

UDK 551.312.4.791.494(436.8:497.13:497.12)=30

Fallstudien zur Paläolimnologie

Case studies on paleolimnology

Ekkehard Schultze

Institut für Limnologie der Österreichischen
Akademie der Wissenschaften, Gaisberg 116
A-5310 Mondsee

*Sich gar nicht finden, drückt berühmte
Männer stärker, als sie sagen wollen.*

(Jean Paul, Dr. Katzenbergers Badereise, 1809)

Auszug

Anhand von pigmentanalytischen und geochemischen Untersuchungen von Seebohrkernen aus verschiedenen Seetypen und faziell verschiedenen limnischen Sedimenten, zum Teil aus präquartären Ablagerungen, wird umweltgeologischen, produktionsbiologischen, klimatologischen und paläoökologischen Fragestellungen nachgegangen. Es wird auf die Verschiedenheit und die Ursachen der qualitativen und quantitativen Pigmentvorkommen hingewiesen.

Besonderes Augenmerk ist auf anthropogene und klimatologische Einflüsse und deren Wechselwirkungen im Jüngeren Postglazial, sowie auf umweltgeologische Faktoren gerichtet.

Abstract

Using pigment analytical and geochemical investigations of cores from different types of lakes and facially different limnic sediments, partially from prequaternary deposits, the following statements of question are inquired: environmental geology, biological production, climatology and paleoecology.

The diversity and the reasons of qualitative and quantitative occurrence of pigments is emphasized. Especially stressed are anthropogenic and climatological influences and their interactions during the younger postglacial period, as well as ecological/geological factors.

INHALTSVERZEICHNIS

Einleitung und Stand der Forschung	439
Problemstellung	440
Vorkommen und Verhalten von Pigmenten	441
Methodik	444
Probengewinnung	444
Pigmentanalysen	446
Bestimmung der Einzelcarotinoide	447
Andere Analysen	447
Auswahl der Lokalitäten	448
Holomiktische Seen	449
Der Funtensee	449
Entstehung, Entwicklung und Charakteristik	449
Pigmentanalytische Ergebnisse	450
Der Halleswiesensee	451
Entstehung, Entwicklung und Charakteristik	453
Pigmentanalytische Ergebnisse	455
Mondsee	458
Entstehung, Entwicklung und Charakteristik	458
Probenentnahme	460
Ergebnisse	460
Verteilung von Pigmenten in ausgewählten Profilen	462
Die Salzburger Vorlandseen	467
Entstehung, Entwicklung und Charakteristik	467
Der Wallersee	469
Ergebnisse	469
Trumer Seen	472
Ergebnisse	472
Meromiktische Seen	475
Der Längsee	475
Entstehung, Entwicklung und Charakteristik	477
Ergebnisse (Langprofil)	477
Ergebnisse (Kurzprofil)	481
Der Piburger See	483
Entstehung, Entwicklung und Charakteristik	483
Ergebnisse	484
Bled-See	486
Material und Probengewinnung	487
Ergebnisse	489
Marine Sedimente	492
Malo jezero	492
Überblick	492
Vorläufige Resultate	492
Material	494
Ergebnisse	496
Neuere Ergebnisse zur Chronologie	498
Ältere limnische Ablagerungen	500
Das Interglazial / Interstadial Mondsee	500
Pigmentanalytische Untersuchungen an Proben aus dem Neogen im Lavanttal	500
Vorläufige Ergebnisse pigmentanalytischer und palynologischer Untersuchungen von hangenden Abschnitten der Bentonite vom Weingraben bei Drassmarkt im Burgenland	501
Ergebnisse	501
Danksagung	503
Zusammenfassung	504
Case studies on paleolimnology	507
Summary	507
Literatur	510

Einleitung und Stand der Forschung

Die Anfänge der Paläolimnologie liegen in der Erforschung des Ursprungs und der geomorphologischen Entwicklung der Seebecken. Geographen und Geologen begannen schon sehr früh mit dem Studium der Seen, hauptsächlich aus hydrographischer Sicht. In Österreich seien Forschungen von Simony (1847, 1850, 1864, 1879), Lorenz-Liburnau (1898) und Penk (1898) erwähnt, die sehr wohl Kenntnisse von morphologischen, thermischen und chemischen Eigenschaften der Seen vermittelten, aber relativ wenig über die Lebensvorgänge wußten.

Ausgehend von der Moorforschung und später der Pollenanalyse wurden die Seesedimente als Zeugen vergangener Entwicklungen erkannt und im ersten und zweiten Quartal dieses Jahrhunderts Pionierarbeit auf diesen Gebieten geleistet. Unter vielen anderen sind die Arbeiten von Post (1916, 1946), Naumann (1939) in Skandinavien, Bradley (1948) im Anglo-Amerikanischen Bereich sowie Nipkow (1920, 1927) in der Schweiz von grosser Bedeutung für die Entwicklung der Paläolimnologie.

Offensichtlich hatten die »grossen Schulen« der Quartärgeologie, welche zum Teil heute noch existieren, einen grossen Anteil an der Entwicklung der Paläoökologie. Wie in jeder Pionierphase einer Wissenschaft, der »Sammlertätigkeit« wurden an möglichst vielen Seen Standards erhoben, biostratigraphische Entwicklungen studiert und datiert. Neben den bis dahin probaten Mitteln der Datierung wie die Warvenchronologie, gewannen nun mehr und mehr physikalische Methoden, wie die Radiokarbonmethode und andere Isotopenanalysen, an Einfluss. Im Zuge der verfeinerten Stratigraphie fanden geochemische und geophysikalische Betrachtungsweisen Eingang in die Paläobiologie.

Wie die Limnologie selbst, wurde die Paläolimnologie immer stärker zu einer interdisziplinären, integrativen Forschungsrichtung. Paläofloristische und -faunistische Ansätze und Ergebnisse waren von da ab der Kritik der sogenannten exakten Wissenschaften unterworfen und es setzte eine Verschiebung von der deskriptiven-vergleichenden zu einer qualifizierenden-quantifizierenden Arbeitsweise ein.

Für die Paläobiologie war nun ein neuer Lernprozess notwendig geworden: die Auseinandersetzung mit exakten Messmethoden und deren Übertragbarkeit in einen modernen biostratigraphischen und paläoökologischen Ansatz. Viele dieser – für den Paläolimnogeologen neuen – Methoden wurden bereits vorher für die Kohle- und Erdölprospektion erfolgreich getestet und angewendet.

Die Anfänge der Paläolimnologie in Österreich – abgesehen von der oben bereits erwähnten Pionierphase – begann mit der klassischen Arbeit von Gams (1927): »Zur Geschichte der Lunzer Seen Moore und Wälder«. Einen Durchbruch schaffte jedoch erst Frey (1955, 1956) mit seiner Arbeit vom Längsee (Kärnten). Vorher schon »durchforsteten« Sarnthein (1936, 1938, 1940, 1948) und Firbas (1949, 1952) Österreich und die angrenzenden Gebiete. In Skandinavien intensivierte vor allem Faegri und Iversen (1966) und Erdtman (1921) die palynologische Forschung. Hauptsächliches Ziel war der Versuch einer Rekonstruktion der regionalen Wald-Vegetations- und Klimaentwicklung und damit entstand ein brauchbarer zeitlicher und räumlicher Raster für anschliessende paläolimnologische Untersuchungen. Derartige Untersuchungen wurden durch Löffler und seine Arbeitsgruppe in Österreich durchgeführt. Aus oben genannten Bemühungen entstand dann im Rahmen des Internationalen Geologischen Korrelationsprogrammes (IGCP) eine überregionale Zusammenarbeit auf der nördlichen Hemisphäre, deren Ergebnis ein »Weisbuch« als

Richtlinie zur Methodik der Paläoklimatologie, Paläohydrologie und Paläoökologie im Quartär der borealen Zone war (Berghlund et al., 1986). Die Voraussetzungen für eine moderne Paläolimnologie waren somit vorhanden und das förderte die interdisziplinäre Forschung durch neue Kontakte bei Workshops und Kongressen und Durch Austausch von Kapazitäten und Ergebnissen in grossem Mass. Heute sind in das IGCP nahezu alle entsprechenden Forschungsdisziplinen integriert und über eine zentrale Datenerfassung und Kommunikationsförderung jedem interessierten Forscher zugänglich. Aus der Tätigkeit im IGCP entwickelte sich durch gepflegte Kontakte, gemeinsame Projekte und ständige Diskussionen eine zwanglose aber effektive Forschungsgemeinschaft, an welcher folgende Institutionen und Arbeitsgruppen in Mitteleuropa beteiligt sind:

Institut für Quartärforschung und Institut für Dynamik der Lithosphäre der Universität Göttingen; Geographische Institute von Heidelberg und Würzburg; Niedersächsisches Landesamt für Bodenkunde; Lehrstuhl für Geologie der TU München; EAWAG-ETH Zürich; Institut für Geobotanik der Universität Bern; Geologisches Institut der Universitäten in Zagreb und Ljubljana; Biologisches Institut der Slowenischen Akademie der Wissenschaften; Geowissenschaftliches Institut der Universität Salzburg; Limnologisches Institut der Österreichischen Akademie der Wissenschaften in Mondsee. Letzteres fungierte als Anlauf- und Koordinationsstelle. Die Ergebnisse dieser Forschungsgemeinschaft sind in zahlreichen Diplomarbeiten, Dissertationen und Fachpublikationen dokumentiert und haben international positives Echo gefunden.

Problemstellung

In vorliegender Arbeit sollen neuere Ergebnisse aus der Paläolimnologie, Paläoökologie und Paläohydrologie als Fallstudien dargestellt und mit interdisziplinären Gesichtspunkten verknüpft werden. Der Schwerpunkt der Untersuchungen lag auf der Erkundung ehemaliger Pflanzenentwicklung mit Hilfe von Pigmentanalysen lakustriner Sedimente.

Auf Grund von bisherigen Untersuchungen durch Züllig (1961, 1982, 1984, 1985), Vallentyne (1956), Gorham und Sanger (1964, 1972), Gorham (1960), Brown (1968, 1969) u. v. a., ausgehend von Arbeiten durch Liaanen-Jensen (1963 a, b, c, 1965, 1978 a, b), Liaanen-Jensen und Andrewes (1972) sowie Pfennig (1978 a, b) u. v. a. kommen in verschiedenen Pflanzengruppen (zum Teil sogar Arten) charakteristische Pigmente oder Pigmentkombinationen vor. Neben dem Chlorophyll und dessen Derivaten, wie Phaeophytine oder Phaeophorbide, die von allen »grünen Pflanzen« produziert werden, kommt der grossen Gruppe der Carotinoide eine besondere Bedeutung für eine paläolimnologisch-paläoökologische Betrachtungsweise zu. Im besten Fall bildet beispielsweise die Blaualge *Oscillatoria rubescens* D. C. (Burgunderblutalge) als Hauptcarotinoid das sogenannte Oscillaxanthin, welches weitgehend artspezifisch ist und bei anderen verwandten Arten wenn überhaupt, dann nur in Spuren gebildet wird und in anderen Algenfamilien nie auftritt. Das Auffinden grösserer Mengen von Oscillaxanthin in Sedimenten erlaubt daher den Rückschluss auf das Vorkommen von *Oscillatoria rubescens* D. C. und damit eine Abschätzung ihrer ehemaligen Entfaltung.

In vielen Fällen lassen sich dann Schlüsse auf den »Trophiegrad« des Systems ziehen, besonders dann, wenn Nährstoffanalysen (Pt, C_{org} etc.) durchgeführt werden

können. Die gemessenen Konzentrationen sind ihrerseits aber wieder abhängig von sedimentologischen Parametern wie Dichte, Wassergehalt, Korngrößen und Sedimentationsraten und können daher nur in Zusammenhang mit diesen Parametern zielführend gedeutet werden. Es bedarf daher einer breit angelegten Teamarbeit um möglichst viele wichtige Parameter zu erkunden und dadurch zu einer weiterführenden Interpretation zu kommen.

Im Laufe der Untersuchungen der letzten 5 Jahre zeigte sich immer deutlicher die Verschiedenheit der untersuchten Systeme, sodass im Rahmen von Fallstudien eine möglichst umfassende Zusammenschau verschiedenster Seetypen und deren Sedimente erarbeitet werden sollte. Daraus ergibt sich etwas überspitzt formuliert die Tatsache, dass jeder einzelne See wie ein Individuum betrachtet werden muss. Die Beurteilung seines heutigen Zustandes und seines Charakters ist nur durch die Kenntnis seiner Vergangenheit und seiner dynamischen Entwicklung möglich. Dies ist auch Postulat jeder wissenschaftlichen Theorie in Hinblick auf die Voraussagbarkeit zukünftiger Entwicklungen: »Futurology... is based on the fact that we know nothing about future except by analogy with the past« (Frye, 1981).

Nachdem in erster Phase die Erarbeitung probater Methoden im Vordergrund stand, galt es für vorliegende Arbeit geeignete Seen und Seeablagerungen auszuwählen, von denen bereits ausreichend Daten vorlagen oder bei denen dramatische sedimentologische oder trophische Entwicklungen – seien es natürliche oder anthropogene – zu erwarten waren.

Vorkommen und Verhalten von Pigmenten

Eine der grundlegenden Fragen war die nach dem Vorkommen und Verhalten von pflanzlichen Farbstoffen. Wie oben schon erwähnt, kommen Chlorophyll, Phaeophytin und deren Derivate in allen »Grünen Pflanzen« vor. Wollen wir aber eine Beschränkung auf die in einem See vorkommenden Pflanzengesellschaften vornehmen, so erweisen sich die Carotinoide wegen ihrer weiten Verbreitung in Kryptogamen, mit einer besonders reichhaltigen Palette an sogenannten Polylenfarbstoffen in den Algen, als besonders interessant. Zahlreiche Autoren haben sich seit der Jahrhundertwende mit der Aufklärung der chemischen Strukturen und der Verbreitung der Carotinoide befasst und in Standardwerken mit einer Fülle von Ergebnissen dargestellt, wie Karrer und Jucker (1948), Isler (1971) und Goodwin (1976).

Dünnschichtchromatographische Untersuchungen von Hager und Meyer-Berthenrath (1967) zeigten zugleich analytische Fehlerquellen auf. Aufbauend auf diese Untersuchungsmethoden gelang es Hager und Stransky (1970) Konstitutionsaufklärungen an Carotinoiden besonders in Bezug auf Sauerstoff-Funktionen durchzuführen und zugleich verschiedene Carotinoide, insbesondere die von Chlorophyceen und Xanthophyceen sicher zu identifizieren. Weitere Arbeiten von Hertzberg, Liaanen-Jensen und Siegelmann (1971) die sich mit der Erforschung von Carotinoiden von Cyanophyceen oder im Bereich der Dinophyceen (Johansen et al., 1974) befassten, bildeten Grundlagen für die heutigen Kenntnisse über die Verbreitung von Carotinoidfarbstoffen in Kryptogamen. Darüber hinaus gewann man auch noch tiefere Einblicke in Reaktionsmechanismen der photosynthetisch beteiligten Polylenfarbstoffe, die weitgehende Diskussionen hinsichtlich einer Korrektur geltender »klassischer« Vorstellungen der Chemotaxonomie auslösten (Merxmüller, 1967; Liaanen-Jensen, 1972).

Bei all der Fülle oben genannter, gewonnener Erkenntnisse sind für die biohistorische und limnogeologische Betrachtungsweise die Umstände und Besonderheiten bei der Bildung von Pigmenten kritisch zu beobachten, wie z. B. die Bildung von Sekundärcarotinoiden, die bei verschiedenen Mangelerscheinungen wie Stickstoff- und anderem Mineralstoffmangel auftreten. Dabei können primäre Farbstoffgarnituren qualitativ und quantitativ verändert und sogenannte Sekundärcarotinoide aufgebaut werden. Nach Züllig (1982) tritt dieser Vorgang bei Algen oft gegen Ende der Vegetationsperiode sowohl bei Kulturen als auch im Freiland auf und dokumentiert sich durch Verfärben der ehemals grünen Kulturen in Grünlichgelb, oft auch Orangerot. Szygan (1966) fand beispielsweise bei Chlorococcales Ketoderivate des β -Carotins – teils also Pigmente, die üblicherweise bei Cyanophyceen auftreten – als Sekundärcarotinoide und vertritt die Hypothese, dass Abbauprodukte des Chlorophylls Vorstufen für Sekundärcarotinoide bilden können und somit das Licht nur indirekt eine Biogenese von Farbstoffen über die Steigerung des Stoffwechsels beeinflusst. All diese Phänomene sind bei der Interpretation von Pigmentwerten aus Sedimenten mit zu berücksichtigen und stellen einen erheblichen Unsicherheitsfaktor in der Beurteilung ehemaliger Populationen dar.

Von weiterer Bedeutung für eine paläolimnologische Aussage ist das Wissen über die Verbreitung sogenannter »lichtinduzierter Xanthophyllzyklen« und ihre Variationsbreite in verschiedenen Algengruppen. Diese Photomechanismen bewirken eine Abhängigkeit der Pigmentkonzentration von der Belichtung der Algen im Substrat. Hager und Stransky (1970 a) führen als lichtinduzierte Pigmente Violaxanthin, Antheraxanthin und Zeaxanthin an, sodass die Aussagekraft dieser Pigmente in Sedimentproben von geringer Bedeutung ist. Solche Umwandlungen treten auch zwischen den Carotinoiden Diadinoxanthin und Diatoxanthin auf (Hager & Stransky, 1970 b, c). Im Bereich der Chrysophyceae, Cyanophyceae, Diatomeae und Rhodophyceae wurden bei Belichtung keine mengenmässigen Änderungen von Carotinoiden festgestellt (Kofler, 1986), was auf das Fehlen von Epoxyden zurückgeführt wird (Hager & Stransky, 1970 c).

Methodische Untersuchungen von Züllig (1982) zeigten zum Teil starke Substanzverluste bei Verwendung herkömmlicher dünn-schichtchromatographischer Methoden, bei denen mit Verseifungen gearbeitet wird und führten zur Entwicklung einer neuen, einfachen und für Sedimentanalysen probaten Methode (siehe unten). In der selben Arbeit (p. 10, 11, 12) findet sich eine tabellarische Auflistung des Vorkommens verschiedener Carotinoide nach Algengruppen unter Einbeziehung zahlreicher Autoren. Wichtig schließlich sind auch die Erhaltungsbedingungen der Pigmente, ohne deren Kenntnis eine qualitative Interpretation schwer möglich ist, besonders in Hinblick auf ihre Beständigkeit. Auch für die quantitative Interpretation von Chlorophyllen, Phaeophytinen und Carotinoiden spielt die Erhaltungsbedingung zusammen mit der Sedimentationsrate und Einbettungsgeschwindigkeit eine bedeutende Rolle. Swain (1985) führt zahlreiche Interpretationsmöglichkeiten von Pigmentkonzentrationen an wie die selbe Abbaurate von Chlorophyll und Carotinoiden und die Abhängigkeit der Carotinoidkonzentrationen von der Primärproduktion (Im Gegensatz zu Vallentyne, 1957). Weiters nach Swain (1985) sind Werte des Verhältnisses von Chlorophyllderivaten: Totalcarotinoiden (CD/TC) in oligotrophen Seen höher als in eutrophen. Die höheren Chlorophyllwerte im Sediment sind auf bessere Sauerstoffwerte zur Zeit der Ablagerung zurückzuführen. Seiner Meinung nach drücken höhere CD/TC Werte auch nicht eine Allochthon-Autochthonbilanz aus sondern lediglich die Dominanz verschiedener Primärproduzenten.

Tabelle 1. Übersicht über Algenstämme, Algenklassen und Bakteriengruppen mit den jeweils charakteristischen Pigmenten (nach Züllig, 1982 ergänzt)

Table 1. Review of phyla and classes of Algae and groups of Bacteria with pertaining characteristic pigments (after Züllig, 1982 completed)

Cyanophyta	Myxoxanthophyll, Echinenon, Canthaxanthin
<i>Oscillatoria rubescens</i>	Oscillaxanthin
<i>Oscillatoria limosa</i>	] Myxol- 2' -O-Methyl-Methylpentosid
<i>Coelosphaerum kuetzingianum</i>	
<i>Anabaena flos-aquae</i>	] 4 - Ketomyxol-2'-Methylpentosid
<i>Anabaena planctonica</i>	
Chlorophyta	Lutein, Violaxanthin, oft Loroaxanthin und Antheraxanthin
Chryptophyta	Alloxanthin
Bacillariophyceae	] Fucoxanthin
Chrysophyceae	
Pyrrophyta	
Dinophyceae	Peridinin
Euglenaphyta	Diadinoxanthin (vorwiegend, aber nicht charakteristisch)
Schwefelbakterien	] Sphaeroiden, Sphaeroidenon
Purpurbakterien	
	] Okenon, Lycopen, Lycopenal, Isorenieraten etc.

Im Gegensatz dazu sehen Sanger und Gorham (1972) und Gorham et al. (1974) hohe CD/TC Werte als Maß eines größeren Inputs an allochthonem Material an.

Wichtig für die Interpretation von Pigmentwerten ist weiters die Feststellung von Stocker und Lund (1970) wonach 50 % der Diatomeenzellen an der Sedimentoberfläche intakte Chloroplasten beinhalten, während es etwa in 2,5 cm Tiefe nur mehr 10 % waren. Barnes und Barnes (1978) trafen beispielsweise noch in 80 cm Sedimenttiefe in einem meromiktischen See in Britisch Kolumbien Chloroplasten von Grünalgen an. Daley und Brown (1973) berichten, daß bei Grün- und Blaugrünalgen die photochemische Zerstörung der Tetrapyrrolringe beim Chlorophyll a schneller stattfindet als beim Chlorophyll b, und dies für die Interpretation des Verhältnisses Chlorophyll a : b von großer Bedeutung ist. Phaeophytin a und Phaeophorbide a können auch von Blaugrünalgen metabolisch erzeugt werden.

Daley (1973) wies darauf hin, daß die Chlorophyllzerstörung bei blaugrünen Algen, welche mit Myxobakterien oder Cyanophagen infiziert waren, nur bei Licht stattfindet. Wahrscheinlich erfolgt nach der Auflösung der Zellwand die Zerstörung der Tetrapyrrolringe durch photochemische Oxydation.

Auch Herbivoren haben einen großen Anteil am Ab- und Umbau von Pigmenten. Daley (1973) ließ *Daphnia pulex* (Cladocera), Grünalgen (*Scenedesmus quadricauda*) und Blaugrünalgen (*Anacystis nidulans*) fressen und stellte dabei fest, daß das Chlorophyll leicht zerstört wurde, während die Phaeophytine und Phaeophorbide in der Faeces angereichert wurden. Einige Versuche mit *Gammarus* sp. ergaben ein ähnliches Resultat (siehe unten).

In Tabelle 1 wird eine Übersicht von Algenstämmen und Algenklassen mit ihren charakteristischen Carotinoiden gegeben (aus Züllig, 1982).

Methodik

Probengewinnung

Für die Probengewinnung der zum Teil fein laminierten und stark wasserhältigen Proben wurden am Institut für Limnologie in Mondsee neben den bisher gebräuchlichen Sammelgeräten wie Kullenberg-Lot, Ruhmor-Lot und Kajak-Corer spezielle Sammelgeräte entwickelt.

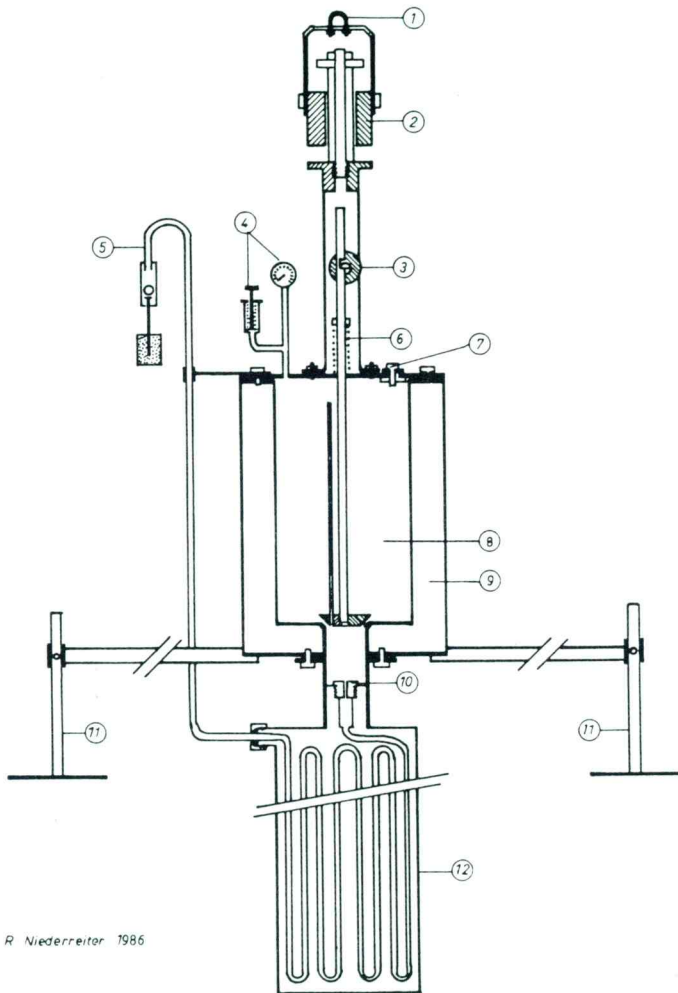
Die Langkerne wurden mit Hilfe eines modifizierten Kullenberg-Lotes, mit einem Stahlrohr aussen und einem Einzugsrohr aus durchsichtigem PVC-Rohr mit einem Durchmesser von 6 cm entnommen. Dieses Gerät erlaubt ein fortgesetztes Tiefergehen durch Nachsetzen. Der Verschluss der Bohrkammer besteht aus einem durch sechs Kugeln verriegelbaren Stahlkolben. Die Besonderheit dieser Konstruktion (R. Niederreiter unpubliziert) ist ein auf dem Bohrkopf angebrachter Konus, der in dem Augenblick, wo das Bohrrohr zur Gänze abgestossen ist, die oberhalb des Kolbens befindliche definierte Wassermenge durch den Zwischenraum zwischen Kernrohr und Stahlrohr über eine Bohrung in eine an der Basis des Mantelrohres angebrachte Gummimanschette drückt, die dadurch das Rohr verschliesst und gleichzeitig die Sedimentsäule abschneidet (core catcher).

In weiterer Folge erwies sich als notwendig für die ungestörte Entnahme der obersten, häufig weichen und wässrigen Sedimente einen geeigneten Corer zu entwickeln. In Anlehnung an die von Huttunen und Merilainen (1978) verwendete »Freezing box«, wo als Gefriermittel Trockeneis (CO_2) in Alkohol dient, wurde von Niederreiter (Abb. 1) ein Corer entwickelt, der mit flüssigem Stickstoff arbeitet. Dabei wird ein Aluminiumschwert mit mehreren Innenbohrungen als Kühlschlangen (funktioniert wie ein Verdampfer im Kühlschrank) in das Sediment abgesenkt und dann aus einem darüberliegenden Behälter flüssiger Stickstoff durch die Bohrungen gepresst. Dabei verdampft der Stickstoff im Röhrensystem, wobei noch zusätzlich ein Kältegewinn erzielt wird. Nach etwa 10–12 Minuten ist dann an das Schwert eine 1–3 cm dicke Sedimentschicht angefroren, die geborgen und in einer batteriebetriebenen Tiefkühltruhe ins Labor transportiert wird. Diese Methode hat gegenüber der Gefrierbox von Huttunen den Vorteil, dass zum einen Mal beim Absenken kein Wasser anfrieren kann und zum anderen niedrigere Temperaturen erzeugt werden, was beim Frieren des Sediments weniger strukturzerstörend wirkt.

Als Nebenprodukt dieser »in situ« Gefriertechnik konnte ein Gerät zur horizontalen Probenentnahme entwickelt werden, welches für das Aufsammeln von Proben an der Grenze zwischen Wasserkörper und Sedimentoberfläche hervorragend geeignet ist.

Die Kernrohre mit den Langprofilen werden aus praktischen Gründen noch im Feld in 1 m – Stücke geschnitten, oben und unten hermetisch verschlossen und dann im Labor auf zwei gegenüberliegenden Seiten aufgeschlitzt und mit Hilfe einer Angelschnur in 2 Hälften gespalten. Dann wird ein 4 cm breites Aluminiumschwert (wie Freezing-Corer) auf die Schalenhälfte gelegt, mit Hilfe von flüssigem Stickstoff angefroren und mit einer dünnen Nyllonschnur abgezogen. Die verbliebenen Schalenhälften werden dann den gewünschten Untersuchungen zugeführt und man kann auf Grund der sparsamen Entnahmemethoden mehrere Analysen von ungestörten Kernen durchführen.

In vielen Fällen war diese Freezing-Methode aber zu aufwendig und für Kurzprofile wurde ein sogenannter »Multicorer« (Konstruktion Niederreiter), der aus 6 Kajaksamplern, in Kreisform angeordnet, besteht und die Beprobung eines $0,25 \text{ m}^2$



R. Niederreiter 1986

Abb. 1. Freezing Corer (Niederreiter unpubl., nach Klee et al., 1987)

1 Aufhängung; 2 Auslösegewicht; 3 Verriegelung für Verschlusskonus; 4 Überdruckventil, Druckanzeigemanometer; 5 Ausströmröhr mit Schwimmerventil; 6 Gestänge mit Öffnungsfeder für Verschlusskonus; 7 Einfüllverschraubung; 8 Tank für flüssigen Stickstoff; 9 Ummantelung des Stickstofftanks mit Isolierung; 10 Rückschlagventil; 11 Drei Standbeine, verstellbar; 12 Freezing-Schwert

Fig. 1. Freezing Corer (Niederreiter unpubl. after Klee et al., 1987)
1 Suspension; 2 Release weight; 3 Lock for the closing cone; 4 Pressure relief valve, excess pressure gage; 5 Output tube with float valve; 6 Linkage with opening spring for the closing cone; 7 Filler plug; 8 Tank for liquid nitrogen; 9 Sheating of nitrogen tank with isolation; 10 Non return valve; 11 Position leg; 12 Freezing sword

großen Abschnittes mit 6 synchron erbohrten Kernen ermöglicht. Die eingesetzten Rohre werden vor der Beprobung an gegenüberliegenden Seiten aufgeschlitzt und vor Beginn der Bohrung mit Klebebändern verklebt. Nach dem Ziehen der Kerne werden die Klebebänder entfernt und der Kurzkern mittels Nygonschnur in 2 Halbschalen zerlegt, die Proben entnommen und der Analyse zugeführt.

Für Untersuchungen der Sedimentoberfläche des Mondsees wurde auch noch ein Backengreifer (Typ 350, Hydrowerkstätten Kiel) verwendet. Mit einem Löffel wurden die oberen 1–3 cm der weitgehend ungestörten Proben entnommen, in PVC-Rohre gefüllt und bis zur Weiterbearbeitung kühl und dunkel gelagert.

Subproben für die Pigmentanalyse und Pollenanalyse wurden mit Hilfe eines Skalpells entnommen und kühl (6 °C) oder tiefgefroren bis zur Verwendung aufbewahrt.

Pigmentanalysen

Die Analysen der Pigmente erfolgten nach den von Züllig (1982, 1984, 1985) und teilweise den von Holm-Hansen und Riemann (1978) angegebenen Verfahren. Die Farbstoffe wurden mit Hilfe eines 1:1 Azeton : Äthanol-Gemisches aus dem Sediment extrahiert und am Vakuum filtriert. Der auf dem Filterpapier verbleibende Rückstand wurde bei 80 °C getrocknet und nachher zur Feststellung des Trockengewichtes gewogen. Rohcarotinoide, Chlorophyll und Phaeophytin wurden photometrisch bestimmt.

Die Rohcarotinoide wurden entweder nach der Formel von Züllig (1982)

$$\text{Rohcarotinoide (mg)} = \frac{(E_{450 \text{ nm}} - 0,8 \cdot E_{665 \text{ nm}}) \cdot 10 \cdot V}{E_{1 \text{ cm}}^{1\%}}$$

oder bei Anwesenheit von Chlorophyllen nach Züllig (1985)

$$\text{Rohcarotinoide (mg)} = \frac{(E_{450 \text{ nm}}^a - E_{600 \text{ nm}}^a) \cdot 10 \cdot V}{E_{1 \text{ cm}}^{1\%}}$$

bestimmt.

$$\text{Chlorophyll a (mg)} = [(E_{665} - E_{700}) - (E_{665}^a - E_{700}^a)] \cdot 2,43 \cdot 11,49 \cdot V$$

$$\text{Phaeophytin a (mg)} = 1,7 \cdot [(E_{665} - E_{700}^a) - (E_{665} - E_{700})] \cdot 2,43 \cdot 11,49 \cdot V$$

Darin bedeuten: $E_{1 \text{ cm}}^{1\%}$ 2250 bzw 1890

E^a Extinktion des mit Salzsäure angesäuerten Extrakts.

Die angesäuerten Proben werden verworfen.

Der verbleibende Extrakt wurde am Rotationsverdampfer zur Trockene eingengt und in hermetisch verschlossenen Röhrchen gekühlt für die Bestimmung der Einzelcarotinoide und -chlorophylle aufbewahrt. Alle Vorgänge ab der Extraktion müssen im Dunkeln und unter Stickstoffatmosphäre durchgeführt werden um einen Ab- und Umbau der Pigmente durch Lichtinduktion und Oxidation zu verhindern.

An dieser Stelle wäre noch der Sonderfall salzhaltiger (NaCl) Sedimente wie etwa aus dem Malo Jezero zu behandeln. Solche Proben mussten nach einem eigenen

Verfahren aufbereitet werden, da der Salzgehalt durch das in den frischen Proben enthaltene Wasser in den Extrakt übergeht. Dies stört sowohl bei der photometrischen Bestimmung als auch bei der nachfolgend beschriebenen Dünnschichtchromatographie.

Vor der Extraktion werden die Proben dreimal in Aqua dest. gewaschen und anschließend unter N_2 – Atmosphäre bei $30^\circ C$ getrocknet. Erst dann erfolgt die oben beschriebene Extraktion und Weiterbehandlung.

Bestimmung der Einzelcarotinoide

Die Einzelcarotinoide wurden nach Züllig (1982, 1985, 1986) mit Hilfe eines dünnsschichtchromatographischen (TLC) eindimensionalen Mehrschrittverfahrens in Einzelcarotinoide aufgetrennt und nach Abkratzen in einer Äthanollösung am Photometer gemessen und nach der von Züllig (1982) gegebenen Formel berechnet:

$$\text{Einzelcarotinoid (x) (mg)} = \frac{E_{\text{xnm}} \cdot 10 \cdot V}{E_{1\text{ cm}}^1 \%}$$

Um die Konstanz der R_f -Werte zu überprüfen, wurden Testlösungen mit definierten Farbstoffen mitentwickelt. Besondere Berücksichtigung fanden Farbstoffe der »Blaugrünen Algen« wie Myxoxanthophyll, Echinenon, Ketomyxolderivate und Oscillaxanthin, weiters Fucoxanthin und -derivate, also Farbstoffe der Chrysophyceen und Diatomeen, sowie Bakterien – Carotinoide wie Okenon oder Lycopon etc., die in Schwefelbakterien vorkommen und im Fall von Okenon (z. B.) aus *Chromatium okenii* zuverlässige Indikatoren der ehemaligen Sauerstoffsituation sein können. Soweit als möglich wurden an den frisch geöffneten Kernen noch pH/eH-Messungen durchgeführt, die jedoch nach Auskunft von J. Schneider (Göttingen) nur sehr schwer interpretierbar sein sollen.

Andere Analysen

C_{org} – Bestimmungen und Bestimmungen des Glühverlustes, sowie sedimentologische und mineralogische Analysen wurden in Göttingen (Arbeitsgruppe Schneider) sowie an der Technischen Universität München (J. Müller) durchgeführt.

Der Gesamtphosphorgehalt (P_{tot}) wurde – soweit eigene Analysen vorliegen nach Aufschluss mit HNO_3 und $HClO_4$ mit der Molybdat-Vanadat-Methode bestimmt (Wenzel, 1956; Shapiro & Brannock, 1962).

Analysen von Fäces von Gammariden und Chironomiden wurden ebenfalls mit der Methode von Züllig (siehe oben) und Holm-Hansen und Riemann (1978) durchgeführt.

Im Zuge der Pigmentanalysen wurde versucht, eine einfache Feldmethode zu entwickeln, die ein Abschätzen der Art und des Gehaltes an Pigmenten von Sedimentproben ermöglicht: 1 cm^3 eines Sediments wird mit einer Menge von 10 cm^3 Extraktionsgemisch (Aceton : Äthanol = 1:1) in einer Eprovette vermischt und solange geschüttelt, bis keine Farbänderung mehr eintritt. Bei Braun-Gelbgrünfärbung herrschen in der Regel Carotinoide vor, bei Grün-Dunkelgrünfärbung Chlorophyll und -derivate. Verfestigte Gesteinsproben müssen vor dem Extrahieren in einem Mörser fein vermahlen werden.

Auswahl der Lokalitäten

Die Auswahl der Seen und anderen limnischen Lagerstätten (siehe Abb. 2) ergab sich zum Grossteil aus laufenden Projekten, aus denen Fragestellungen zum Teil an die Arbeitsgruppen herangetragen wurden. Ausgehend von Schmidt (1981), Bobek und Schmidt (1976) am Halleswiesee (Uvala) wurde im Rahmen des MAB (Man and Biosphere) Projekt 6 (J. Müller et al., 1985) eine ähnliches Karstphänomen, der Funtensee, unter anderem auch paläolimnologisch untersucht. Obwohl die beiden Seen von der Genese her recht ähnlich sind, ist ihre Trophieentwicklung sehr verschieden.

Ein anderes Untersuchungsobjekt, der Mondsee bot sich schon durch die Lage des Limnologischen Instituts am Mondsee von selbst an. Die an diesem See laufenden limnologischen und sedimentologischen Untersuchungen brachten eine Fülle interessanter und paläolimnologisch verfolgungswerter Fragestellungen. Die Unterwassergrabungen einer neolithischen Station warfen hydrologische Probleme wie holozäne Wasserspiegelschwankungen (Offenberger, 1985) auf und liessen sich daher zwanglos mit der paläohydrologischen Problematik am Halleswiesee verbinden.

Der zweite grosse Fragenkomplex galt der Eutrophierungsentwicklung und deren Ursachen am Beispiel der Salzburger Vorlandseen. Dort war Ende der 60er Jahre ein kritisches Eutrophierungsstadium erreicht worden, sodass die Salzburger Landesregierung Sanierungsmassnahmen treffen musste. In diesem Zusammenhang wurde

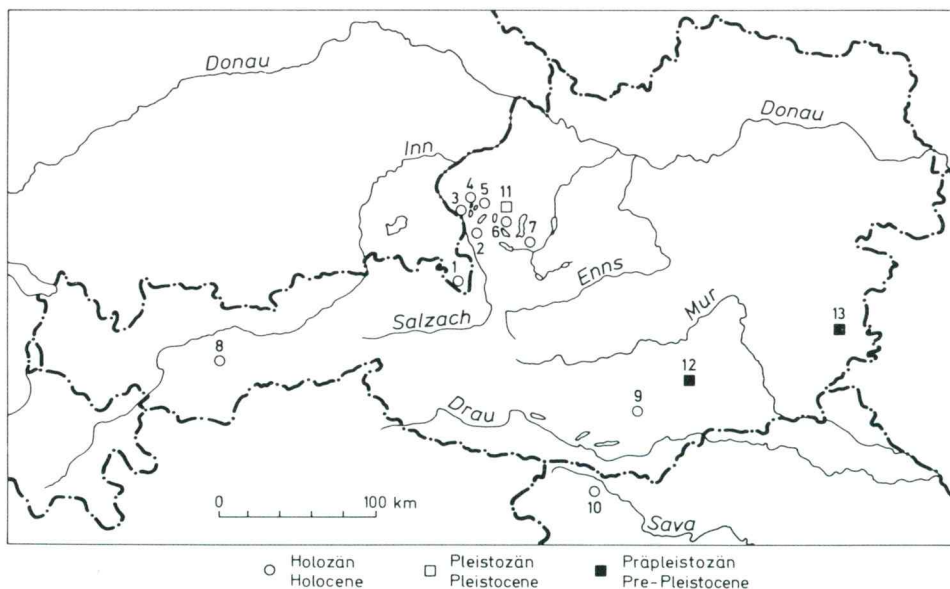


Abb. 2. Lageskizze der untersuchten Profile

Fig. 2. Sketch – Position of investigated profiles

1 Funtensee; 2 Wallersee; 3 Obertrumer See; 4 Grabensee; 5 Niedertrumer See; 6 Mondsee; 7 Halleswiesee; 8 Piburger See; 9 Längsee; 10 Bled-See; 11 Mondsee Interglazial; 12 Neogen (Lavanttal); 13 Drassmarkt (Weingruben, Burgenland)

von dieser Stelle auch eine Bestandsaufnahme in raumplanerischer Hinsicht initiiert und finanziell unterstützt (Röhrs, 1986; Germatsidis, 1986; Schultze, 1986).

Die dritte Gruppe von Seen wie z. B. der Längsee, Piburgersee und Bled-See, die dem meromiktischen Seetyp angehören, wurden ausgehend von Ergebnissen von Frey (1955, 1956) und Löffler (1973) auf die Fragen nach Eintritt, Ursachen und Entwicklung der meromiktischen Verhältnisse, sowie der jüngeren Trophieentwicklung untersucht. Die Seen auf der Insel Mljet, wie der Malo Jezero (= Kleiner See), waren schliesslich von überregionalem Interesse. Hier konnte sowohl der Frage nach der Entwicklung der flandrischen Transgression und der Klimaentwicklung als auch paläoökologischen, geochemischen und mineralogischen Problemen von exemplarischer Bedeutung nachgegangen werden.

Die Gruppe der präholozänen limnischen Sedimente aus dem Interglazial von Mondsee, dem Neogen im Lavanttal (Kärnten) und den Oberbadischen Bentoniten von Drassmarkt (Burgenland) (Alter 13-14 Mill. Jahre) wurden als methodische Vergleichsproben zur Beantwortung der Frage nach Vorkommen und Konservierbarkeit von Pigmenten herangezogen.

Holomiktische Seen

Der Funtensee

Stammdaten:

Seehöhe (NN m bei Mittelwasser)	1601
Seefläche (km ²)	0,034
Max. Tiefe (m)	5,5
Mittlere Tiefe (m)	2,5
Volumen (km ³)	0,086
Abfluß (m ³ /s)	2
Einzugsgebiet (km ²)	10

Quelle: Schauer (1985)

Entstehung, Entwicklung und Charakteristik

Nach Jaskolla, et al. (1985) liegt das Funtenseebecken in einer tektonisch vorgeformten Bruchscholle im Dachsteinkalk und wurde durch die sich von SE nach NW bewegenden Gletscher erweitert und vertieft. (Abb. 3). Nach dem Abschmelzen der Gletscher wurde ein durch Grundmoräne abgedichtetes Becken hinterlassen in dem sich ein See halten konnte, der dreimal so gross wie heute war. Der Seespiegel lag um mindestens 20–30m höher als heute. Die Entwässerung erfolgt durch ein Ponor (Schluckloch), die sogenannte Teufelsmühle. Durch die begrenzte Abflussmenge zeigt er beträchtliche Seespiegelschwankungen mit gelegentlicher täglichen Amplitude von bis zu 1,3m (Jaskolla et al., 1985).

Nach Schauer (1985) weist der See einen reichen Makrophytenbestand mit *Hippuris vulgaris*, *Potamogeton pectinatus*, *P. alpinus*, *P. filiformis*, *Ranunculus trichophyllus*, *Calliargon giganteum* und *Chara* sp. auf. Das Gebiet um den Funtensee liegt heute im Larici Cembretum in einer zwergstrauch- und legföhrenreichen Ausbildung (Freiberg, 1980; Schläger, 1983).

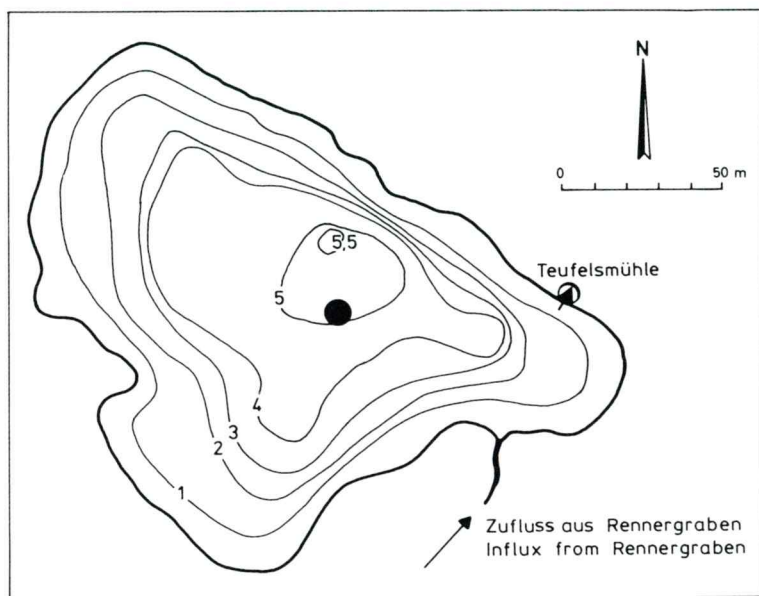


Abb. 3 Lageskizze Funtensee mit Bohrpunkt

Fig. 3. Sketch – Funtensee with drilling site

Die Nährstoffsituation scheint etwas widersprüchlich zu sein. Schauer (1985) führt den starken Makrophytenbewuchs auf verstärkten Nährstoffeintrag durch Almwirtschaft und durch Abwässer des stark frequentierten Kärlingerhauses zurück. Nach Analysen von Jäger (in J. Müller et al., 1985, wurden Konzentrationen von $P_{\text{tot}} = 11\text{--}32 \mu\text{g l}^{-1}$, $\text{NH}_4\text{-N} = 6\text{--}16 \mu\text{g l}^{-1}$ gefunden) sind die Stickstoffwerte zwar sehr hoch, der See aber trotz alledem als oligotroph zu bezeichnen.

Pigmentanalytische Ergebnisse

Rohcarotinoide erreichen im Profil Funtensee nur geringe Werte, wie sie für oligotrophe Gebirgsseen charakteristisch sind (Tab. 2). Von den Einzelcarotinoiden ist Myxoxanthophyll relativ stark vertreten, was nach Züllig (1961) auf Blaualgenpopulationen zurückzuführen ist, die zwischen 105–106 cm einen Höhepunkt erreichen. Fucoxanthin und dessen Derivate sind ebenfalls quantitativ nachzuweisen und könnten auf das Vorkommen epiphytischer Diatomeen schließen lassen. Leider sind in den liegenden Sedimentpartien strukturbietende Diatomeenreste nur sehr spärlich vertreten, was entweder auf geringe Vorkommen, oder aber wahrscheinlicher, auf selektive Zersetzung zurückzuführen ist. Lediglich in den obersten wenigen Zentimetern sind die Funde etwas reichlicher (Schmidt mündl. Mitt.), für eine gezielte Aussage über Diatomeenpopulationen jedoch nicht genügend repräsentativ. Diatoxanthin, Diadinoxanthin und Peridinin, von Euglenophyta und Dinophyceen stammend, erreichen kaum signifikante Werte.

Das vorkommende Neoxanthin kann aus dem Makrophytengürtel stammen, ist

Tabelle 2. Funtensee; Pigmentanalytische Ergebnisse
 Table 2. Pigment analytical data for Funtensee

Teufe in cm Depth in cm	0	10	45	75	105	145	180	195
Myxoxanthophyll (ppm)	4	3	2	4	3	4	x	x
Fucoxanthin (ppm)	x	x	4	3	-	x	-	-
Lutein (ppm)	x	x	x	2	2	2	x	-
Neoxanthin (ppm)	x	x	x	4	4	3	3	-
Diato- und Diadinoxanthin (ppm)	x	x	x	2	x	3	x	-
Peridinin (ppm)	x	x	x	2	x	x	x	-
Echinenon (ppm)	x	x	-	x	x	-	-	-
Rohcarotinoide (ppm)	40	31	52	90	82	54	46	39
Chlorophyll a (ppm)	16	14	46	48	46	20	28	16
P _{tot} (ppm)	33	25	102	121	90	48	38	32
*C _{org} (% Trockengewicht)	3	5	2	9	7	4	3	4

*J. Müller et al. (1985)

aber auf Grund seiner allgemeinen Verbreitung in allen grünen Pflanzen und der Gefahr einer lichtinduzierten Umbildung aus verschiedenen Primärcarotinoiden nicht unbedingt charakteristisch.

Von grösserer Aussagekraft sind jedoch Chlorophylle und – derivate, besonders aber Phaeophytin a, welche für eine »litorale« Situation des Funtensees sprechen. Häufig vorkommende »Fecal Pellets« lassen auf relativ starke Bioturbation und damit eine gute Besiedlung des Seebodens auf Grund ausreichender Belüftung schliessen (Abb. 4). Da die Konzentrationsunterschiede der Pigmente im Verlauf des Profils sehr gering sind, konnten innerhalb der hangenden 2m keine wesentlichen Trophieunterschiede herausgelesen werden. Lediglich durch erhöhte Konzentrationen von C_{org}, S_{tot} und N_{tot}, sowie durch sedimentologische und palynologische Ergebnisse (J. Müller et al., 1985) lassen sich 3 Abschnitte unterscheiden: a) vor und b) Beginn der Weidenutzung sowie c) verstärkter anthropogener Einfluss.

Der Halleswiessee

Stammdaten:

Geogr. Breite	47° 46'
Geogr. Länge	13° 32'
Seehöhe (m NN bei Mittelwasser)	781
Seefläche (km ²)	0,018
Max. Tiefe (m)	4,1
Volumen (m ³)	280.000
Abfluß (m ³ /s)	1–2
Einzugsgebiet (km ²)	3,56

Quelle: G. Müller (1972)

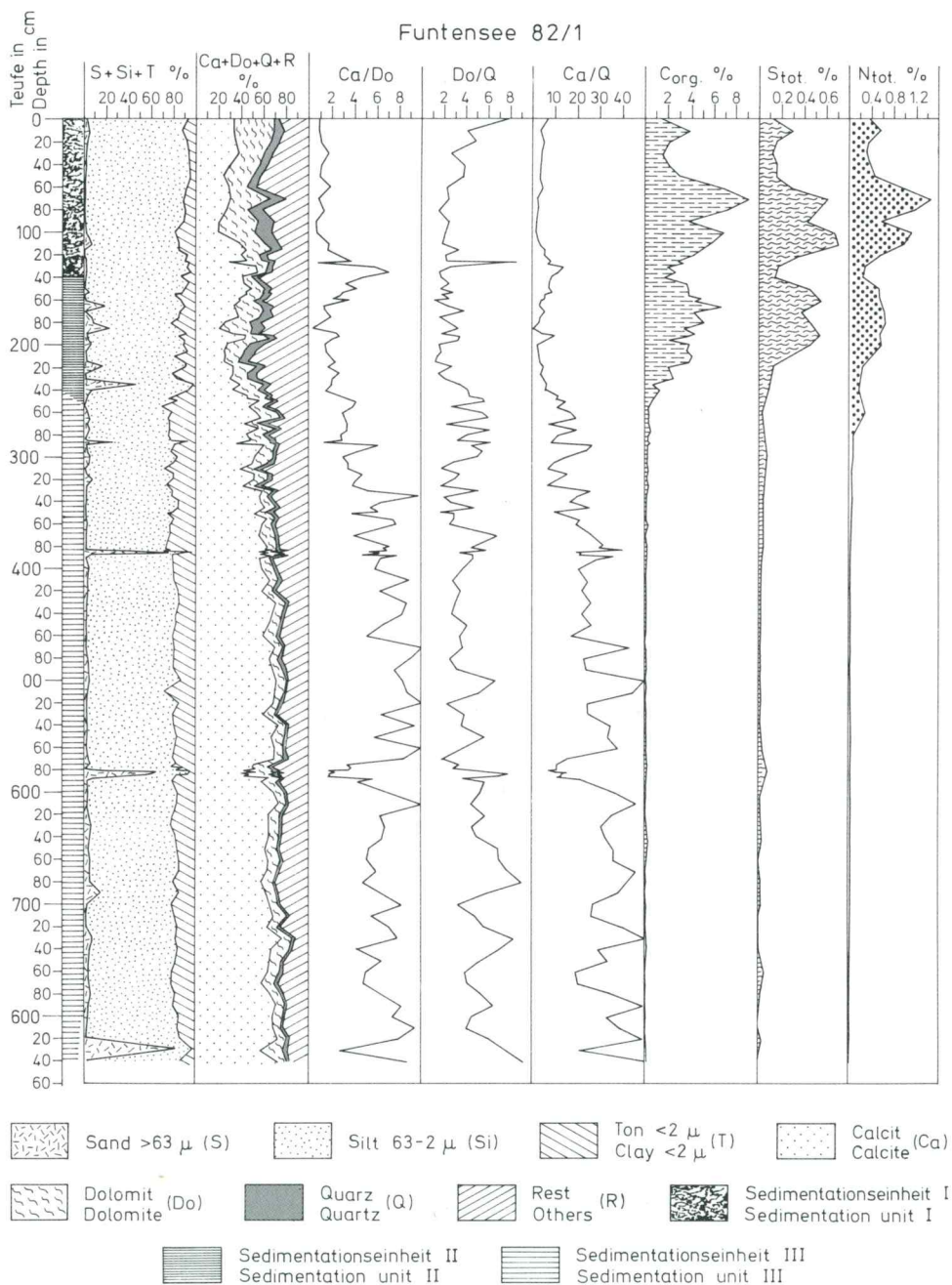


Abb. 4. Synoptische Darstellung der Veränderung sedimentologischer Parameter in Abhängigkeit zur Kerntiefe, Nach J. Müller et al., 1985 verändert. Entnommene Proben für die Pigmentanalyse

Fig. 4. Synoptical layout of changing of sedimentological parameter depending upon core depth. Modified after J. Müller et al., 1985. Samples taken from pigment

Entstehung, Entwicklung und Charakteristik

Ähnlich dem Funtenseebecken handelt es sich bei der »Halleswies« (G. Müller, 1972) um eine Karsthohlform mit einem perennierenden See (Abb. 5). Durch eine Schwelle getrennt, wird das westliche Becken von einem Flachmoor eingenommen, welches durch einen mäandrierenden Bach durchflossen wird. Die Entwässerung des Poljes (Uvala) erfolgt durch ein Ponor (Schluckloch) in Richtung Attersee. Nach der monographischen Studie von G. Müller (1972) und nach eigenen Beobachtungen wird nach der Schneeschmelze und nach starken Regengüssen das gesamte Polje von einer einheitlichen Wasserfläche eingenommen.

Nach Untersuchungen von Bobek und Schmidt (1975) über die spätglaziale bis mittelpostglaziale See-Entwicklung konnten Seespiegeltiefstände durch Hiaten im Moorteil sehr schön korreliert werden. Während die Jüngere Dryas (III) zur Gänze dokumentiert wurde, fehlen Sedimente des Präboreals (IV) und Boreals (V) im Moorprofil.

Ausgehend von dieser Feststellung wurde eine nochmalige Bearbeitung der Halleswiessee-Sedimente im Rahmen des IGCP durch Händl (Dissertation in Vorbereitung) und Behbehani (Dissertation 1987) durchgeführt. Aus den gewonnenen Bohrkernen des Halleswiessees wurden Proben pigmentanalytisch untersucht. Ohne den poolenanalytischen und sedimentologischen Ergebnissen vorgreifen zu wollen, ergaben sich durch die Pigmentanalysen interessante Resultate (Abb. 6).

Profilbeschreibung (nach Händl)

- 608–573 cm: hellgraue Karbonatmudde mit dolomitischen Grobklastika und Ostracoda
- 573–444 cm: hell- und dunkelbraune tonige laminierte Schichten
- 444–442 cm: dunkelbraune sandige Schicht

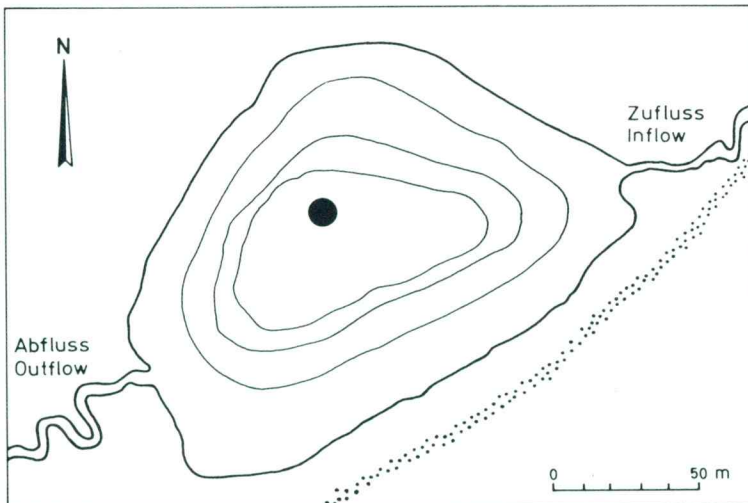


Abb. 5. Lage des Halleswiessees mit Bohrpunkt
Fig. 5. Position of Halleswiessee with drilling site

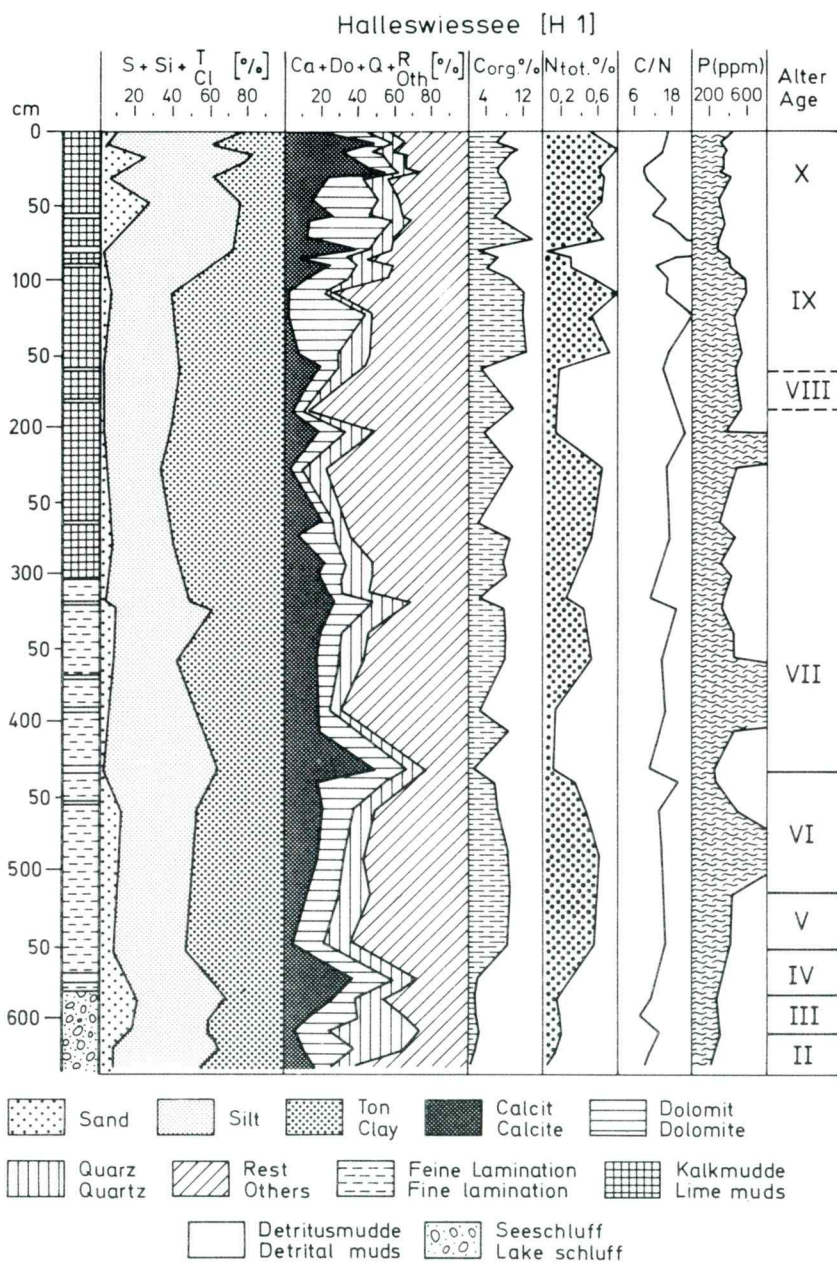


Abb. 6. Sedimentologische und sedimentchemische Parameter des Profils Halleswiessee; die Zeitmarken entsprechen dem letzten Stand der palynologischen Untersuchungen. Alter nach Firbas, 1954. (Aus Behbehani, 1987)

Fig. 6. Sedimentological and chemical parameters of the Halleswiessee profile; time marks in accordance to the newest state of palynological investigations (age after Firbas, 1954), (taken from Behbehani, 1987)

- 442–228 cm: hell- und dunkelbraun laminierte tonige Schichte mit teilweise reichlich allochthonem organischen Material
228–193 cm: homogene tonige Schicht, meist dunkelbraun
193–191 cm: rote tonige Schicht
191–190 cm: siltige, bläuliche Schicht (Vivianit)
190–155 cm: hell- bis dunkelbraune, zum Teil laminierte tonige Schichten (Bodenabschwemmungen?)
155–153 cm: schwarzes sandiges Sediment
153–90 cm: tonige, hell- und dunkelbraune Gytija
90–78 cm: dunkelbraune Gytija mit Bivalven, Landschnecken, Ostracoden und Testaceen.
78–75 cm: hellgraunes, toniges Sediment
75–0 cm: dunkelbraune Gytija mit Bivalven, Landschnecken, Ostracoden und Testaceen.

Die obersten 49 cm waren zur Zeit der Probenentnahme aus den Bohrkernen bereits ausgetrocknet und wurden für pigmentanalytische Untersuchungen daher nicht mehr verwendet.

Pigmentanalytische Ergebnisse

Die liegenden Profilabschnitte bis 575 cm sind nahezu pigmentfrei (Abb. 7). Die CD/TC-Ratio (Chlorophyllderivate = Rohcarotinoide) ist sehr hoch und dokumentiert turbulente allochthone Einflüsse. Von 550–467 cm kommt es zu sehr hohen Konzentrationen von Chlorophyllderivaten und Carotinoiden, was auf sehr hohe Produktion schliessen lässt. Die Werte sind ähnlich hoch wie in der eutrophen Phase des Mondsees (siehe unten). Die dominanten Carotinoide sind Neoxanthin, Lutein und Fucoxanthin – Farbstoffe von grünen Pflanzen im allgemeinen – Chlorophyceen und Chrysophyceen im besonderen. Bakterienpigmente konnten überhaupt nicht, Blaulagenpigmente nur in Spuren nachgewiesen werden. Nach pollenanalytischen Ergebnissen von H ä n d l (in Vorbereitung) könnte diese Phase zeitlich dem jüngeren Boreal (V) mit einem Alter von etwa 8000–7000 vor heute (v. h.) zugeordnet werden. Ein Hiatus im Moorprofil während des Boreals (Bobek & Schmidt, 1975) dokumentiert einen niedrigeren Seespiegel.

Darauf folgt ein Abschnitt mit geringer Pigmentkonzentration von 465–415 cm mit hohen CD/TC-Raten, d. h. grossem allochthonem Einfluss. Zweifelsohne kommt es zu einer Erhöhung des Wasserspiegels vermutlich infolge einer Transgression im mittleren Atlantikum, die zeitlich etwa mit der »Frosnitzschwankung« der Venedigergruppe (Bortenschlager & Patzelt, 1969) um 7000–6000 v. h. zu parallelisieren ist (Abb. 8).

Von 415–320 cm findet man – mit einigen Unterbrechungen – wieder höhere Pigmentkonzentrationen mit deutlich ausgeprägten Spitzen der Rohcarotinoidwerte bei 400 cm, bei 370 cm sowie bei 320 cm. Nach dem von Kral (1979) (Abb. 8) gegebenen Klimadiagramm liessen sich diese »Produktionsgipfel« in die Klimapendelungen von 6000–4000 v. h. einordnen.

Danach folgt eine konstante Abnahme der Pigmentwerte bis 180 cm mit stark allochthon geprägte Sedimentcharakter, besonders bei 290 cm, 210 cm und 180 cm, dokumentiert durch die höchsten CD/TC-Werte im Diagramm. Die Rohcarotinoidkonzentrationen nehmen von 180 ppm bei 370 cm auf weniger als 30 ppm bei 190 cm ab und setzen sich hauptsächlich aus Neoxanthin, Lutein, Fucoxanthin, sowie

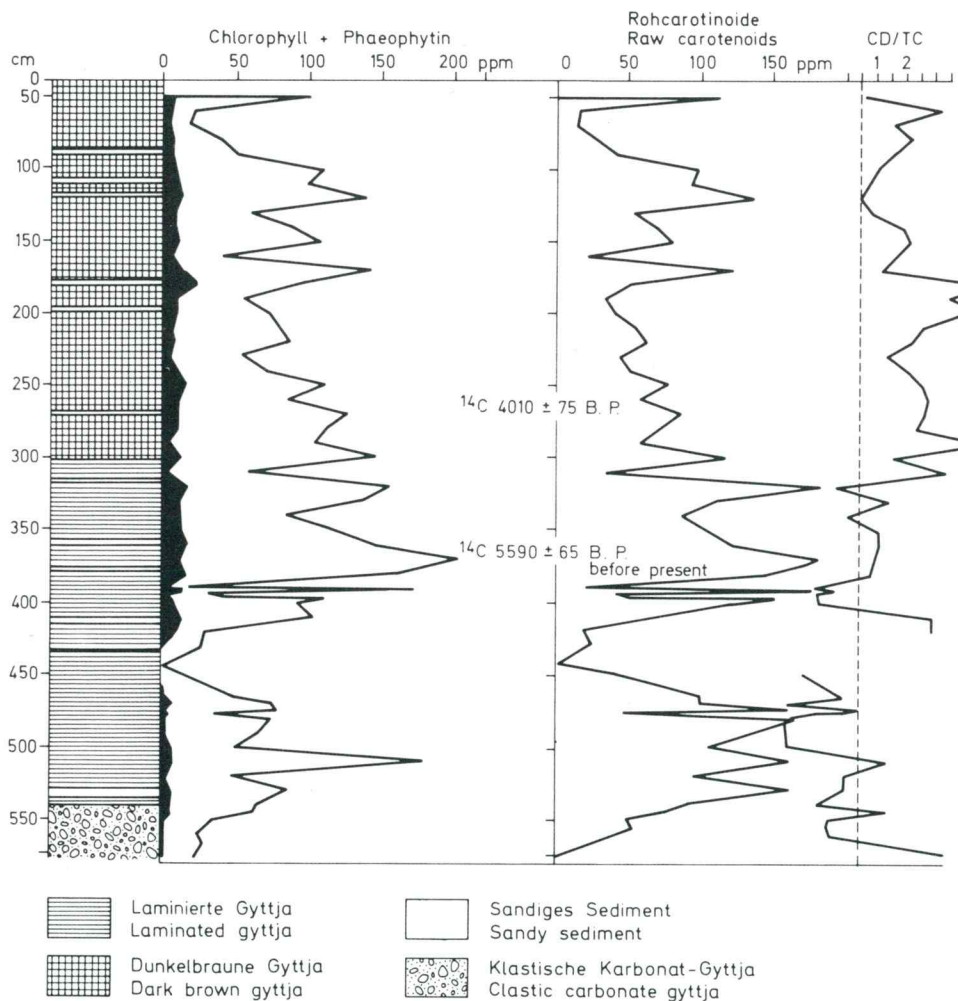


Abb. 7. Darstellung der Veränderung von Pigmentkonzentrationen in Abhängigkeit zur Kernetiefe (Profil Halleswiesee).

^{14}C – Daten freundlicher Weise durch Herrn Univ. Prof. Dr. J. Schneider, Göttingen (unpubl.) zur Verfügung gestellt

^{14}C – Analysen: Univ. Prof. Dr. H. Willkomm (Institut für reine und angewandte Kernphysik, ^{14}C -Labor)

Fig. 7. Layout of changing of pigment concentrations depending upon the core depth (profile Halleswiesee).

^{14}C – data kindly presented by Univ. Prof. Dr. J. Schneider, Göttingen (unpubl.)

^{14}C – analysis by Univ. Prof. Dr. H. Willkomm (Institute of pure and applied nuclear physics, ^{14}C -Lab., Kiel)

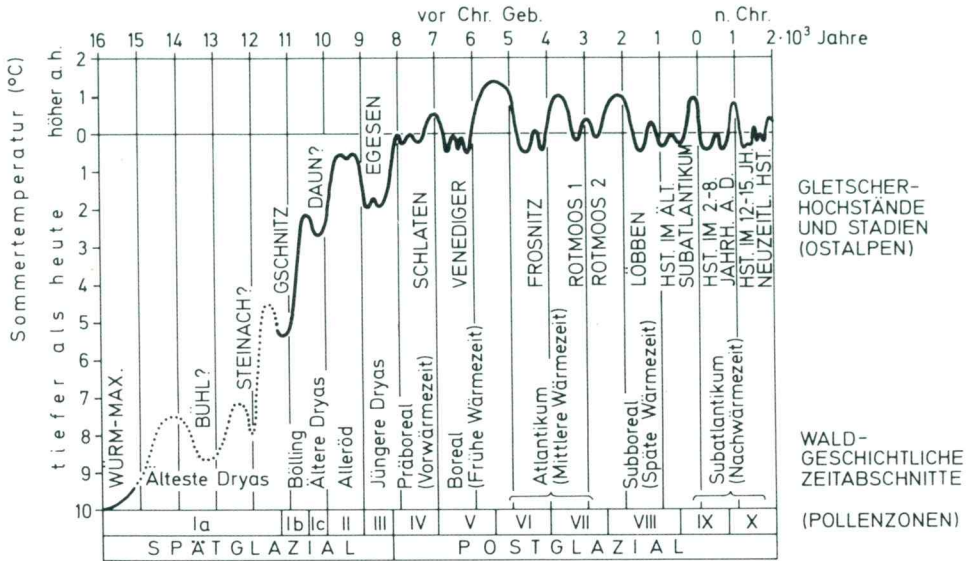


Abb. 8. Mutmasslicher Klimaverlauf im Spät- und Postglazial (aus Kral, 1979, nach Bortenschlager und Patzelt, 1969)

Fig. 8. Presumable course of climate during late- and post-glacial period (Kral, 1979, after Bortenschlager and Patzelt, 1969)

untergeordnet aus Dinooxanthin und Diatoxanthin zusammen, was auf Grünalgen-, Chrysophyceen- und Diatomeendominanz schliessen lässt. Bei 170 cm findet man einen stark autochthon beeinflussten Pigmentgipfel (150 ppm) mit hohem Gehalt an Myxoxanthophyll und Echinenon, vermutlich das erste stärkere Auftreten von Blaualgenpopulationen. Nach dem Klimadiagramm von Kral (1979) könnte es sich um eine warme, trockene Phase knapp vor der Zeitenwende handeln.

Danach, bis etwa 130 cm kommt es nochmals zu einer starken Verringerung der Produktion, aller Wahrscheinlichkeit nach infolge der feucht-kühleren Verhältnisse im 1. nachchristlichen Jahrtausend. Von 130–90 cm ist wiederum ein Produktionsanstieg auf 140 ppm Rohcarotinoide zu bemerken. Das scheint eine Folge des wärmeren und trockeneren Klimas vom 8. bis zum 12. Jahrhundert (n. Chr.) zu sein. Die Depression der Pigmentkurven mit Zunahme des Allochthonfaktors lässt sich mit dem Hochstand der Gletscher vom 12.–15. Jahrhundert, mit feucht-kühlerem Klima erklären. Zu dieser Zeit war der Seespiegel höher und die Produktion kleiner (dagegen Ohle, 1972). Der neuerliche Kurvenanstieg bei 50 cm mit erhöhten Werten von Myxoxanthophyll, Ketomyxol und einer Abnahme des »Allochthonfaktors« wird als höhere Produktionsphase durch klimatische Faktoren, nämlich einer Absenkung des Seespiegels durch trocken-warmes Klima und möglicherweise durch die beginnende Almnutzung gedeutet.

Die vorstehend gegebenen zeitlichen und klimatischen Interpretationen bedürfen aber noch einer Erhärtung durch in Arbeit befindliche Datierungen (^{14}C -Datierungen und Pollenanalysen) und sedimentologisch-geochemische Analysen.

Es soll hier lediglich gezeigt werden, dass bei der Betrachtung der Eutrophierungsgeschichte klimatische Parameter wahrscheinlich eine entscheidene Rolle spielen und anthropogene Veränderungen im Lichte der Ontogenie eines Sees gesehen werden müssen.

Mondsee

Stammdaten:

Seehöhe (m NN bei Mittelwasser)	481
Seefläche (km ²)	14,21
Max. Tiefe (m)	68,3
Mittlere Tiefe (m)	36
Volumen (km ³)	51
Theor. Wassererneuerungszeit in Jahren	1,7
Abfluß (m ³ /s)	9,2
Einzugsgebiet (km ²)	247

Quelle: Jagsch & Megay (1982)

Entstehung, Entwicklung und Charakteristik

Im Rahmen der derzeit laufenden limnologischen, paläolimnologischen, sedimentologischen und geochemischen Untersuchungen am Mondsee ist ein Themenschwerpunkt auf paläoökologische Studien ausgerichtet (Abb. 9).

Aufgrund zahlreicher rezenter Studien über das Phyto- und Zooplankton und des Zoobenthos lassen sich nun Rückschlüsse auf vergangene Entwicklungen des Mondsees ziehen.

Die Entwicklung des Mondsees kann auf Grund von palynologischen und paläobotanischen Untersuchungen (Klaus, 1975, 1983) seit dem Riss-Spätglazial nahezu lückenlos verfolgt werden. Die in dieser Arbeit vorgelegten Pigmentanalysen befassen sich schwerpunktmässig mit der jüngsten Vergangenheit, um Vergleiche mit bestehenden limnologischen und historischen Befunden anzustellen und dadurch einen Bezug zwischen Biostratigraphie und Ökologie herzustellen. Auf die interglazialen Sedimente wird weiter unten eingegangen.

Limnologische Untersuchungen am Mondsee wurden in den frühen 30-er Jahren begonnen (Liepolt, 1936) und nach ersten massiven *Oscillatoria* blüten (Findenegg, 1969) intensiviert.

Schon Einsele (1963) wies auf die mögliche massive Schädigung von Fauna und Flora im Mondsee durch die Einbringung von Abraummateriale durch den Autobahnbau 1961–63 hin, welche sich auch tatsächlich einstellte (vergl. Jagsch & Megay, 1982). Der geschätzte Abrauminput betrug zwischen 900.000 m³ (Findenegg, 1969) und über 1 Million m³ und führte zur Reduzierung der Phyto- und Zooplanktonbiomasse auf 10 % (Einsele, 1963). In Wirklichkeit dürfte aber durch Kiesbaggerung und Kieswaschung eine wesentlich grössere Menge über Zuflüsse in den See gelangt sein.

Durch den nach Fertigstellung der Autobahn und die beginnende Konjunktur verstärkt einsetzenden Fremdenverkehr wurde der See immer stärker mit Nährstoffen belastet, so dass es zu ersten Blüten von *Oscillatoria rubescens* D.C. und *Tabellaria flocculosa* (ROTH) kam (Findenegg, 1969; Danecker, 1969). 1973 wurden dann mit dem Bau der Kläranlage Restaurierungsmassnahmen eingeleitet, die im

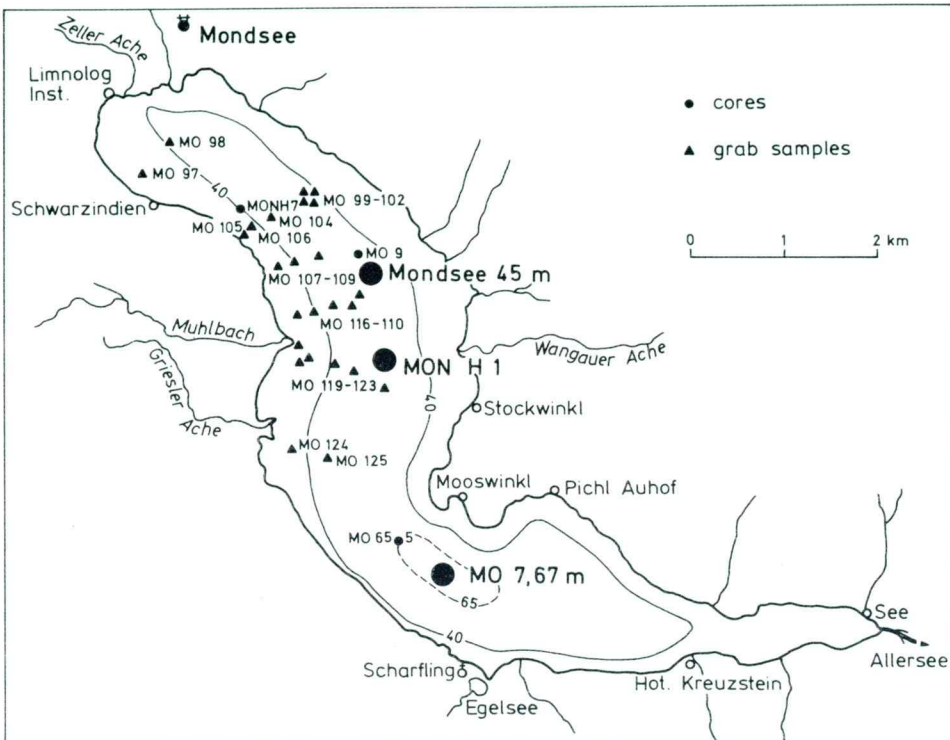


Abb. 9. Lageskizze des Mondsees mit Probenbohrpunkten

Fig. 9. Sketch – Position of Mondsee with sampling sites

Jahr 1978 (Dokulil & Skolaut, 1986) zu einer starken Abnahme von *Oscillatoria rubescens* D.C. führte.

Alle diese Ereignisse spiegeln sich im Sediment wider und können durch verschiedene Methoden (s.o.) nachgewiesen werden.

Vorläufige Ergebnisse über Untersuchungen des räumlichen und zeitlichen Wechsels der Ostracodenfauna innerhalb der letzten 50 Jahre (Danielopol et al., 1985) zeigen den Zusammenhang zwischen trophischen Veränderungen und dem Wechsel im Artenreichtum und in der Verbreitung der Ostracodengesellschaften im Profundal des Mondsees. Die Hauptursachen sehen die Autoren in der Anreicherung mit organischem Material, der Veränderung der Sedimentstrukturen und in der Abnahme des Sauerstoffgehaltes nahe der Sedimentoberfläche.

Die zu erwartende Akkumulation von Nährstoffen und organischem Material drückt sich in der Zunahme von P_{tot} und C_{org} und der Anhäufung von Phytoplanktonresten wie Diatomeen (Schmidt et al., 1985) und Pigmenten (Schultze, 1985) aus.

Der Mondsee liegt im Salzkammergut und ist der wärmste See in dieser Region. Er erreicht epilimnische Temperaturen von 20–22°C und in manchen Jahren wie 1983 sogar 26°C.

Isotherme Bedingungen werden gewöhnlich im Dezember vorgefunden und er mischt üblicherweise während des Winters (monomiktischer See). Inverse Temperaturen und dimiktische Verhältnisse treten bei vollkommener Eisbedeckung auf, was aber nicht die Regel ist (Dokulil & Jäger, 1985).

Probenentnahme

Es wurden 175 Oberflächenproben entnommen und auf Carotinoide, Chlorophyll a und Phaeophytin a untersucht. Weiters wurden vergleichsweise noch 5 Langprofile gewonnen, die für verschiedene Seeareale charakteristisch sind (siehe Abb. 9).

Ergebnisse

Grob gesehen nimmt die Rohcarotinoidmenge in nahezu allen Bereichen mit der Tiefe zu (siehe Abb. 10) und zeigt ein ähnliches Verteilungsmuster wie C_{org} und P_{tot} (mündl. Mitt. Schneider). Ein Auskeilen der Carotinoidwerte ist an Flussmündungen zu beobachten was auf verstärkte Strömung durch eingebrachte und sedimentierte partikuläre Frachten zurückgeführt werden kann.

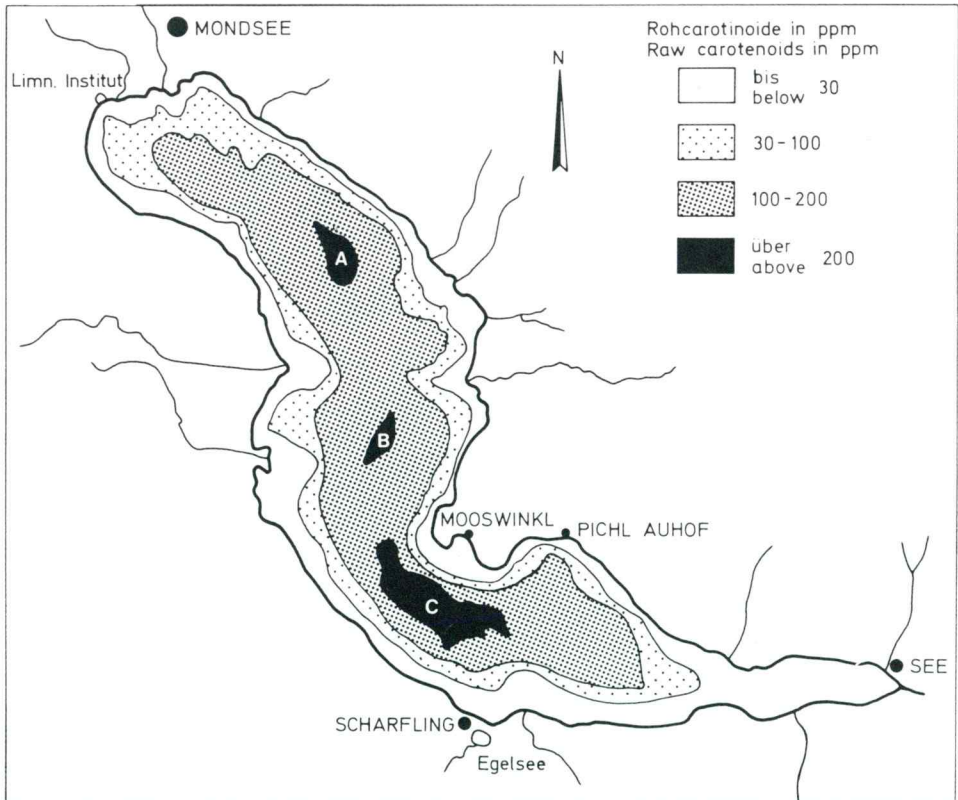


Abb. 10. Verteilung der Rohcarotinoide an der Oberfläche des Seebodens im Mondsee

Fig. 10. Distribution of raw carotenoids on the surface of the bottom of Mondsee

Weitere Areale, die vom oben genannten Verteilungsmuster abweichen und sehr geringe Carotinoidquantitäten zeigen, liegen im Bereich der Mooswinkelbucht (MO 7) und im Bereich des Seeabflusses. Diese Messergebnisse decken sich nahezu mit dem heute vermehrten Auftreten von Ostracoden, die sehr empfindlich auf Sauerstoffmangel und Substratveränderungen reagieren (Danielopol et al., 1985). Zudem sind die Ufer beispielsweise im Bereich von MO 7 relativ steil, sodass Sedimentabtragungen im den tieferen Seebereich zu erwarten sind. Die geringe Carotinoidkonzentration im Abflussgebiet könnte wiederum mit verstärkten Strömungen zusammenhängen.

In der Umgebung der Einleitung des geklärten Wassers aus der Kläranlage, wo Nährstoffe konzentriert eingebracht werden, treten erwartungsgemäss relativ hohe Rohcarotinoidwerte auf. Dünnschichtchromatographische Untersuchungen ergaben hauptsächlich erhöhte Werte von Carotinoidgarnituren der blaugrünen Algen wie Echinenon und Myxoxanthophyll aber auch von Chrysophyceen und Diatomeen (Fucoxanthin und -derivate). In einem Fall (MO 99) konnte auch Okenon ein Pigment welches hauptsächlich von *Chromatium okenii* unter Sauerstoffdefizit gebildet wird, isoliert werden (vergl. Züllig, 1984).

Eine weitere Abweichung der Carotinoidkonzentration von den C_{org} und P_{tot} -Werten (Helbig, 1987) findet man zwischen A und B (siehe Abb. 10), wo verhältnismässig geringere Pigmentwerte auftreten.

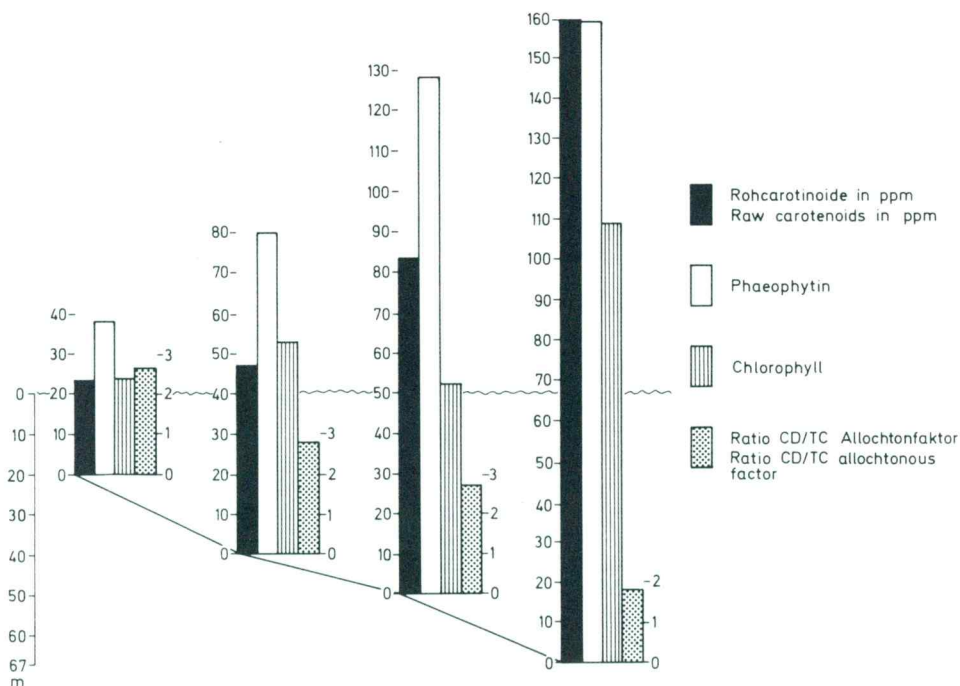


Abb. 11. Vertikalverteilung der Pigmente im Mondsee

Fig. 11. Vertical distribution of pigments in Mondsee

In den tiefsten Seebereichen unter 50m findet naturgemäss die stärkste Sedimentakkumulation statt. Dort treten die höchsten Pigmentraten auf und korrespondieren mit dem C_{org} und P_{tot} -Gehalt.

Die »Normalverteilung« von Pigmenten in Bezug auf die Beckentiefe ist in Abb. 11 dargestellt. Die Abstufungen der Konzentrationskategorien ist auf Grund von Erfahrungswerten aus dem Mondsee und den benachbarten Vorlandseen vorgenommen worden und kann mit den im Sediment vorkommenden P_{tot} -Konzentrationen verglichen werden: der höchste im Mondsee gemessene P_{tot} -Wert 6000ppm entspricht einer Carotinoidkonzentration von 285ppm, ein Minimumwert von 400ppm einem P_{tot} von 5ppm.

Verteilung von Pigmenten in ausgewählten Profilen

Der Sedimentabschnitt (siehe Abb. 12) unter 22cm besteht aus einer mehr oder weniger homogenen olivgrünen Kalkmudde mit ungefähr 2% Gehalt an C_{org} (Schmidt et al., 1985). Spuren von Bioturbation (fecal pellets) sind häufig (Klee & Schmidt, 1987).

Eigene pigmentanalytische Untersuchungen beispielsweise an Gammariden-Fäces zeigten einen extrem hohen Gehalt an Phäophytin, einem Abbauprodukt von Chlorophyll, welches durch intensiv dunkelgrüne Farbe des Extraktes auffällt. Ähnliche Ergebnisse konnten bei Extrakten homogenisierter Chironomiden erzielt werden. Offenbar werden Carotinoide fast zur Gänze verdaut, hingegen Chlorophyll nur zu Phäophytin und Phäophorbid abgebaut.

Der Abschnitt (unter 22cm) kann ausgehend vom Pigmentgehalt als oligotrophe Phase angesehen werden, obwohl sich nach Klee und Schmidt (1987) bereits ein Wechsel von oligotrophen Diatomeenarten *Cyclotella bodanica* Eulens, *Stephanodiscus neoastrea* (Håkansson & Hickl) *Melosira italica* (E.).K.G. vollzieht (siehe auch Liepolt, 1936).

Der Profilabschnitt von 22–12cm enthält Lagen mit Grobdetritus in die Rinden- und Holzreste eingelagert sind (von 20,5–17cm) und eine diffuse Hell/Dunkellaminierung beginnt. Diese Turbidite können von der Bautätigkeit an der Strasse Mondsee-Scharfling stammen, wobei durch Felssprengungen zum Teil ganze Bäume in den See gelangten. Weiters fanden 1954 und 1959 Hochwasserkatastrophen statt, deren Turbidite bis in die tiefsten Seeteile gelangt sein könnten. Solche Turbidite wurden im Jahr 1986 nach schweren Gewittern und Überflutungen durch den kleinen Kienbach im SE des Mondsees bis in die Seemitte hin beobachtet. Am Ende des Abschnittes finden sich noch mehrere diffuse Lagen, die aller Wahrscheinlichkeit nach mittelbar oder unmittelbar vom Autobahnbau stammen und die durch eine starke Abnahme des Pigmentgehaltes gekennzeichnet sind.

Der Trübeeintrag führte zu einer »Klärung« des Sees und zur raschen Fällung des Planktons und nach Einsele (1963) im Jahre 1962 zu einer Dezimierung des Zooplanktons um nahezu 90%. In der Folge stellte sich ein Fischsterben ein, das alle Arten betraf. Es wurde berichtet, dass Saiblinge, die in der Regel Planktonfresser sind, an kleinen Cypriniden erstickt, aufgefunden wurden. Die Fischzuchtanstalt in Scharfling erhielt nicht mehr genug Plankton und musste aus den Vorlandseen Fischfutter herbeischaffen. Diese scheinbare »Reoligotrophierung« bewirkte eine grosse Sichttiefe und schaffte nun ideale Voraussetzungen für ein Phytoplanktonwachstum. Oberhalb dieser Turbiditlagen kommt es jeweils zu einem kräftigen Anstieg der Rohcarotinoidwerte auf über 150ppm und somit zu eutrophen Stadien.

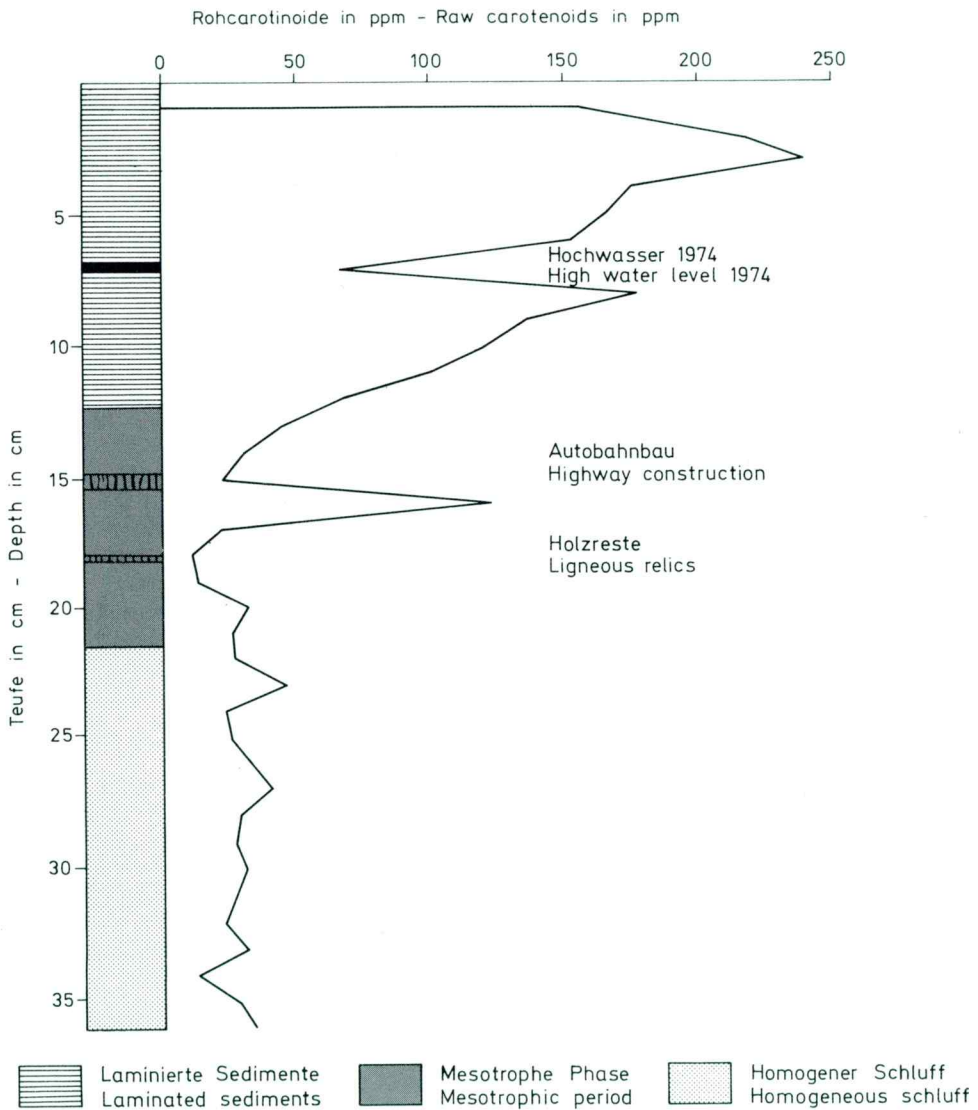


Abb. 12. Darstellung der Veränderung von Rohcarotinoid-konzentrationen in Abhängigkeit zur Kerntiefe (Kern Mondsee MO 7/67 m)

Fig. 12. Layout of changing of raw carotenoid concentrations depending upon the core depth (core Mondsee MO 7/67 m)

In der Folge bildeten sich ab etwa 12 cm charakteristische Hell-Dunkellagen von verschiedener Mächtigkeit, die von Schmidt et al. (1985) als Jahresschichten identifiziert wurden. Zugleich mit dem Auftreten dieser Hell-Dunkellagen setzt die massive Besiedlung des Sees mit *Oscillatoria rubescens* D.C., beweisbar durch stärkere Konzentrationen von Oscillaxanthin, das Hauptcarotinoid von *O. rubescens* D.C., ein und erreicht im Jahr 1968, (Findenegg, 1969) ihren Höhepunkt. Auffällig ist weiters ein starker Einbruch in der Pigmentkurve bei 7 cm. Nach Auszählen der Jahresschichten kann dieser Bereich mit dem Jahr 1974 gleichgesetzt werden, in welchem ein enormes Hochwasser, bis 180 cm über dem Normalpegel zu beobachten war. Die dadurch in den See gelangten Trübestoffe führten zur Ablagerung einer deutlich dickeren Jahresschicht und somit zu einer »Verdünnung« der Pigmente.

Ab ca. 4 cm kommt es zu einer deutlichen Abnahme der Rohcarotinoide. Schwarz (1981) stellt eine starke Abnahme der Biomasse von *Oscillatoria* und *Tabellaria* seit 1980 fest. Tatsächlich kommt es in den obersten 4 cm des Sediments zu einer rapiden Abnahme von Oscillaxanthin, gleichzeitig aber zu einer deutlichen Zunahme von Myxoxanthophyll, Echinenon und 4-Ketomoxol-2'Methyl-Methylpentosid. Das deutet wieder auf eine Zunahme von anderen Cyanophyceen hin und

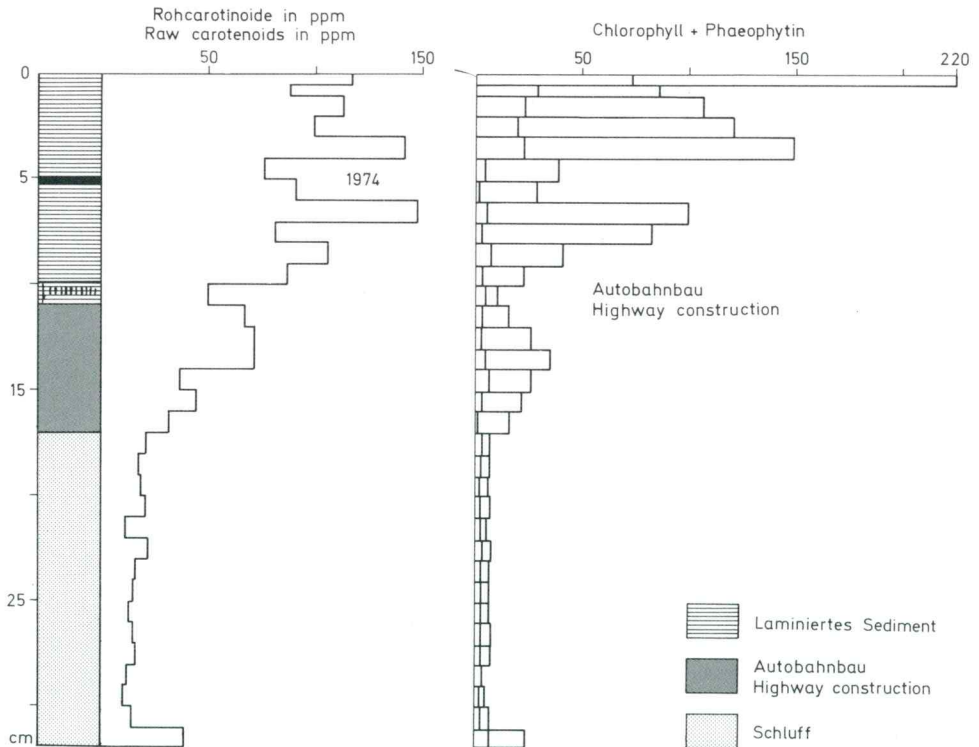


Abb. 13. Darstellung der Veränderung von Pigmentkonzentrationen in Abhängigkeit zur Kern-tiefe (Kern Mondsee 45 m, unterhalb der Wendeboje)

Fig. 13. Layout of changing of pigment concentrations depending upon the core depth (core Mondsee 45 m, below turning buoyancy)

wird von Dokulil (1984) bestätigt. Generell nehmen aber die Eutrophierungerscheinungen wie die Phosphorkonzentration ab (Moog, 1982), sodass von einer »Reoligotrophierung« (Klee & Schmidt, 1987; Dokulil, 1984) im Zuge der Sanierungsmassnahmen gesprochen werden kann.

Das Profil (siehe Abb. 13) wurde 1986 zur Erkundung der Sedimententwicklung in unmittelbarer Nähe der Einleitung des geklärten Abwassers von NEWRKLA entnommen. Pigmentstratigraphisch zeigt sich ein ähnliches Bild wie im Profil MO 7/67m. Auf die oligotrophe Phase bis etwa 17cm folgt eine oligo-mesotrophe Zone, die dem von Liepolt (1936) beschriebenen »Sergentia-See« entspricht. Die für den tiefsten Seebereich so charakteristischen Turbiditlagen fehlen im nordwestlichen Becken ganz (vergl. Klee & Schmidt, 1987). Dies wurde auch durch zahlreiche Kerne von Danielopol (mündl. Mitt.) und durch Helbig (1987) bestätigt. Zwischen 12 und 10cm findet man Ansätze von »diffusen« Laminæ mit tonig-sandigen Einschwemmungen, die der Zeit des Autobahnbaues zugeordnet werden können. Allerdings sind sie weniger deutlich und weniger mächtig als in Profil MO 7 ausgebildet. Sowohl die Carotinoidwerte als auch die Chlorophyll- und Phaeophytinkonzentrationen nehmen stark ab. Danach setzt eine erhöhte Konzentration von Myxoxanthophyll und Oscillaxanthin ein und zeigt die massive Besiedlung des Sees durch Blaualgen und im besonderen durch *Oscillatoria rubescens* D. C. Der Einbruch in den Pigmentkurven zwischen 6 und 4cm wird einerseits in Zusammenhang mit der Inbetriebnahme der Kläranlage (FeCl_2 als Fällungsmittel für P) gesehen, andererseits kam es 1974 zu einem »Jahrhunderthochwasser« und dadurch zu einem massiven

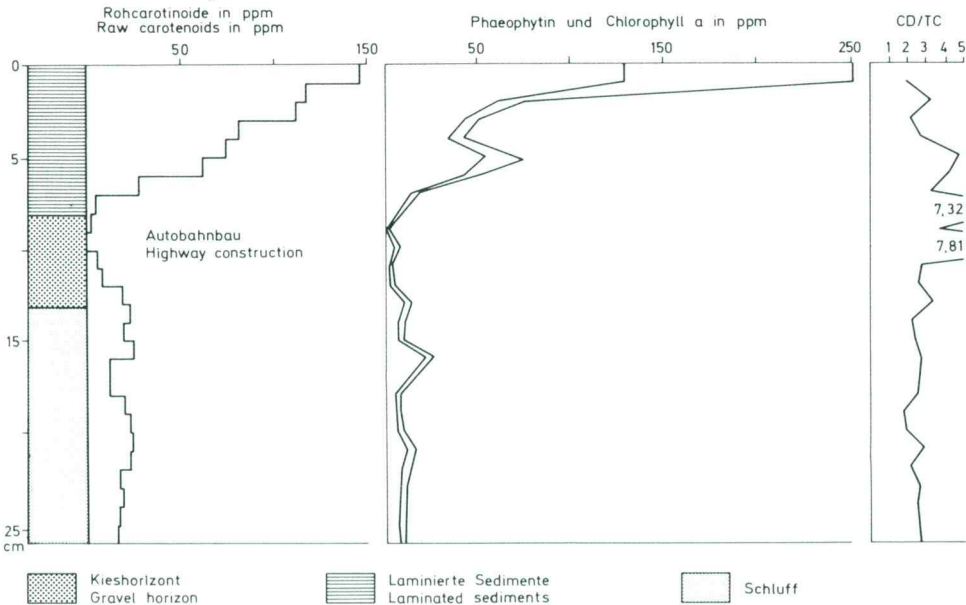


Abb. 14. Darstellung der Veränderung von Pigmentkonzentrationen in Abhängigkeit zur Kerntiefe (Kern Mondsee MONH 1/45m)

Fig. 14. Layout of changing of pigment concentrations depending upon the core depth (core Mondsee MONH 1/45m)

Trübeeintrag, sodass sich eine extrem dicke Jahresschicht (siehe oben) ausbilden konnte. Die darüber liegenden Laminae sind durch eine relativ niedrige Sedimentationsrate gekennzeichnet. Sie zeichnen sich durch höhere Redoxpotentiale aus und sind mit Ausnahme der unmittelbaren Sedimentoberfläche nicht so reich an Pigmenten wie im tiefsten Seebereich. Das deutet auf eine bessere Sauerstoffsituation nach Inbetriebnahme der Kläranlage hin.

Dieses Profil (siehe Abb. 14) wurde aus dem Bereich der Schotter-Überfuhr vom Baggersee zu der damaligen Autobahnbaustelle bei Loibichl gezogen. Der Schotter wurde durch flache Schiffe (Pletten) über den See transportiert und bei Gefahr einfach in den See gekippt. So entstand ein Kieskörper mit enger räumlicher Verbreitung und wurde immer wieder in Kurzcores während der Beprobung im Rahmen laufender Institutsprogramme, vor allem durch Danielopol et al. (1985) gefunden. Die Arbeitsgruppe Benthos des Limnologischen Instituts in Mondsee plant eine genauere Kartierung dieses Kieskörpers, der als Laichgebiet für Saiblinge von einiger Bedeutung gewesen sein könnte.

Von 26–13 cm finden wir olivgrüne bis graue Kalkmudde (Kalkgyttja) mit relativ geringem Gehalt an Pigmenten aus der oligotrophen Seephase. Dann schiebt sich ein ca. 7 cm mächtiger Grobsandkomplex vom Autobahnbau ein der die geringsten Pigmentraten des gesamten Profils führt. Der allochthone Charakter wird durch die Ratio CD/TC verdeutlicht.

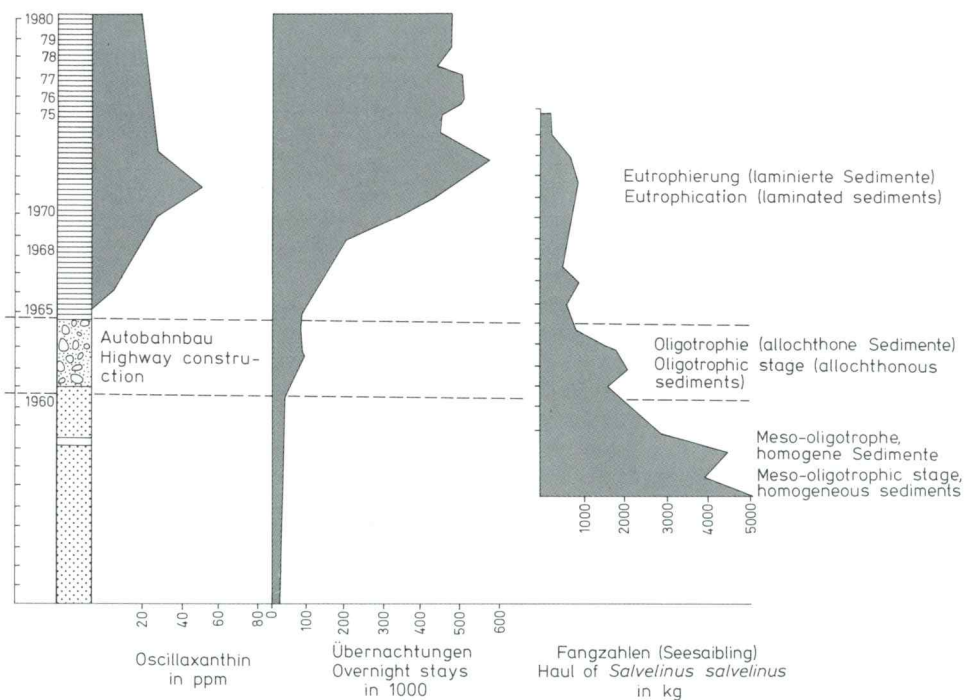


Abb. 15. Schematische Darstellung einiger wichtiger Parameter zur Eutrophierungsentwicklung des Mondsees

Fig. 15. Scheme of some important parameters demonstrating eutrophication development of Mondsee

Nach dieser »Reoligotrophierung« (s.o.) beginnt bei 7 cm wie in den anderen Profundalprofilen eine scharfe Hell-Dunkelschichtung mit steigendem Pigmentgehalt. Dieser Abschnitt entspricht wiederum der zunehmenden Eutrophierung im See (Abb. 15). Eine Abnahme dieses Vorgangs in jüngster Zeit kann an diesem Profil nicht gezeigt werden. Der Grund dafür lag in der teilweisen Abtragung, oder in Einflüssen durch die einmündenden Gewässer (Mühlbach, Wangauer-Ache) liegen (siehe auch Abb. 9).

Die Salzburger Vorlandseen

Stammdaten

	Wallersee	Obertrumer See	Grabensee	Niedertrumer See
Geogr. Breite	48° 55'	48° 59'	48° 59'	48° 59'
Geogr. Länge	13° 10'	13° 6'	13° 6'	13° 6'
Seehöhe m NN				
bei Mittelwasser	506	502,8	502	502,9
Seefläche (km ²)	6,1	4,8	1,3	3,25
Max Tiefe (m)	23	36,3	14	42
Mittl. Tiefe (m)	12,5	17,4	9,3	17,1
Volumen (km ³)	7,66	8,46	0,126	6,18
Theor. Wasser-				
erneuerungszeit	2	1,7	0,23	4,67
Abfluß (m ³ /s)	3,95	1,6	1,8	0,4
Einzugsgebiet (km ²)	109,5	57,6	65	11,2

Quelle: Jäger (1986)

Entstehung, Entwicklung und Charakteristik

Die Salzburger Vorlandseen Wallersee, Obertrumer See, Niedertrumer See (Mattsee) und Grabensee, letztere drei im folgenden als Trumer Seen bezeichnet, liegen etwa 25 km nördlich der Stadt Salzburg im ehemaligen Vereisungsgebiet des Salzachgletschers im Einzugsgebiet der Salzach. (Siehe Abb. 16 und 17). Die Becken der Trumer Seen sind durch Anhöhen bestehend aus den nördlichsten Ausläufern des alpinen Flysch und des Helvetikums und aus Moränen der Mindel-, Riss- und Würmvereisung, vom Wallerseebecken getrennt. Die glaziale Situation der Seen und ihre Strukturen sind bei Seefeldner (1961) und Tichy (1980) näher erläutert. Die Seebecken sind demnach durch Toteiskörper vor einer frühzeitigen Sedimentverfüllung während der Abschmelzphase geschützt worden.

Das Einzugsgebiet der Trumerseen (133,8 km²) in Verhältnis zum Wasservolumen ist in Gegensatz zu dem des Wallersees (103 km²) sehr klein, sodass auf Grund der Wasserbilanz mit der Speisung aus unterirdischen Quellen gerechnet werden muss (vergl. Röhrs, 1986). Die Vorlandseen gehören den dem dimiktisch-holomiktischen Seetypus an. Eine Eisbedeckung von 2–3 Monaten ist die Regel, wobei es zu einer inversen Temperatschichtung kommt. Seit dem Beginn der 60-er Jahre werden die Vorlandseen regelmässig durch die Bundesanstalt für Fischereiwirtschaft in Scharfing (Oberösterreich) limnologisch untersucht.

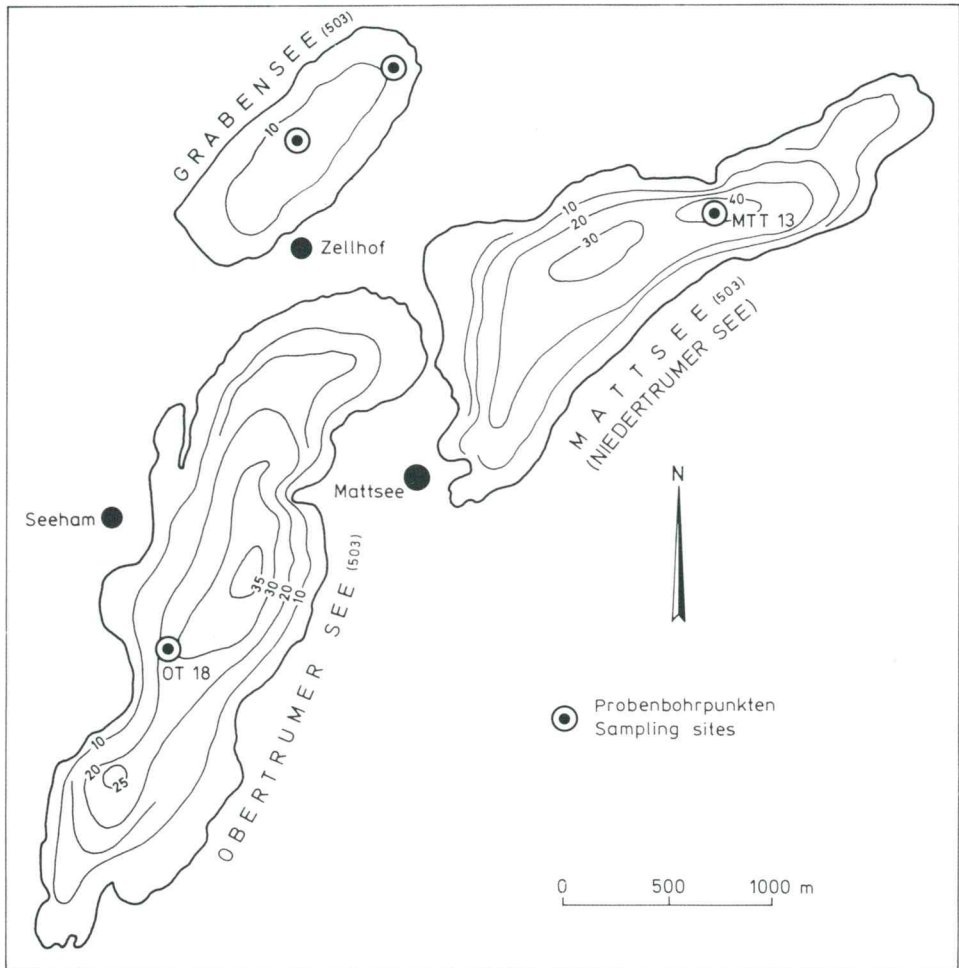


Abb. 16. Lageskizze der Trumer Seen mit Bohrpunkten

Fig. 16. Sketch – Position of Trumer Lakes and sampling sites

1962 trat erstmals *Oscillatoria rubescens* D. C. (Burgunderblutalge) am Obertrumer See auf (Czernin-Chudenintz, 1980). Im Herbst 1964 kam es in einer Bucht des Niedertrumer Sees (Findenegg, 1973) zu einer extremen Wasserblüte verursacht durch die blaugrüne Alge *Anabaena spiroida*. Ab 1965 nahm *Oscillatoria rubescens* D. C. verstärkt zu und verursachte seit 1968 spektakuläre Wasserblüten. Der Niedertrumer See blieb davon weitgehend verschont.

Diese Ereignisse führten zu einem grossangelegten Sanierungsprogramm durch die Salzburger Landesregierung. Im Rahmen einer Ökosystemstudie »Vorlandseen« wurden die vielfältigen Zusammenhänge untersucht und in einer Abhandlung zusammengefasst (Herausg. Jäger, 1968)

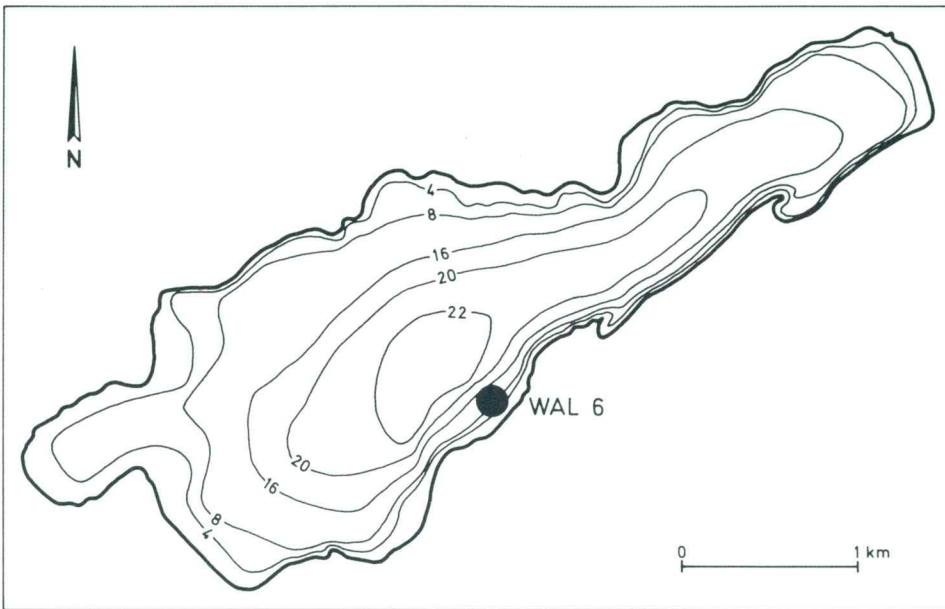


Abb. 17. Lageskizze des Wallersees mit Bohrpunkt
 Fig. 17. Sketch – Position of Walersee and sampling site

Der Wallersee

Das Phytoplankton des Wallersees wird im wesentlichen durch Kieselalgen (vor allem *Tabellaria fenestrata* (LINGB.) K. G. dominiert, gefolgt von Feualgen (*Ceratium* sp. und *Gymnodium* sp.). Als dritte Gruppe sind die Grünalgen zu nennen, die durch zahlreiche Taxa vertreten sind (vergl. Czernin-Chudenitz, 1986).

Geochemische Analysen der Sedimentoberfläche des Profundals (Röhrs et al., 1986) zeigen hohe C_{org} und P_{org} -Werte und somit eutrophe Verhältnisse.

Aus den zahlreichen erbohrten Kernen des Wallersees stand uns der Kern WAL 6 (Germatsidis, 1985) für pollen- und pigmentanalytische Untersuchungen zur Verfügung. Er wurde an einem Schelfhang in 11 m Wassertiefe entnommen und sedimentologisch und geochemisch untersucht (Röhrs et al., 1986).

Ergebnisse

Von 106–61 cm (siehe Abb. 18) sind nur geringe Pigmentkonzentrationen nachzuweisen. Der P_{tot} -Gehalt übersteigt 400 ppm in keinem Fall, der C_{org} -Gehalt bewegt sich unter 1 %. Röhrs et al. (1986) fanden grosse Mengen von Characeenresten, die nach Lang (1967) im Bodensee auf oligo-mesotrophe Sand- und Siltböden beschränkt sind und nach Forsberg (1964) sehr empfindlich auf überhöhte Phosphorwerte reagieren. Demnach hat der Wallersee bis ca. 900 v.h. einen oligo-mesotrophen Zustand durchlaufen. Aufgrund der geringen Rohcarotinoidkonzentration und des Fehlens von Blaualgen- und Bakterienfarbstoffen kann sogar mit einiger Sicherheit eine oligotrophe Phase angenommen werden.

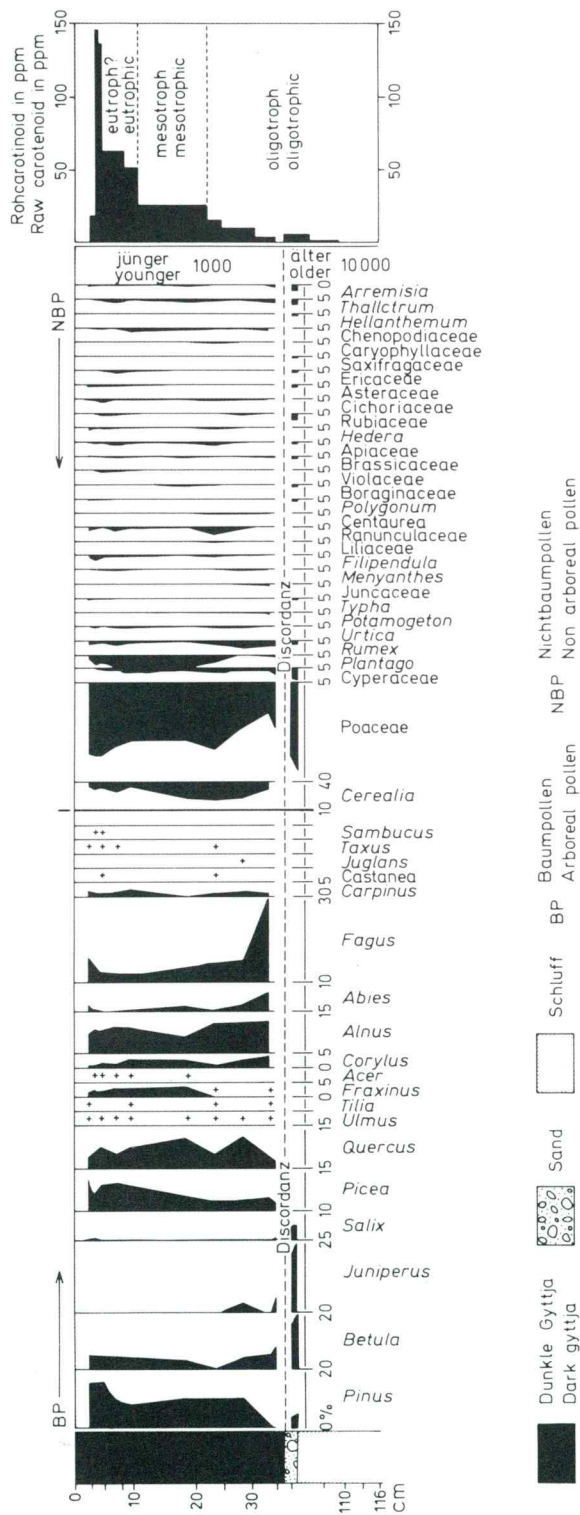


Abb. 18. Darstellung der Veränderung von Pollen und Rohcarotinoiden in Abhängigkeit zur Kerntiefe (Kern Wallersee, WAL 6)

Fig. 18. Layout of variation of pollen- and raw carotenoid concentrations depending upon core depth (core Wallersee, WAL 6)

Die Besonderheit an diesem Kern ist jedoch eine deutlich sichtbare und nachweisbare Diskordanz bei 62 cm. Oberhalb dieser Diskordanz liegen dunkelgraue Sedimente mit einem hohen Sandgehalt (Germatsidis, 1985) welche auf massive Störungen hinweisen. In den hangenden 61 cm treten keine Characeenreste mehr auf was auf den erhöhten C_{org} -Gehalt und erhöhte P_{tot} -Werte infolge einer Eutrophierung des Sees zurückgeführt werden kann.

Pollenanalytische Ergebnisse lassen auf spätglaziales Alter in den basalen Warvenschichten schliessen. *Betula-Juniperus*- und *Poaceen* Pollen dominieren diesen Bereich und zeigen, dass die Vegetation nicht jünger als Bölling (Ib) d. h. ca. 13.000 Jahre alt ist.

Die hangende Sedimentpartie ab 60 cm führt einen erhöhten Pollengehalt von Gattungen und Arten der Ruderflora wie *Urtica* und *Plantago*, sowie von Getreide. Dies lässt auf eine stärkere Besiedlung und intensive Landwirtschaft in diesem Gebiet schliessen.

Auch der Pigmentgehalt beginnt allmählich zuzunehmen und erreicht bei 25 cm Werte, die auf oligo-mesotrophe Verhältnisse hinweisen. Ab 10 cm kommt es zu einer

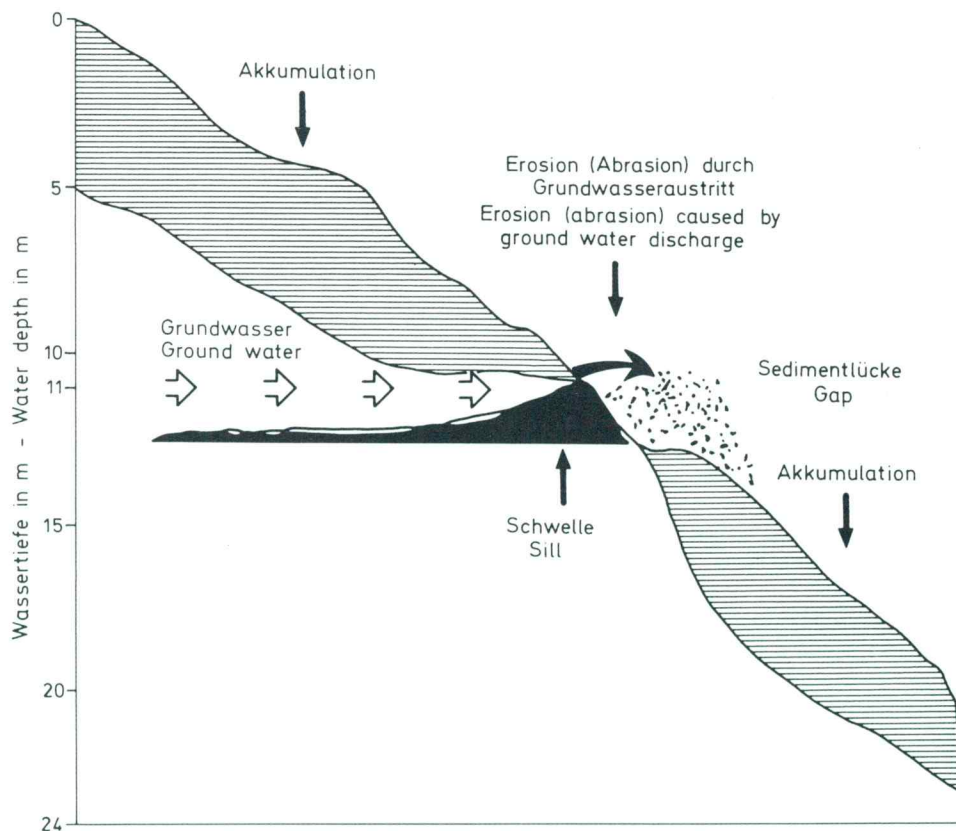


Abb. 19. Situation einer Schichtlücke (wie am Wallersee)

Fig. 19. Situation of a stratigraphic gap (like in Wallersee)

rapiden Zunahme der Rohcarotinoide mit erhöhten Konzentrationen von Myxoxanthophyll und Oscillaxanthin (Blaualgenpigmente) was auf zunehmende Eutrophierung hindeutet.

Wie oben schon erwähnt, ist das Auftreten dieser Diskordanz von grossem Interesse, da sie nicht nur auf den Wallersee beschränkt ist, sondern auch in den Trumerseen und am Mondsee beobachtet wurde. Die Frage nach der Ursache ist noch weitgehend ungeklärt, doch kann man sich vorstellen, dass der eiszeitliche Gletscher härtere Gesteinsrücken nicht abgetragen hat und so parallel zum Ufer verlaufende Barrieren stehen liess. Das an diese Schwellen anprallende Grundwasser steigt auf und erodiert die Sedimente an deren Oberfläche oder verhindert überhaupt eine Sedimentation, wenn die Strömung stark genug ist (siehe Abb. 19, vergl. Behrehan et al., 1985).

Trumer Seen

Der Untersuchungsschwerpunkt lag bei den Trumer Seen in der Rekonstruktion der Eutrophierungsentwicklung in Zeit und Raum. Untersuchungen von Schmidt (1986), Röhrs et al. (1985) und Schultze (1986) zeigten am Profil Grabensee und Zellhof nach Warventonen aus dem Älteren Spätglazial (– ca. 13.000 v.h.) eine erste Eutrophierungsphase mit einem starken Ansteigen von C_{org} und P_{tot} . Ähnliche fazielle Änderungen sind auch aus den Sedimenten des Kleinsees (Kärnten) bekannt und werden von Löffler (1977) und Schultze (1976) mit dem Kollabieren des »Kühnsdorfer Stausees« infolge der Erosion der stauenden Endmoränen durch die Drau erklärt. Zum selben Schluss kommen Röhrs und Schneider (1985) für die Trumerseen. Der »Älteste Trumersee« bestand bis zum »Prabölling« Interstadial (vergl. – Schultze, 1984) und floss durch die Dränagierung des Mattig-Flusses teilweise aus. Dadurch wurde der heute verlandete Zellhofer See isoliert und es entstand der Alte Trumersee, der auf Grund des geringen Wasservolumens, der ausreichenden Nährstoffversorgung und des besseren Klimas eutrophierte (siehe Abb. 20)

Ergebnisse

Am Profil Grabensee (Abb. 21) reichen diese dunklen Lagen zwischen 580 und 544 cm zeitlich bis ins beginnende Alleröd und zeichnen sich durch den Gehalt eines Bakterienfarbstoffes (Okenon) aus, der auf temporäre Sauerstoffdefizite infolge der Eutrophierung schliessen lässt. Nach dieser alten Eutrophierungsphase sind noch drei jüngere in allen Profilen der Trumer Seen bemerkbar und durch erhöhte P_{tot} - und C_{org} -Werte sowie durch dunkle Bänder erkennbar.

Diese drei jüngeren Phasen sind aller Wahrscheinlichkeit nach anthropogener Natur:

Ein erster Nährstoffeintrag erfolgte zur Zeit der bajuwarischen Besiedlung und ist auf Rodungs- und Dränagierungstätigkeit zurückzuführen und bewirkte zunächst noch keine wesentlichen Eutrophierungserscheinungen. Es fehlen nämlich erhöhte Pigmentwerte und es ist anzunehmen, dass dieser massive Nährstoffeintrag weitestgehend durch die Sedimente »g. puffert« wurde und die Seen zunächst nur einen mesotrophen Zustand erreichten. Ein erneuter eutrophierter Horizont wurde vor rund 350 Jahren abgelagert und führte zum Übergang in ein eutrophes Stadium welches bis heute andauert. Diese Eutrophierungsphase wurde mit verstärkter Besiedlung und der Brauereigründung in Obertrum erklärt (Röhrs et al., 1986,

Schultze, 1986). Nach neueren Überlegungen könnten aber auch klimatische Änderungen eine nicht geringe Rolle spielen. Archäologische Untersuchungen von Czech (1980) am Zellersee (Irrsee) brachten einen Fund eines heute in 3 m Wassertiefe liegenden und mit 300 v.h. datierten Blockbaues aus Holz zutage, der nach Ansicht der Archäologen weder technisch unter Wasser errichtet werden noch irgend einen funktionellen Zweck in dieser Lage erfüllt haben konnte. Nachdem er also an Land errichtet worden ist, muß der Seespiegel zu dieser Zeit um 3 m tiefer gelegen haben.

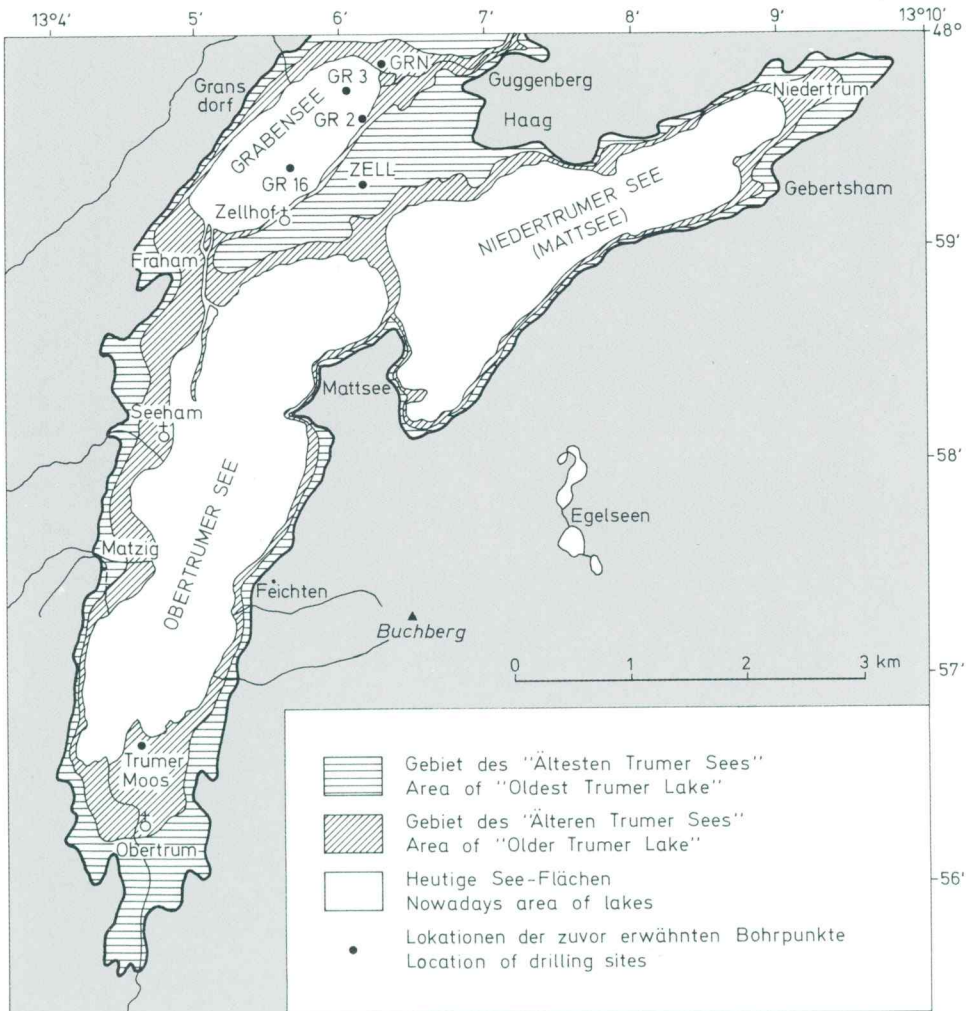


Abb. 20. Paläogeographische Rekonstruktion der Trumer Seen (aus Röhrs et al., 1986; modifiziert nach Krisai, 1975; Weinberger, 1955; Del Negro, 1948)

Fig. 20. Paleogeographical reconstruction of Trumer Lakes (taken from Röhrs et al., 1986; modified after Krisai, 1975; Weinberger, 1955; Del Negro, 1948)

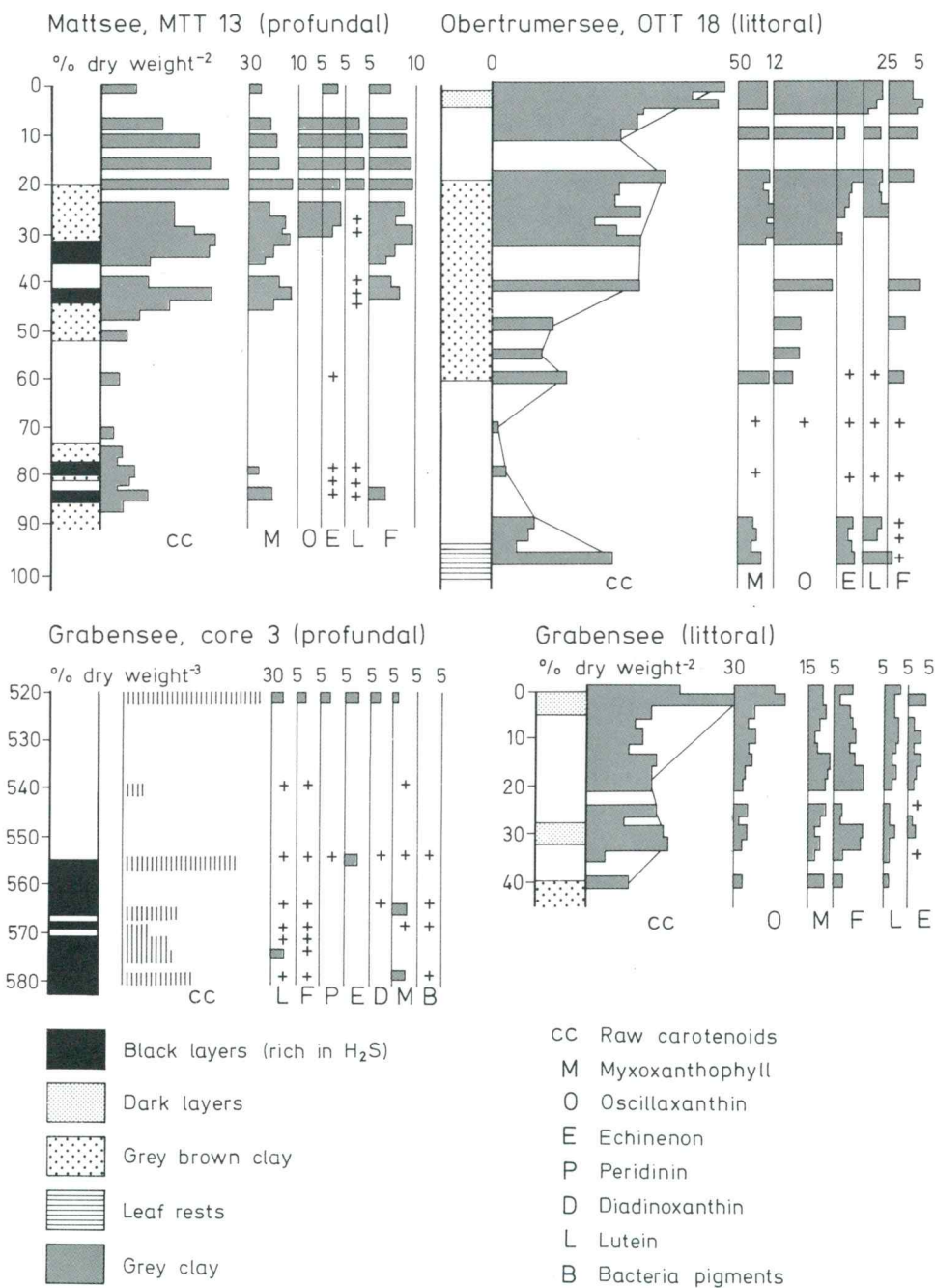


Abb. 21. Darstellung der Veränderung von Rohcarotinoid-konzentrationen in Abhängigkeit zur Kerntiefe (Mattsee, MTT 13; Obertrumersee, OTT 18; Grabensee Core 3; Grabensee littoral)

Fig. 21. Layout of changing of raw carotenoid concentrations depending upon the core depth (Mattsee, MTT 13; Obertrumersee, OTT 18; Grabensee core 3; Grabensee littoral)

Dieses Phänomen könnte, wie sooft in der Wissenschaft, mit lokalen Ereignissen wie etwa einer Meliorierung des Sees und späterer Verlandung der Dränagen erklärt werden. Doch haben Beispiele wie die neolithischen Pfahlbauten an den Salzkammergutseen, den eindeutigen Beweis erbracht, dass Seespiegelschwankungen im Bereich bis zu 3 m möglich waren und eigentlich keine Seltenheit darstellen (Offenberger, 1985). Nach bisherigen Befunden (siehe unten) sind solche Seespiegelschwankungen Europa-, ja sogar weltweit verbreitet und die Folge von überregionalen Klimapendelungen. Trockene und wärmere Klimaperioden bewirken einen niedrigeren Wasserstand und eine erhöhte Produktion und drücken sich im Sediment z.B. durch erhöhte Pigmentwerte, C_{org} -Werte und P_{tot} -Werte aus. Wenngleich eine solche Entwicklung für die Trumerseen noch nicht als erwiesen gilt, muss diese Möglichkeit der »Eutrophierung« neben den anthropogenen Einflüssen in Betracht gezogen werden.

In den letzten Jahrzehnten kam es dann durch drastisch ansteigende Phosphatbelastung aus der Landwirtschaft, dem Fremdenverkehr und Gewerbe zu einer katastrophalen überdüngung. Diese drückt sich in den Sedimenten durch die Zunahme von Blaualgenpigmenten wie Myxoxanthophyll, Echinenon und Oscillaxanthin sowie durch Bakterienpigmente und H_2S aus – eine Folge des anaeroben Hypolimnions während der Stagnationsphasen.

Meromiktische Seen

Meromiktische Seen sind Seen, in denen ein großer Teil des Wasserkörpers während der jährlichen Durchmischungsphasen teilweise oder ganz von einer Durchmischung verschont bleibt, im Gegensatz zum eher gewöhnlichen holomiktischen Seetyp, in welchem während solcher Perioden der ganze Wasserkörper durchmischt wird. Findenegg (1935) führte die folgenden Termini in die Literatur ein und bezeichnete diesen nicht durchmischten Wasserkörper als Monimolimnion, seine obere Grenze als Chemokline. Hutchinson (1937, 1957) unterteilte die meromiktischen Seen nach der Ursache des Eintritts in den meromiktischen Zustand in:

1. ektogene, bei denen externe Katastrophen entweder Salzwasser in einen Süßwassersee oder Süßwasser in einen Salzwassersee führten. Dabei bildete sich durch die grössere Dichte des Salzwassers ein stabiles Monimolimnion mit einem darüber liegenden weniger dichten Mixolimnion aus;
2. crenogene, bei denen unterirdische Quellen Salzwasser in den See bringen und das leichtere Süßwasser nach oben verdrängen und
3. biogene meromiktische Seen, in denen Salze vornehmlich durch chemische und biochemische Vorgänge in Monimolimnion angereichert werden, die aus dem Sediment freigesetzt werden.

Untersuchungen z.B. von Frey (1955) am Längsee haben jedoch gezeigt, dass in vielen Fällen der Grund einer biogenen oder dynamischen Meromixis ektogen initiiert sein kann.

Der Längsee

Stammdaten:

Seehöhe (m NN bei Mittelwasser)	548
Seefläche (km ²)	0,76

Max. Tiefe (m)	21
Mittlere Tiefe (m)	13,4
Volumen (km ³)	0,10
Theor. Wassererneuerungszeit in Jahren	7,6
Einzugsgebiet (km ²)	5,36

Quelle: Schultz & Kanz (1984)

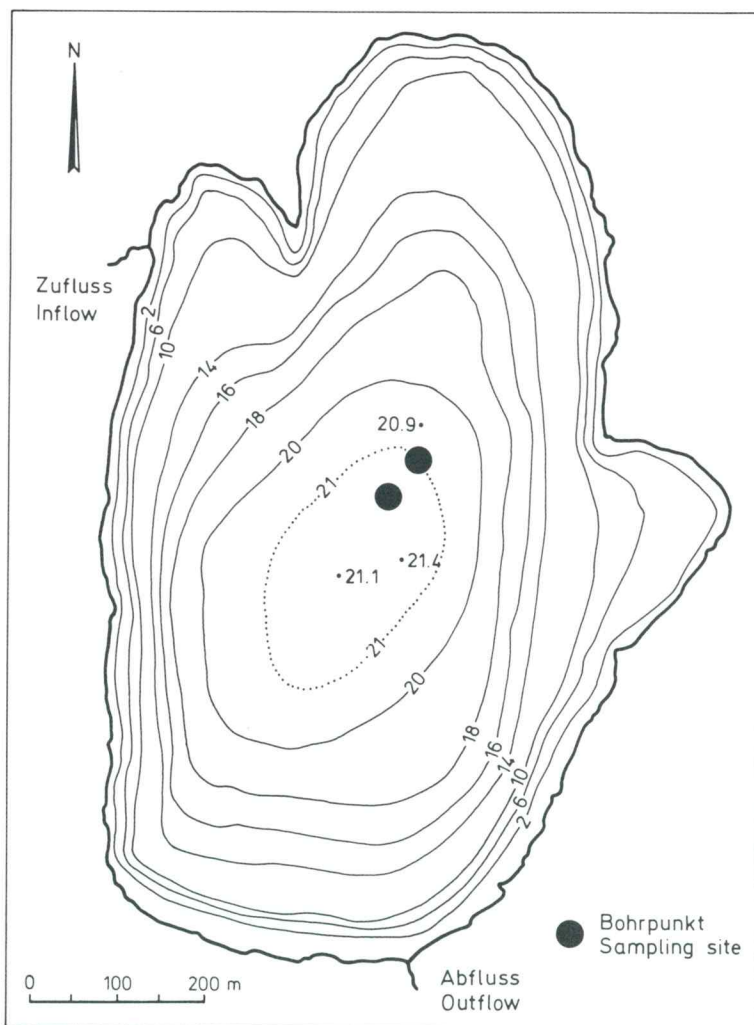


Abb. 22. Lageskizze des Längsees mit Bohrpunkten

Fig. 22. Sketch – Map of Längsee and sampling sites

Entstehung, Entwicklung und Charakteristik

Die erste Erhebung zur Entwicklung des Längsees stammt von Frey (1955, 1956). Später wurden Untersuchungen von Löffler et al. (1973), Fritz (1973), Harmsworth (1984) sowie eigene Untersuchungen angeschlossen. Frey führt das Einsetzen der Meromixis auf den von ihm »erste Siedlungsphase« bezeichneten Abschnitt, etwa 400 v.h. zurück. Diese Besiedlung ist durch ein charakteristisches Sedimentpaket von ca. 15 cm Mächtigkeit dokumentiert, bestehend aus minerogenen und organogenen Wechsellagen als Ausdruck massiver Bodenerosion im Einzugsgebiet infolge von Waldrodung und bewirkt nach Frey (1956) durch den Eintrag von Salzen die Ausbildung eines Monimolimnions. Löffler (1972 a, b) dagegen ist der Ansicht, die Meromixie habe sich wie in vielen anderen Kärntner Seen bereits mit dem Ausklingen des Spätglazials, in manchen Fällen sogar schon mit Einsetzen der Wiederbewaldung eingestellt. Diese Ansicht wird begründet durch Ausfallen von Ostrakoden verbunden mit einem gleichzeitigen Sedimentwechsel von Ton zu Gytjtja. Harmsworth (1984) widerspricht beiden Meinungen nicht direkt, wenngleich er mit dem Einsetzen der Gytjtjabildung zumindest saisonale Sauerstofffreiheit postuliert.

1984 wurden vom Verfasser jeweils an der tiefsten Stelle (21 m) ein Kurzprofil (250 mm) und 1985 im Rahmen des Paläolimnologiekongresses ein Langprofil abgeteuft um dieser Fragestellung nochmals nachzugehen. Diese Proben wurden ergänzt durch Kajak-Cores von 30 cm Länge, um die obersten Sedimentpartien näher zu untersuchen und die Sapropelverteilung zu studieren. Von einer der Halbschalen des Langprofils wurden von Merkt Dünnschliffe angefertigt und von H. Müller (beide Hannover) pollenanalytische Untersuchungen zur Chronologie durchgeführt (mündl. Mitt.).

Profilbeschreibung

- 500–430 cm: Hellgrauer, spätglazialer Schluff der oligotrophen Seephase
- 430–425 cm: Übergang zu Gytjtja
- 425–397 cm: Gytjtja, fein laminiert, meso-eutrophe Seephase
- 397 cm: feine Tufflage (Laacher Bimstuff)
- 397–175 cm: laminierte Detritusgytjtja, eutrophe Seephase
- 175–159 cm: Wechsellagen aus Ton und organischem Material mit Kohleanteilen
- 159– 8 cm: Sapropel, mesoeutrophe Seephase
- 8– 0 cm: Helle, rosafarbene Kalkgytjtja, durchlüftetes Sediment?

Ergebnisse

Die Besonderheit der profundalen Längseesedimente (siehe Abb. 23) stellt zweifelsohne der extrem hohe Gehalt an Rohcarotinoiden dar. Bisher sind dem Verfasser – mit Ausnahme von Meeresbuchten wie der Veliko Jezero auf Mljet – keinerlei derartigen Konzentrationen bekannt geworden. Schon während des älteren Spätglazials übertrifft der Carotinoidgehalt mit 150–200 ppm Sedimente heutiger eutropher Seen.

Dies ist dadurch zu erklären, dass der Längsee ursprünglich 3 x so gross war als heute und dass sich sein Abfluss nach Abschmelzen des Eises tief in die Moränen einschneiden konnte, was zu einer Absenkung des Wasserspiegels und zu einer raschen Verlandung des Sees führte. Damit waren genügend Nährstoffe für eine stärkere Phytoplanktonentwicklung vorhanden. Bereits um ca. 13.000 v.h., an der Wende Älteres–Jüngeres Spätglazial (Schultze 1984 a, b) kam es zu ersten Sauer-

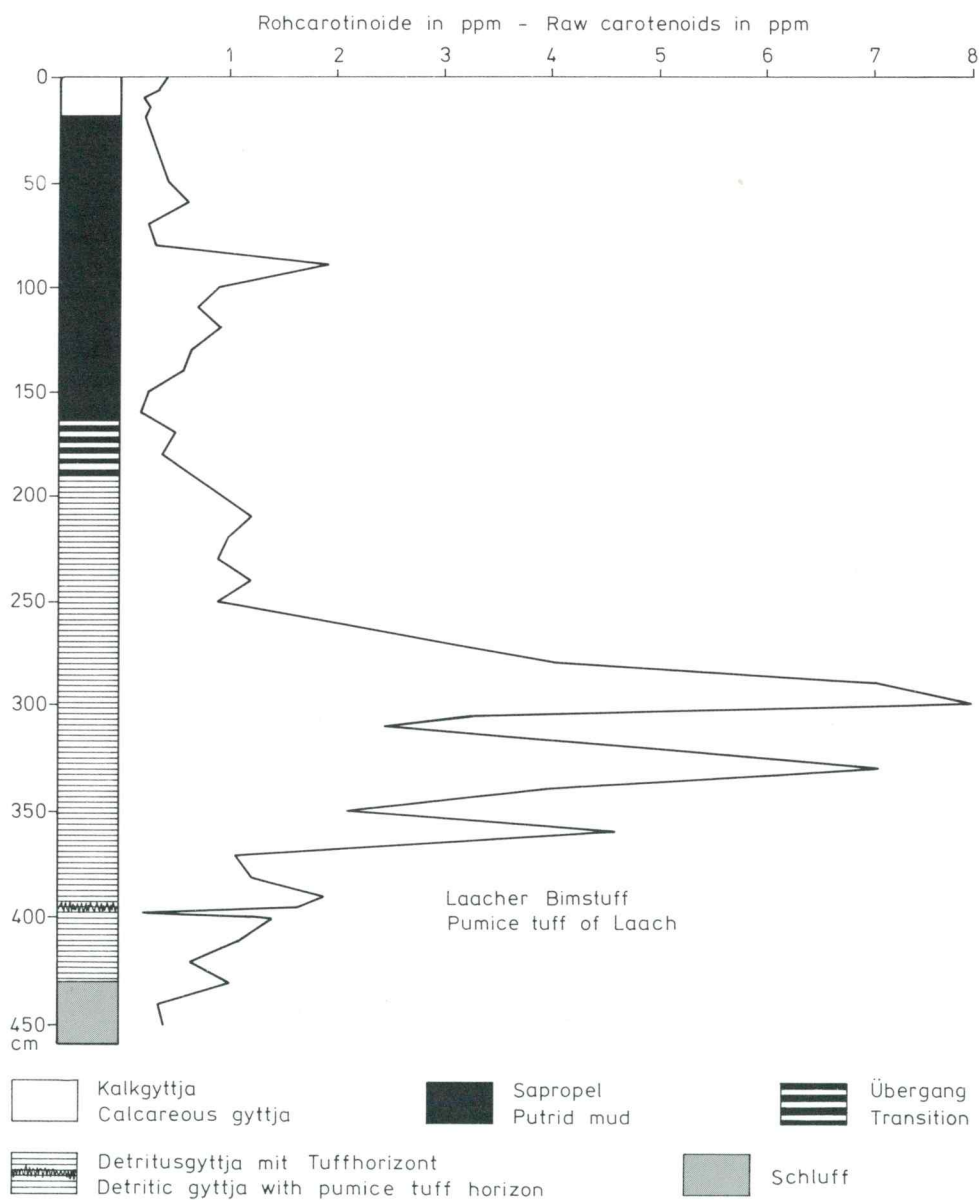


Abb. 23. Darstellung der Veränderung der Rohcarotinoid-konzentrationen in Abhängigkeit zur Kerntiefe (Langprofil Längsee, 21 m)

Fig. 23. Layout of changing of raw carotenoid concentrations depending to the core depth (long profile Längsee, 21 m)

stoffdefiziten. Verschiedene Schwefelbakterien fanden ausreichend Nahrung und im Sediment wurde Okenon abgelagert, das den indirekten Beweis für das Vorkommen von Chromatien (Athirrodaceae) liefert. Es wurden auch Spuren von Sphäroidin und Sphaeroidenon gefunden – Pigmente die auf das Vorkommen von *Rhodopseudomonas* sp. hinweisen (Züllig 1985) und wichtige Kriterien für das Abschätzen ehemaliger Sauerstoffsituationen darstellen. Züllig (1985) züchtete *Rhodopseudomonas sphaeroides* unter streng anaeroben Bedingungen und zeitweisen Luftzutritt und konnte nachweisen, dass unter aeroben Bedingungen kein Sphaeroidenon gebildet wird. Davon wird unter noch gesprochen werden müssen.

Eine weitere Besonderheit der Längsee-Sedimente stellt das Auffinden des Laacher Bimstufes dar. Bisher konnte er auf österreichischem Gebiet südlich der Alpen noch nicht gefunden werden. Es wurde durch Merkt (mündl. Mitt.) mit Hilfe von Dünnschliffen und durch mineralogische Untersuchungen als solcher identifiziert. In der Rohcarotinoidkurve (bei 397 cm) ist entsprechend zum allochthonen Luftfufhorizont ein starker Einbruch der Pigmentwerte auf unter 100 ppm zu bemerken. Danach kommt es wiederum zu einem rapiden Anstieg und zum Auftreten von Okenon und Lycopenal, was auf verschiedene Species von *Chromatium* und *Lamprocystis* sp. zurückgeführt werden kann (vergl. Pfennig, 1978 a, b) und auf temporäre Sauerstoffdefizite hindeutet.

Der folgende Abschnitt von 360–250 cm ist durch extrem hohe Rohcarotinoidwerte (bis zu 8000 ppm) mit starken Fluktuationen gekennzeichnet, die in zeitlicher Korrelation zu der von Kral (1979) gegebenen Klimakurve zu sehen sind. Die Spitzen zeigen Perioden mit extrem hoher Produktion und extrem hoher Bakterientätigkeit unter trocken warmen Klimaverhältnissen an, deren Folge jeweils Seespiegeltiefstände sind.

Die Kurventäler 350 cm, 310 cm und 250 cm könnten den mit den Gletscherhochständen (Schlaten-Venediger- und Frosnitzschwankung) (Bortenschlager & Patzelt, 1969) einhergehenden Transgression gleichgesetzt werden. Eigene pollenanalytische Befunde bestätigen diese Annahme weitgehend.

Die höchste Produktion an Pigmenten wird bei 300 cm erreicht. Neben dem Hauptanteil, den verschiedene Bakterienpigmente bilden, kommen nun noch Fucoxanthin und Myxoxanthophyll verstärkt vor, was eine Umgestaltung der Phytoplanktongesellschaften erkennen lässt. Fucoxanthin als Hauptpigment der Chrysophyceae und Diatomeae sowie Myxoxanthophyll als Blaualgenpigment sprechen für diesen Wechsel.

Löffler (1973) beschreibt das Ausfallen der Ostracoden und Chironomiden (wie bei 300 cm) als Folge der einsetzenden Meromixis, »obschon lange sauerstofflose Jahresabschnitte vor dem eigentlichen Beginn der Meromixis nicht auszuschliessen sind«.

Kleinere Pigmentgipfel bei 240 und 210 cm zeigen nochmals ein Ansteigen der Produktion und leiten zu einer diffusen Laminierung des Sediments über. Diese Übergangsphase von 185–150 cm entspricht nach Frey (1956) einem Alter von 3000–4000 Jahren und resultiert aus Turbiditen in Wechsellagen mit Sapropel. Das Material wurde in der extrem feuchten Klimaperiode des Älteren Subatlantikums aus den durch Rodung entblößten Grundmoränen der Umgebung des Sees ausgewaschen und könnte eine solche Dichtezunahme bewirkt haben, sodass eine Vollzirkulation ausblieb.

Unserer Annahme nach ist dieser Klimawechsel mehrfach belegt und führte zur selben Zeit in Mitteleuropa nördlich der Alpen zu einem Ansteigen der Seespiegel um

mindestens 2–3 wenn nicht bis 4 m. Als Beweis dafür können die »ertrunkenen« Pfahlbauten am Mondsee und Attersee genannt werden die heute 2–3 m unter dem Wasserspiegel liegen (Offenberger, 1985). Das verstärkte Auftreten von Buchen- und Tannennpollen spricht ebenfalls für feucht-kühle Verhältnisse an der Grenze Subboreal : Subatlantikum um etwa 3000 v.h.

Nach dieser Phase kam es wiederum zu einer »Beruhigung« der Situation im See. Die sedimentierenden Trübstoffe füllten einen Grossteil der Biomasse und führten zu einer »Reoligotrophierung« des Sees ähnlich wie nach dem »Autobahnhorizont« am Mondsee (siehe oben). Danach waren die – für ein extremes Algenwachstum notwendigen – Licht – und Nährstoffverhältnisse geschaffen und die Folge war eine explosionsartige Entwicklung von Blaualgenpopulationen, die durch das Massenvorkommen von Myxoxanthophyll und Echinenon belegt sind.

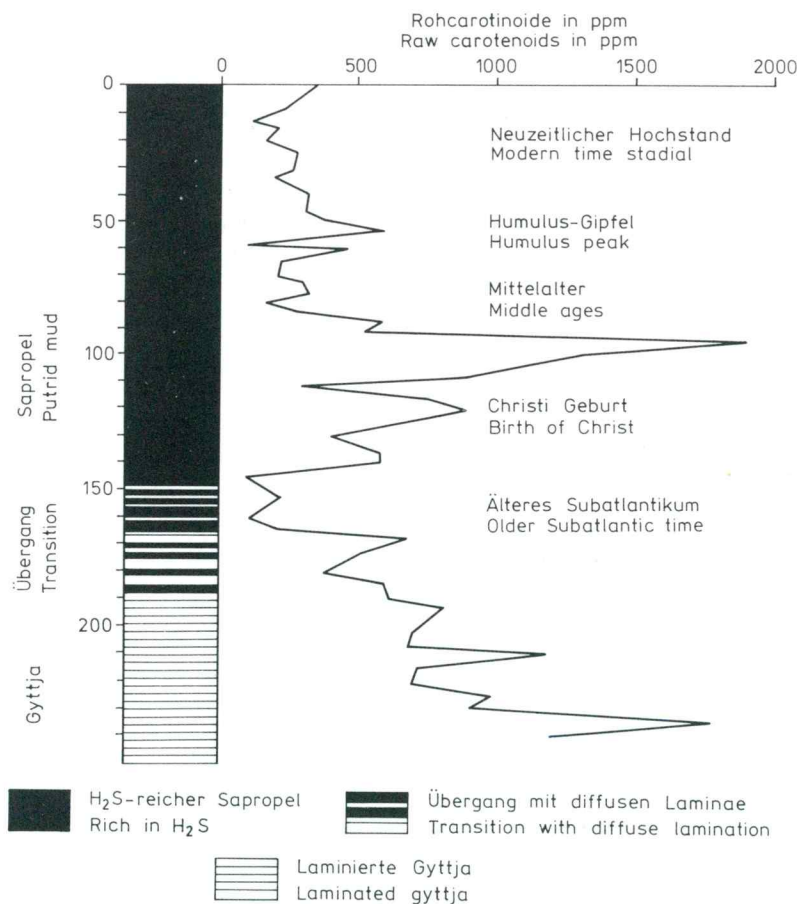


Abb. 24. Darstellung der Veränderung der Rohcarotinoidkonzentrationen in Abhängigkeit zur Kerntiefe (Längsee 21 m, Kurz kern)

Fig. 24. Layout of changing of raw carotenoids depending upon core depth (Längsee 21 m, short core)

Die nun gebildeten Sapropel-Sedimente zeichnen sich durch einen extrem hohen Gehalt an Ca^{++} aus, den Harmsworth (1984) – ohne Zweifel – auf die photosynthetisch induzierte Karbonatausfällung zurückführt. Bei 90 cm werden dann wieder erhöhte Pigmentwerte gefunden, die sich hauptsächlich aus Okenon, Myxoxanthophyll, Echinenon und Diatoxanthin zusammensetzen. Während einer neuerlichen Klimaverschlechterung, im frühen Mittelalter (Gletscherhochstand), fallen die Rohcarotinoidwerte von fast 2000 ppm auf unter 200 ppm.

Dan erfolgt wiederum eine Klimabesserung und gleichzeitig eine verstärkte landwirtschaftliche Tätigkei (Hopfenanbau, vermehrter Getreideanbau) und das erste Auftreten von Oscillaxanthin, dem Hauptpigment von *Oscillatoria rubescens* D. C., zugleich mit Okenon und anderen Bakterienfarbstoffen. Weiters findet man noch höhere Konzentrationen von Diadinoxanthin und Diatoxanthin, Pigmente, die vorwiegend in Pyrrhophyceen auftreten, sowie Echinenon, einem Farbstoff vorwiegend der Blaugrünen Algen und Fucoxanthin und dessen Derivate, die auf ein starkes Vorkommen von Chrysophyceen und Diatomeen hinweisen.

Zu dieser Zeit erreicht der Längsee etwa das heutige Stadium als relativ »unproduktiver See« (vergl. Frey, 1956). Es muss jedoch angemerkt werden, dass sich die meisten »produktiven« Abläufe – mit Ausnahme der Anaeroben – in den ersten 10–12 m Wassertiefen abspielen, da heute die Chemokline am Längsee zwischen 10 und 12 m liegt.

Während der letzten 10 cm kommt es zu einem erneuten Anstieg der Rohcarotinoide, besonders von Oscillaxanthin und Bakterienfarbstoffen als Folge des verstärkten Nährstoffeintrages durch Fremdenverkehr und Landwirtschaft. Die in den letzten Jahren häufig auftretenden Algenblüten und die »Katastrophe« im Winter 1984/85, wovon weiter unten noch gesprochen werden muss, veranlassten die Behörden zu umfangreichen Sanierungsmassnahmen, die heute bereits nahezu abgeschlossen sind.

Parallel zum oben beschriebenen Langkern wurde bei 21 m ein 250 cm langer Kern vergleichsweise entnommen (Abb. 24)

Profilbeschreibung:

- 250–188 cm: laminierte Gytjtja
- 188–155 cm: Übergang mit diffusen Laminae
- 155– 11 cm: Schwarzer, H_2S -reicher Sapropel
- 11– 0 cm: Hellgraue Kalkgyttja (umgelagert?)

Ergebnisse

Die basalen Sedimente sind relativ sehr reich an Pigmenten (bis 2000 ppm). Vor allem kommen hohe Konzentrationen von Neoxanthin, Lutein und Canthaxanthin (Grünalgenpigmente) und Carotinoide sowie Chlorophylle von diversen Bakterien vor, die stufenweise gegen den Übergang abnehmen. Diese Abnahme kann auf zunehmende Klimaverschlechterung und den erhöhten Eintrag von Allochthonsedimenten zurückgeführt werden (siehe oben).

Die diffusen Laminae der Übergangszone sind reich an verkohlten Makroresten und ähnlich den häufig in Moorsedimenten auftretenden Brandrodungshorizonten. Dazwischen finden sich immer wieder autochthone Lagen, wie sie bereits von Frey (1956) beschrieben und erklärt worden sind.

Zu Beginn der Sapropelzone (bei 145 cm) sind die Pigmentwerte relativ niedrig, steigen in der Folge aber rapid auf über 500 ppm an, um bei 100 cm wiederum einen Kulminationspunkt (2000 ppm) zu erreichen. Dieser basale Sapropelabschnitt ist durch Blaualgenpigmente wie Echinenon, Myxoxanthophyll und Ketomoxol, sowie durch sehr hohe Werte von Okenon und Isorenieraten (nach Züllig 1985 das Hauptpigment von *Phaeobium* sp.) gekennzeichnet und deutet auf strikte Sauerstofffreiheit hin. Danach nehmen die Pigmentkonzentrationen, wahrscheinlich infolge der Klimaverschlechterung im Frühmittelalter, welche wieder erhöhte Seespiegel und geringere Produktion zur Folge hat, wiederum bis auf Werte von 150 ppm ab.

Nach dem mittelalterlichen Minimum steigen die Werte bei 50 cm abermals auf über 600 ppm an. Ein Pollengipfel vom *Humulus-Cannabis*-Typ, in derselben Strate, deutet auf verstärkte landwirtschaftliche Nutzung (möglicherweise Hopfenanbau) hin und wird durch das verstärkte Auftreten von Getreide- und Ruderalpflanzenpollen bestätigt (siehe auch Frey 1956). Zu diesem Zeitpunkt tritt das erste Mal Oscillaxanthin in grösseren Konzentrationen auf und es vollzieht sich die Umbildung der Algenpopulationen zu den heute noch vorherrschenden (siehe oben). Danach kommt es wieder zu einem Rückgang der Rohcarotinoidkonzentrationen, vermutlich gleichzeitig mit dem neuzeitlichen Gletscherhochstand, ohne dass sich jedoch die Pigmentgarbnitur qualitativ wesentlich ändert.

Innerhalb der letzten 12 cm steigen die Pigmentwerte abermals, Wahrscheinlich infolge des Fremdenverkehrs leicht auf 300 ppm an, ohne dass es aber zu vergangenen Höchstwerten kommt. Diese Tatsache zeigt die Schwierigkeit einer Bewertung der Pigmentkonzentrationen in Hinblick auf die Eutrophierung eines Sees und die Notwendigkeit, die Vergangenheit und Entwicklung eines Gewässersystems in die Betrachtungsweise miteinzubeziehen. Sprechen wir beim holomiktischen Mondsee bei Rohcarotinoidkonzentrationen von über 150 ppm bereits von »eutrophen« Stadien, so stellen solche Werte im meromiktischen Längsee Minimalkonzentrationen dar.

Wie oben bereits vermerkt, sind die obersten 10 cm heute in allen Seebodenbereichen unterhalb der Chemokline hell gefärbt. Dies wurde durch zahlreiche Kurzkerne und Greiferproben nachgewiesen und deutet auf eine einschneidende Änderung der Sauerstoffsituation hin. Nachdem der See aber immer noch ein stabiles Monimolimnion hat, ist dieses Phänomen nur sehr schwer zu deuten. Regelmässige Untersuchungen des Seebodens seit 1972 und eigene Probennahmen zeigten bis 1984 fein laminierte schwarze Sapropelsedimente unterhalb von 12 m.

Ende Februar 1985 brach durch eine mehrere Tage anhaltende Föhnlage das Eis und der Föhnsturm wühlte den See 2 Tage lang auf. Möglicherweise war die Windenergie so stark, dass der See zu zirkulieren begann. Est ist durchaus denkbar, dass diese Durchmischung auch kurzfristig das Monimolimnion erfasste. Sampl et al. (1979, 1985) haben auf diese Möglichkeit bereits hingewiesen. Dadurch wurden die obersten Sedimentschichten beeinträchtigt und gelangten in den Wasserkörper. Nach etwa 2 Tagen kam es zu einem extremen Kälteeinbruch und der See fror über Nacht zu. Nun konnte kein Sauerstoffaustausch mehr zwischen Wasserkörper und Atmosphäre erfolgen. Die in den Wasserkörper gelangten stark reduzierten Sedimente verbrauchten den grössten Teil des Sauerstoffs und ein Massensterben von Fischen setzte ein. In einer »wilden« Aktion wurde dann der Inhalt von etwa 12 Flaschen Sauerstoff unter die Eisdecke eingebracht, um das Fischsterben hintanzuhalten. (Weder Inhalt noch Kubatur sind bekannt) über die Sinnhaftigkeit solcher Aktionen soll an dieser Stelle nicht beurteilt werden, doch ist es von wissenschaftli-

cher Seite zu bedauern, dass solche Ereignisse nicht rechtzeitig bekannt gemacht werden, um durch seriöse Untersuchungen Aufschluss über Ursachen zu erhalten.

Weiters wurde beim Beprobieren mittels Kajak-Corer festgestellt, dass die obersten 10–15 cm des Sedimentes beim Herausziehen aufschwimmen, was in der Umgangssprache als »ausgasen« bezeichnet wird und auf Methanansammlungen in Sperrhorizonten zurückzuführen ist. Ob aber der gesamte Seeboden von einem solchen Ereignis betroffen sein kann, bleibt zu bezweifeln. Tatsache ist jedenfalls, dass die obersten 10–12 cm des Sediments ungeschichtet also nicht wie der darunter liegende Teil annuell laminiert sind.

Abschliessend soll noch angemerkt werden, dass nicht nur am Längsee schon weitaus »eutrophere« Phasen als heute in der Seenentwicklung bestanden haben, die mit Sicherheit auf klimatische Ursachen zurückzuführen sind.

Der Piburger See

Stammdaten:

Seehöhe (m NN bei Mittelwasser)	931
Seefläche (km ²)	0,134
Max. Tiefe (m)	24,6
Mittlere Tiefe (m)	13,7
Volumen (km ³)	0,1835
Theor. Wassererneuerungszeit in Jahren	2,7
Einzugsgebiet (km ²)	2,65

Quelle: Jagsch & Megay (1982)

Entstehung, Entwicklung und Charakteristik

Der Piburger See liegt im zentralalpinen Ötztal und ist nach Psenner (1983) von Biotitplagioklasgneisen, Granodiorit und Biotitgranit umgeben (Abb. 25). Seine landschaftlich reizvolle Lage, eingerahmt von Bergsturzmaterial nahe der Ortschaft Ötz und seine relativ hohen Temperaturen im Frühjahr und Sommer machten ihn zu einem beliebten Badesee. Die Nährstoffbelastung durch den Anfang der 70-er Jahre einsetzenden Touristenstrom und durch die Errichtung eines Hotels unmittelbar am Ufer machten den See zum »Sanierungsfall«.

Der See ist ein meromiktischer Weichwassersee mit mesotrophem Charakter. 75 % des Seebodens besteht aus kalkfreien, organogenen Sedimenten (Psenner, 1983). Für unsere Untersuchungen stand uns ein Bohrkern mit 75 cm Länge aus dem Profundal zur Verfügung (in dankenswerter Weise von Koll. Rohrs, Göttingen, überlassen).

Profilbeschreibung:

- 75–49 cm: diffus laminierte Detritusgyttja
- 49–48,5 cm: Schluff
- 48,5–30 cm: diffus (fein laminierte) Detritusgyttja
- 30–25 cm: grobe Laminae mit abwechselnd C_{org}-reichen Lagen mit zahlreichen Grossresten
- 25–19,8 cm: Laminierte Detritusgyttja
- 19,8–18 cm: »Letten« (eingeschwemmter Boden)
- 18–15 cm: laminierte Sedimente

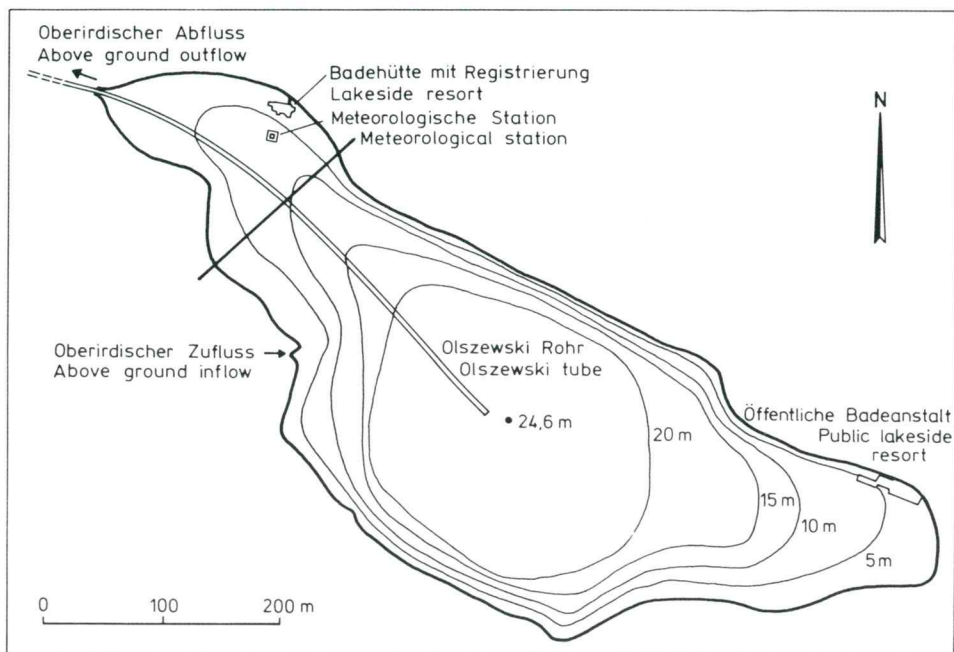


Abb. 25. Lageskizze des Piburger Sees mit Bohrpunkt

Fig. 25. Sketch - Map of position of Piburger Lake with drilling site

- 15–14,5 cm: Schluff
- 14,5–6,5 cm: fein laminierte Sedimente
- 6,5–5,5 cm: Schluff
- ab–5,5 cm: fein laminierte Detritusgyttja

Ergebnisse

Der Bohrkern reichte nicht in »Voreutrophe Sedimente«, sodass der sehr wichtige Vergleich mit den Verhältnissen im Spät- und Frühpostglazial entfallen musste, was eine Interpretation der jüngeren Verhältnisse wesentlich erschwerte.

Zu Beginn des Profils dominieren Farbstoffe von Grünalgen und grünen Pflanzen im allgemeinen. Bei 55 cm treten erste höhere Werte von Blaualgenpigmenten wie Myxol-2'-O-Methyl- Methylpentosid und 4-Ketomyxol-Methylpentosid, sowie in verstärktem Ausmass Okenon und Lycopenal, Carotinoide von Schwefelbakterien, auf. Eine erste Verschlechterung der Sauerstoffsituation infolge höherer Produktion und darauf folgender Zehrprozesse am Seeboden kann diese Situation erklären. Andererseits weisen nahezu unabgebaute Pflanzenreste und gröbere Pflanzenmakroreste, sowie gröbere Korngrößenanteile auf stark allochthone Beeinflussung des Sees hin. Dieser Abschnitt wird von einem Schluffband bei 50 cm beendet. Dieses Schluffband kann das Resultat einer verstärkten Einschwemmung aus dem den See umgebenden Moränenmaterial sein, was zu einer scheinbaren »Reoligotrophierung« des Sees geführt haben mag. Nach diesem Schluffband, in dem die Carotinoidwerte zum Teil unter 100 ppm sinken, kommt es zu einer explosionsartigen Entwicklung

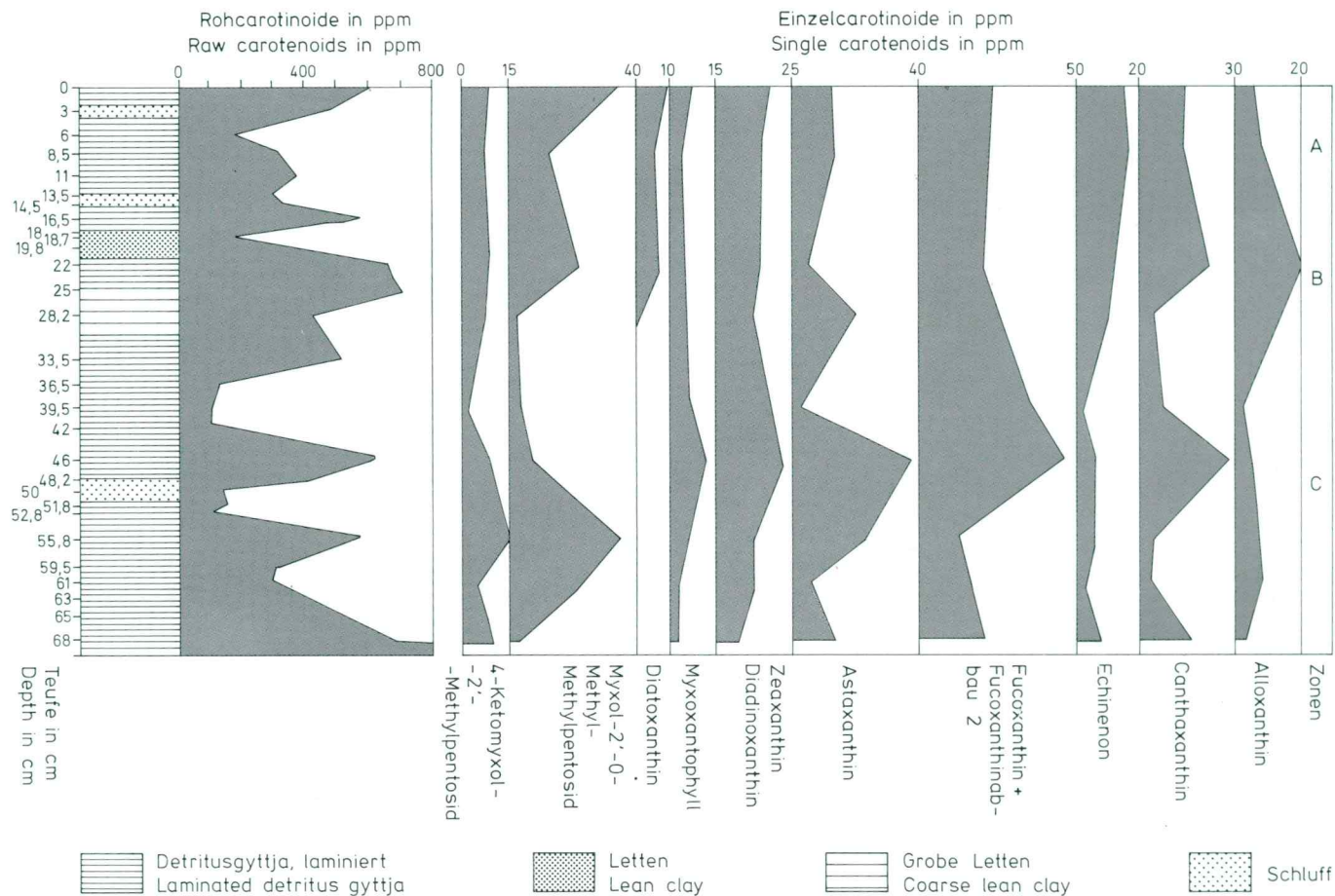


Abb. 26. Darstellung der Veränderung der Konzentrationen von Rohcarotinoiden und Einzelcarotinoiden (Bohkern Piburger See)

Fig. 26. Layout of changing of raw- and single carotenoid concentrations depending to core depth (core Piburger Lake)

von Algenpopulationen, die sich durch sehr hohe Werte von Astaxanthin, Canthaxanthin und Fucoxanthin mit dessen Derivaten dokumentieren (Abb. 26). Offenbar gelangten während der Ablagerung des Schluffbandes mit den Trübestoffen, welche zu einer »Klärung« des Sees führten, genügend Nährstoffe in den See um dann bei optimalen Licht- und Nährstoffverhältnissen eine »Algenexplosion« herbeizuführen. Diese Situation erinnert an die Verhältnisse im Mondsee nach dem Autobahnbau (siehe oben). Die Algenpopulationen wurden hauptsächlich von Grünalengesellschaften, Diatomeen und Chrysophyceen gebildet.

Bei 39,5 cm fällt die Carotinoidkurve abermals auf unter 100 ppm ab. Die Dominanz von Diatomeen und Chrysophyceengesellschaften bleibt aufrecht. Der See durchläuft wiederum eine »oligotrophere« Phase, deren Ursachen aus der Sedimentologie nicht abgeklärt werden können. Dann steigen die Carotinoidwerte wieder auf über 500 ppm und erreichen bei 25 cm einen Höhepunkt. Deutlich höhere Werte erreichen nun wiederum Mykol-2'-O-Methyl-Methylpentosid nach Züllig (1982) ein Hauptpigment von *Oscillatoria limosa* AG. und *Coelosphaerum kuetzingianum* Naeg., sowie Okenon. Daher muß abermals mit einer zumindest temporären Sauerstofffreiheit am Seeboden des Profundals gerechnet werden. Zum ersten Mal tritt Diatoxanthin auf und weist auf eine Änderung in der Algenpopulation hin. »Lettenband« (19,8–18 cm) mit relativ geringen Carotinoidwerten wird als Bodenabschwemmung infolge von Rodungen und damit verbundener geringerer Speicherkapazität von Niederschlägen angesehen. Daraufhin erfolgt abermals ein steiler Anstieg der Carotinoidkurve, wie wir ihn bereits nach dem Schluffband bei 50 cm beobachtet haben und könnte von ähnlichen Faktoren gesteuert sein.

Bei 14,5 und bei 6 cm schieben sich abermals 2 Schluffbänder von geringerer Mächtigkeit ein, die jeweils einen markanten Abfall der Pigmentkurve bewirken. Ab 6 cm steigen die Werte kontinuierlich gegen die Sedimentoberfläche bis auf 600 ppm an. Folgt man den Ergebnissen von Psenner (schriftl. Mitteilung) so ergibt sich auf Grund von ¹³⁷Cs-Analysen für 8 cm ein ungefähres Alter von 1954 und bei 5,5 cm eine Datierung in das Jahr 1963 (Maximum des radioaktiven Fallout) und somit eine durchschnittliche Sedimentationsrate von 0,38 mm pro Jahr.

Diese vorläufigen Ergebnisse müssten noch durch eingehende sedimentologische, geochemische und pollenanalytische Untersuchungen eines bis ins Spätglazial reichenden Bohrkernes abgestützt und ergänzt werden.

Wesentlich für die vorliegende Arbeit sind jedoch die durchschnittlichen Rohcarotinoidwerte, welche zeigen, dass die Problematik bei der Interpretation von quantitativen Pigmentwerten selbst innerhalb von einheitlichen Typen, wie meromiktische Seen nicht unproblematisch ist und noch weitgehenden Forschungen vorbehalten bleiben (vergl. Längsee, Bled-See und Malo Jezero).

Bled-See

Stammdaten:

Seehöhe (m NN bei Mittelwasser)	457
Seefläche (km ²)	1,438
Max. Tiefe (m)	30,2
Mittlere Tiefe (m)	17,9
Volumen (km ³)	2,5
Theor. Wassererneuerungszeit in Jahren	2–3
Einzugsgebiet (km ²)	7,502

Quelle: Löffler (1984)

Material und Probengewinnung

Ausgehend von Untersuchungen durch Molnar et al. (1978) die sich mit dem Ursprung, der Zusammensetzung und der Verschmutzung der rezenten Sedimente befassen und einer Studie von Löffler und Sampl (1982 unpubl.) wurde 1982 aus dem Ostbecken des Bled-Sees ein Langprofil erbohrt und von Löffler (1984) und Schultze (1984 a) paläolimnologisch bearbeitet. Aufgrund der Morphologie des Seebeckens welches aus zwei durch eine Schwelle getrennte Teilbecken besteht, war es notwendig, auch aus dem tieferen Westbecken ein Langprofil abzuteufen um die Seentwicklung besser abschätzen zu können (Abb. 27). 1984 ergab sich in Zusammenarbeit mit der Slowenischen Akademie der Wissenschaften (SAZU) mit den Kollegen Šercelj und Culiberg die Gelegenheit, ein Langprofil aus dem Westbecken abzuteufen und pigmentanalytisch, sowie pollenanalytisch (Šercelj und Culiberg in Vorbereitung) zu untersuchen (Abb. 28). Ein Jahr darauf wurden noch ergänzend 8 Kurzkerne (max. Länge 45 cm) sowie 10 Greiferproben entnommen um die rezente und subrezente Situation näher zu studieren. Vor allem wurde auf die laminierten Sedimente geachtet, da sie eine annuelle Schichtung aufweisen und den Zeitraum der Ablagerungen zeitlich festzulegen erlauben.

Weiters waren die Fragestellung nach dem Beginn der meromiktischen Seephase und die Entwicklung der Eutrophierung des Sees von großer Bedeutung.

Profilbeschreibung des Langkerns

609–590 cm: sandiger Schluff

590–570 cm: Schluff

570–565 cm: Seekreide mit Molluskenresten

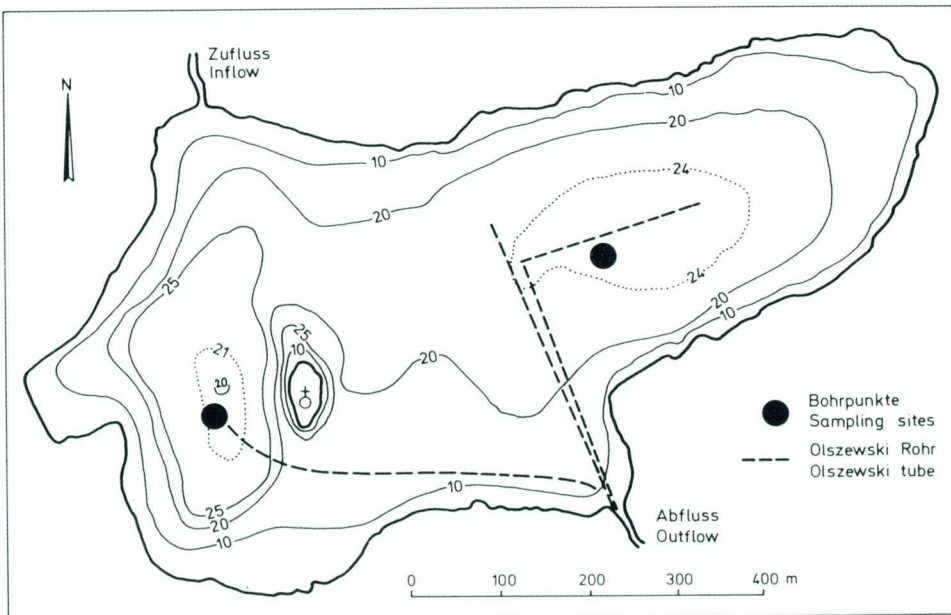


Abb. 27. Lageskizze des Bled-Sees (Blejsko jezero) mit Bohrpunkten

Fig. 27. Sketch – Map of Lake Bled and sampling sites

565–524 cm: Kalkschluff mit Grobdetritus
 524–521 cm: Feinsand mit Mollusken
 521–509 cm: Kalkschluff
 509–480 cm: Kalkschluff rosa gefärbt
 480–380 cm: laminierte Gytija
 380–375 cm: Kalkschluff mit Molluskenresten
 375–345 cm: Feindetritusgyttja
 ab 345 cm: laminierte Gytija

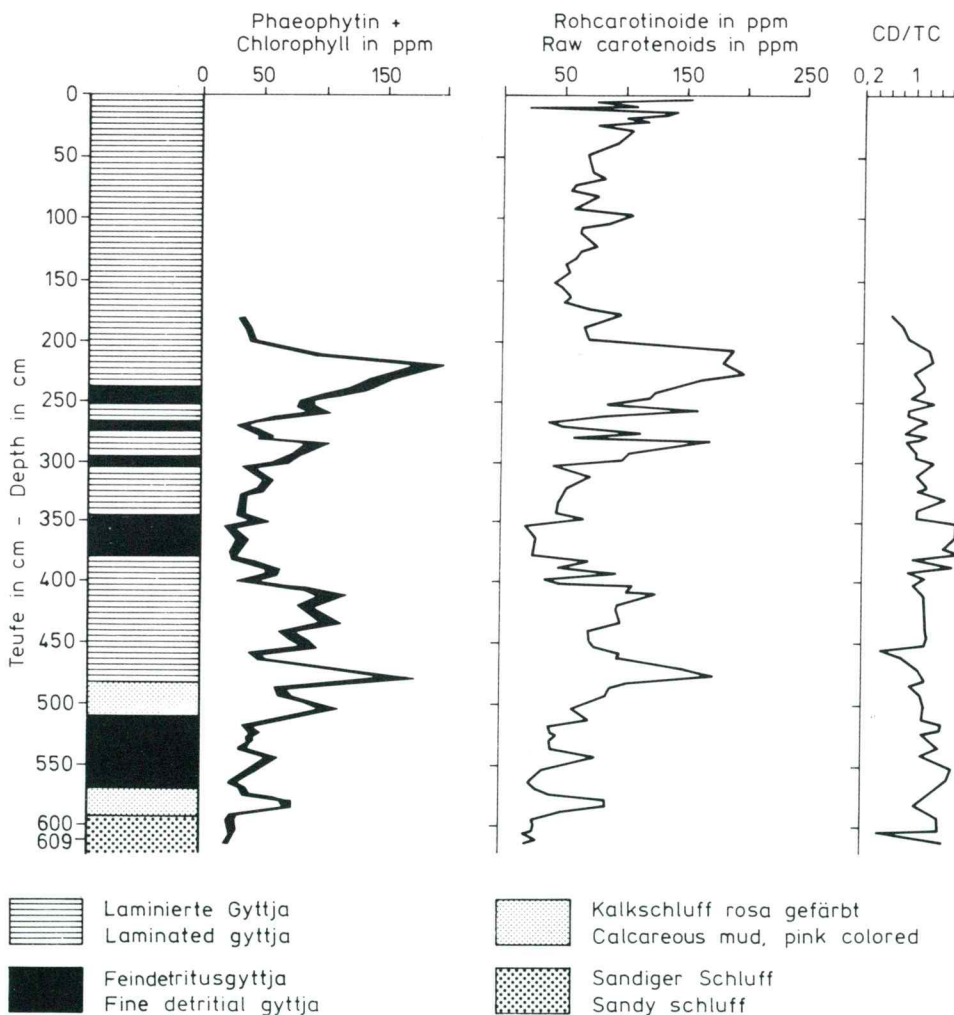


Abb. 28. Darstellung der Veränderung der Pigmentkonzentrationen in Abhängigkeit zur Kernetiefe (Bled-See Westbecken)

Fig. 28. Layout of changing of pigment concentrations depending upon core depth (Lake Bled, western basin, 30 m)

Ergebnisse

Im Abschnitt von 609–509 cm der zeitlich mit dem ausklingenden Spätglazial gleichgesetzt wird, herrschen recht unruhige Sedimentationsbedingungen, die aus der CD/TC Ratio ersichtlich sind. Gut durchlüftete Phasen in denen reiche Bodenfauna (Mollusken, Pisidien) und relativ geringe Konzentrationen von Rohcarotinoiden (hauptsächlich aus Pigmentgarnituren von Chlorophyceen zusammengesetzt) auftreten, wechseln mit Phasen ab, in denen Okenon eine schlechtere Sauerstoffsituation andeutet. Erst ab 500 cm stellen sich konstantere Bedingungen ein, die sich mit aktuellen Verhältnissen vergleichen lassen. Das zeitliche Gerüst, welches mit Hilfe der Pollenanalyse erstellt wird, ist für das vorliegende Profil noch nicht fertiggestellt. Es wurden jedoch an markanten Punkten übersichtsmässig Pollenanalysen vorgenommen, die eine Zuordnung zum Präboreal-Boreal zulassen (Haselgipfel). Zu dieser Zeit kann ein markanter Umbau im Sediment beobachtet werden, der auf eine Wandlung der Zusammensetzung des Phytoplanktons und eine gesteigerte Produktivität des Sees zurückzuführen ist. Es treten deutlich höhere Pigmentkonzentrationen auf und das Vorkommen von Bakterien-carotinoiden, vor allem von Okenon zeigt zumindest temporäre anaerobe Verhältnisse an. Dies scheint eine widersprüchliche Entwicklung zum Ostbecken (Löffler, 1984, Schultze, 1984) zu sein, kann jedoch durch die verschiedenen hydrologischen Verhältnisse in beiden Seebecken begründet werden. (Das Westbecken liegt im Einmündungsbereich der 2 einzigen oberflächlichen Zuflüsse und wird durch stärkeren unterirdischen Wassereintrag gespeist als das Ostbecken. Hydrokarbonatreiche Karstwässer neigen von sich aus schon zu einer Entkalkung. Durch die biogene Entkalkung während der Produktionsphase wird das Sauerstoffdefizit am Seeboden ebenfalls gefördert).

Dass gerade im Präboreal/Boreal höhere Pigmentwerte auftreten, stellt sicherlich keinen Einzelfall dar (siehe oben) sondern ist in allen bisher vom Verfasser untersuchten Seeprofilen, die in diese Zeit zurückreichen, festgestellt worden und wird auch durch neuere Untersuchungen u.a. von Züllig (1985) bestätigt. Die Ursachen stehen im Zusammenhang mit klimatischen Ereignissen – wahrscheinlich tieferen Seespiegelständen infolge trocken-warmen Klimas – und damit erhöhter Produktion im See.

Weitere Unterstützung erfährt diese Annahme durch die im Boreal häufig festgestellten Hiaten (»Hiatus Borealis«) (vergl. Rybnickova & Rybnicek, 1982; Schmidt, 1981) die ebenfalls klimatisch gedeutet werden und mit Tiefständen von Seespiegel und Meeresspiegel zeitlich korrelieren. Zu ähnlichen Ergebnissen kommt Ammann (1986) am Lobsigensee in der Schweiz und beschreibt eutrophierte Sedimente aus dem Boreal und Älteren Atlantikum sowie aus Abschnitten des Jüngeren Atlantikums, die mit der Cortaillod-Kultur parallelisiert werden.

Von 400 cm–350 cm kommt es zu einer drastischen Reduzierung der Pigmentkonzentrationen und zur merklichen Erhöhung der CD/TC Verhältnisse. Diese Tatsache wird mit einem stärkeren »Allochthoneinfluss« infolge erhöhter Niederschlagstätigkeit interpretiert. Die bei 375 cm auftretenden Molluskenreste können durch Umlagerung von litoralen Sedimenten oder durch eine verbesserte Sauerstoffsituation und damit verstärkter Besiedlung des Benthals zustande gekommen sein. Es treten Rohcarotinoidwerte unter 40 ppm auf, was nach derzeitigen Erfahrungen für den Bled-See eine Reoligotrophierung bedeutet. Den Hauptanteil stellen Echinenon, Myxoxanthophyll, β -Carotin, Lutein und Alloxanthin, während Okenon ausfällt.

Ab 354 cm, also etwa gegen Ende des Atlantikums, erhöhen sich die Pigmentwerte

leicht um dann zwischen 296 cm und 200 cm unterbrochen durch stärkere Fluktuationen, maximale Konzentrationen von 190 ppm bei den Rohcarotinoiden und 210 ppm bei den Phäopigmenten zu erreichen. Geringe CD/TC-Werte zeigen, verbunden mit laminierten Sedimenten, ruhige Sedimentationsverhältnisse und durch das verstärkte Auftreten von Okenon eine verschlechterte Sauerstoffsituation an. Dies ist wohl auf trockenes und warmes Klima verbunden mit einem tieferen Seespiegel zurückzuführen. Gleichzeitig kommt es zu einem ersten stärkeren Auftreten der Hainbuche (*Carpinus* sp.) was eine zeitliche Zuordnung in das Subboreal zulässt.

Bei 195 cm kommt es zu einem deutlichen Abfall der Rohcarotinoidkurven auf

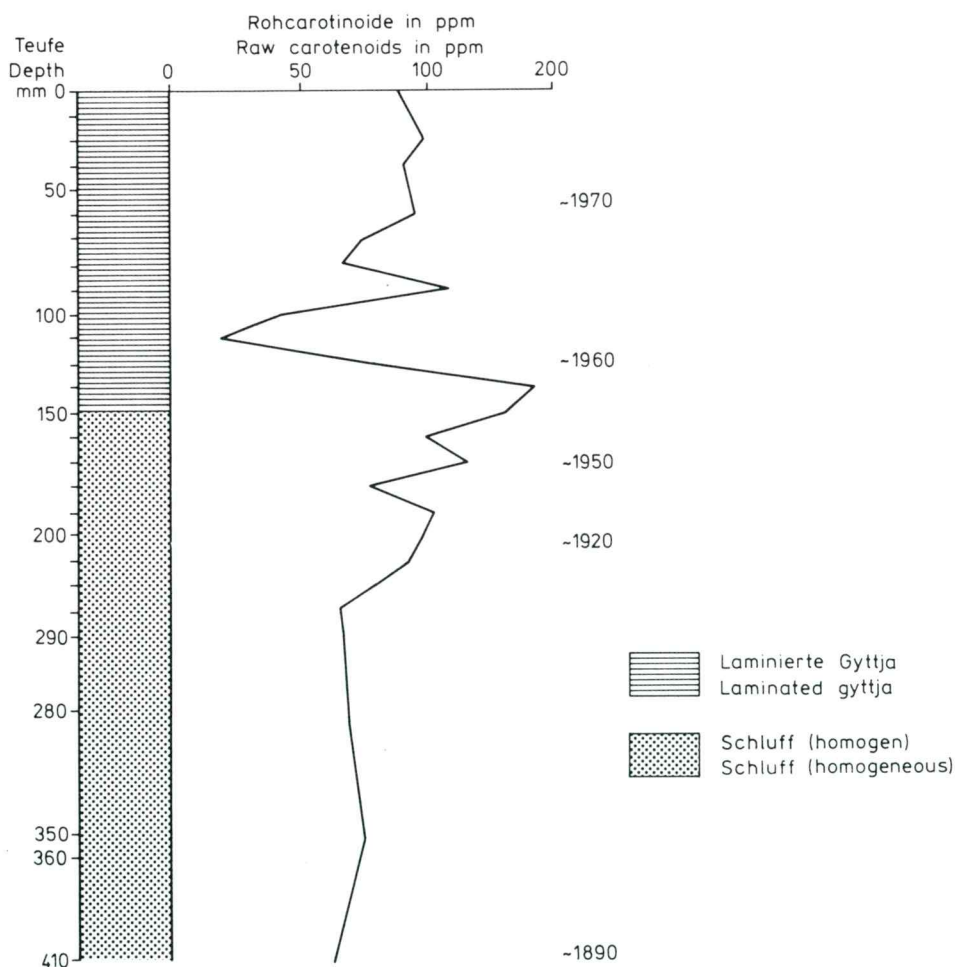


Abb. 29. Darstellung der Veränderung der Rohcarotinoid-konzentrationen im Verhältnis zur Kerntiefe (Bled-See Ostbecken, Kurzkern)

Fig. 29. Layout of changing of raw carotenoids depending upon core depth (Lake Bled, eastern basin, short core)

unter 100 ppm. Durch Zählungen der Laminae, die als annuelle Lagen aufgefasst werden, ergab sich ein Alter von etwa 3000 Jahren vor heute. Der See befand sich zu dieser Zeit in einem mesotrophen Zustand. Bei 150 cm kommt es nochmals zu einem Tiefstand der Rohcarotinoidwerte (40 ppm). Ein Pigmentgipfel bei 100 cm leitet einen Umbau in der Planktonzusammensetzung ein und fällt mit dem ersten massiven Vorkommen von Oscillaxanthin, dem Hauptcarotinoid von *Oscillatoria rubescens* D.C., der Burgunderblutalge, zusammen. Neben Oscillaxanthin, Myxoxanthophyll und Echinenon von Blaualgengesellschaften stammend, findet man ob diesem Zeitpunkt höhere Konzentrationen von Fucoxanthin, Diadinoxanthin und Diatoxanthin, was auf einen Wandel in Richtung Diatomeen- und Chrysophyceengesellschaften, sowie das verstärkte Auftreten von Ceratien und Gymnodien hindeutet. Aufgrund von Zählungen der Laminae, wurde für diese Phase ein Alter von ca. 950 v.h. Jahren festgestellt. Folgt man dem von Kral (1979) gegebenen Klimadiagramm, so liesse sich dieser Abschnitt zwanglos in eine Trockenphase um etwa 900 n.Ch. einordnen. Ohne den laufenden Untersuchungen von Šercelj und Culiberg vorgreifen zu wollen, konnte aufgrund von pollenanalytischen Untersuchungen ein verstärktes Auftreten des *Humulus-Cannabis*-Typs festgestellt werden. Dies zeigt eine verstärkte Besiedlung und Kultivierung des Raumes um den See an. Ob eine Rodungsphase diese Ereignisse begleitet, sollen laufende palynologische Untersuchungen (Šercelj und Culiberg) klären.

Von 85–45 cm folgt dann wiederum eine mässig produktivere Phase während der sich die Zusammensetzung der Algenpopulationen nur unwesentlich ändert.

Ab 40 cm kommt es unter stärkeren Fluktuationen zu einem Ansteigen der Carotinoidkurven mit Hochständen innerhalb der letzten 10 cm.

Um die jüngste Vergangenheit des Bled-Sees näher zu beleuchten, wurde ein Kurzkern (Abb. 29) in geringsten Abständen beprobt und eine zeitliche Zuordnung der Laminae unter der Voraussetzung versucht, dass es sich wie oben gesagt, um annuelle Jahreslagen handelt.

Von 1920–1960 beobachtet man eine Erhöhung der Carotinoidwerte von 80 ppm auf 140 ppm mit Unterbrechungen bei 190 mm und bei 140 mm. Diese meso-eutrophe Phase ist gekennzeichnet durch erhöhte Oscillaxanthin-, Myxoxanthophyll-, Ketomyxol- sowie Okenon- und Lycopenalwerte. Diese treten allerdings verstärkt in den Dunkellagen auf und deuten wie am Mondsee (Klee & Schmidt, 1987) auf partiellen Sauerstoffschwund während der Stagnationsphase hin. Dieses Phänomen kann ohne die Postulation einer Meromixie den Ausfall etwa von Benthosostracoden bewirkt haben, wie Danielopol et al. (1985) am Beispiel des Mondsees eindeutig gezeigt haben.

Nach einer »Reoligotrophierungsphase« anfangs der 60-er Jahre kommt es bei 75 mm nochmals zu Werten von über 100 ppm, die in jüngster Zeit nicht mehr überschritten werden. Jedenfalls ist festzustellen, dass sich seit Anfang der 70-er Jahre die Produktionsverhältnisse im See ziemlich konstant halten.

Dagegen nehmen Löffler und Sampl (1982) aufgrund von Leitfähigkeitsdaten zumindest bis 1982 einen Dichtegradienten für den See an, sodass meromiktische Verhältnisse gegeben waren. Diese Ansicht wird teilweise auch von Vrhovšek et al. (1982) geteilt: »Obwohl die Durchflutung des Sees Homothermie bewirkte, kam es durch die Tiefenwasserableitung zu keiner Reduzierung des Sulfates in tieferen Schichten«. Aus diesen Gründen erscheint die Begründung der Meromixie nur auf Leitfähigkeit und Sulfatgehalt gestützt, zumindest nicht ganz schlüssig.

Ebenso kann auf Grund pigmentanalytischer Untersuchungen das Verschwinden

von *Oscillatoria* nicht bestätigt werden, es sei denn, dass die Jahresschicht von 1982 bei der Beprobung nicht getroffen wurde.

Diese ersten Ergebnisse zeigen die Notwendigkeit weiterer limnologischer und paläolimnologischer Untersuchungen am Bled-See. Gerade in jüngster Zeit hat sich die geochemische Analytik so rasch weiterentwickelt, dass neue Methoden zur Klärung des noch offenen Problems um die Meromixie des Bled-Sees beitragen könnte.

Sollte es sich jedoch beim Bled-See tatsächlich um einen meromiktischen See handeln oder gehandelt haben, bleibt noch die Frage nach den geringen Pigmentkonzentrationen und deren Aussagekraft für die Trophieentwicklung zu klären.

Marine Sedimente

Malo Jezero

Überblick

Mljet ist die südlichste Insel der süddalmatinischen Inselgruppe und die grösste der südlichen Adria. Die Länge beträgt 36 km, die Breite 2–4 km, die Fläche 100,41 km². Die Insel ist gebirgig. Die höchste Erhebung ist der Veliki Grad (514 m) nördlich der Ortschaft Babino Polje.

Wegen seiner Naturschönheiten und wertvollen Kulturdenkmäler wurde der westliche Teil der Insel mit einer Fläche von 3100 ha im Jahre 1960 zum Nationalpark erklärt. Der Veliki Planjak (Montekuc) (389 m) ist die höchste Erhebung im Nationalpark.

Die Insel ist im wesentlichen aus Kreidekalken und Dolomit aufgebaut. Die Berge und Abhänge bestehen aus Kalkstein, die Depressionen aus Dolomit, in denen sich eine dicke, rote Bodenschicht (Terra rossa) abgelagert hat. In diesen Dolinen wird auch die bescheidene Landwirtschaft (Wein- und Olivenanbau) betrieben. Am äusserst südöstlichen Teil der Insel (in Saplunara) sind mächtige, wahrscheinlich äolische Sandablagerungen zu beobachten. Es gibt auf Mljet zwar einige Süswasserquellen, jedoch keine Wasserläufe.

Im Nationalpark liegen 2 »Seen« (Malo- und Veliko Jezero = Kleiner und Grosser See), die ertrunkene Poljen sind (Abb. 30). Die »Seen« sind durch den Kanal Soline mit dem Meer verbunden. Quelle: Exkursionsführer Volarić-Mršić und Regula-Bevilacqua, 1983.

Vorläufige Resultate

Angeregt durch Arbeiten an Bohrkernen im Schwarzen Meer (Arkchangel'ski 1928, 1930), welche einen Modellfall für rezente Jahresschichtung im marinen Bereich darstellen, wurde durch Untersuchungen von Vuletić (1953), Seibold (1955), Seibold et al. (1958), Seibold und Wiegert (1960) ein weiteres marines System mit ähnlich modellhaften Ablagerungen, nämlich der Malo Jezero auf der Insel Mljet entdeckt und Bohrkern aus dem Malo Jezero gewonnen und sedimentologisch, geochemisch und palynologisch (Beug, 1961 und 1962) bearbeitet. Hydrologische und hydrobiologische Untersuchungen (Cvijić, 1955; Pucher-Petković 1957) ergaben für den Malo Jezero meromiktische Verhältnisse. Im allgemeinen enthalten nur die obersten 20 m (bei einer Maximaltiefe von 29 m) Sauerstoff, wäh-

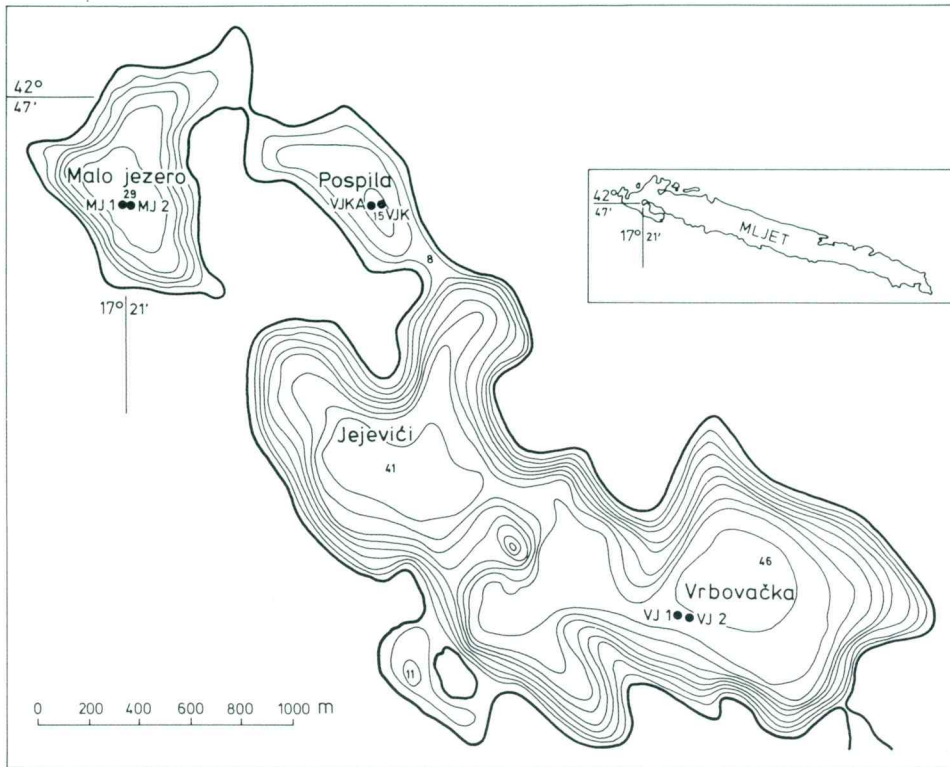


Abb. 30. Lageskizze des Malo Jezero mit Bohrpunkten

Fig. 30. Sketch – Position of Malo Jezero ("Little Lake") with sampling sites

rend darunter das ganze Jahr über Schwefelwasserstoff festgestellt wurde. Der Malo Jezero ist mit dem Veliko Jezero nur durch einen 2,5 m breiten und durchschnittlich 0,2 m tiefen Kanal verbunden, durch den je nach Gezeiten ein reissender Wildbach von Salzwasser herein- oder hinausströmt. Aller Wahrscheinlichkeit nach ist dieser Kanal anthropogener Natur.

Der Malo Jezero wird durch Regen- und Grundwasser gespeist und hat keinen oberirdischen Zufluss. Weil er keinen direkten Kontakt zum Meer hat (der Kanal Soline, der den Veliko Jezero mit dem offenen Meer verbindet ist weit entfernt) soll er ab 19 m keinen Sauerstoff mehr enthalten. Bei unseren Untersuchungen im Mai 1986, 1987 und 1988 konnte jedoch Sauerstoff bis über Grund festgestellt werden.

Nach sedimentologischen Untersuchungen zahlreicher Greifer-proben zeigte sich, dass ca. 50% des Seebodens mit Sand, der bis auf Tiefen von 17 m hinunterreicht, bedeckt ist. Darunter kommen nur noch Mudde – Sedimente vor.

Die Oberflächentemperatur variiert im Verhältnis zum offenen Meer: Die durchschnittliche Sommertemperatur im Meer beträgt 23°C, im Gegensatz zum Malo Jezero mit einer durchschnittlichen Sommertemperatur von 26°C. Im Winter dagegen hat das offene Meer durchschnittlich 12°C, der Malo Jezero 4,5°C. Daraus ist

ersichtlich, dass die oberflächliche Wassertemperatur des Malo Jezero im Sommer höher als im benachbarten Veliko Jezero und im Meer ist, während die Wintertemperatur wesentlich niedriger ist. Die Salinität im Malo Jezero -Oberflächenwasser ist niedriger als im offenen Meer, schwankt aber saisonal. Sie nimmt mit zunehmender Tiefe zu. Daraus folgert Cvetković (1986), dass eine unterirdische Verbindung zum Meer bestehen müsste. Diese Annahme ist sehr interessant und wäre auf Grund der geologischen Gegebenheiten (wir befinden uns in verkarstem Gebiet) nicht von der Hand zu weisen. Eine naheliegendere Deutung wäre aber, dass das kältere und salzreichere und daher schwerere Wasser aus dem Veliko Jezero einfach das wärmere und leichtere Wasser des Malo Jezero unterschichtet. (Eine Situation, wie sie für das Schwarze Meer nachgewiesen ist).

Noch dazu bezieht der Malo Jezero, wie oben erwähnt, die Hauptzuflussmengen durch Regen, was durch die im Mittelmeergebiet sehr starken Winterregen eine jahreszeitliche Aussüssung bewirken könnte.

Material

Nach Angaben von Beug (1961) und Seibold (1955) fehlen an den von Seibold erbohrten Kernen jüngere Partien und eine Erweiterung der Kenntnisse von der Seeentwicklung sei nur durch längere Bohrkerne zu ermöglichen.

Aus diesem Grund wurde nach einer Gelegenheit gesucht, längere Bohrkerne mit modernen Geräten abzuteufen und den ganzen Fragenkomplex nochmals zu bearbeiten. Im Mai 1986 wurden dann aus dem Malo- und Veliko Jezero je 2 Sedimentkerne entnommen und auch die westlichste, flache Teilbucht des Veliko Jezero beprobt.

Zu unserer Überraschung fanden wir die von Seibold in einem Profil von nur 150 cm gefundene Sequenz in einem Bohrkern mit fast 5 m Länge grossteils bestätigt. Sedimentechographische Untersuchungen durch J. Müller (in Vorber.), die der Erkundung der Lagerungsstrukturen der Seesedimente dienten, zeigten im tiefsten Beckenbereich »kraterartige« Strukturen, deren Deutung noch zukünftigen Untersuchungen vorbehalten bleibt (siehe Abb. 31).

Exkursionen zu den auf der Insel noch existierenden Süßwasserseen (Blatina-Polje und Babino-Polje) ermöglichten dann eine Erklärung dieser Strukturen: In den beiden vorgenannten Seen wurden rezente Quelltrichter gefunden, wie sie für Karstgebiete allgemein charakteristisch sind. Ein solcher »Quelltrichter« wurde mittels Echographen vermessen und Sediment- und Wasserproben davon entnommen. Es zeigte sich, dass solche Quelltrichter in allen »Alterungsstufen« auftreten. Viele sind noch intakt und führen Süßwasser zu. Einige sind teilweise oder ganz verlandet. Die Seibold'schen Bohrkerne könnten also beispielsweise von einem solchen »Kraterrand« stammen, wo die Sedimentation durch das aufdringende Grundwasser gestört wird und zu teilweiser Abtragung führen kann.

Aus dieser Erfahrung wurden im Profundal für die Bohrungen jeweils Probenpunkte ausgewählt, die keinerlei Störungen oder von randlichen Hangrutschungen beeinflusste Sedimente zeigten.

Profilbeschreibung

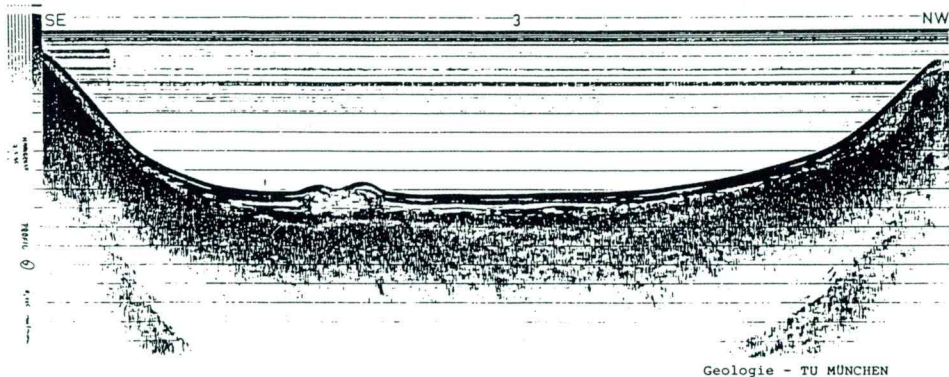
(MJ 1) 29 m

485–434 cm: roter »Boden« mit schwarzen Einschlüssen

434–380 cm: graubrauner Schluff

380–352 cm: graubrauner Schluff mit violett Ton

- 352–320 cm: Torfpaket mit eingestreuten Schlufflagen
 320–314 cm: gelbbraune Kalkgyttja
 314–310 cm: dunkelbrauner Torf
 310–295 cm: braune Feindetritusgyttja mit einem Tuffband von 297–296 cm
 295–244 cm: mehr oder weniger homogene, dunkelbraune Feindetritusgyttja
 244–195 cm: vorwiegend dunkle, laminierte Sedimente
 195–159 cm: groblaminiertes Sediment mit hell-dunkel Wechsellagen
 159–137 cm: Wechsellagen zwischen olivgrünen und dunkelbraunen Sedimenten mit undeutlicher Bänderung

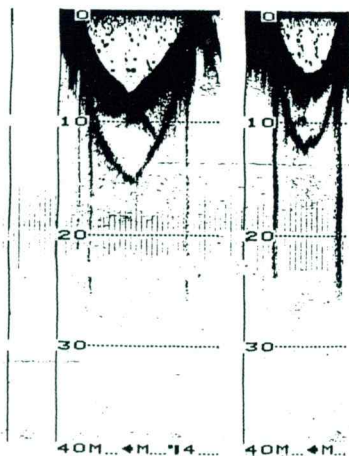


MALO JEZERO / MLJET

PROFIL No. 3 (SE - NW)

Sedimentechographie (3.5 KHz)

Abstand zwischen Längsstrichen 2.15 Ms = 3.2 m



Blatino Polje

Abb. 31. »Alter« und rezenter Quelltrichter im Malo Jezero bzw. in Blatino Polje

Fig. 31. "Old" and recent spring pits in Malo Jezero and Blatino Polje

- 137–81,5 cm: olivgrüne Gytja mit dunklen Schichten
- 81,5–69 cm: olivgrüne, laminierte Gytja
- 69–48 cm: hell bis dunkelbraune Wechsellagen; helle Lagen fein laminiert
- 48–35 cm: graubraune unregelmässig laminierte Schichten
- 35–10 cm: hellgrauer laminierter Kalkschluff
- 10–0 cm: Kalkschluff, wasserreich ohne Laminæ

Ergebnisse

Die Sedimente bis 350 cm enthalten – wenn überhaupt – nur geringste Pigmentmengen, wie sie in terrestrischen und telmatischen Systemen im allgemeinen aufzutreten pflegen. Bis 340 cm treten zudem noch hohe CD/TC-Werte auf, die als Anzeichen von Allochthonie dienen können. Ab 330 cm kommt es zu ruhigeren Sedimentationsbedingungen mit steigenden autochthonen Einflüssen welche durch eine Tufflage bei 295 cm unterbrochen werden. Die Rohcarotinoide erreichen Werte von über 250 ppm. Den Hauptanteil nehmen Carotinoide von Grünalgen und Chrysophyceen ein. Erste stärkere Konzentrationen von Okenon und Isorenieraten deuten auf verstärktes Auftreten von Schwefelbakterien und schlechte Sauerstoffverhältnisse hin. Geochemische Analysen (J. Müller, schriftl. Mitt.) zeigen die höchsten C_{org} -Konzentrationen im Profil. Sie erreichen Werte von über 20 % C_{org} des Trockengewichts. Der Malo Jezero durchlief zu dieser Zeit seine »erste« ausgeprägte Seephase, nachdem das während des Pleistozäns trockene Polje eine telmatische Phase mitgemacht hatte. Während des Spätglazials kam es zu einer Anhebung des Meeresspiegels und damit auch des Grundwassers, sodass sich im Laufe der Zeit Wasseransammlungen im Polje des Malo Jezero bildeten und sich durch diese Vernässung ein Flachmoor entwickeln konnte, was zahlreiche vorgefundene Makroreste von Wasserpflanzen bestätigen (Beug, 1961; Jahns, 1988).

Nach dieser Tufflage, deren Alter und Herkunft Gegenstand von laufenden Untersuchungen ist, kommt es erneut zu einem Ansteigen der Pigmentkonzentrationen und vom C_{org} unter ähnlichen Verhältnissen wie vor der Tufflage. Bei 255 cm schaltet sich ein Schluffband mit sehr geringer Pigmentkonzentration und ohne Bakterienpigmente ein. Es herrschten offenbar feucht-kühlere Klimaverhältnisse mit einem höheren Wasserstand und besserer Sauerstoffversorgung. Hier treten erstmals grössere Mengen von Ostracoden auf und deuten auf eine Besiedlung des Seebodens durch wühlende Organismen hin. Ab 250 cm kommt es zu einer explosionsartigen Phytoplanktonentwicklung und bei 235 cm zu den höchsten im Profil gemessenen Pigmentwerten (Abb. 32). Der Seespiegel wurde offenbar unter trockenwarmen Klimabedingungen abgesenkt und die Produktion im See erhöht. Es sind abermals erhöhte Okenonwerte vorhanden, die auf schlechte Sauerstoffverhältnisse am Seeboden hinweisen. Eine strikte Laminierung beweist auch das Ausfallen der Besiedlung des Seebodens durch wühlende Organismen. Ergebnisse von meromiktischen Seen, wie dem oben erwähnten Längsee, lassen eine mögliche Einstufung in das Boreal zu, müssen aber noch durch weitere Datierungen, wie ^{14}C und palynologische Untersuchungen erhärtet werden. Solche Analysen werden derzeit durch eine internationale Arbeitsgruppe erstellt.

Gegen 200 cm zu verringern sich die Pigmentkonzentrationen und erreichen bei 180 cm einen Tiefpunkt. Die Ursachen können abermals in feuchten und kühlen Klimaentwicklungen während des Älteren Atlantikums (VI) und einer damit verbundenen Transgression gesehen werden. Bestätigt wird diese Annahme durch biostrati-

graphische Befunde wie Diatomeenanalysen von Schmidt (mündl. Mitt.) auf Grund derer sich eine schrittweise Wandlung der limnisch-brackischen Formen zu marinen Diatomeengesellschaften vollzieht. Offenbar stehen wir am ersten Höhepunkt der Flandrischen Transgression. Weitere laufende Untersuchungen an Ostracoden, Foraminiferen und Coccolithineen durch jugoslawische Kollegen aus Ljubljana und Zagreb sollen Auskunft über diesen Fragenkomplex geben.

Von 160–135 cm schliesst sich ein Sedimentpaket mit abermals erhöhten Pigmentwerten, vor allem mit Bakterien- und Grünalgenpigmenten, an. Das Klima war offensichtlich wieder trockener und wärmer, der Seespiegel tiefer. Die erhöhte Produktion in dem nun kleineren Gewässer führte zu einer Eutrophierung und zu wesentlich schlechterer Sauerstoffsituation, was durch hohe Konzentrationen von Okenon und Isorenieraten bestätigt wird.

Zwischen 130 und 110 cm kommt es zu einer »Reoligotrophierung« und zu einer besseren Durchlüftung des Sediments infolge einer erneuten Transgression.

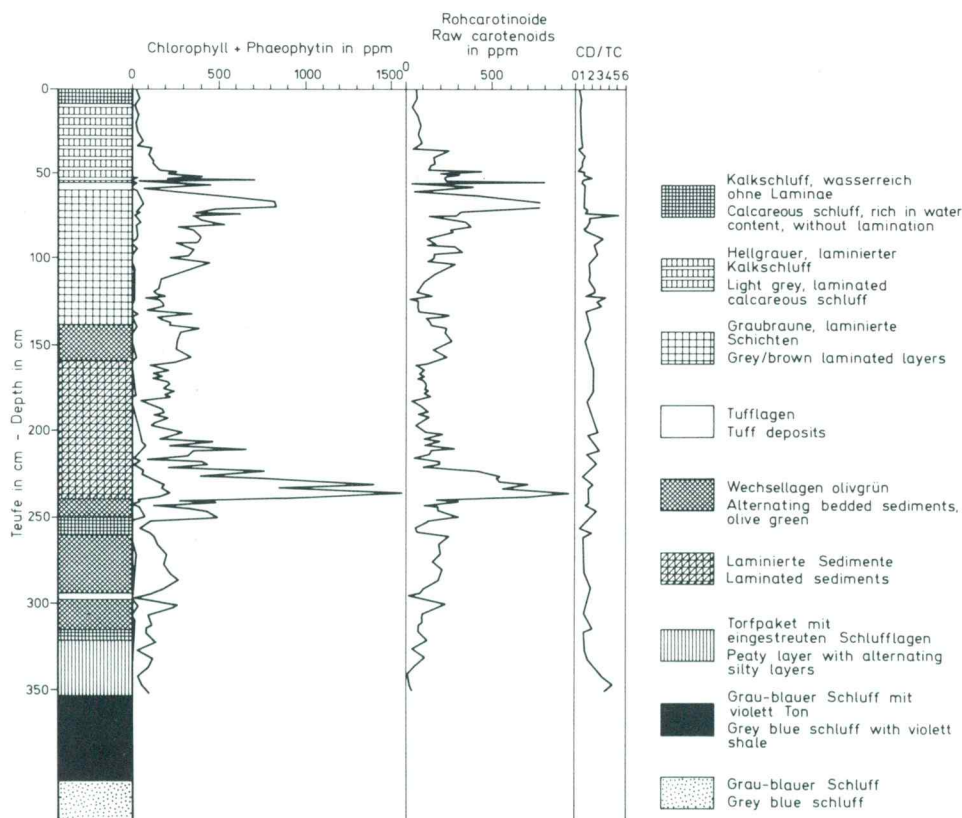


Abb. 32. Darstellung der Veränderung der Pigmentkonzentration in Abhängigkeit zur Kerntiefe (Kern Malo Jezero, MJ 1)

Fig. 32. Layout of changing of concentration of pigments depending upon the core depth (core Malo Jezero, MJ 1)

Ein abermaliges Ansteigen der Pigmentkonzentrationen bis zu einem Maximum bei 65 cm, mit vorherrschender Führung von Bakterienfarbstoffen und einem schwarzen Sedimentpaket zwischen 70 und 63 cm, zeigt wieder warm-trockene Klimaverhältnisse mit extrem starker Produktion.

Nach mehreren Fluktuationen, die auf Allochthoneinfluss oder Turbidite hindeuten, in denen eine Verdünnung der Pigmente auftritt, setzen bei ca. 50 cm echte »marine« Kalkschluffe ein, die mit dem Kalksapropel im Schwarzen Meer verglichen werden können (Seibold et al., 1958). Seither herrschen im Malo Jezero marine Verhältnisse, mit dem Unterschied, dass der Artenreichtum bei weitem nicht so gross ist, wie im offenen adriatischen Meer. Im Veliko Jezero treten diese Sedimente in einer viel grösseren Mächtigkeit auf. Das kann durch die relativ abgeschlossene Lage des Malo Jezero und die geringere Öffnung zum Meer erklärt werden.

Nimmt man nicht allzu grosse tektonische Ereignisse in den letzten 10 000 Jahren an, was die parallele Lagerung der Beckensedimente im Malo Jezero unterstreicht, so bleiben nur eustatische Meeresspiegelschwankungen, die mit Sicherheit grossklimatische Ursachen haben, als Erklärung für oben beschriebene Phänomene.

Untersuchungen von Sedimenten in und am Rand von rezenten Quelltrichtern aus dem Süsswassersee von Blatino Polje zeigten deutliche Unterschiede im Pigmentgehalt und sind verglichen mit Sedimentoberflächenproben aus dem freien Flachwasser extrem niedrig. Nachdem aber auch unterirdische Süsswasserquellen für den Veliko- und Malo Jezero vermutet werden, kann bis zum Abschluss der Untersuchungen etwa im Jahr 1989 noch keine endgültige Schlussfolgerung gezogen werden.

Die von Cvijić (1955) beschriebenen und von Buljan (1956) entdeckten H_2S -Vorkommen und damit verbundenen Vorkommen von »Red Water« – Phänomenen konnten im Zuge unserer Probennahme im Mai 1986, 1987, 1988 nicht vorgefunden werden. Wohl aber enthalten die laminierten Sedimente ab –11 cm Spuren von Okenon und Isorienraten, was auf Bakterienvorkommen hindeutet. Aus diesem Grund wurden noch Greiferproben der obersten 10 cm und Kurzcores entnommen, die keine Laminierung zeigten. Das wurde auch durch einen Freezing-Core bestätigt.

Das heisse, dass entweder die im Mai 1986, 1987, 1988 festgestellten Beobachtungen nicht relevant sind, oder dass das Auftreten von *Rhodospseudomonas* auf die herbstliche Stagnationsphase beschränkt ist.

Sollten die von Cvijić (1955) festgestellten Verhältnisse heute nicht mehr zutreffen, so müssten seit 1955 10 cm Sediment abgelagert worden sein. Die Sauerstoffsituation bleibt während der Ablagerung der obersten 10 cm jedenfalls so günstig, dass keine Laminierung auftritt.

Neuere Ergebnisse zur Chronologie

Der Bohrkern Malo Jezero (MJ 1) (siehe Abb. 33) wurde von Jahns (1988) pollenanalytisch untersucht und mit älteren ^{14}C – Datierungen und pollenanalytischen Ergebnissen von Beug (1961, 1962) und neueren von Brande (1973) aus der Neretva – Mündung verglichen.

Daraus ergab sich eine gute Übereinstimmung mit dem in dieser Arbeit postulierten Klimaablauf auf Grund der Interpretation der pigmentanalytischen Daten.

Auf Grund der Übertragung der oben zitierten älteren Datierung auf Bohrkern des Malo und Veliko Jezero ergibt sich für Jahns (1988) folgende Einschätzung des Alters.

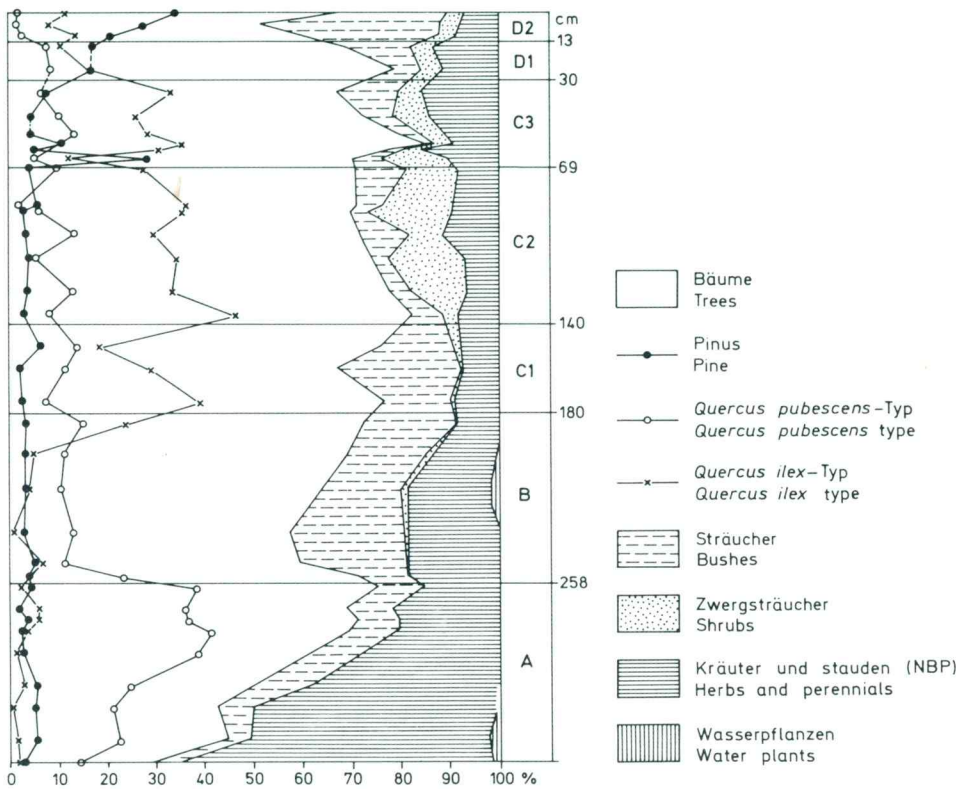


Abb. 33. Pollenprofil Malo Jezero (MJ 1) (aus Jahns, 1988)
Fig. 33. Pollen diagram of Malo Jezero core (MJ 1) (from Jahns, 1988)

Tabelle 3. Chronologische Daten zum Pollenprofil Malo Jezero (aus Jahns, 1988)

Table 3. Chronological data to pollen profile of Malo Jezero (from Jahns, 1988)

Zonen	Alter	Sedimenttiefe (cm)
Zone A	: ca. 7000 - 8000 v.Chr	340 - 258
Zone B	: ca. 5600 - 4300 v.Chr.	258 - 180
Zone C1	: ca. 4300 - 2200 v.Chr.	180 - 140
Zone C2	: ca. 2200 - 400 v.Chr.	140 - 69
Zone C3	: ca. 400 - 0 v.Chr.	69 - 30
Zone D	: ca. 0 - ? n.Chr.	30 - 0

Ältere limnische Ablagerungen

Das Interglazial / Interstadial Mondsee

Ausgehend von Arbeiten von Klaus (1975, 1983) und eigenen Aufnahmen gemeinsam mit Tölderer-Farmer von Profilen am Steinerbach und Pichlerhang (Schultze, 1985) wurde der Frage nach der Konservierbarkeit von Pigmenten nachgegangen.

Die Sedimente sowohl aus dem Interglazial als auch aus dem Interstadial zeigen geringe Farbstoffkonzentrationen. Neben Phaeophytin und Chlorophyll-a die mit je 40–50 ppm den Hauptanteil darstellen, kommen noch Carotine, vor allem ss-Carotin, sowie die Carotinoide Astaxanthin, Lutein und Neoxanthin vor. Die Hauptverbreitung (s.o.) haben diese Carotinoide in allen grünen Pflanzen, aber auch spezifisch in Grünalgen. Die geringe Konzentration und die Zusammensetzung erinnert an oligotrophe Sedimente wie sie am Funtensee und in litoralen oder durch Strömungen beeinflussten Sedimenten des Mondsees (s.o.) auftreten. Zahlreiche Funde von Characeen (Tölderer-Farmer, mündl. Mitt.) und von Pflanzenmakroresten (Klaus, 1975) unterstreichen ebenfalls den litoralen Charakter der Sedimente. Die Verteilung der Rohcarotinoide ist in Tab. 4 gegeben.

Tabelle 4. Mondsee Interstadial/Interglazial (pigmentanalytische Ergebnisse)

Table 4. Pigment analytical data for the Mondsee interstadial/interglacial

	Teufe	Rohcarotinoide (ppm)
Ph 1	60 cm	30
Ph 2	70 cm	38
Ph 3	80 cm	28
Ph 4	90 cm	34
Stb 1	0 cm	40
Stb 2	20 cm	46
Stb 3	40 cm	32
Stb 4	50 cm	18

Pigmentanalytische Untersuchungen an Proben aus dem Neogen im Lavanttal

Aus mehreren Gründen wurden auch ältere Überreste aus limnischen Ablagerungen untersucht. Herr Chefgeologe Dr. Beckmanaghetta überliess mir Phosphoritknollen aus den limnischen Ablagerungen des Neogen des Lavanttales. Aller Wahrscheinlichkeit nach handelt es sich wohl um Koprolithen Wasserpflanzenfressender Tiere. Aufgrund der nachweisbaren Diatomeen- und Chlorophyceenreste – bei letzteren handelt es sich um die gegen chemische Einflüsse überaus resistenten Reste von *Pediastrum* – könnte sogar auf planktonfressende Grossfische geschlossen werden.

Die Rohcarotinoide in Phosphoriten sind äusserst gering konzentriert. Die Möglichkeit der Zerstörung von Pigmenten durch Verdauungssäfte darf nicht ausser acht gelassen werden (siehe oben).

Analysen von Fäces von Planktonfressern (rezent, Aquarium und Darmanalysen) zeigten jedoch eindeutig vielfach höhere Carotinoidwerte.

Allerdings ist zu beachten, dass die untersuchten Phosphorite aus dem Hangenden der Kohlenflöze stammen, sodass gewisse terrestrische oder semiterrestrische Einflüsse nicht vernachlässigt werden können (vergl. Klaus, 1971).

Vorläufige Ergebnisse pigmentanalytischer und palynologischer Untersuchungen von hangenden Abschnitten der Bentonite von Weingruben bei Drassmarkt im Burgenland

Im Zuge von archäologischen Untersuchungen stiess man bei Grabungen in Drassmarkt im Burgenland auf eine etwa 2,5 m mächtige Ablagerung von laminierten Bentoniten. Nach Bachmayer (briefl. und mündl. Mitt.) sind einige Lagen papierdünn («Papierschiefer») und reich an organischem Material. Aufgrund von Grossreanalysen (Bachmayer in Vorb.) liegt der Schluss nahe, dass es sich um jahreszeitliche Ablagerungen handelt. Durch pigmentanalytische und mikrostratigraphische Untersuchungen (Diatomeen-Jahresabfolgen) sollte diese Annahme erhärtet werden.

Ergebnisse

Die untersuchten Sedimente zeigen einen durchwegs niedrigen Pigmentgehalt mit geringen quantitativen Unterschieden. Solche Spektren sind aus dem Interglazial (Mondsee) (Schultze, 1985) und dem Neogen im Lavanttal (siehe oben) bekannt.

Die Rohcarotinoide (RC) schwanken zwischen 2 und 9 ppm und zeigen einen Gipfel bei 16 cm. Stärkeren Konzentrationsunterschieden sind Chlorophyll und dessen Derivate (CD) wie etwa Phaeophytin (schwarz in Abb. 34) unterworfen. Sie bewegen sich im Bereich von 1–18 ppm und erreichen den höchsten Wert bei 13,5 cm.

Wie Erfahrungen durch Untersuchungen interglazialer, postglazialer und rezent-ter Sedimente aus dem Mondsee gezeigt haben, ist die Primärproduktion bei CD:RC >3 äusserst gering (Schultze, 1985). Aufgrund der vorgefundenen Characeenreste dürfte es sich um eine Litoralfazies handeln, wie sie in manchen Ausständen (Altarmen) vorkommt. Diese Annahme wurde durch qualitative dünnschichtchromatographische Untersuchungen verdeutlicht. Es fanden sich hauptsächlich Carotinoide wie Lutein, Neoxanthin und Canthaxanthin (Pigmentgaritur aller grünen Pflanzen, vor allem aber bei höheren Pflanzen und Grünalgen anzutreffen), während Pigmentkomplexe von Blaualgen (Myxoxanthophyll, Aphanizophyll und Echinenon) sowie die von Diatomeen (Fucoxanthin und dessen Derivate) kaum nachweisbar waren. Solche Ergebnisse treten entweder bei extrem geringer Produktivität oder im Litoralmilieu auf.

In keiner der untersuchten Proben konnten Diatomeenreste gefunden werden (Schmidt, mündl. Mitt.). Die Ursachen dafür können sehr unterschiedlicher Natur sein. So ist bekannt, dass in stark alkalischem Milieu selten Diatomeenschalen vorzufinden sind. Die physiologischen Zusammenhänge sind jedoch noch nicht genügend geklärt, sodass hiezu keine zwingende Aussage möglich war. Wahrscheinlich werden die Schalen nach Absterben der Populationen während des Sedimentationsprozesses aufgelöst oder, wenn es sich wie angenommen um litorale Ablagerungen handelt, fehlen planktische Diatomeen weitgehend.

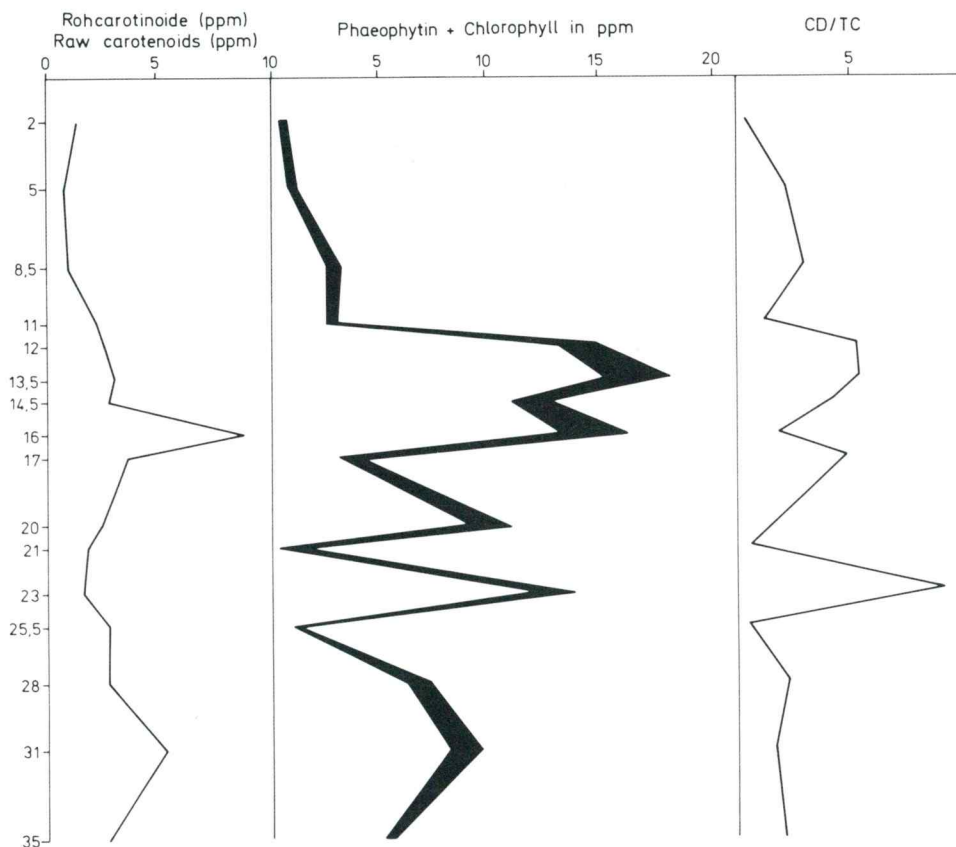


Abb. 34. Darstellung der Veränderung von Pigmentkonzentrationen in Abhängigkeit zur Profiltiefe (Profil Weingruben)

Fig. 34. Layout of changing of pigment concentrations depending upon core depth (core Weingruben)

Der Vollständigkeit halber wurden pollenanalytische Untersuchungen durchgeführt, die einen überraschend guten Erhaltungszustand der Sporomorphen erkennen liessen und sicherlich noch ergiebige wissenschaftliche Erkenntnisse vermitteln könnten. In Tab. 5 sind die vorgefundenen Typen aufgelistet, sie sollten aber noch einer kritischen Bestimmung zugeführt werden.

Über die stratigraphische Stellung des Sporomorphenaspekts ist zu sagen, dass sich das Typenspektrum nicht wesentlich von den von Klaus (1984) beschriebenen, jüngeren sarmatischen Mikrofloren unterscheidet. Es kann daher von palynologischer Seite das Oberbaden-Alter der untersuchten Schichten nicht ausdrücklich bestätigt werden.

Tabelle 5. Sporomorphenliste von Weingruben/Drassmarkt (oberes Badenien?)

Table 5. List of sporomorphs of Weingruben/Drassmarkt (Upper Badenian?)

<i>Carya</i> - <i>Pollenites simplex</i> (R. Pot.) Thomp. u. Pfl.
<i>Inaperturopollenites hiatus</i>
<i>Sabalpollenites</i> - <i>Sabaloidites areolatus</i> R. Pot.
<i>Pinus haploxyylon</i> (<i>Cathaya pollenites</i> ?)
<i>Engelhardtioipollenites quietus</i> R. Pot.
<i>Intraporopollenites</i> sp.
<i>Inaperturopollenites dubius</i> (R. Pot.)
<i>Quercus pollenites</i> - <i>Quercoidites microhenrici</i> R. Pot.
<i>Nyssa</i> - <i>Pollenites analepticus</i> R. Pot.
<i>Araliaceoipollenites edmundi</i> R. Pot.
<i>Pollenites bituites</i> R. Pot.
<i>Salix</i> - <i>Tricolpopollenites retiformis</i> Thomp. U. Pfl.
<i>Myrica</i> - <i>Myricaceoipollenites megagranifer</i> R. Pot.
<i>Monocolpopollenites ceratus</i> (R. Pot. u. Ven.) Pfl. u. Thomp.
<i>Tetracolpopollenites sapotoides</i> Pfl. u. Thomp.
<i>Ephedra</i> sp.
<i>Pterocarya</i> - <i>Pollenites stellatus</i> ?
<i>Abies</i> - <i>Abietipollenites</i> sp.
<i>Olaceae</i> - <i>Olaripollis mathesi</i> Krutzsch Krutzsch
<i>Picea</i> - <i>Pollenites zaklinskaya</i> (Nagy)
<i>Liquidambar</i> sp.
<i>Fagus</i> cf. <i>mexicana</i> Typ
<i>Fraxinus</i> sp.
<i>Ulmus</i> sp.
<i>Castanea</i> Typ
<i>Alnus pollenites</i> - <i>Alnipollenites verus</i> R. Pot.

Danksagung

Dank schuldet der Verfasser der Österreichischen Akademie der Wissenschaften für die Ermöglichung zahlreicher Forschungsreisen; dem Institut für Limnologie für die Arbeitsmöglichkeit, besonders den Kollegen Doz. Dr. D. Danielopol und Doz. Dr. R. Schmidt für zahlreiche fruchtbare Diskussionen, meiner Laborantin Frau L. Eisl für die sorgfältigen und zeitraubenden Analysen, Herrn R. Niederreiter für die Konstruktion verschiedenster Geräte und für ständige Mitarbeit bei den Bohrungen; den Kollegen Prof. Dr. J. Schneider, Dr. J. Röhrs und Dipl. Geol. J. Helbig, Göttingen; den Kollegen M. Handl, W. Geiger und M. Pöckl für zahlreiche Diskussionen; Dr. J. Müller (München) für fachliche Diskussionen und zahlreiche Analysen; meinen Kollegen Frau Prof. Dr. A. Sokać, Prof. Dr. A. Šercelj und M. Culiberg für die Hilfe

und Gastfreundschaft in Jugoslawien, den Herren J. Nodilo, N. Stražičić und M. Radulj für Gastfreundschaft und Hilfe bei den Arbeiten im Nationalpark Mljet; Frau I. Gradl für die Ausfertigung des Manuskriptes; Herrn K. Maier für Unterstützung bei der Anfertigung von Zeichnungen; Herrn Dr. H. Züllig für die Unterstützung bei methodischen Fragen und die Einschulung in neue Methoden. Ganz besonderen Dank schuldet der Verfasser seiner Frau Sabine für ihr Verständnis und ihre Hilfe beim Zustandekommen dieser Arbeit. Nicht zuletzt sei Herrn Univ. Prof. Dr. G. Tichy für die kritische Durchsicht des Manuskriptes, Frau C. Huber für die Unterstützung bei der Endausfertigung, Herrn cand. phil. H. Wimmer für das Layout und Prof. S. Buser für die Übersetzung gedankt.

Zusammenfassung

Anhand von pigmentanalytischen, pollenanalytischen und geochemischen Untersuchungen wurden folgende Ergebnisse herausgearbeitet. Durch pigmentanalytische Untersuchungen kann:

1. der Trophiegrad von Seesedimenten grob abgeschätzt werden. Die Aussagekraft hängt vom Seetyp und seiner Entwicklung ab.

1.1. Für oligotrophe Seephase, wo die Pigmentkonzentrationen sehr gering sind, lassen sich Populationen nur schwer abschätzen. Solche Sedimente werden entweder bei geringer Produktion oder bei starker Durchströmung von limnischen Systemen gebildet. Dabei ist eine Trennung von starker Sedimentakkumulation durch allochthonen Eintrag oder durch Abtrag aus dem Litoral und geringer Phytoplanktonproduktion schwer möglich.

Der von verschiedenen Autoren eingeführte Index Chlorophyllderivate: Totalcarotinoide (CD/TC), der zur Abschätzung des allochthonen Einflusses (allochthon = auch Eintrag aus dem Litoral) dient, hat zu einigen Missverständnissen geführt. Während Swain (1985) hohe CD/TC-Werte auf Vorherrschen von Oligotrophie und grosse Veränderungen der Pflanzengesellschaften, die die Primärproduzenten dominieren, zurückführt, interpretieren Sanger und Gorham (1972) hohe CD/TC-Werte (z. B. an Profilen aus dem Kirchner Marsh) als ein Mass grösseren Inputs an allochthonem organischen Material.

In dieser Arbeit wird die Auffassung von Likens und Davis (1975) u.a. geteilt, wobei die CD/TC Ratio als Ausdruck des Allochthon-: Autochthon-gleichgewichtes anzusehen ist.

In oligotrophen Seen sind daher qualitative Betrachtungsweisen von vorkommenden Einzelcarotinoiden für die Charakterisierung der Seenentwicklung besser geeignet als Konzentrationen.

1.2. Eutrophe Sedimente und Seephase, für die Züllig (1982, 1984) eigens die in dieser Arbeit verwendete Methode entwickelt hat, lassen sich am besten durch quantitative Pigmentanalysen klassifizieren. In diesen Sedimenten, die grösstenteils unter Sauerstoffdefizit abgelagert wurden, scheinen Farbstoffe am besten erhalten zu sein. Selbstverständlich ist in eutrophen Systemen auch eine vielfache Menge des Ausgangsmaterials (Chlorophyll, Carotinoide) vorhanden, sodass während des Sedimentations- und Abbauvorganges die Ausgangspigmente noch in grosser Konzentration im Endprodukt (dem Sediment) vorhanden sind. In solchen »eutrophierten« Sedimenten sind parallel zu hohen Pigmentkonzentrationen auch erhöhte G_{org} - und

P_{tot} -Werte zu bemerken. Meistens finden sich auch Pigmente von Schwefel- und Purpurbakterien (Okenon, Lycopenal, Rhodopin etc.) in erhöhten Konzentrationen. Dieses Phänomen, auf die anaerobe mikrobielle Tätigkeit zurückgeführt, dient als zuverlässiger Indikator für Sauerstoffdefizit. Die Konzentrationen sind von Fall zu Fall unterschiedlich und liegen bei Carotinoiden zwischen 150 ppm und 600 ppm.

1.3. Einen Sonderfall stellen Sedimente meromiktischer Seen und Meeresbuchten dar. Bei beiden Systemen ist eine enorme Streuung der Konzentrationen von Rohcarotinoiden festzustellen (100 ppm Maximum in Sedimenten aus dem Bled-See, bis 43000 ppm im Veliko Jezero auf Mljet).

Eine Besonderheit zeigen die Ergebnisse aus den Seen der Insel Mljet: Die Pigment- und Nährstoffkonzentrationen in den limnischen Sedimenten liegen hier bis zu 150 mal höher als in vergleichbaren marinen Phasen, obwohl auch während der Bildung der marinen Sedimente Sauerstoffdefizit bzw. Sauerstofffreiheit herrschte (siehe Kapitel »Malo Jezero«). Diese überaus grossen Unterschiede werden auf stark erhöhte Produktion infolge klimatischer und hydrologischer Veränderungen zurückgeführt. Infolge von warmen Klimaphasen und damit verbundenen niedrigem Wasserspiegel, steigt die Produktion so extrem stark an, dass ein Grossteil des mikrobiellen Abbaues erst postsedimentär stattzufinden scheint. In diesen »nährstoffreichen« Sedimenten findet man auch die höchsten C_{org} -Werte von 90000 ppm und S_{tot} -Werte mit 18000 ppm.

1.4. Die in Hinblick auf den Trophiegrad am schwersten interpretierbaren Sedimente stellen die Ablagerungen im Litoralbereich dar: Während in stillen, durch Zuflüsse wenig beeinflussten Buchten, durchaus meso-eutrophe Sedimente vorkommen können, zeichnen sich im allgemeinen Litoralsedimente durch geringe Pigment- und Nährstoffkonzentrationen aus. Dies kann auf Abrasion durch Wellenschlag und Strömung, oder aber auch durch Eintrag von Zuflüssen, die dann einen Verdünnungseffekt durch Sedimentakkumulation bewirken, verursacht werden.

2. Der Nachweis von anthropogenen Einflüssen stellte ein besonderes Anliegen im Rahmen dieser Arbeit dar. Am markantesten waren solche Ereignisse am Mondsee (Autobahnbau), an den Trumerseen (bis zu 3 eutrophierte Horizonte seit 1000 Jahren), am Längsee (Rodungsphase) und am Malo Jezero zu sehen. Am Mondsee führte ein Abrauminput von ca. 1 Million m^3 , der sich als Trübestrom über den Grossteil des Sees ausbreitete, zu einer »Klärung« des Sees. Gleichzeitig wurden grosse Nährstofffrachten eingebracht, die in den folgenden Jahren zu Eutrophierungserscheinungen führten.

In den Trumer-Seen sind mindestens 3 nährstoffreiche Horizonte anzutreffen. Der erste fällt in die Zeit der Klostergründung um die erste Jahrtausendwende n. Chr. und zeigt auf Grund von Pigmentanalysen noch keine Auswirkung in Hinblick auf eine Eutrophierung. Vor etwa 350 Jahren (zur Zeit verstärkter Besiedelung und der Gründung der Brauerei) wurde ein weiterer »Eutrophierungshorizont« gefunden. Pigmentanalysen zeigen eine verstärkte Phytoplanktonproduktion und damit eine echte Eutrophierung infolge verstärkter Besiedelung und auf Grund von wahrscheinlich klimatisch bedingten, tieferen Seespiegelstand. Um die Jahrhundertwende ist dann eine weitere Eutrophierungsphase zu bemerken, die bis in die Gegenwart andauert.

Am Längsee zeigt sich ein ähnliches Ereignis wie am Mondsee: durch Rodungstätigkeit wurde die Abschwemmung von Böden in den See gefördert, was eine Sapropelbildung zur Folge hatte, nicht aber eine Erhöhung der Produktion.

Die Sedimentabfolge am Malo Jezero lässt einen markanten Sedimentwechsel ab 50 cm erkennen. Während in den liegenden Partien ab ca. 50 cm vorwiegend limnische Sedimente (mit einzelnen marinen Wechsellagen) vorzufinden sind, stellen die obersten 50 cm rein marine Kalksapropellagen dar, die durch das Vorkommen von *Emiliana* sp. als solche identifiziert werden können.

Seibold (1955) führt diesen Sedimentwechsel auf die permanente Öffnung des Malo Jezero durch einen Verbindungskanal (2 m breit, maximal 50 cm tief) zum marinen Veliko Jezero vor ca. 500 Jahren zurück. Dieser Kanal wurde aller Wahrscheinlichkeit nach von den Klosterbewohnern (Benediktiner) angelegt und zum Betreiben einer Gezeitenmühle verwendet. Nach Anlegen des Kanals bewirkte einströmendes Meerwasser einen meromiktischen Zustand, wie er heute am Schwarzen Meer zu beobachten ist. Die Schwefel- und C_{org} Werte sinken ebenso rapid, wie die Konzentrationen der Pigmente. Vorkommen von Rhodopin zeigen trotz geringerer Produktivität Sauerstoffdefizit infolge von Meromixie an. Im Fall vom Malo Jezero hatte ein anthropogener Eingriff – nämlich die Öffnung zum Meer – eine Reoligotrophierung zur Folge.

3. Hydrologische Veränderungen, vorwiegend auf klimatische Ursachen zurückgehend, sind besonders an den Sedimenten des Längsees und des Malo Jezero abzulesen und mit einiger Sicherheit am Profil des Halleswiessees nachzuweisen. Tiefstände des Wasserspiegels im Postglazial gehen immer parallel zu Extremwerten von Pigmenten. In kleineren Seesystemen bewirken Tiefstände eine Eutrophierung, während in größeren Systemen, wie etwa am Mondsee, in Profundalsedimenten keinerlei Änderungen eintreten, die auf eine Eutrophierung hinweisen.

Sonderfälle stellen der Längsee und der Malo Jezero dar. Der Längsee hat keine nennenswerten oberflächlichen Zuflüsse und reagiert daher sehr empfindlich auf hydrologische Veränderungen (siehe unten). Der Malo Jezero liegt wiederum am heutigen Meeresniveau und seine Sedimente dokumentieren die Entwicklung des Meeresspiegelanstieges während der Flandrischen Transgression. Ausgehend von terrestrischen über telmatische und limnische Phasen, sind bis zu marinen Einflüssen hydrologische Veränderungen dokumentiert, die noch einer genaueren Untersuchung unterzogen werden sollen. Am Malo Jezero werden bei Tiefständen des Meeresspiegels limnische bis brackische Sedimenttypen gebildet, die extrem hohe Pigmentkonzentrationen zeigen, während bei Hochständen marine Fazies mit relativ niedrigen Nährstoffkonzentrationen und geringen Pigmentkonzentrationen vorherrschen.

4. Neben den speziellen lithostratigraphischen Effekten in einigen Seesedimenten (wie bei anuell laminierten Sedimenten) zeichnen sich biostratigraphisch dokumentierte Ereignisse (wie Veränderungen der Phytoplanktongesellschaften, Änderungen der Verteilung und Konzentration von Pigmenten) in nahezu allen untersuchten Profilen mehr oder weniger deutlich ab.

Eine wesentliche Frage, die in vorliegender Arbeit nur teilweise beantwortet werden konnte, war die chronologische Zuordnung der in den Sedimenten dokumentierten Ereignisse: Am Längsee, von dem Pollendiagramme vorlagen, liessen sich die Produktionsspitzen zwanglos zu trocken-wärmeren Klimaphasen zuordnen: Präboreal, Boreal, Mittleres Atlantikum (siehe Kapitel Längsee). Ebenso nachweisbar war eine Rodungsphase und eine Zeit verstärkter landwirtschaftlicher Nutzung im Mittelalter. Auch in den Sedimenten der Trumer Seen, des Halleswiessees und Bled-Sees war dies möglich. Schwieriger war die zeitliche Deutung am Malo Jezero, da die

Pollenanalysen und Radiocarbonatierungen aus einem wahrscheinlich lückenhaften Profil stammten. Trotzdem waren vier Klimaspitzen (ausgedrückt durch erhöhte Produktion) nachweisbar, die sich zeitlich in das Präboreal, Boreal, Mittlere Atlantikum und Subboreal zuordnen lassen.

5. Abschliessend soll nochmals auf die Schwierigkeiten der Interpretation von Pigmentverteilungen und Pigmentkonzentrationen hingewiesen werden: Wie im Kapitel »Problemstellung« beschrieben, sind die Pigmentkonzentrationen und -verteilungen im Sediment von zahlreichen Faktoren abhängig:

- 5.1. von der Produktivität und Produktion
- 5.2. von der Sedimentationsgeschwindigkeit und den Sedimentationsbedingungen
- 5.3. von der Sedimentationsrate
- 5.4. von den Sauerstoffverhältnissen während und nach der Sedimentation
- 5.5. von postsedimentären und diagenetischen Vorgängen
- 5.6. vom Ort der Ablagerung (litoral oder profundal)
- 5.7. vom Um- und Abbau durch wühlende Organismen und Bakterien.

Alle diese Faktoren sind bei einer Abschätzung der vergangenen Entwicklung miteinzubeziehen.

Case studies on paleolimnology

Summary

The following results were obtained by analysis of pigments and pollen and by biochemical investigations.

1. The trophic state of lake sediments can roughly be estimated by pigment investigations. The significance, however, depends on the type of the lake and its ontogeny.

1.1. Oligotrophic phases of lakes are difficult to estimate, because the concentration of pigments is very low. Such sediments are formed either when the production is very poor or when the rate of flow through it is very high. In this case it is difficult to discern whether strong accumulation of sediments was caused by allochthonous input, shore erosion or insignificant phytoplankton production.

Different authors introduced the ratio chlorophyll derivatives: total carotenoids (CD/TC) used for estimating allochthonous input (allochthonous = input also from the littoral) which caused quite a few misunderstandings.

While Swain (1985) attributes the high CD/TC ratio to the predominance of oligotrophy and big changes in the plant societies which dominate primary production, Säger and Gorham (1972) and Gorham (1974) interpret high CD/TC ratios (e. g. profiles from the Kirchner Marsh) as an indication of increased input of allochthonous material. This paper advocates the opinion of Likens and Davis (1975), and others who regard the CD/TC ratio as an indication of the equilibrium between allochthonous and autochthonous inputs.

In oligotrophic lakes, therefore, it is more appropriate to use the qualitative determination of single carotenoids than their concentrations for the characterization of the development of lakes.

1.2. Eutrophic sediments and phases of lakes – for which Züllig (1982, 1984) developed methods used in this study – are best classified by quantitative analysis of pigments. In these sediments which were mainly deposited under oxygen deficiency the carotenoids seem to be best preserved.

Of course, in eutrophic systems there is also a large amount of the initial materials (chlorophyll, carotenoids), so that after the process of sedimentation and decomposition there is still a high concentration of primary pigments in the final product, i. e. the sediment. In such “eutrophicated” sediments there are also, concomitantly to high pigment concentrations, increased values of C_{org} and P_{tot} . Often pigments of sulphur and purple bacteria (*Okenon*, *Lycopenal*, *Rhodopin*) are found in increased concentration. This phenomenon, caused by anaerobic microbial activity, is a reliable indicator of oxygen deficiency. The concentrations differ as the case may be, and lay between 150 ppm and 600 ppm for carotenoids.

1.3. A special case are the sediments of meriomictic lakes and marine bays. In both systems an enormous scatter of concentrations of crude carotenoid (a maximum of 100 ppm in sediments from Lake Bled and up to 43000 ppm in Veliko Jezero on Mljet, both in Yugoslavia) was found.

A special case are the results from the lakes of the island of Mljet: there the concentrations of pigments and nutrients in the limnetic sediments are up to 150 times higher than in sediments from comparable marine phases, although during the formation of the marine sediments oxygen was deficient or completely lacking (see chapter on Malo Jezero). These extreme differences are being ascribed to highly increased productivity due to climatic and hydrological changes. Because of warm climatic phases with low water level the productivity increases extremely, so that the main part of the microbiological decomposition seems to happen after sedimentation. In these nutrient-rich layers we found the highest amounts of S_{tot} with 90000 ppm and C_{org} with 18000 ppm.

1.4. The trophic state of the sediments deposited in the littoral is most difficult to interpret: while in a calm bay, less disturbed by inputs, “meso-eutrophic” sediments are found, the littoral sediments generally show low pigment and nutrient concentrations. This may be caused by erosion through waves and currents or by affluent input, which cause a diluting effect by sediment accumulation.

2. The proof of anthropogenic influences was of special importance in this project. Most significantly influenced were the lakes Mondsee (construction of the highway), Trumersee (up to 3 eutrophic horizons in 1000 years), Längsee (clearing of woodland) and Malo Jezero. In the Mondsee, the input of about 1 million m³ of rubble which spread as turbidity current over the major part of the lake caused a “purification”. At the same time the nutrient loading increased, leading to eutrophication in the following years.

In the Trumersee we found at least 3 nutrient-rich horizons. The first one originates from the time of the foundation of monasteries at about 1000 A. D. Its pigment analysis shows no effects of eutrophication. About 350 years ago (when the population increased and the brewery was founded), another eutrophication horizon was found. Pigment analysis shows increased phytoplankton productivity and therefore a real eutrophication induced by denser settlements and a probably lower water level due to climatic influences. At the turn of the century an additional eutrophication phase is noticeable, which is still lasting.

At Långsee the situation is similar as at Mondsee: the clearing of woodland increased the erosion of soil causing the formation of sapropel, but not an increase of productivity.

The sequence of sedimentation at Malo Jezero shows a discernable change in sediments at 50 cm. While in the subjacent beds from about 50 cm downwards mostly limnetic sediments occur (with individual marine alternating layers), the 50 cm on top represent pure calcareous sapropel layers identified by the occurrence of *Emiliana* sp. Seibold (1955) attributes the change of sediments to the fact that Malo Jezero had a permanent opening which connected it by channel (2 m wide and 50 cm deep) with the marine Veliko Jezero 500 years ago. This channel had been constructed by the monks of a Benedictine monastery and was used for the operation of a tide mill. Through the channel the sea water streaming in caused a meromictic situation comparable to that in the Black Sea.

The sulphur and C_{org} values decrease as rapidly as the concentrations of the pigments. Despite lower productivity, the occurrence of *Rhodopin* indicates oxygen deficiency caused by meromixis. In the case of Malo Jezero an anthropogenic interference – the opening to the sea – led to reoligothrophication.

3. Hydrological changes, mainly resulting from climatic causes, can be seen very well in the sediments of Långsee and Malo Jezero, and are detectable with some certainty in the profiles of Halleswiessee. Low water levels during the Post Glacial are always synchronous with extreme pigment values. In smaller lake systems low water levels cause eutrophication, while in larger systems like Mondsee no changes indicating eutrophication occur in the profundal sediments. Långsee and Malo Jezero represent special cases. Långsee has no significant surface water input and, therefore, reacts very sensitively to hydrological changes (see below). On the other hand, Malo Jezero is situated at the present sea level and its sediments document the development of the increase of sea levels during the Flandrian transgression. Starting with terrestrial via telmatic and limnetic phases hydrological changes are documented up to marine influences which still have to be examined.

At low sea levels limnetic to brackish sediment types are formed in Malo Jezero showing extremely high pigment concentrations, while at high sea levels marine facies with relatively low nutrient and pigment concentrations are predominant.

4. Beside special lithostratigraphical effects in some lake sediments (such as annually laminated sediments), biostratigraphically documented events (such as changes of phytoplankton societies, changes in distribution and concentration of pigments) are clearly visible in almost all investigated profiles.

An essential question which could be answered only partially in this paper was the chronological classification of the documented events in the sediments. At Långsee, where pollen diagrams existed, production peaks could easily be assigned to dry-warm climatic phases, i. e. Preboreal, Boreal, Middle Atlantic period. A phase of woodland clearing and increased agricultural activity during the Middle Ages could be proved. The same was possible in the Trumerseen, in Halleswiessee and Lake Bled. More difficult was the chronological classification of Malo Jezero because of the fact that the pollen analysis and radio carbon data were probably taken from an incomplete profile (Seibold, 1955). Nevertheless, four climatic peaks (shown by increased production) could be determined which can be classified chronologically as Preboreal, Boreal, Middle Atlantic and Subboreal.

5. Finally, once again, we want to refer to the difficulties concerning the interpretation of the distribution and concentration of pigment. As already described in chapter "problems", the concentration and distribution of pigments in sediments depends on numerous factors:

- 5.1. Productivity and production
- 5.2. Velocity and conditions of sedimentation
- 5.3. Rate of sedimentation
- 5.4. Oxygen conditions during and after sedimentation
- 5.5. Postsedimentary and diagenetic processes
- 5.6. Site of deposition (littoral or profundal)
- 5.7. Diagenetic changes due to digging organisms and bacteria

All these factors have to be considered when estimating the past development.

Literatur

Amman, B. 1986, Litho- and palynostratigraphy at Lobsigensee: Evidences for trophic changes during the Holocene. *Hydrobiologia*, 143, 301–307.

Arkchangelsky, A. D. 1928, Karra i razrezy osadkov dna Chernogo morya (Map and cross sections of Black Sea sediments): Moskov. Obshch. Ispytateley Prirody Byull. Otdel. Geol., 6, 77–108.

Arkchangelsky, A. D. 1930, Opolzanie osadkov na dne Chernogo morya: Geologicheskie z acrenie etogo yavleniya (Slumping sediments on bottom of Black Sea and geological significance of this phenomenon): Moskov. Abshch. Ispytateley Prirody Byull. Otdel. Geol., 8, 32–79.

Barnes, M. A. & Barnes, W. C. 1978, Organic compounds in lake sediments. In: A. Lerman (Ed.) 1978: *Lakes Chemistry, Geology and Physics*, 127–153, Springer.

Behbehani, A., Chondrogianni, Ch., Müller, J., Niessen, F., Schmidt, H., Schmidt, R., Schneider, J., Schröder, H. G., Strackenbrock, I., Sturm, M. & Windolph, H. 1985, Sediments and sedimentary history of the Attersee. In: Danielopol, D. L. et al. 1985: *Contributions to the Paleolimnology at the Trumer Lakes (Salzburg) and the Lakes Mondsee, Attersee and Traunsee (Upper Austria)*. Limnol. Institut Mondsee, 149–176.

Behbehani, A. 1987, Sedimentations- und Klimageschichte des Spät- und Postglazials im Bereich der nördlichen Kalkalpen (Salzkammergutseen, Österreich), Göttinger Arbeiten zur Geologie und Paläontologie, 34, 120 p.

Berglund, B. 1986, *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*, Malska-Jasiewiczowa, M. (Ed.), John Wiley and Sons, 869 p.

Beug, H. J. 1961, Beiträge zur postglazialen Floren- und Vegetationsgeschichte in Süddalmatien: Der See »Malo jezero« auf Mljet, I: Vegetationsentwicklung, II: Häufigkeit und Pollenmorphologie der nachgewiesenen Pflanzensippen. *Flora*, 150, 600–631.

Beug, H. J. 1962, Über die ersten anthropogenen Vegetationsveränderungen in Süddalmatien an Hand eines neuen Pollendiagrammes vom »Malo jezero« auf Mljet. Veröff. Geobot. Inst. ETH Zürich, 37, 9–15.

Bobek, M. & Schmidt, R. 1975, Pollenanalytische Untersuchungen von Seebohrkernen des nordwestlichen Salzkammergutes und Alpenvorlandes – Ein Beitrag zur spätglazialen bis mittelpostglazialen Vegetations- und Klimageschichte. *Linzer biol. Beitr.*, 7/1, 5–34.

Bobek, M. & Schmidt, R. 1976, Zur spät-mittelpostglazialen Vegetationsgeschichte des nordwestlichen Salzkammergutes und Alpenvorlandes (Österreich). *Linzer biol. Beitr.*, 8/1, 95–133.

Bortenschlager, S. & Patzelt, G. 1969, Wärmezeitliche Klima- und Gletscherschwankungen im Pollenprofil eines hochgelegenen Moores (2270 m) der Venedigergruppe. *Eiszeitalter und Gegenwart*, 20, 116–122.

Bradley, W. H. 1948, *Limnology and the Eocene lakes of the Rocky Mountains region*. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 59 (2), 635–648.

Brande, A. 1973, Untersuchungen zur postglazialen Vegetationsgeschichte im Gebiet der Neretva Niederung (Dalmatien, Herzegowina) *Flora*, 162: 1–44.

- Brown, S. R. 1968, Bacterial carotenoids from freshwater sediments. *Limnol. Oceanogr.*, 13, 233–241.
- Brown, S. R. 1969, Paleolimnological evidence from fossil pigments. *Mitt. Int. Ver. Theor. Angew. Limnol.*, 17, 95–103.
- Buljan, M. 1956, Hydrochemical Researches of the Lakes on the Island of Mljet. *Acta Adriatica*, VI.
- Cvetković, L. 1986, Mljet National Park, 1–88, Stvarnost, Zagreb.
- Cvijić, V. 1955, Red water in the lake "Malo Jezero" (Island of Mljet). *Acta Adriatica*, VII/2, 3–14.
- Czech, K. 1980, Fundberichte aus Österreich, 19: 56–64.
- Czernin-Chudenitz, C. 1980, Zur Limnologie der Vorlandseen – Ergänzende Beobachtungen des Hydrobiologischen Dienstes seit 1958. *Stud. Forsch. Salzburg*, 1, 105–110.
- Czernin-Chudenitz, C. 1986, Die Phytoplanktonentwicklung der Flachgauer Seen. *Stud. Forsch. Salzburg*, 2, 385–397.
- Daley, R. J. 1973, Experimental characterization of lacustrine chlorophyll diagenesis. II Bacterial, viral and herbivore grazing effects. – *Arch. Hydrobiol.*, 72:277–304.
- Daley R. J. & Brown, S. R. 1973, Experimental characterization of lacustrine chlorophyll diagenesis: I Physiological and environmental effects. – *Arch. Hydrobiol.*, 72, 277–304.
- Danecker, E. 1969, Bedenklicher Zustand des Mondsees im Herbst 1968. *Österr. Fischerei*, 22, 25–31.
- Danielopol, D. L., Schmidt, R. & Schultze, E. 1985, The Ostracods of Mondsee: spatial and temporal changes during the last fifty years. In: Danielopol D. L. et al. (Eds.). 1985: Contributions to the paleolimnology of the Trumer Lakes (Salzburg) and the lakes Mondsee, Attersee and Traunsee (Upper Austria). *Limnologisches Institut Mondsee*, 99–121.
- Dokulil, M. 1984, Die Reoligotrophierung des Mondsees. *Laufener Seminarbeiträge*, 2/84, 46–53.
- Dokulil, M. & Jäger, P. 1985, General limnological characterization of the Trumer lakes, Mondsee, Attersee and Traunsee In: Danielopol, D. L. et al. 1985 (EDS): Contributions to the Paleolimnology of Trumer Lakes (Salzburg) and the Lakes Mondsee, Attersee and Traunsee (Upper Austria). *Limnol. Inst. Österr. Akademie der Wiss.* 16–25.
- Dokulil, M. & Skolaut, C. 1986, Succession at phytoplankton in a deep stratifying Lake: Mondsee, Austria. *Hydrobiologia*, 138, 9–24.
- Einsele, E. 1963, Schwere Schädigung der Fischerei und der biologischen Verhältnisse im Mondsee durch Einbringung von lehmig-tonigem Berg-Abraum. Der spezielle Fall und seine allgemeinen Lehren. *Österr. Fischerei*, 16, 2–12.
- Erdtman, O. G. E. 1921, Pollenanalytische Untersuchungen von Torfmooren und marinen Sedimenten in Südwest-Schweden. *Ark. f. Botanik*, 17, 10.
- Fægri, K. & Iversen, J. 1966, Textbook of pollen-analysis. Munksgaard, 237 p.
- Findenegg, I. 1935, Limnologische Untersuchungen im Kärntner Seengebiet. *Int. Rev. ges. Hydrobiol. und Hydrographie*, 32, 369–423.
- Findenegg, I. 1967, Die Verschmutzung österreichischer Alpenrandseen aus biologisch-chemischer Sicht. *Ber. Raumforsch. und Raumplanung*, 11 (4), 1–12.
- Findenegg, I. 1969, Die Eutrophierung des Mondsees im Salzkammergut. *Wasser und Abwasser-Forschung*, 4, 139–144.
- Findenegg, I. 1973, Vorkommen und Biologisches Verhalten der Blaualge *Oscillatoria rubescens* D. C. in den österreichischen Alpenseen. *Carinthia* II, 83/163, 317–330.
- Firbas, F. 1949, Spät- und nacheiszeitliche Waldgeschichte Mitteleuropas nördlich der Alpen. Bd. I, 480 pp. G. Fischer, Jena.
- Firbas, F. 1952, Spät- und nacheiszeitliche Waldgeschichte Mitteleuropas nördlich der Alpen. Bd. II, 256 pp. G. Fischer, Jena.
- Firbas, F. 1954, Synchronisierung der mitteleuropäischen Pollendiagramme Danmarks. *Geol. Undersøgelse* II, 80: 12–21.
- Forsberg, C. 1964, Phosphorus, a maximum factor in the growth of Characeae. *Nature*, 201, 517–518.
- Freiberg, H. M. 1980, Pflanzensoziologische Untersuchungen im Bereich der alpinen Baumgrenze am Glunkerer im Funtenseegebiet – Nationalpark Berchtesgaden. *Dipl. Arbeit* 43 p., Forstw. Fak. Univ. München.
- Frey, D. G. 1955, A history of Meromixis. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.* 8, 141–164.
- Frey, D. G. 1956, Die Entwicklungsgeschichte des Längsees in Kärnten. *Carinthia* II, 66, 5–13.

- Fritz, A. 1973, Die Bedeutung des Längseemoores für die Vegetations- und Klimaschichte des Klagenfurter Beckens (Ostalpen) *Carinthia* II, 163/83, 277–293.
- Frye, M. 1981, The bridge of language. *Science*, 212, 127–132.
- Gams, H. 1927, Die Geschichte der Lunzer Seen, Moore und Wälder. *Int. Rev. ges. Hydrobiol. Hydrogr.* 18/5, 305–387.
- Germatsidis, I. 1985, Die Sedimente des Wallersee. Dipl. Arbeit, Universität Göttingen 74 S (unveröff.).
- Germatsidis, I. 1986, In: Röhrs, J. et al. 1986: Sedimentgeologische Untersuchungen an den Trumer Seen und am Wallersee. *Stud. Forsch. Salzburg*, 2, 421–458.
- Goodwin, T. W. 1976, Chemistry and Biochemistry of Plant Pigments. Bd. 1 und 2, 2. Auflage. Academic Press London, New York, San Francisco.
- Gorham, E. 1960, Chlorophyll derivatives in surface muds from the English Lakes. *Limnol. Oceanogr.*, 5, 29–33.
- Gorham, E. & Sanger, J. 1964, Chlorophyll Derivates in Woodland, Swamp and Pond Soils of Cedar Creek Natural History Area, Minnesota, U.S.A. In: Miyake, Y. (Ed.) 1964: Recent Researches in the Fields of Hydrosphere, Atmosphere and Nuclear Geochemistry, 1–12.
- Gorham, E. & Sanger, J. E. 1972, Fossil pigments in the surface sediments of a meromictic lake. *Limnol. Oceanogr.*, 17, 618–622.
- Gorham, E., Lund, J. W. G., Sanger, J. E. & Dean, W. E. 1974, Some relationship between algal standing crop, water chemistry and sediment chemistry in the English Lakes. *Limnol. Oceanogr.*, 19, 601–617.
- Hager, H. & Meyer-Bertenrath, T. 1967, Die Identifizierung der an Dünnschichten getrennten Carotinoide grüner Blätter und Algen. *Planta (Berl.)*, 76, 149–168.
- Hager, H. & Stransky, A. 1970a, Das Carotinoidmuster und die Verbreitung des lichtinduzierten Xanthophyllcyclus in verschiedenen Algenklassen. I. Methoden zur Identifizierung der Pigmente. *Arch. Mikrobiol.*, 71, 132–163.
- Hager, H. & Stransky, A. 1970b, Das Carotinoidmuster und die Verbreitung des lichtinduzierten Xanthophyllcyclus in verschiedenen Algenklassen. II. Xanthophyceae. *Arch. Mikrobiol.*, 71, 154–190.
- Hager, H. & Stransky, A. 1970c, Das Carotinoidmuster und die Verbreitung des lichtinduzierten Xanthophyllcyclus in verschiedenen Algenklassen. III. Grünalgen. *Arch. Mikrobiol.*, 72, 68–83.
- Hager, H. & Stransky, A. 1970d, Das Carotinoidmuster und die Verbreitung des lichtinduzierten Xanthophyllcyclus in verschiedenen Algenklassen. IV. Cyanophyceae und Rhodophyceae. *Arch. Mikrobiol.*, 72, 84–96.
- Hager, H. & Stransky, A. 1970e, Das Carotinoidmuster und die Verbreitung des lichtinduzierten Xanthophyllcyclus in verschiedenen Algenklassen. V. Einzelne Vertreter der Cryptophyceae, Euglenophyceae und Phaeophyceae. *Arch. Mikrobiol.*, 73, 77–89.
- Handl, M. Paläolimnologische Untersuchungen am Mondsee und Halleswiessee. Diss. Univ. Salzburg (in Vorbereitung).
- Harmsworth, R. 1984, Längsee: A Geochemical History of Meromixis. *Hydrobiologia*, 108, 219–231.
- Helbig, J. 1987, Sedimentgeologische Kartierung des Mondsees und Untersuchungen zur Phosphor-Rücklösung an Sedimenten des Mondsees und des Obertrumer-Sees. Unveröff. Diplomarbeit Univ. Göttingen.
- Hertzberg, S., Liaaen-Jensen, S. & Siegelmann, H. W. 1971, The carotenoids of blue-green algae. *Phytochemistry* 10, 3121–3127.
- Holm-Hansen, O. & Riemann, B. 1978, Chlorophyll a Determinations: improvement in methodology. *Oikos* 30, 438–447.
- Hutchinson, G. E. 1937, Limnological Studies in Indian Tibet. *Int. Rev. ges. Hydrogr. Hydrobiol.*, 35, 134–177.
- Hutchinson, G. E. 1957, A Treatise on Limnology 1. John Wiley and Sons, New York, 1015 p.
- Huttunen, P. & Meriläinen, J. 1978, New freezing device providing large unmixed sediment samples from lakes. *Ann. Bot. Fennici*, 15, 128–130.
- Isler, P. 1971, Carotenoids. Birkhäuser Verlag, Basel.
- Jäger, P. 1986, Projekt Vorlandseen. Raumbezogene Forschung und Planung in Lande Salzburg. *Stud. Forsch. Salzburg*, 2, 1–501.
- Jagsch, A. & Megay, K. 1982, Der Mondsee. In: E. Wurzer (Ed.), Seenreinhaltung in Österreich. *Wasserwirtschaft*, 6, 155–163.

Jahns, S. 1988, Vegetationsgeschichtliche Untersuchungen an marinen und limnischen Sedimenten auf Mljet/Süddalmatien (Malo Jezero, Veliko Jezero) Diplomarbeit Univ. Göttingen (unpubl.), 1–63.

Jaskolla, F. 1985, Zur Geologie des Funtenseegebietes. In: Müller, J. (Ed.) Der Funtensee. Naturkundliches Portrait eines subalpinen Sees. MaB 6, Forsch. Ber. 7, 7–22.

Johansen, J. E., Svec, W. A., Liaaen-Jensen, S. & Haxo, F. T. (1974). Carotenoids of dinophyceae. *Phytochemistry*, 13, 2261–2271.

Karrer, P. & Jucker, E. 1948, Carotinoide. Birkhäuser Verlag Basel.

Klaus, W. 1971, Über Form und Erhaltungszustand fossiler Pollenkörner in Koprolithen und Phosphoriten. *N. Jb. Geol. Paläont. Mh.*, 9, 537–551.

Klaus, W. 1975, das Mondsee-Interglazial, ein neuer Florenfundpunkt der Ostalpen. *JB. Öö. Museal Verl.*, 315–344.

Klaus, W. 1983, Der pollenanalytische Nachweis einer geschlossenen Serie wärmzeitlicher Klimaschwankungen über dem Riss/Würm-Interglazial von Mondsee. In: INQUA-Subkommission für Europäische Quartärstratigraphie München 1983, Symposium Würm Stratigraphie, 157–170.

Klaus, W. 1984, Zur Mikroflora des Unter-Sarmat am Alpen-Südostrand. *Beitr. Paläont. Österr.*, 11, 289–411.

Klee, R. & Schmidt, R. 1987, Eutrophication History of Mondsee (Upper Austria) as indicated by the Diatom Stratigraphy of a Sediment Core. *Diatom Research* (im Druck).

Kofler, S. 1986, Temperatur und Strahlung als bestimmende Faktoren für Wachstum und Morphologie von *Tabellaria flocculosa* var. *Asterionelloides* (Bacillariophyceae) in Kultur. Diss. phil. Fak. Univ. Wien.

Kral, F. 1979, Spät- und postglaziale Waldgeschichte der Alpen auf Grund der bisherigen Pollenanalysen. *Veröff. Inst. f. Waldbau Univ. f. Bodenkultur Wien*, 175 p.

Lang, G. 1967, Die Ufervegetation des westlichen Bodensees. *Archiv f. Hydrobiol.*, Suppl. 32, 437–574.

Liaaen-Jensen, S. 1963a, Bacterial carotenoids. X. On the constitution of the minor carotenoids of *Rhodopseudomonas*. 1. P-518. *Acta chem. scand.*, 17, 303–312.

Liaaen-Jensen, S. 1963b, Bacterial carotenoids. XI. On the constitution of the minor carotenoids of *Rhodopseudomonas*. 2. OH-R. *Acta chem. scand.*, 17, 489–499.

Liaaen-Jensen, S. 1963c, Bacterial carotenoids. XII. On the constitution of the minor carotenoids of *Rhodopseudomonas*. 3. OH-Y. *Acta chem. scand.*, 17, 500–508.

Liaaen-Jensen, S. 1965, Bacterial carotenoids. XVIII. Microbial-carotenes from *Phaeobium*. *Acta chem. scan.*, 19, 1025–1030.

Liaaen-Jensen, S. 1978a, Marine carotenoids 2–64. In: P. J. Scheur, Marine natural products, chemicals and biological perspectives II. Academic Press, New York.

Liaaen-Jensen, S. 1978b, Chemistry of carotenoids. In: Clayton & Sistrom (Ed.): The photosynthetic bacteria. Kap. 8, Plenum Press, New York.

Liaaen-Jensen, S. & Andrewes, A. G. 1972, Microbial carotenoids. *Phytochemistry* 225–245.

Liepol, R. 1936, Limnologische Untersuchungen der Ufer- und Tiefenfauna des Mondsees und dessen Stellung zur Seetypenfrage. *Int. Ref. ges. Hydrobiol.*, 32, 164–235.

Likens, G. E. & Davis, M. B. 1975, Post-glacial history of Mirror Lake and its watershed in New Hampshire, U.S.A.: an initial report. *Verh. Internat. Ver. Theor. Angew. Limnol.*, 19, 982–993.

Löffler, H. 1972a, Die Entwicklung der Ostracodenfauna in Klopeiner-See und Kleinsee. *Carinthia II*, 82, 271–274.

Löffler, H. 1972b, The distribution of subfossil ostracods and diatoms in pre-alpine lakes. *Verh. Internat. Ver. Theor. Angew. Limnol.*, 18, 1039–1050.

Löffler, H. 1973, Die Entwicklung der Meromixis im Klopeiner See und Längsee. *Carinthia II*, 83, 373–377.

Löffler, H. 1977, »Fossil meromixis« in Kleinsee (Carinthia) indicated by ostracodes. In: Löffler, & H. Danielopol, D. (Eds.) 1977: Aspects of Ecology and Zoogeography of Recent and Fossil Ostracoda. Dr. W. Junk Publ. The Hague 321–325.

Löffler, H. 1984, The paleolimnology of Lake Bled (Blejsko Jezero). *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 22, 1409–1413.

Löffler, H., Berger, F., Dokulil, M., Kusel-Fetzmann, E., Lew, H., Herzig, A., Newrkla, P., Strnad, R., Powell, S., Humpesch, U., Schiemer, F., Hacker, R. & Meisriemler, P. 1973, Arbeitsbericht über die Exkursion 1972 zum Längsee. *Carinthia II*, 83, 331–377.

- Löffler, H. 1973, Arbeitsbericht über die limnologische Exkursion 1972 zum Längsee. *Carinthia II*, 83, 331–377.
- Lorenz-Liburnau, J. 1898, Der Hallstättersee, eine limnologische Studie. Ältere und neuere Lothungen im Hallstättersee. *Mitt. Geogr. Ges. Wien*, 41, 218 p.
- Merxmüller, H. 1967, Chemotaxonomie? *Ber. dt. bot. Ges.*, 80 (9), 608–620.
- Molnar, F. M., Rothe, P., Förstner, U., Štern, J., Ogorelec, B., Šercelj, A. & Culiberg, M. 1978, Lakes Bled and Bohinj. Origin, Composition, and Pollution of Recent Sediments. *Geologija* 21/1, 93–164.
- Moog, O. 1982, Nährstoffbilanz 1981 und trophische Charakterisierung von Fuschlsee, Irsee, Mondsee und Attersee. *Arb. Labor Weyregg*, 6, 3–16.
- Müller, G. 1972, Das Gebiet des Halleswieses im Salzkammergut. *Oö. Heimatbl.*, 26/1–2, 47–53.
- Müller, J. 1985, Der Funtensee. Naturkundliches Portrait eines subalpinen Sees. *Gem. Veröff. des österr. und deutsch. MaB-6-Beitrages. Forsch. Ber.*, 7, 5–95.
- Naumann, E. 1939, Einführung in die Bodenkunde der Seen. Die Binnengewässer.
- Nipkow, F. 1920, Vorläufige Mitteilungen über Untersuchungen des Schlammabsatzes im Zürichsee. *Schweiz. Z. Hydrol.*, 1, 100–122.
- Nipkow, F. 1927, Über das Verhalten der Skelette planktischer Kieselalgen im geschichteten Tiefenschlamm des Zürich- und Baldeggersees. *Z. Hydrol. Hydrogr. Hydrobiol.*, 4, 1–2.
- Offenberger, H. 1985, Investigations of an underwater excavation and a detailed survey within the neolithic settlement of See/Mondsee. In: Danielopol, D. L. et al. (eds.) 1985: Contributions to the Paleolimnology of the Trumer Lakes (Salzburg and the Lakes Mondsee, Attersee and Traunsee (Upper Austria). *Limnologisches Institut Mondsee*, 132–135.
- Ohle, W. 1972, Die Sedimente des Großen Plöner Sees als Dokumente der Zivilisation. *Jahrb. f. Heimatkunde (Plön)*, 2, 7–27.
- Penck, A. 1898, Die Tiefen des Hallstätter und Gmundner Sees. *Ber. Hydrol.*, 112–113, 123–125.
- Pfennig, N. 1978a, General physiology and ecology of photosynthetic bacteria. In: Clayton, R. K. & Sistrom, W. R. (eds.): *The photosynthetic Bacteria*. Plenum Press, New York, 3–18.
- Pfennig, N. 1978b, General physiology and ecology of photosynthetic bacteria. In: Clayton, R. K. & Sistrom, W. R. (eds.): *The photosynthetic Bacteria*. Biosynthesis of Carotenoids. Plenum Press, New York, 740–747.
- Post, L. v. 1946, The prospect for pollen analysis in the study of the earth's climatic history. *New Phytol.* 45.
- Psenner, R. 1983, Restaurierungsverlauf Piburger See II: Nährstofflieferungen aus Sedimenten als Ursache der Oligotrophierungsverzögerung. *Ergebn. d. Österr. Eutrophierungsprogr. 1978–1982*, BM f. Gesundheit u. Umweltschutz, BM f. Wissenschaft u. Forschung, 7–106, Wien.
- Pucher-Petković, T. 1957, Etude du Phytoplankton dans la Region de l'île de Mljet dans la Periode 1951–1953. *Acta Adriatica*, VI/5, 3–53.
- Röhrs, J. 1986, Salzburger Vorlandseen – Sedimentations- und Eutrophierungsgeschichte. Sedimentchemische Untersuchungen für ein Sanierungskonzept. *Documenta naturae*, 31, I–V, 1–105.
- Röhrs, J. 1986, Sedimentgeologische Untersuchungen an den Trumer Seen und am Wallersee. *Stud. Forsch. Salzburg*, 2, 421–458.
- Röhrs, J. & Schneider, J. 1985, Eutrophication History of the Trumer Lakes. In: Danielopol, D. L. et al. (Eds.) 1985: Contributions to the Paleolimnology of the Trumer Lakes (Salzburg) and the Lakes Mondsee, Attersee and Traunsee (Upper Austria). *Limnologisches Institut Mondsee*, 25–30.
- Rybnickova, E. & Rybnicek, K. 1982, A stratigraphic hiatus of the middle Holocene layers in Czechoslovakia (Palynological and ¹⁴C evidences). XI INQUA Congress 1982, Abstracts Vol. 1, 270.
- Sampl, H. 1979, Bericht über die limnologischen Untersuchungen der Kärntner Seen im Jahr 1978. *Veröff. Kärntn. Inst. f. Seenforsch.* 5, 1–110.
- Sampl, H. 1981, Bericht über limnologische Untersuchungen der Kärntner Seen in den Jahren 1979 und 1980. *Veröff. Kärntn. Inst. f. Seenforsch.* 6, 1–198.
- Sanger, J. E. & Gorham, E. 1972, Stratigraphy of fossil pigments as a guide to the postglacial history of Kirchner Marsh, Minnesota. *Limnology and Oceanography*, 17, 840–854.
- Santelmann, E. P. 1981, Fossilized plant pigments in sediments from fourteen Minnesota Lakes. Unpubl. M. S. thesis, University of Minnesota (Minneapolis).

- Sarnthein, R. v. 1936, Moor- und Seeablagerungen aus den Tiroler Alpen in ihrer waldgeschichtlichen Bedeutung. I. Brennergegend und Eisacktal. *Beih. Bot. Cbl.* 55, 544–631.
- Sarnthein, R. v. 1938, Pollenanalytische Untersuchungen in Kärnten. *Carinthia II*, 56, 111–129.
- Sarnthein, R. v. 1940, Moor- und Seeablagerungen aus den Tiroler Alpen in ihrer waldgeschichtlichen Bedeutung. II. Seen der Nordtiroler Kalkalpen. *Beih. Bot. Cbl.*, 60, 438–492.
- Sarnthein, R. v. 1948, Moor- und Seeablagerungen aus den Tiroler Alpen in ihrer waldgeschichtlichen Bedeutung. II. Kitzbühler Alpen und unteres Inntal. *ÖBZ* 95, 1–85.
- Schauer, T. 1985, Die Vegetation des Funtensees, Grünsees, Schwarzensees und Obersees im Nationalpark Berchtesgaden. In: Müller, J. et al. *Der Funtensee: Naturkundliches Portrait eines subalpinen Sees*. *Gem. Veröff. des österr. und deutsch. MaB-6 Beitrages. Forsch. Ber.*, 7, 51–66.
- Schlager, G. 1983, *Waldkundliche Grundlagen für ein Schutzgebiet Salzburger Kalkalpen*. Diss. Univ. f. Bodenkultur Wien.
- Schmidt, R. 1981, Grundzüge der spät- und postglazialen Vegetations- und Klimageschichte des Salzkammergutes (Österreich) aufgrund palynologischer Untersuchungen von See- und Moorprofilen. *Mitt. Komm. Quartärforsch. Ö.A.W.*, 3, 1–96.
- Schmidt, R. 1986, Zur spät- und nacheiszeitlichen Entwicklungsgeschichte der Trumer Seen und ihrer Umgebung. *Stud. Forsch. Salzburg*, 2, 459–470.
- Schmidt, R., Müller, J. & Froh, J. 1985, Laminated sediments as a record of increasing eutrophications of the Mondsee. In: Danielopol, D. L. et al. (eds.) 1985: *Contributions to the Paleolimnology of the Trumer Lakes (Salzburg) and the Lakes Mondsee, Attersee and Traunsee (Upper Austria)*. *Limnologisches Institut Mondsee*, 22–131.
- Schultz, N. & Kanz, K. 1984, Neue Tiefenkarte des Längsees Carinthia II, 94, 381–386.
- Schultze, E. 1976, Ein Beitrag zur spät- und frühpostglazialen Vegetationsentwicklung Kärntens. *Profil Kleinsee (447 m NN). Carinthia II*, 197–204.
- Schultze, E. 1984a, Beiträge zur Paläolimnologie des Bled-Sees in Slowenien (Jugoslawien) und zur Vegetations- und Klimaentwicklung der Umgebung. *Geologija*, 27, 97–106.
- Schultze, E. 1984b, Neue Erkenntnisse zur spät- und frühpostglazialen Vegetations- und Klimaentwicklung im Klagenfurter Becken. *Carinthia II*, 174./94., 261–266.
- Schultze, E. 1985, Carotenoids from selected cores of the Trumer Lakes and the Mondsee (trophic development and human impact). In: Danielopol, D. L. et al. (eds.) 1985: *Contributions to the Paleolimnology of the Trumer Lakes (Salzburg) and the Lakes Mondsee, Attersee and Traunsee (Upper Austria)*. *Limnologisches Institut Mondsee*, 52–64.
- Schultze, E. 1986, Stratigraphische Pigmentanalysen aus ausgewählten Bohrkernproben der Trumer Seen. *Stud. Forsch. Salzburg*, 2, 471–475.
- Schwarz, K. 1981, Das Phytoplankton im Mondsee. *Arb. Lab. Weyregg*, 5, 110–118.
- Seefeldner, E. 1961, Salzburg und seine Landschaften. – Eine geographische Landeskunde. – Zweiter Ergänzungsband zu den Mitteilungen der Gesellschaft für Salzburger Landeskunde, 573 S.
- Seibold, E. 1955, Rezente Jahresschichtung in der Adria. *Neues Jb. Geol. Paläontol., Mh.* 1, 11–13.
- Seibold, E., Müller, J. & Ferrer, H. 1958, Chemische Untersuchungen eines sapropels aus der mittleren Adria. *Erdöl und Kohle*, 11, 296–300.
- Seibold, E. & Wiegert, R. 1960, Untersuchungen des zeitlichen Ablaufs der Sedimentation in Malo Jezero (Mljet, Adria) auf Periodizitäten. *Z. Geophysik*, 26, 87–104, Berlin-Heidelberg.
- Shapiro, L. & Brannock, W. W. 1962, Rapid Analysis of silicate, carbonate and phosphate rocks. *U.S. Geol. Surv. Bull.*, 1144 A.
- Simony, F. 1847, Messungen der Seen Oberösterreichs. *Haidingers Berichte*. 2, Wien, 326.
- Simony, F. 1850, Die Seen des Salzkammergutes. *Sitz. Ber. k. Akad. Wiss. mathem. naturwiss. Kl. Abt. IV*, 542–566.
- Simony, F. 1864, Die Seen der Alpen Österr. *Rev.* 202.
- Simony, F. 1879, Über Alpenseen. *Schr. Ver. naturw. Kennt.* 19, 528–565.
- Swain, E. B. 1985, Measurement and interpretation of sedimentary pigments. *Freshwater Biology*, 15, 53–75.
- Szygan, F. 1966, Echinenon als Sekundärcarotinoid einiger Grünalgen. *Z. Naturf.*, 21b, 197–198.
- Tichy, G. 1980, Geologie des Bereiches um die Salzburger Vorlandseen, Raumbezogene Forschung und Planung im Land Salzburg. *Stud. Forsch. Salzburg*, 1, 17–22.

Vallentyne, J. R. 1956, Epiphasic carotenoids in post glacial lake sediments. *Limnol. Oceanogr.*, 1, 252–262.

Vallentyne, J. R. 1957, Carotenoids in a 20.000-year-old sediment from Searls Lake, California. *Arch. Biochem. Biophys.*, 70, 29–34.

Volarić-Mršić, I. & Regula-Bevilaqua, L. 1983, Exkursionsführer für die Exkursion nach Mljet, 19. Juni 1983, unveröff.

Vuletić, A. 1953, Structure géologique du fond du Malo et du Veliko Jezero sur l'île de Mljet. *Acta Adriatica*, 6, 1–63.

Wenzel, E. 1956, Aufschluss des Bodens mit Salpetersäure und Überchlorsäure zur Bestimmung der Gesamtphosphorsäure im Boden unter Verwendung der Vanadat-Molybdat-Methode. *Z. Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde*, 75, 216–222.

Züllig, H. 1961, Die Bestimmung von Myxoxanthophyll in Bohrprofilen zum Nachweis vergangener Blaualgenentfaltung. *Verh. Intern. Verein. Limnol.*, 14, 263–270.

Züllig, H. 1982, Untersuchungen über die Stratigraphie von Carotinoiden im geschichteten Sediment von 10 Schweizer Seen zur Erkundung früherer Phytoplankton-Entfaltungen. *Schweiz. Z. Hydrol.*, 44/1, 1–98.

Züllig, H. 1984, Vorläufige Mitteilungen über das Vorkommendes aus Purpurbakterien stammenden Pigmentes Okenon in Seesedimenten. *Schweiz. Z. Hydrol.* 46/2, 290–293.

Züllig, H. 1985, Pigmente phototropher Bakterien in Seesedimenten und ihre Bedeutung für die Seenforschung (mit Ergebnissen aus dem Lago Cadona, Rotsee und Lobsigensee). *Schweiz. Z. Hydrol.*, 47, 87–126.