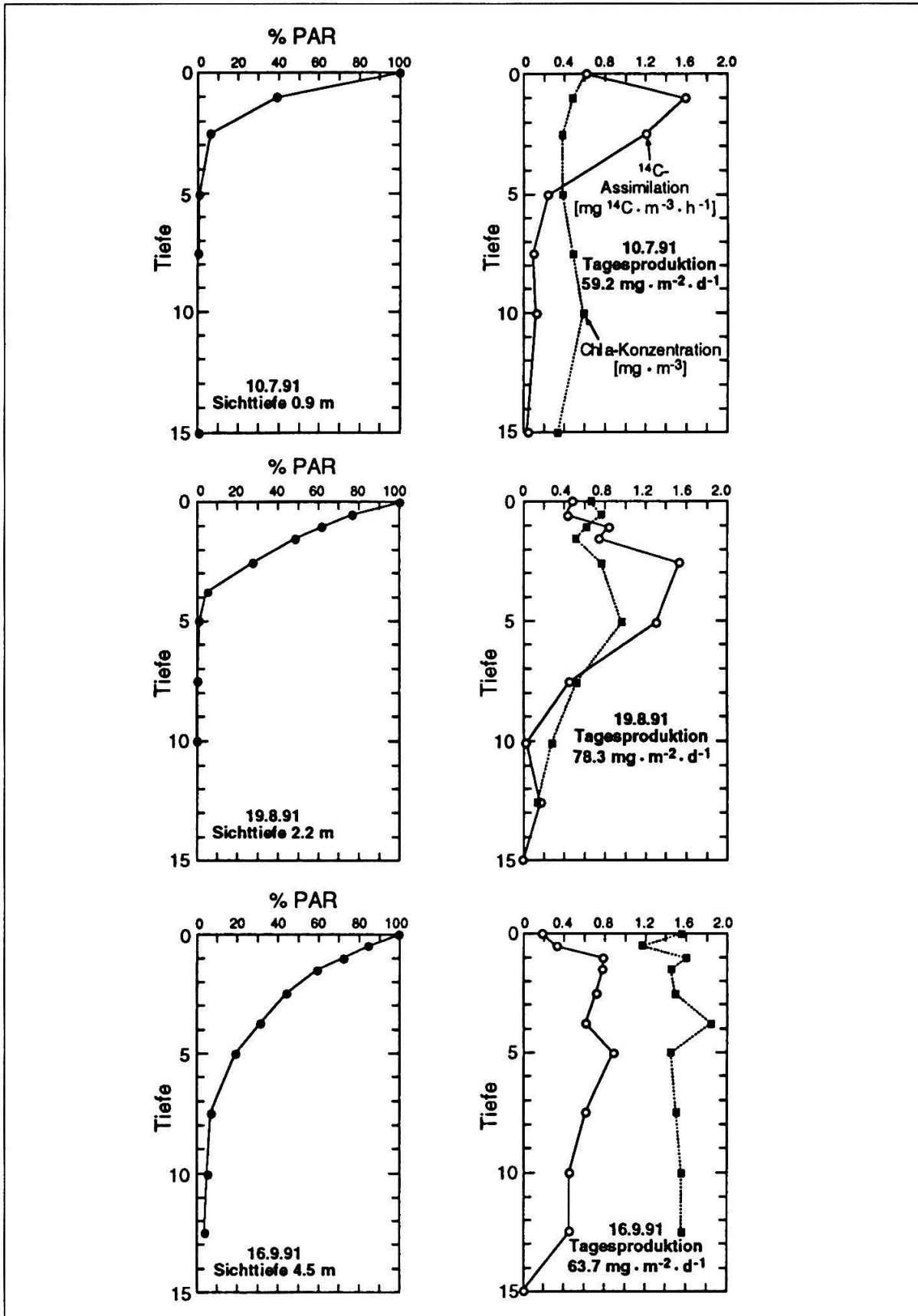
**Planktonbiomasse (Standing Crop).** – Aufgrund der geringen Abundanzen und kleinen Formen sind die Biomassen mit  $0,6\text{--}1,4\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  (Phytoplankton) bzw.  $<0,2\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  (Crustaceen-Zooplankton) entsprechend klein (Tab. 7). Die von NEF (1992) angegebene Phytoplanktonbiomasse von  $84\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$  in 0,7 m Tiefe am 7.7.1992 erscheint vergleichsweise äusserst gering. Im Vergleich zu anderen Bergseen (Tab. 9) sind unsere Biomassen allerdings gross, was mit dem hohen Aufkommen von *Chlorella* und einigen grossvolumigen Formen (z.B. *Ceratium hirundinella*, *Peridinium*, *Mallomonas elongata*) erklärt werden kann. Die Biomasse der Ciliaten und Rotatorien übertraf diejenige des Phytoplanktons deutlich ( $1\text{--}7\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ ), was für oligotrophe Seen nicht untypisch ist. Auch die Chlorophyllkonzentrationen als Biomasseparameter für das Phytoplankton waren im Vergleich mit anderen oligotrophen Gewässern sehr tief (Fig. 4): unter  $1\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$  ausser im September 1991, wo Werte zwischen 1 und  $2\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$  gemessen wurden.

	31.5.91	10.7.91	19.8.91	16.9.91	14.10.91
Phytoplankton	0,9	0,6	1,2	1,2	1,4
Zooplankton Rotatorien/Ciliaten	1,2	6,9	6,5	6,3	3,5
Crustaceen	0,01	0,06	0,03	0,05	0,17

Tabelle 7: Biomassen von Phytoplankton und Zooplankton ( $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ , 0–20 m) im Oeschinensee, 1991.

**Primärproduktion.** – Die Tagesprimärproduktion konnte nur an drei Tagen bestimmt werden und variierte von Juli bis September 1991 zwischen  $59,2$  und  $78,3\text{ mg C}_{\text{ass}}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ . Da an den Probenahmen strahlendes Sommerwetter herrschte, dürften dies Maximalwerte sein; die starke mineralische Trübung am 10. Juli 1991 (Sichttiefe 0,9 m) vermochte die Tagesprimärproduktion nur unwesentlich zu vermindern (Fig. 4). Im Vergleich zu anderen Bergseen (SCHNEIDER 1981, SICKMAN und MELACK 1992) liegen diese Sommerwerte im normalen Rahmen, das heisst sie sind typisch für einen oligotrophen Bergsee. Natürlich ist es mit dieser schmalen Datenbasis nicht möglich, eine genaue Jahresproduktion zu berechnen. Dazu müsste der ganze Jahresverlauf der Produktion bekannt sein, der in Bergseen ganz wesentlich durch die lokale Meteorologie im Winter (Schneefall, Eisperiode) beeinflusst wird. Obwohl die Produktionskurven von Jahr zu Jahr sehr unterschiedlich sein können, ist die Jahresprimärproduktion in solchen Seen jedoch erstaunlich konstant (SICKMAN und MELACK 1992). Eine vorsichtige Abschätzung für den Oeschinensee (mit extrapolierten Winter-Tageswerten von  $10\text{--}15\text{ mg C}_{\text{ass}}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$  und Herbst- bzw. Frühlings-Tageswerten von  $30\text{ mg C}_{\text{ass}}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ ) ergibt eine Grössenordnung von nur etwa  $11\text{ g C}_{\text{ass}}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{J}^{-1}$ . Die Primärproduktion in hochgelegenen alpinen Seen ist somit wesentlich geringer als diejenige oligotropher Tieflandseen (PECHLANER 1971; SCHNEIDER 1981; BLOESCH und



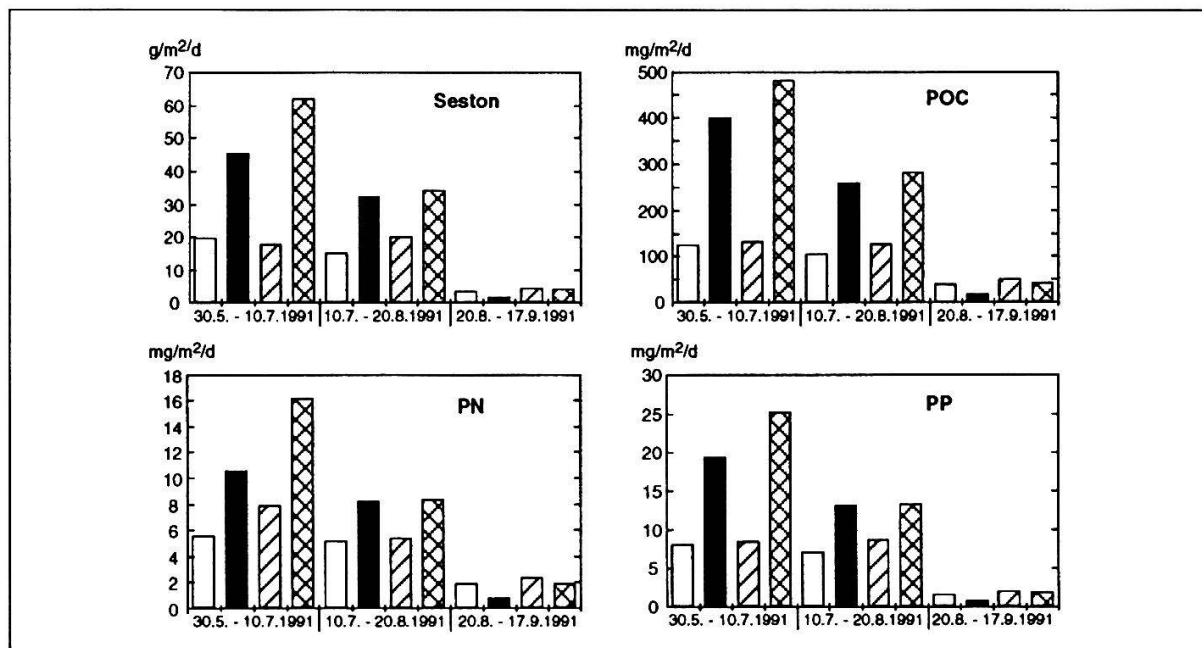


Figur 4: Photosynthetisch aktive Strahlung (PAR), Sichttiefe, Primärproduktion (ausgezogene Linien) und Chlorophyll *a* (punktierete Linien) im Oeschinensee, Sommer 1991.

UEHLINGER 1990); produktionsbegrenzend wirken dabei nebst den wachstumslimitierenden marginalen Nährstoffkonzentrationen und der Temperatur vor allem die Sonnenstrahlung. Darauf deutet die Hemmung der Photosynthese bei intensiver Strahlung (Fig. 4) hin. Zusätzliche  $C^{14}$ -Experimente in parallel zu normalen Glasflaschen exponierten, mit ultraviolett absorbierendem Plastic (Hart-PVC transparent) abgedeckten Flaschen ergaben ferner signifikant höhere Messwerte; so wurde die Tagesproduktion durch die UV-Bestrahlung am 10. Juli 1991 um 61%, am 19. August 1991 um 32% vermindert.

### 3.3 Sedimentationsraten und Bodensedimente

**Seston und partikulärer C, N, und P.** – Die mittleren Sedimentationsraten im Sommer 1991 betragen: 25–36  $g\ TG \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$ , 190–285  $mg\ POC \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$ , 7–10  $mg\ PN \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$  und 10–15  $mg\ PP \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$  (Fig. 5). Die Sedimentationsraten aller vier Komponenten nahmen vom Mai/Juli bis August/September 1991 stetig und in ähnlicher Weise ab, so dass diese Raten im Herbst/Winter eine runde Zehnerpotenz geringer waren. Dabei fallen die gegenüber dem PN erhöhten PP Fluxe auf, welche im Gegensatz zur Planktonstöchiometrie (Redfield-Verhältnis, REDFIELD et al. 1963) von C:N:P = 42:7:1 stehen; dies deutet auf einen hohen Input von allochthonem Apatit-P aus Gletscherschluff hin.



Figur 5: Sedimentationsraten des Sestons (Trockengewicht TG), des partikulären organischen Kohlenstoffs (POC), des partikulären Stickstoffs (PN) und des partikulären Phosphors (PP) im Oeschinensee, Sommer 1991. Stelle 2: weisse Säulen = Epifalle; schwarze Säulen = Hypofalle; Stelle 3: einfach schraffierte Säulen = Epifalle; doppelt schraffierte Säulen = Hypofalle.

Beide Messstellen sind von der Zufuhr allochthonen partikulären Materials beeinflusst, Stelle 2 (in der Nähe des Nordufers) durch den Berglibach und Stelle 3 (in der Nähe des Südufers) durch die Bäche in den Fründen (Fründenschnüre). An Stelle 3 wurden meist höhere Sedimentationsraten gemessen als an Stelle 2, besonders in den Hypofallen, da die steileren Fründenbäche vermutlich gröbere, rascher aussedimentierende Partikelfraktionen in den See eintragen als der flachere Berglibach. Die Sedimentfallen an Stelle 1 konnten nach der ersten Exposition nicht mehr aufgefunden werden, weshalb keine Resultate vorliegen.

Die Unterschiede von Epifalle zu Hypofalle waren viel grösser als die horizontalen Unterschiede: die Hypofalle mass, ausser im September, stets wesentlich grössere Fluxe als die Epifalle. Dies deutet auf eine tiefe Einschichtung der kalten partikel-führenden Gletscherbäche hin (vgl. *Fig. 3*), was im Gegensatz zu den Beobachtungen von NIKLAUS (1967) steht. Obwohl Resuspension von Bodensedimenten als Folge von Sedimentrutschungen an den steilen subaquatischen Hängen vorkommen kann (LEEMANN et al. 1992), muss dies für unsere Messperiode ausgeschlossen werden, da im folgenden Sommer (1992) gezogene Sedimentkerne keine entsprechenden Ablagerungen (Turbidite) aufweisen.

**Schwermetalle.** – In unseren Gewässern sind die Schwermetalle kaum in gelöster Form vorhanden, sondern weitgehend an die partikuläre Phase gebunden (SIGG 1985). Sowohl in den herabsinkenden frischen Sedimenten als auch in den Bodensedimenten des Oeschinensees konnten nur geringe Schwermetallkonzentrationen nachgewiesen werden (*Tab. 8*); diese dürften von der natürlichen Verwitterung der Gesteine herrüh-

Schwer- metall	Oeschinensee Sedimentfallen <sup>a)</sup>			Boden- sedimente <sup>b)</sup>	EPA (USA) <sup>c)</sup> nicht verschmutzt	CANADA <sup>d)</sup> kein Effekt	kleinster Effekt	Toleranz- limite
	Mittelwert	(12 Werte)	Maximum					
Ca	310 839	± 21 385	342 150	272 437				
Mg	8 092	± 613	8 799	9 230				
K	520	± 98	669	734				
Fe	12 269	± 1 853	15 194	15 841	<17 000	20 000	30 000	40 000
Mn	291	± 36	360	328	<300	400	457	1 110
Zn	81	± 22	119	65	<90	65	110	800
Cu	10,95	± 3,91	19,17	11,38	<25	15	25	114
Cr	18,48	± 4,65	24,88	11,18	<25	22	31	111
Ni	37,10	± 11,18	65,29	36,49	<20	15	31	90
Cd	0,65	± 0,35	1,37	1,08	?	0,6	1,0	10,0
Pb	42,32	± 34,04	128,22	31,78	<40	23	31	250
Hg	0,09	± 0,02	0,12	0,31	<1,0	0,1	0,12	2,0

a) Epi- und Hypofallen der Stellen 2 und 3; 3 Expositionszeiten (29.5.–10.7.91; 10.7.–20.8.91; 20.8.–17.9.91).

b) Bohrkern der Stelle 89–2 vom 17.10.1989.

c) USA-Richtlinien für Sedimentklassifizierung in den Häfen der Great Lakes (aus GIESY und HOKE 1990, S. 280).

d) Kanadische Qualitätskriterien für Sedimente, vorgeschlagen vom Umweltministerium Ontario (aus GIESY und HOKE 1990, S. 282).

*Tabelle 8:* Schwermetallgehalt der Sedimente im Oeschinensee (29. Mai–17. September 1991), Mittelwerte ± Standardabweichung. Alle Konzentrationen in  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  Trockengewicht.

ren. Der Oeschinensee darf also bezüglich der Schwermetallbelastung als unbelastet eingestuft werden.

#### 4. Diskussion

Eine zusammenfassende Beurteilung unserer Untersuchungen zeigt, dass der Oeschinensee ein aussergewöhnlicher Bergsee ist. Dies aus zwei Gründen:

1. Aufgrund der geologischen Entstehung (Bergsturzstausee: NIKLAUS 1967) hat dieser See unterirdische Abflüsse und deshalb extrem hohe Wasserspiegelschwankungen; diese unterirdischen Abflüsse, welche vermutlich bei Vertiefungen und Löchern im Bodensediment austreten, sind noch weitgehend unbekannt und wurden 1991 intensiv untersucht (TRACHSEL 1991). – 2. Aufgrund des stark vergletscherten Einzugsgebietes weist der See im Sommer grosse Gletschertrübungen auf.

Die ohnehin schon kargen Bedingungen in Bergseen werden dadurch noch extremer. Dies drückt sich darin aus, dass nur eine spärliche Bodenfauna und keine Litoralfauna vorhanden sind (SCHMASSMANN 1920), und dass das Phytoplankton und das Zooplankton zwar artenreich, aber in nur sehr geringen Mengen auftreten. Obwohl unsere Daten nicht ausreichen, um die trophische Nahrungspyramide und trophische Interaktionen zwischen Primärproduzenten, Primär- und Sekundärkonsumenten genau zu analysieren, kann gesagt werden, dass wenig planktische Nahrung für die ausgesetzte Fischfauna vorhanden ist. Diese muss daher v.a. auf Flugnahrung ausweichen, die aus lokalklimatischen Gründen in diesem Bergkessel sehr abundant ist (CH. KÜNG [Fischereiinspektorat Kt. Bern], persönl. Mittg.). Die grössten Kanadischen Seeforellen dürften sich ohnehin von ausgesetzten kleineren Fischen ernähren (GRIMAS und NILSSON 1962), so dass hier die natürliche Nahrungskette durch den Fischbesatz deutlich verändert worden ist.

Trübungen in Seen haben als Folge der Lichtstreuung generell eine Verkleinerung der euphotischen (lichtdurchlässigen) Zone bzw. der produktiven Schicht zur Folge. Die Kompensationstiefe, d.h. die Tiefe, in der noch etwa 1% des eingestrahnten Lichtes vorhanden ist, verschiebt sich daher nach oben (siehe *Fig. 4*). Da diese Beziehungen nicht linear sind (WETZEL 1983; ENVICO 1992), kann durch übermässige Trübung die Kompensationstiefe nicht beliebig reduziert werden. Wie ein Vergleich des Oeschinensees mit anderen oligotrophen Bergseen in *Tabelle 9* zeigt, gibt es keinen klaren Zusammenhang zwischen der Sichttiefe<sup>2)</sup> und Biomasse bzw. Produktion; letztere

<sup>2)</sup> In Ermangelung von vergleichbaren Daten über die Trübung (Sestonkonzentrationen, direkte Trübungsmessungen) haben wir die Sichttiefe aufgeführt, obwohl diese nicht nur durch Trübungen (Lichtstreuung), sondern auch durch gelöste gefärbte Substanzen (Absorption) beeinflusst wird. Da letztere in oligotrophen Bergseen keine grosse Rolle spielen, dürfte dieser Einfluss hier jedoch vernachlässigbar sein.

**Tabelle 9: Mittlere Trübung und Phytoplankton Biomasse und Jahresproduktion in verschiedenen oligotrophen Schweizer Bergseen und Alpenrandseen. Werte in Klammern = Anzahl Messwerte (wenn möglich wurde die Standardabweichung berechnet).**

See	m ü.M.	Fläche km <sup>2</sup>	Maximale Tiefe m	Trübung Secchi-Tiefe m	Phytoplankton Biomasse mg.l <sup>-1</sup>	Primär- produktion g Cass.m <sup>-2</sup> .J <sup>-1</sup>	Literatur
Lago Sasso 1971-75	2074	0,053	32	14,8	0,06	(2)	Schneider 1981
Lago Sambuco 1971-75	1461	1,120	125	12,6	0,09	(3)	Schneider 1981
Lago Tremorgio 1971-75	1821	0,321	51	12,0	0,33	(3)	Schneider 1981
Lago Sella 1971-75	2256	0,450	35	11,9	0,12 ± 0,07	(8)	Schneider 1981
Lago Narèt 1971-75	2227	0,734	104	10,8	0,04	(2)	Schneider 1981
Lago Dentro 1971-75	2298	0,064	28,4	8,5	0,34 ± 0,30	(7)	Schneider 1981
Lago Ritom 1971-75	1850	1,492	68,3	6,6	0,16 ± 0,12	(13)	Schneider 1981
Lago Cadagno 1971-75	1923	0,274	21,5	6,2	0,66 ± 0,60	(5)	Schneider 1981
Lago Tom 1971-75	2021	0,094	12	6,1	0,60 ± 0,38	(11)	Schneider 1981
<b>Oeschinensee 1991</b>	<b>1573</b>	<b>0,998</b>	<b>50,6</b>	<b>3,5 ± 1,8</b>	<b>1,1 ± 0,3</b>	<b>(5)</b>	<b>diese Arbeit</b>
Lago Robiei 1971-75	1940	0,238	65	2,6	0,02	(2)	Schneider 1981
Lago Bianco 1988/89	2234	1,4	53	0,3 ± 0,1	0,05 ± 0,05	(6)	ENVICO 1992
Lago Poschiavo 1988/89 a)	962	2,0	83	2,5 ± 1,6	1,15 ± 1,1	(23)	ENVICO 1992
Vierwaldstättersee 1991	434	114	214	7,0 ± 1,9	1,1	148	EAWAG, unpubl.
Brienzersee 1985	564	30	261	4,4 ± 1,1	-	93 <sup>b)</sup>	Spieß 1985

a) Durch Unwetter im Sommer 1987 und nachfolgende Bauarbeiten an den Zuflüssen beeinflusst.

b) Nur Periode vom Juni-August 1985.

müssen, unabhängig von der Trübung, als sehr gering eingestuft werden, und die nur relativ gesehen grossen Unterschiede in den beiden biologischen Parametern sind auf die relativ hohe Ungenauigkeit der Methoden zurückzuführen. Da wir im Oeschinensee nur Sommerwerte gemessen haben, ist unsere durchschnittliche Biomasse tendenziell zu hoch. Auch ist es möglich, dass durch die Netzzüge grosse Planktonformen überproportional erfasst worden sind. Die einzelnen Funde von Massenaufreten (vgl. auch NIKLAUS 1967) deuten auf ein sehr dynamisches Ökosystem hin. Während das Phytoplankton durch zeitweise epilimnische Turbulenzen in tiefere, dunklere Wasserschichten verfrachtet werden kann, wird die Primärproduktion durch starke Trübungen nicht wesentlich reduziert, sondern lediglich auf einen engeren Raum (verminderte euphotische Schicht) beschränkt. Eine markant höhere Produktion kann erst in den oligotrophen, z.T. auch leicht getrüben Alpenrandseen festgestellt werden, wo die Nährstoffe (Phosphor) wachstumslimitierend sind. In den Bergseen dürfte dagegen nebst dem Phosphor und der Temperatur vor allem die Sonnenstrahlung produktionsbegrenzend sein (vgl. Hemmung der Primärproduktion in den obersten Schichten, *Fig. 4*). Dies wird verständlich, wenn man berücksichtigt, dass besonders die in der Höhe intensivere ultraviolette Strahlung die Produktion der Algen hemmt (eigene Messungen; BÜHLMANN et al. 1987).

Aufgrund der geringen Planktonbiomasse und -produktion ist die Sedimentation des Oeschinensees nicht autochthon (durch die Planktonproduktion), sondern allochthon (durch eingeschwemmtes Erosionsmaterial) geprägt. Obwohl das Plankton auch in Bergseen einer saisonalen Dynamik unterliegt (PECHLANER 1971; TILZER 1972; PARIS et al. 1992), widerspiegelt der saisonale Sedimentationsverlauf mit maximalen Raten im Sommer und drastischer Abnahme im Herbst deutlich die Wasserführung bzw. die Sedimentfracht der Zuflüsse und damit die Abschmelzung der winterlichen Schneedecke und umliegenden Gletscher, welche das feine partikuläre Material liefern. Die erhöhten Sedimentationsraten in den tieferen Fallen (siehe *Fig. 5*) und die Sestonprofile (siehe *Fig. 3*) deuten klar darauf hin, dass der Grossteil der suspendierten Fraktion im Sommer zur Zeit der stärksten Schnee- und Eisschmelze als Trübestrom ins Seebecken transportiert wird. Dies ist damit erklärbar, dass das Wasser der Zuflüsse wegen des hohen Anteils an mitgeführter Suspension eine höhere Dichte aufweist als das kalte Wasser im Hypolimnion des Sees (LEEMANN und NIESSEN 1994). Erst gegen den Herbst hin, mit abnehmender Suspension und Dichte des zufließenden Wassers, wird mehr Trübe ins Epilimnion gemischt. Interessant wäre es, mehr über diese Zuflüsse zu erfahren, und insbesondere den auf diesen Höhen ausgeprägten Tag-Nacht-Rhythmus im Abschmelzvorgang zu untersuchen. Im übrigen wird die Abschmelzintensität der Gletscher in der Höhe der Jahressedimentation reflektiert, was in der Rückschau Schlüsse auf Klimaveränderungen zulässt (LEEMANN 1993).

Im Vergleich zu oligotrophen Alpenrandseen (SPIESS 1985; BLOESCH et al. 1995) sind die Seston-Raten (TG) etwa 5 Mal höher, die POC-Raten in ähnlicher Grössenordnung, die PN-Raten etwa 6–10 Mal tiefer, und die PP-Raten etwa 2–3 Mal höher. Dies ist dadurch erklärbar, dass POC und PN v.a. autochthon bestimmt, Seston und PP (Apatit) v.a. aus dem Gletscherschluff stammen. Nur die POC- und PN-Sedimentationsraten

des Oeschinensees können also in die Skala der Trophiestufen (BLOESCH und UEHLINGER 1990) eingegliedert werden. Die durch die organisch gelösten Nährstoffkonzentrationen (siehe *Tab. 3*) angezeigte lokale Belastung mit P und N stammt wohl aus der umliegenden Berglandwirtschaft (Düngung!) und den Touristenunterkünften am See und kann als gering eingestuft werden.

Auch bezüglich der Schwermetallbelastung erweist sich der Oeschinensee als ein unbelasteter Bergsee, wie ein Vergleich mit den Schwermetallkonzentrationen anderer Schweizer Seen zeigt (*Tab. 10*). Gemessen an den US-Standards (GIESY und HOKE 1990) sind die Mittelwerte von Eisen, Mangan, Zink, Kupfer, Chrom, Blei und Quecksilber als natürliche «Background»-Konzentrationen zu betrachten (siehe *Tab. 8*); nur Nickel weist mit  $37,1 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  TG leicht erhöhte Konzentrationen auf und fällt damit in die Kategorie «leicht kontaminiert». Auch wenn einzelne gemessene Werte von Mangan, Zink, Blei und Quecksilber die Grenzwerte für natürliche «Background»-Konzentrationen geringfügig überschreiten, kann dies an dieser Beurteilung nichts ändern. Gegenüber den kanadischen Qualitätskriterien für Sedimente (GIESY und HOKE 1990; siehe *Tab. 8*) müssen die Eisen- und Mangankonzentrationen als «ohne Effekt» eingestuft werden, während die Werte von Zink, Kupfer, Cadmium, Chrom und Quecksilber Konzentrationen «mit geringstem Effekt» repräsentieren; nur Nickel und Blei übersteigen diese Konzentrationen «mit geringstem Effekt», liegen aber noch deutlich unter den zulässigen Toleranzgrenzen. Ein Schwermetalleintrag aus der Luft kann also nicht nachgewiesen werden, was angesichts der abgelegenen Lage des Oeschinensees nicht erstaunt; andere Schwermetallquellen als das umliegende Gebirgsgestein sind kaum denkbar.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass der Oeschinensee ein geologisch zwar speziell geprägtes, aber biologisch intaktes Ökosystem darstellt, das bei entsprechend sanfter Nutzung (Tourismus, fischereiliche Bewirtschaftung) auch in Zukunft erhalten werden kann.

**Verdankung.** – Wir sind Frau S. Gaebel für das Auszählen der Planktonproben und die Hilfe bei den Auswertungen zu grossem Dank verpflichtet. Ferner danken wir P. Baumann, Dr. P. Bossard, Dr. P. Friedli und H. Marrer für die kritische Durchsicht des Manuskripts.

Tabelle 10: Schwermetallgehalt von sedimentierendem partikulärem Material aus Schweizer Seen. Alle Konzentrationen in  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  Trockengewicht.

See	Zn	Cu	Cr	Ni	Cd	Pb	Hg	Literatur
<b>Oeschinensee 1991<sup>a)</sup></b>	<b>81</b>	<b>10,9</b>	<b>18,5</b>	<b>37,1</b>	<b>0,65</b>	<b>42,3</b>	<b>0,09</b>	<b>diese Arbeit</b>
Alpnachersee 1975 <sup>b)</sup>	155	36,6	–	–	0,64	32,7	–	Baccini (1976)
Vierwaldstättersee Horwer Bucht 1975 <sup>b)</sup>	131	26,9	–	–	1,73	21,5	–	Baccini (1976)
Vierwaldstättersee 1989 <sup>c)</sup>	543	34,5	28,6	32,8	0,51	36,2	0,25	J. Bloesch, unpubl.
Bodensee 1982 <sup>d)</sup>	131	31,8	–	–	0,45	49,7	–	Sigg et al. (1982)
Genfersee 1981 <sup>e)</sup>	195	55,5	50,8	75,8	1,05	47,8	–	Jaquet et al. (1983)
Zürichsee 1978 <sup>f)</sup>	291	45,1	–	–	0,39	10,9	–	Giovanoli et al. (1980)
Zürichsee 1983/84 <sup>g)</sup>	202	47,0	22,4	–	1,53	89,6	–	Sigg et al. (1987)
Greifensee 1989/90 <sup>h)</sup>	158	36,3	10,4	–	0,57	37,2	–	Sigg et al. (1995)

a) Mittel aus 12 Werten, Epi- und Hypofallen, 2 Stellen (aus Tab. 8). – b) Mittel aus 10 Werten, Hypofallen, 1 Stelle. – c) Mittel aus 125 Werten (Cd, Pb, Hg: nur 35 Werte), Hypofallen, 7 Seebecken. – d) Mittel aus 8 Werten, Epifallen, 1 Stelle. – e) Mittel aus 40 Werten, Epi- und Hypofallen, 2 Stellen. – f) Mittel aus 2 Werten, Hypofallen, 1 Stelle. – g) Mittel aus 48 Werten, Epi- und Hypofallen, 1 Stelle. – h) Mittel aus 30 Werten, Epi- und Hypofallen, 1 Stelle.



## 5. Literaturverzeichnis

- ALSTERBERG, G. (1926): Die Winklersche Bestimmungsmethode für in Wasser gelösten, elementaren Sauerstoff sowie ihre Anwendung bei Anwesenheit oxydierbarer Substanzen, *Biochem. Z.* 170, 30.
- BACCINI, P. (1976): Untersuchungen über den Schwermetallhaushalt in Seen. *Schweiz. Z. Hydrol.* 38: 121–158.
- BACHMANN, H. (1927): Das Phytoplankton der Pioraseen nebst einigen Beiträgen zur Kenntnis des Phytoplanktons schweizerischer Alpenseen. *Zeitschr. f. Hydrologie*, 4. Jg., H. 3 und 4.
- BLOESCH, J./BURNS, N.M. (1980): A critical review of sedimentation trap technique. *Schweiz. Z. Hydrol.* 42: 15–55.
- BLOESCH, J./UEHLINGER, U. (1990): Epilimnetic carbon flux and turnover of different particle size classes in oligo-mesotrophic Lake Lucerne, Switzerland. *Arch. Hydrobiol.* 118: 403–419.
- BLOESCH, J./STURM, M./BOSSARD, P. (1995): Seston-, C-, P-, and N-sedimentation in different basins of Lake Lucerne, Switzerland. *Hydrobiologia*, in Vorbereitung.
- BOURCART, F.-E. (1906): *Lacs alpins Suisses. Etude chimique et physique.* Georg & Co, Editeurs, Genève.
- BÜHLMANN, B./BOSSARD, P./UEHLINGER, U. (1987): The influence of longwave ultraviolet radiation (u.v.-A) on the photosynthetic activity ( $C^{14}$  assimilation) of phytoplankton. *J. Plankton Res.* 9: 935–943.
- DEV, Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung (1986): Nr. L 16, Bestimmung des Chlorophyll-a-Gehaltes von Oberflächenwasser. VCH-Verlag, Weinheim.
- EAWAG (1986): Vorstudie Gewässerschutz im Einzugsgebiet des Vierwaldstättersees. Auftrag Nr. 4711, Dübendorf, 25. April 1986.
- ENVICO (1992): Umweltverträglichkeitsuntersuchung KW Brusio, Umweltbelang Limnologie/Fliessgewässerökologie.
- FOTT, B. (1971): *Algenkunde*, 2. völlig umgearbeitete Auflage. G. Fischer Verlag, Jena.
- GÄCHTER, R. (1972): Die Bestimmung der Tagesraten der planktischen Primärproduktion – Modelle und In-situ-Messungen. *Schweiz. Z. Hydrol.* 34: 211–244.
- GÄCHTER, R./MARES, A. (1979): Comments on the acidification and bubbling method for determining phytoplankton production. *Oikos* 33: 69–73.
- GIESY, J.P./HOKE, R.A. (1990): Freshwater Sediment Quality Criteria: Toxicity Bioassessment. S.265–348. In: Baudo, R., Giesy, J.P. und Muntau, H. (Eds.): *Sediments: Chemistry and Toxicity of In-Place Pollutants.* Lewis Publ. Inc. Ann Arbor, Boca Raton, Boston, 1990.
- GIOVANOLI, R./BRÜTSCH, R./DIEM, D./OSMAN-SIGG, G./SIGG, L. (1980): The composition of settling particles in Lake Zürich. *Schweiz. Z. Hydrol.* 42: 89–100.
- GRIM, J. (1951): Ein Vergleich der Produktionsleistung des Bodensee-Untersees, des Obersees und des Schleinsees. *Abh. Fisch.* 4: 787–841.
- GRIMAS, U./NILSSON, N.-A. (1962): Nahrungsauna und Kanadische Seeforelle in Berner Gebirgsseen. *Schweiz. Z. Hydrol.* 24: 49–75.
- GROLL, M. (1904): *Der Oeschinensee im Berner Oberland.* Inaugural-Dissertation. Universität Bern.
- HUBER-PESTALOZZI, G. (1968 und 1976): *Das Phytoplankton des Süßwassers. Systematik und Biologie.* 2. Teil 1. Hälfte, Chrysophyceen und 3. Teil, 2. Auflage, Dinophyceen. Aus: A. Thienemann: *Die Binnengewässer*, Band 16. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung Stuttgart. – Für die Bestimmung und Systematik wurden weitere Bände benutzt.
- JAQUET, J.-M./FAVARGER, P.-Y./PETER, A./VERNET, J.-P. (1983): *Premières données sur la matière en suspension dans le Léman.* Rapport interne, Institut F. A. Forel, Université de Genève, Versoix.
- KELTS, K./BRIEGEL, U./GHILARDI, K./HSU, K. (1986): The limnogeology-ETH coring system. *Schweiz. Z. Hydrol.* 48: 103–115.
- KUHN, A. (1992): *Arsen im eutrophen See: Eine Studie der saisonalen Redoxprozesse.* Diss. Nr. 9783, ETH Zürich.
- LEEMANN, A. (1993): *Rhythmite in alpinen Vorgletscherseen – Warvenstratigraphie und Aufzeichnung von Klimaveränderungen.* Diss. Nr. 10386, ETH Zürich.
- LEEMANN, A./NIESSEN, F. (1994): Varve formation and the climatic record in an Alpine proglacial lake: calibrating annually-laminated sediments against hydrological and meteorological data. *The Holocene* 4/1:1–8.

- LEEMANN, A./NIESSEN, F./STURM, M. (1992): Rhythmite in alpinen Vorgletscherseen – Warvenstratigraphie und Speicherung von Klimainformation. *Zbl. Geol. Paläont. Teil 1*, 1991 (12): 2963–2976; Stuttgart.
- MOSELLO, R. (1989): Quantification of the susceptibility of lakes to acidification. Annual Report. C.N.R. Istituto Italiano di Idrobiologia, Verbania Pallanza.
- MOSELLO, R., (1990): Quantification of the susceptibility of alpine lakes to acidification. Annual Report. C.N.R. Istituto Italiano di Idrobiologia, Verbania Pallanza.
- NAUWERCK, A. (1963): Die Beziehungen zwischen Zooplankton und Phytoplankton im See Erken. *Symb. bot. Upsal.* 17/5: 1–163.
- NEF, W. (1992): Die Seen des Kantons Bern (Übersicht / Zustand). Gewässer- und Bodenschutzlabor des Kantons Bern.
- NIKLAUS, M. (1967): Geomorphologische und limnologische Untersuchungen am Oeschinensee. Beiträge zur Geologie der Schweiz – Hydrologie Nr. 14. Geographischer Verlag Kümmerly & Frey, Bern.
- PARIS, G./ROSSETTI, G./GIORDANI, G./MANZONI, C./FERRARI, I. (1992): Plankton seasonal succession in a small mountain lake (Lago Scuro Parmense, Northern Italy). *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 25: 776–779.
- PASCHER, A. (1990): Süßwasserflora von Mitteleuropa. 20 Bände. Hrg.: H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig, O. Mollenhauer. G. Fischer Verlag, Stuttgart & New York.
- PAVONI, M. (1963): Die Bedeutung des Nannoplanktons im Vergleich zum Netzplankton. *Schweiz. Z. Hydrol.* 15: 210–341.
- PECHLANER, R. (1971): Factors that control the production rate and biomass of phytoplankton in high-mountain lakes. *Mitt. Internat. Verein. Limnol.* 19: 125–145.
- REDFIELD, A.C./KETCHUM, B.H./RICHARDS, F.A. (1963): The influence of organisms on the composition of sea-water. *The Sea* (Ed. M.N. Hill), pp. 26–77, Wiley, New York.
- SCHMASSMANN, W. (1920): Die Bodenfauna hochalpiner Seen. Diss. Univ. Basel, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- SCHNEIDER, U. (1981): Phytoplankton und Primärproduktion in einigen Hochgebirgsseen des Kantons Tessin. Diss. Universität Bern, 1981. Selbstverlag Basel.
- SCHWOERBEL, J. (1986): Methoden der Hydrobiologie, Süßwasserbiologie. 3. neu bearbeitete Auflage. UTB Nr. 979, G. Fischer Verlag, Stuttgart.
- SICKMAN, J.O./MELACK, J.M. (1992): Photosynthetic activity of phytoplankton in a high altitude lake (Emerald Lake, Sierra Nevada, California). *Hydrobiologia* 230: 37–48.
- SIGG, L. (1985): Metal transfer mechanisms in lakes; the role of settling particles. *In*: W. Stumm (Ed.), *Chemical processes in lakes*, Wiley, New York, pp. 283–310.
- SIGG, L./STURM, M./STUMM, W. (1982): Schwermetalle im Bodensee. Mechanismen der Konzentrationsregulierung. *Naturwissenschaften* 69: 546–547.
- SIGG, L./STURM, M./KISTLER, D. (1987): Vertical transport of heavy metals by settling particles in Lake Zürich. *Limnol.Oceanogr.* 32: 112–130.
- SIGG, L./KUHN, A./XUE, H.-B./KIEFER, E./KISTLER, D. (1995): Cycles of trace elements (copper and zinc) in a eutrophic lake: role of speciation and sedimentation. *In*: C.P. Huang, C.R. O'Melia and J.J. Morgan (Eds.): *Adv. Chem. Ser.* 244. 177–194.
- SPIESS, M. (1985): POC-, PP- und PN-Fraktionierung der Primärproduktion und des Sestons in Seen mit verschiedenem Trophiegrad. Diplomarbeit EAWAG-ETH Zürich.
- STUMM, W./RIGHETTI, G.: Tessiner Bergseen: Saurer Regen, saure Traufe. *Neue Zürcher Zeitung, Beilage «Forschung und Technik»*, 6.10.1982, Nr. 23.
- SZABO, E./RIBI, B./ILLI, R. (1990): Chemische Analysenvorschriften der Limnologischen Abteilung, EAWAG, Dübendorf. Unveröffentlicht.
- TILZER, M. (1972): Dynamik und Produktivität von Phytoplankton und pelagischen Bakterien in einem Hochgebirgssee (Vorderer Finstertaler See, Oesterreich). *Arch. Hydrobiol. Suppl.* 40: 201–273.
- TRACHSEL, H. (1991): Löcher, die Rätsel aufgeben. *Berner Oberländer Nachrichten*, 15.8.1991, Nr. 188.
- UEHLINGER, U./BLOESCH, J. (1989): Primary production of different phytoplankton size classes in an oligo-mesotrophic Swiss lake. *Arch. Hydrobiol.* 116: 1–21.
- WETZEL, R.G. (1983): *Limnology*. 2nd Ed. Saunders, Philadelphia.

