

Zusammenfassung

Der Tentakulitenknollenkalk des Devons im Thüringisch-Fränkischen Schiefergebirge wurde petrographisch untersucht. Dabei konnten ein basaler Calcit-Turbidit nachgewiesen und die Knollen als strangförmige, eingeregelt Körperfossilien erkannt werden. Der feinkörnige Fossildetritus besteht nahezu ausschließlich aus Tentakuliten mit Beteiligung vermutlicher Algenreste. Die Bestimmung der Fossil-Packungsdichte und der Kalkstein-Tonstein-Verhältnisse zeigt, daß primär ein einheitlich zusammengesetztes Sediment vorlag, das in den Strängen zementiert und in der Matrix kompaktiert wurde. Die Mikrofazies und die gesamte Ausbildung entsprechen einer Tiefwassersedimentation.

Summary

On the petrology of the Thuringian Tentaculites nodular limestone (Devonian)

The Devonian Tentaculites nodular limestone in the Thuringian-Franconian Slate Mountains has petrographically been investigated. A basal calcite turbidite could be proved and the nodules recognised as string-shaped oriented body fossils. The fine-grained fossil detritus consists almost exclusively of Tentaculites with a share of presumed algal remnants. The analysis of the fossil packing density and the limestone-mudstone ratio shows that primarily there was a uniformly composite sediment, which was cemented in the strings and compacted in the matrix. The microfacies and the entire formation correspond to a deep-water sedimentation.

Резюме

О петрологии тюрингенского тентакулиново-желвакообразного известняка (девон)

Тентакулиново-желвакообразный известняк девонского периода в Тюрингенско-франконских сланцевых горах подвергался петрографическому анализу. При этом удалось доказать базальный кальцит-турбидит и обнаружить жел-

Zur Petrologie des Thüringer Tentakuliten- knollenkalkes (Devon)¹

Mit 1 Abbildung und 14 Photos im Text

Autoren:

Prof. Dr. habil. ROLF LANGBEIN
Dipl.-Geoln. GERDA MEINEL
Ernst-Moritz-Arndt-Universität
Sektion Geologische Wissenschaften
2200 Greifswald
Friedrich-Ludwig-Jahn-Straße 17a

1 (Mitteilung aus der Sektion Geologische Wissenschaften der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald)

ваки в качестве жгутообразных, ориентированных остатков самого организма. Тонкозернистый ископаемый детрит почти исключительно состоит из тентакулятов с участием предположительных остатков водорослей. Определение плотности упаковки ископаемых и соотношений известняка и плотной глины обнаруживает, что первично существовал единообразно составной осадок, который был цементирован в жгутах и уплотнён в матрице. Микрофация и общий характер соответствуют осадконакоплением в глубинных водах.

1. Einführung

Der Tentakulitenknollenkalk des Thüringischen und Vogtländischen Schiefergebirges ist ein in der Literatur viel diskutierter Horizont. Die Diskussionen betrafen jedoch vorwiegend nur seine stratigraphische Einstufung, während über den petrographischen Aufbau und die sedimentologische Entwicklung dieser interessanten Kalksteinabfolge kaum Bemerkungen zu finden sind. Sicher ist das zu einem großen Teil darauf zurückzuführen, daß infolge der großen Verwitterungsanfälligkeit Aufschlüsse selten sind und sich in einem schlechten Zustand befinden. Auch ist der Kalkhorizont als kompetente Einheit in schiefriger Umgebung teilweise tektonisch unterdrückt, was zu einer Deutung als isolierte Riffkörper führte (WALTHER 1907). Wir haben daher die Gelegenheit genutzt, ausgehend von einem Neuaufschluß aus dem unteren Teil des Tentakulitenknollenkalkes, eine übersichtsmäßige petrographische Analyse durchzuführen, deren Ergebnisse hier mitgeteilt werden.

In die Untersuchungen einbezogen wurden außer dem unverwitterten Profil aus dem Raum Wittgendorf (südwestlich Saalfeld) eine Reihe von Geländeaufschlüssen, die im einzelnen bei ZAGORA (1964) näher beschrieben sind:

- Mengersgereuth-Hämmern (Ortsausgang in Richtung Steinach)
- Steinach (Steinachufer am Schloß)
- Lippelsdorf (Bahneinschnitt in Richtung Taubenbach)
- Oberloquitz (Straßenanschnitt an der Mühle)
- Saalburg (Stauseeufer am Eselsberg)
- Gräfenwarth (Stauseeufer an der Wetterabucht)
- Schüptitz (Valentins Mühle)

Faziell hat der thüringische Tentakulitenknollenkalk Ähnlichkeit mit dem böhmischen Faziesgebiet und entspricht aufgrund seiner Tentakulitenfauna hauptsächlich der Prager Stufe der böhmischen Gliederung bzw. dem Siegen der rheinischen Gliederung (STEINBACH 1974, ZAGORA und ZAGORA 1978, WEYER 1980). Er wird im Liegenden durch den Oberen Graptolithenschiefer und im Hangenden durch den

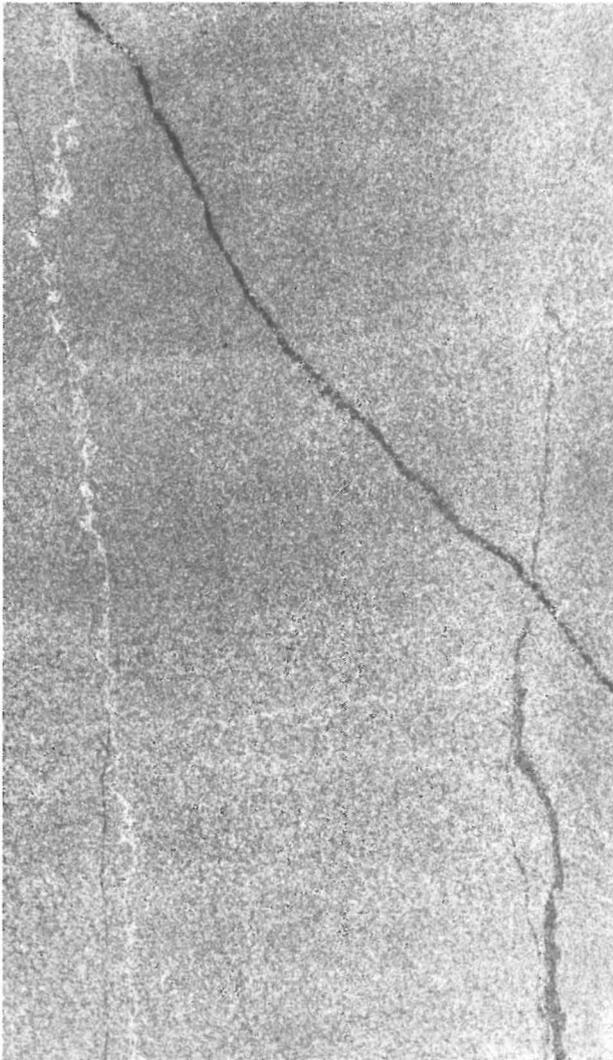


Photo 1
Basisbank des Tentakuliten-Knollenkalk-Profiles
(sog. Untere Kalksandsteinbank), massig-graduierter
Abschnitt, Teil A einer Bouma-Sequenz. Folienabzug,
Breite des Ausschnittes 6 cm, Profil Wittgendorf.

Tentakulitenschiefer begrenzt. Die Mächtigkeit schwankt zwischen 30 m am Schwarzbürger Sattel und 10 m im Vogtland. In diesem gesamten Bereich ist er lückenlos verbreitet.

Seit Wo. SCHMIDT (1939) und JAEGER (1955) die lithostratigraphische Bedeutung zweier „Kalksandsteinbänke“ erkannt haben, läßt sich der Karbonathorizont in allen Aufschlüssen lithostratigraphisch gliedern und einordnen. So gibt STEINBACH (1974) folgendes Richtprofil an:

- Kalkknotenschiefer mit wenig Knotenlagen, teilweise nur kalkstreifig
- Obere Kalksandsteinbank
- Großknotiger Kalkknotenschiefer mit vereinzelten Mergel- oder Kalkbänken

- Kleinknotiger Kalkknotenschiefer
- Wechsellagerung von Kalk- bzw. Mergelbänken und Tonschieferlagen
- Basale Kalksandsteinbank.

Die basale Kalksandsteinbank ist dabei in allen ungestörten Profilen nachgewiesen, die Karbonatanteile nehmen in Richtung zum Hangenden ab.

Zur Sedimentation oder Genese des Tentakulitenknollenkalkes gibt es in der Literatur kaum Aussagen. Zusammenfassend ergibt sich: Die Sedimentation erfolgte pelagisch, im küstenfernen, gut durchlüfteten Flachwasser, wo nur während der Sedimentation der basalen Kalksandsteinbank stärkere Strömung existierte.

2. Lithotypen des Tentakulitenknollenkalkes

Aus der Literatur sind im wesentlichen vier verschiedene Lithotypen bekannt: Knollenschiefer, Knollenkalke, parallelgeschichtete und schräggeschichtete Kalksandsteinbänke. Diese vier Typen lassen sich am Profil Wittgendorf trotz dessen geringer Mächtigkeit gut erkennen und wurden hier näher untersucht. Die etwa 9 m mächtige Karbonatgesteinsfolge besteht aus einem basalen geschichteten Abschnitt (Photo 1 und 2) und einer 5 m mächtigen oberen Folge mit Knollenkalcken und -schiefern.

2.1. *Basale Kalksandsteinbank*

In dem unverwitterten Profil wurde eine Beobachtung gemacht, die bisher noch nicht beschrieben wurde. Die typische schräggeschichtete Basisbank wird von einer parallelschichtigen und einer undeutlich gebankten Kalksteinzone unterlagert. Das ist sicher auch ein Grund für die unterschiedlichen Mächtigkeitsangaben, die von 0,3 bis 1,4 m schwanken (hier insgesamt 4 m mächtig). Für die sedimentologische Deutung der Basisbank ist gerade die Ab-

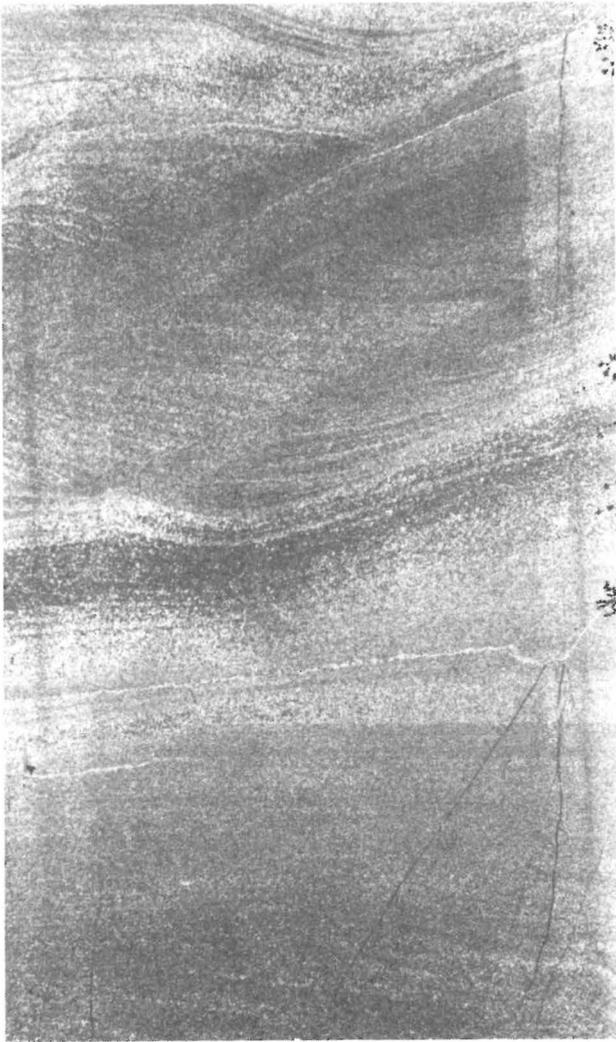


Photo 2
Basisbank des Profils, unterer parallelgeschichteter und schräggeschichteter Abschnitt, Teil B und C der Bouma-Sequenz, Calciturbidit. Folienabzug, Breite des Ausschnittes 5 cm, Profil Wittgendorf.

folge dieser drei Gefügevarianten von großer Bedeutung. Die Kalksteinbank beginnt mit einem Abschnitt, der weitständig geschichtet bis gebändert ist und in dem bei normaler (fining upward) Abfolge eine Graduierung nach Korngrößen und Tonanteil zu beobachten ist (Photo 1). Diese massige graduierte Zone wird abgelöst durch eine geringmächtige Folge mit enger Parallellaminierung. Obwohl diese Abfolge große Ähnlichkeit zur Oberen Kalksandsteinbank hat, unterscheidet sie sich doch deutlich durch einen wesentlich höheren Karbonatanteil. Im Hangenden folgt dann der eigentliche typische Abschnitt dieses Horizontes, die Schrägschichtungszone (Photo 2). Angezeigt durch den Wechsel hellerer, verunreini-

gungsfreier Karbonatstreifen mit dunkleren, stärker tonig-bituminösen Streifen findet sich eine ausgeprägt kurzphasige, teils gebogene Rippelschichtung (climbing ripples). Die gesamte Abfolge ist gleichmäßig blaugrau gefärbt und vom Materialbestand her einheitlich zusammengesetzt. Die am auffallendsten texturierte Schrägschichtungszone, die vor allem bei leichter Verwitterung gut erkennbar wird, ist nach STEINBACH (1974) in allen Profilen nachzuweisen, während es auf die liegenden Zonen kaum Hinweise gibt.

2.2.

Knollenschiefer und Knollenkalke

Im höheren Teil des Profils treten auf engem Raum die drei wesentlichen Strukturtypen auf, der Großknotige und Kleinknotige Kalkknollenschiefer sowie der bankbildende eigentliche Knollenkalk. Alle drei Subtypen unterscheiden sich lediglich durch die Größe der Knollenquerschnitte und durch das Verhältnis von Knollen zu Matrix. Als Großknotiger Knollenschiefer wird eine Variante bezeichnet, in der die Knollen im Größenbereich 1 cm x 3 cm bis 3 cm x 6 cm liegen, bei einem mittleren Abstand der in Lagen angeordneten Knollen bis zu 7 cm. Kleinknotiger Knollenschiefer liegt im Größenbereich 0,5 cm x 1 cm bis 2 cm x 3 cm, bei einem mittleren Abstand der Lagen bis zu 4 cm. Im gleichen Größenbereich liegt auch die Knollengröße im Knollenkalk des Profils, der sich vom Knollenschiefer nur dadurch unterscheidet, daß die Matrix zwischen den Knollen unbedeutend ist oder ganz fehlt. Zwischen solch relativ reinen Karbonatlagen treten aber auch relativ karbonatarmer tonige Lagen auf. Finden sich in solchen Lagen einzelne Knollen, dann liegt der in der Literatur ausgehaltene Subtyp des knotenführenden Schiefers vor. Im frischen Zustand sind alle Knollengesteine graublau gefärbt, tonigere Varianten etwas dunkler als die karbonatreichen. Die Knollen heben sich kaum von der Matrix ab. Erst bei beginnender Verwitterung ergeben sich schnell Unterschiede, meist in der Form, daß die Knollen zuerst einen rostigen Anflug bekommen. Bei mäßiger Verwitterung erschei-

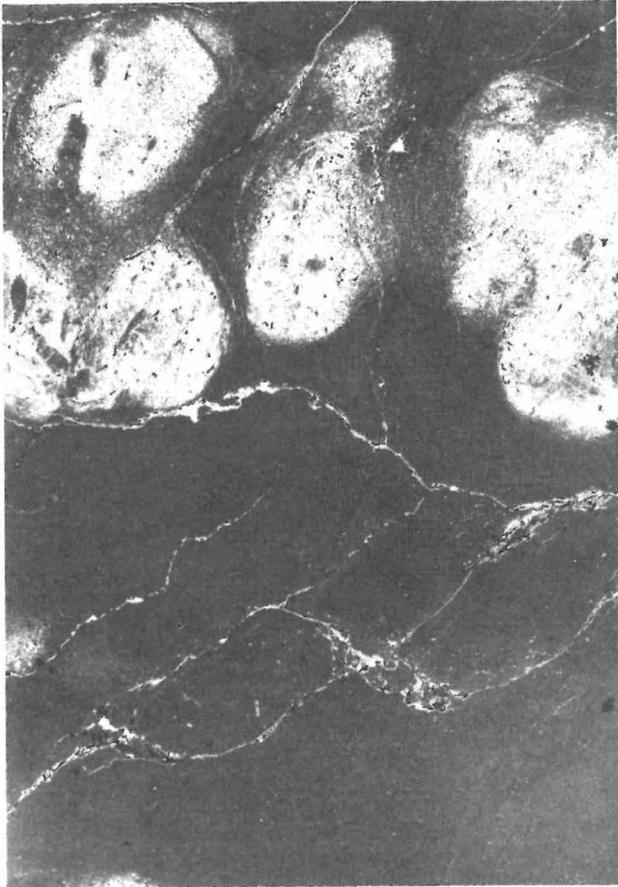


Photo 3
Dichter toniger Kalkstein (unten) und Knollenlage (oben).
Der ovale Querschnitt und die teils aufrechte Einbettung
der Knollenstränge sind deutlich zu erkennen. Photo eines
präparierten Anschliffes, Breite der Probe 5 cm, Profil
Wittgendorf.

nen dann die Knollen als kleine Höhlungen in der noch unverwitterten Matrix, bis schließlich bei intensiver Verwitterung wieder die Knollen quasi herauspräpariert werden, während die Matrix zerfällt. Dieses Verhalten während der Verwitterung entspricht derjenigen im Ocker-

kalk (LANGBEIN, PRECKER und WEIDLICH 1986, im Druck).

In stark verwitterten Profilen kann man auch gut die Form der Knollen studieren. Bisher wurden die beiden Begriffe Knolle und Knoten wie üblich synonym verwendet. Die detaillierte Untersuchung zeigte aber überraschenderweise, daß nur in seltenen Fällen wirklich isometrische Knollen vorliegen. Langgestreckte Bildungen, Knollenstränge, überwiegen. Die Querschnitte dieser Stränge sind nur teilweise regellos knollig. Sie sind häufiger deutlich ellipsenförmig bis linsenförmig (Photo 3). Es konnten bis zu 30 cm lange Stränge herauspräpariert werden (Photo 4), das sind aber noch nicht die maximal möglichen Längen. Der Eindruck von isometrischen Knoten wird im Aufschluß dadurch erweckt, daß die Stränge ausnahmslos subparallel orientiert sind und so im Schnitt senkrecht zur Strangrichtung jeweils gleichgroße Querschnitte erkennen lassen (Photo 5). In Anschnitten parallel zur Strangrichtung sind keine Knollenstrukturen zu erkennen. Es ist nur eine rippelartig gestreifte Kluftfläche entwickelt (Photo 6). Die Orientierung der Stränge ist auffallend konstant. So wurde im Aufschluß Steinach ein Streichen von 50° ermittelt und im etwa 5 km entfernten Aufschluß Mengersgereuth-Hämmern noch 45° für einen stratigraphisch etwas tieferen Horizont. Nachdem einmal aufgefallen, konnte diese strangartige Ausbildung für alle bearbeiteten Profile nachgewiesen werden.

Die nähere Untersuchung solcher Stränge zeigt eine im Idealfall linsenartige Begrenzung und eine häufig auftretende Striemung parallel

Photo 4
Knollenstrang aus dem Tentakulitenkalk, durch Verwitterung freigelegt (Profil Gräfenwarth)



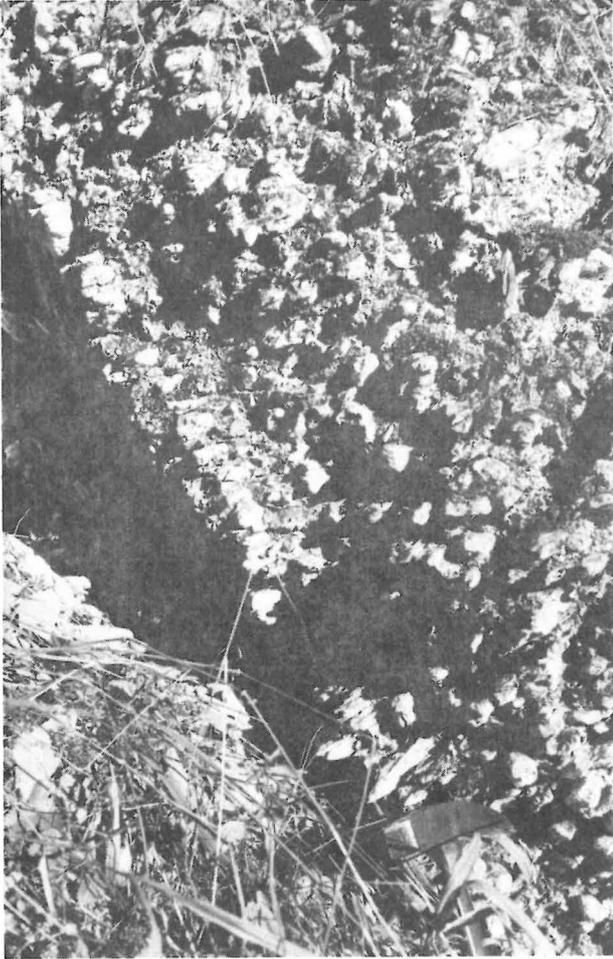
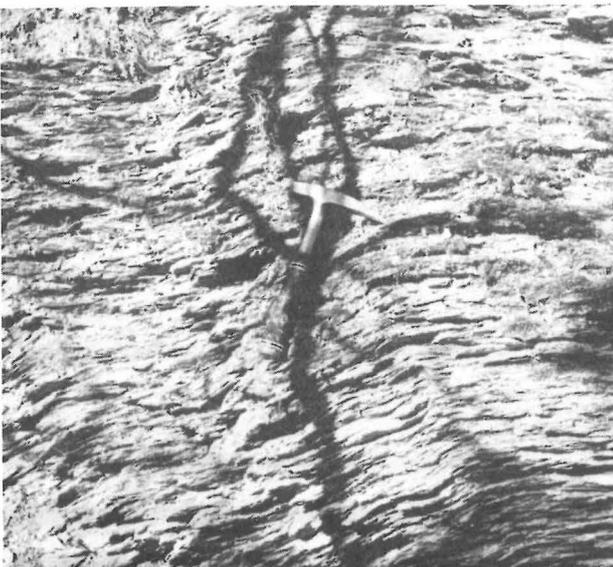


Photo 5
Ausschnitt aus einem Tentakulitenkalk-Profil, Partie mit
überwiegend Knollensträngen. Durch die Verwitterung sind
die Knollen gut herauspräpariert. Das Photo ist aus
Richtung SW aufgenommen, Profil Mengersgereuth-Hämmern.

Photo 6
Gleicher Aufschluß wie Photo 5, aber Aufnahmerichtung
aus SE



zur Längsrichtung (Photo 7). Die Stränge zeigen Spuren eines „rock-borers“ und sind Substrat für autochthone Korallenstöcke. Das spricht dafür, daß die Knollenstränge schon zur Zeit der Sedimentation eine Art Hartgrund bildeten (Photo 8).

Diese Ähnlichkeit zu Hartgründen wird auch nahegelegt durch die Beobachtung, daß Knollenstränge kaum isoliert auftreten. Vielmehr bilden sie immer mehr oder minder dichte Reihen, die im Anschnitt dann als Knollenlagen in Erscheinung treten. Vermutlich entspricht eine solche Knollenlage jeweils einer Zeit verzögerter Sedimentation, in der es zur Fixierung dieser sonst nicht erhaltungsfähigen Strangbildner kam. Die Möglichkeit zu einer differentiellen Verwitterung und damit ihre Erkennbarkeit verdanken die Knollenstränge ihrer gegenüber der Matrix erhöhten Porosität und einem erhöhten Dolomitgehalt.

2.3.

Obere Kalksandsteinbank

Der Lithotyp der parallelgeschichteten Oberen Kalksandsteinbank konnte nur in Tagesaufschlüssen studiert werden. Es ist ein Kalkstein bis karbonatischer Tonstein wechselnder Zusammensetzung, der sich insbesondere durch das Fehlen von Knollensträngen und durch eine deutliche Parallelschichtung von den Knollengesteinen abhebt. Graduierte oder schräggeschichtete Nachbarglieder fehlen bei diesem Horizont, so daß er wohl als eine Zone knollenfreier Matrix zu deuten ist. Je nach dem Karbonatgehalt bildet er bei der Verwitterung eine heraustretende Bank oder eine Hohlkehle.

3.

Mikrofazies des Tentakulitenknollenkalkes

Die Karbonatgesteine enthalten eine ausgesprochene Mikrofossilgemeinschaft. Neben den überwiegenden Tentakuliten (ZAGORA, K.1964) finden sich teils gehäuft Ostracoden (ZAGORA, J. 1967), Reste von Trilobiten (AL-

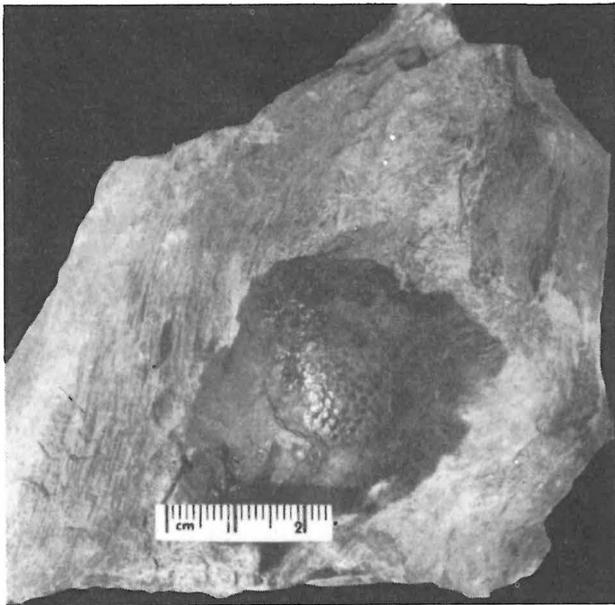


Photo 7.
Korallenstock von *Favosites* DANA 1846, auf einem Knollenstrang aufgewachsen. Links im Bild ist die typische Parallelstreifung des Stranges zu erkennen, Profil Steinach

BERTI 1962) und einzelne Conodonten (JENTSCH 1962). Die Makrofauna ist dagegen nur sehr spärlich und meist in Steinkernerhaltung vertreten. Neben den am häufigsten beschriebenen Korallen (WEISSERMEL 1941), die allerdings nicht gesteinsbildend auftreten, sind vereinzelt Brachiopoden und Reste von Cephalopoden (Nautiliden), Gastropoden und Lamellibranchiaten gefunden worden (STEINBACH 1974).

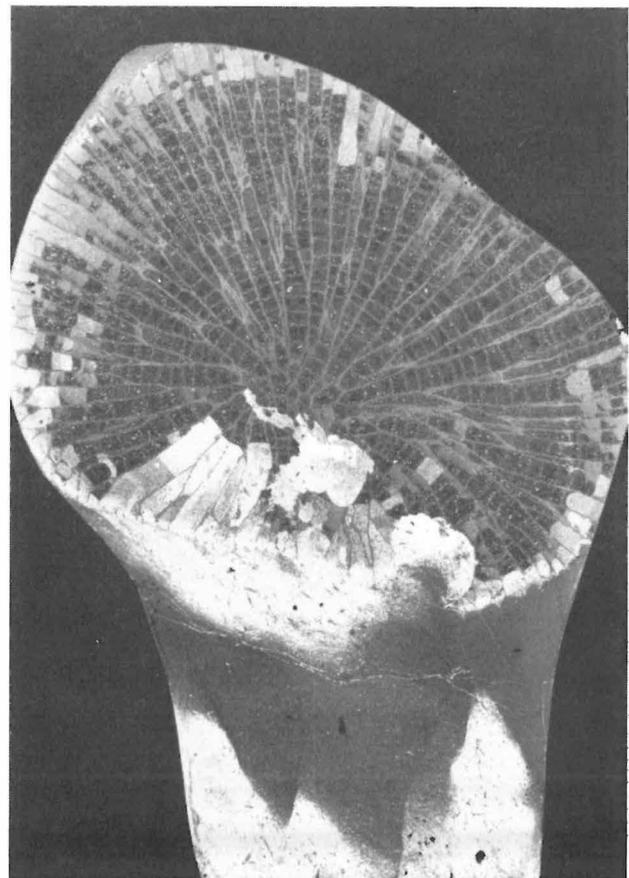
Bei unseren Untersuchungen konnten wir vier Mikrofaziestypen aushalten, die sich unschwer den einzelnen Lithotypen zuordnen lassen. So entspricht der basalen Kalksandsteinbank ein Tentakuliten-Siltit-Bioklastit, der oberen Kalksandsteinbank ein tentakulitenreicher silicaclastischer Siltit, und dem eigentlichen Knollenhorizont sind ein Tentakulitenmikrit (wackestone) und ein Tentakulitenpackstone zuzuordnen (Photo 9). Allen diesen Mikrofaziestypen ist der überwiegende Bestand an Tentakulitengehäusen im biogenen Anteil gemeinsam. Aufgrund ihrer charakteristischen Schalenstruktur sind Tentakuliten auch in kleinen Bruchstücken und nach stärkerer Umkristallisation noch gut zu bestimmen. So sind die Schalen dreischichtig aufgebaut,

wobei reine Calcitlagen mit etwas stärker bituminös verunreinigten Lagen abwechseln und die Feinstruktur mit radialstenglicher Außenschicht, konzentrisch-fasriger Mittelschicht und meist mikritischer Innenschicht auch in kleinen Bruchstücken noch eine Identifikation zuläßt. Gut erhaltene Querschnitte zeigen zudem noch das typische Auslöschungskreuz (LUCAS, CROS und LANG 1976), das durch die tangentielle Orientierung der Calcitkristallite erzeugt wird.

Gegenüber den Tentakuliten treten alle anderen Reste stark zurück. Es handelt sich dabei um Ostracoden, Bruchstücke von Trilobiten, Echinodermen-Einkristalle sowie Problematika.

Zwei Bildungen sind unter den Mikroproblematika besonders auffallend: eine netzartige und eine parallelstenglige Struktur. Die gewebartige oder Netzstruktur (Photo 6) besteht

Photo 8
Schnitt durch einen Korallenstock. Rechts unten ist zu erkennen, daß der Stock auf dem knolligen Sediment „aufsitzt“. Folienabzug, Breite der Koralle 3 cm, Profil Steinach.



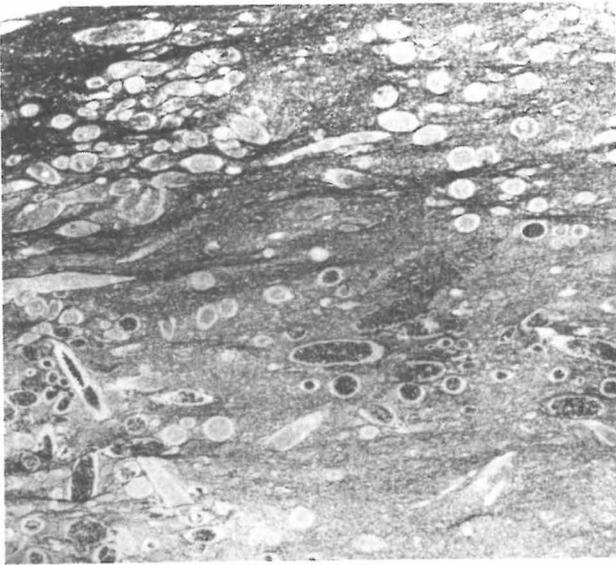


Photo 9
Tentakuliten-Calcit-Arenit vom Typ eines Kompaktites.
Links unten und Mitte unten sind Gehäuse mit gewebeartig
strukturiertem organischem Material gefüllt (Algen?).
Dünnschliff, Breite des Ausschnittes 0,6 cm
Profil Oberloquitz

Photo 10
Kruste zwischen Kompaktit (links oben) und Zementit
(rechts unten). Deutlich ist die mehrfache unregelmäßige
Längsgliederung der Kruste durch Bitumenanreicherung.
Dünnschliff, Breite des Ausschnittes 0,05 cm, Profil Oberloquitz.



aus einem opaken bituminösen Gerüst, das relativ regelmäßig von rundlichen Poren durchsetzt ist, die von Calcitmicritkristallen gefüllt sind. Diese Gewebestrukturen sind klastenartig im Gestein verteilt, wurden aber auch als Ausfüllungen von Tentakulitengehäusen beobachtet. Die Porengröße liegt bei 5...10 μm . Der parallelstenglige Typ besteht aus reinem Calcit und zeigt eine krustenartige Ausbildung (Photo 10). Zwar tritt er auch in Form unregelmäßiger Klasten auf, doch scheint er in der Hauptsache in-situ-gebildet. Vorwiegend findet er sich krustenartig an Grenzen zwischen stark bituminös verunreinigten und reinen mikritischen Gesteinspartien (Photo 11). Diese Anordnung demonstriert deutlich, daß es sich nicht um Schalenbruchstücke handelt.

3.1.

Tentakuliten-Siltit-Bioklastit

Das Gestein besteht überwiegend aus Karbonat, dessen Anteil zwischen 70 und 90 % schwankt. Es handelt sich teilweise um den



Photo 11

Schrägschnitt eines Zementit-Knotenstranges. Die lockere Anordnung der Tentakulitengehäuse im Vergleich zum Photo 9 ist deutlich, der Zementit ist meist durch eine stenglige Calcitkruste begrenzt. Dünnschliff, Breite des Ausschnittes 0,2 cm, Profil Oberloquitz.

karbonatreichsten Gesteinstyp des Profiles, weshalb die Bezeichnung Kalksandstein etwas irreführend ist. Die makroskopisch deutliche Fein- (und Schräg-) schichtung ist auch mikroskopisch sehr gut entwickelt und wird durch den Wechsel von hellen, reinen Karbonatlagen, braunen bituminösen Karbonatlagen und stärker tonig-pyritischen, nahezu schwarzen Lagen bewirkt. Der Karbonatanteil besteht zum großen Teil aus Bruchschill der oben besprochenen Fossilien und Problematica, der im Größenbereich 50 bis 125 μm liegt, also im Grenzbereich Siltit-Arenit. Der Schill ist in die Schichtung und Schrägschichtung sehr gut eingeregelt, so daß, obwohl Abrundungserscheinungen kaum zu beobachten sind, der Charakter als resedimentierter Klastit eindeutig ist. Der silicaclastische Anteil besteht überwiegend aus Quarz, Glimmer tritt zurück. Weitere Verunreinigungen sind Pyrit und Bitumen.

Hinweise auf mechanische Kompaktion fehlen, der sedimentär bereits eng gepackte Bioklastit erscheint früh zementiert, worauf auch der hohe Karbonatgehalt hinweist.

3.2.

Tentakulitenwackestone, Zementit

Das Gestein besteht im Mittel zu 80 % aus Karbonat. Beim Karbonatanteil überwiegt die Grundmasse, die sich aus Matrix und Zement zusammensetzt, wobei jedoch beide infolge der starken Umkristallisation nur selten noch deutlich zu trennen sind. Die Grundmasse ist micritisch mit einer mittleren Kristallkorngröße um 10 μm (von 5...25 μm), teilweise etwas gröber rekristallisiert. Statistisch darin verteilt sind die Verunreinigungen wie Quarz, Glimmer, Pyrit, Bitumen. Bitumen ist daneben

aber auch fleckenweise stark angereichert und bildet dann ein intrakristallines, fein netzartiges Gefüge. Die so dunkel gefärbten Partien sind teilweise durch die oben genannten Calcitkrusten gegenüber den reinen Partien begrenzt. Fossilien sind sowohl im schwammartig bituminösen Teil als auch im reinen Teil in gleicher Art und Häufigkeit angeordnet. Die überwiegenden Tentakuliten, meist nur in Anteilen von 10 bis 20 % bezogen auf die Micritmatrix auftretend, sind auffallend sperrig angeordnet, nicht zerbrochen und nicht geregelt. Da sie auch gleichmäßig ohne lagige Anreicherungen verteilt sind, wird angenommen, daß es sich um das locker sedimentäre Gefüge eines Fossilenschlammes handelt, das schon relativ früh, zumindest vor jeglicher Kompaktion, zementiert wurde. Wir bezeichnen diese Mikrofazies, die den Knollen entspricht, daher als Zementit (Photo 11).

3.3.

Tentakulitenpackstone, Kompaktit

Dieser Mikrofaziestyp fällt zunächst gegenüber dem vorhergehenden durch einen stark erhöhten Anteil an Verunreinigungen auf, der bis über 70 % erreichen kann. Es handelt sich also um einen Mergelstein bis karbonatischen Tonstein. Die Verunreinigungen sind die gleichen wie bisher, vor allem feinklastisch-tonige Substanzen sind angereichert, Pyrit kann große framboide Aggregate bilden.

Auch der biogene Anteil entspricht in etwa dem vorgenannten Typ. Die doch recht zerbrechlichen Formen sind in der Hauptsache gut erhalten und nicht eingeregelt. Karbonatmicrit in der Grundmasse ist wesentlich seltener als oben und findet sich typisch ausgebildet vor allem innerhalb der Gehäuse, wo er deutlich heller als in der Grundmasse entwickelt ist und wohl Zement darstellt. Die Korngröße ist im Mittel höher und liegt meist zwischen 10 und 25 μm . Einige Gehäuse sind aber auch mit Matrix und mit Gewebestrukturen gefüllt.

Der wesentliche Unterschied zum Zementit in der Fossilverteilung ist der signifikant höhere Anteil und damit die höhere Packungs-

dichte. Das Verhältnis Fossilien zu Matrix ist etwa umgekehrt wie beim Zementit und beträgt im Mittel 7 : 3, d. h. es handelt sich um einen relativ dichten Packstone. Der Anteil von 70 % Fossilien ist so zu verstehen, daß die Gehäuse einschließlich der natürlich sehr hohen Intrapartikelporosität das Volumen von 70 % einnehmen. Der Verdichtungsgrad wird noch erhöht durch das Auftreten von partiell aufgelösten, suturierten Gehäusen (Photo 12). Eine Interpartikelporosität von 30 % ist für eine sedimentäre Packung von sperrigen, nicht zerbrochenen und nicht eingeregelteten tütenförmigen Tentakulitengehäusen nicht möglich. Wir fassen daher diesen für die Matrix der Knollenschiefer und des Knollenkalkes charakteristischen Faziestyp als Kompaktit auf (Photo 9).

3.4.

Tentakulitenführender Silicaclastit (siltiger Tonschiefer)

Dieser Lithofaziestyp hat den höchsten Anteil an nichtkarbonatischem Material. Er kann bis über 80 % erreichen. Karbonatreichere Abarten unterscheiden sich nicht wesentlich vom Typ des Kompaktits. In allerdings deutlich geschichteter Matrix sind gut erhaltene Formen von Mikrofossilien eingeschaltet, die häufig rekristallisiert sind. Auch hier kann die Grundmasse mit micritischem Calcit durchsetzt sein, so wie auch Karbonatmatrix Stützsubstanz sein kann. Bei stärker tonigen Proben ist der Einfluß der Schieferung und metamorphen Rekristallisation bedeutend, wobei das Auftreten von mikroskopischen Muskovit-Chlorit-Mixedlayern, sog. Chloritporphyroblasten, am auffälligsten ist.

4.

Kalkstein-Tonstein-Verhältnisse

Es wurde bereits mehrfach darauf aufmerksam gemacht, daß die Unterschiede zwischen den Lithotypen bzw. Mikrofaziestypen stark vom Kalkstein-Tonstein-Verhältnis abhängig sind oder dieses bedingen. Zur genaueren Charak-

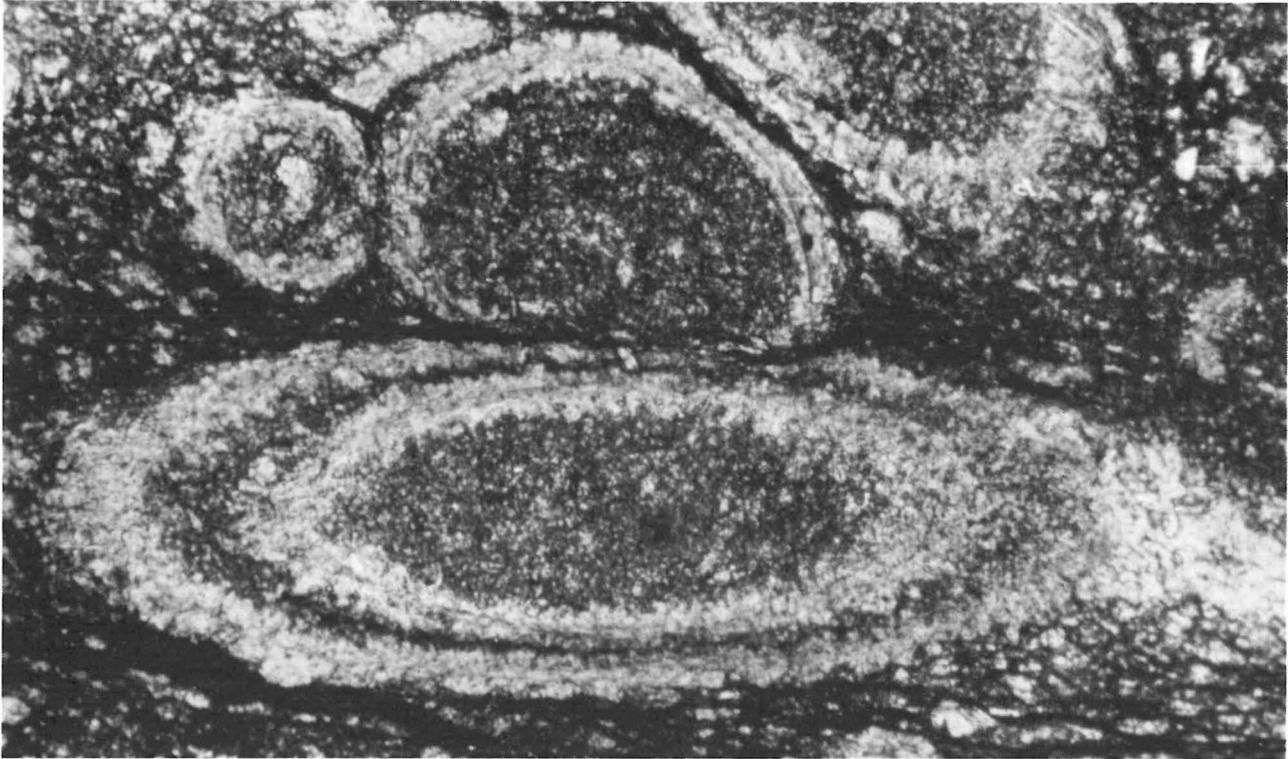
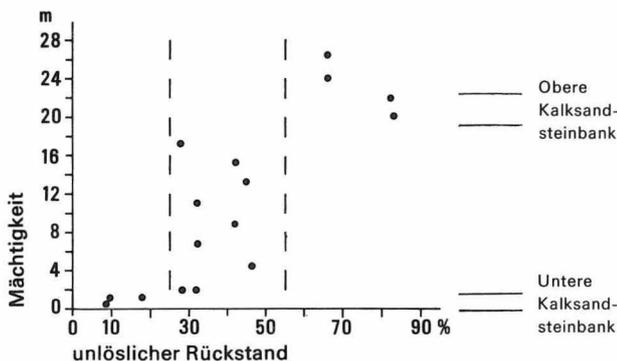


Photo 12
Tentakuliten-Calcit-Arenit vom Typ eines Kompaktit. Deutlich ist die Ausbildung von Drucksuturen zu erkennen. Die komplizierte Druckverteilung wird durch zwei benachbarte Knollenstränge bewirkt, die als seitliche Widerlager wirken, und durch den vertikalen Kompaktionsdruck. Dünnschliff, Breite des Ausschnittes 0,05 cm, Profil Oberloquitz.

terisierung haben wir daher an 27 Proben die Masse der nichtkarbonatischen Anteile als salzsäureunlösliche Rückstände bestimmt. Dazu wurden das Profil Oberloquitzer Mühle im 2 m Abstand beprobt und im Profil Wittgendorf die verschiedenen Gesteinstypen analysiert. Von den übrigen Profilen wurden typische Horizonte herangezogen.

Insgesamt ergibt sich über alle Proben ein Mittel von 36,3 %, das aber wegen der nicht systematischen Probennahme als nur angenähert repräsentativ gelten kann. Die Schwankungsbreite ist sehr groß, von 8 . . . 82 %. Von den Lithotypen hat die basale Kalksteinbank den höchsten Karbonatgehalt mit 16 % Rückstand bzw. ohne Berücksichtigung eines Extremwertes von im Mittel nur 12 %. Die obere Kalksandsteinbank hat demgegenüber einen mittleren Rückstandsgehalt von 45 % und ohne die untypischen kalkigen Varianten von 61 %. Der Durchschnittswert für die Knollengesteine liegt bei 38,4 %. Wie eingangs zitiert, soll der Karbonatgehalt zum Hangenden des Profiles hin zurückgehen. Abbildung 1 über die Verteilung der Rückstände im Profil Oberloquitz kann diese Tendenz bestätigen. Die mittlere Partie des Profiles mit Werten zwischen 30 und 50 % hebt sich gegenüber den basalen Partien ab, insbesondere auch gegen den oberen Teil, wobei die Obere Bank deutlich markiert ist.

Abbildung 1
Verteilung der säureunlöslichen Rückstände im Tentakulitenkalk-Profil von Oberloquitz. Die gestrichelten Linien markieren Zementit- und Kompaktitbereiche sowie deren gemischtes Auftreten im Knollenkalk.



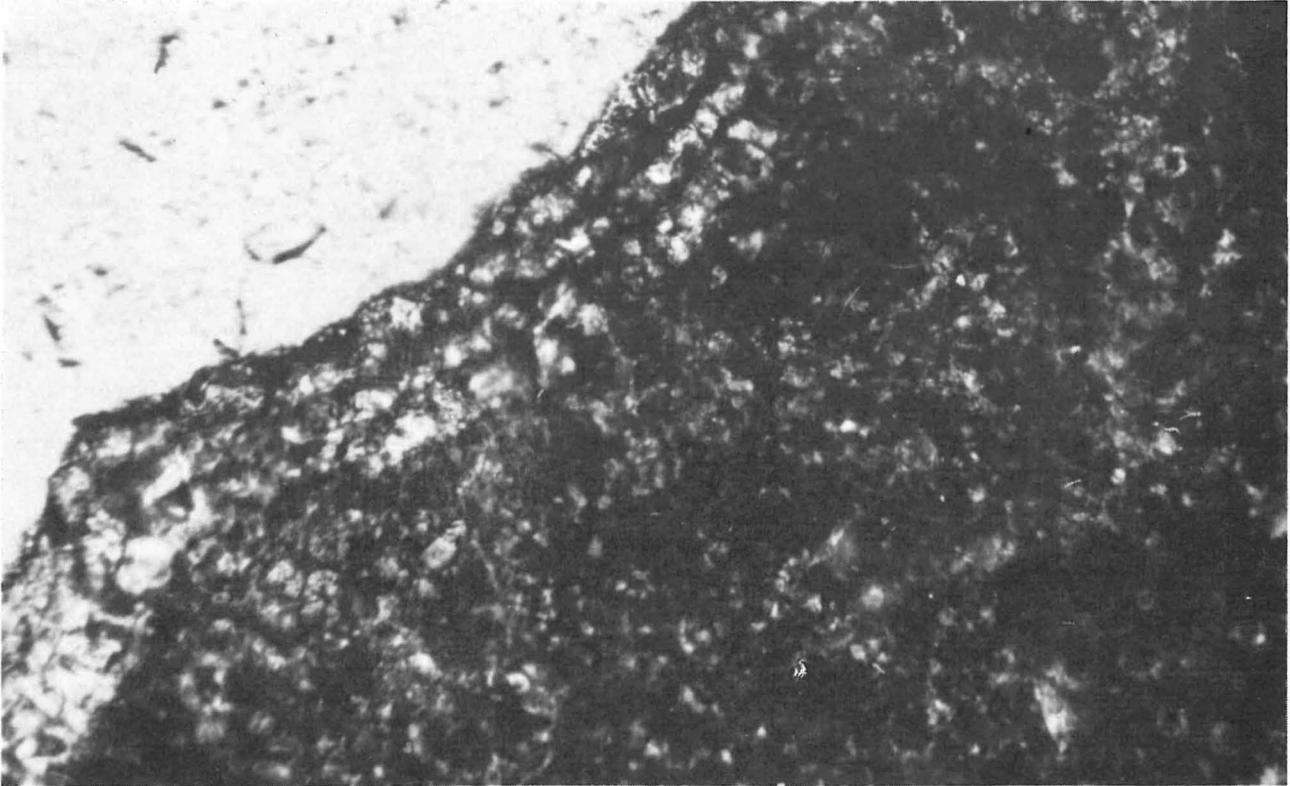


Photo 13

Calcitkrusten um einen Zementit-Knollenstrang (rechts unten). Die Dreigliedrigkeit ist deutlich zu erkennen. Dünnschliff, Breite des Ausschnittes 0,02 cm, Profil Oberloquitz.

schen Anteil ist nur schwer exakt durchzuführen. In frischen Proben gelingt nur schwer eine exakte Trennung. Sortiert man die Analysenergebnisse nach Proben mit überwiegenden Knollen und Matrix, ergeben sich Mittelwerte von $26 \pm 13 \%$ und $49 \pm 20 \%$. Läßt man unsichere Mischproben heraus, erhält man die beiden Mittel 19% und 61% , die mit dem Untersuchungsergebnis an einer exakt präparierten Knolle aus dem Profil Wittgendorf gut übereinstimmen. Diese brachte die Werte 20% und 73% , welche wohl als repräsentativ gelten können. Diskutiert man die eben abgeleiteten Werte, dann ergibt sich, daß im Kompaktit der unlösliche Anteil etwa dreimal so hoch ist wie im Zementit. Gleichzeitig ist aber im Kompaktit auch der Fossilanteil im gleichen Maße erhöht, so daß in beiden Typen das Verhältnis Fossilien zu tonigem Anteil etwa gleich ist. Auch die Betrachtung der Oberen Bank bringt das gleiche Verhältnis. Wir schlußfolgern daraus, daß allen drei Gesteinstypen ein gleiches Fossil-Ton-Verhältnis zugrunde liegt und die Unterschiede nur diagenetisch angelegt sind.

Die Knollenkarbonate wurden bereits früh zementiert und die tonige Substanz wurde durch Calcitmicrit „verdünnt“, während die anderen Typen eine Kompaktion erfuhren. Nur für die basale Kalksandsteinbank ist primär ein höherer Kalkanteil anzunehmen.

5. Diskussion und Schlußfolgerungen

5.1. Knollenstränge

Die Knollenstränge des unterdevonischen Tentakulitenknollenkalkes haben große Ähnlichkeit mit den Karbonatsträngen des silurischen Ockerkalkes. Der Hauptunterschied besteht in der Regel darin, daß die devonischen Stränge relativ dicker und meist kürzer sind. Auch fehlen die im Ockerkalk durchgehend entwickelten bituminösen Häutchen, was wohl

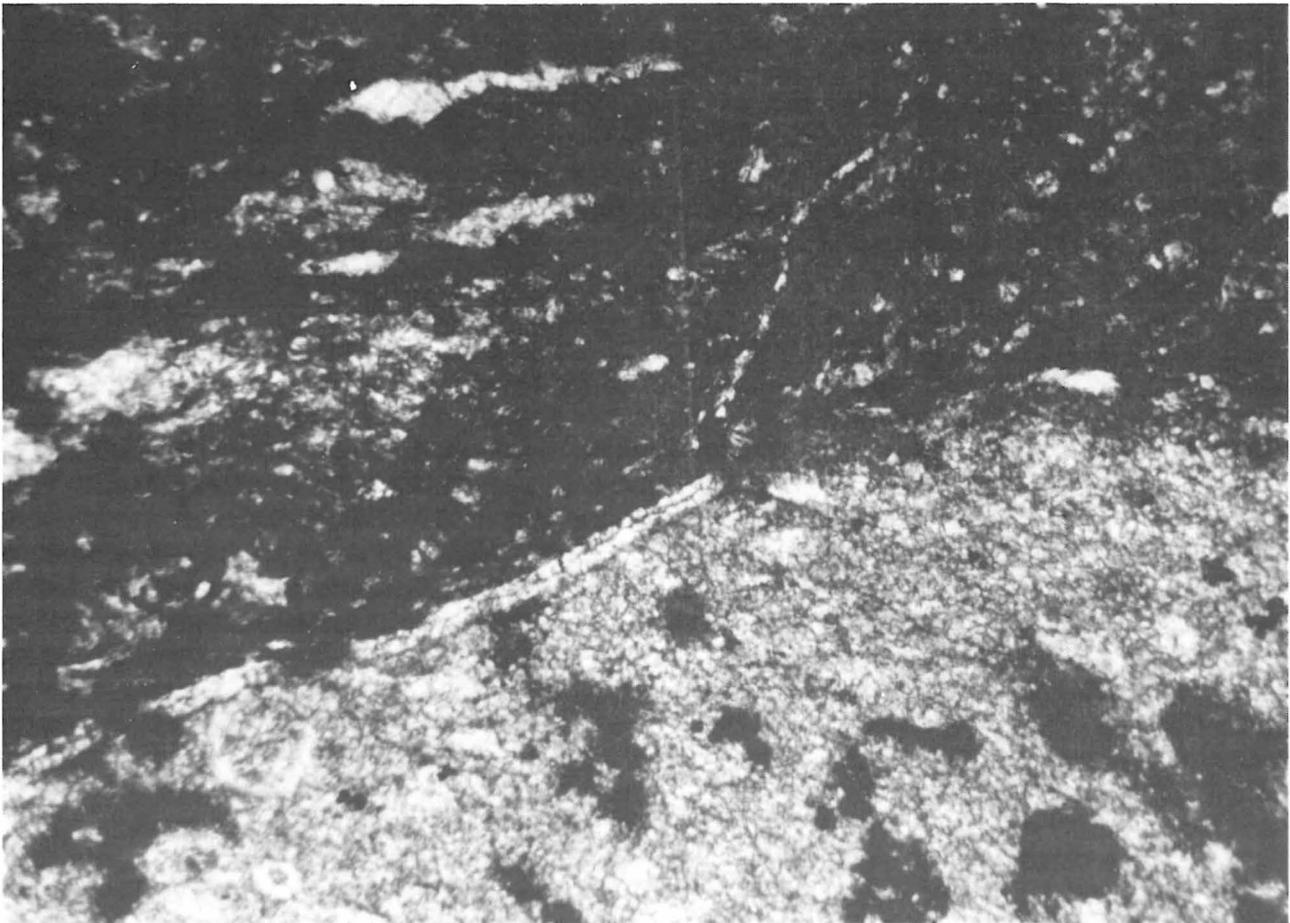


Photo 14

Calcitkruste um einen Knollenstrang (unten rechts). Deutlich sind Brucherscheinungen und die unterbrochene Ausbildung; im Kompaktit (oben) sind weitere Reste der Kruste erkennbar. Dünnschliff, Breite 0,09 cm, Profil Oberloquitz.

auf das weniger stark reduzierende Milieu während der Sedimentation zurückzuführen ist. Die Knollenstränge lassen eine längsgerichtete feine Skulptur erkennen. Doch ist deren primäre Natur wegen der relativ starken Schieferung nicht sicher. Eindeutig ist aber eine scharfe Abgrenzung zur Matrix, die bei leichter Verwitterung ein Herauslösen ermöglicht. Dabei ist teilweise über den gesamten Umfang eine dünne calcitische Kruste entwickelt. Die Kruste ist aus bis zu drei dünnen Lagen aufgebaut, teils mit angedeuteter Quergliederung (Photo 13). Sie ähnelt darin embryonalen stromatolithischen Krusten, wie sie auch in sandigen Profilabschnitten des Devons auftreten (KLISCH 1981). Die Kruste kann zerbrochen sein und im Sediment als Bruchstücke auftreten, ist also prädiagenetisch (Photo 14). Beachtet man diese Besonderheiten und zieht auch

die o. g. Fakten wie Einregelung, Lagenbildung, Anbohrungen und Korallenunterlage in Betracht, dann wird deutlich, daß es sich bei den Strängen trotz Ähnlichkeiten zu *Planolites* nicht um ein Ichnofossil, sondern um ein Körperfossil handeln muß, das seine Erhaltung einer frühen Zementation verdankt.

Wir bezeichnen dieses Problematicum als *Planolitoides jaegeri* und halten es für am wahrscheinlichsten, daß es sich um eine frühdiagenetisch (hartgrundartig) lithifizierte syphonale Alge (Braunalge?) handelt, die jetzt in Steinkernerhaltung vorliegt, wobei evtl. eine frühe Verkrustung durch andere Algen oder Cyanobakterien mitgewirkt haben könnte. Die Lithifizierung erfolgte jeweils in Zeiten relativer Sedimentationsruhe, sonst konnten sich diese nicht verkalkten Syphons nicht erhalten und wurden wie das übrige Sediment kompaktiert.

5.2.

Sedimentationsmilieu

Relativ einfach zu deuten ist die Sedimentationseinheit der basalen Kalksandsteinbank. Die Abfolge schichtungslose Graduierung – Parallellamination – Schrägschichtung entspricht den Zonen A-B-C des Bouma-Zyklus. Solche Karbonat-Turbidite sind nach SCHOLLE, ARTHUR und EKDALE (1983) und COOK und MULLINS (1983) für pelagische und Beckenrandsedimentation typisch. Der Turbidit ist relativ mächtig, feinkörnig und ausgedehnt entwickelt. Zumindest der Bouma-Abschnitt C wurde über eine Strecke von 80 km nachgewiesen. Der Turbidit gehört danach in den distalen Bereich. Das auslösende Ereignis sollte bei dieser Dimension von einiger Bedeutung gewesen sein. Da im Turbidit die gleichen Sedimentbildner auftreten wie im anschließend sedimentierten Knollenschiefer der Prager Stufe, muß das Material einem Gebiet entstammen, in dem diese Fazies bereits etwas früher auftritt. Ob weitere geringmächtige Turbidite am Sedimentaufbau beteiligt sind, läßt sich wegen der sekundären Überprägung nicht ermitteln; die gelegentlich bandartigen Gefüge deuten eine solche Möglichkeit an. Viel verbreiteter sind aber später konstante Bodenströmungen (contour currents), die zu einer ausgeprägten Parallelregelung der Knollenstrang-Problematika führen. Stärkere Bewegungen allerdings, die zu einer Bioklastitbildung aus den Tentakulitenschalen hätten führen müssen, fehlen im Sedimentationsraum.

Versucht man die vorliegenden Mikrofaziestypen in das WILSON-Modell einzupassen (WILSON 1975, FLÜGEL 1982), ergibt sich folgendes:

- Der microbioclastische Calcitsiltit der Unteren Bank entspricht der Standardfazies 2.
- Der Zementit entspricht dem Standardtyp 8 (Wackestone mit ganzen Organismen und einzelnen Bioklasten).
- Der Kompaktit kann mit Vorbehalt dem Standardtyp 10 (Packstone-Wackestone) zugeordnet werden.

Insgesamt entsprechen die Standardmikrofazies 2, 8, 10 der Fazieszone 2 des WILSON-Modells – der tiefmarinen neritischen Sedi-

mentation auf dem offenen Schelf, unterhalb der Sturmwellenbasis, d. h. dem Tiefen Undathem.

Die auftretenden Organismen stimmen mit dieser Zuordnung überein. Tentakuliten, die den Hauptteil ausmachen, haben eine offen marine planktonische Verbreitung. Ostracoden und die in geringer Menge auftretenden Sedimentbildner wie Trilobiten und Echinodermen sind für diesen Bildungsraum nicht ungewöhnlich. Die übrigen seltenen Makrofossilfunde könnten allochthon sein, zumal sie meist nur in Steinkernerhaltung vorliegen. Problematisch ist lediglich das Auftreten der Korallen, die vorwiegend als Flachwasserbewohner gedeutet werden. Allochthonie ist abzulehnen, da die Korallen in großen Knollen und auf den Knollensträngen aufgewachsen vorkommen. Tiefwasserkorallen sind aber inzwischen auch rezente verbreitet gefunden worden (SCOFFIN u. a. 1980), so daß man für die von uns gefundenen Formen (*Favositidae* DANA 1846) mit WEYER (1980) Teufen bis zu 1 000 m annehmen kann. Bedingungen für das Wachstum sind ja lediglich Frischwasserströmungen, die Nahrung herantransportieren, und diese sind nach vorliegenden Anzeichen zu erwarten.

Die Bildungsbedingungen entsprechen damit etwa denen im silurischen Ockerkalk. Der mächtigere Turbidithorizont und der allgemein höhere Silicaclastitanteil sprechen für eine etwas randnähere Position des thüringischen Sedimentationsgebietes, die durch den Vorbau des Flachscheffrandes infolge Sedimentation (Progradation) erklärt werden kann.

Eine Reihe von Kollegen haben uns freundlicherweise im Gelände, bei Laborarbeiten und durch anregende Diskussionen unterstützt. Wir möchten uns insbesondere bei den Herren Dres. BLUMENSTENGEL, KORICH, Prof. NESTLER, SEIFERT, WELLER und WEYER recht herzlich bedanken.

Literatur

- ALBERTI, G.:
Zum Unter- und Mitteldevon Ostthüringens.
– In: Ber. geol. Ges. DDR. – Berlin 2 (1957),
S. 199...202.

- ALBERTI, G.:
 Unterdevon-Trilobiten aus dem Frankenwald und rheinischen Schiefergebirge.
 – In: Geol. Jb. – Hannover 81 (1962), S. 135...156.
- BLUMENSTENGEL, H.:
 Über verkieselte Ostrakoden aus dem Tentakulitenknollenkalk der Bohrung Mötzelbach 3.
 – In: Freiburger Forsch.-H. – Leipzig C 125 (1962), S. 7...28.
- BLUMENSTENGEL, H., G. FREYER und K. ZAGORA:
 Über Verbreitung und stratigraphische Bedeutung der Tentakuliten im Devon der DDR.
 – In: Zeitschr. geol. Wiss. – Berlin 4 (1976), S. 1069...1089.
- COOK, H. E., und H. T. MULLINS:
 Basin Margin. – In: SCHOLLE, BEBOUT, MOORE (ed.): Carbonate Depositional Environments. – Ass. Amer. Petrol. Geol., Memoir. – Tulsa 33 (1983).
- FLÜGEL, E.:
 Microfacies Analysis of Limestones.
 – Berlin [West]; Heidelberg; New York, 1982.
- JAEGER, H.:
 Über die Silur-Devon-Grenze in Thüringen.
 – In: Geologie. – Berlin 4 (1955), S. 416...432.
- JENTSCH, J.:
 Conodonten aus dem Tentakulitenknollenkalk in Thüringen. – In: Geologie. – Berlin 11 (1962), S. 961...988.
- JORDAN, H. P.:
 Zur Taxonomie und Biostratigraphie der Ostracoden des höchsten Silur und Unterdevon.
 – Leipzig, 1964. – (Freiburger Forsch.-H.: C 170)
- KLISCH, W.:
 Petrographisch-fazielle Analyse einer transgressiven Sandsteinabfolge. – In: Wiss. Zeitschr. Univ. Greifswald, Math.-Nat. R. – XXX (1981), 3/4, S. 91...99.
- LANGBEIN, R., A. PRECKER und M. WEIDLICH:
 Zur Petrologie und Genese des Thüringer Ockerkalkes (Silur). – In: Hall. Jb. Geowiss. – Gotha 11 (1986), im Druck.
- LUCAS, G., P. CROS und J. LANG:
 Les roches sédimentaires: 2. Etude microscopique des roches meubles et consolidés.
 – Paris, 1976.
- PFEIFFER, H.:
 Exkursion Loquitztal-Sormitztal. – In: Das Devon im Südteil der DDR. – Exkursionsführer, Tagung Ges. Geol. Wiss. Saalfeld. – Berlin, 1978.
- SCHMIDT, Wo.:
 Die Grenzschichten Silur-Devon in Thüringen mit besonderer Berücksichtigung des Downton-Problems. – Abh. preuß. Geol. Landesanst. – Berlin 195 (1939).
- SCHOLLE, P. A., M. A. ARTHUR und A. A. EKDALE:
 Pelagic. – In: SCHOLLE, BEBOUT, MOORE (ed.): Carbonate Depositional Environments. – Ass. Amer. Petrol. Geol., Memoir. – Tulsa 33 (1983).
- SCOFFIN, T. P., E. T.-ALEXANDERSSON, G. E. BOWES, J. J. CLOCKIE, G. F. FARROW und I. D. MILLIMAN:
 Recent, temperate, sub-photic carbonate sedimentation, Rockall Bank, Northeast Atlantic. – In: J. Sed. Petrol. – Tulsa 50 (1980), S. 331...356.
- STEINBACH, W.:
 Devon. – In: HOPPE, SEIDEL (Hrsg.): Geologie von Thüringen. – Gotha/Leipzig, 1974, S. 208...256.
- TRÖGER, K. A.:
 Zur Gliederung des Zeitraumes Silur-Mitteldevon im Vogtland und in Ostthüringen nach Tentakuliten. – In: Geologie. – Berlin 8 (1959), S. 750...757.
- WALTHER, K.:
 Beiträge zur Geologie und Paläontologie des älteren Paläozoikums in Ostthüringen. – In: N. Jb. Min. Petr. Pal., Beil.-Bd. – Stuttgart 24 (1907), S. 221...324.
- WEISSERMEL, W.:
 Korallen aus dem Unterdevon des östlichen und westlichen Schiefergebirges in Thüringen. – In: Zeitschr. dt. geol. Ges. – Berlin 93 (1941), S. 169...212.
- WEYER, D.:
 Bathyale Rugosa (Anthozoa) aus pelagischem Oberem im Thüringischen Schiefergebirge. – In: Abh. Ber. Naturkd. Vorgesch. – Magdeburg XII (1981), 3, S. 23...73.
- WILSON, J. L.:
 Carbonate facies in geologic history. – Berlin [West]; Heidelberg; New York, 1975.
- ZAGORA, J.:
 Verkieselte Ostracoden aus dem Tentakulitenknollenkalk von Ostthüringen. – In: Geologie. – Berlin 16 (1967), S. 303...343.
- ZAGORA, K.:
 Tentakuliten aus dem thüringischen Devon. – In: Geologie. – Berlin 13 (1964), S. 1235...1273.
- ZAGORA, K., und J. ZAGORA:
 Zu Fauna und Alter des Tentakulitenknollenkalkes. – In: Zeitschr. geol. Wiss. – Berlin 6 (1978), S. 1005...1013.

Besprechungen

WITTKÉ, W.

Felsmechanik.

Grundlagen für wirtschaftliches Bauen
im Fels.

1051 Seiten, 798 Abbildungen.

Springer-Verlag: Berlin [West]; Heidelberg;
New York; Tokyo, 1984.

Felsmechanik als wissenschaftliche Grundlage des Felsbaus ist eine Ingenieurwissenschaft, deren Untersuchungsobjekt der Fels und deren Anwendungsgebiete u. a. die Ingenieur- und Hydrogeologie sind. Das vorliegende Buch baut auf folgende Definition für das Gefügemodell eines Felses auf: „Fels ist innerhalb eines bestimmten Homogenbereiches ein durch eine oder mehrere Scharen ebener, zueinander paralleler Trennflächen zerteilter homogener Festkörper, der ein richtungsloses, flächiges oder lineares Gefüge haben kann. Störungen treten in der Regel als Einzelelemente auf“.

Das Buch gliedert sich in 5 Teile: A – die Modellvorstellungen, B – die Berechnungsverfahren, C – die Anwendung der Berechnungsverfahren, D – felsmechanische Untersuchungen, E – Beispiele für den Entwurf und die Ausführung von Felsbauwerken. Als Grundlage für die Berechnung von Standsicherheitsuntersuchungen für die Ausführung von Bauwerken in Fels wird ein mechanisches Modell des Felses vorgestellt, das von der Annahme einer elastisch-viskoplastischen Spannungsdehnungsbeziehung ausgeht und dabei erlaubt, der durch Korn- und Trennflächengefüge bedingten Anisotropie der Verformbarkeit und Festigkeit Rechnung zu tragen. Formuliert werden die Modelle für das Spannungsdehnungsverhalten im zerklüfteten Gestein, von Trennflächen und von klüftigem Fels. Als Sonderfälle werden die quellbedingten Verformungen bei der Umwandlung von Anhydrit in Gips und beim Quellen von Corrensit dargestellt. Schließlich werden Modellvorstellungen für die Sickerströmungen im Fels dargelegt. Dabei steht die Behandlung der Wasserdurchlässigkeit der Trennflächen im Vordergrund.

Es liegt in der Diktion des Buches, daß auf die übersichtlich gegliederte und logisch abgeleitete Modellierung eine Darstellung der Berechnungsverfahren folgt. Im Mittelpunkt der Berechnungen steht die Methode der Finiten Elemente. Die entsprechenden Rechenprogramme werden erläutert.

Für den Praktiker verdienen die Teile C und D des Buches das größte Interesse. Die Anwendung der Berechnungsverfahren erfolgt exemplarisch für die

Bauaufgaben des Felsbaus: Tunnel und Stollen, Kavernen, Druckstollen, Gründungen von Staumauern und Böschungen. Die praktischen Erfahrungen des Autors und seiner Mitarbeiter erlauben ihnen stets, vom untersuchten Objekt ausgehend, die notwendigen Verallgemeinerungen abzuleiten.

Die Bestimmung der Parameter, die das mechanische Verhalten und die Wasserdurchlässigkeit des Felses beschreiben, erfolgt in Teil D. Die felsmechanischen Untersuchungen umfassen die Methoden der geologischen Erkundung, Laborversuche an Gesteinsproben, Scherversuche an Trennflächen, Versuche zur Ermittlung der Verformbarkeit von Fels, der Primärspannungen und der Wasserdurchlässigkeit. Als Anwendungsbeispiele dienen das Pumpspeicherwerk Mingtan (*Taiwan*) und der Überleitungstollen Altmühl (BRD).

Der abschließende Teil E gibt an Hand zweier weiterer Beispiele – U-Bahn Baugrube in Stuttgart, Maschinenkarverne des Hotzenwaldwerkes (BRD) – einen Überblick zu Entwurf und Ausführung von Felsbauwerken, wie sie vom Institut für Grundbau, Bodenmechanik, Felsmechanik und Verkehrswasserbau der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen durchgeführt werden.

Zwei Anhänge, die dem weniger Geübten die Grundlagen der im Buche angewendeten Vektor- und Matrizenrechnung sowie der Wahrscheinlichkeitsrechnung und Statistik (17 Seiten) vermitteln, das Literaturverzeichnis (20 Seiten) und ein Sachverzeichnis beschließen das Werk, das auf dem Gebiete der Felsmechanik im deutschen Sprachraum ebenso Maßstäbe setzt, wie die Werke von LEOPOLD MÜLLER, eines der Begründer der Felsmechanik.

M. SCHWAB