

Eine miozäne limnische Entwicklung im Becken von Passail (Steiermark): Der "Travertin" von Haufenreith

Barbara SCHALLE, Graz

Mit 5 Abbildungen und 3 Tafeln

Zusammenfassung

Der "Travertin" von Haufenreith tritt innerhalb der Süßwasserschichten (Badenium) des Passailer Beckens auf. Diese Entwicklung wurde hinsichtlich ihrer Bildungsbedingungen untersucht, um Begriffe wie Travertin, Kalktuff nicht nur deskriptiv sondern auch genetisch abzugrenzen. Zwei Fazieshauptgruppen liegen vor: eine Seeuferfazies ("litoral") mit zwei Faziestypen (Cyanolithfazies, Kalktuff-Fazies) und eine "pelagische" Seebeckenfazies (Travertinfazies).

Abstract

The "travertine" of Haufenreith occurs within freshwater stratas (Badenian) of the "Passailer Becken". For a better distinction of the terms travertine and tufa respectively, the deposits were not only investigated concerning to their look but also to their depositional conditions. Two main facies groups are discernible: facies of the lake shore ("litoral") and facies of the lake basin ("pelagic").

Einführung

Das "Travertin"-Vorkommen von Haufenreith, ca. 2 km südöstlich von Passail (Abb. 1), findet erstmals in der Literatur im Zusammenhang mit geologischen Aufnahmen auf dem Kartenblatt Passail (ÖK 134) Erwähnung. Nach FLÜGEL & MAURIN (1961) tritt der Travertin innerhalb der "Süßwasserschichten von Passail" im Hangenden der karpatischen "Serie von Naas" auf.



Abb. 1: Geographische Lage des Gebietes.

Regionale Geologie

Der "Travertin" von Haufenreith erstreckt sich über eine Fläche von ca. 1 km² innerhalb des Beckens von Passail. Dieses Becken stellt eine neogene Depressionszone südlich des Hochlantschgebietes dar. Es zeigt eine in Bezug auf die Sedimentmächtigkeiten deutliche Gliederung: Einem Hauptbecken im Süden von Passail mit Mächtigkeiten bis 250 m steht ein westliches Teilbecken mit maximalen Mächtigkeiten von 105 m gegenüber (MAURITSCH et al., 1977). Zahlreiche Autoren (BOCK, 1913; HÜBL, 1941, ZÖTL, 1964) nehmen für das Passailer Becken als Paläoform eine Polje an. Über die Ablagerungsbedingungen der Sedimente, die ihre tiefe und isolierte Position erst einer spättertiären Einsenkung (SCHWINNER, 1925; MAURIN, 1952) zu verdanken haben, ist wenig bekannt. Das Travertinvorkommen selbst wird im Norden von fluviatilen Sedimenten umgeben, während die West-, Süd- und Ostgrenze von Schwarzschiefern, Phylliten etc. des Grazer Paläozoikums gebildet werden.

Klassifikationsprobleme

In der Terminologie von Süßwasserkalken werden für verschiedene Ablagerungsprodukte dieselben Begriffe oder für gleiche Ablagerungen verschiedene Begriffe verwendet (z.B. BEHM-BLANCKE 1960, DAMM 1964, EMEIS et al. 1987, FLÜGEL 1978, 1982, HEIMANN & SASS 1985, IRION & MÜLLER 1968, JULIA 1983, PENTECOST 1993). Das gilt vorallem für die Begriffe "Kalksinter", "Kalktuff" und "Travertin".

Die nachstehenden Klassifikationsversuche und -möglichkeiten sollen die unterschiedlichen Definitionen von Süßwasserkalken veranschaulichen.

SANDERS & FRIEDMAN (1967) klassifizieren Kalke nach drei Entstehungsprozessen: (A) CaCO_3 -Fällung, (B) Lithifikation von CaCO_3 -Sedimenten und (C) Substitution von Kalziumphosphat oder Quarz durch CaCO_3 . Kalktuffe stellen nach den genannten Autoren hochporöse Varietäten von Travertinen dar.

Nichtmarine Karbonate werden bei FLÜGEL (1978, 1982) nach Bildungsort und Bildungsmilieu eingeteilt und in lakustrine und terrestrische Karbonate unterschieden. Kalktuff und Travertin werden unter dem Begriff "Kalksinter" zusammengefaßt.

Ausgehend von karbonatbildenden Prozessen unterscheiden SZULZ & CWIZEWICZ (1989) Travertine, lakustrine Karbonate und palustrine Karbonate. Dabei sind "palustrine Karbonate" Kalktuffen gleichzusetzen.

Nach PEDLEY (1990) wird die Bezeichnung "Kalktuff" benutzt um fossile, "kühle" Süßwasserablagerungen mit hoher Porosität oder "schwammige" Süßwasserkarbonate, die reich an Mikro- und Makrophyten sind, zu bezeichnen. Unter "Travertinen" sind gut lithifizierte, ältere Kalktuffablagerungen oder atypische Ablagerungen, die frei von Makrophyten, aber von hitzetoleranten Bakterien (hydrothermaler Travertin von Tivoli) dominiert werden (vgl. CHAFETZ & FOLK, 1984), zu verstehen. Ebenso wird von PEDLEY (1990) das Synonym "cool water travertine" (Kaltwassertravertin), welches für Travertine die zusammen mit nichthydrothermal entstandenen Kalktuffen vorkommen, verwendet. "Sinter" wird im Sinne der Definition von PIA (1933) als rein anorganische CaCO_3 -Ablagerung, die meist einheitlich laminar ausgebildet ist und selten Pflanzenreste beinhaltet, bezeichnet.

RIDING (1991) geht von der Klassifikation benthischer mikrobieller Karbonate, sowohl mariner als auch nicht mariner Natur, aus. Biokonstrukteure sind Bakterien, Cyanobakterien und Algen. Es werden drei Hauptprozesse für die Bildung mikrobieller Karbonate herangezogen: Fangen von Sedimentpartikeln ("trapping"), Biomineralisation ("biomineralization") und Mineralfällung ("mineralization") auf Organismen und Sedimenten.

Nach RIDING (1977) kann folgende grobe Klassifikation angegeben werden. Kalktuffe werden durch CaCO_3 -Fällung aus kaltem Wasser auf (Cyano)Bakterien, Algen, Moosen, Gräsern etc. gebildet, während Travertine die Fällungsprodukte aus warmem Wasser, durch (Cyano)Bakterientätigkeit, darstellen. Sinter entstehen entweder durch heißes Wasser (auf der

Erdoberfläche), bzw. durch kaltes Wasser in Höhlen, im Beisein von (Cyano)Bakterien.

Eine Klassifikation nichtmariner Karbonate wird von KOBAN & SCHWEIGERT (1993) in einem Dreiecksdiagramm (Abb. 2) veranschaulicht. Die entscheidenden Einteilungskriterien sind einerseits der Bildungsort im oder oberhalb des grundwassergesättigten Bereiches (phreatische bzw. vadose Zone) und andererseits der Anteil an organischer Beteiligung bei der Kalkbildung. Hinzu kommt noch als sekundäres Faziesmerkmal die (makroskopisch sichtbare) Porosität.



Abb. 2: Klassifikation nichtmariner Karbonatgesteine (nach KOBAN & SCHWEIGERT, 1993).

Travertine sind visuell durch eine hohe makroskopische Porosität und durch eine feine Laminierung, die die Zyklizität der Ablagerungsgeschichte widerspiegelt, charakterisiert. Sie bilden sich unter lebensfeindlichen Wasserbedingungen, welche die Existenz von höheren Organismen verhindern. Die Karbonatfällung in Travertinen wird durch mikrobielle Aktivitäten und abiotische Prozesse gesteuert. Dominieren abiotische Prozesse (z.B. GONZALEZ et al., 1992) sollte ein Ablagerungsprodukt "Kalksinter" benannt werden (vergl. auch PIA 1933). Zwischen Travertinen und Kalksinter herrschen Übergänge, weil sogar aus Spelaeothermen mikrobielle Aktivitäten bekannt sind (JONES & MACDONALD, 1989) und auch in heißen Quellen Bakterienarten leben können (CASTENHOLZ, 1973). Kalksinter kommen in Bereichen wie Quellspalten, Höhlen und Porenräumen vor, wobei die mikrobielle Aktivität weitgehend fehlt.

Kalktuffen fehlt die feine stratiforme Laminierung. Sie zeichnen sich durch Makroporosität aus, welche durch autochthone Pflanzen, wie Moose, Grünalgen und Schilf entsteht; mikrobielle Strukturen sind von untergeordneter Bedeutung. Sie stellen typische Quellwässerablagerungen dar, wobei die Quellwässer an Ca-Bikarbonaten übersättigt sind.

Travertin- und Kalktuffbildung

Für die Bildung von Travertinen und Kalktuffen sind sowohl organische als auch anorganische Prozesse verantwortlich. Welchen dieser Prozesse eine vorrangige Bedeutung zukommt, wird kontroversiell diskutiert (z.B. WEED, 1888; EMIG, 1917; ALLEN, 1934; PENTECOST, 1978). Anorganische Prozesse, wie Entgasung, dominieren in der Nähe von Quellaustritten, während mit zunehmender Entfernung von der Quelle die organischen Prozesse zunehmen.

Die Quantität an gefällttem Material hängt von der Menge an gelöstem CO_2 , der Wassertemperatur und der Lichtintensität ab. In vielen Fällen spielt für die Organismen der Wasserchemismus eine wichtigere Rolle als die Temperatur.

(A) Kalktuffbildung

Kalzitkrusten um Pflanzen, vor allem um Moose, sind das Ergebnis der CO_2 -Druckerniedrigung im Wasser (STOFFERS, 1975). Demnach verursacht die Assimilation eine pH-Werterhöhung und eine Karbonatübersättigung. Daneben kann auch eine Alkalinitätszunahme mit einer Erhöhung des Anteil an NO_3^- - und PO_4^{2-} -Ionen als Bildungsmechanismus verantwortlich gemacht werden (z.B. PENTECOST, 1978; CHAFETZ & FOLK, 1984). EMEIS et al. (1987) haben experimentell weitere Gründe für die Kalzitfällung gesucht, indem sie die Fällung von Kalzit auf Moosen untersucht haben (Abb. 3). Voraussetzungen für die Kalktuffbildung sind: Kalzitübersättigung, -keimkristallbildung und biologische Aktivität.

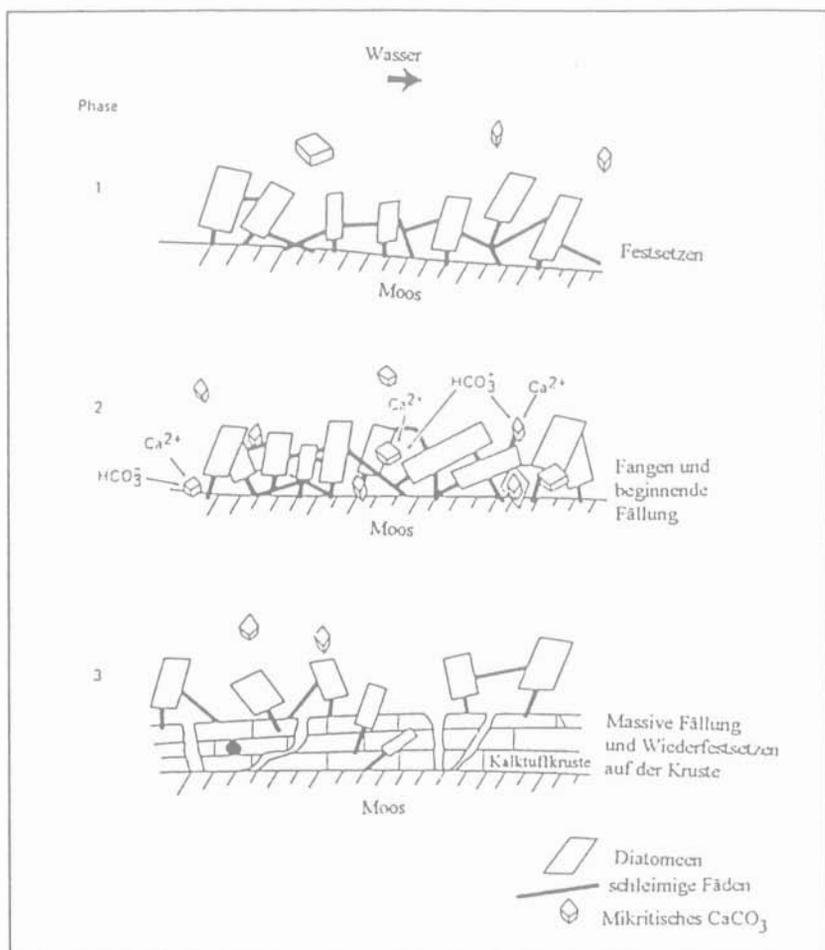


Abb. 3: Phasen bei der Moosumkrustung durch organische und anorganische Prozesse während der Kalktuffbildung (nach EMEIS et al., 1987).

(B) Travertinbildung

Travertine werden als Ablagerungen aus Quellen, deren Wassertemperaturen zwischen 5 - 95° C (FETH & BARNES, 1979) (häufigstes Temperaturintervall um 10 - 30° C) liegen, angesehen. Die Temperaturen nehmen im allgemeinen mit der Entfernung zur Quelle ab. Nach dem Quellaustritt kommt es zur Druckentlastung, wobei das CO_2 an die Luft verloren geht und eine pH-Werterniedrigung flußabwärts eintritt (COLE & BATCHELDER, 1969). Es entsteht eine Kalzitübersättigung, die durch Evaporation gefördert wird (HERLINGER, 1981).

Nach CHAFETZ & FOLK (1984) sind Bakterien direkt und/oder indirekt für den größten Teil der Travertinakkumulationen verantwortlich (z.B. Travertine von Zentralitalien und Idaho; CHAFETZ & FOLK, 1984). Bakterien bilden in vielen Travertinablagerungen charakteristische bäumchenähnliche Strukturen, die als "shrubs" bezeichnet werden. "Shrubs" bestehen aus einer Fülle von kleinen ovalen Körpern (ca. $0,5 \times 1,0 \mu\text{m}$), bzw. aus gelängten, manchmal gekrümmten oder geneigten, bis zu $20 \mu\text{m}$ langen, aber nur $0,5 \mu\text{m}$ dicken Filamenten (vergl. auch CHRISTIE & FLOODGATE 1966). Bekanntlich bilden Bakterien auch im Süßwasser neben "shrubs", bakterielle PISOIDE und mikrobielle Matten. Bisher sind die typischen "shrubs" in Bakterienmatten aus rezenten heißen Quellen noch unbekannt (WALTER et al. 1972; DOEMEL & BROCK, 1974).

Faziestypen

Im untersuchten Raum können drei Fazieshaupttypen unterschieden werden, wobei die Cyanolith- und Kalktuff-Fazies dem litoralen Bereich angehören während die Travertinfazies dem pelagischen Bereich zuzuordnen ist.

(A) Cyanolithfazies

Die Cyanolithfazies zeichnet sich durch den hohen Anteil (bis zu 72 %) an cyanobakteriell gebildeten Komponenten (Onkoide, bakterielle Matten bzw. Krusten) aus. Auffallend sind vor allem Onkoide, die in Form von zwei verschiedenen Typen auftreten. Zum einen handelt es sich um Onkoide mit deutlich ausgebildeten Kern und dünner Hülle und zum anderen treten Onkoide mit Hüllen bis zu 20 Lagen und undeutlich ausgebildetem Kern auf.

Eine vergleichbare Fazies, in der Pflanzenreste nur sehr untergeordnet vorkommen, wird von PEDLEY (1990) als Cyanolithenkalktuff, von ORDONEZ & GARCIA DEL CURA (1983) als Onkolithe bezeichnet.

Charakteristisch für die **geröllführende Cyanolithfazies** sind bis zu 50 cm große Gerölle und Onkoide mit Durchmessern von bis zu 20 cm sowie makroskopisch erkennbare Cyanobakterienkrusten und -lagen.

In der **feinklastischen Cyanolithfazies** verursachen die vielen verschiedenen Komponenten (Lithoklasten, Onkoide, cyanobakterielle Matten, Aggregatkörner etc.) und deren unregelmäßigen Verteilung ein sehr unterschiedliches Erscheinungsbild (Taf. 1, Fig. 1, 2). Zum einen können vorwiegend Lithoklasten (bis zu 40 %) auftreten und zum anderen können cyanobakteriell gebildete Komponenten (bis zu 43 %) überwiegen.

Charakteristisch für die **mikritisch-siltige Cyanolithfazies** ist das weitgehende Fehlen von lithischen Komponenten. Dafür treten Onkoide, deren innerer Aufbau und Mikrostruktur stark variiert sowie biogene Matten, welche sich in 2 Typen einteilen lassen, verstärkt auf.

Der erste biogene Mattentyp entspricht einer Stromatolithenbildung (Taf. 1, Fig. 3), charakterisiert durch eine ebene bis leicht wellige Laminierung, die durch helle, mikrosparitische und dunkle, mikritische Lagen hervorgerufen wird. Auffällig sind Porenräume, die eine "luftblasenartige" Form aufweisen, wobei die Hohlraumwand, unten gerade und nach oben zu wölbend ausgebildet, als mikritischer Rand erscheint.

Der zweite biogene Mattentyp zeichnet sich durch ein Aneinanderreihen "luftblasenartiger" Strukturen, die teilweise zu Lagenbildungen führen, aus (Taf. 1, Fig. 4, Taf. 2, Fig. 1). Es fehlt eine Wechsellagerung von hellen und dunklen Laminae fast vollständig. Die "Blasenlagen" bestehen aus sehr dicht nebeneinanderliegenden, in horizontaler Richtung leicht oval ausgelängter Hohlräume, die von einer dünnen, inneren glatten Kalzithaut begrenzt werden. Die Hohlräume werden durch individuelle Umkrustungen voneinander getrennt. Mikritische Fäden, die sich örtlich in Form eines Fächers ausbreiten erinnern an "shrubs".

In der **siltigen Cyanolithfazies** tritt der Mikritanteil zurück. Cyanobakteriell induzierte lagige Strukturen dominieren. Die Mikrostruktur sticht durch runde cyanobakterielle Strukturen, mit einem dichten mikritischen Kern, der konzentrisch von mehreren fleckig angeordneten mikritischen Klumpen oder Büscheln in einer sparitischen Matrix umgeben wird, hervor.

Die **peloidische Cyanolithfazies** wird neben cyanobakteriell gebildeten Strukturen durch das Auftreten zahlreicher Peloiden, die häufig zu einer "Krümelstruktur" verschmelzen, geprägt.

(B) Kalktuff- Fazies

Charakteristisch für diesen Faziestyp sind die pflanzlichen Strukturen bzw. die hinterlassenen Hohlräume (Taf. 2, Fig. 2) nach dem Zersetzen des organischen Materials (KOBAN & SCHWEIGERT, 1993). Als pflanzlichen Strukturen treten drei verschiedene Typen auf:

1. Blattabdrücke in Form von 5 cm langen und weniger als 1 mm breiten Hohlräumen, die teilweise oder ganz mit Sparit oder detritischem Material verfüllt sind.

2. Runde bis leicht ovale Komponenten mit mehreren feinen, mikritischen Innenringen. Mikritringe sind teilweise unterbrochen und gabeln sich auf (Taf. 2, Fig. 3).
3. Pflanzenstiele, die eine runde bis ovale Form aufweisen (Taf. 2, Fig. 4).

In der **Kalktuff-Fazies I** werden die Blattabdrücke und Pflanzenstiele von mikritischen und/oder sparitischen Kalzitsträndern umgeben. Die erste Schicht besteht aus 0,1 - 1,5 mm dicken Mikritsträndern, die von Sparitlagen (0,3 - 5 mm dick) umhüllt werden. Die einzelnen Kristalle bilden blättrige Formen mit den c-Achsen senkrecht zum Substrat. Die Hohlräume können sekundär teilweise oder ganz durch blockigen Zement oder detritische Grundmasse verfüllt sein. Geopetalgefüge sind häufig.

Die **Kalktuff-Fazies II** wird aufgrund der deutlichen Abnahme pflanzlicher Strukturen von der Kalktuff-Fazies I unterschieden. Typisch sind cyanobakterielle Lagen, die als Anlagerungen um pflanzliche Strukturen oder als eigenständige Lagen auftreten. Auffallend sind Peloiden, die innerhalb des Hohlraumsparrits von pflanzlichen Strukturen vorkommen.

Die Kalktuff-Fazies bildet sich im Uferbereich des Sees aus und verzahnt sich mit der Cyanolithfazies.

(C) Travertin-Fazies

Die Travertinfazies läßt sich in drei Subfazies untergliedern (detritische Travertinfazies, mikritische Travertinfazies I und mikritische Travertinfazies II).

Die mikritische, braungraue Grundmasse macht den Hauptanteil in der **detritischen Travertinfazies** aus. Die vorwiegend cyanobakteriellen Komponenten sind zerbrochen und prägen das detritäre Erscheinungsbild (Taf. 3, Fig. 1). "Shrubs" (Taf. 3, Fig. 2) sind selten anzutreffen; es überwiegen rekristallisierte Bruchstücke von biogenen Komponenten.

Das Hauptcharakteristikum der **mikritischen Travertinfazies I** sind lagige oder konzentrische cyanobakterielle Strukturen (Taf. 3, Fig. 3, 4). Als Internstruktur treten Verzweigungsmuster, die aus pinselförmigen, mikritischen Fäden bestehen, auf. Die Fäden gehen von einer eng begrenzten Basis aus und breiten sich dann nach allen Richtungen aus. Lokale Anhäufungen dieser Strukturen führen zur Aggregatbildung.

In der **mikritischen Travertinfazies II** treten zusätzlich lagig aufgebaute Strukturen sowie Hohlräume ehemaliger Blattreste bzw. Pflanzenstrukturen auf. Erstere erinnern an Kalksinter.

Das Hauptcharakteristikum, eine feine Laminierung, wie sie für Travertine üblich ist (KOBAN & SCHWEIGERT, 1993; CHAFETZ & FOLK, 1984) existiert in diesem Typ nicht, vielmehr ist er massig ausgebildet. Für Travertine typische Komponenten treten z.B. büschelige Cyanobakterienlagen oder zumindest Teile davon auf. Die pinseligen Strukturen der Büschel (vgl. GOLUBIC, 1976; LEINFELDER, 1985; KOBAN, 1989) sind im Travertin von Haufenreith vertreten, wo hingegen ein peloidischer Aufbau der "shrub"-Strukturen fehlt (ORDONEZ & GARCIE DEL CURA, 1977). Nach KOBAN (1989) handelt es sich in beiden Fällen um ein- und dieselbe Struktur in verschiedenen Erhaltungszuständen.

Charakteristisch für die Travertinfazies sind Strukturen des Morphotyps "*Dichothrix*" (nach LEINFELDER, 1985) mit pinselförmigen, mikritischen Fäden in Form eines Fächers. Untergeordnet tritt der "*Scytonema*-Morphotyp B" (LEINFELDER, 1985) auf.

Die Travertinfazies stellt die Ablagerungen aus dem Seebecken dar. Es treten nur untergeordnet Lithoklasten auf, wohingegen der Anteil an cyanobakteriell gebildeten Komponenten stark erhöht ist.

Faziesmodelle

Nach PLATT & WRIGHT (1991) können idealisierte vertikale Faziesmodelle für Seen genauso aufgestellt werden, wie für marine Karbonate. Die verschiedenen Faziesgürtel sind in Seen schmaler als in marinen Bereichen und Uferlinien sind gegenüber klimatischen Schwankungen empfindlicher als marine Küstenlinien. So zeigen fossile lakustrine Ablagerungen charakteristische abrupte und extreme laterale und vertikale Faziesänderungen.

Die Faziesmodelle von rezenten und fossilen limnischen Karbonatsystemen lassen zwei Fazieshauptgruppen erkennen: Eine Seeuferfazies ("litoral") und eine Seebeckenfazies ("pelagisch"). Die Seeuferfazies wird im "Travertin von Haufenreith" von der Cyanolithfazies und der Kalktuff-Fazies gebildet. Cyanobakterienkarbonate und Krusten auf Makrophyten sind kennzeichnend für die Litoralzone (ALLEN & COLLINSON 1986).

Die litoralen Karbonate, deren Bildung durch biogene oder bioinduzierte Fällung geschieht, stehen unter starkem lithoklastischem Einfluß. Typisch für den Litoralbereich sind Onkoide, sowie Makrophyten, die im Zuge der photosynthetischen Prozesse durch Karbonatfällung umkrustet werden. Die Seebeckenfazies in Haufenreith liegt in Form der Travertinablagerungen, denen Hinweise auf eine in situ Vegetation fehlen, vor. Die Produktionsrate der Karbonatfällung, hauptsächlich durch Phytoplankton, überwiegt den klastischen Input.

Nach PLATT & WRIGHT (1991) könnten die untersuchten Seeablagerungen einem gering energetischen See mit einem flachen Ufer entsprechen (Abb. 4). Dieser Seetyp ist seicht und selten geschichtet. Aufgrund der geringen Uferneigung sind die marginalen Fazies dominant. Wie die Abbildung 5 zeigt, stammt der klastische Einfluß aus dem Süden. Es kommt dabei zur Ausbildung klastikadominanter Faziestypen (Cyanolithfazies und Kalktuff-Fazies). Nach Norden hin gehen die Ablagerungen in einen offen lakustrinen Bereich über, der durch die Entwicklung der Travertinfazies gekennzeichnet ist.

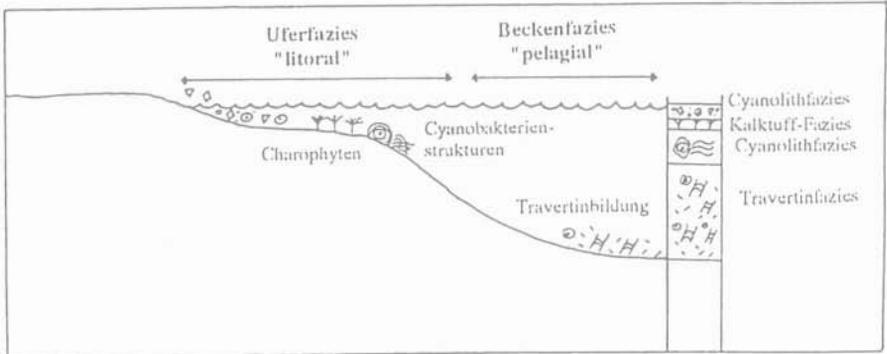


Abb. 4: Schematisiertes, unmaßstäbliches Modell für die Seeablagerungen von Hauftenreith. Unterteilung des lakustrinen Bereichs erfolgt in 2 Hauptgruppen: Ufer- und Beckenfazies.

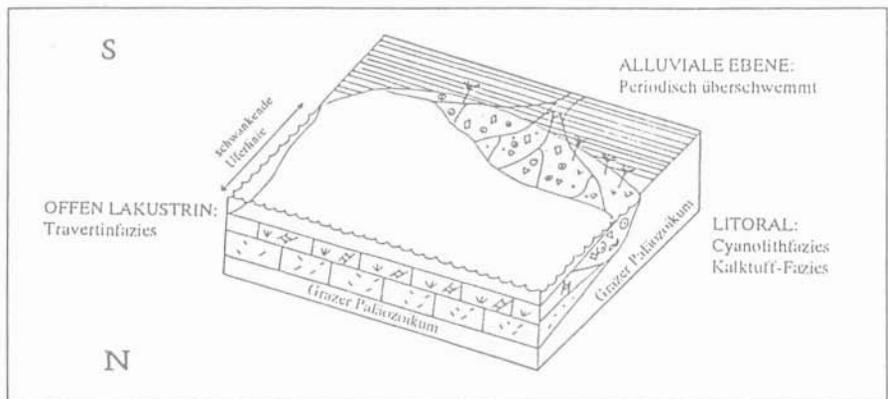


Abb. 5: Blockbild, welches die Entstehung der beiden Seefazies rekonstruiert.

Literatur

- ALLEN, E. T.: The agency of algae in the deposition of travertine and silica from thermal waters. - *Am. Jour. Sci.*, 287, 373-389, New Haven 1934.
- ALLEN, P. A. & J. D. COLLINSON: Lakes. - In: READING, H. G. (Hrsg.): *Sedimentary Environments and Facies*. - 2. Aufl., 63-94, Oxford (Blackwell Scientific Publications) 1986.
- BEHM-BLANCKE, G.: Altsteinzeitliche Rastplätze im Travertingebiet von Taubach, Weimar, Ehringsdorf. - *Alt-Thüringen*, 4, 1-246, Weimar 1960.
- BOCK, H.: Der Karst und seine Gewässer. - *Mitt. Höhlenk.*, 6, 1-23, Graz 1913.
- CASTENHOLZ, R. W.: Ecology of blue-green algae in hot springs. - In: CARR, N. G. & B. A. WHITTON (Hrsg.): *The biology of blue-green algae*. - 379-414, London (Blackwell Scientific Publications) 1973.
- CHAFETZ, H. S. & R. L. FOLK: Travertines: depositional morphology and the bacterially constructed constituents. - *J. Sed. Petrol.*, 54, 289-316, Tulsa 1984.
- CHRISTIE, A. O. & G. D. FLOODGATE: Formation of microtrees on surfaces submerged by the sea. - *Nature*, 212, 308-310, London 1966.
- COLE, A. & G. L. BATCHELDER: Dynamics of an Arizona travertine-forming stream. - *Jour. Arizona Acad. Science*, 5, 271-283, Tucson 1969.
- DAMM, B.: Das Kalksintervorkommen des Zendan-i-Subiman in Nordiran. - *Natur und Museum*, 94, 139-152, Frankfurt 1964.
- DOEMEL, W. N. & T. D. BROCK: Bacterial stromatolites: origin of laminations. - *Science*, 184, 1083-1085, Washington 1974.
- EMEIS, K. C., RICHNOV, H.-H. & KEMPE S.: Travertine formation in Plitvice National Park, Yugoslavia: chemical versus biological control. - *Sedimentology*, 34, 595-609, Oxford 1987.
- EMIG, W. H.: Travertine deposits of Oklahoma. - *Oklahoma Geol. Survey Bull.*, 29, 76 S., Oklahoma 1917.
- FETH, J. H. & I. BARNES: Spring deposited travertine in eleven western states. - *U.S. Geol. Survey Water Res. Invest.*, 79, 13-35, Washington 1979.
- FLÜGEL, E.: Mikrofazielle Untersuchungsmethoden von Kalken. - VI, 454 S., 68 Abb., 57 Tab., 33 Taf. Berlin-Heidelberg-New York. (Springer Verlag) 1978.
- FLÜGEL, E.: Microfacies Analysis of Limestones. - XIV + 633 S., 78 Abb., 58 Tab., 53 Taf. Berlin-Heidelberg-New York. (Springer Verlag) 1982.
- FLÜGEL, H. W. & V. MAURIN: Exkursion vom 29. bis 31. Mai 1959 in das Paläozoikum, Kreide und Tertiär westlich von Graz und das Kristallin, Paläozoikum und Tertiär des Weizer Berglandes. - *Mitt. Geol. Ges. Wien*, 53, 347-351, Wien 1961.
- GOLUBIC, S.: Organisms that build stromatolites. - In: WALTER, M. R. (Hrsg.): *Stromatolites*. - *Developm. Sediment.*, 20, 113-140, Amsterdam. (Elsevier Scientific Publishing Company) 1976.
- GONZALEZ, L. A.; CARPENTER, S. J. & K. C. LOHMANN: Inorganic calcite morphology: roles of fluid chemistry and fluid flow. - *J. Sed. Petrol.*, 62, 382-399, Tulsa 1992.

- HEIMANN, A. & E. SASS: Travertines in the northern Hula Valley, Israel. - *Sedimentology*, 36, 95-108, Oxford 1985.
- HERLINGER, D. L.: Petrology of the Fall Creek travertine, Bonneville county, Idaho. - Unpub. Masters's thesis, 172 S., Univ. Houston 1981.
- HÜBL, H.: Chemisch-petrographische Untersuchungen an tertiären Höhlensedimenten und ihre Beziehung zum Tertiär am Grundgebirgsrand bei Weiz (Steiermark). - *Zentralbl. Mineral.*, A, 122-135, Stuttgart 1941.
- IRION, G. & G. MÜLLER: Mineralogy, petrology and chemical composition of some calcareous tufa from the Schwäbische Alb, Germany. - In: MÜLLER, G. & G. M. FRIEDMAN (Hrsg.): *Recent developments in carbonate sedimentology in Central Europe.* - 157-171, Berlin-Heidelberg-New York. (Springer Verlag) 1968.
- JONES, B. & R. W. MACDONALD: Micro-organisms and crystal fabrics in cave pisoliths from Grand Cayman, British West Indies. - *J. Sed. Petrol.*, 59, 387-396, Tulsa 1989.
- JULIA, R.: Travertines. - In: SCHOLLE, P. A., BEBOUT, D. G. & C. H. MOORE (Hrsg.): *Carbonate Depositional Environments.* - *Mem. Am. Ass. Petrol. Geol.*, 33, 64-72, Tulsa 1983.
- KOBAN, C. G.: Fazielle Interpretation terrestrischer und mariner Onkolithfolgen aus dem Oberjura von Portugal (Estrmedura) unter besonderer Berücksichtigung des Alenquer Onkoliths. - Unveröf. Dipl. Univ. Mainz, 145 S., Mainz 1989.
- KOBAN, C. G. & G. SCHWEIGERT: Microbial origin of travertine fabrics - two examples from Southern Germany (Pleistocene Stuttgart travertine and Miocene Riedöschingen travertine). - *Facies*, 29, 251-264, Erlangen 1993.
- KOBAN, C. G. & G. SCHWEIGERT: Süddeutsche Travertinvorkommen im Vergleich - Stuttgarter Travertine (Mittel-Pleistozän) und Riedöschinger Travertin (Mittel-Miozän). - *N. Jb. Geol. Paläont. Abh.*, 1-3, 171-197, Stuttgart 1993.
- LEINFELDER, R.: Cyanophyte calcification morphotypes and depositional environments (Alenquer Oncolite, Upper Kimmeridgian?, Portugal). - *Facies*, 12, 253-274, Erlangen 1985.
- MAURITSCH, H.; SCHMID, C. H.; SCHMÖLLER, R.; WALACH, G. & WEBER, F.: Refraktionsseismische Untersuchungen im Passailer Tertiärbecken. - *Mitt. Abt. Geol. Joanneum*, 38, 79-87, Graz 1977.
- ORDONEZ, S. & M. A. GARCIA DEL CURA: Facies oncolitas en medio continental: Aplicacion al sector SE de la Cuenca del Duero. - *Estudios geol.*, 33, 459-466, Madrid 1977.
- ORDONEZ, S. & M. A. GARCIA DEL CURA, M.A.: Recent and tertiary fluvial carbonates in central Spain. - In: COLLINSON, J. D. & J. LEWIN (Hrsg.): *Ancient and modern fluvial systems.* - *Spec. Publs. Int. Ass.*, 6, 485-497, Oxford 1983.
- PEDLEY, H. M.: Classification and environmental models of cool freshwater tufas. - *Sed. Geol.*, 68, 143-154, Amsterdam 1990.

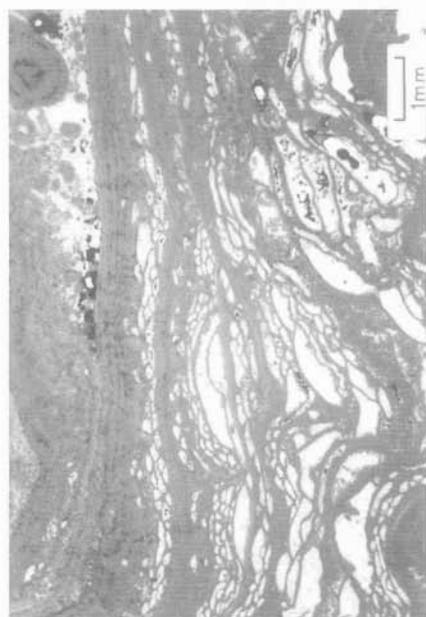
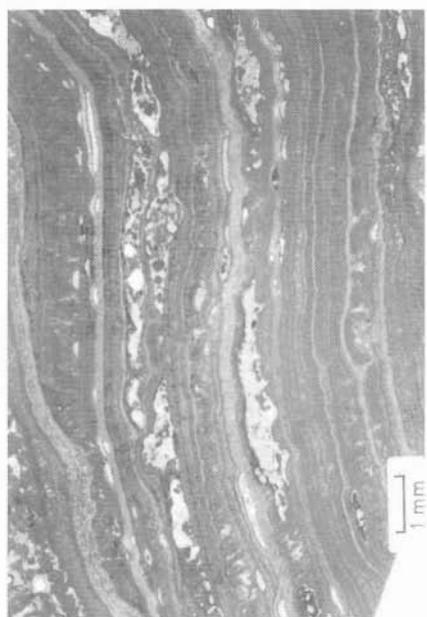
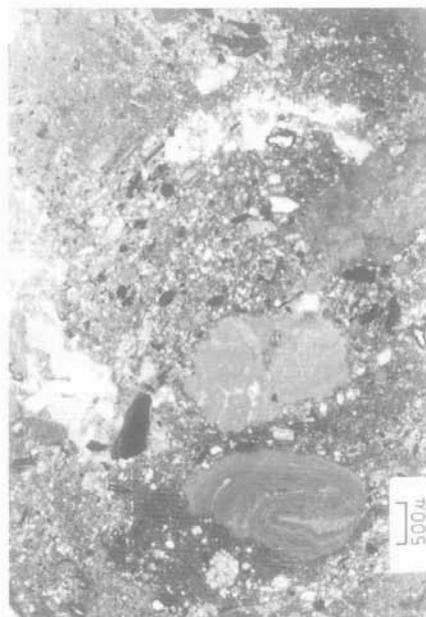
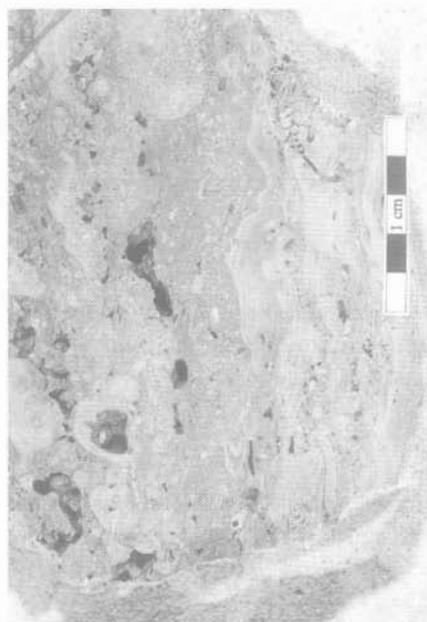
- PEDLEY, M.: Freshwater (phytoherm) reefs: the role of biofilms and their bearing on marine reef cementation. - *Sed. Geol.*, 79, 255-274, Amsterdam 1992.
- PENTECOST, A.: Blue-green algae and freshwater carbonate deposits. - *Royal Soc. London, Proc., Ser. B.*, 200, 43-61, London 1978.
- PENTECOST, A.: British travertines: a review. - *Proc. Geol. Ass.*, 104, 23-39, London 1993.
- PIA, J.: Die rezenten Kalksteine. - *Z. Kristall. Mineral. Petrol, Abt. B, Ergänzungsband 1*, 420 S., 22 Abb., 65 Tab., Leipzig 1933.
- PLATT, N. H. & V. P. WRIGHT: Lacustrine carbonates: facies models, facies distributions and hydrocarbon aspects. - In: ANADON, P., CABRERA, L. & K. KELTS (Hrsg.): Lacustrine facies analysis. - *Spec. Publs. Int. Ass. Sed.*, 13, 57-74, Oxford. (Blackwell Scientific Publications) 1991.
- RIDING, R.: Skeletal stromatolites. - In: FLÜGEL, E. (Hrsg.): Fossil algae: recent results and developments. - 57-60, Berlin-Heidelberg-New York. (Springer Verlag) 1977
- RIDING, R.: Classification of microbial carbonates. - In: RIDING, R. (Hrsg.): Calcareous algae and stromatolites. - 21-51, Berlin-Heidelberg-New York. (Springer-Verlag) 1991.
- SANDERS, J. E. & G. M. FRIEDMAN, G. M.: Origin and occurrence of limestones. - In: CHILINGAR, G. V., BISSEL, H. J. & R. W. FAIRBRIDGE (Hrsg.): Carbonate Rocks. - *Develop. Sediment.*, 9A, 169-266, Amsterdam. (Elsevier Publishing Company) 1967.
- SCHOPF, J. W.: Precambrian prokaryotes and stromatolites. - In: BROADHEAD, T. W. (Hrsg.): Fossil prokaryotes and protists - Notes for a short course. - Univ. of Tennessee Dep. of Geol. Sci., Studies in geology, 18, 20-33, Knoxville 1987.
- SCHWINNER, R.: Das Bergland nordöstlich von Graz. - *Sitzungsber. Akad. Wiss., Math.-naturw. Kl.(I)*, 134, 219-276, Wien 1925.
- STOFFERS, P.: Recent carbonate sedimentation in the lakes of Plitvice (Yugoslavia). - *N. Jb. Mineral. Monatsh.*, 9, 412-418, Stuttgart 1975.
- SZULZ, J. & M. CWIZEWICZ: The lower Permian freshwater carbonates of Slawkow Graben, Southern Poland: Sedimentary facies context and stable isotope study. - *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 70, 107-120, Amsterdam 1989.
- WALTER, M. R., BAULD, J. & BROCK, T. D.: Siliceous algal and bacteria stromatolites in hot springs and geyser effluents of Yellowstone National Park. - *Science*, 178, 402-405, Washington 1972.
- WEED, W. H.: Formation of travertine and siliceous sinter by the vegetation of hot springs. - *U.S. Geological Survey, Ann. Rept.*, 9, 613-676, Washington 1888.
- ZÖTL, J.: Fossile Großformen im ostalpinen Karst. - *Erkunde*, 18, 142-146, Bonn 1964.

Anschrift der Autorin:

Mag. Barbara SCHALLE, Büro Garber & Dalmatiner, Leechgasse 37/I, A-8010 Graz

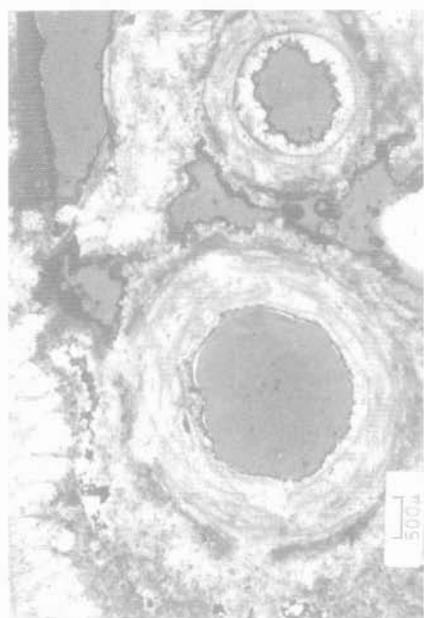
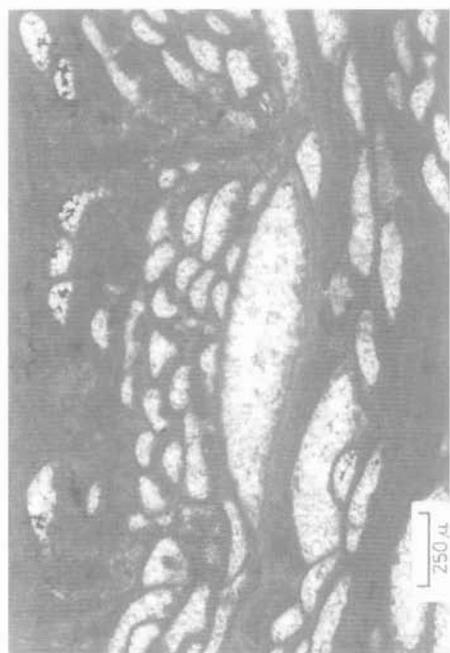
Tafel 1

- Fig. 1: Feinklastische Cyanolithfazies im Anschliff. Zahlreiche Onkoide in der Matrix zwischen lithischen Komponenten. Biogene Matten sind durch längliche Bruchstücke vertreten.
(oben links)
- Fig. 2: Feinklastische Cyanolithfazies mit lithischen Komponenten und cyanobakteriellen Strukturen, in Form von Aggregatkörnern.
(oben rechts)
- Fig. 3: Biogener Mattentyp I mit Wechsellagerung von hellen und dunklen Lagen. Charakteristisch sind "luftblasenartige" Gebilde.
(unten links)
- Fig. 4: Biogener Mattentyp II mit auffälligen Lagen, die von "luftblasenartigen" Strukturen gebildet werden.
(unten rechts)



Tafel 2

- Fig. 1: Vergrößerter Ausschnitt aus dem biogenen Mattentyp II. "Luftblasenartige" Struktur wird von kleineren Strukturen überlagert.
(oben links)
- Fig. 2: Kalktuff-Fazies II im Anschliff: Pflanzenstiele liegen als gelängte bzw. ovale Hohlräume vor und Blattabdrücke treten als dünne, feine Längshohlräume auf.
(oben rechts)
- Fig. 3: Kalktuff-Fazies II mit pflanzlichen Strukturen. Runde Komponenten mit mehreren sich aufzweigenden Mikritrinden. In der rechten Komponente wird der Hohlraum von einem durchgehenden Mikritring begrenzt.
(unten links)
- Fig. 4: Längsschnitt durch einen Pflanzenstiel aus der Kalktuff-Fazies I. Mikritischer Saum wird von einem sparitischen Rand umgeben.
(unten rechts)



Tafel 3

- Fig. 1: Detritische Travertinfazies im Anschliff.
(oben links)
- Fig. 2: Typische Ausbildung von "shrubs", die an kleine Bäumchen erinnern.
(oben rechts)
- Fig. 3: Deutlich erkennbare "shrub"-Lage aus der mikritischen Travertinfazies I.
(unten links)
- Fig. 4: Sphärisch ausgebildete "shrub"-Struktur, die sich konzentrisch von einem Mittelpunkt ausbreitet.
(unten rechts)

