

Zeitschrift:	Eclogae Geologicae Helvetiae
Herausgeber:	Schweizerische Geologische Gesellschaft
Band:	69 (1976)
Heft:	1
Artikel:	Bericht über die 91. ordentliche Generversammlung der Schweizerischen Geologischen Gesellschaft in Aarau : Samstag, 4. Oktober 1975
Autor:	[s.n.]
Kapitel:	B: 91e Assemblée générale ordinaire
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-164502

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 23.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

*Dépenses**a) Comptes généraux*

	Fr.	Fr.
Frais généraux	10000.—	
Contribution à la SPS	<u>4000.—</u>	14000.—

b) Eclogae

	Fr.	Fr.
Frais d'impression et de reliure	<u>160000.—</u>	160000.—
	Total des dépenses:	174000.—

<i>Récapitulation:</i> Total des recettes	177000.—
Total des dépenses	<u>174000.—</u>
Bénéfice	<u>3000.—</u>

Neuchâtel, le 13 juin 1975

Le Comité

B. 91^e Assemblée générale ordinaire

Séance administrative

Samedi, 4 octobre 1975,
8 h. 30, à la Bullinger-Haus, Jurastrasse 13, Aarau

Président: L. Hauber

Présents: environ 40 membres

1. Le protocole de l'assemblée du 12 octobre 1974 à Neuchâtel (Eclogae 68/1, p. 219–221) est adopté à l'unanimité.
2. Le président présente son rapport sur l'activité de la société en 1974/75.
3. Le rédacteur présente la situation des Eclogae (fascicules déjà parus et à paraître). Il aborde ensuite les questions et remarques critiques émises par des jeunes membres de la Société au sujet de la politique de publication. Y répondre en quelques mots de façon claire et complète n'est guère possible, de même qu'il n'est pas possible de satisfaire chacun comme on voudrait le faire. En outre, la «liberté de manœuvre» de la société n'est pas grande en ce qui concerne les Eclogae: nos engagements avec la Société paléontologique suisse et nos difficultés financières nous empêchent actuellement de changer radicalement notre politique de publication. MM. Müller, Trümpy et Matter s'expriment brièvement à ce sujet, mais le président propose, vu le manque de temps à disposition ce matin, de ne pas poursuivre la discussion. Le comité n'entend pas enterrer cette importante question et il invite M. Müller et les co-signataires de sa lettre à venir à Bâle dans un proche avenir, afin de poursuivre cette discussion et trouver une solution qui satisfasse chacun et nos finances.
4. Le caissier présente les comptes de 1974 qui se soldent par un déficit de Fr. 20000.-. Pour 1975, l'évolution financière semble se dessiner sous un meilleur jour à la suite des mesures énergiques prises par le comité.

5. M. Flück lit le rapport des réviseurs des comptes.
6. M. Hottinger remercie le comité pour son travail et l'assemblée vote la décharge pour la période 1974/75.
7. Le caissier présente le budget 1975 qui est adopté par l'assemblée.
8. Un nouveau réviseur des comptes est élu en la personne de M. Aymon Baud (Lausanne).
9. Fixation de la cotisation pour 1976: pas de changement.
10. Le président félicite trois nouveaux membres cinquantenaires, MM. Sixer, Winterhalter, Friedlaender, et les remercie pour leur fidélité.

Fin de la séance à 9 h. 30

Le secrétaire: M. WEIDMANN

Wissenschaftliche Sitzung

Samstag, 4. Oktober 1975

Zugleich Sitzung der Fachgesellschaften für Geologie und für Paläontologie der SNG

Vorträge und Referate über Limnogeologie

- M. WELTEN & B. AMMANN-MOSER: Pollenanalysen in quartären Seesedimenten. - M. WELTEN: Untersuchungen an jungquartären Beckenfüllungen im schweizerischen Mittelland. - B. AMMANN-MOSER: Untersuchungen an spät- und postglazialen Sedimenten einiger Alpenrandseen.
- J.-P. VERNET: Limnogéologie des lacs de Suisse occidentale.
- A. MATTER: Sedimente und Sedimentbildung in Schweizer Seen.
- E. DAVAUD: Evolution diagénétique du carbonate de calcium dans les sédiments holocènes du lac de Morat (Suisse).
- R. HESSE: Einige ungewöhnliche sekundäre Sedimentstrukturen im lakustrinen Unterkarbon Neuschottlands (Kanada) und ihre Deutung als Erdbebenanzeiger.
- P. SANTSCHI, U. NIFFELER & P.W. SCHINDLER: Chemische Aspekte der Sedimentation. Untersuchungen am Bielersee 1973–1975.
- M. STURM: Die Oberflächensedimente des Brienzsees.
- R. BODMER: Erste Ergebnisse über die Bildungszeit des Bödeli bei Interlaken und der Sedimente im Brienzsee.
- U. SIEGENTHALER & U. EICHER: O¹⁸/O¹⁶-Untersuchungen an Süßwasserkalken kleiner Seen.
- J.-P. DUBOIS: L'évolution du Lac de Neuchâtel de 1962 à 1973: premiers résultats.
- C. SCHINDLER: Eine geologische Karte des Zürichsees und ihre Deutung.
- M. MÜLLER-VONMOOS, M. GYGER & C. SCHINDLER: Struktur, Mineralogie und bodenmechanische Eigenschaften nacheiszeitlicher Sedimente im Zürichsee.
- K. KELTS: Faziesmodelle anhand der Uferrutschungen von Zug (1884) und Horgen (1875).
- A. LAMBERT: Über kontinuierliche Turbiditätsströmungen in Seen.
- P. FINCKH: Resultate von Wärmeflussmessungen und seismischen Untersuchungen in alpinen Randseen.

Allgemeine Kurzreferate

- N. ZADORLAKY: Eine baugeologische Karte der Stadt Aarau.
- H. FRÖHLICHER: Über einige Sickerwege im Solothurner Jura.
- V. SINGEISEN-SCHNEIDER: Interpretation von Serienschliffen bei Brachiopoden.
- K. BÄCHTIGER & F. HOFMANN: Die Messung der Thermolumineszenz als Testmethode für mögliche Impakt-Effekte am Beispiel des Malmkalk-Trümmerhorizontes in der Oberen Süßwassermolasse von Bernhardzell (Kt. St. Gallen).

Die beiden nachfolgenden Referate wurden aus zeitlichen Gründen verschoben (vorgetragen am 6. Oktober 1975 in Sta. Maria, anlässlich der SGG-Exkursion), vgl. S. 229 und 239.

R. DÖSSEGGER & W. H. MÜLLER: Die Sedimentserien der Engadiner Dolomiten und ihre lithostratigraphische Gliederung.

A. BAUMANN: Zur Geologie der Piz Starlex-Gruppe (SE Engadiner Dolomiten).

MAX WELTEN¹⁾: Pollenanalysen in quartären Seesedimenten. – Untersuchungen an jungquartären Beckenfüllungen im schweizerischen Mittelland

Im Jahr 1916 hat der schwedische Geologe Lennart von Post auf einem Geologenkongress in Kristiania die Anwendung der Fossilpollenuntersuchung auf sedimentologische Probleme in der Form der Pollendiagramme zum ersten Mal vorgelegt. Während in den skandinavischen Ländern die Pollenanalyse in hohem Mass eine Arbeitsmethode der Geologie war, wurde sie anderwärts, bei uns um 1925, von Botanikern aufgegriffen zur Erforschung der Vegetationsgeschichte.

Die enge Zusammenarbeit mit der Urgeschichte einerseits und Jahresschichtzählungen andererseits ermöglichten erste angenäherte Datierungen. Seit 1954 (LIBBY) hat die Radiokarbon-Methode die Möglichkeit der absoluten Datierung organischer Substanz gebracht. Sie erlaubt, Daten der letzten 40 000–70 000 Jahre zu ermitteln.

Die Verbindung der Radiokarbon-Altersbestimmung mit der Pollenanalyse (Palynologie i.w.S.) gestattet heute, jüngere quartärgeologische Umweltverhältnisse und Ereignisabläufe geschichtlich zu erfassen. Die Radiokarbon-Methode für sich liefert zwar Anhaltspunkte für den zeitlichen Ablauf gewisser Sedimentationsvorgänge der letzten rund 50 000 Jahre, soweit ausreichendes autochthones organisches Material eingeschlossen ist und falls der Charakter der Sedimente geologisch eindeutige paläökologische Aussagen ermöglicht. Andernfalls sind die Daten zeitliche Fixpunkte im leeren Raum.

Die Pollenanalyse liefert ein vielgestaltiges Bild des Zustandes und der Änderung der Vegetationsverhältnisse zur Zeit der Sedimentation und zusammen mit der Geologie einen wertvollen landschafts- und klimageschichtlichen Spiegel der verflossenen Jahrhunderttausende (auch dann, wenn vorläufig eine Datierung nicht möglich ist). Freilich: So wenig wie der Sedimentologe kann der Pollenanalytiker Aussagen machen über fehlende Sedimentabschnitte oder über die Ablagerungsdauer und -geschwindigkeit eines Sedimentationskomplexes. Im Gegensatz zur Auswertung der Fossilien älterer geologischer Epochen kann die Pollenanalyse ihre Feststellungen nach dem Aktualitätsprinzip recht zuverlässig an die Verhältnisse der Gegenwart anschliessen und klimakundlich auswerten. Eine gewisse Kenntnis lokaler und regionaler Flora und Vegetation unseres Kontinents ist dabei erforderlich.

Die zahlreichen Arbeiten für den Nationalstrassenbau und die Trinkwasserprospektion haben Aufschlüsse über den Aufbau und die Entstehung unserer quartären

¹⁾ Systematisch-geobotanisches Institut, Altenbergrain 21, CH-3013 Bern.

Erdrinde zu Tage gefördert wie nie zuvor. Zahlreiche Geologen haben die Bedeutung von Aufschlüssen und tiefen Kernbohrungen erkannt und keine Mühe gescheut, das anfallende Material über den momentanen Zweck der Bohrung hinaus weiterer wissenschaftlicher Bearbeitung zugänglich zu machen. Leider sind viele grossartige Tiefbohrungen mit Methoden (z. B. Spülbohrung) durchgeführt worden, die eine nur einigermassen zuverlässige pollenanalytische Auswertung nicht erlauben. In einigen andern Fällen wurden wertvolle lange Bohrkerne unbedenklich weggeworfen.

Die Pollendiagramme der Grabungen an der Wässerifluh und Hurifluh, an der Alten Schlyffi und in der Guntelsei, alle im Glütschtal, bei Mutten-Signau und im Wildkirchli und diejenigen der Kernbohrungen im Glütschtal und im Kanderdurchstich, bei Meikirch und bei Rubigen, bei Ambitzgi-Wetzikon und im Grossriet bei Nänikon liefern Informationen, die bis jetzt am schweizerischen Alpennordrand einzigartig sind. Die pollenanalytisch untersuchte Profillänge erreicht heute ca. 500 m. Die Diagramme führen zum Schluss, dass das mittlere und jüngere Quartär ähnlich verlief wie in Nordeuropa (Holstein- und Eem-Interglazial mit vergleichbarem Laubholzanteil) und dass die Würmeiszeit einige prägnante Interstadiale aufweist, die man nach den Untersuchungen an Schieferkohlen bis jetzt als mässig klimagünstige Interglaziale auffasste. Es ist Aufgabe der nahen Zukunft, diese Interstadiale zuverlässig mit Radiokarbon zu datieren.

Nicht weniger bedeutsame Ergebnisse liegen für den Geologen und Geomorphologen aus Spät- und Postglazial vor. Frau Dr. Brigitta Ammann-Moser und Herr Seminarlehrer Robert Bodmer berichten über Untersuchungen an Seesedimenten. Die Anwendung der Pollenanalyse auf Probleme des letzteiszeitlichen Gletscherrückzugs und der Klimageschichte, auf Probleme der Urgeschichte und der Geschichte der Entstehung und Veränderung der Kulturlandschaft kommen hier nicht zur Sprache.

Der Verfasser dankt allen Geologen und technischen Leitern von Bohrungen und Schürfungen für ihre weitsichtige Vor- und Mitarbeit und hofft, dass in Zukunft nichts unterlassen wird, unsere Kenntnisse über das präalpine und alpine Quartär auszubauen. Wir sind überzeugt, dass die Zusammenarbeit fruchtbar ist.

ERIC DAVAUD¹⁾: Évolution diagénétique du carbonate de calcium dans les sédiments holocènes du lac de Morat (Suisse)

Abstract. The granulometric study of eight piston cores coming from an eutrophic lake (Morat, Switzerland) shows that the mean grain size of the sediments (silty carbonates) decreases strongly from top to bottom in the first decimeters. This evolution is due to progressive leaching of calcite precipitated crystals as proved by scanning electron micrographs. This process is related to diagenesis of organic matter under reducing conditions.

¹⁾ Ecole des Sciences de la Terre, Genève.

Introduction

Les sédiments actuels et holocènes du lac de Morat ont fait l'objet d'une étude géochimique et granulométrique. Ce lac, situé sur la bordure occidentale du bassin molassique suisse, dans une cuvette de surreusement glaciaire (BECKER 1973), reçoit des eaux à dureté calcique élevée et présente depuis plus d'un siècle un état d'eutrophisation avancé. Ces deux caractéristiques se traduisent au niveau des sédiments par des dépôts carbonatés et organiques importants et au niveau de l'interface eau-sédiment par des conditions réductrices permanentes (RIVIER 1936). Les précipitations carbonatées affectent uniformément l'ensemble du bassin mais sont localement «diluées» par des apports terrigènes dont le cheminement est schématisé à la figure 1.

Cet article n'expose pas l'ensemble des résultats géochimiques et granulométriques obtenus mais traite uniquement de l'évolution postsédimentaire des carbonates

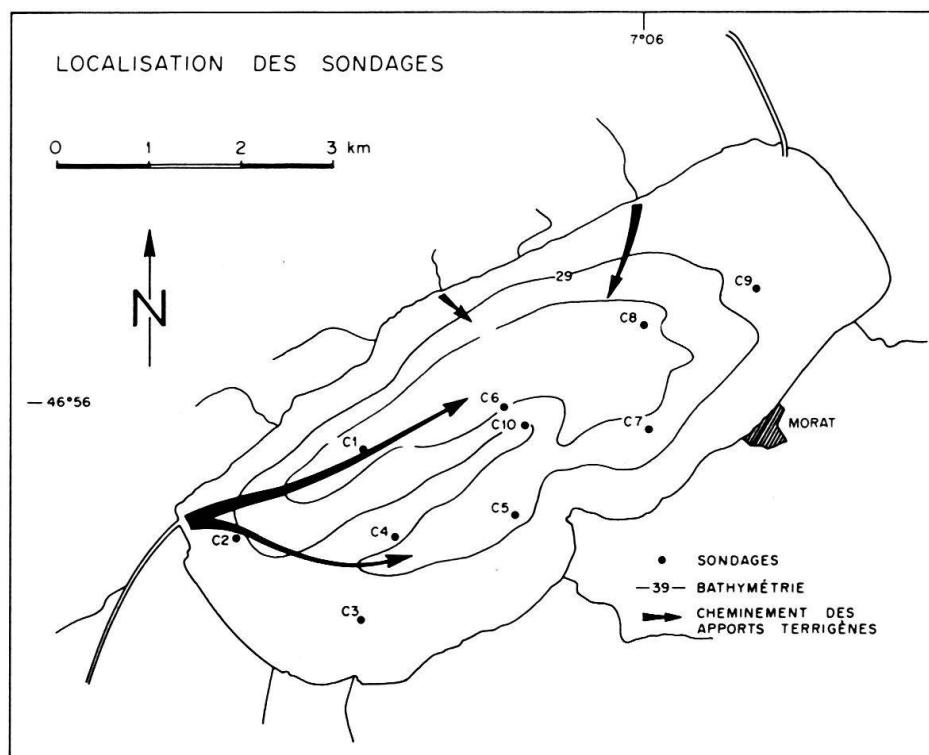


Fig. 1. Localisation des sondages et des principales sources d'apport terrigène.

précipités telle qu'elle a été mise en évidence lors de l'étude granulométrique des premiers mètres de sédiments. Le matériel analysé est constitué essentiellement de silts carbonatés et provient de huit sondages d'environ sept mètres de long dont l'emplacement est reporté sur la figure 1.

Granulométrie et diagenèse des carbonates

L'analyse granulométrique²⁾ montre que certains sondages présentent une augmentation subite du diamètre moyen des particules dans les derniers décimètres de sédiments qui contraste avec les fluctuations de faible amplitude observées dans les sédiments sous-jacents (fig. 2). Parallèlement le degré de classement, mesuré par l'écart-type, augmente au fur et à mesure que l'on s'approche de l'interface et l'asymétrie des distributions granulométriques devient positive. Ce phénomène

SONDAGE 7 GRANULOMÉTRIE ET GÉOCHIMIE

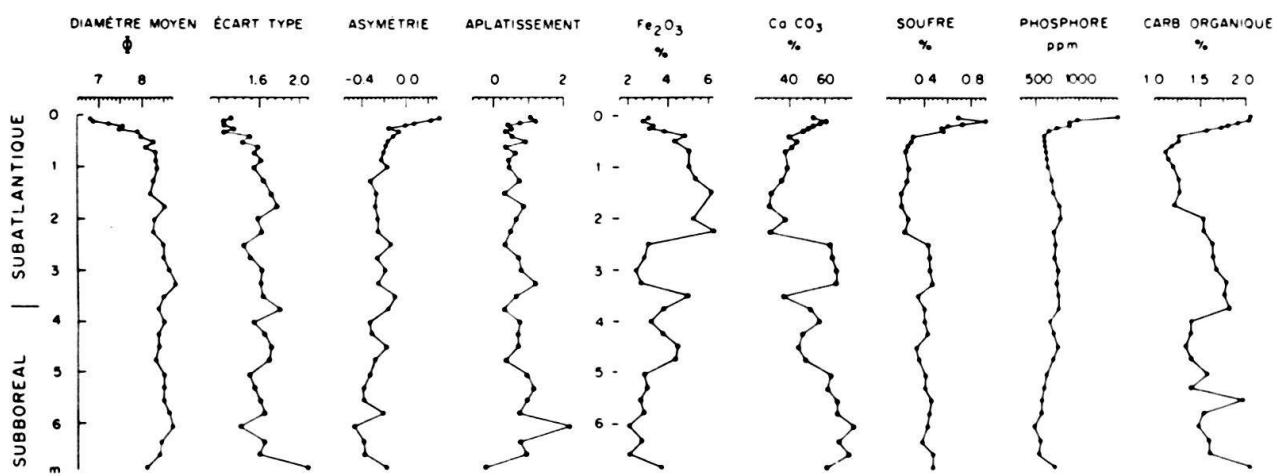


Fig. 2. Courbes de variation stratigraphique de quelques paramètres granulométriques et géochimiques mettant en évidence le parallélisme qui existe entre l'évolution du diamètre moyen des particules et l'évolution de la matière organique (sondage C7).

s'observe particulièrement bien dans les sondages provenant de zones à forte sédimentation carbonatée et à faible sédimentation terrigène (fig. 1: C7, C5, C3) mais il existe de façon latente dans les autres sondages.

Nous avons tout d'abord pensé que l'augmentation subite du diamètre moyen dans le haut des sondages reflétait une modification importante de la sédimentation au cours des dernières décennies et traduisait soit une diminution des apports détritiques argileux, soit une augmentation des apports détritiques silteux.

La première hypothèse serait plausible si les éléments chimiques constitutifs des argiles (Fe_2O_3 par exemple) présentaient une tendance analogue. Or le diagramme de la figure 2 montre qu'il n'en est rien: les deux derniers mètres enregistrent bien une augmentation sensible des teneurs en Fe_2O_3 , qui pourrait corroborer la première interprétation, mais les sédiments sous-jacents présentent des variations considérables de teneur qui ne se répercutent pas de façon perceptible sur la granulométrie³⁾.

²⁾ Tamisages à $63\ \mu$ et aréométrie.

³⁾ Ce phénomène s'explique par le fait que les populations minéralogiques en présence (essentiellement calcite et argiles) ont des caractéristiques granulométriques voisines: l'augmentation relative des carbonates ou des argiles ne se manifeste pas de façon suffisamment nette pour être décelée par les méthodes granulométriques employées.

L'indépendance entre argiles minéralogiques et diamètre moyen est établie et exclut l'hypothèse selon laquelle l'augmentation du diamètre moyen enregistrée à proximité de l'interface serait due à une diminution des apports argileux.

L'hypothèse d'une augmentation des apports détritiques silteux qui pourrait également être invoquée pour expliquer les variations du diamètre moyen dans le dernier mètre de sédiment doit être rejetée pour la bonne raison que ces apports représentent une infime fraction des sédiments analysés.

Nous pouvons donc affirmer que la diminution du diamètre moyen qui s'observe au fur et à mesure que l'on s'éloigne de l'interface n'est pas liée aux variations des apports détritiques argileux ou silteux.

Reste l'hypothèse d'une corrosion progressive des particules carbonatées qui interviendrait rapidement après leur sédimentation. Cette explication diagénétique du phénomène de décroissance du diamètre moyen est étayée sur les faits suivants:

1. Les carbonates résultant d'une précipitation chimique autochtone constituent en moyenne plus de 50% du sédiment. La granulométrie des précipités actuels est comprise entre 60 et 2 μ avec un mode situé vers 16 μ (fig. 3). Si l'on admet que les variations du niveau du lac, enregistrées au cours du temps n'ont pas eu de répercussion sur la granulométrie des précipités, il est difficile d'expliquer, sans faire intervenir des phénomènes de dissolution, qu'à composition minéralogique identique les échantillons situés à une certaine distance de l'interface aient un diamètre moyen inférieur aux échantillons superficiels.
2. Le carbone organique, le phosphore et le soufre présentent des variations analogues à celles du diamètre moyen (fig. 2): décroissance rapide dans les premiers décimètres de sédiment puis stabilisation progressive des teneurs. Ces similitudes suggèrent que la diminution du diamètre des particules est liée à l'évolution diagénétique de la matière organique. Or nous savons que celle-ci libère, en milieu réducteur, des acides tels que H_2S , NH_4^+ qui confèrent aux eaux interstitielles un pouvoir corrosif considérable (BERNER 1971; BUBENICECK 1967; DEBYSER 1961). Les mesures de pH effectuées dans les premiers centimètres de sédiment confirment le caractère acide des solutions interstitielles. Il est donc logique de penser que la diminution du diamètre moyen des particules est due à une dissolution partielle des carbonates.
3. Le degré de classement granulométrique, mesuré par l'écart-type, décroît de haut en bas. Parallèlement, l'asymétrie des distributions devient négative. Cette double évolution traduit l'apparition progressive d'une population granulométrique hétérogène formée probablement par les cristaux corrodés. L'analyse minéralogique des différentes fractions granulométriques, isolées par décantations successives, montre que la fraction argileuse (inférieure à 4 μ) s'enrichit en carbonate au fur et à mesure que l'on s'éloigne de l'interface, tandis que les fractions silteuses enregistrent un abaissement relatif des teneurs (fig. 3).
4. Le phénomène de décroissance du diamètre moyen est plus évident dans les sondages caractérisés par des teneurs élevées en carbonate (fig. 1: C7, C5, C3) que dans les sondages où le matériel terrigène constitue une part importante du sédiment (C1, C2, C6, C8). Cette constatation indique clairement que cette transformation granulométrique n'affecte que les carbonates.

5. Enfin - et c'est l'argument le plus probant - les cristaux observés au microscope électronique à balayage présentent des traces indubitables de dissolution qui s'accentuent au fur et à mesure que l'on s'éloigne de l'interface. Passée une certaine profondeur, les formes cristallines disparaissent complètement, oblitérées par la dissolution. Les photos de la figure 4 illustrent l'évolution morphologique des cristaux dans les 15 premiers centimètres de sédiment. Les précipités se

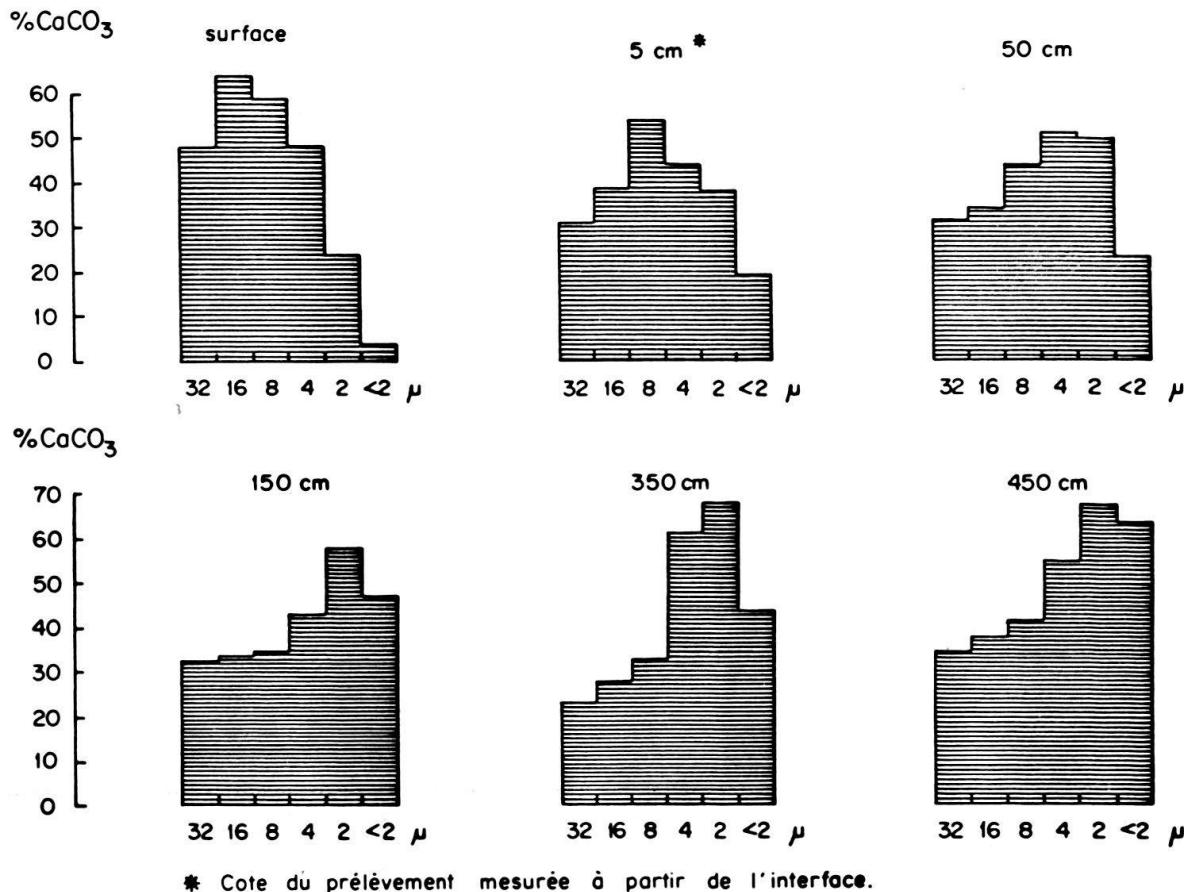


Fig. 3. Evolution granulométrique de la phase carbonatée en fonction de la profondeur du prélèvement mesurée à partir de l'interface (sondage C7).

présentent sous forme de rhomboèdres et parfois sous forme de prismes hexagonaux à terminaison rhomboédrique, analogues à ceux observés par FOLK (1974) dans les eaux douces. La corrosion des cristaux, déjà évidente dans les premiers centimètres de sédiments, se manifeste surtout le long des arêtes les plus aiguës. Les arêtes à 120° résistent mieux à l'agression des eaux interstitielles. Cette dissolution préférentielle explique les formes curieuses qui apparaissent lorsqu'on s'enfonce dans les sédiments. A dix centimètres de l'interface, les cristaux

bien formés ont à peu près disparu. Ils sont remplacés par des formes présentant six protubérances terminées par des surfaces lisses, peu corrodées, qui représentent probablement le témoin des faces du rhomboèdre. Au delà de 15 centimètres, ces surfaces résiduelles deviennent rares. Les cristaux se présentent en amas de formes très variables dont la nature cristalline n'est plus suggérée que par des cicatrices à 120 degrés qui correspondent aux clivages.

Ces arguments confirment que la décroissance du diamètre moyen, enregistrée dans les premiers décimètres de sédiment, est due à la dissolution partielle des cristaux de calcite. Cette dissolution est rendue possible par la présence, dans les

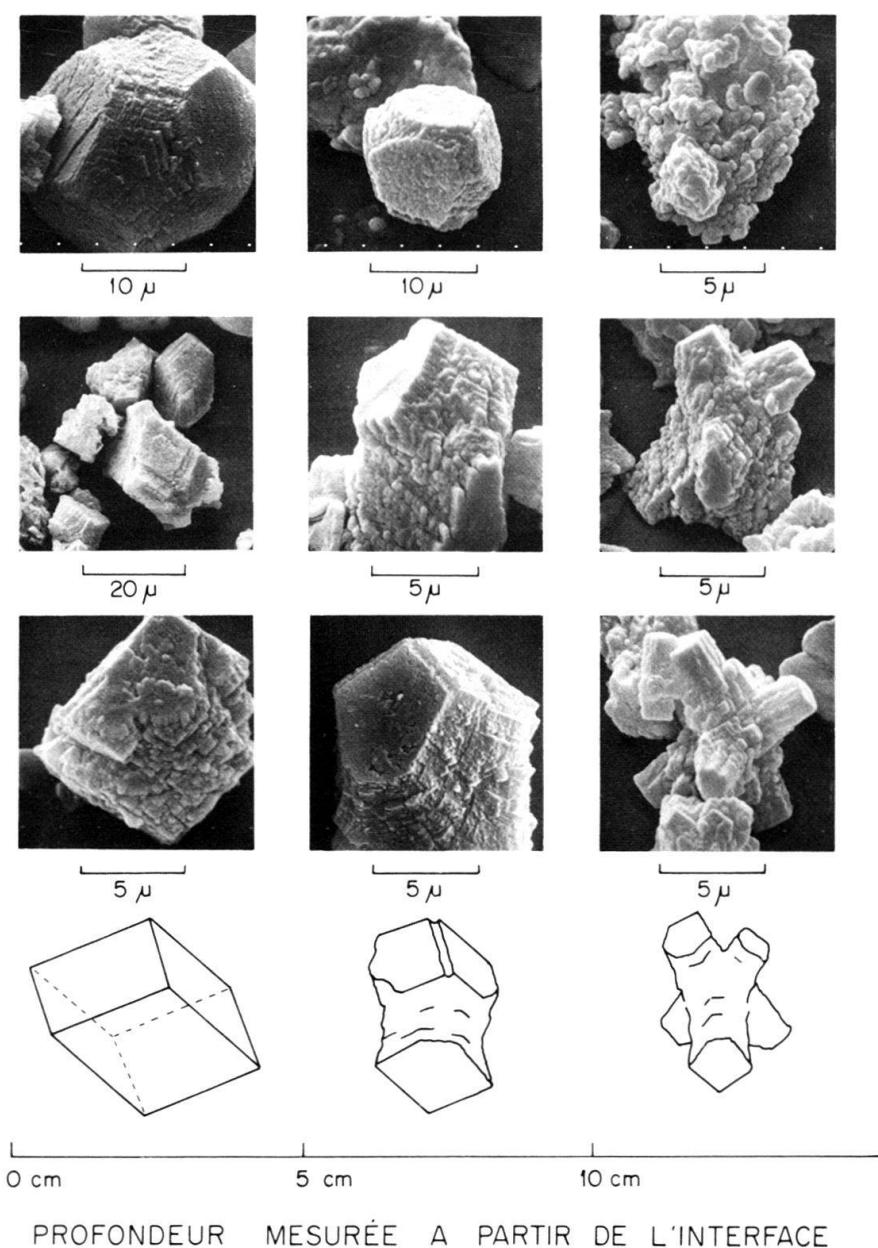


Fig. 4. Evolution morphologique des cristaux de calcite observée dans les quinze premiers centimètres de sédiment (sondage C7).

eaux interstitielles, d'acides libérés lors de la dégradation de la matière organique piégée dans les sédiments.

Bien qu'à notre connaissance ce phénomène diagénétique n'ait pas été observé dans d'autres lacs (MULLER et al. 1972), il y a tout lieu de croire qu'il s'agit d'un phénomène général affectant tous les sédiments lacustres carbonatés, riches en matière organique, déposés en milieu réducteur.

BIBLIOGRAPHIE

- BECKER, F. (1973): *Atlas géologique de la Suisse 1:25 000, feuille 1165 Murten: Notice explicative.* - Comm. géol. Suisse.
- BERNER, R.A. (1971): *Principles of chemical sedimentology.* - Mc Graw-Hill, New York.
- BUBENICECK, L. (1967): *Le rôle des eaux interstitielles dans la diagenèse et l'épigenèse des sédiments.* - ISRID Minerai 193.
- DEBYSER, J. (1961): *Contribution à l'étude géochimique des vases marines.* - Inst. franç. Pétrole (Ed. Technip, Paris).
- FOLK, R. L. (1974): *The natural history of crystalline calcium carbonate: effect of magnesium content and salinity.* - J. sediment. Petrol. 44/1, 40-53.
- MULLER, G. et al. (1972): *Formation and diagenesis of inorganic Ca - Mg carbonates in the lacustrine environment.* - Naturwissenschaften 59, 158-164.
- RIVIER, O. (1936): *Recherches hydrobiologiques sur le lac de Morat.* - Bull. Soc. neuchât. Sci. nat. 61.

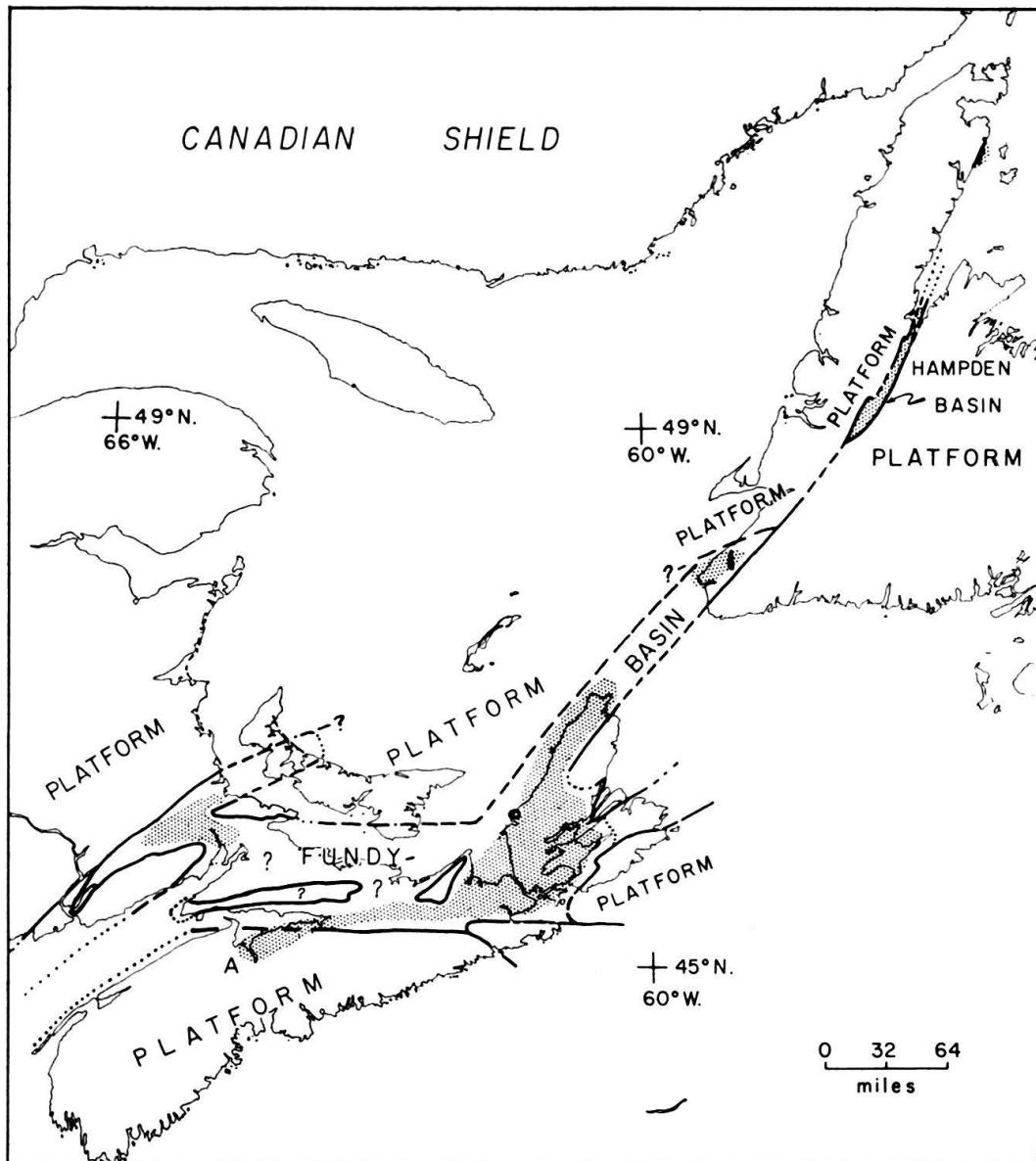
REINHARD HESSE¹⁾: Einige ungewöhnliche sekundäre Sedimentstrukturen im laku-strinen Unterkarbon Neuschottlands (Kanada) und ihre Deutung als Erdbeben-anzeiger

Abstract. Cliff exposures of the lacustrine Horton Bluff Formation (Lower Mississippian) near Avonport, Nova Scotia, Canada (south shore of the Bay of Fundy, Avon estuary) display excellent examples of ptygmatically folded dikes and other secondary sedimentary structures that are due to intrastratal hydroplastic or viscous sediment flow. These are also called sedimentary transposition structures. The dikes are wedge-shaped in cross-section measuring up to 70 cm in width at the top, one to a few cm at the base, and up to 75 cm in height in the compacted (folded) state. Most dikes occur in the same, well-defined stratigraphic horizon and represent a swarm of parallel fissure fills that show evidence for sediment extrusion at the surface. Their formation is attributed to an earthquake shock whose surface wave travelled across the lake bottom, caused the successive, short-time opening of fissures and initiated the upward injection into the fissures and the ejection of a quicksand layer which was probably at a depth of three to four meters below the lake floor prior to the shock.

An illustrated, more detailed description of these structures in English (HESSE & READING, in prep.) will be given elsewhere.

Lakustrische Ablagerungen stellen im kontinentalen Jungpaläozoikum und in der Trias der Neuengland-Staaten sowie der maritimen Provinzen Kanadas keine Seltenheit dar. Sie bilden ein charakteristisches Element der post-orogenen Sedimentation nach der letzten Appalachen-Faltung.

¹⁾ Department of Geological Sciences, McGill University, Montreal. - Z.Zt.: Institut Dolomieu, Université de Grenoble.



Mögliche maximale Verbreitung lakustrischer Fazies im Tournaisien der maritimen Provinzen Kanadas nach BELT 1968 (Reproduktion mit freundl. Einwilligung des Autors). A = Avon-Ästuar

Die Textfigur zeigt die mögliche maximale Verbreitung lakustriner Fazies im Tournaisien der maritimen Provinzen Kanadas nach BELT (1968). In Neuschottland speziell sind es die Horton Bluff Schichten des Tournaisien («Horton Bluff Formation»), die unter den verschiedenen lakustrinen Serien des Unterkarbons schon seit langem besonderes Interesse auf sich gezogen haben, da sie Amphibien-Fußspuren geliefert haben, die zu den ältesten bekannten Tetrapoden-Spuren gehören (CARROLL et al. 1972). Auch in sedimentologischer Hinsicht sind die Horton Bluff Schichten bemerkenswert.

Der kontinentale Charakter der Horton Bluff Schichten geht u.a. auch daraus hervor, dass

1. eindeutig marine Fossilien fehlen, dafür aber
2. eine Anzahl von Pelecypoden-Arten, limuloide Arthropoden sowie Fischreste gefunden werden, die andernorts aus limnischen Folgen des Karbons bekannt sind (CARROLL et al. 1972);
3. fossile Bodenhorizonte sowie andere Emersionsanzeichen wie z.B. Trockenrisse häufig sind;
4. fossile Baumstümpfe in grosser Zahl *in situ* erhalten sind;
5. diese Serie sandwich-artig gerahmt wird von fluviatilen Ablagerungen im Liegenden und im Hangenden.

Obwohl ein lagunäres Ablagerungsmilieu (im Brackwasserbereich) nicht völlig ausgeschlossen werden kann, spricht die Lithofazies doch stark zugunsten einer limnischen Entstehung der Horton Bluff Schichten:

6. Sie bestehen aus Sequenzen von dunkelgrau bis schwarzen und grüngrauen Tonschiefern, in welche Sand- und Siltsteine meist geringer Mächtigkeit und mit häufiger Rippelschrägschichtung und Flaserschichtung eingeschaltet sind. Die dunkelgrau bis schwarzen Tonschiefer nehmen den unteren Teil der Sequenzen ein, die grüngrauen den Oberteil. Erstere enthalten reichlich Pyrit, letztere Lagen von gebanktem Dolomit mit polygonalen Absonderungsformen, die wohl Trockenrisse darstellen, sowie Dolomitknollen-Lagen mit z.T. deutlichen Septarien-Strukturen.

Bei Berücksichtigung aller Beobachtungen ergibt sich folgende Deutung für die Entstehung der Sequenzen als die wahrscheinlichste:

Der schwarze Abschnitt stellt eine beckentiefere Fazies dar mit stark reduzierenden Bedingungen im Sediment, während der grüne Abschnitt eine Randfazies mit schwächer reduzierenden Bedingungen widerspiegelt. Einengung des Wasservolumens zu Zeiten der Ablagerung der grüngrauen Tone führte zur chemischen Ausfällung von Karbonat, das in Form der gebankten Dolomite vorliegt; weitere Einengung zur zeitweisen Emersion mit Bildung von Trockenrissen, Bodenhorizonten, Wurzelböden etc.

Emersionshorizonte sind jedoch nicht auf die grüngrauen Tonschiefer beschränkt, sondern treten auch – wenngleich wesentlich seltener – im schwarzen Tonschiefer auf, wie durch Trockenrisse (und vereinzelte *in situ* Baumstümpfe) belegt ist. Auch das verbreitete Auftreten von rippen- oder flasergeschichteten Sandlagen im schwarzen Tonschiefer zeigt, dass dieser keineswegs unter Bedingungen dauerhaft stagnierender Zirkulation gebildet worden ist. Bei diesen Sandlagen handelt es sich aller Wahrscheinlichkeit nach nicht um Turbidite, sondern vielmehr um Ablagerungen von zeitweise (durch Strömungen?) bewegtem Wasser. Die stark reduzierenden Bedingungen im Sediment sind vermutlich auf einen primär hohen Gehalt an organischer Substanz zurückzuführen.

Die Aufeinanderfolge der Sequenzen mit ihrem Wechsel schwarzer und grüner Abschnitte dürfte durch wiederholte Absenkung des Beckenbodens mit nachfolgender Kompensation der Absenkung durch Sedimentation verursacht worden sein. Diesem Vorgang waren Fluktuationen des Seespiegels von kürzerer Dauer – hauptsächlich bedingt durch Schwankungen im Niederschlag und in der Verdun-

stung – überlagert. Sie sind bezeugt durch die zahlreichen Emersionshorizonte, welche die Anzahl der Schwarz/Grün-Sequenzen bei weitem übertreffen.

Sedimentologisch besonders interessant ist das Auftreten einer Reihe von sekundären Sedimentgefügen, von denen einige grosse Ähnlichkeit mit primären Strukturen aufweisen und Anlass zu Verwechslungen geben können.

Am auffälligsten sind Sandsteingänge (klastische Dikes) im schwarzen Tonschiefer-Abschnitt der Sequenzen. Die Dikes sind besonders häufig in einem bestimmten stratigraphischen Niveau, das als «Dike-Horizont» bezeichnet werden soll. Die Gänge sind intensiv ptygmatisch gefaltet und besitzen einen keilförmigen, sich nach oben erweiternden Querschnitt. Ihre Breite am Oberende, wo sie mit einer horizontal lagernden Sandsteinbank amalgamiert sind, beträgt bis zu 70 cm, während sie am Unterende nur ein bis wenige Zentimeter breit sind. Ihre Höhe im gefalteten Zustand beträgt bis zu 75 cm. Im Streichen können einzelne Dikes, bedingt durch die Aufschlussverhältnisse, nur bis zu 10 m verfolgt werden. Die Längserstreckung dieser gradlinigen Dikes ist jedoch mit Sicherheit (um mindestens eine Grössenordnung) grösser.

Die Dikes sind entstanden durch die nach oben gerichtete Migration von feinsandig-siltigem Sediment. Dass die Wanderrichtung tatsächlich von unten nach oben war und nicht umgekehrt, kann bei einigen Dikes daraus ersehen werden, dass die Migration zur Sandextrusion an der Sedimentoberfläche geführt hat. Derartige Extrusionsstrukturen zeigen geneigte, dachziegelförmig übereinanderlagernde Sedimentlamellen, welche vom zentralen Zuführkanal weg in entgegengesetzten Richtungen einfallen. Es handelt sich um eine Art «Übergusschichtung», nicht jedoch um Kreuzschichtung, obwohl eine Verwechslung damit im isolierten Handstück möglich ist.

Das an der Oberfläche extrudierte Sediment ist offensichtlich anschliessend durch Strömungen umgelagert worden und hat – zumindest zum Teil – das Material für die Sandsteinbank geliefert, an welcher sämtliche Dikes nach oben enden.

Zwischen dem ursprünglich extrudierten Sediment und dem später umgelagerten Material ist in einigen Fällen zu einem späteren Zeitpunkt nochmals ein zähflüssiger Sedimentbrei intrudiert, wie polierte Anschlüsse zeigen. Aus dem gleichen Grund (wiederholte spätere Intrusion) ist auch der Kopfteil mancher Dikes domförmig nach oben gewölbt.

Zum Zeitpunkt der Dike-Bildung waren die obersten Schichten der Seeablagerungen äusserst wenig bzw. nicht kompaktiert. Dies führte zur Verbreiterung der Dikes nach oben sowie teilweise zum Einsinken des extrudierten Materials in den Schlick des Seebodens. Nirgends jedoch kam es zur Bildung von Pseudo-Knollen (pseudo-nodules). Die spätere differentielle Kompaktion zwischen dem sandigen Material und dem umgebenden Schlick führte zu intensiver ptygmatischer Faltung der Sandsteingänge. In einigen Fällen sind die ursprünglich vertikalen oder subvertikalen Sandsteingänge, die z.T. eine parallele Vertikal-Laminierung besessen, ziehharmonika-förmig in die Horizontale rotiert worden. Die dabei erfolgte Verkürzung kann 300–400% der jetzigen Höhe betragen. Nicht immer ist es einfach, die Grenze zwischen dem ursprünglich vertikalen, jetzt in die Horizontale rotierten Gang und dem an der Oberfläche horizontal ausgeflossenen oder umgelagerten Sediment festzulegen.

Über 100 Sandsteingänge können in dem Kliff-Aufschluss an der Westseite des Avon-Ästuars (Bay of Fundy) auf eine Distanz von weniger als 500 m gezählt werden. Sie sind sämtlich an den Dike-Horizont gebunden, besitzen das gleiche Streichen ($150\text{--}165^\circ$) und sind 0,75 bis 5 m voneinander entfernt. Es ist daher anzunehmen, dass diese Dikes mehr oder weniger gleichzeitig entstanden sind. Es erscheint am naheliegendsten, als Ursache an einen seismischen Schock zu denken, dessen Oberflächenwelle den Seeboden gequert, zur kurzfristigen Öffnung von Spalten und der gleichzeitig einsetzenden Extrusion einer (vermutlich unter Druck stehenden) Quicksandlage geführt hat. Die Bildung ähnlicher Systeme von Sandgängen und Spaltenfüllungen während und nach Erdbebenstößen der Gegenwart ist durch Augenzeugen beobachtet worden (OLDHAM & MALLET 1872). Am bekanntesten sind die Folgeerscheinungen des grossen Alaska-Erdbebens von 1964 (REIMNITZ & MARSHALL 1965).

Sekundäre Strukturen, welche durch schichtinternes viskosches oder hydroplastisches Fliessen von Sediment entstehen, werden einem Vorschlag ELLIOTS (1965) folgend sedimentäre Transpositionsstrukturen genannt (HESSE & READING, in Vorb.). Weitere Beispiele von Transpositionsstrukturen aus den Horton Bluff Schichten umfassen grössere ring- bzw. schüsselförmige Strukturen. Sie messen 3 bis über 10 m im Durchmesser und sind durch Ausfliessen sandigen Sedimentes an die Oberfläche des Seebodens, längs einer Spalte, entstanden. Die dabei neben der Spalte gebildete schüsselförmige Vertiefung ist eine Kollaps-Struktur, die teilweise mit dem eigenen Material aus dem Untergrund, z. T. jedoch mit Fremdmaterial, das durch Strömungen oder Wellentransport angeliefert wurde, wieder verfüllt wurde. Ihre Entstehung steht möglicherweise ebenfalls im Zusammenhang mit Erdbeben-Unruhe.

Die Ähnlichkeit mancher Transpositionsstrukturen mit primären Sedimentstrukturen lässt Vorsicht geboten erscheinen bei der Verwendung von Sedimentgefügen als Hilfsmittel bei der Ansprache fossiler Ablagerungsmilieus. Falls es sich um Transpositionsstrukturen handelt, können diese gegebenenfalls etwas aussagen über die Paläoseismizität, Porenwasserdrucke etc., nicht jedoch über die hydrodynamischen Verhältnisse des Ablagerungsbereiches.

Verdankung

Die Aufmerksamkeit des Autors wurde auf diese sekundären Sedimentstrukturen durch H.G. Reading (Oxford University) während einer gemeinsamen Exkursion mit P.E. Schenk (Dalhousie University, Halifax) gelenkt. Eine ausführliche Beschreibung dieser Strukturen in einer sedimentologischen Fachzeitschrift befindet sich in Vorbereitung.

LITERATURVERZEICHNIS

- BELT, E.S. (1968): *Carboniferous continental sedimentation, Atlantic Provinces, Canada*. In: KLEIN, G. DE VRIES (ed.): *Symposium on continental sedimentation, northeastern North America*. - Spec. Pap. geol. Soc. Amer. 106, 126-176.
 CARROLL, R.L., BELT, E.S., DINELEY, D.L., BAIRD, D., & McGREGOR, D.C. (1972): *Vertebrate paleontology of eastern Canada*. - Int. geol. Congr., 24th Sess., Canada (Montreal) 1972, Guideb. Excursion A59.

- ELLIOTT, R.E. (1965): *A classification of subaqueous sedimentary structures based on rheological and kinematical parameters.* – *Sedimentology* 5, 193–209.
- HESSE, R., & READING, H.G. (in prep.): *Sedimentary transposition structures – widespread indicators of post-depositional emplacement.*
- OLDHAM, D., & MALLET, R. (1872): *Notice on some of the secondary effects of the earthquake of 10th January, 1869, in Cachar.* – *Quart. J. geol. Soc. London* 28, 255–270.
- REIMNITZ, E., & MARSHALL, N.F. (1965): *Effects of the Alaska earthquake and tsunami on recent deltaic sediments.* – *J. geophys. Res.* 70, 2363–2376.

ANDRÉ LAMBERT¹⁾: Über kontinuierliche Turbiditätsströmungen in Seen

Zusammenfassung. Die Untersuchung grundberührender Suspensions-Dichteströmungen durch direkte Messung in Seen ermöglicht es, in einem überblickbaren Rahmen die Anwendbarkeit experimenteller Ergebnisse auf die Vorgänge im marinen Bereich zu prüfen. Mit ozeanographischen Präzisionsgeräten konnten im Walensee Bodenströmungen bis zu 30 cm/sec gemessen werden. Die Wirkung dieser Strömungen (Aktivierung der Zirkulation und Sauerstoffzufuhr) auf den Zustand eutropher (überdüngter) Seen wird positiv beurteilt.

Auf dem Gebiet limnischer Turbiditätsströmungen ist ein weites Arbeitsfeld zu erschliessen, das von Grundlagenforschung bis zur eventuellen Anwendung künstlich erzeugter Dichteströmungen für die «Beseitigung» von Abfällen reicht.

Abstract. The study of turbidity underflows in lakes is a useful test for the large scale applicability of experimental results to processes in the marine realm. Our studies using oceanographic current meters recorded underflow bottom currents up to 30 cm/sec active in the Lake of Walenstadt (Walensee). The circulation activated by these underflows and the supply of oxygen-rich water masses to the deepest portions of a lake is believed to have a positive effect against eutrophication.

Such studies open a broad field for the investigation of density underflows in lakes ranging from basic research to the eventual application of artificial density currents in sewage disposal.

Einführung

Seit den Untersuchungen von FOREL im Genfersee (1892) wissen wir, dass die Sedimentation durch Turbiditätsströmungen in unseren Seen eine relativ häufige Erscheinung ist. Dies konnte in neuerer Zeit z. B. durch Arbeiten von HOUBOLT & JONKER (1968) oder STURM & MATTER (1972) bestätigt werden. Dieses vielbeschriebene Phänomen soll aber nicht nur deskriptiv, sondern mit modernen Messmethoden auch numerisch erfasst werden. Denn obwohl über das Thema «turbidity currents» Unmengen von Publikationen vorliegen, ist in den meisten Arbeiten entweder von Feldbeobachtungen, Experimenten oder theoretischen Betrachtungen die Rede. Berichte über direkte Messungen, sei es im Meer oder in Seen, lassen sich an einer Hand abzählen. Allerdings sind solche Messungen erst durch die Entwicklung präziser Strömungsmessgeräte, namentlich für die Ozeanographie, überhaupt ermöglicht worden.

Bei Versuchen mit Turbiditätsströmungen in Laboratorien kann den natürlichen Gegebenheiten meist nur ungenügend Rechnung getragen werden. Ein in allen Kräfteverhältnissen ähnliches hydrodynamisches Modell lässt sich in den

¹⁾ Geologisches Institut der ETH-Z, Sonneggstrasse 5, CH-8006 Zürich.

meisten Fällen ohnehin nicht realisieren (GRAF 1971, S. 388). Da der Wert eines Modells mit seinen Dimensionen wächst, kann man sich einen See als grossräumiges «Versuchsbecken» vorstellen, wobei die «Versuche» von der Natur selbst «durchgeführt» werden: Im Frühjahr bei Schneeschmelze oder im Sommer nach heftigen Gewittern schwollen die Zuflüsse an und ergießen ihre trüben Fluten in den See. Feststoff-Fracht und oft tiefere Temperatur erhöhen die Dichte des Flusses gegenüber derjenigen des Sees. Darum taucht das Flusswasser kurz nach dem Einmünden unter die Seeoberfläche, um als grundberührender Suspensions-Dichtestrom in die Tiefe zu fließen.

Diese Strömungen («turbidity underflows») sind bezüglich ihres hydrodynamischen Verhaltens mit dem Körper («body») der klassischen, durch Rutschungen hervorgerufenen «turbidity currents» vergleichbar (BLATT et al. 1972, S. 166). Die beiden Begriffe werden aber in der Literatur nicht immer sauber getrennt, obwohl ein wesentlicher genetischer Unterschied besteht: Während der «turbidity current» mit der abgegrenzten, durch Rutschung in Bewegung geratenen und dabei suspendierten Sedimentmasse auskommen muss, wird beim «turbidity underflow» die Suspension ständig vom Zufluss nachgeliefert; dabei kann der Temperaturunterschied zwischen Zufluss und See (oder Meer) zusätzlich die Dichtedifferenz positiv oder negativ beeinflussen.

Strömungsmessungen

1973 hat die Limnogeologie-Gruppe des Geologischen Institutes der ETH-Z im Rahmen eines Nationalfonds-Projektes (Nr. 2.765.072) versuchswise Strömungsmessungen durchgeführt. Die selbstregistrierenden Messgeräte waren von der Scripps Institution of Oceanography (Kalifornien) zur Verfügung gestellt worden.

Die Ergebnisse aus dem Walensee sowie deren sedimentologische Aspekte sind in LAMBERT et al. (1976) ausführlich behandelt worden. Erwähnt sei hier, dass im Einflussgebiet der Glarner Linth in 90 m Tiefe Bodenströmungen mit durchschnittlichen Geschwindigkeiten von 20 cm/sec (Höchstwerte: 30 cm/sec) während 2½ Tagen (Dauer der Messperiode) ununterbrochen aufgezeichnet wurden. Noch 2,3 km von der Mündung entfernt waren die Wasserbewegungen in Bodennähe recht deutlich: 5 cm/sec. An den steileren Hängen (Deltafront) und wahrscheinlich auch in distaleren Regionen muss auf Grund der FROUDE'schen Zahl (> 1) die Strömung überkritisch gewesen sein, d.h. schneller als die Grundwellengeschwindigkeit (PRANDTL et al. 1969). Auf ein solches Fliessverhalten von Turbiditätsströmungen hat auch HAND (1974) auf Grund von Laborversuchen hingewiesen, was für die Entstehung von Sedimentstrukturen (z.B. Kreuzschichtung) in fossilen und rezenten Turbiditen von Bedeutung sein könnte.

Der Einfluss von «underflows» auf den See

Als Ausgangspunkt für diese Überlegungen dienen die Aufzeichnungen zweier Strömungsmessgeräte, die an derselben Stelle, aber mit einem vertikalen Abstand von 6 m verankert worden waren. Das untere Gerät (1,5 m über Grund) registrierte

den «underflow», wogegen im oberen Gerät eine Strömung in entgegengesetzter Richtung angezeigt wurde. Qualitativ kann diese Erscheinung relativ einfach erklärt werden und lässt sich im Labor gut simulieren: Zwischen den verschiedenen dichten Wassermassen wirken Reibungskräfte. Deshalb entstehen durch die Relativbewegung an der Grenzfläche Schubspannungen, die bewirken, dass eine Schicht des ruhenden Seewassers von der Dichteströmung mitgeschleppt wird. Die Kontinuität (Massenerhaltung) fordert, dass diese Wassermenge laufend «ersetzt» wird, was durch eine entgegengesetzte Bewegung des umgebenden Seewassers geschieht. Aus diesem Massenaustausch resultiert demnach eine lokale Zirkulation in den tiefsten Seeschichten.

Da diese Dichteströmungen aus gut durchlüftetem Flusswasser hervorgehen, sind sie außerdem imstande, beträchtliche Mengen Sauerstoff in die oft stagnierenden Seetiefen zu transportieren. Man kann deshalb vermuten, dass periodische Intrusionen von «turbidity underflows» in eutrophen Seen als O₂-liefernde und zirkulationsfördernde Mechanismen willkommen sind. Eine wesentliche Voraussetzung besteht natürlich darin, dass die entsprechenden Zuflüsse nicht bereits verschmutzt sind. Außerdem haben viele Seen keine grossen Zuflüsse oder diese sind durch Verbauungen geähmt.

Ausblick

«Turbidity underflows» sind keineswegs auf den limnischen Bereich beschränkt; wegen der relativ hohen Dichte des Salzwassers entstehen sie aber im Meer nur bei sehr hohen Feststoffkonzentrationen. GENESSEAU et al. (1971) konnten im submarinen Var-Canyon (Südfrankreich) Strömungsgeschwindigkeiten von über 110 cm/sec messen, während der Var Hochwasser führte. Berichte über ähnliche Messungen sind jedoch selten. Von SHEPARD & EMERY (1973) wurden zwar im Kongo-Canyon Messungen durchgeführt; überraschenderweise war allerdings die Hauptströmung canyon-aufwärts gerichtet. Dennoch sind in der neueren Literatur für die Erklärung einiger fossiler turbiditischer Sedimente «underflow»-artige Mechanismen vorgeschlagen worden (HARMS 1974).

Möglicherweise muss also auch im marinen Bereich mit einer stärkeren Verbreitung dieser Erscheinung gerechnet werden, als bisher vermutet wurde; nicht jede gradiente Schicht muss unbedingt mit einer Rutschung oder gar einem Erdbeben in Verbindung gebracht werden. Will man aber «underflows» direkt im Meer studieren, treten offensichtlich Schwierigkeiten auf, die auf die relativ kleine Häufigkeit und die ozeanischen Dimensionen zurückzuführen sind. In den Seen ist die Möglichkeit geboten, das Fliessverhalten dieser und vielleicht auch anderer mariner Strömungen – z. B. der arktischen Bodenströmungen – in einem überblickbaren, natürlichen Rahmen studieren zu können.

Die Möglichkeit, mit künstlich erzeugten Turbiditätsströmungen Industrie- und andere Abfälle in die Tiefsee fahren zu lassen, ist z. B. von TESAKER (1972) aufgegriffen worden. Vor der Realisierung derartiger Projekte wären zumindest Grossversuche mit harmlosen Mischungen in Seen angebracht, um die Tauglichkeit einer solchen Anwendung und vor allem die zu erwartende Umweltbelastung zu prüfen.

Verdankungen

Für Diskussionen und Anregungen bin ich den Herren Professoren K. Hsü und D. Vischer sowie meinen Studienkollegen Kerry Kelts und Stefan Lüthi zu Dank verpflichtet.

LITERATURVERZEICHNIS

- BLATT, H., MIDDLETON, G.V., & MURRAY, R. (1972): *Origin of Sedimentary Rocks.* - Englewood cliffs, New Jersey, Prentice-Hall.
- FOREL, F.-A. (1892): *Le Léman.* - F. Rouge, Lausanne.
- GENESSEAU, M., GUIBOUT, P., & LACOMBE, H. (1971): *Enregistrement de courants de turbidité dans la vallée sous-marine du Var (Alpes-Maritimes).* - C.R. hebd. Acad. Sci. (Paris) 273, 2456-2459.
- GRAF, W.H. (1971): *Hydraulics of Sediment Transport.* - McGraw-Hill, New York/Toronto/London.
- HAND, B. (1974): *Supercritical flow in turbidity currents.* - J. sediment. Petrol. 44/3, 637-648.
- HARMS, J.C. (1974): *Brushy Canyon Formation, Texas: A Deep-Water Density Current Deposit.* - Bull. geol. Soc. Amer. 85/11, 1763-1784.
- HOUBOLT, J.J.H.C., & JONKER, J.B.M. (1968): *Recent Sediments in the eastern part of the Lake of Geneva (Lac Léman).* - Geol. en Mijnb. 47/2, 131-148.
- LAMBERT, A.M., KELTS, K.R., & MARSHALL, N.F. (1976): *Measurements of density underflows from Walensee, Switzerland.* - Sedimentology 23/1, 87-105.
- PRANDTL, L., OSWATITSCH, K., & WIEGHARDT, K. (1969): *Führer durch die Strömungslehre.* - Friedr. Vieweg & Sohn, Braunschweig.
- SHEPARD, F.P., & EMERY, K.O. (1973): *Congo Submarine Canyon and Fan Valley.* - Bull. amer. Assoc. Petroleum Geol. 57/9, 1679-1691.
- STURM, M., & MATTER, A. (1972): *Sedimente und Sedimentationsvorgänge im Thunersee.* - Eclogae geol. Helv. 65/3, 563-590.
- TESAKER, E. (1972): *Uniform turbidity current experiments.* - Bull. River and Harbour Lab., tech. Univ. Norway (Trondheim) 13E.

KURT BÄCHTIGER¹⁾ und FRANZ HOFMANN²⁾: Die Messung der Thermolumineszenz als Testmethode für mögliche Impakteffekte am Beispiel des Malmkalk-Trümmerhorizontes in der Oberen Süsswassermolasse von Bernhardzell (Kanton St. Gallen)

A. Einleitung

Mit dem Phänomen der Thermolumineszenz wird das Leuchten von anorganischen oder organischen Substanzen bezeichnet, das sich bei langsamem Erhitzen (Aufheizgeschwindigkeit 1°C/sec) von Zimmertemperatur bis zu ca. 400°C, bei welcher die Schwarzkörperstrahlung des Probenhalters beginnt, ein einziges Mal oder mehrmals bei verschiedenen Temperaturwerten einstellen kann. Eine unmittelbar vorangegangene Bestrahlung (Röntgen-, γ -Bestrahlung etc.) ist dabei nicht unbedingt notwendig. Die Voraussetzungen für eine natürliche Thermolumineszenz können sich nach allgemein verbreiteter Annahme (McDOUGALL 1968) entweder durch Einbau von Fremdatomen – ähnlich wie bei den Aktivatoren der Fluoreszenz

¹⁾ Institut für Kristallographie und Petrographie der ETH Zürich.

²⁾ Rosenbergstr. 103, CH-8212 Neuhausen am Rheinfall.

- oder auch einfach durch Strukturfehler im Kristallgitter oder aber durch eine Kombination von beiden schon beim natürlichen Kristallwachstum ergeben. Manigfache eigene Versuche und solche früherer Erforscher dieses physikalischen Effektes haben gezeigt, dass mehrere starke Schläge die Fähigkeit einer Substanz, zu thermolumineszieren, stark vermindern bis völlig vernichten können. Dies lässt sich z. B. schon beim Mörsern der Präparate zu einer bestimmten Fraktion mühelos nachweisen. Eigene Versuche haben bestätigt, dass für maximale Leuchtrezultate bei «harten» Mineralien wie Silikaten nur einige wenige Schläge, bei «weichen» Substanzen wie Karbonaten und Sulfaten am vorteilhaftesten nur ein einziger Schlag für die Herstellung eines optimalen Körnerpräparates von 120–180 μ und zur vollen Erhaltung der natürlich vorhanden Thermolumineszenz bei den Erhitzungsversuchen ausgeführt werden sollten (BÄCHTIGER 1967; BÄCHTIGER et al. 1975).

Dieser spezielle Effekt der Zerstörung einer möglicherweise schon im natürlichen Zustand vorhandenen Thermolumineszenz (natürliche TL) wurde der Überprüfung von durch einen Meteor- oder Komet-Impakt geschockten, von nicht und von vermutlich geschockten Kalken zugrunde gelegt. Nachdem unter der Leitung von Prof. Dr. W. v. Engelhardt von BORUS (1975) an der Universität Tübingen an den Kalken des Nördlinger Rieses ausführliche Versuche in dieser Richtung unternommen worden waren, war es naheliegend, auch den von HOFMANN (1973a) vermuteten Impakt in der Ostschweiz mit seinen Jurakalk-Auswürflingen unter Anwendung dieser Testmethode näher zu überprüfen. Eine ausführliche Darstellung des Probenmaterials und der Resultate der Experimente erfolgte dabei bereits in einem Beitrag zum IX Congrès International de Sédimentologie (BÄCHTIGER et al. 1975), so dass für alle Details auf jene Arbeit verwiesen werden kann. An dieser Stelle soll demnach nur noch eine Zusammenfassung und erweiterte Diskussion der einstweilig vorliegenden Resultate gegeben werden. Weitere Messungen der Thermolumineszenz an natürlich metamorphen und durch Bergsturzeffekte gepressten Kalken sollen diese vorgängigen Resultate und Schlussfolgerungen bestätigend oder einschränkend ergänzen (BÄCHTIGER 1976); ebenso könnte, wie es MAXENKOW & NIKULOWA (1968) beim geschockten Dolomit aus den Kaali-Meteorkratern von Estland versucht haben, evtl. noch die DTA-Analyse zur Unterscheidung und zum Nachweis eines Impakteffektes auf die Jurakalk-Trümmer in der Oberen Süßwassermolasse bei Bernhardzell herangezogen werden.

B. Kurzbeschreibung der untersuchten Proben

1. Malmkalk-Auswürflinge aus dem Blockhorizont von Bernhardzell

In der fluvioterrestrischen Oberen Süßwassermolasse (Miozän) N von St. Gallen finden sich in einem einzigen Horizont eckig-splittrige Kalktrümmer von bis zu 25 cm Durchmesser, die – in schwäbischer Fazies ausgebildet – dem Oxford und Kimmeridge (Weissjura β , δ , ϵ , ζ) des Jura-Systems entstammen, das in jenem Gebiet erst in etwa 2000 m Tiefe anzunehmen ist. Selten kommen auch Trümmer aus der oberen Trias vor. Dieser Blockhorizont wurde von HOFMANN (1973a) als Auswirkung eines wahrscheinlichen Meteor-Impakts im Bodenseegebiet gedeutet,

Tabelle: Intensitäten und Peak-Temperaturen der natürlichen und künstlichen Thermolumineszenz von 7 Jura-Kalksteinen

3 ungeschockte Kalke aus der Umgebung von Schaffhausen, 2 vermutlich geschockte Jura-Kalktrümmer aus der Oberen Süßwassermolasse (Miozän) bei Bernhardzell und 2 sicher geschockte Kalke von Steinheim.

Kalktyp Nr.	Stufe Fundort	Petrographischer Zustand	Peak-Temperaturen						$\frac{\chi}{T}$ -bestrahlte Min.		
			I _I	I _{II}	I _{III}	I _{IV}	$\frac{T_I}{T_{III}}$	$\frac{T_I}{T_{IV}}$	$\frac{T_I}{T_{III}}$	$\frac{T_I}{T_{IV}}$	
Plattenkalk VPH 1	Ob. Kimmeridge Herblingertal (Schaffhausen)	ungeschockt	260°	42°	304°	16°	338°	20°	102°	62°	250°
Massenkalk VM 1	Kimmeridge Malm ϵ	ungeschockt	258°	204°	310°	56°	342°	78°	107°	410°	248°
Massenkalk BM 1	Schaffhausen Kimmeridge Blockhorizont Bernhardzell	vermutlich geschickt	254°	28°	310°	6°	340°	8°	104°	85°	244°
Massenkalk SM 1	Bernhardzell Kimmeridge Steinheimer Becken	sicher geschickt	258°	40°	304°	12°	340°	20°	110°	155°	250°
Wohlgeschich- teter Kalk Vw 1	Oxford, Malm β Hennenthal (Schaffhausen)	ungeschockt	260°	18°	290°	14°	340°	26°	109°	60°	212°
Wohlgeschich- teter Kalk Bw 1	Oxford Blockhorizont Bernhardzell	vermutlich geschickt	265°	8°	308°	4°	340°	8°	96°	44°	250°
Geschichteter Kalk Kalk "Strahlenkalk" Sw 1	Oxford Steinheim (Württemberg)	sicher geschickt	254°	6°	306°	4°	340°	6°	98°	20°	250°

Legende: I_{I/III}=Temperatur des Peak und Gruppe, I_{II}=Temperatur des schwächsten Leuchtens zwischen Peak I und Peak III.

I_{I/II/III}=Intensitäten der Peak I und Peak III und des schwächsten Leuchtens (II) in rel. Einheiten.

Die Intensitäten wurden als Mittel von 3 Messungen berechnet.

wobei der Einschlag etwa gleichaltrig mit jenem des Ries (Bayern) und Steinheimer Beckens (Württemberg) auf der Schwäbischen Alb gewesen wäre und auch etwa ähnliche Dimensionen gehabt hätte. Der Verdacht auf ein Impakt-Phänomen wurde noch dadurch unterstützt, dass an einem Malmkalk-Trümmer deutliche «shatter cone»-Streifungen zu erkennen sind, ähnlich wie beim sicher geschockten sog. «Strahlenkalk» von Steinheim. Die für die vorliegende Arbeit untersuchten Proben stammen aus der Fundstelle Bernhardzell an der Sitter N von St. Gallen und sind vom Typ der Wohlgeschichteten Kalke und der Quader- und Massenkalke des schwäbischen Weissen Juras.

2. Malmkalke aus dem Steinheimer Becken als Vergleichsproben

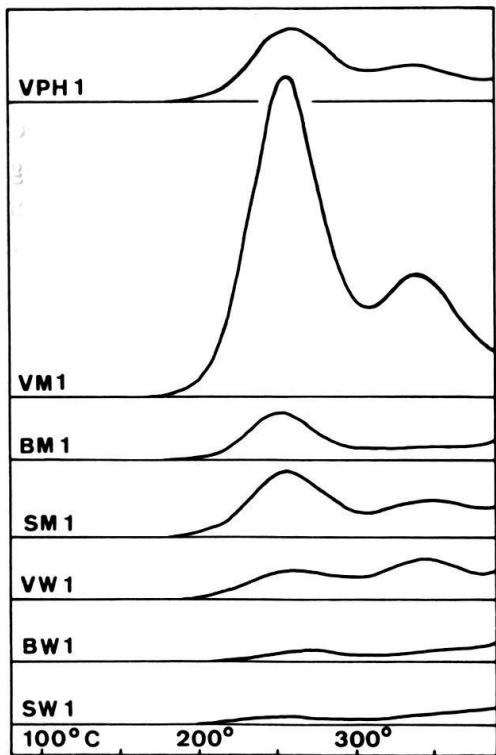
Nördlinger Ries und Steinheimer Becken sind auf der Schwäbischen Alb gelegene Oberflächenstrukturen, die heute als Einschlagskrater kosmischer Körper (SHOEMAKER & CHAO 1961; PREUSS 1969; ILLIES 1970) gedeutet werden. Sie sind gleich alt wie der Malmkalk-Blockhorizont von Bernhardzell (ca. 14,5 Mio. Jahre). Die untersuchten Proben stammen von der zentralen Erhebung Steinhirt-Klosterberg des Steinheimer Beckens. Es handelt sich um Malmkalke, die jenen des Blockhorizontes von Bernhardzell äusserst ähnlich sind. Eine von uns untersuchte Probe ist ein typischer «Strahlenkalk» vom Typus der Wohlgeschichteten Kalke, eine weitere Probe ist ein dichter Kalk aus dem Kimmeridge. Diese Kalke sind sicher geschockt (vgl. ILLIES 1970 und GROSCHOPF & REIFF 1970).

3. Vergleichsproben aus der Gegend von Schaffhausen

Zum weiteren Vergleich wurden den Kalken des Trümmerhorizontes von Bernhardzell entsprechende, aber natürlich gewachsene und sicher nicht geschockte Proben aus der Gegend von Schaffhausen untersucht, nämlich: Wohlgeschichteter Kalk (Weissjura β , Oxford) von Hemmenthal, dichter splittriger Kalk des Kimmeridge (Weissjura δ und ϵ) vom Rheinfallgebiet und Plattenkalk des oberen Kimmeridge (Weissjura ζ) aus einer Bohrung im Herblingertal (NE Schaffhausen).

C. Untersuchungsergebnisse

Es wurde die natürliche und durch Röntgen(X)-Bestrahlung von 1 und 5 Minuten Dauer erzeugte Thermolumineszenz der beschriebenen Jurakalke gemessen. Dabei zeigte es sich, dass die TL-Kurven der entsprechenden Kalkvarietäten von Steinheim (sicher geschockt) und Bernhardzell (vermutlich geschockt) sowohl in bezug auf eine verminderte Leuchtintensität als auch in bezug auf eine spezielle Kurvenform (als besonderes Charakteristikum ein ganz bis nahezu fehlendes Leuchtmaximum im Temperaturbereich um ca. 340° C gegenüber sicher ungeschockten natürlichen Kalken) einander bedeutend mehr gleichen als der Thermolumineszenz der natürlichen Kalke von Schaffhausen und Umgebung. Nach Ansicht der Verfasser ist auch aus den Beilagen ersichtlich, dass sowohl die graphisch dargestellten Messkurven (Textfigur) als auch die numerischen Werte (Tabelle) – ausser den bereits von HOFMANN (1973a) festgestellten und abgebildeten «shatter cones» – für eine Herkunft der Jurakalk-Trümmer in der Oberen Süßwassermolasse



Messkurven der natürlichen Thermolumineszenz von
7 Jura-Kalksteinen (Erklärungen siehe Tabelle).

von Bernhardzell durch einen Impakt sprechen. Da dieser Impakt aufgrund der Verteilung der verschiedenaltrigen Auswürflinge nach HOFMANN (1973a, b) im nördlich gelegenen Bodenseegebiet stattgefunden haben muss, kann man sich fragen, ob die Entstehung des Bodensees als teilweiser Grabenbruch durch diesen postulierten obermiozänen Meteoriten- oder Kometeneinschlag nicht mitverursacht worden sein könnte, wobei bei der Absenkung unter Umständen auch der Krater nachgesunken und damit bis heute als Depression zu erkennen wäre. In diese Richtung deutet das Fehlen von Molasseaufschlüssen im Bereich Arbon-Amriswil-Romanshorn-Friedrichshafen-Argedelta-Lindau, der völlig von pleistozänen Ab- lagerungen erfüllt ist.

Für die nochmalige Verwendung der originalgetreuen Abbildungen (Textfigur und Tabelle) aus dem Kongressband des IX Congrès International de Sédimentologie, Nice (1975, thème 10, S. 1-7), danken die Verfasser dem Herausgeber, Herrn Prof. Dr. J.-P. Mangin, Université de Nice.

LITERATURVERZEICHNIS

- BÄCHTIGER, K. (1967): *Die Thermolumineszenz einiger skandinavischer und nordamerikanischer Plagioklase (Teil V der Laboruntersuchungen an Plagioklasen)*. - Schweiz. mineral. petrogr. Mitt. 47/1, 365-384.
 — (1976): *Die Thermolumineszenz von einigen Kalkproben aus den Tumas zwischen Domat/Ems und Reichenau der interglazialen Bergsturzmasse von Tamins-Reichenau und ihrem Anstehenden am Calanda (Kt. Graubünden)*. - In Vorbereitung.
 BÄCHTIGER, K., HOFMANN, F., & LAVES, F. (1975): *Die Thermolumineszenz von einigen vermutlich geschockten Jurakalk-Auswürflingen aus der Oberen Süßwassermolasse (Miozän) der Ostschweiz*. - IX Congr. int. Sédimentol. Nice 1975, Thème 10, 1-7.

- BORUS, E. (1975): *Stosswelleneffekte in Weissjura-Kalken des Nördlinger Rieskraters.* - Diss. Univ. Tübingen.
- BRUNNER, G.O. (1964): *Thermolumineszenzmessung mit Doppelstrahlspektrometer.* - Helv. phys. Acta 37/1, 51-54.
- GROSCHOPF, P., & REIFF, W. (1970): *Die zentrale Erhebung «Steinhirt-Klosterberg» im Steinheimer Becken (Schwäbische Alb).* - Jber. Mitt. oberrh. geol. Ver. [N.F.] 52, 169-174.
- HOFMANN, F. (1973a): *Horizonte fremdartiger Auswürflinge in der ostschweizerischen Oberen Süßwassermolasse und Versuch einer Deutung ihrer Entstehung als Impaktphänomen.* - Eclogae geol. Helv. 66/1, 83-100.
- (1973b): *Fremdartige Trümmerhorizonte in der Molasse des ostschweizerischen Bodenseegebietes und ihre Beziehungen zur Entstehung des Nördlinger Ries und des Steinheimer Beckens.* - Schr. Ver. Gesch. Bodensee 91, 125-139.
- ILLIES, H. (1970): *Nördlinger Ries und Steinheimer Becken als Einschlagkrater eines Kometen.* - Jber. Mitt. oberrh. geol. Ver. [N.F.] 52, 149-168.
- MAXENKOW, W.G., & NIKULOWA, A.A. (1968): *Thermolumineszenzstudien von Dolomit von den Kaali-Meteoriten.* - Meteoritika 28, 51-53 [Russisch].
- MCDougall, D.J. (1968): *Thermoluminescence of Geological Materials.* - Proc. NATO Adv. Res. Inst. 1966 (Appl. of Thermoluminescence to geol. Problems). Academic Press, London/New York.
- PREUSS, E. (1969): *Einführung in die Riesforschung.* In: Arbeitsgemeinschaft Ries: *Das Ries.* - Geologica bavar. 61, 12-24.
- SHOEMAKER, E. M., & CHAO, E. T. (1961): *New Evidence for the Impact Origin of the Ries Basin, Bavaria, Germany.* - J. geophys. Res. 66, 3371-3378.

