

Sitzung der mathematisch-naturwissenschaftlichen Klasse
vom 25. Juni 1981

Sonderabdruck aus dem Anzeiger der math.-naturw. Klasse der
Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Jahrgang 1981, Nr. 5

(Seite 73 bis 91)

Das wirkl. Mitglied Heinz Löffler legt für die Aufnahme in den Anzeiger die folgende Arbeit vor:

„Sedimentologische und pollenanalytische Untersuchungen an drei Kernen aus dem Hallstätter See (Salzkammergut, Österreich).“ Von Jens Müller, Roland Schmidt und Jürgen Schneider.

Zusammenfassung

Im Rahmen einer Vorerkundung wurden im Hallstätter See ein Längsprofil mit einem Sedimentechographen (3,5 kHz) aufgenommen und drei kurze Kerne ($< 1\text{ m}$) entnommen.

Bedingt durch das Vorhandensein von Gas in den Sedimenten und/oder grobklastischer Lagen erscheinen die Ablagerungen des Hallstätter Sees akustisch opak. Aus diesem Grunde sind keine Aussagen über interne Lagerungsstrukturen oder das Ausmaß der glazialen Übertiefung bzw. der Sedimentmächtigkeiten möglich.

Die sedimentologische und pollenanalytische Untersuchung der Kerne ergab eine deutliche Abgrenzung der Ablagerungsbereiche der Traun im südlichen tiefen Hauptbecken von dem des Leislingbaches im nördlichen flachen Teilbecken. Im Einzugsgebiet der Traun kommen in dem durch die Kerne dokumentierten Zeitraum offenbar vor allem Glazialschutt und Böden zum Abtrag, während mesozoische und oberpermische Gesteine im Ablagerungsbereich des Leislingbaches aufgrund des hohen Anteiles umgelagerter präquartärer Sporomorphen (Haselgebirge, Zlambachschichten) nachweisbar sind. Zudem zeichnen sich die Sedimente des nördlichen Beckens durch höhere Montmorillonit- und Kaolinitgehalte aus.

Der hohe Anteil an Nichtbaumpollen mit Kulturzeigern in den jeweils tiefsten Kernproben erlaubte eine Einstufung in die historische Rodungszeit, jedoch innerhalb dieser keine nähere Zeitwertung für die Bestimmung der Ablagerungsraten.

Einleitung

Im Gegensatz zu den zahlreichen limnologischen Studien an den Seen des Salzkammergutes fehlen sedimentologische Untersuchungen aus diesem Bereich bisher weitgehend. Die hier vom Hallstätter See vorgelegten Ergebnisse wurden im Zuge einer ersten Vorerkundung gewonnen, die im Zusammenhang mit der derzeit noch laufenden detaillierten Sedimentuntersuchung des Traunsees steht (Schneider et al., in Vorb.)

Im Mittelpunkt dieser ersten sedimentologischen Bestandsaufnahme stehen Fragen nach der Zusammensetzung der Sedimente und deren Herkunft bzw. die Abgrenzung von Ablagerungsbereichen. Darüber hinaus sollte versucht werden, mit Hilfe pollenanalytischer Untersuchungen die Sedimentationsraten in den einzelnen Seebereichen sowie sedimentologische Kriterien für die Besonderheiten des Hallstätter Sees als einem stark durchströmten See zu erarbeiten.

Allgemeine Angaben und bisherige Untersuchungen

Der Hallstätter See gehört zum Flußgebiet der Traun (Abb. 1). Seine wichtigsten morphometrischen und hydrographischen Daten sind in Tabelle 1 zusammengefaßt.

Tabelle 1

Morphometrische und hydrographische Daten über den Hallstätter See. (1) nach Angaben von Ruttner (1938) und (2) nach Jagsch (1981).

Seehöhe ü. NN	508 m (1)
Fläche	8,58 km ² (1)
Volumen	557 × 10 ⁶ m ³ (1)
Größte Tiefe	125,2 m (1)
Seeboden ü. NN	382,8 m

Mittl. Tiefe	64,9 m (1)
Größte Breite	1,4 km (2)
Umfang	22 km (1)
Einzugsgebiet.....	646,5 km ² (2)
Mittelwasserführung	
Abfluß	37,3 m ³ /s (2)
Füllzeit	1/2 Jahr (2)

Die Traun (Abb. 1, TR) mündet bei Obertraun im SE in den Hallstätter See und verläßt ihn im N bei Steeg. Nach Jagsch (1981) bringt die Traun 53% der Gesamtwasserfracht. Die in ihrem Geschiebe und ihrer Schwebfracht transportierten Sedimente leiten sich nach Haempel (1918) vorwiegend aus dem Dachsteinkalk und in geringem Umfang aus Werfener Schiefen sowie Glazial- und Gehängeschutt ab. Der zweitgrößte Zufluß ist der Gosaubach (Abb. 1, GO), dessen Schwemmfächer den See in zwei Teilbecken trennt. In seinem Einzugsgebiet stehen Dachsteinkalk, Riffkalke, Muschelkalk, Mergel, Sandsteine und Kalke der Gosauformation an. Weitere wichtige Zuflüsse des südlichen Seebeckens sind der Mühlbach (Abb. 1, MÜ), der aus dem Gebiet des Hallstätter Salzberges kommt, und der Waldbach (Abb. 1, WA), der das Dachsteinmassiv entwässert und kalkiges und dolomitisches Geschiebe führt. Der wichtigste Zufluß im nördlichen Becken ist der Zlam- oder Leislingbach (Abb. 1, LE), der ein Gebiet mit vergleichsweise großer Gesteinsvielfalt entwässert. Nach Haempel (l. c.) gehören dazu Lias-schichten, Werfener Schiefer, Salzton mit Gips, Glazialschutt und triassischer Dolomit.

Die bathymetrische Vermessung des Hallstätter Sees wurde in den vierziger Jahren des vorigen Jahrhunderts von F. Simony durchgeführt. Auf diesen Daten beruhen im wesentlichen die in der heutigen Österreich-Karte 1:25 000 angegebenen Tiefenlinien. Eingehende Beschreibungen der Beckenmorphologie (Abb. 2 A und 2 B) des Hallstätter Sees erfolgten durch Müllner (1896) und Haempel (l. c.). Danach läßt sich der See in zwei Teilbereiche gliedern, den nördlichen „oberen“ See und den südlichen „unteren“ See, die von einer dem Gosaubachdelta vorgelagerten Schwelle (ca. 26 m) getrennt werden. Das südliche Becken ist charakterisiert durch in der Regel steil abfallende

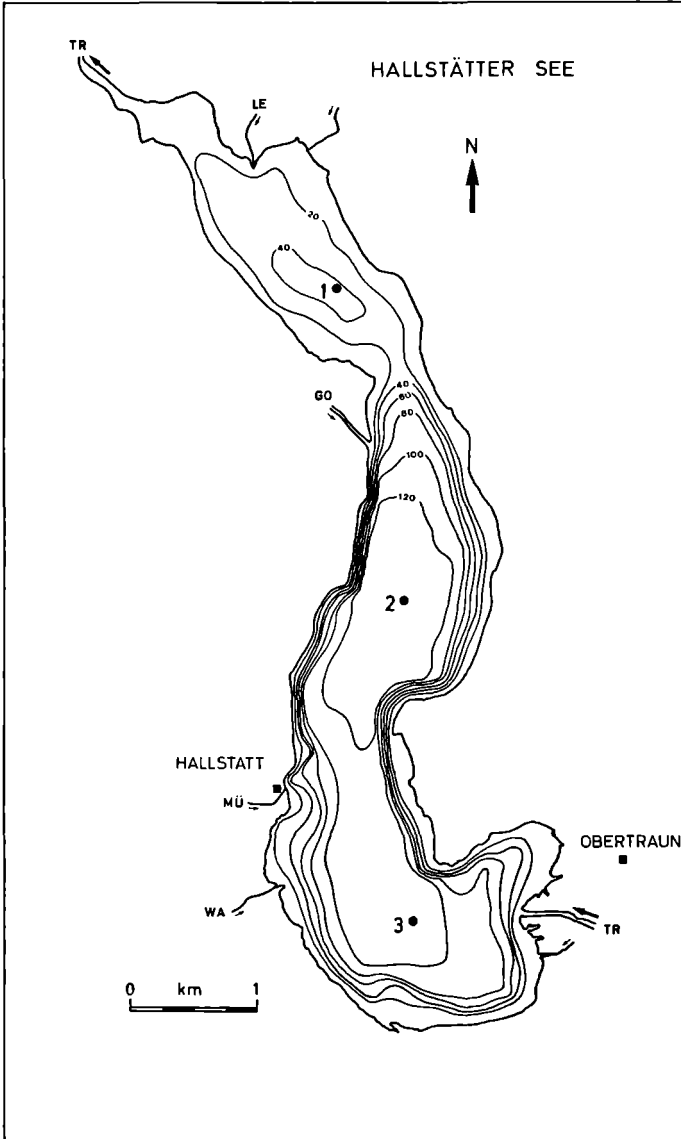


Abb. 1: Hallstätter See mit Lage der Kern-Stationen. Isobathen nach Karte Nr. 96/3 (1 : 25 000). — Namen der Zufüsse s. Text.

Halden ($>60^\circ$), die in einer Tiefe von rund 100 m in das Profundal übergehen. Das zentrale Profundal mit einer maximalen Tiefe von rund 125 m im Mittelteil des Sees wird von der 120 m Isobathe begrenzt und weist in seiner Längsrichtung Neigungen von weniger als $0,5^\circ$ auf.

Das nördliche Becken ist gekennzeichnet durch flache Haldenböschungen (durchschnittlich 6° nach Müllner, l. c.) und hat eine maximale Tiefe von rund 45 m. Der von Simony (cit. Müllner l. c.) innerhalb des nördlichen Beckens beobachtete SW-NE streichende Rücken wird von Müllner (l. c.) und Haempel (l. c.) als Stirnmoräne gedeutet.

Traun und Hallstätter See trennen heute die Karbonatplattform des Dachsteinkalkes in die Stöcke des Dachsteins und des Sarsteins. Nach Spengler (1918) und Schädler (1959) könnten als primäre Ursachen für die Entstehung dieser Talung „salinare Erscheinungen“ im Liegenden der Hallstätter Fazies verantwortlich sein.

In den Eiszeiten fungierte der Hallstätter See als Sammelbecken der Eisströme aus dem Dachsteinmassiv bzw. in den Hochglazialen als Transfluenzfurche solcher aus dem Raume Aussee (Einzugsgebiet Totes Gebirge) und Mitterndorf/Ennstal (Anschluß an das zentralalpine Eisstromnetz) (Penck und Brückner 1909, Van Husen 1977). Das Ausmaß der glazialen Über tiefung des Seebeckens ist unbekannt. Gedämmt wurde dieses ursprünglich durch eine bei Bad Goisern liegende Endmöränen serie einer Gletschervorstoßphase, die Penck und Brückner (1909) dem Gschnitz zuordneten. Um eine Fernkonnektierung mit den Tiroler Typlokalitäten vorläufig zu vermeiden, wählte Van Husen (1977) dafür die Lokalbezeichnung „Goiserer Stand“. Pollenanalytische Untersuchungen (Schmidt 1976, Draxler 1977, Schmidt 1981) und C 14-Daten von Mooren der Mitterndorfer Senke (Draxler und Van Husen 1977) legen eine Einstufung desselben in die Älteste Dryas (I a), am wahrscheinlichsten in das Zeitintervall zwischen dem Bölling- und einem Prä-Bölling-Interstadial nahe. Im Bölling-Interstadial dürfte zumindest das Nordbecken des Sees eisfrei geworden sein, eine Zuordnung von moränenartigen Bildungen bei Hallstatt und Obertraun („Echern Stand“ Van Husen's) zur Älteren Dryas (I c) ist noch fraglich. Im nördlichen Bereich überformte das Delta des Leislingbaches die im obigen Sinne Bölling-zeitlichen Eiszerfalls bildungen. Die Mächtigkeit der spät- und postglazialen Sedimentfüllung im heutigen Seebecken ist unbekannt. Die von Haempel

(1. c.) zitierten Messungen der Schlammmächtigkeiten von bis zu 8 Metern sind vermutlich nicht zutreffend.

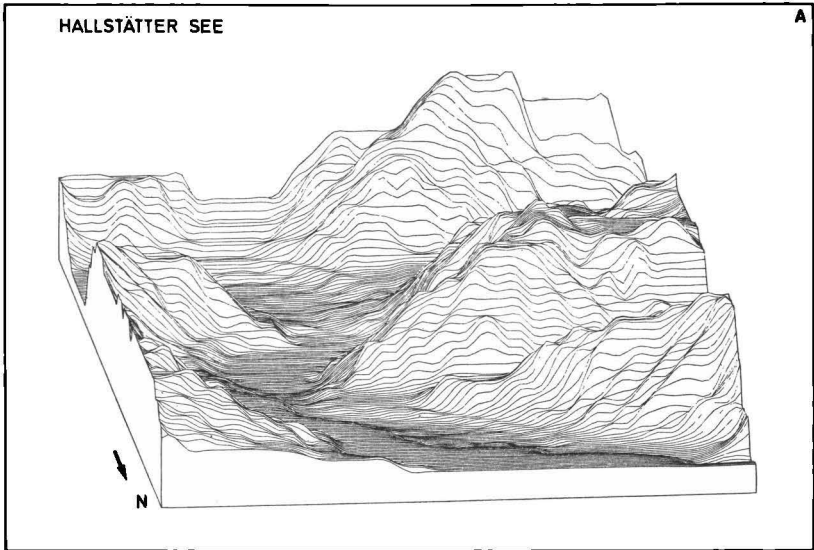
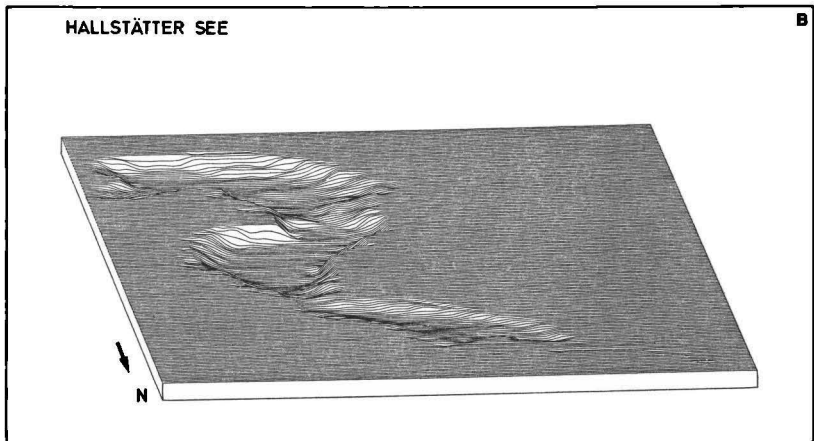


Abb. 2: Dreidimensionale Geländemodelle des Hallstätter Sees. A: Darstellung mit umgebendem Gelände.



B: Heutige Seefläche ohne umgebendes Gelände. Blick von Norden (5°), Blickwinkel 12° , A und B ohne Überhöhung.

Aus der Vielzahl limnologischer Untersuchungen am Hallstätter See sind die Arbeiten von Ruttner (1938) und aus neuerer Zeit von Jagsch (1981) zu nennen, aus denen die für unsere Fragestellung wichtigen Ergebnisse entnommen sind. Bedingt durch die starke Durchströmung ist das Metalimnion während der Sommerstagnation verhältnismäßig mächtig und reicht bis zu einer Tiefe von rund 40 *m*. In den Tiefenbereichen unterhalb 90—100 *m* wird zeitweilig eine Dauerstagnation beobachtet. Als Grund für diese Meromixis werden einmal die windgeschützte Lage sowie erhöhte Dichten im Tiefenwasser angeführt, die auf die Anwesenheit von Chlorid aus dem Hallstätter Salzbergbau zurückgeführt werden.

Methoden

Im Rahmen der Sedimentechographenaufnahmen wurde ein 3,5 *kHz* Schwingersystem (ORE-Modell 1032) eingesetzt. Impulsfolge und -länge wurden dabei entsprechend den Bedingungen anderer Aufnahmen von Seen in Bayern und Oberösterreich gewählt, bei denen gute Auflösungen und Eindringtiefe erzielt wurden (Müller, in Vorb.). Gleichzeitig war ein ELAC-30-*kHz*-Gerät zur Tiefenaufzeichnung zugeschaltet. Sämtliche Positionsbestimmungen wurden mit Peilkompaß bzw. Winkelprisma vorgenommen.

Die Erstellung des dreidimensionalen Geländemodells (Abb. 2) erfolgte unter Zugrundelegung der in Karte Nr. 96/3 (im Maßstab 1: 25 000) eingezeichneten Isohypsen.

Die Kerne wurden im Sommer 1979 mit einem Schwerelot (Meischner und Rumohr, 1974) mit einem Rohrdurchmesser von 4 *cm* genommen. Kern 1 (Länge 91 *cm*) stammt aus dem nördlichen Teilbecken aus einer Wassertiefe von 44 *m*, Kern 2 (Länge 76 *cm*) aus dem zentralen Profundal aus einer Tiefe von 125 *m* und Kern 3 (Länge 90 *cm*) aus dem südlichen Profundal vor der Traunmündung aus 105 *m* Wassertiefe (Abb. 1).

Alle drei Kerne zeigten — bedingt durch die Druckentlastung — wenige Minuten nach dem Verbringen an Bord deutliche Entgasungsspuren.

Für die sedimentologische Untersuchung wurden jeweils 10 *cm* Kernstrecke zu einer Probe zusammengefaßt. Die Korngrößenverteilung wurde durch Siebung (> 63 μ) sowie nach dem Bürett-Verfahren (Fabricius und Müller, 1970) ermittelt. Karbonat-Kohlenstoff und organischer Kohlenstoff wurden volumetrisch als CO₂ mit Hilfe eines LECO-Induktionsofens bestimmt.

Die qualitative und quantitative Bestimmung der mineralogischen Zusammensetzung erfolgte durch Röntgendiffraktometrie. Hierbei wurden die Gehalte an Calcit, Dolomit und Quarz mit Hilfe des Karbonat-Kohlenstoffes berechnet (Müller und Sigl, 1977; Müller, in Vorb.); die Gehalte an Schichtsilikaten (in erster Linie Tonmineralien) und Feldspäten ergeben sich dabei als Rest bezogen auf 100% (Trockengewicht). Die Tonfraktion ($< 2\mu$) wurde nach dem Atterberg-Verfahren abgetrennt. Die Identifizierung der Tonminerale erfolgte an entkalkten Texturpräparaten aufgrund der Lage bzw. der Verschiebung der charakteristischen Basisreflexe nach Glykolbehandlung und Erhitzen auf 550° (3 h). Zusätzlich wurde Kaolinit nach der Methode von Garcia und Camazano (1968) bestimmt. Die Proportionen der einzelnen Tonmineralgruppen wurden durch Peakhöhenvergleich bestimmt, wobei für Illit und Montmorillonit die 001-Reflexe des Glykolpräparates, für Chlorit der 004- und für Kaolinit der 002-Reflex des unbehandelten Präparates herangezogen wurden.

Die Aufbereitungsfolge der Pollenproben ist nach W. Klaus (1975) modifiziert. Der allgemein gebräuchlichen Azetolyse nach Erdtman ist eine Chlorierung vorangestellt. Karbonatreiches Material konnte in üblicher Weise mit HCl, silikatisches mit kochender technischer HF entfernt werden.

Ergebnisse

Im gesamten mit dem Längsprofil erfaßten Seebereich war bei der Sedimentechographenaufnahme keine Aufzeichnung der Lagerungsstrukturen oder eine Erfassung der Sedimentmächtigkeiten möglich, da die gesamte akustische Energie an oder nahe der Sedimentoberfläche reflektiert wurde. Lediglich im Bereich des zentralen Profundals konnten eine Reihe von Reflektoren über einen Laufzeitbereich von 6 ms aufgezeichnet werden. Diese Reflektorgruppe setzt sich aus zwei oberflächennahen kontinuierlichen Reflektoren und einer Reihe tiefer liegender und in ihrer Ausbildung sich verändernder Reflektionshorizonte zusammen, wobei letztere zur Mitte des zentralen Profundals hin treppenartig aussetzen und einen tiefer liegenden Reflektor aufscheinen lassen. Der tiefste prominente Reflektor liegt dabei unter Annahme einer Schallgeschwindigkeit von 1500 m/s in einer Tiefe von rd. 4,5 m. Die unterhalb dieses Reflektors liegenden Sedimente erscheinen akustisch opak bzw. lassen keine Schichtung erkennen.

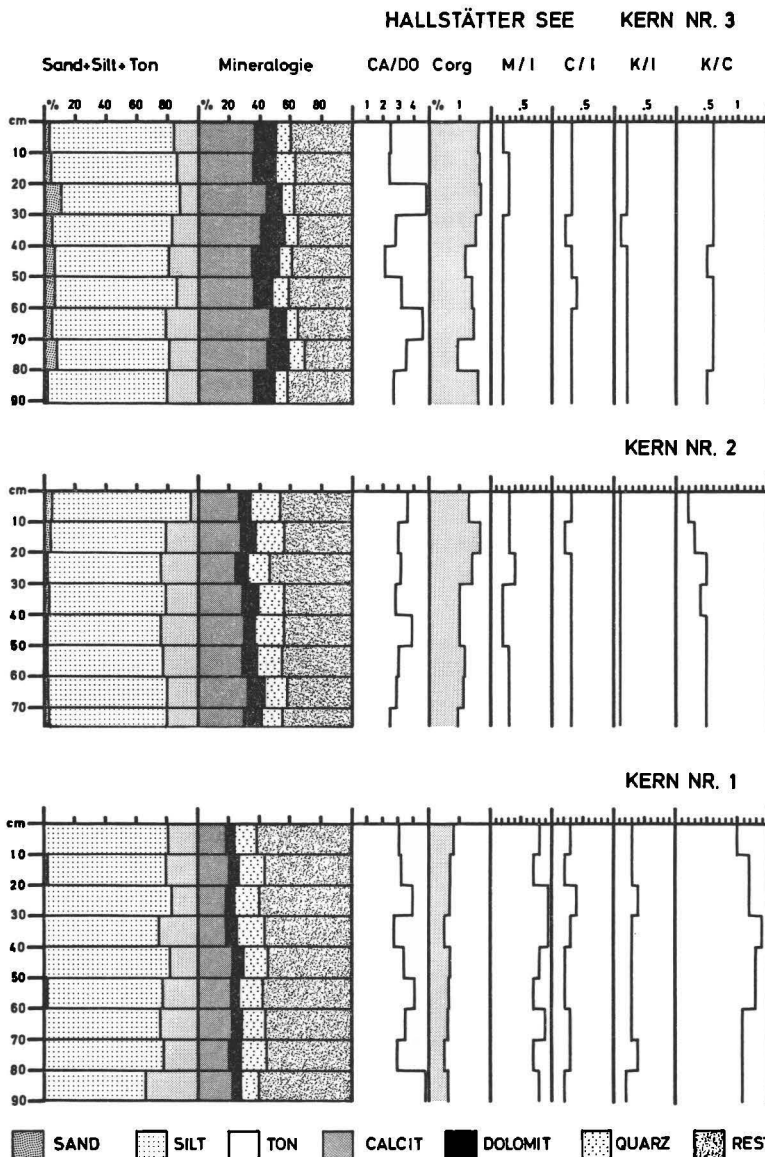


Abb. 3: Korngrößenverteilung, mineralogische Zusammensetzung, organischer Kohlenstoff (C org) und Tonmineralogie der Kerne HA 1—HA 3. Abkürzungen s. Text.

Da im Hallstätter See sicherlich von einer postglazialen Sedimentmächtigkeit von weit mehr als 4,5 m auszugehen ist, kommen für die o. a. Beobachtungen in den Sedimentechographenaufzeichnungen in erster Linie zwei Deutungen in Betracht. Reflektionsphänomene dieser Art können entweder durch grobklastische Lagen (z. B. Turbiditablagerungen) oder durch das Vorhandensein von Gas (z. B. Methan, CO₂, Stickstoff) hervorgerufen werden (Schubel und Schiemer, 1973). Eine Zuordnung der Ursachen ist im Hallstätter See vorerst nicht möglich. Obwohl das Auftreten von Gas (s. o.) aufgrund der beobachteten Entgasung an den Kernen nachzuweisen war, kann das Vorhandensein von Turbiditablagerungen nicht ausgeschlossen werden. Sämtliche beobachteten Reflektionshorizonte liegen jedoch tiefer als die Basis der entnommenen Kerne (<1 m), wodurch der Versuch einer Korrelation zwischen lithologischen und akustischen Eigenschaften entfallen muß.

Die Ergebnisse der sedimentologischen Untersuchungen der drei Kerne und deren statistischen Auswertung sind in Abb. 3 bzw. in Tabelle 2 zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 2

Mittelwerte (\pm) und Standardabweichungen (s) ausgewählter sedimentologischer Parameter über die jeweils gesamte Kernstrecke von Kern 1 (9 Proben), Kern 2 (8 Proben) und Kern 3 (9 Proben).

		Kern 1	Kern 2	Kern 3
Sand %	\pm	0,50	2,90	5,90
	s	0,60	1,10	2,80
Silt %	\pm	76,70	77,20	76,80
	s	4,90	5,10	3,20
Ton %	\pm	22,80	19,90	17,40
	s	4,90	6,10	3,10
Mean size \varnothing	\pm	7,85	7,38	7,14
	s	0,21	0,20	0,22
Calcit %	\pm	20,80	28,60	39,90
	s	1,80	2,30	4,80
Dolomit %	\pm	6,00	9,40	13,00
	s	1,00	1,70	2,30

		Kern 1	Kern 2	Kern 3
Calcit/Dolomit Verh.	±	3,60	3,10	3,20
	s	0,70	0,50	1,00
Quarz %	±	15,80	16,50	9,70
	s	2,00	2,30	1,70
Org. Kohlenstoff %	±	0,69	1,21	1,46
	s	0,09	0,24	0,25
Montmor./Illit (M/I)	±	0,80	0,28	0,22
	s	0,12	0,06	0,04
Chlorit/Illit (C/I)	±	0,26	0,28	0,30
	s	0,07	0,00	0,05
Kaolinit/Illit (K/I)	±	0,31	0,10	0,19
	s	0,06	0,00	0,03
Kaolinit/Chlorit (K/C)	±	1,19	0,42	0,57
	s	0,12	0,11	0,05

Bei der Korngrößenuntersuchung ergaben sich für die einzelnen Komponenten Sand ($> 63\mu$), Silt ($63 - 2\mu$) und Ton ($< 2\mu$) in den einzelnen Beckenbereichen folgende Verteilung: In Kern 3 vor der Traunmündung liegen die über die gesamte Kernstrecke gemittelten Sandgehalte bei rd. 6%; in Kern 2 und 1 liegen die entsprechend bestimmten Werte bei 3% bzw. 0,5%. Die Siltfraktion ist in allen drei Kernen mit mehr als 75% (Mittelwerte) dominant. Die durchschnittlichen Tongehalte liegen in Kern 1 mit rd. 23% am höchsten und nehmen in Richtung zur Traunmündung auf rd. 17% ab.

Bei der überwiegenden Zahl der untersuchten Proben handelt es sich nach dem Gliederungsschema von Müller (1961) um tonige Silte (84%), untergeordnet sind Tonsilt (8%), Silt (4%) und tonigsandiger Silt (4%).

Signifikante Änderungen in den Gehalten von Sand, Silt und Ton in Abhängigkeit von der Kerntiefe sind nicht festzustellen, abgesehen von einer leichten Zunahme der Tongehalte mit zunehmender Tiefe in Kern 1.

Im Zusammenhang mit der mineralogischen Zusammensetzung weisen die drei Kerne bzw. Ablagerungsbereiche ebenfalls charakteristische Unterschiede auf.

Die höchsten Calcit- und Dolomitgehalte treten in Kern 3 mit rd. 40% bzw. 13% auf, die niedrigsten Durchschnittswerte mit rd. 21% bzw. 6% werden in Kern 1 im nördlichen Teilbecken verzeichnet. Die entsprechenden Gehalte in Kern 2 aus dem zentralen Profundal liegen mit rd. 29% bzw. 9% zwischen den beiden Extremen. Parallel zur Abnahme der Karbonate in den beiden letztgenannten Ablagerungsbereichen geht eine leichte Zunahme der Konzentration an Quarz einher, vor allem aber bei den Schichtsilikaten (Abb. 3, Rest), deren Anteil in Kern 1 in der Regel über 60% liegt. Die Feldspatgehalte lagen in der überwiegenden Zahl der Proben an der röntgenographischen Nachweisgrenze, auf ihre Darstellung wurde aus diesem Grunde verzichtet.

Die Proportionen der Karbonatminerale Calcit und Dolomit (Abb. 3, CA/DO) zeigen in den drei Ablagerungsbereichen keine deutlichen Unterschiede. Im Mittel liegen die Calcitgehalte um das drei- bis vierfache höher als die von Dolomit. Unterschiede werden jedoch in den Proportionen zwischen Dolomit und Quarz festgestellt. Vor dem Traundelta betragen die Dolomitgehalte etwa das 1,5fache derjenigen von Quarz, im zentralen Profundal und im nördlichen Teilbecken liegt der von Quarz doppelt so hoch wie der von Dolomit. Hierbei handelt es sich vermutlich um einen Korngrößeneffekt, da Dolomit in See- und Flußablagerungen mit einem vergleichbaren Einzugsgebiet häufig in der Grobsiltfraktion (63—20 μ) angereichert ist (Müller und Sigl, 1. c.).

Die Tonmineralassoziation ist in allen drei Kernen gleich. In der Tonfraktion sind Illit, Chlorit, Kaolinit und schlecht kristallisierter Montmorillonit nachweisbar. Letzterer ist offenbar teilweise Bestandteil eines Wechsellagerungsminerals. Dies wird aufgrund diffuser Reflexe im luftgetrockneten Präparat zwischen 14 Å und 12 Å vermutet, die nach der Glykolbehandlung fehlen.

Bezüglich der Verteilung der Tonmineralgruppen im Hallstätter See ergibt sich eine deutliche Gliederung in zwei Vergesellschaftungstypen. Aufgrund der Peakhöhenvergleiche ergeben sich für den Bereich vor dem Traundelta (Kern 3) und im zentralen Profundal (Kern 2) annähernd identische Proportionen. Das nördliche Teilbecken dagegen zeigt ein abweichendes Bild (Kern 1). Dies wird besonders beim Vergleich der Peakhöhenverhältnisse Montmorillonit/Illit (Abb. 3, M/I) und Kaolinit/Chlorit (Abb. 3, K/C) zwischen den beiden erstgenannten Kernen und Kern 1

ersichtlich, die auf eine vermehrte Ablagerung von Montmorillonit und Kaolinit im nördlichen Becken hinweisen.

Bei den Gehalten an organischem Kohlenstoff (Abb. 3, Corg) ist eine deutliche Abnahme mit zunehmender Entfernung vom Traundelta zu beobachten. So liegt das Mittel für organischen Kohlenstoff vor der Traunmündung bei rd. 1,5 %, im zentralen Profundal bei rd. 1,2 % und im nördlichen Teilbecken bei rd. 0,7 %.

Eindeutige Korrelationen zwischen Korngrößenverteilung und der mineralogischen Zusammensetzung oder dem Gehalt an organischem Kohlenstoff können nicht festgestellt werden. Der Vergleich der Schichtsilikatanteile (Abb. 3, Rest) mit den Tongehalten deutet darauf hin, daß in der Regel mehr als die Hälfte der Schichtsilikate in den Siltfraktionen vertreten sind. Dies kann einmal auf der primären Korngröße einiger Schichtsilikate im Siltbereich beruhen, zum anderen sind Aggregationen von Tonmineralpartikeln im Siltkorngrößenbereich nicht auszuschließen (s. u.).

Die pollenanalytische Untersuchung wurde an den jeweils tiefsten Proben von Kern 1 (80—90 cm) und Kern 2 (60—70 cm) durchgeführt. In beiden Fällen wurden höhere Nichtbaumpollenwerte (35 % bzw. 32 %) gefunden, der Anteil der Getreidetypen an den NBP lag bei 2 % bzw. 6 %. Damit liegen beide Kernabschnitte zeitlich gesehen innerhalb der historischen Rodungsphasen (<2000 Jahre BP). Weitere Kulturanzeiger sind *Urtica*, *Plantago*, *Chenopodiaceae*, *Rumex*, *Achillea* und *Pteridium*.

Innerhalb der Baumpollen ergaben sich folgende Werte: *Picea* 8 % bzw. 19 %, *Abies* 3 % bzw. 5 %, *Pinus* 8 % bzw. 10 %, und *Fagus* 17 % bzw. 9 %. Die absolute Pollendichte/ccm lag bei 40 000 bzw. 45 000 PK. Der „sekundäre *Pinus*-Anstieg“, wie er für die mittelalterlichen bis neuzeitlichen Profilabschnitte dieses Raumes charakteristisch ist, zeichnet sich hier nicht ab. Entweder sind die Proben innerhalb obigen Abschnittes älter, oder aber es erfolgte eine selektive Verdriftung (Hopkins 1950) schwimmfähigerer saccater PK zugunsten sphäroidaler. Für letzteres spräche die Relation *Abies* : *Fagus* und der doch höhere Getreideanteil, wie er zumeist jüngere historische Abschnitte auszeichnet. Hervorzuheben ist der hohe Anteil (24 %) umgelagerter präquartärer Sporomorphen aus dem Mesozoikum und Oberperm (Haselgebirge, Zlambachsichten, Identifizierung der Sporen nach Klaus 1960, 1963) in Kern 1 aus dem nördlichen Teilbecken, während in der Probe von Kern 2 aus dem zentralen Profundal keine präquartären Sporomorphen aufschienen.

Interpretation

Aufgrund des akustisch opaken Charakters der Sedimente konnten keine Erkenntnisse bezüglich der glazialen Übertiefung des Beckens gewonnen werden. Die damit zusammenhängenden Fragen nach der Mächtigkeit der postglazialen Sedimente müssen aus diesem Grunde ausgeklammert werden. Dies gilt ebenfalls für die Bestimmung der Ablagerungsraten, da nach den Ergebnissen der Pollenanalyse die Basis der vorhandenen Kernstrecken nicht genauer innerhalb der historischen Rodungsphase fixierbar sind.

Die in den jeweiligen Kernen annähernd gleichbleibende Korngrößenverteilung und mineralogische Zusammensetzung sowie die makroskopische Untersuchung der Kerne deuten darauf hin, daß innerhalb des mit den Kernen erfaßten Zeitraumes keine einschneidenden Veränderungen im Ablagerungsmilieu eingetreten sind. Alle drei Kerne erscheinen in sich bezüglich Farbe und Textur einheitlich. Deutliche Hell-Dunkel-Laminierungen im *mm*-Bereich über die gesamte Kernstrecke sind auf Kern 2 aus dem zentralen Profundal beschränkt. Diese Wechselagerung ist in den beiden anderen Kernen sehr viel diffuser ausgebildet — zum Teil infolge der Entgasung — und scheint auf bestimmte Kernabschnitte beschränkt zu sein.

Auffallend sind in Kern 2 und Kern 3 eine Reihe *cm*-mächtiger heller Einschaltungen (Abb. 4), die sich weder in Hinblick auf Korngrößenverteilung noch bezüglich ihrer mineralogischen Zusammensetzung (Karbonate, Silikate) vom normalerweise grauen bis schwärzlichen Normal sediment unterscheiden. Eine Erklärungsmöglichkeit bestünde darin, in diesen Lagen Zeiten von vollständiger Seezirkulation zu sehen, in denen die für die Grau- bzw. Schwarzfärbung in der Regel verantwortlichen Eisensulfide oxidiert bzw. nicht gebildet wurden. Da die Zahl der hellen Lagen (3) in beiden Kernen identisch ist und sich die jeweiligen Tiefen immer in einem konstanten Verhältnis (Tiefe Kern 2/Tiefe Kern 3 $\approx 0,8$) zueinander befinden, kann man im Bereich vor dem Traundelta auf eine um rd. 20% höhere Sedimentationsrate, verglichen mit dem zentralen Profundal, schließen.

Aufgrund der Größe des Einzugsgebietes und der Wasserführung spielt die Traun eine wesentliche Rolle für die Sedimentation im Hallstätter See. Nach Ablagerungen ihrer Geschiebefracht im Deltabereich transportiert sie ihre Schwebfracht in den weiteren Seebereich. Verschiedene Untersuchungen in inneralpinen Seen (z. B. Nydegger, 1967) oder im Vorland der Alpen

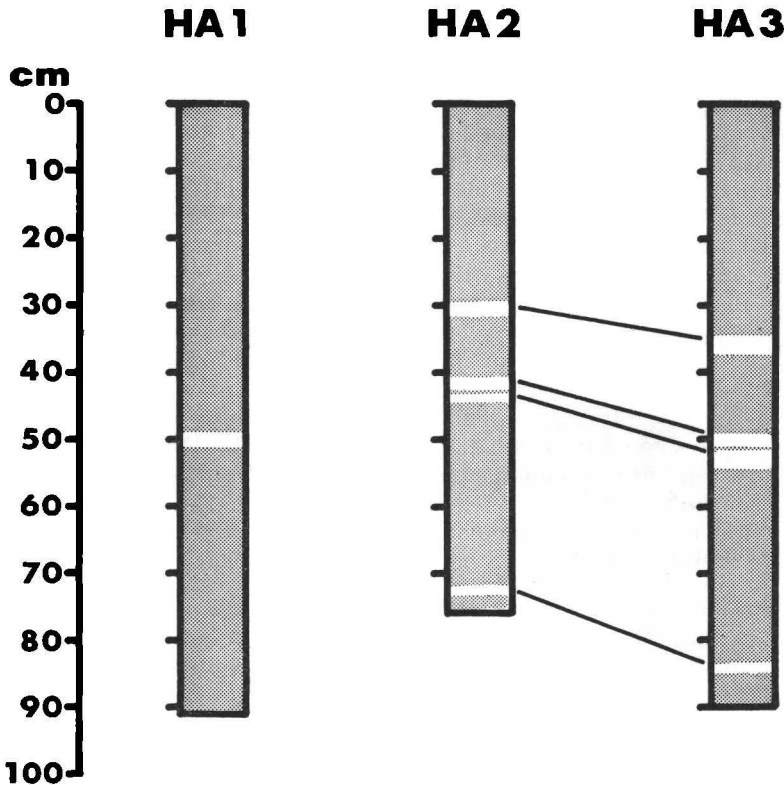


Abb. 4: Verteilung und Korrelation der „hellen Lagen“ in den Kernen.

(Zeh, 1980) zeigten, daß der absolut überwiegende Teil der Schwebstoffzufuhr während des Frühjahres und während der Sommermonate erfolgt, d. h. zu einer Zeit, in der sich die Temperaturschichtung des Sees gerade aufbaut bzw. vorhanden ist. Die Verfrachtung der Schwebstoffe erfolgt bei normaler Wasserführung im Epi- oder Metalimnion, wobei die jeweilige Einschichtungstiefe des Flußwassers in Abhängigkeit von den Dichteunterschieden variiert (Sturm und Matter, 1978). Aus dieser „Schwebstoff-Falle“ sedimentieren zunächst Sand und gröbere Siltpartikel und im Zuge nachlassender Strömung bzw. Turbulenz die feinere Silt- und Tonfraktion. Hierbei würde eine homogene, ungeschichtete Ablagerung entstehen.

Mengenmäßig wichtiger für die Ablagerungsrate sind jedoch die während Hochwasserperioden zugeführten Schwebstoffmengen. Da eingehende Schwebstoff-Untersuchungen im Hallstätter See während dieser Ereignisse noch fehlen, muß offenbleiben, ob der Transport des suspendierten Materials während dieser Periode als sogenannter „interflow“ (Sturm und Matter, l. c.) im Metalimnion erfolgt, wie es von Zeh (l. c.) im Ammersee beobachtet wurde, oder ob grundberührende Trübestrome für die Verfrachtung verantwortlich sind, vergleichbar mit den Beobachtungen von Lambert und Hsü (1978) im Walensee. Die Zuordnung der in Kern 2 aus dem zentralen Profundal beobachtete Laminiierung zu einem der o. a. Transportmechanismen ist jedoch ohne detaillierte Untersuchung der Textur und Zusammensetzung der einzelnen Lagen nicht möglich, sie war im vorliegenden Fall wegen Materialmangel nicht durchführbar. In diesem Zusammenhang ist es von Interesse, daß Lambert und Kelts (1978) auf den Sauerstoffeintrag von grundberührenden Trübestromen hingewiesen haben. Dies ist vielleicht gerade beim Hallstätter See ein Faktor, der bei der Betrachtung der Sauerstoffgehalte des Tiefenwassers während der Sommerstagnation zu berücksichtigen ist.

Die von Ruttner (l. c.) aufgrund des mächtigen Metalimnions postulierte starke Durchströmung des Sees ist sicherlich mit ein Grund für die vergleichsweise groben Sedimente im zentralen Profundal, wo vorwiegend Silt zur Ablagerung kommt. Eine gewisse Rolle können bei dieser Frage aber auch Aggregierungsphänomene spielen, wobei Tonpartikel wegen hoher Elektrolytgehalte des Transportmediums oder beim Übergang vom Flußwasser ins Seewasser mit höherem Lösungsinhalt zu größeren Siltpartikeln aggregieren.

Wie oben schon erwähnt, unterscheiden sich die Sedimente des nördlichen Teilbeckens (Kern 1) von denen des südlichen Profundals (Kerne 2 und 3) besonders bezüglich ihrer Tonmineralverteilung, d. h. durch höhere Montmorillonit- und Kaolinit-Konzentrationen. Dies legt den Schluß nahe, daß sich der Ablagerungsbereich der Traun sowie der anderen Zuflüsse des Hauptbeckens (Gosaubach, Mühlbach, Waldbach) im wesentlichen auf das tiefe Südbecken beschränkt, während nördlich der dem Gosaubachdelta vorgelagerten Schwelle die vom Leislingbach zugeführten Ablagerungen dominieren.

Die im Vergleich zu den im Einzugsgebiet der Traun anstehenden Gesteine (vor allem Dachsteinkalk) bedeutend kalkärmeren

Sedimente des Hallstätter Sees weisen darauf hin, daß hauptsächlich Material der Deckschichten (Glazialschutt und Böden) abgetragen werden, in denen die primär dominierenden Karbonate durch Lösung abgereichert sind. Diese Annahme wird durch das Fehlen präquartärer Sporomorphen in den Sedimenten des Hauptbeckens untermauert. Im Gegensatz dazu weisen das Vorhandensein von mesozoischen und oberpermischen Sporomorphen im nördlichen Becken auf Abtrag dieser Gesteinsserien im Einzugsgebiet des Leislingbaches hin, wobei die dort beobachteten höheren Gehalte an Kaolinit und Montmorillonit zumindest teilweise auf diese Gesteine zurückzuführen sind.

Die in allen Kernen gleichbleibend zwischen 2 und 5 variierenden Calcit/Dolomit-Verhältnisse erfassen die im Einzugsgebiet auftretende Varianz in der Verteilung der beiden Karbonatminerale und deuten darauf hin, daß in den durch die Kerne repräsentierten Ablagerungsbereichen offenbar keine nennenswerte Zufuhr an autochthonem Calcit durch biogene Entkalkung im See erfolgt bzw. durch allochthones Material soweit verdünnt wird, daß es röntgenographisch nicht mehr nachweisbar ist.

Die mit zunehmender Entfernung vom Traundelta abnehmenden Gehalte an organischem Kohlenstoff sind ein deutlicher Hinweis für dessen überwiegend allochthonen Ursprung. Bei diesen in erster Linie von der Traun eingebrachten partikulären organischen Substanzen dürfte es sich vor allem um Pflanzenmaterial handeln. Hinzu kommt, daß das Südbecken durch die Einleitung von ungeklärten häuslichen Abwässern (z. B. durch den Mühlbach in Hallstatt) bisher stärker mit organischem Material belastet war als das Nordbecken. Eine wichtige Rolle spielen in diesem Zusammenhang auch die unterschiedlichen Sedimentationsraten in den einzelnen Seebereichen. Organisches Material wird im Südbecken schneller eingesedimentiert bzw. frühdiagenetisch unvollständiger abgebaut im Vergleich zu Gebieten mit einer geringeren Sedimentationsrate.

Wie einleitend bemerkt, handelt es sich bei der vorliegenden Arbeit um die Ergebnisse einer ersten Vorerkundung. Die hier aufgezeigten Deutungsmöglichkeiten bedürfen daher einer Absicherung durch zukünftige detaillierte Untersuchungen zur Sedimentation im Hallstätter See.

Danksagung

Die Geländearbeiten wurden mit Unterstützung der Gemeinde Hallstatt sowie der Gendarmerie Hallstatt und des

Fischereimeisters Hrn. Fischer (Obertraun) ermöglicht, denen an dieser Stelle gedankt sei. Für die Durchführung der Laboruntersuchungen danken wir Fr. W. Schuster (München) und für die Erstellung der Geländemodelle Hrn. Dr. U. Zeh (München). Zahlreiche Literaturhinweise und Einsicht in bisher unveröffentlichte Daten über den Hallstätter See verdanken wir Hrn. Dr. A. Jagsch (Scharfling).

Literatur

Draxler, I. (1977): Pollenanalytische Untersuchungen von Mooren zur spät- und postglazialen Vegetationsgeschichte im Einzugsgebiet der Traun. — Jb. Geol. Bundesanst. Wien 120/1, 131—163.

Draxler, I. und Van Husen, D. (1977): Zur Entwicklung des Spätglazials im Mitterndorfer Becken (Steiermark). — Verh. Geol. Bundesanst. Wien, Jg. 1977, H. 2, 79—84.

Fabricius, F. und Müller, S. (1970): A buret cylinder for grain size analysis of silt and clay (with Algol-Program). — Sedimentology, 14, 39—50.

Garcia, S. G. und Camazano, M. S. (1968): Differentiation of kaolinite from chlorite by treatment with Dimethyl-sulphoxide. — Clay Minerals, 7, 447—450.

Haempel, O. (1918): Zur Kenntnis einiger Alpenseen, mit besonderer Berücksichtigung ihrer biologischen und Fischerei-Verhältnisse. — In: Internat. Revue der gesamten Hydrobiologie und Hydrographie, 8, 3, 225—306.

Hopkins, J. (1950): Differential flotation and deposition of coniferous and deciduous tree pollen. — Ecology, 31, 633—641.

Jagsch, A. (1981): Der Hallstätter See. — In: Seenreinhaltung in Österreich, Limnologie-Hygiene-Sanierungs-Erfolge. — Hrsg.: Sampl u. Gusinde, BM f. Land- und Forstwirtschaft, Wien, im Druck.

Jagsch, A. (1981): Limnologische Untersuchung Traunsee — Traun. Ergebnisse der limnologischen Untersuchungen vom Hallstätter See und Wolfgangsee seit 1970. — Hrsg.: Amt der Oö. Landesregierung in Linz, im Druck.

Klaus, W. (1960): Sporen der karnischen Stufe der ostalpinen Trias. — Jb. Geol. Bundesanst. Wien 79, 1960, SB. 5 (Beiträge zur Mikropaläontologie der alpinen Trias), 107—182.

Klaus, W. (1963): Sporen aus dem südalpinen Perm. — Jb. Geol. Bundesanst. Wien, 106, 229—361.

Klaus, W. (1975): Über bemerkenswerte morphologische Bestimmungsmerkmale an Pollenkörnern der Gattung *Pinus* L. — Linzer biol. Beitr., 7/3, 329—369.

Lambert, A. und Hsü, K. J. (1979): Non-annual cycles of varve-like sedimentation in Walensee, Switzerland. — Sedimentology, 26, 453—461.

Lambert, A. und Kelts, K. (1978): The influence of turbidity underflows on the trophic conditions in perialpine lakes. — Abstracts, X. Int. Congress on Sedimentology, Jerusalem, 365.

Meischner, D. und Rumohr, J. (1974): A light-weight, high-momentum gravity corer for subaqueous sediments. — Senckenbergiana maritima, 6, 1, 105—117.

Müller, G. (1961): Das Sand—Silt—Ton-Verhältnis in rezenten marinen Sedimenten. — N. Jb. Mineral. Mh. 7, 148—163.

Müller, J. und Sigl, W. (1977): Morphologie und rezente Sedimentation des Ammersees. — N. Jb. Geol. Paläont. Abh., 154, 2, 155—185.

Müllner, J. (1896): Die Seen des Salzkammergutes und die österreichische Traun. — Geogr. Abh., Wien, 6, 1, 14—17.

Nydegger, D. (1967): Untersuchungen über Feinstofftransport in Flüssen und Seen, über Entstehung von Trübungshorizonten und fußfußbedingten Strömungen im Brienzner See und einigen Vergleichsseen. — Beitr. Geol. Schweiz Hydrol., 16, 1—92.

Penck, A. und Brückner, E. (1909): Die Alpen im Eiszeitalter. 1: Die Eiszeiten in den nördlichen Ostalpen. Leipzig, 393 S.

Ruttner, F. (1938): Limnologische Studien an einigen Seen der Ostalpen. — Archiv f. Hydrobiologie, 32, 167—319.

Schadler, J. (1959): Zur Geologie der Salzkammergutseen. — In: Seen, Flüsse und Bäche im Salzkammergut. — Schriften des österr. Fischereiverbandes, 2, 36—54.

Schmidt, R. (1976): Pollenanalytische Untersuchungen von Seesedimenten zum Eisrückzug und zur Wiederbewaldung im NE-Dachsteingebiet und im Becken von Aussee (Steirisches Salzkammergut). — Linzer biol. Beitr. 8/2, 367—373.

Schmidt, R. (1981): Grundzüge der spät- und postglazialen Vegetations- und Klimageschichte des Salzkammergutes (Österreich) aufgrund palynologischer Untersuchungen von See- und Moorprofilen. — Mitt. Kommission Quartärforsch. Österr. Akad. d. Wiss., Wien, im Druck.

Schubel, J. R. und Schiemer, E. W. (1973): The cause of the acoustically impenetrable, or turbid, character of Cheasepeake bay sediments. — Marine geophysical researches, 2, 61—71.

Spengler, E. (1918): Zur Talgeschichte des Traun- und Gosautales im Salzkammergut. — Verh. Geol. Reichsanst. Wien, 130—140.

Sturm, M. und Matter, A. (1978): Turbidites and varves in lake Brienz (Switzerland): Deposition of elastic detritus by density currents. — Spec. Publ. Int. Ass. Sediment., 2, 147—168.

Van Husen, D. (1977): Zur Fazies und Stratigraphie der jungpleistozänen Ablagerungen im Trauntal. — Jb. Geol. Bundesanst. 120, 1—130.

Van Husen, D. (1979): Verbreitung, Ursachen und Füllung glazial überfluteter Talabschnitte an Beispielen in den Ostalpen. — Eiszeitalter u. Gegenwart, 29, 9—22.

Zeh, U. M. (1980): Schwebstoffe im Ammersee — Untersuchungen zur Verteilung, Zusammensetzung und Sedimentation suspendierten Materials in einem Voralpensee. — Dissertation Technische Universität München, 158 S.

Anschriften der Verfasser:

- Dr. Jens Müller — München, D-8046 Garching, Lichtenbergstraße 4
Lehrstuhl für Geologie, Technische Universität
- Dr. Roland Schmidt — Limnologisches Institut der Österreichischen
Akademie der Wissenschaften, A-5310 Mond-
see, Gaisberg 116
- Prof. Dr. Jürgen Schneider — Geologisch-Paläontologisches Institut und Mu-
seum der Universität, D-3400 Göttingen, Gold-
schmidtstraße 3