

TROPHISCHE STRUKTUREN IM PELAGIAL DES MEROMIKTISCHEN HÖLLERERSEES (OBERÖSTERREICH) ¹

ARNOLD NAUWERCK

Trophic relationships in the pelagic ecosystem of meromictic Lake Höllerersee (Upper Austria)

Abstract

Trophic relationships in the pelagic ecosystem of meromictic Lake Höllerersee (Upper Austria) were studied, spatially and temporally, in several years. Comparisons of different organisms occurrence and distribution as well as direct observations allow conclusions concerning food preferences and feeding. Relatively low photo-autotrophic primary production in the mixolimnion is supplemented by considerable chemo-autotrophic production around the oxikline. The ecosystem is characterized by heterotrophic processes and loops. Mixotrophic flagellates, bacteria, and ciliates are essential components of the plankton. Crustacean zooplankton is under hard predation pressure from fish. Over-introduction of whitefish contributes to ecological unbalance. The meromictic state of the lake involves particular plankton richness, and specific stratification patterns around the chemocline, but also largely deprives the pelagic biocenosis at times from essential sediment contacts.

Key words: Plankton, planktivorous fish, trophic relationships, meromixis

1 Einleitung

Der Höllerersee ist ein limnologisch gut untersuchter kleiner See im Innviertel im nördlichen Oberösterreich (Abb. 1). Er wird als Badesee und zur Sportfischerei genutzt. Sowohl diese beiden Aktivitäten als auch die landwirtschaftliche Nutzung des Einzugsgebiets haben den wenig durchströmten, meromiktischen See in verschiedener Hinsicht belastet. Nährstoffe werden in seiner Tiefe angereichert, seine Uferzone ist durch Zugänge zum See vielfach durchbrochen, die

¹ Mit Finanzierung durch das BMLF Wien, Projekt L 566/89

ursprüngliche Biozönose ist durch starken Besatz mit für den See untypischen Fisch-Arten, vor allem Coregonen, verändert.

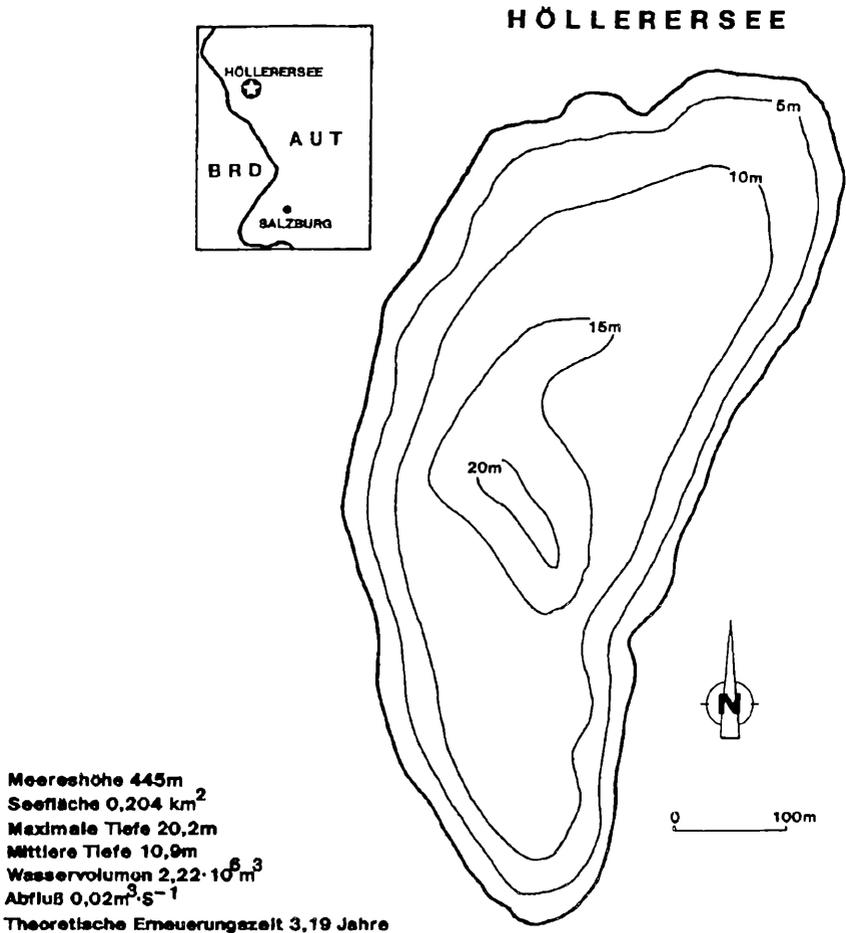


Abb. 1: Der Höllerersee. Tiefenkarte.

Die erste Beschreibung des Zustandes des Sees und Hinweise auf Eutrophierungserscheinungen geben Werth & Müller (1982). Ausführlichere Studien erfolgten durch Dokulil & Jagsch (1987) und durch Dokulil et al. (1991). Später waren die Beziehungen zwischen planktivoren Fischen und ihren Beutetieren Gegenstand einer Untersuchung (Ritterbusch-Nauwerck 1991, Nauwerck 1992a). Die qualitative und quantitative Zusammensetzung des

Zooplanktons und seine zeitliche und räumliche Verteilung wurde beschrieben durch Nauwerck (1993a). Information zur Paläolimnologie des Sees geben Schmidt & Simola (1991) und Nauwerck (1991).

Über das Phytoplankton des Sees sind quantitative Daten bisher nicht veröffentlicht worden. Dieser Aspekt wird hier ergänzt. Im Zusammenhang mit den Phytoplanktonzählungen wurden auch die Ciliaten summarisch erfaßt und ihre quantitative Bedeutung belegt. Ihre qualitative Zusammensetzung und ihre Rolle im Nahrungsgewebe des Sees sind Gegenstand weiterlaufender Untersuchungen.

Hauptziel der vorliegenden Arbeit ist die Gesamtbeschreibung des pelagischen Ökosystems und der Versuch einer Synthese der verschiedenen abiotischen Faktoren und biotischen Elemente in ihrer Wechselwirkung. Wenn die zugrunde liegenden Untersuchungen auch nicht in allen Teilen parallel durchgeführt worden sind, so zeigen doch mehrjährige Beprobungsreihen eine große Konstanz der Grundzüge der jährlichen Bio-Rhythmik des Sees. Generalisierungen aus Beobachtungen verschiedener Jahre erscheinen somit als zulässig. Eine Quantifizierung von Material- und Energiefluß muß zukünftigen Untersuchungen vorbehalten bleiben.

2 Material und Methoden

Die Methoden zur Bestimmung der chemisch-physikalischen Verhältnisse des Sees sind in der oben genannten Literatur beschrieben. Die quantitativen Planktonanalysen wurden an Lugol-fixiertem Material durchgeführt. Beim Zooplankton wurden 5-Liter-Fänge ganz ausgezählt. Für die Befischung wurden Multimaschennetze mit einer Gesamtfläche von 122 m² verwendet, die während eines Jahres jeden Monat drei aufeinanderfolgende Tage lang in drei Tiefen (2m, 4m, 6m) ausgesetzt und morgens und abends kontrolliert wurden. Die Fische wurden vermessen, die Mageninhalte (bei *Alburnus*: das vordere Darmviertel) mit Formalin fixiert und unter dem Binokular ausgezählt.

Die Beprobungen im See und die Vermessung der Fische wurden durch Herrn Karl Maier und Frau Dr. Barbara Ritterbusch-Nauwerck durchgeführt. Frau Dr. Ritterbusch-Nauwerck besorgte auch die Magenanalysen. Für die chemischen Analysen war hauptsächlich Frau Lotte Eisl zuständig. Ihnen allen sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

3 Resultate

3.1 Umweltparameter

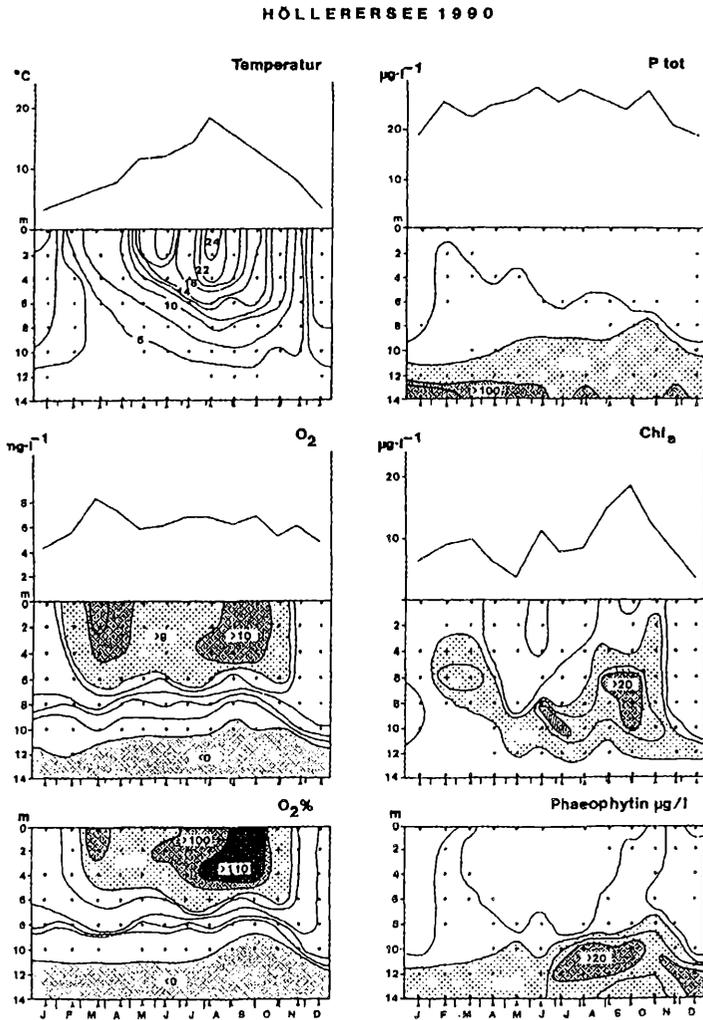


Abb. 2: Höllerersee, 1990. Temporal-spatiale Entwicklung von Temperatur, Sauerstoffgehalt, Total-Phosphor, Chlorophyll a und Phaeophytin.

Abb. 2 zeigt die temporal-spatiale Entwicklung einiger für das pelagische Leben in erster Linie relevanter Variablen für das Jahr 1990. Der Ablauf ist weitgehend gleich wie in vorangegangenen Jahren (Dokulil et al. 1991, Nauwerck 1991). Situationsbilder mit der charakteristischen Tiefenverteilung einiger weiterer Parameter geben Abb. 3 und Abb. 4. Es ist deutlich, daß Thermokline, Oxykline und Chemokline durchaus in verschiedenen Tiefen verlaufen können.

HÖLLERERSEE 22.6.1995

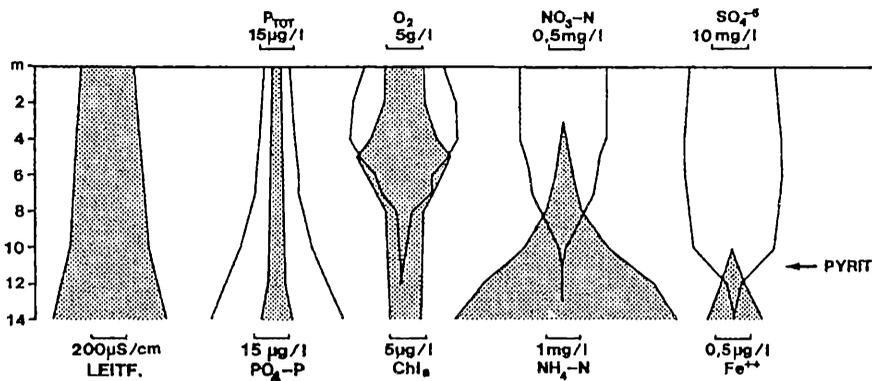


Abb. 3: Höllerersee, 22.6.1995. Vertikalschichtung einiger Milieuparameter. (Obere Bezeichnungen: weiße Flächen, untere Bezeichnungen: dunkle Flächen)

HÖLLERERSEE 26-08-1993

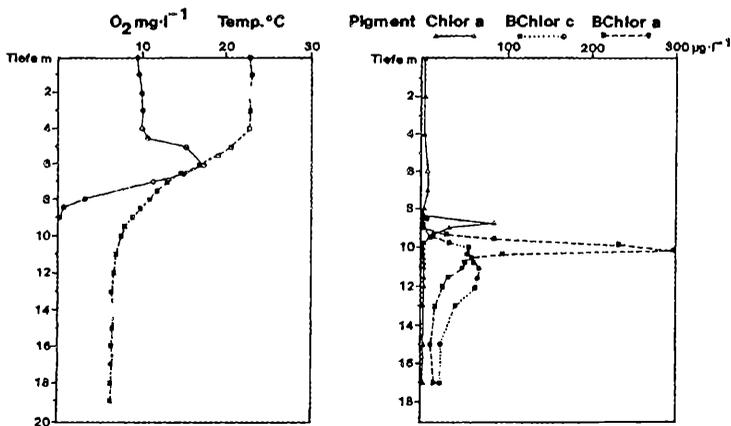


Abb. 4 a/b: Vertikalverteilung von Temperatur, Sauerstoff, Pigmenten (nach Abella, unpubl.)

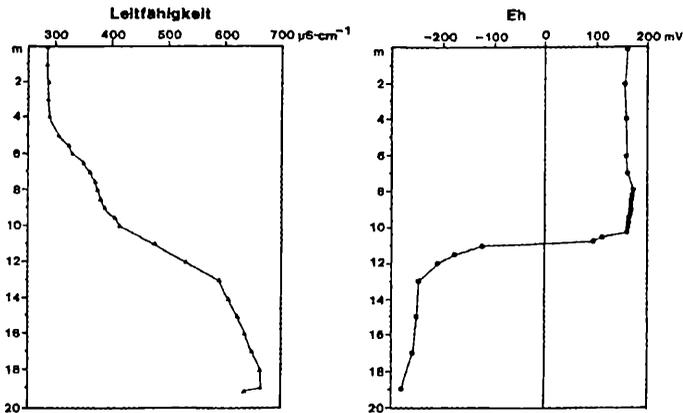


Abb. 4 c/d: Höllerersee, 26. 8. 1993. Vertikalverteilung von Leitfähigkeit und Redoxpotential (nach Abella, unpubl.)

Der Jahreslauf stellt sich folgendermaßen dar. Nach einer kurzen Zirkulationsperiode nach dem Eisbruch, manchmal bereits im Februar/März, beginnt sich der See zu erwärmen, und Ende April baut sich im Mixolimnion eine stabile Temperaturschichtung auf. Die Thermokline wird im Laufe des Sommers von etwa 4m bis zu etwa 8m Tiefe nach unten gedrückt. In den obersten Wasserschichten kommt es je nach den herrschenden meteorologischen Bedingungen zu wiederholten kleineren Durchmischungen und Schichtungen. Die höchsten Oberflächen- und Durchschnittstemperaturen erreicht der See Ende Juli/Anfang August. Im September beginnt die Temperaturschichtung sich aufzulösen. Etwa von Mitte Oktober bis Anfang Dezember durchläuft das Mixolimnion eine Zirkulationsphase. Danach tritt Temperaturinversion ein, und eine Eisdecke kann gebildet werden.

Während der beiden Zirkulationsperioden kann die Sauerstoffsättigung in den oberen 4m Wassertiefe auf über 100% ansteigen. Durch die Einbeziehung der sauerstoffarmen oberen Schichten des Monimolimnions in die Durchmischung bleibt jedoch der durchschnittliche Sauerstoffgehalt des Mixolimnions über das Jahr hinweg ziemlich konstant. Während der sommerlichen Temperaturschichtung beträgt die Sauerstoffkonzentration in den oberen 6 m Tiefe mehr als 9 mg l^{-1} . Ein Zusammenhang zwischen Chlorophyllkonzentration und Sauerstoffentwicklung ist kaum erkennbar. Bei reichlichem Auftreten von *Oscillatoria rubescens* können jedoch in der Thermokline gelegentlich erhöhte Sauerstoffkonzentrationen beobachtet werden (Abb. 4a). Im allgemeinen ist die photoautotrophe Primärproduktion des Sees eher gering.

Die höchsten Chlorophyll-Konzentrationen werden im dunklen, unteren Bereich des Mixolimnions bei sehr niederen Sauerstoff-Konzentrationen erreicht. Zum großen Teil handelt es sich dabei um Bakterio-Chlorophyll (Abb. 4b). Eine scharfe Schichtung zwischen diesem Chlorophyll oberhalb der Oxykline und Phäophytin bzw. anderen Fraktionen von Bakteriochlorophyll unterhalb derselben ist besonders gegen Ende der sommerlichen Temperaturschichtung festzustellen.

Der Phosphor-Gehalt des Epilimnions beträgt meistens weniger als $20\mu\text{g P}_{\text{tot}}\text{l}^{-1}$. Unterhalb der Chemokline findet eine starke Phosphor-Anreicherung statt. Während der Zirkulationsperioden gelangt Phosphor aus dem Monimolimnion nach oben und bereichert das Mixolimnion in bescheidenem Maße. Gemessen an seinem Phosphorgehalt ist das Mixolimnion jedoch nur als mesotroph zu charakterisieren. Dem entspricht auch die relativ geringe Phytoplanktonproduktion.

Im Bereich der Chemokline sind häufig verschiedene Formen von Pyritkristallen (FeS_2) in großen Mengen festzustellen (Abb. 5, 6b).

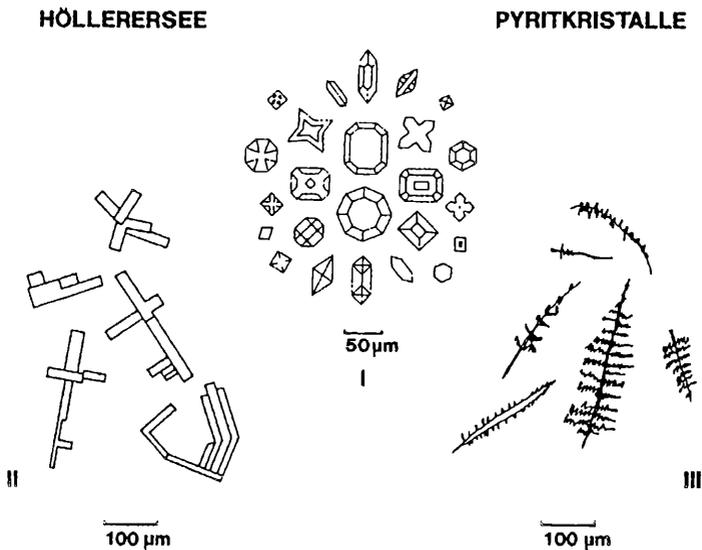


Abb. 5: Höllerersee. Verschiedene Typen von Pyritkristallen aus der Chemokline.

Ihre Bildung im Sediment von Seen beschreibt Psenner (1983). Im Höllerersee treten sie an der Grenze zwischen Sulfat und H_2S und gelöstem Fe^{++} auf. In der Tat ist die Grenzschicht zwischen Thermokline und Chemokline mit einer ins

Freiwasser hinauf verlagerten, vertikal auseinander gezogenen "Sedimentoberfläche" zu vergleichen: Mikroschichtungen und Prozesse, die in nicht-meromiktischen Seen in zentimeterdünnen Schichten oberhalb und kurz unterhalb der Sedimentoberfläche stattfinden, erstrecken sich hier über Dezimeter oder gar über Meter. Nicht zuletzt diese hohe Auflösung der Schichtung macht meromiktische Seen zu besonders reizvollen Studienobjekten der Limnologie.

HÖLLERERSEE 1990/91

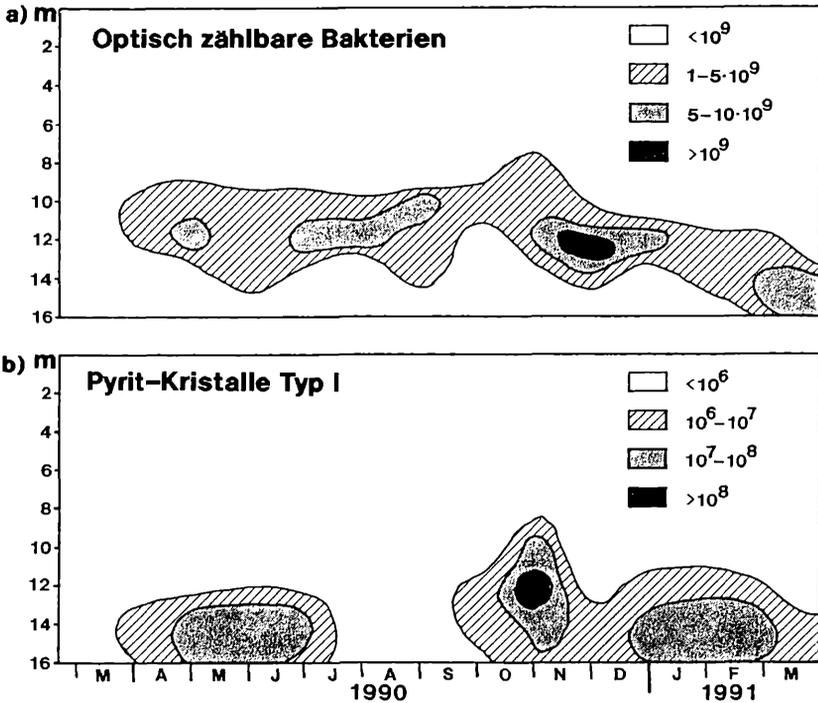


Abb. 6: Höllerersee 1990/91. Temporal-spatiale Verteilung von lichtmikroskopisch zählbaren großen Bakterien (hauptsächlich Schwefelbakterien) (a) und des Auftretens von Pyritkristallen (b).

Tab. 1 Höllnersee, Artenliste 1990/91

a) Phytoplankton

Cyanophyta

Anabaena flos-aquae (Lyngb.) Breb.
 Aphanizomenon gracile Lemm.
 Aphanothece clathrata West & West
 Chroococcus minutus (Kg.) Naeg.
 Coelosphaerium naegelianum Ung.
 Lyngbya sp.

Microcystis aeruginosa Kg.
 M. delicatissima (West & West) Starmach
 M. wesenbergii Kom.
 Oscillatoria rubescens D.C.
 Pelonema sp.
 Pseudanabaena sp.

Chlorophyta

Botryococcus braunii Kütz.
 Carteria sp.
 Chlamydomonas spp.
 Chodatella subsalsa Lemm.
 Collocidictyon sp.
 Cosmarium cf. minimum West & West
 Crucigenia tetrapedia (Kirchn.) West & West
 Elakatothrix genevensis Hindak
 Gemellicystis neglecta Teiling em. Skuja
 Lagerheimia genevensis Chod.
 Monoraphidium. contortum (Thuret) Komarkova-Legn.
 M. dybowskii (Wolosz.) Hindak & Komarkova-Legn.

M. griffithii (Berkel.) Komarkova-Legn.
 Oocystis submarina v. variabilis Skuja
 Paramastix conifera Skuja
 Scenedesmus armatus (Chod.) G.M. Smith
 Sc. arcuatus Lemm.
 Sc. bicellularis Chod.
 Sc. brasiliensis Bohlin
 Sc. quadricauda Chod.
 Sphaerocystis schroeteri (Chod.) Lemm.
 Tetramitus sp.
 Tetraedron minimum (A.Br.) Hansg.
 Trigonomonas cf. inflata Skuja
 Trigonomonas sp.

Euglenophyta

Astasia sp.
 Euglena sp.

Menoidium tortuosum Stokes
 Petalomonas sp.

Chrysophyta

Chrysophyceae

Bicosoeca sp.
 Bitrichia chodati (Rev.) Chodat
 Chromulina spp.
 Chrysiastrum catenatum Lauterb.
 Chrysolykos planctonicus Mack
 C. skujai Nauwerck
 Dinobryon acuminatum Ruttner
 D. bavaricum Imhof
 D. borgei Lemm.
 D. cylindricum Imhof
 D. divergens v. schauinslandii (Lemm.) Brunth.
 D. sertularia Ehrnb.

D. sociale Ehrnb.
 Erkenia (Chrysochromulina) subaequiciliata Skuja
 Mallomonas elongata Rev.
 M. tonsurata Teiling
 M. sp.
 Ochromonas sp.
 Protospongia haeckeli Kent
 Pseudokephyron entzii Conrad
 Salpingoeca frequentissima (Zach.) Lemm.
 Spiniferomonas sp.
 Stelemonas dichotoma Lackey
 Uroglena sp.

Diatomeae

Asterionella gracillima (Hantzsch) Heib.
 A. formosa Hass.
 Cyclotella glomerata Bachm.
 C. kuetzingiana Thwait
 C. comta (Ehrnb.) Kütz.

Cymatopleura solea (Breb.) W. Smith
 Melosira islandica spp. helvetica O. Müll.
 Tabellaria fenestrata (Lyngb.) Kütz.
 Stephanodiscus dubius (Fricke) Hust.
 Synedra acus v. angustissima Grun.

Pyrhophyta Cryptophyceae

Cyathomonas truncata (Ehrnb.) From.
 Cryptaulax vulgaris Skuja
 Cryptomonas pusilla Bachm.
 C. marssoni Skuja
 C. erosa Ehrnb.

C. ovata Ehrnb.
 C. rostrata Trotzck.
 Katablepharis ovalis Skuja
 Rhodomonas minuta Bachm.

Dinophycinae

Amphidinium turicense Huber-Pest.
 Ceratium cornutum (Ehrnb.) Clap. & Lachm.
 C. hirundinella (O.F.M.) Schrank
 Glenodinium sp.
 Gymnodinium helveticum Penard
 G. latum Skuja

G. ordinatum Skuja
 G. uberrimum (Allm.) Kof. & Swezy
 G. sp.
 Peridinium cinctum (O.F.M.) Ehrnb.
 P. inconspicuum Lemm.
 P. pusillum (Penard) Lemm.

b) Ciliaten (präliminäre Artliste von Dr. R. Xu)

Amphileptus claparedei Stein
 Askenasia acrostomia Krainer & Foissner
 Balanion planctonicum Foissner
 Caenomorpha medusula Perty
 Calyptotricha lanuginosa Wilbert & Foissner
 Cinetochilum margaritaceum Perty
 Codonella cratera (Leidig) Imh.
 Coleps spetai Foissner
 Ctedoctema acanthocrypta Stokes
 Cyclidium elongatum Schewiakoff
 C. glaucoma Müller
 Cyrtolophosis mucicola Stokes
 Dextotricha granulosa (Kent)
 Didinium nasutum (Müller) Stein
 Dileptus sp.
 Enchelyodon sp.
 Epistylis sp.
 Frontonia acuminata (Ehrnb.) Bütschli
 Halteria grandinella (Müller) Dujardin
 Hemiophrys pleurosigma Stokes
 Histobalantium sp.
 Holophrya discolor Ehrnb.
 Holosticha kessleri Wrzesniowski
 H. pullaster (Müller)
 Lacrymaria olor (Müller) Bory de Saint-Vincent
 Lagynus elegans (Engelmann) Quennerstedt
 Lembadium bullinum (Müller) Perty

Litonotus fasciola (Ehrnb) Wrzesniowski
 Mesodinium pulex (Clap. & Lachm.) Stein
 Metopus es (Müller) Lauterb.
 M. laminarius Kahl
 Monodinium balbiani Fabre-Domergue
 Ophryoglena sp.
 Paradileptus elephantinus (Swec) Kahl
 Paramecium caudatum Ehrnb.
 Pelagostrobilidium fallax (Zach.) Krainer
 Plagiopyla nasuta Stein
 Prorodon sp.
 Spathidium sp.
 Spirostomum teres Clap. & Lachm.
 Stichotricha aculeata Wrzesniowski
 Strobilidium caudatum (From.) Foissner
 S. humile Penard
 S. lacustris Foissner
 Strombidium viride Stein
 Tintinnidium pusillum Entz
 Trachelophyllum sigmoides Kahl
 Uroleptus sp.
 Uronema nigricans (Müller) Florentin
 Urotricha armata Kahl
 U. furcata Schewiakoff
 Vasicola sp.
 Vorticella infusioformis-Komplex
 V. octava-Komplex

Ascomorpha ecaudis (Perty)
Asplanchna priodonta (Gosse)
Brachionus urceolaris Müller
Collotheca mutabilis (Hudson)
Filinia hofmanni Koste
F. terminalis (Plate)
Gastropus stylifer (Imh.)
Kellicottia longispina (Kellicott)
Keratella cochlearis (Gosse)
K. c. fa. irregularis Lauterb.
K. c. fa. hispida Lauterb.

K. hiemalis (Carlin)
K. quadrata (Müller)
Polyarthra dolychoptera (Idelson)
P. euryptera (Wierz.)
P. remata (Skorikov)
P. vulgaris (Carlin)
Synchaeta pectinata (Ehmb.)
S. sp.
Trichocerca pusilla (Jennings)
T. similis (Wierz.)
T. capucina (Wierz.)

d) Crustaceen

Bosmina longirostris (O.F.M.)
Ceriodaphnia pulchella Sars
Ceriodaphnia quadrangula (O.F.M.)
Daphnia longispina (O.F.M.)
D. cucullata Sars

Diaphanosoma brachyurum (Lievin)
Leptodora kindtii (Focke)
Eudiaptomus graciloides (Lilljeborg)
Cyclops strenuus Fischer
Mesocyclops leuckarti (Claus)

e) Insekten

Chaoborus-Larven

f) Fische

Abramis brama (L.)
Alburnus alburnus (L.)
Anguilla anguilla^{x)} (L.)
Coregonus lavaretus^{x)} L.
Cyprinus carpio^{x)} L.
Esox lucius^{x)} L.
Perca fluviatilis L.

Rutilus rutilus (L.)
Salmo trutta fario^{x)} L.
S. t. fa. lacustris^{x)} L.
Scardinius erythrophthalmus (L.)
Silurus glanis^{x)} L.
Stizostedion lucioperca^{x)} (L.)
Tinca tinca^{x)} (L.)

x) Eingesetzt (nach Angaben der Fischer)

Die Liste aller im Freiwasser des Höllerersees bisher festgestellten Arten gibt Tab. 1. Trotz der mehrjährigen Dauer der Untersuchungen ist sie sicher noch längst nicht vollständig. Dies gilt besonders beim Phytoplankton und bei den Protozoen. Die farblosen Flagellaten, die im See zumindest qualitativ eine wichtige Rolle spielen, bedürfen weiterer Bearbeitung durch Spezialisten. Bei den Ciliaten hat eine solche Bearbeitung begonnen. Andere Protozoen, wie z.B. die Testaceen harren ebenfalls noch einer genaueren Untersuchung. Bei manchen Arten des Phytoplanktons ist auch die Taxonomie noch unbefriedigend bzw. fließend, z.B. bei den Cryptomonadinen. Beim Zooplankton dürften Ergänzungen noch bei den Rotatorien und bei den fakultativ planktischen Cyclopoiden zu erwarten sein.

Überhaupt nicht in die Liste aufgenommen sind die Bakterien, von denen große planktische Repräsentanten, insbesondere Schwefelbakterien der Gattungen *Clathrochloris*, *Clostridium*, *Lamproedia*, *Macromonas*, *Rhodotheca* u.a., im Bereich der Chemokline auch quantitativ eine wesentliche Rolle spielen (Abb. 6a). Sie werden jedoch bei der Diskussion der trophischen Interaktionen berücksichtigt.

Dennoch charakterisiert die Artenliste die Eigentümlichkeiten des Sees, nicht nur durch ihre Zusammensetzung sondern auch durch das Fehlen mancher Arten, die in anderen Seen häufig sind. Bemerkenswert ist die geringe Bedeutung der Nostocaceen bei den Blaualgen (*Anabaena* u.a.). Grünalgen, die sonst die Planktonlisten aus Seen zu füllen pflegen, sind wenig zahlreich, Desmidiaceen fehlen fast ganz. Zahlreich sind dagegen farblose und heterotrophe Repräsentanten aus verschiedenen Gruppen, fast alle davon Flagellaten, die heute oft den Protozoen zugerechnet werden. Die bedeutende Anzahl der Ciliaten spiegelt nicht nur Spezialistenfleiß, sondern ohne Zweifel einen tatsächlich ungewöhnlichen Reichtum an solchen Protozoen.

3.3 Das Phytoplankton

Nur verhältnismäßig wenige Algen-Arten haben quantitative Bedeutung (Abb. 7-8). Charakteristisch für die Zirkulationsperioden im Frühjahr und im Herbst sind Maxima von kleinen Cyclotellen, vor allem *Cyclotella glomerata*. Im übrigen sind Kieselalgen nur schwach vertreten. Nur *Synedra acus* v. *angustissima* und *Asterionella formosa* fallen gelegentlich mit ins Gewicht.

Während der Sommerstagnation von Mai bis August ist das Mixolimnion nur spärlich bevölkert. Bescheidene Maxima bilden kleine, protococcale Grünalgen sowie großteils mixotrophe und heterotrophe Cryptomonaden und Panzerflagellaten. Die meisten von ihnen nehmen bei beginnender Wasserzirkulation im Herbst nochmals zu. *Dinobryon*-Arten, hauptsächlich *D. sertularia*, und kleine chroococcale Blaualgen bilden Maxima im späten Herbst. Kleine heterotrophe Flagellaten und *Gymnodinium helveticum* bleiben auch im Winter relativ zahlreich.

Während die Mehrzahl der Planktonalgen in den oberen Schichten des Mixolimnions zu finden sind, halten sich *Oscillatoria rubescens* und *Gymnodinium helveticum* während der Sommerstagnation in dessen untersten Schichten auf. Während der kalten Jahreszeit findet man sie jedoch im ganzen Mixolimnion. *Oscillatoria rubescens* treibt im Winter nach oben und kann bisweilen als rosa Flocken in der Eisdecke des Sees eingefroren beobachtet werden.

Zusammenfassend läßt sich feststellen: Das Phytoplankton des Höllerersee ist quantitativ eher als arm zu bezeichnen. Es setzt sich hauptsächlich aus nannoplanktischen Arten zusammen. Ein großer Teil davon sind Flagellaten, die

meisten davon mixotroph oder heterotroph. Auffällig sind temporale Sukzessionen von kleineren nach größeren Arten innerhalb verschiedener Gruppen: *Rhodomonas-Cryptomonas*, *Peridinium-Ceratium*, sowie auch vertikale Abfolgen von kleineren zu größeren Arten: *Chroococcales-Oscillatoria*, kleine *Gymnodales-Gymnodinium helveticum*.

Ein geringes Nährstoffangebot, bedingt durch ständige Sedimentation des Sestons und Blockierung der Nährsalze im Monimolimnion, ist eine Erklärung für die relativ geringe Bedeutung rein autotropher Arten. Die anhaltende Schichtung und begrenzte Durchmischung des Sees kann die Dominanz beweglicher, d.h. vom Schweben unabhängiger Arten erklären. Der große Anteil farbloser und mixotropher Arten läßt auf erhebliche Bedeutung bakterieller und anderer heterotropher Kreisläufe schließen.

3.4 Das Zooplankton

Auch bei den Ciliaten (Abb. 9) ist eine vertikale Schichtung festzustellen. Kleine Arten besiedeln vorzüglich das Mixolimnion, große Arten die Schichten unterhalb der Thermokline aber meist noch oberhalb der Oxykline, wo sie von Juli bis November akkumuliert und z.T. in einer sehr scharfen Mikroschichtung einzelner Arten zu finden sind. Die Koinzidenz von diesen Ciliaten mit dem Maximum des Bakterienchlorophylls läßt enge trophische Wechselbeziehungen erkennen.

Wichtige Arten des Mixolimnions sind nach Xu (unpubl.) u.a. *Ctedoctema acanthocrypta*, *Cyclidium glaucoma* und *Halteria grandinella*, die in den oberen Wasserschichten Dichten zwischen 10^4 Indl⁻¹ und 10^5 Indl⁻¹ erreichen können. Oberhalb der Chemokline verdichtet findet sich *Strobilidium caudatum* mit Maxima von mehr als 10^4 Indl⁻¹. In der Größenordnung 10^3 Indl⁻¹ findet sich auch *Holophrya discolor*. Inner- oder unterhalb der Chemokline finden sich erhöhte Mengen von *Coleps hirtus*, *Paradileptus elephantinus*, *Spirostomum teres*, *Strobilidium humile*, *Urotricha furcata*, ebenfalls in Dichten größer als 10^3 Indl⁻¹. Deutlich unterhalb der Chemokline finden sich mit geringeren Dichten u.a. *Lembadium bullinum*, *Plagiopyla nasuta* und *Metopus laminarius*.

Die pelagischen Rotatorien des Höllerersees sind relativ artenarm. Sie wurden bisher nicht regelmäßig untersucht, spielen aber zeitweise quantitativ eine bedeutende Rolle. Zwölf Taxa, alle weit verbreitet, wurden verzeichnet (Nauwerck 1993a). *Polyarthra vulgaris*, *Keratella cochlearis*, *Synchaeta pectinata*, *Asplanchna priodonta* und *Filinia hofmanni*¹, die letztere bevorzugt in tieferen, sauerstoffarmen Wasserschichten angesiedelt, können im Frühjahr Konzentrationen in der Größenordnung 10^2 - 10^3 Indl⁻¹ erreichen.

¹ Bei Nauwerck (1993) *F. longispina*; nach neuen Messungen eindeutig *F. hofmanni*. Damit auch gute Übereinstimmung mit den Befunden von Schaber & Schrimpf (1984) zur Ökologie dieser Art.

Phytoplankton

HÖLLERSEE 1990/91

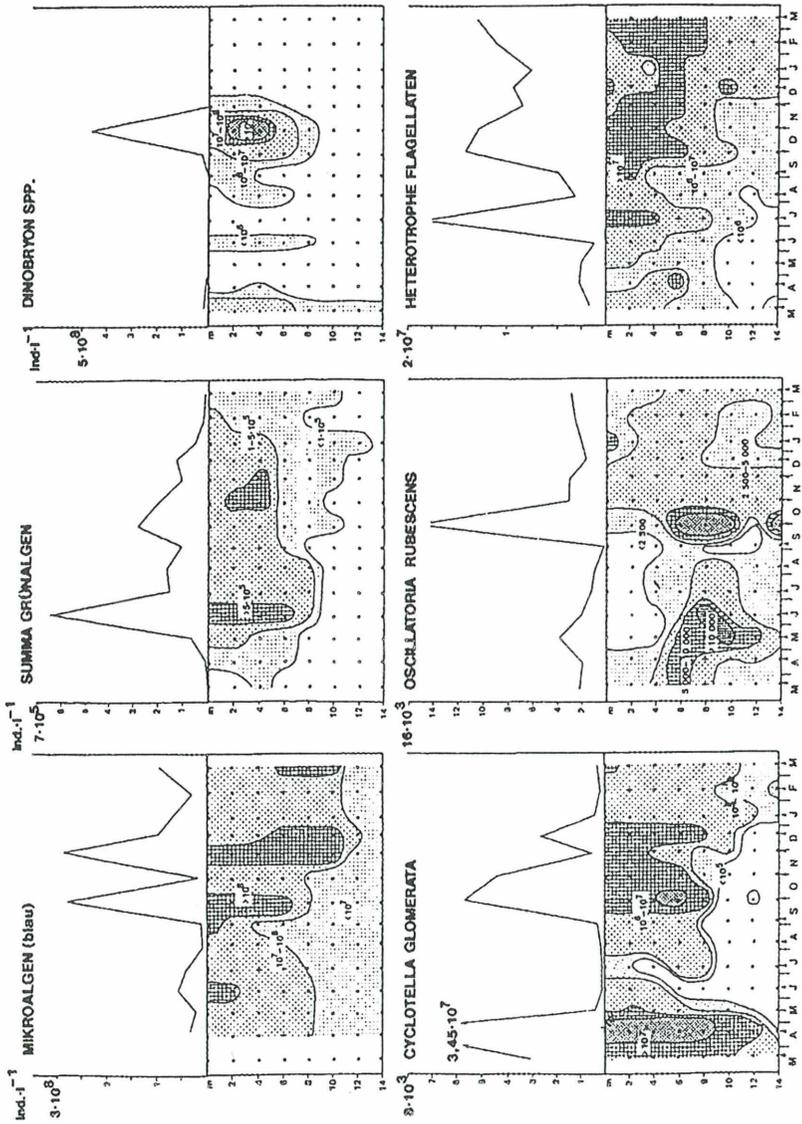


Abb. 7: Höllersee 1990/91. Temporal-spatiale Verteilung der wichtigsten Planktonalgen. Von links oben nach rechts unten: Chroococcale Blaualgen, Grünalgen, *Dinobryon spp.*, *Cyclotella glomerata*, *Oscillatoria rubescens*, heterotrophe Flagellaten.

HÖLLERERSEE 1990/91

Phytoplankton

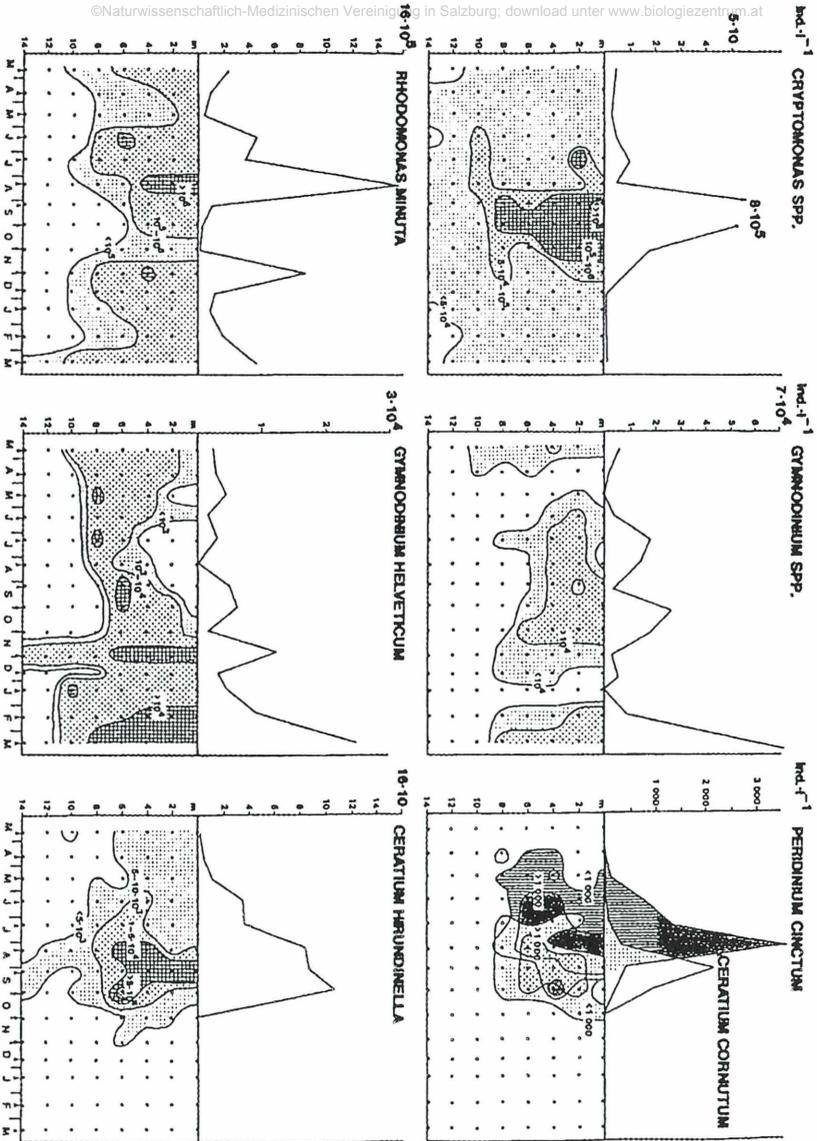


Abb. 8: Höllerersee 1990/91. Temporal-spatiale Verteilung der wichtigsten Planktonalgen. Von links oben nach rechts unten: *Cryptomonas* spp., *Gymnodinium* spp., *Peridinium cinctum* + *Ceratium cornutum*, *Rhodomonas minuta*, *Gymnodinium helveticum*, *Ceratium hirundinella*.

HÖLLERERSEE 1990/91

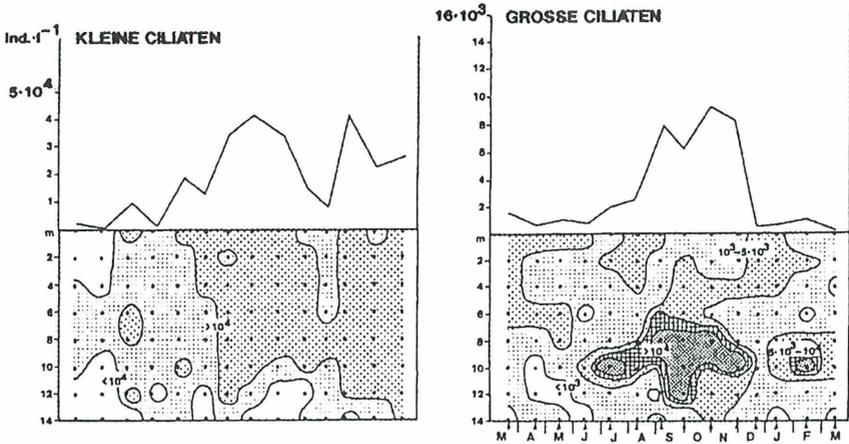


Abb. 9: Höllerersee 1990/91. Temporal-spatiale Verteilung von kleinen Ciliaten ($< 100 \mu\text{m}$) und großen Ciliaten ($> 100 \mu\text{m}$).

Von sehr großer quantitativer Bedeutung kann *Kellicottia longispina* werden, die zumindest im Jahr 1989 in 6m Tiefe eine Dichte von $3 \cdot 10^3 \text{ Ind l}^{-1}$ erreichte, die sich bis Juni bei scharfer Schichtung in 8m Tiefe auf mehr als 10^4 Ind l^{-1} erhöhte und im Juli immer noch ca. $5 \cdot 10^3 \text{ Ind l}^{-1}$ betrug. Später im Jahr spielen die Rotatorien nur eine untergeordnete Rolle. Die exzeptionell hohen Konzentrationen der *Kellicottia* lassen Rückschlüsse auf ihre Autökologie zu: sie vermeidet Temperaturen über 12°C , verträgt niedrigere Sauerstoffkonzentrationen von $4\text{-}8 \text{ mg l}^{-1}$ und kann sich unter den gegebenen Nahrungsbedingungen, hauptsächlich charakterisiert durch Bakterien, sehr gut vermehren. Daß es ihr bei ähnlichen Bedingungen im Herbst nicht gelingt, ein neues Maximum aufzubauen, kann mit der Konkurrenz durch *Ceriodaphnia* und *Diaphanosoma* in den entsprechenden Tiefenzonen zusammenhängen. Da die Entwicklung der Rotatorien in verschiedenen Jahren sehr unterschiedlich verlaufen kann (Eloranta 1982), läßt sich die Frage der Konkurrenz ohne längerfristige Untersuchungen jedoch nicht beantworten.

Die zeitlich-räumliche Verteilung der Crustaceen von 1990 (Abb. 10-11) zeigt weitgehende Übereinstimmung mit der für das Jahr 1989 festgestellten (Nauwerck 1993a). Der Hauptaufenthaltsraum der meisten Arten liegt zwischen 6m und 8m Tiefe oberhalb der Oxykline. Eine Abwärtsbewegung der Populationen im Lauf des Jahres ist bei vielen Arten festzustellen. Nur die Nauplien von *Eudiaptomus graciloides* halten sich die ganze Zeit in der Nähe der Oberfläche, und *Ceriodaphnia* sowie die Nauplien und Copepodide von *Mesocyclops leuckarti* sind deutlich höher eingeschichtet als Cladoceren und übrige Copepoden. Am tiefsten

im sauerstoffarmen Bereich sind die Nauplien von *Cyclops strenuus* angesiedelt. Diese Verteilungsmuster entsprechen im großen und ganzen denen von größeren Seen der Region (Nauwerck 1993b).

In Rechnung zu stellen ist jedoch, daß es sich bei den Verteilungsbildern um Tagesfänge handelt. Wie Nachtfänge 1989 ergaben (Nauwerck 1993a), führen die Daphnien und *Diaphanosoma brachyurum* tägliche Vertikalwanderungen mit Amplituden von 4 - 8m durch, die sie nachts aus dem unteren Epilimnion in die obersten Wasserschichten führen. Das gleiche gilt für ältere Copepodide und Adulte von *Eudiaptomus graciloides*. *Cyclops strenuus* bewegt sich nachts aus seiner Wohntiefe nur relativ wenig aufwärts. Keine meßbare Vertikalwanderung zeigen *Ceriodaphnia* und *Mesocyclops*.

Chaoborus-Larven halten sich tagsüber unterhalb der Oxykline auf. Da in der Regel nur bis 14m Tiefe beprobt wurde, läßt sich ihre Zahl pro Seeoberfläche nicht mit den Zahlen der auf das Mixolimnion begrenzten Arten vergleichen. In 14m Tiefe gegenüber 12m Tiefe abnehmende Zahlen machen jedoch wahrscheinlich, daß ihre Population hauptsächlich relativ dicht unter der Oxykline versammelt ist. Der größte Teil der Population führt ebenfalls nächtliche Vertikalwanderungen bis ins obere Mixolimnion aus.

Wenn man der These folgen will, daß die Crustaceen durch ihre nächtliche Aufwärtswanderung ihre Predatoren vermeiden, so kann dies hinsichtlich der Fische richtig sein, aber kaum hinsichtlich *Chaoborus*, der ja in 2m-4m Tiefe gerade mit der Hauptmasse der Crustaceen zusammentrifft. Zweifelhaft ist auch, ob für die Crustaceen mit dem Aufsteigen Ernährungsvorteile verbunden sind, denn die größten Phytoplanktondichten sind eben gerade nicht in den oberen Wasserschichten zu finden, sondern eher in der Tages-Wohntiefe der Tiere, wo sie zur Tagzeit zwar nicht von *Chaoborus*, wohl aber von den planktivoren Fischen belästigt werden. Die Vertikalwanderungen der Crustaceen scheinen in diesem Falle also eher vorgegebenen Verhaltensmustern zu entspringen als spontaner Reaktion auf gegebene Umweltbedingungen.

HÖLLERERSEE 1990

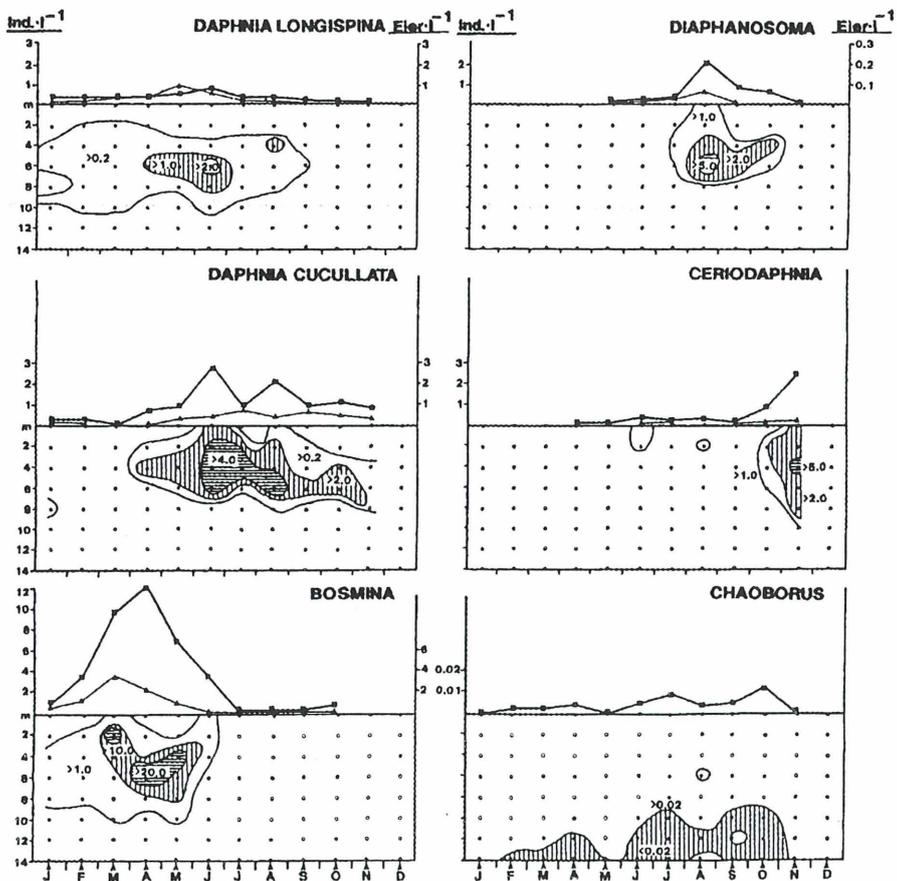


Abb. 10: Höllerersee 1990: Temporal-spatiale Verteilung der Cladoceren und von *Chaoborus*. Links von oben: *Daphnia hyalina*, *Daphnia cucullata*, *Bosmina longirostris*, rechts von oben: *Diaphanosoma brachyurum*, *Ceriodaphnia quadrangula* + spp., *Chaoborus*. - Dünne Kurven: Eier bzw. Embryonen.

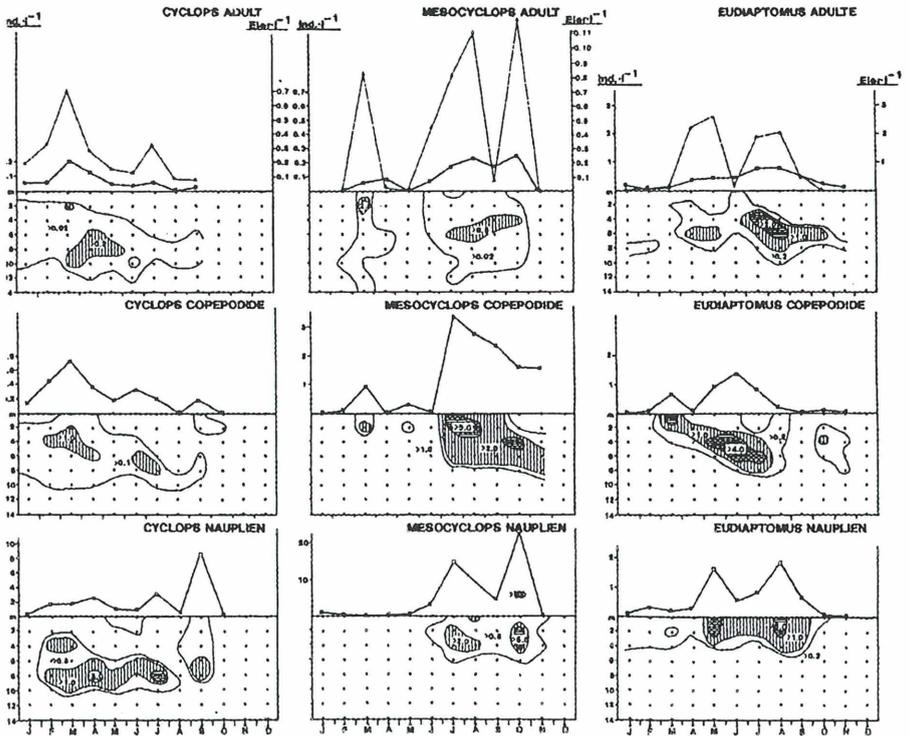


Abb. 11: Höllerersee 1990: Temporal-spatiale Verteilung der Copepoden. Links *Cyclops strenuus*, Mitte *Mesocyclops leuckarti*, rechts *Eudiaptomus graciloides*; obere Reihe Adulte, mittlere Reihe Copepodide, untere Reihe Nauplien.- Dünne Kurven: Eier.

3.5 Die Fische

Wie aus der Artenliste (Tab. 1) hervorgeht, ist die Mehrzahl der im See registrierten Fisch-Arten dort ursprünglich nicht heimisch. Von den heutzutage eingesetzten Arten dürfte jedoch der Hecht auch schon früher im See vorhanden gewesen sein. Tab. 2 zeigt die Gesamtfänge mit Multimaschennetzen 1990/91.

Tab. 2 Höllerersee, Fänge mit Multimaschennetzen 1990/91

Art	Stückzahl		Gewicht		ØGewicht g	Ø Länge cm
		%	g	%		
<i>Alburnus alburnus</i>	4.145	90,9	40.621	28,6	9,8	11,1
<i>Coregonus lavaretus</i>	328	7,2	99.495	70,2	303,3	35,2
<i>Perca fluviatilis</i>	62	1,4				
<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	18					
<i>Abramis brama</i>	11					
<i>Rutilus rutilus</i>	6					
<i>Stizostedion lucioperca</i>	2	0,07	1.681	1,2		
<i>Salmo trutta f. lacustris</i>	1					
<i>Salmo trutta fario</i>	1					
<i>Esox lucius</i>	1					
<i>Tinca tinca</i>	1					
<i>Cyprinus carpio</i>	1					

Die absolute und relative Bedeutung der verschiedenen Arten läßt sich daraus ermessen. Neben der Laube, die an Stückzahl bei weitem am häufigsten ist, sind nur die Coregonen quantitativ von Bedeutung. Ihre Biomasse ist sogar doppelt so hoch, wie die der Lauben. Da die Coregonen ausschließlich eingesetzt werden und sich im See nicht reproduzieren, ist ihre Bestandsdichte eher zufällig.

Von den übrigen Arten erreicht nur der Barsch mit 1,5% der Stückzahl und weniger als 1% der Biomasse eine gewisse quantitative Bedeutung. Zwei Einzelexemplare von Zander steuern etwa 1% der Biomasse bei. In der Liste nicht repräsentiert, da in den Stellnetzen überhaupt nicht gefangen, sind die bodenlebenden Arten Aal und Waller. Sie sind aber offenbar auch nicht zahlreich, denn sie werden auch von den Fischern selten erbeutet.

Die Tiefenverteilung war für die Lauben tags und nachts praktisch gleich. Mehr als 40-45% der Fänge wurden in 2m Tiefe eingeholt, 35-40% in 4m Tiefe und 20-25% in 6m Tiefe. Anders waren die Verhältnisse bei den Reinanken, die tagsüber hauptsächlich in 6m Tiefe gefangen wurden, nachts hauptsächlich in höheren Wasserschichten. Dies indiziert Tageswanderungen, wie sie im Prinzip auch im Mondsee festgestellt wurden (Nauwerck 1992b). Darüber hinaus zeigt sich auch im Vergleich der Gesamtfänge, daß die Lauben hauptsächlich tagaktiv sind, die Coregonen hauptsächlich nachtaktiv (oder dämmerungsaktiv). Korrigiert auf Fangstunden wurden nachts nur etwa 1/3 soviel Lauben erbeutet wie am Tag, aber 5 mal soviel Coregonen (Ritterbusch-Nauwerck 1991). Diese Zahlen geben auch Auskunft über den Freßdruck, den die beiden planktivoren Fische zu verschiedenen Zeiten und in verschiedenen Tiefen auf das Crustaceenplankton ausüben.

4.1 Bakterien-Protozoen

Der Vergleich der zeitlich-räumlichen Verteilung verschiedener Komponenten des pelagischen Nahrungsnetzes erlaubt Rückschlüsse auf Nahrungspräferenzen bzw. Nahrungskonstellationen. Die gleichzeitige Gegenwart von beispielsweise Bakterien einerseits und kleinen Flagellaten und Ciliaten, deren Ernährungsweise bekannt ist, andererseits, legt nahe, daß eine Nahrungsbeziehung besteht. Freilich ist nicht auszuschließen, daß die im Freiwasser dominierenden Organismen gerade darum zahlreich sind, weil sie nicht gefressen werden. Dagegen kann man sicher sein, daß Organismen, die ständig woanders leben als ihre präsumptiven Predatoren, von diesen nicht gefressen werden.

Zusätzliche Information gibt jedoch die direkte Beobachtung. In vielen Fällen ist es möglich, die Art der gefressenen Partikel im Leib der Predatoren zu erkennen. So spricht der Augenschein dafür, daß die kleinen Ciliaten sich von Bakterien und kleinen Detrituspartikeln, wohl auch von kleinen Flagellaten im Plankton ernähren, aber es läßt sich ohne geeignete Experimente nicht abschätzen, inwieweit sie dieselben effektiv kontrollieren. Sicher, weil direkt erkennbar, ist jedoch, daß kleine Cyclotellen von vielen von ihnen genutzt werden. Sicher ist auch, daß die Mehrzahl der kleinen Ciliaten nicht von den dichten Bakterienbeständen im Bereich der Chemokline (Abb. 6a) profitiert, diese hingegen von den großen Ciliaten (Abb.9), den farblosen Eugleniden und manchen anderen heterotrophen Flagellaten genutzt werden können.

Ein interessantes Beispiel ist *Cryptomonas*, deren an der Oberseite der Bakterienplatte lebenden großen Formen sich deutlich sichtbar die Kolonien von *Clathrochloris* und *Lampropedia* einverleiben, sodaß ihr Zellkörper davon so gefüllt ist, daß die Peripherie desselben stellenweise kantig heraussteht. Die *Cryptomonas* ihrerseits findet sich wieder im Körperinhalt der wenig tiefer angesiedelten großen Ciliaten *Holophrya discolor* und *Spirostomum teres*.

Selbstverständlich bestehen nicht nur lineare Nahrungsketten sondern sind Kurzschlüsse und Rückschlüsse an vielen Stellen möglich. Dabei machen die Bakterien einen zentralen Umschlagplatz aus. Totes Material gelangt in den Bakterien-pool und wird von dort Konsumenten der verschiedensten trophischen Ebenen wieder zugänglich. Viele Algen (*Dinobryon!*) können Bakterien aufnehmen. Kürzere Kreisläufe gehen direkt von Algen zu Algen (*Gymnodinium helveticum!*) oder von Ciliaten zu Ciliaten.

4.2 Phytoplankton-Zooplankton

Auch die Nahrungs-filtrierenden oder -greifenden Crustaceen verschmähen in der Regel Bakterien und Detritus nicht, vorausgesetzt, daß die Partikelgröße ihrem Nahrungsaufnahmeapparat entspricht. Da die weit überwiegende Zahl der Zooplankter im Höllerersee sich aus kleinen Arten zusammensetzt - *Bosmina*, *Ceriodaphnia*, *Diaphanosoma* und junge Stadien der Copepoden - und da auch Arten, die durchaus größer werden könnten, aufgrund des auf ihnen lastenden Predationsdrucks auf kleine Individuen reduziert sind, darf man annehmen, daß solche Nahrung von den meisten von ihnen zusammen mit dem Phytoplankton aufgenommen wird.

Auf nicht-algische Nahrung angewiesen sind z.B. die *Cyclops*-Nauplien, die am unteren Rand des sauerstoffhaltigen Mixolimnions leben (Abb. 11). Die dort angesiedelte *Oscillatoria* (Abb. 7) ist für sie nicht hantierbar, wohl aber die reichlich angebotenen Bakterien. Andererseits ist deutlich, daß manche Filtrierer unter den Crustaceen an Tiefen und an Zeiten gebunden sind, wo kleine Planktonalgen die wichtigste Komponente des Nahrungsangebotes darstellen. Dies gilt ganz besonders für *Bosmina longirostris* (Abb. 10), deren Populationsentwicklung sich auffällig mit dem Auftreten der autotrophen kleinen *Cyclotella* und der mixotrophen kleinen Flagellaten (Abb. 7) verbindet. Das im Frühjahr und im Herbst allgemein reichere Phytoplanktonangebot im Mixolimnion geht auch bei anderen Cladoceren mit verstärkter Eiproduktion und Populationszuwachs einher.

Einige Algen-Arten scheinen aber keine nennenswerten "Freß-Feinde" zu haben. So *Oscillatoria*, die nur in geringem Ausmaß oder nur indirekt den Ciliaten zugute kommt, oder *Ceratium*, dessen Population eher von Parasiten (*fungi*) bedroht ist, als von Predatoren.

4.3 Zooplankton-Zooplankton

Die Larven von *Chaoborus* können sich bekanntermaßen von Rotatorien und Cladoceren ernähren. Indessen spricht wenig dafür, daß sie im Höllerersee einen maßgeblichen Einfluß auf die Populationsentwicklung des Zooplanktons hätten. Ihre stärkste Entwicklung fällt in die Monate Juli-Oktober, zu deren Ende allerdings einige Crustaceenpopulationen, *Daphnia*, *Ceriodaphnia*, *Mesocyclops* und *Eudiaptomus* stark abnehmen. Es kann aber kaum bezweifelt werden, daß die Fische, namentlich die Lauben, bei der Kontrolle der Crustaceen eine weit größere Rolle spielen als *Chaoborus*. Die Abnahme von *Mesocyclops* dürfte großteils durch den Rückzug der Copepodide in die Diapause bedingt sein. Nur bei *Eudiaptomus* bleibt der Verzehr durch *Chaoborus* als mögliche Hauptursache seines Verschwindens.

Neben einigen Rotatorien, wie *Asplanchna* und *Trichocerca*-Arten, die jedoch im Höllerersee wenig zahlreich sind, kommen als Predatoren im Zooplankton des Höllerersees hauptsächlich größere Copepodide und Adulte von *Cyclops* und auch von *Mesocyclops* infrage. *Leptodora*, an sich ein starker Räuber, ist zwar vorhanden, spielt aber auch nur eine sehr geringe Rolle, weil sie sich gegen den Freßdruck der Fische nicht durchsetzen kann.

Die Entwicklung von *Cyclops* im Frühjahr fällt hauptsächlich mit dem Aufkommen und dem Rückgang von *Bosmina* und *Daphnia longispina* zusammen, die von späteren Stadien von *Mesocyclops* hauptsächlich mit der Gegenwart von *Diaphanosoma* (Abb. 10, 11). Man könnte daraus schließen, daß die betreffenden Cladoceren eine wichtige Beute für die Cyclopoiden darstellen. Indessen bieten auch hier die Lauben eine konkurrierende Erklärung. Auch ist es durchaus möglich, daß ältere Cyclopoiden ihre jüngeren, vegetarisch lebenden Artgenossen verzehren. Lediglich bei *Diaphanosoma*, die erst nach dem Verschwinden von *Chaoborus* auftritt und die von den Fischen nur in geringem Maße gefressen wird, ist Predation durch *Mesocyclops* die nächstliegende Erklärung für den Populationsrückgang.

4.4 Zooplankton-Fisch

Abb. 12 zeigt Menge und Zusammensetzung des für die Fische greifbaren Zooplanktons im See und im Mageninhalt von Lauben und Reinanken im Jahreslauf. In Abb. 13 und 14 sind Vorkommen im See und Mageninhalte nach Arten aufgeschlüsselt. Folgende Besonderheiten sind festzustellen. Beide Fischarten zeigen eine starke Präferenz für *Daphnia* und beide nehmen *Eudiaptomus* nur in geringen Mengen auf. Die kleineren Arten des Crustaceenplanktons, *Diaphanosoma*, *Ceriodaphnia* und *Mesocyclops*, werden hauptsächlich von den Lauben genommen.

Wie aus Abb. 13 hervorgeht, ist die Laube bei der Nahrungswahl ziemlich opportunistisch. Was an greifbaren Beutetieren geeigneter Größe vorhanden ist, wird auch hauptsächlich gefressen. Ausnahmen sind *Daphnia (cucullata)*, die im September und *Mesocyclops*, der im Dezember relativ stärker selektiert wird als in der vorhergehenden Zeit. Überhaupt ist festzustellen, daß der Freßdruck der Lauben zu Beginn des Winters am größten ist.

Nach Abb. 14 gilt letzteres auch für die Coregonen. Ihre Ernährung scheint weitgehend von den Daphnien abzuhängen. Solange das Angebot besteht, wird *Daphnia longispina* deutlich bevorzugt. Von den kleinen Crustaceen findet sich nur *Bosmina* zeitweise in nennenswerten Mengen in den Mägen der Coregonen. Dafür kommen hier die bei den Lauben nicht anzutreffenden Beutetiere *Cyclops* und *Chaoborus* vor. *Cyclops* scheint eher eine Ausweichnahrung in Notzeiten zu sein.

HÖLLERERSEE 1990/91

Zooplankton

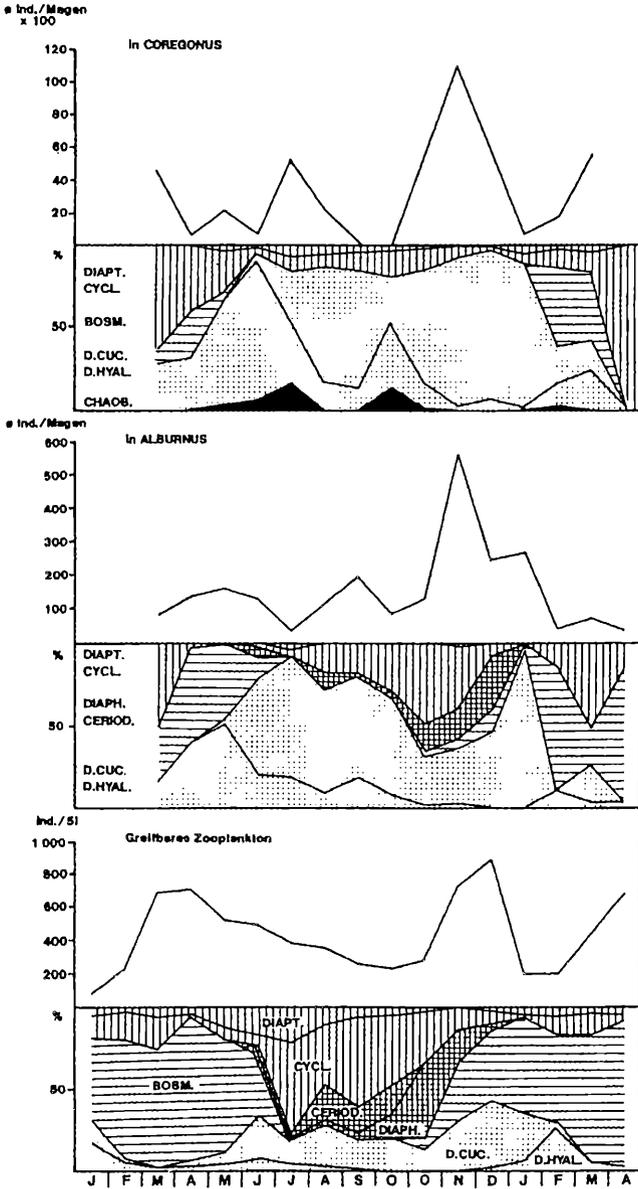


Abb. 12: Höllerersee 1990/91: Mageninhalte von *Coregonus* und *Alburnus* im Jahreslauf. Unten: Im See greifbares Zooplankton (> 0,3 mm).

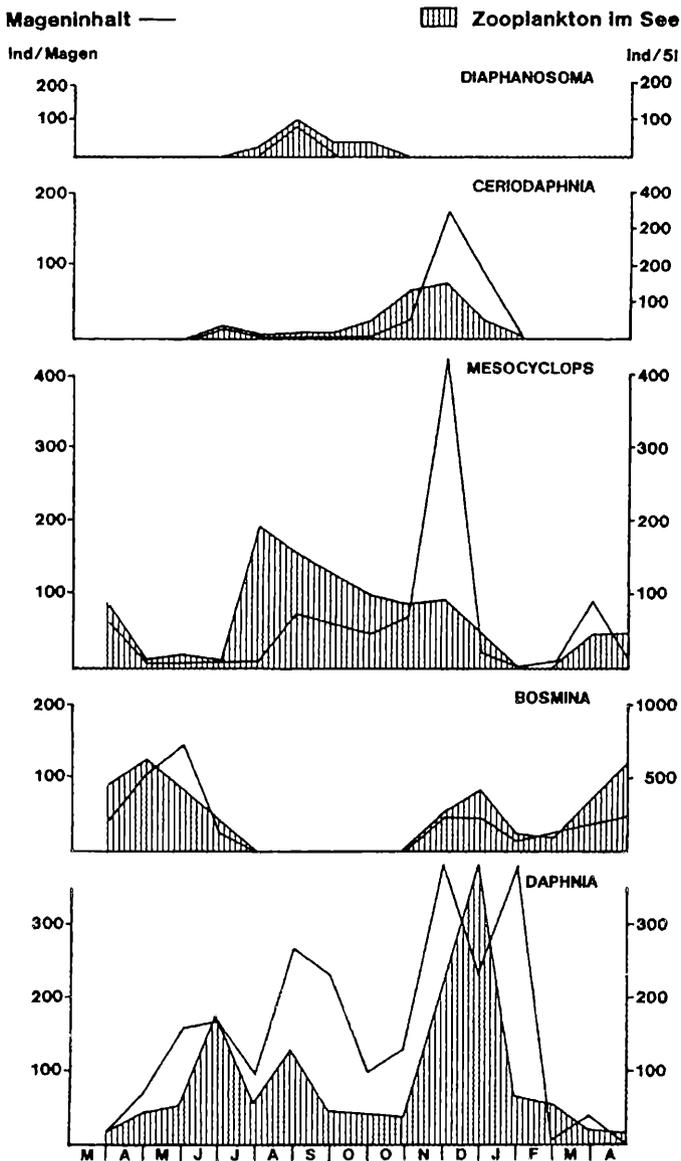


Abb. 13: Höllerersee 1990/91: Zooplankton im Magen von *Alburnus* verglichen mit Angebot im See.

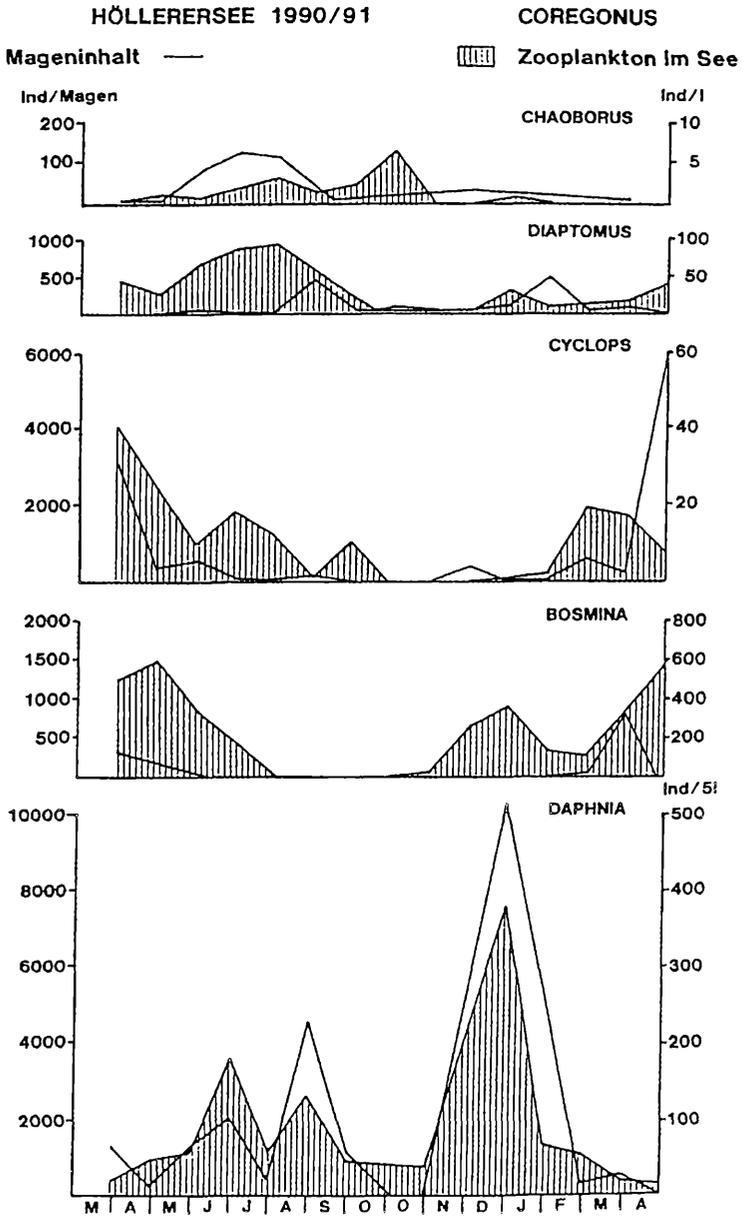


Abb. 14: Höllerersee 1990/91: Zooplankton im Magen von *Coregonus* verglichen mit Angebot im See.

Chaoborus dagegen wird deutlich selektiert, ist aber dennoch in den Mägen nie besonders zahlreich. Wie Ritterbusch-Nauwerck (1991) gezeigt hat, sind die Coregonen im Höllerersee stark unterernährt. Der künstlich aufrecht erhaltene Bestand ist im Verhältnis zur Nahrungsunterlage viel zu groß. Andererseits ist es offenbar keinem Raubfisch gelungen, sich das reiche Angebot an Lauben nutzbar zu machen.

4.5 Die Rolle der Uferzone

Je kleiner ein See ist, desto intensiver werden die Beziehungen zwischen Freiwasserzone und Litoral. Da die Ufer des Höllerersees ringsum unmittelbar auf ein paar Meter Tiefe abfallen, besitzt er nur einen schmalen Vegetationsgürtel. Ein Einfluß dieses Gürtels auf die pelagiale Planktongesellschaft, etwa durch häufiges Auftreten von Chydoriden, läßt sich nicht nachweisen. Von größerer Bedeutung scheinen die Aktivitäten zu sein, mit denen Fischer, Badegäste und möglicherweise auch die Fische in Ufernähe Turbulenzen verursachen, wodurch organisches Material aufgewirbelt und dem Freiwasser zugeführt wird.

Eine wichtigere Rolle kommt den weniger tiefen Gebieten des Sees als Refugium für Plankton und Fische zu, die zeitweise auf den Sedimentkontakt angewiesen sind, denen aber wegen der Meromixis des Sees tiefere Wasserschichten als Lebensraum versperrt sind. Die Wiederbesiedlung des Freiwassers durch das Auskeimen von Sporen und Cysten von Algen, durch das Schlüpfen von Tieren aus Dauereiern oder ihr Erwachen aus der Diapause ist in den meisten Fällen nur im oxydierten Milieu erfolgreich. Auch Fische, die im Winter an der Sedimentoberfläche ruhen, können nur im einigermaßen sauerstoffhaltigen Wasser überleben. Insofern ist der See, wo er tiefer ist als ca. 10m, d.h. gut die halbe Seeoberfläche, ein "See ohne Boden". Denn so viel auch Prozesse der Sedimentoberfläche hier ins Metalimnion hinaufverlegt sind, so wenig gibt es in dieser Schicht ein Substrat, das passiven Organismen dort einen dauernden Aufenthalt gewähren könnte.

5 Zusammenfassung

Abb. 15 und 16 geben noch einmal charakteristische Sommer-Schichtungsbilder der wichtigsten Phyto- und Zooplankter, die mit den zugehörigen Umweltparametern in Abb. 3 verglichen werden können. Alle quantitativ wichtigen Algen sind mixotrophe oder heterotrophe Flagellaten. Zuerst finden sich die mehr oder weniger autotrophen Repräsentanten, *Chrysochromulina*, *Ceratium*, *Cryptomonas*. Unterhalb schließen sich farblose Formen an. Noch weiter unten folgt das Maximum von *Oscillatoria*, die sich, ebenso wie *Cryptomonas*, noch bis

an die Grenze der sauerstofffreien Zone erstreckt. Am tolerantesten gegenüber

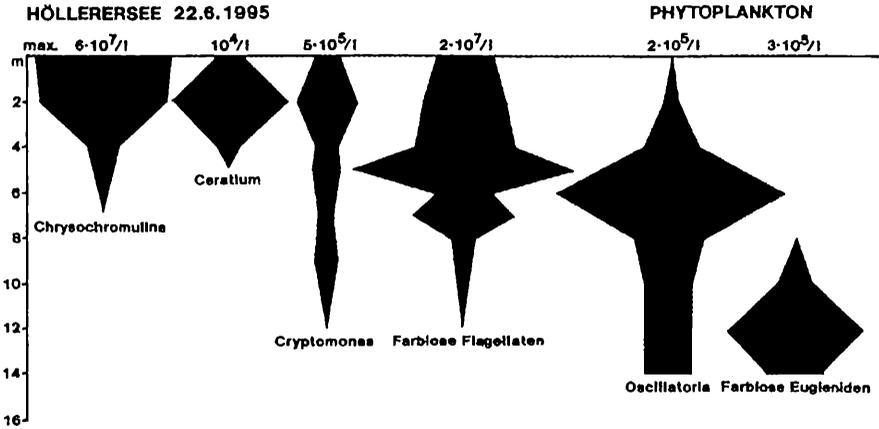


Abb. 15: Höllerersee, 22.6.1995. Vertikalverteilung der wichtigsten Planktonalgen. Die größten Breiten der jeweiligen Flächen entsprechen den oben angegebenen Maxima.

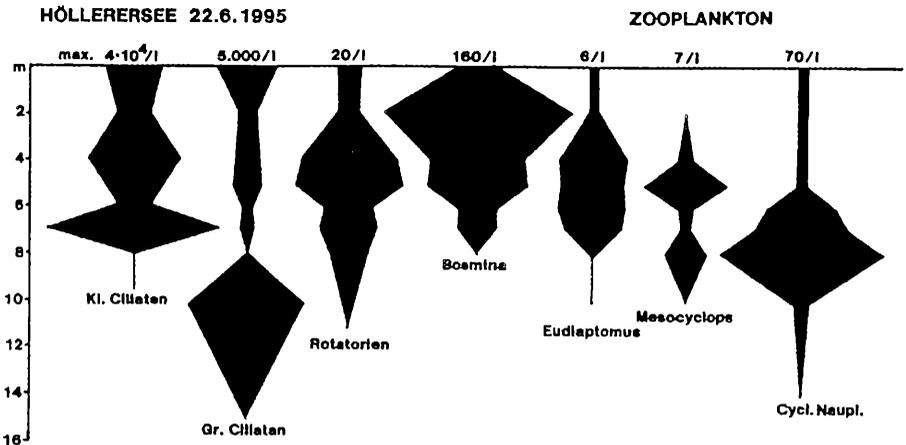


Abb. 16: Höllerersee, 22.6.1995. Vertikalverteilung der wichtigsten Zooplankter. Die größten Breiten der jeweiligen Flächen entsprechen den oben angegebenen Maxima.

hypoxische Bedingungen sind schließlich die am tiefsten lokalisierten farblosen Eugleniden.

Beim Zooplankton lebt *Bosmina* eindeutig epilimnisch im selben Bereich wie *Chrysochromulina*, offenbar ihrer zum aktuellen Zeitpunkt wichtigsten Nahrung. Tiefer eingeschichtet sind die Copepoden. Ihnen stehen in ihrer Tiefe in erster Linie die farblosen Flagellaten und die kleinen Ciliaten als Nahrung zur Verfügung. Der *Oscillatoria*-Horizont wird von anderen Planktern z.T. auffällig gemieden. Am Rande der sauerstofffreien Zone drängen sich die *Cyclops*-Nauplien, relativ unbeschwert von Predatoren. Tiefer stehen noch einige große Ciliaten.

In Abb. 17 ist dieses Bild anschaulich gemacht und mit den zooplanktivoren Lauben und *Chaoborus* im Mixolimnion bzw. im sauerstofffreien Bereich ergänzt. Fig. 18 ist ein Versuch, den Jahresgang in ähnlicher Weise zu veranschaulichen. Die Phytoplanktonentwicklung ist am stärksten während Zirkulationsperioden im Frühjahr und im Herbst. Im Frühjahr dominieren *Cyclotella* und *Chrysochromulina*. Wichtigster Filtrierer ("grazer") ist zu dieser Zeit *Bosmina*. *Cyclops strenuus* entwickelt sich in dieser Zeit und wird mangels besseren Angebotes von den Coregonen gefressen.

Mit der Erwärmung des Sees nehmen die Daphnien zu. *Oscillatoria* nimmt zu und zieht sich in größere Tiefen zurück. Auch *Gymnodinium* meidet jetzt das erwärmte Mixolimnion. Das Mixolimnion verarmt. Eine Klarwasserphase tritt ein, bedingt durch starkes Abweiden der Algen durch die Filtrierer. *Eudiaptomus* hat jetzt im unteren Bereich des Epilimnions seinen hauptsächlichlichen Aufenthalt; nur seine Nauplien leben oberflächlich. *Mesocyclops* erreicht sein Maximum im Epilimnion.

Abbauprozesse im Mixolimnion tragen zur Verringerung des Sauerstoffs an dessen Unterseite bei. Die sauerstofffreie Zone breitet sich nach oben aus, mit ihr der Bakterienhorizont im Grenzbereich zwischen H_2S und O_2 . Entlang dieses Horizonts finden *Cyclops*-Nauplien und Cryptomonaden (oberhalb) und große Ciliaten und farblose Eugleniden (unterhalb) günstige Lebensbedingungen.

Mit zunehmender Winddurchmischung und Abkühlung im Herbst werden dem Mixolimnion wieder Nährstoffe zugeführt. Die Primärproduktion nimmt zu, ebenso die Diversität der Planktongemeinschaft. Verschiedene Zooplankter finden verbesserte Nahrungsbedingungen. Besonders die Cladoceren vermehren sich und finden sich alsbald stärkerem Predationsdruck durch Fische und *Chaoborus* ausgesetzt. Am längsten hält sich *Ceriodaphnia*.

Mit Einbruch des Winters brechen Phytoplankton wie Zooplanktonpopulationen zusammen bzw. begeben sich in Winterruhe. Das Freiwasser wird während der Wintermonate beherrscht von farblosen Flagellaten und kleinen Ciliaten, die sich teils gegenseitig reduzieren, teils den wiederkehrenden Crustaceen, vor allem *Cyclops*, als erste Nahrung beim Wiederaufbau der Frühjahrspopulation dienen.

HÖLLERERSEE
Frühsommer

VERTIKALSCHICHTUNG
SCHEMATISCH

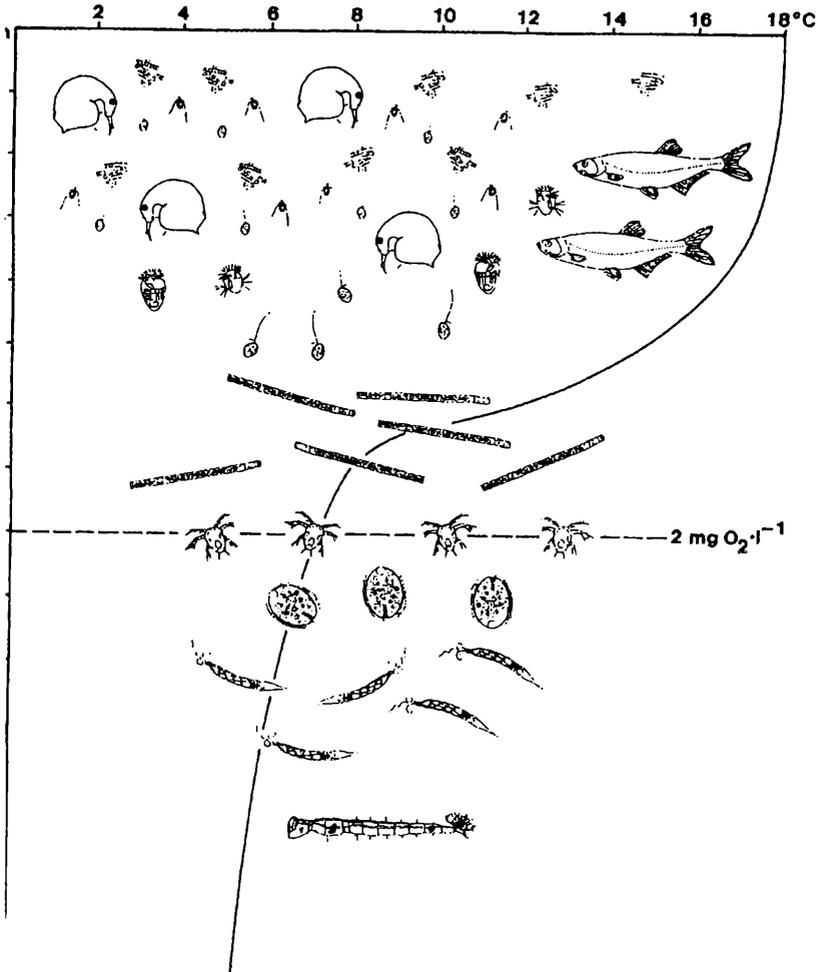


Abb. 17: Höllerersee. Schematisches Bild der sommerlichen (frühsommerlichen) Vertikalschichtung. Im oberen Epilimnion *Cyclorella*, *Chrysochromulina* und *Bosmina*; im unteren Epilimnion farblose Monaden (*Monas*) kleine Ciliaten (*Strombidium*, *Halteria*), Fische (*Alburnus*); in der Sprungschicht *Oscillatoria rubescens*, *Cyclops Nauplii*, darunter große Ciliaten (*Holophrya*), *Euglena* und *Chaoborus*.

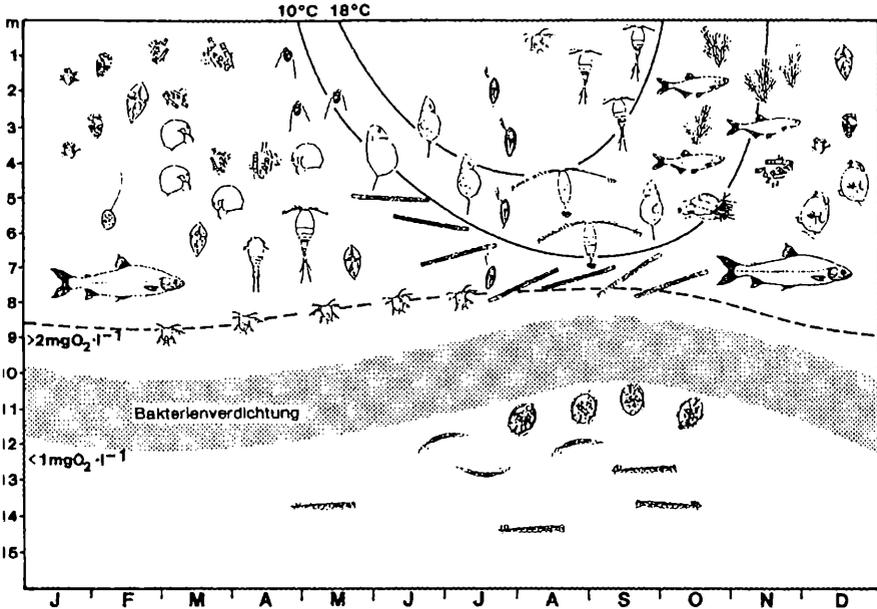


Abb. 18: Höllerersee. Schematisches Bild des Jahresverlaufes von Sukzession und Schichtung der pelagischen Biozönose. Im Frühjahr Kieselalgen, *Chrysochromulina*, *Bosmina*, *Cyclops*; im Sommer *Daphnia*, *Cryptomonas*, *Oscillatoria*; im Spätsommer/Herbst *Mesocyclops*, *Eudiaptomus*, *Holophrya*, *Euglena*, *Chaoborus*; im Spätherbst/Winter *Dinobryon*, *Daphnia*, *Diaphanosoma*, *Ceriodaphnia*, dann kleine Ciliaten, *Gymnodinium helveticum* und Monaden. Die Fische (*Alburnus* im Spätsommer/Herbst, *Coregonus* im Spätherbst/Winter) symbolisieren Perioden besonders starken Fraßdrucks.

6 Literatur

- DOKULIL, M. & A. JAGSCH (1987): Limnologische Untersuchung der Innviertler Seen. - Bericht OÖ Landesregierung, Abt. Wasserbau, 77 pp.
- DOKULIL, M., L. EISL, A. NAUWERCK, R. PUCSKO, R. SCHMIDT & E. SCHULTZE (1991): Limnologische Zustandsuntersuchung des Höllerersees und seiner Sedimente. - Projektendbericht an das Amt der OÖ Landesregierung, Abt. Wasserbau, 84 pp.
- ELORANTA, P. V. (1982): Zooplankton in the Vassikkalampa pond, a warm water effluent recipient in central Finland. - J. Plankton Res. 4: 813-837.
- NAUWERCK, A. (1991): The history of the Genus *Eubosmina* in Lake Mondsee (Upper Austria). *Hydrobiologia* 225: 87-103.
- NAUWERCK, A. (1992a): Zooplankton als Nahrungsbasis planktivorer Fische. - Endbericht des BMLF Forschungsprojekts L 566/89, 41 pp.

- NAUWERCK, A. (1992b): Nahrungsbeziehungen zwischen Coregonen und Zooplankton im Mondsee. - Endbericht des FFWF-Projekts P 7106 BIO, 43 pp.
- NAUWERCK, A. (1993a): Zooplankton im Höllerersee (Oberösterreich). - Ber. nat.- med. Ver. Salzburg 10: 7-43.
- NAUWERCK, A. (1993b): Migration strategies of crustacean zooplankton in Lake Mondsee. Arch. Hydrobiol. Beih. Ergebn. Limnol. 38: 109-122.
- PSENNER, R. (1983): Die Entstehung von Pyrit in rezenten Sedimenten des Piburger Sees. - Schweiz. Z. Hydrol. 45: 219-232.
- RITTERBUSCH-NAUWERCK, B. (1991): Coregonen und ihre Nahrung - ein Vergleich dreier Seentypen. - Deutsche Gesellschaft für Limnologie, erweiterte Zusammenfassungen der Jahrestagung 1991 in Mondsee, S. 22-26.
- SCHABER, P. & A. SCHRIMPF (1984): On morphology and ecology of the *Filinia terminalis*-longiseta-group (Rotatoria) in Bavarian and Tyrolean lakes. - Arch. Hydrobiol. 101: 247-257.
- SCHMIDT, R. & H. SIMOLA (1991): Diatomeen, pollen- und sedimentmikrostratigraphische Untersuchungen zur anthropogenen Beeinflussung des Höllerersees (Oberösterreich). Aquatic Sciences 53: 74-89.
- WERTH, D.W. & G. MÜLLER (1982): Die Seen Oberösterreichs. Ein limnologischer Überblick. Amtlicher OÖ Wassergüteatlas Nr. 10, Amt der OÖ Landesregierung, Abt. Wasser- und Energierecht, 153 pp.

Anschrift:

Prof. Dr. Arnold Nauwerck
Limnologisches Institut der Österreichischen Akademie der Wissenschaften
A-5310 Mondsee

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Berichte der Naturwissenschaftlich-Medizinischen Vereinigung in Salzburg](#)

Jahr/Year: 1996

Band/Volume: [11](#)

Autor(en)/Author(s): Nauwerck Arnold

Artikel/Article: [TROPHISCHE STRUKTUREN IM PELAGIAL DES MEROMIKTISCHEN HÖLLERERSEES \(OBERÖSTERREICH\). 147-178](#)