

Seismite im Unteren Muschelkalk westlich von Halle (Saale)

Seismites in the Lower Muschelkalk west of Halle (Saale)

Mit 5 Abbildungen

THOMAS RÜFFER

Zusammenfassung: In der Nietleben-Bennstedter Muschelkalkmulde westlich von Halle sind Teile des Unteren Muschelkalkes (Anis, Trias) aufgeschlossen. Besonders häufig aufgeschlossen und gut zugänglich ist der Bereich um die sogenannte „Oolithbank-Zone“. Vor allem aus den Wellenkalken innerhalb der „Oolithbank-Zone“ und dem basalen Mittleren Wellenkalk werden in dieser Arbeit Sedimente und synsedimentäre Deformationsstrukturen beschrieben und interpretiert, die auf kurzzeitige, seismisch induzierte Schockwellen zurückgeführt werden können. Mikrofazielle Ausbildung, das Nebeneinander verschiedener Deformationsstrukturen und Sedimente sowie die große räumliche Verbreitung dieser Horizonte werden für die Interpretation als Seismite herangezogen.

Zu den Deformationsstrukturen, die auf subaquatische Gleitungen von halbverfestigten Sedimenten zurückgeführt werden, gehören sigmoidal gefaltete und unregelmäßig deformierte Horizonte, sowie Schlammstrom-Konglomerate. Darüber hinaus werden mit „Kalkstotzen“ und unregelmäßig Schill-Lagen sedimentäre Gefüge beschrieben, die unter Beteiligung seismischer Ereignisse entstanden sind.

Sigmoidal verfaltete Horizonte eignen sich zur paläogeographischen Rekonstruktion, da die Richtung des Beckenhangs auch bei der extrem flach geneigten Beckenmorphologie im Muschelkalk des Norddeutschen Beckens bestimmt werden kann. Da seismische Ereignisse zeitlich begrenzt und überregional wirksam waren, bieten seismisch induzierte Horizonte die Möglichkeit einer großräumigen stratigraphischen Korrelation.

Summary: Lower Muschelkalk (Anisian, Middle Triassic) crops out in the Nietleben-Bennstedt Syncline west of Halle (Germany) underlain by sedimentary rocks of Permian and Early Triassic age. Excellent outcrops are especially to be found within the so called „Oolithbank-Zone“. Different synsedimentary deformation structures and sediments were described and interpreted as the result of short term shock waves induced by seismic events. Examples exist mainly in the „Wellenkalk“ within the „Oolithbank-Zone“ and in the overlying basal „Mittleren Wellenkalk“.

Subaqueous slumping and mass flow of semiconsolidated sediments resulted in sigmoidal slab joints, irregular slump structures, and debris flow conglomerates. Seismic events are also involved in the formation of pillow-like structures and lumachelles with random orientation of shell debris. Microfacies, the large lateral extension of the seismic beds, and juxtaposition of different deformation structures and sediments support their origin as seismites.

The direction of inclination of the flat slopes of the Germanic Muschelkalk Basin can be determined using the sigmoidal slab joints. They show the direction of transport within the semiconsolidated sediments and, therefore, they are suitable for palaeogeographic reconstructions. Seismic events are short time and regional active controls. Therefore they can serve for basin wide stratigraphic correlations.

1 Einführung

In der Nietleben-Bennstedter Muschelkalkmulde westlich von Halle ist der Untere Muschelkalk in einigen Steinbrüchen aufgeschlossen (Abb. 1). Abgesehen von den detaillierten Profilaufnahmen in TRAUTWEIN (1957) existieren bis heute keine sedimentologischen Untersuchungen über die Aufschlüsse.

Der Untere Muschelkalk zeigt auch im Bereich Halle die für weite Bereiche des Norddeutschen Beckens typische und von SEIFERT (1928) erstmalig dargestellte Gliederung in drei Wellenkalk-Member (im folgenden Unterer, Mittlerer und Oberer Wellenkalk), die im mitteldeutschen Raum durch Bereiche mit Werksteinbänken („Oolithbank-Zone“, „Terebratelbank-Zone“, „Schaumkalkbank-Zone“) getrennt bzw. abgeschlossen werden. Diese insgesamt sechs Schichtglieder haben den lithostratigraphischen Rang von Membern.

Die Sedimentation erfolgte in dem flachmarinen epikontinentalen Ablagerungsraum eines Karbonat-rampensystems. Der gesamte Untere Muschelkalk umfaßt zusammen mit dem oberen Teil des unterlagernden Pelit-Röts und den Myophorienschichten eine Ablagerungssequenz. Der hier behandelte Untere und Mittlere Wellenkalk mit der „Oolithbank-Zone“ gehört zum Transgressiven Systemtrakt der ersten Muschelkalk-

Sequenz (AIGNER & BACHMANN 1992) und umfaßt zeitlich das späte Unter-Anis (Bithyn) und das frühe Pelson (A. GÖTZ, mdl. Mitt.).

Zielsetzung

Aufgrund der günstigen Aufschlußsituation und der guten Erreichbarkeit sollen mit dieser Arbeit exemplarisch synsedimentäre Deformationsstrukturen im Bereich um die „Oolithbank-Zone“ aufgezeigt werden. Es wird in der Arbeit nur auf Erscheinungen eingegangen, die auf seismische Ereignisse zurückgeführt werden können. Auf die weiteren wichtigen steuernden Faktoren der mitteltriassischen Sedimentation im Germanischen Becken (globale und überregionale Meeresspiegelschwankungen, subtropische Stürme) wird nicht eingegangen.

Synsedimentäre Deformationsstrukturen sind seit langem aus dem Muschelkalk Mitteleuropa bekannt (z.B. LOTZE 1932), werden aber von wenigen Ausnahmen abgesehen und beschränkt auf wenige Strukturen (HERBIG 1931; SCHWARZ 1975) erst seit relativ kurzer Zeit als „Seismite“ interpretiert (SEILACHER 1984; SZULC 1990; 1991 und 1993; SCHROEDER 1995; KNAUST 1996a). Auch für quergeplattete Lagen des Unteren Muschelkalkes der Nietleben-Bennstedter Muschelkalkmulde wurde früh seismischer Ursprung diskutiert, schließlich aber abgelehnt. Die Richtungskonstanz der Sigmoidalklüftung spricht, so die Ansicht von TRAUTWEIN (1957), gegen seismisch induzierte subaquatische Rutschungen, da „der Boden des Meeres sicher nicht überall in allen Horizonten in der gleichen Richtung geneigt war“.

Aufschlußsituation

Die aufgenommenen Profilateile stammen alle aus ehemaligen Steinbrüchen, in denen bis Anfang des letzten Jahrhunderts Brennkalk gewonnen wurde (TRAUTWEIN 1957) und die bis in die 50er dieses Jahrhunderts als Werksteinbrüche in Betrieb waren. Seit dieser Zeit haben sich die Aufschlußverhältnisse deutlich verschlechtert. Die heute noch zugänglichen Steinbrüche umfassen stets nur Teile des Unteren Muschelkalkes. Das einzige umfassende Muschelkalk-Profil dieser Region im Steinbruch des ehemaligen Zementwerkes Nietleben, das abgesehen von basalen Teilen des Unteren Wellenkalkes den gesamten Unteren Muschelkalk erschlossen hat, existiert nicht mehr. Nicht mehr aufgeschlossen ist auch der von TRAUTWEIN (1957) noch aufgenommene Kontakt zum Buntsandstein. Nur sehr lückenhaft liegt die obere Hälfte des Unteren Muschelkalkes ab dem Mittleren Wellenkalk vor.

Da als Werkstein zumeist die beiden Oolithbänke abgebaut wurden, umfassen die meisten Steinbrüche den oberen Teil des Unteren Wellenkalkes (mu1), die „Oolithbank-Zone“ und den unteren Teil des Mittleren Wellenkalkes (mu2). Aus diesen Bereichen sind noch einige Steinbrüche erhalten und zugänglich. Aber auch hier ist durch die lange Zeit der Auflässigkeit insbesondere die laterale Verfolgbarkeit von Schichten nicht mehr so günstig, wie es die Fotos der frischen oder seit wenigen Jahren aufgelassenen Wände in der Diplomarbeit von TRAUTWEIN (1957) zeigen. Dennoch lassen sich die kleinräumigen sedimentären Strukturen in Teilbereichen sehr gut beobachten.

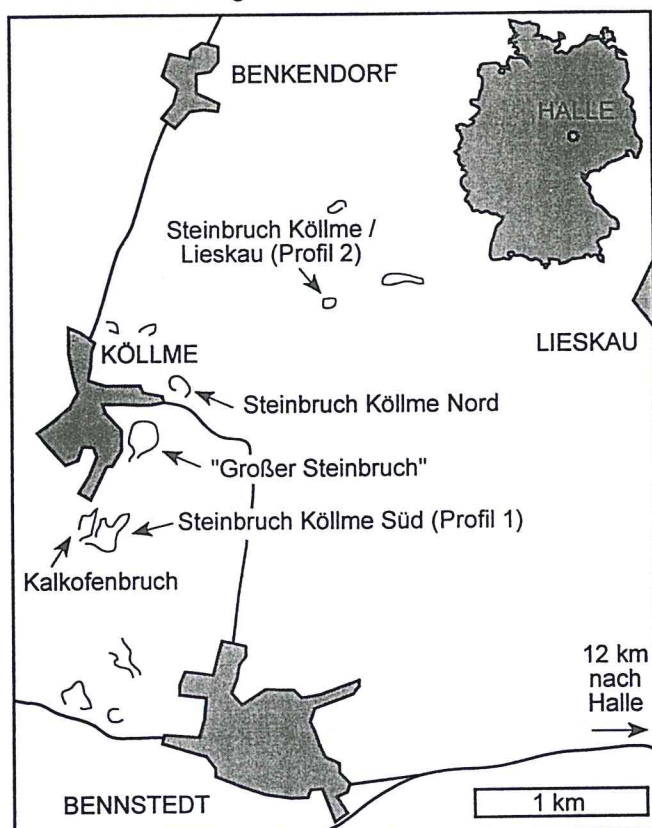


Abb. 1:
Lage der Aufschlüsse.
Bei allen Aufschlüssen handelt es sich um aufgelassene Steinbrüche.
Kurzprofile der Steinbrüche Köllme Süd und Köllme/Lieskau sind in Abb. 2 dargestellt.

Regionale Erforschung

Wegen der guten Zugänglichkeit und der Nähe zu Halle entstanden vor allem in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts zahlreiche Arbeiten, die sich mit dem Muschelkalk der Nietleben-Bennstedter Mulde (früher auch Nietleben-Lieskauer Mulde) beschäftigt haben. Dazu gehören die Erläuterungen zur „Geognostischen Karte der Umgebung von Halle“ (ANDRAE 1850) und eine paläontologische Arbeit mit Fossilien, die wohl alle aus der Terebratel-Zone stammen (GIEBEL 1856). Ein erstes detaillierteres Profil stammt von FRITSCH (1894). Nach weiteren allgemeinen Beschreibungen der geologischen Verhältnisse in der ersten Hälfte des 20. Jh. erfolgte 1957 im Rahmen einer Diplomarbeit (TRAUTWEIN 1957) die erste und bis heute einzige feinstratigraphische Bearbeitung des Muschelkalkes in der Nietleben-Bennstedter Mulde.

2 Profile im Bereich der Oolithbank-Zone

Die Profile Köllme Süd und Köllme/Lieskau zeigen exemplarisch den Bereich um die „Oolithbank-Zone“ (Abb. 2). Das Profil Köllme Süd stammt aus der nordöstlichen Wand des großen Steinbruches westlich des ehemaligen „Kalkofenbruches“ (Abb. 1). Innerhalb der Nietleben-Bennstedter Mulde ermöglichen nur diese beiden Steinbrüche gemeinsam mit dem „Großen Steinbruch“ von Köllme den Anschluß vom Unteren Wellenkalk zur Oolithbank-Zone. Das dargestellte Kurzprofil beginnt am Top des Unteren Wellenkalkes, umfaßt die Untere Oolithbank (Oolithbank α) sowie das sogenannte „Wellenkalk-Zwischenmittel“ und endet in der Oberen Oolithbank (Oolithbank β ; Profil 1; Abb. 2).

Der Abschnitt von der Oberen Oolithbank in den Mittleren Wellenkalk ist in einigen Steinbrüchen im Raum Köllme und Lieskau aufgeschlossen. Als Kurzprofil dargestellt ist der basale Anteil des Mittleren Wellenkalkes in einem Steinbruch am alten Weg von Köllme nach Lieskau (Profil 2; Abb. 2).

2.1 Oolithbänke

Die Oolithbänke sind überwiegend als Oolith-Packstones ausgebildet. Daneben sind Muschelschill-Lagen verbreitet. Es handelt sich meist um reine Karbonate mit unterschiedlich hohem Dolomit-Anteil. Partielle Lösung dolomitierter Komponenten (Schalen, Ooide) führen zu sekundärer Porosität. Horizontalschichtung überwiegt, aber auch Schrägschichtungsgefüge im Dezimeter-Maßstab sind verbreitet. Erosive Schichtkontakte sind nur selten und schwach ausgebildet. Firm- und Hardgrounds sind verbreitet und insbesondere durch Bohrspuren markiert. Die Basis der Oberen Oolithbank ist durch Belastungsmarken (Abb. 2, Profil Köllme Süd), die Oberfläche durch Großrippeln gekennzeichnet (Wellenlänge um 0,5 m - 1 m, Amplituden um 5 cm - 10 cm; TRAUTWEIN 1957).

Die Oolithbänke werden häufig von wenige cm-mächtigen mergelig-kalkigen Flaserkalken gegliedert, die in Zusammensetzung und Gefüge den typischen Wellenkalken entsprechen (Mudstones). Einige wenige cm-starke Tonlagen treten vor allem an der Basis und innerhalb des obersten Teiles der Oberen Oolithbank auf.

Gefüge oder Sedimente, die als synsedimentäre Deformationen oder als Seismite interpretiert werden könnten, finden sich in den profilierten Oolithbänken nicht.

2.2 Wellenkalk

Das „Wellenkalk-Zwischenmittel“ zwischen den Oolithbänken und der basale Anteil des Mittleren Wellenkalkes sind in der für weite Teile des germanischen Unteren Muschelkalkes typischen Ausbildung aufgeschlossen: flaserige, wellige, seltener auch feinplattige Kalke mit geringem Tongehalt. Mikrofaziell handelt es dabei generell um Mudstones. Bioturbation ist verbreitet, jedoch auf einige Horizonte beschränkt. Im unteren Teil des „Wellenkalk-Zwischenmittels“ überwiegt plattiger Kalk, nach oben tritt weitgehend feinflaseriger Kalk auf.

Innerhalb dieser typischen Wellenkalken kommen zahlreiche synsedimentäre Deformationsstrukturen vor, die als Seismite gedeutet werden können (siehe Abschnitt 3). Darüber hinaus zeugen Rippeln und geringmächtige Tempestite (Schill-Lagen mit Schalen-Einregelung, konvexe Seite nach oben) von Wind- und Wellenaktivität. Flache Rinnenfüllungen mit Schillkalken zeugen darüber hinaus von erosiven Prozessen. Konglomerat-Lagen (Intraklastite) treten in zahlreichen Horizonten im Unteren und Mittleren Wellenkalk auf, die in der Nietleben-Bennstedter Mulde korrelierbar sind. In den dargestellten Kurzprofilen wurden sie jedoch nicht angetroffen (die unterste Konglomerat-Bank im Mittleren Wellenkalk tritt im Steinbruch Köllme Süd 3 m oberhalb der Hangendgrenze der „Oolithbank-Zone“ auf; siehe auch Abschnitt 3).

2.3 Interpretation des Ablagerungsmilieus im Bereich der dargestellten Profile

Gefüge und Zusammensetzung der Oolithbank-Zone weisen auf einen flachmarinen, hochenergetischen Ablagerungsraum oberhalb der normalen Wellenbasis hin. Die teilweise intensiv bioturbaten Wellenkalke werden allgemein tieferen, küstenferneren Positionen zugeordnet. SCHWARZ (1975) bezeichnete z.B. den Ablagerungsraum der Wellenkalke als flachen Schelf („shallow shelf environment“). Ob der Bildungsbereich signifikant tiefer war, als der Bildungsbereich der Oolithe, läßt sich - zumindest aus den profilierten Abschnitten - nicht klären. Der entscheidende Unterschied zwischen beiden Einheiten besteht im energetischen Milieu: hochenergetische Oolith-Packstones (Oolithbänke) und niedrigerenergetische Mudstones (Wellenkalke).

Die Zuordnung der Oolithkalke zu einer - lateral zwangsläufig beschränkten - Brandungszone macht nur dann Sinn, wenn nicht von einer gleichzeitigen Bildung im gesamten Becken ausgegangen wird.

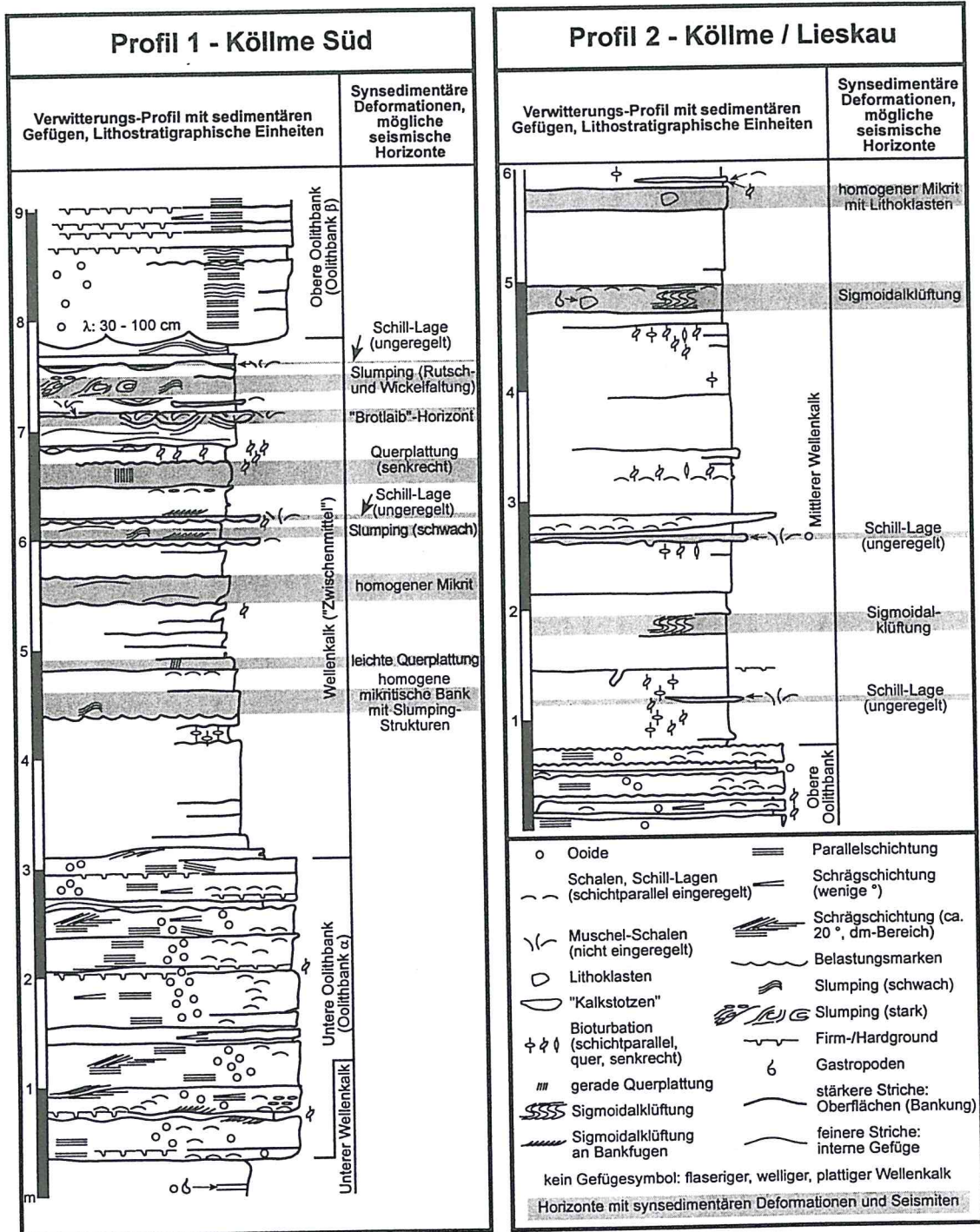


Abb. 2: Profile im Bereich der Oolithbank-Zone.

3 Synsedimentäre Deformationsstrukturen und Seismite

Der Untere Muschelkalk in der Nietleben-Bennstedter Mulde ist wie der von Thüringen (KNAUST 1996a), Brandenburg (SCHROEDER 1995) und Schlesien (SZULC 1993) durch zahlreiche synsedimentäre Deformationsstrukturen und den damit verbundenen aufgearbeiteten Sedimenten gekennzeichnet. Die hier beschriebenen Strukturen und Sedimente stammen überwiegend aus Wellenkalken nahe der beiden Oolithbänke, also aus dem oberen Teil des Unteren Wellenkalkes, aus dem Wellenkalk-Zwischenmittel innerhalb der Oolithbank-Zone und dem basalen Teil des Mittleren Wellenkalkes.

3.1 Querplattung und homogene mikritische Lagen

3.1.1 Querplattung (Sigmoidalklüftung, sigmoidal slab joints)

Unter dem Begriff „Querplattung“ werden Lagen bezeichnet, die senkrechte oder S-förmig verbogene Klüftung zeigen. Bei diesen Lagen handelt es sich durchweg mikritische Kalkbänke mit geringem Tongehalt, die zwischen 5 cm und 25 cm mächtig sind. S-förmig gefaltete Bänke (Abb. 2, Profil 2, Profilmeter 1.8 und 4.8) kommen seltener als senkrecht geklüftete Bänke vor (z.B. Abb. 2, Profil 1, Profilmeter 6.6).

Querplattung tritt nur innerhalb des Wellenkalkes auf, nie innerhalb der Werksteinbänke. Besonders häufig sind quergeplattete Lagen in der oberen Hälfte des Unteren Wellenkalkes. Die Lithologie besteht aus komponentenfreien Mudstones. Quergeplattete Horizonte enthalten aber mitunter einzelne Klasten resedimentierter Schill-Lagen (Abb. 4a) oder können im Hangenden durch eine Schill-Lage abgeschlossen sein (Abb. 4b). Querplattung kann in den Steinbrüchen über mehrere 10 m in konstanter Mächtigkeit aushalten, soll aber auch in kleinen, lateral eng begrenzten Linsen auftreten (TRAUTWEIN 1957). Kleine sigmoidale Umbiegungen finden sich auch in wenigen cm-mächtigen Wellenkalk-Lagen oberhalb von Schillkalken.

3.1.2 Homogene mikritische Lagen

Innerhalb des flaserigen und feingebankten Wellenkalkes treten gelegentlich 10 cm - 20 cm mächtige homogene mikritische Kalk-Lagen auf, die ebenso wie die quergeplatteten Lagen einen geringen Tongehalt besitzen. Sie weisen die gleiche Zusammensetzung auf wie die sigmoidal gefalteten Lagen und wie der umgebende Wellenkalk, bilden aber durch ihre auffallende Homogenität recht markante Bänke. In seltenen Fällen können diese Bänke einzelne, cm-große Klasten enthalten, die aus rein karbonatischen, fossilführenden Mud- bis Packstones bestehen (Abb. 2, Profil 2, Profilmeter 5.7; Abb. 4c).

3.1.3 Interpretation

Lithologie

Querplattung entsteht durch gerichtete Deformation semilithifizierter Karbonatschlamm-Lagen. Querplattung ist im Untersuchungsraum das häufigste Phänomen, das subaquatische Rutschungen belegt. Heute wird allgemein übereinstimmend angenommen, daß sie durch kurzzeitige tektonische Ereignisse ausgelöst werden können. Bereits SCHWARZ (1975) hielt Schockwellen, die durch Erdbeben verursacht werden, für die wahrscheinlichste Interpretation. Die dafür notwendigen Hangneigungen sind sehr gering. Bei dem ruckartigen Gleiten der Lagen bleibt der interne Zusammenhalt der Lagen erhalten. Wird der Zusammenhang gelöst, kommt es dagegen zu einer Suspension. Das Resultat sind homogene mikritische Lagen, die man als Bänke bei Korrelationsversuchen von seismisch induzierten Lagen berücksichtigen sollte. Ihr relativ seltenes und horizontgebundenes Auftreten innerhalb ansonsten flaseriger (also primär gut geschichteter) und bioturbater Horizonte spricht eindeutig für eine rasche, einphasige Sedimentation der homogenen mikritischen Horizonte.

Schill-Lagen im Hangenden von sigmoidal gefalteten Lagen werden von SZULC (1993) als „backflow turbiditic tsunamites“ interpretiert.

Paläogeographie

Für die Interpretation der Querplattung ist neben den faziellen Rahmenbedingungen auch deren Einfallen und Streichen wichtig. Wenn es sich um seismisch induzierte subaquatische Rutschungen handelt, sollte die Einfallrichtung Hinweise auf die Paläomorphologie geben. Die Bewegungsrichtung sollte stets zum Becken-tiefen hin gerichtet sein.

Im Raum Halle sind Streichen und Einfallen der Querplattung räumlich und zeitlich auffallend konstant. TRAUTWEIN (1957) hat umfangreiche Messungen an Sigmoidalklüften im Unteren und Mittleren Wellenkalk vorgenommen. Abgesehen von wenigen Ausnahmen streichen die „Sigmoidalklüfte“ um ein Maximum von 20° und fallen alle nach Westen ein (Abb. 3). Lediglich im untersten Teil des Mittleren Wellenkalkes fallen die „Sigmoidalklüfte“ nach Norden und Süden ein; die Streichrichtungen betragen hier zwischen 90° und 130°. Dabei ist zu berücksichtigen, daß der von TRAUTWEIN jeweils gemessene Mittelteil der sigmoidalen Umbiegung entgegengesetzt zur Transportrichtung einfällt, da der obere Teil der quergeplatteten Lagen weiter transportiert wurde als der untere Teil (vgl. Abb. 4a).

Die paläobathymetrischen Konsequenzen aus den Daten von TRAUTWEIN (1957) sind demnach:

- erstens lag der Untersuchungsbereich noch zur Zeit des Unteren und Mittleren Wellenkalks überwiegend an einem nach ESE fallenden Beckenhang und
- zweitens lag das Beckentiefste während einer kurzen Zeit im basalen Mittleren Wellenkalk von Halle aus gesehen entweder im Norden oder im Süden.

Die erste der beiden Schlußfolgerungen deckt sich mit der faziellen Interpretation des Unteren Muschelkalkes in Mitteldeutschland, wie sie BEUTLER (1993) vorgenommen hat: Die Beckenachse des dort als „Thüringisch-Westbrandenburgische Senke“ bezeichneten Randbeckens des Norddeutschen Beckens streicht NNE-SSW (also genau parallel zum Streichen der Querplattung bzw. senkrecht zur Einfallrichtung des durch die Sigmoidalklüftung ermittelten Beckenhangs).

Während das Streichen der Querplattung also die fazielle Interpretation des Unteren Muschelkalkes in Mitteldeutschland von BEUTLER (1993) bestätigt, läßt sich über die Transportrichtung der quergeplatteten Lagen auch die Position der Beckenachse bestimmen, was mit der Faziesinterpretation allein nicht möglich ist. Danach liegt im Thüringisch-Westbrandenburgischen Randbecken das Beckentiefste östlich von Halle und - nach der durch die gleiche Methodik ermittelten Analyse von DUALEH (1995) - westlich von Rüdersdorf bei Berlin.

Diese Beckenmorphologie existierte offenbar nur zur Zeit der Sedimentation der Wellenkalken, nicht aber während der Ablagerung der oolithischen Kalke. Die Bewegungsrichtung der quergeplatteten Lagen im untersten Mittleren Wellenkalk war NNE - SSW (oder umgekehrt). Wieder davon ausgehend, daß die Streichrichtungen von Querplattung und morphologisch wirksamer Beckenachse parallel sein müssen, erhält man ein NNW - SSE-Streichen der Beckenachse. Dies aber entspricht dem großräumigen Streichen des Norddeutschen Beckens. Zur Zeit der Sedimentation der Oolithbänke kann die „Thüringisch-Westbrandenburgische Senke“ also im Untersuchungsraum nicht als morphologisch sichtbare Depression ausgebildet gewesen sein. Dies schließt natürlich nicht aus, daß die Subsidenzraten in diesem Bereich weiterhin höher waren als in den westlich und östlich benachbarten Räumen.

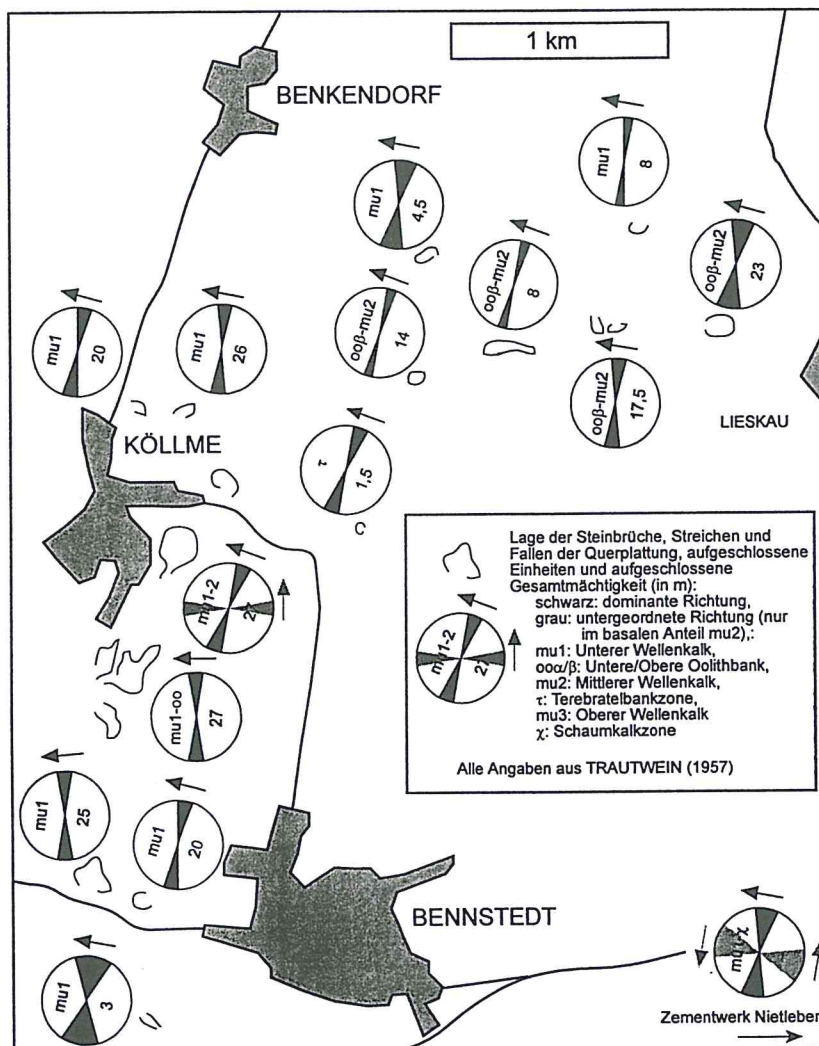


Abb. 3: Streichen und Fallen der „Querplattung“ im Unteren Muschelkalk der Steinbrüche im Bereich Köllme, Bennstedt und Lieskau. Umgezeichnet aus TRAUTWEIN (1957). Kartenausschnitt wie Abb. 1.

Für den Raum Halle gilt also: Das als „Thüringisch-Westbrandenburgische Senke“ bezeichnete Randbecken des Norddeutschen Beckens hat als Becken (im morphologischen Sinne) nur während der Sedimentation der Wellenkalken bestanden. Während der und durch die Sedimentation der oolithischen Kalken wurde die Morphologie im Bereich der Randsenke ausgeglichen. Statt dessen waren für die Sedimentation im Raum Halle die großräumigen überregionalen Trends des Norddeutschen Beckens wirksam.

3.2 „Brotlaib-Horizonte“ und Schillkalk-Lagen

3.2.1 „Brotlaib-Horizonte“

Innerhalb der Wellenkalken kommen einige dezimeter-große ovale Linsen aus bioklastischem Wackestone, seltener auch Packstone vor. Sie werden beschreibend als „Brotlaibe“, „Kalkstotzen“ oder „ball-and-pillow structures“ bezeichnet (z.B. WAGNER 1897; FREYBERG 1922; TRAUTWEIN 1957; SCHWARZ 1975). Sie treten horizontgebunden isoliert oder als Reihe zusammenhängender Körper auf (Abb. 4d). Bei den Bioklasten handelt es sich überwiegend um Muschelschalen; seltener treten Gastropoden auf. Die Schalen sind lokal parallel zueinander eingeregelt. Eine bevorzugte Einregelung bezogen auf die Schichtung gibt es nicht. Die „Kalkstotzen“ besitzen eine gebogene Basis und eine überwiegend ebene, flache Oberkante.

Im Kurzprofil Köllme Süd treten im Liegenden der Oberen Oolithbank in einer Ausstrichbreite von ca. 2 m sechs solcher horizontgebundener Schillkalk-„Kalkstotzen“ auf (Abb. 2, Profil 1, Profilmeter 7.2). Ein ähnlicher Horizont kommt auch im Mittleren Wellenkalk vor (Abb. 4d).

3.2.2 Schillkalk-Lagen

Neben den oben erwähnten Kalkstotzen befindet sich homogener, schwach toniger mikritischer Kalk (Mudstone). Dieser wird überlagert von einer wenige cm-mächtigen Schill-Lage, deren Oberkante sich exakt mit der Oberkante der „Kalkstotzen“ korrelieren läßt. Auch in dieser geringmächtigen Schill-Lage sind die Schalen nicht eingeregelt. Wenige cm oberhalb der „Kalkstotzen“ bzw. der wenige cm-mächtigen Schill-Lage tritt eine weitere Schill-Lage auf. In dieser sind jedoch die Schalen mit der konvexen Seite nach oben eingeregelt.

Weitere Schill-Lagen mit unregelmäßig eingeregelt Schalen kommen im „Wellenkalk-Zwischenmittel“ zwischen den beiden Oolithbänken bei Profilmeter 6.2 und unmittelbar unterhalb der Oberen Oolithbank bei Profilmeter 7.6 (Profil 1), sowie im basalen Teil des Mittleren Wellenkalkes vor (Profil 2, Profilmeter 1.2 und 2.7).

3.2.3 Interpretation

Unter den Begriffen „Brotlaibe“ oder „Kalkstotzen“ werden „dezimeter-große knollige bis linsenförmige Karbonatkörper verstanden“ ... „bei denen es sich um genetisch völlig verschiedene Bildungen handeln kann“ (KNAUST 1996b). Eine Analyse der unterschiedlichen Strukturen und Genesen hat KNAUST (1996b) vorgenommen.

Ein unregelmäßiges Interngefüge kann nur entstehen, wenn zur Zeit der Sedimentation eine interne Kohäsion der Partikel vorhanden ist. Allmähliche Sedimentation oder Aufarbeitung durch Wind und Wellen kann ein solches Gefüge nicht hervorrufen. Auch sind die laibförmigen Kalkstotzen nicht als solche Körper transportiert worden. Es handelt sich statt dessen um flächendeckende Massentransporte, die relieffüllend und über das vorhandene Relief hinausgehend flächenhaft abgelagert wurden. KNAUST (1996b) interpretiert Karbonatkörper mit derart unregelmäßigem Interngefüge als Strukturen, die an der Basis von Erosionsrinnen oder in Schlammstrom-Ablagerungen (debris flow deposits) vorkommen. Die ovale Ausgestaltung insbesondere der Basis ist eine Belastungserscheinung.

Andererseits zeigt die in dem Beispiel angeführte lateral eng begrenzte Verbreitung der „Kalkstotzen“, daß jedenfalls in diesem Fall ein vorher im Wellenkalk existierendes Relief gefüllt worden sein muß. Ob diese Erosionsstruktur erst im Zusammenhang mit der Ablagerung des Schill-Kalkes entstanden ist oder ob sie bereits vorher als Fließrinnen oder Kolköpfe bestanden haben (KNAUST 1996a), ist anhand der vorhandenen Gefüge nicht zu entscheiden. Die Tatsache, daß im Wellenkalk des untersuchten Raumes keine vergleichbaren Rinnen existieren, könnte ein Hinweis auf einen zeitlichen und kausalen Zusammenhang zwischen Erosion des Wellenkalkes und Ablagerung der Schill-Kalken sein. Aus anderen Gebieten mit besser und vor allem frisch aufgeschlossenem Muschelkalk sind vergleichbare Rinnen jedoch bekannt geworden (z.B. SCHROEDER 1995; KNAUST 1996b).

Bei den wenige cm-mächtigen Schill-Lagen mit Schalen, die mit der konvexen Seite nach oben eingeregelt sind, handelt es sich dagegen um Tempestite.

3.3 Rutsch- und Wickelfaltung und Konglomerat-Lagen

3.3.1 Rutsch- und Wickelfaltung

Horizonte von chaotisch verfalteten Kalken sind bereits aus dem Muschelkalk Polens (SZULC 1993) und Thüringens (KNAUST 1996a, b) beschrieben worden. Im Wellenkalk-„Zwischenmittel“ zwischen den beiden Oolithbänken tritt eine ca. 30 cm mächtige Abfolge aus intensiv verfalteten komponentenfreien Mudstones mit geringem Tongehalt auf, die lithologisch also erneut identisch mit dem Wellenkalk ist (Profil 1, Profilmeter 7.1). Der mikritische Kalk ist unregelmäßig deformiert, er zeigt plastische Deformation mit interner Rotation und stellenweise brecciöse Horizonte, die in die chaotisch deformierte Abfolge geschleppt sein können (Abb. 4e, 4f, 5a). Im Steinbruch Köllme Nord tritt ebenfalls wenige Dezimeter unterhalb der Oberen Oolithbank ein stark deformierter Horizont mit Slumping-Strukturen auf (Abb. 5b, 5c).

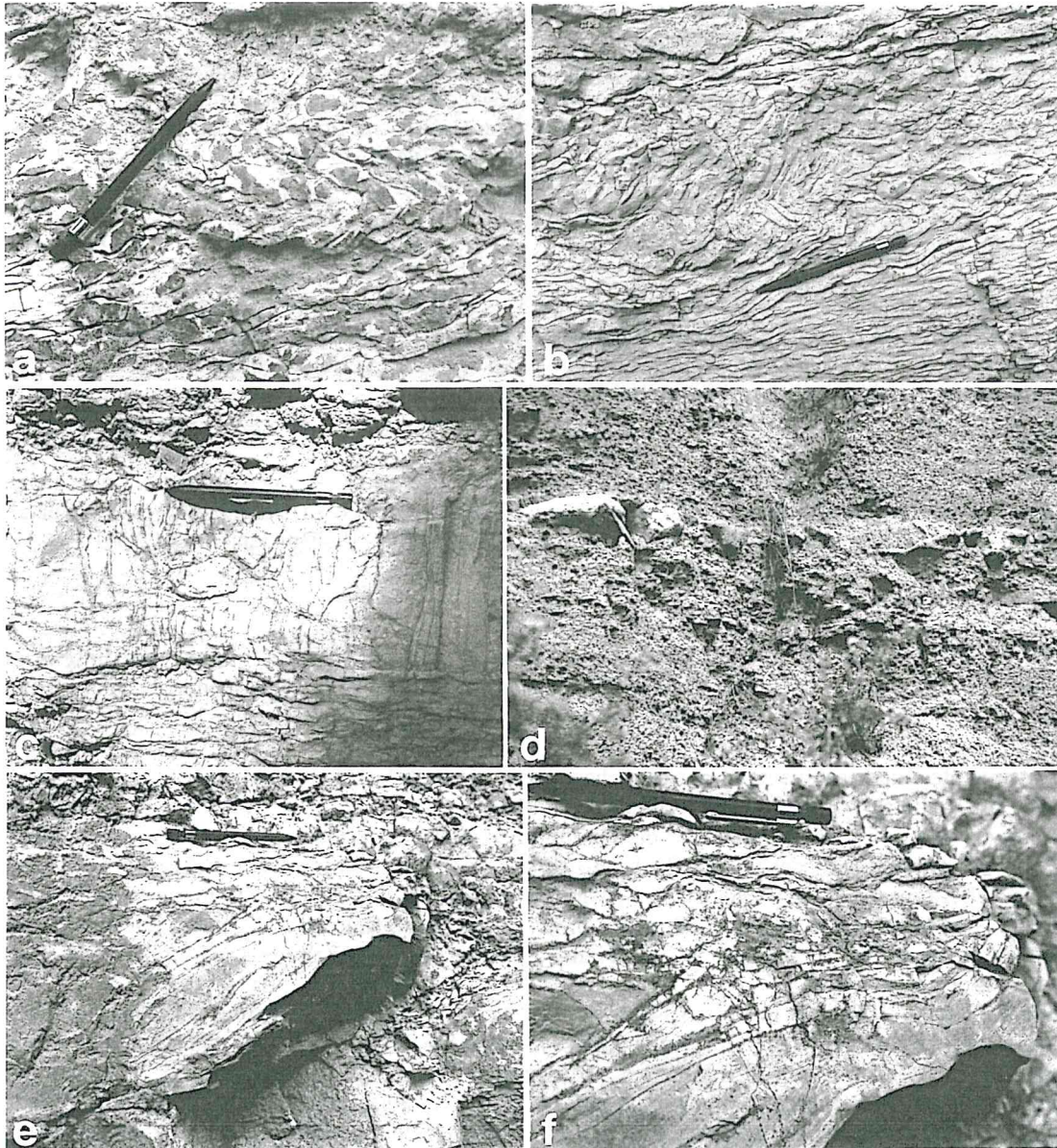


Abb. 4:

- a: „Sigmoidalfaltung“; Bewegungsrichtung nach links (Profil 2 Köllme/Lieskau, Profilmeter 1.9).
- b: „Sigmoidalfaltung“ mit Intraklast mit Gastropode; Bewegungsrichtung nach links (Profil 2 Köllme/Lieskau, Profilmeter 4.8).
- c: Homogene mikritische Lage mit Intraklast (Profil 2 Köllme/Lieskau, Profilmeter 5.8).
- d: Rinne mit „Kalkstotzen“, Breite ca. 2 m, mittlerer Teil des Mittleren Wellenkalkes (NW-Wand des Steinbruches Köllme Süd).
- e, f: Slump-Horizont, intern deformierte, verstellte Lagen und teilweise brecciöse Lagen (Profil 1 Köllme Süd, Profilmeter 7.4).

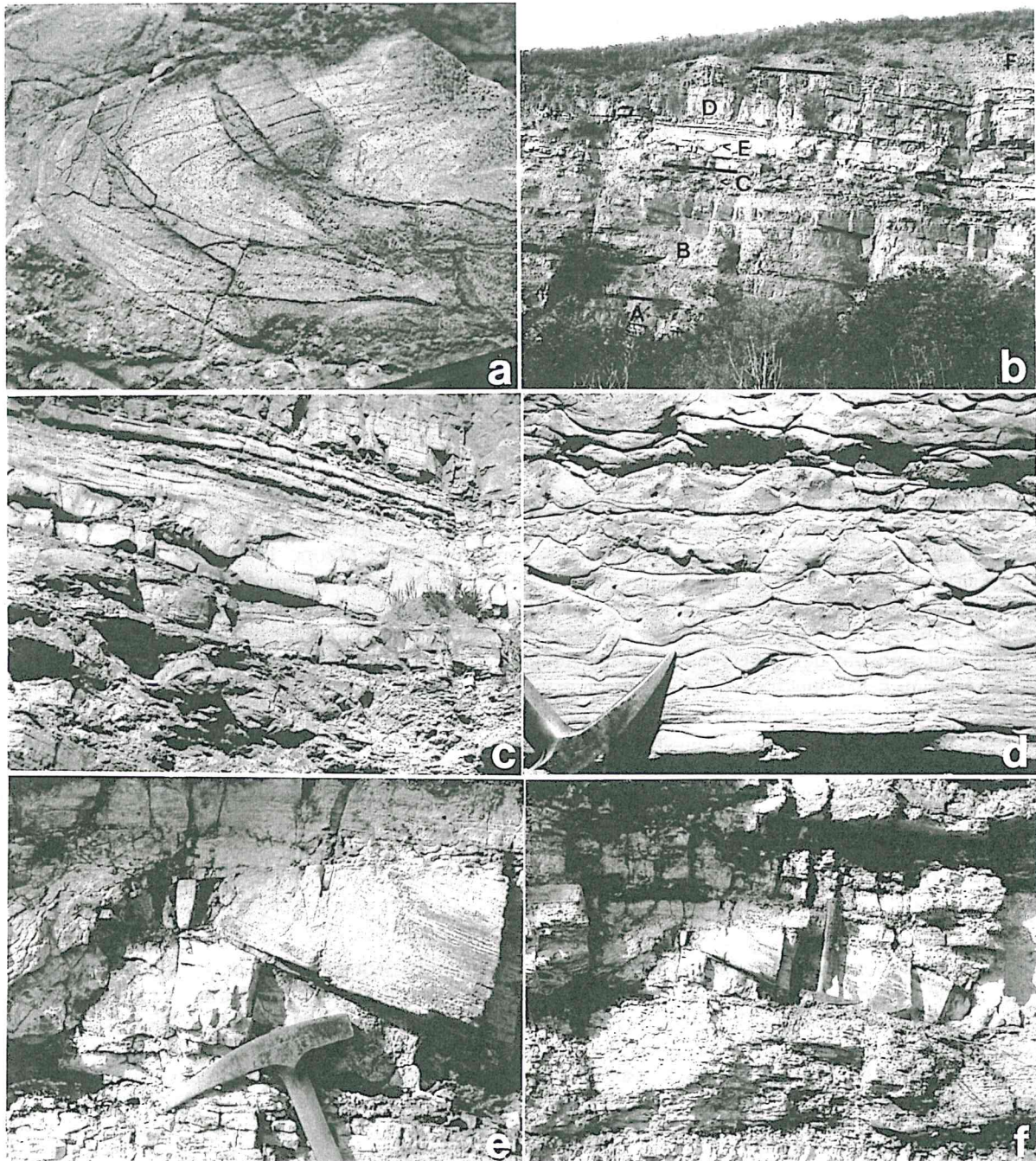


Abb. 5:

- a: Slump-Horizont („Wickelfaltung“), plastisch deformierte Lage, Bildhöhe ca. 15 cm (Profil 1 Köllme Süd, Profilmeter 7.4).
- b: Oolithbank-Zone im Steinbruch Köllme Nord: Untere Oolithbank/Oolithbank α (A), Wellenkalk-Zwischenmittel (B) mit deformiertem Horizont im oberen Teil (C), Obere Oolithbank/Oolithbank β (D) mit Belastungsmarken an der Basis (E) und Mittlerer Wellenkalk (F); abgebildete Gesamtmächtigkeit ca. 11 m.
- c: Bereich um die Basis der Oolithbank β (Detail von Abb. 5c) mit Deformations-Horizont im Wellenkalk-Zwischenmittel (unteres Drittel), Belastungsmarken im basalen Teil der Oolithbank β („Brotlaibe“) und gebankte Oolithkalke. Abgebildete Mächtigkeit 3 m.
- d: „Konglomerat“-Horizont aus einzelnen karbonatreicheren Mikrit-Klasten in leicht mergeliger Matrix, unterer Teil des Unteren Wellenkalkes (Ofenbruch Köllme, ehemaliger Bahneinschnitt).
- e: Mega-Konglomerat, Horizont unterhalb der Oolithbank α (Großer Bruch von Köllme).
- f: Mega-Konglomerat unterhalb der Oolithbank α , Detail von Abb. 5e (Großer Bruch von Köllme).

3.3.2 Konglomerat-Lagen

Im Unteren Wellenkalk tritt eine ca. 2 m mächtige Folge stark konglomeratischen Wellenkalkes auf (TRAUTWEIN 1957). Diese Abfolge besteht aus cm-großen Mikrit-Intraklasten innerhalb etwas tonreicherer mikritischer Matrix (Abb. 5d). Bei starker Interndeformation lassen sich Übergänge zu Rutschfaltung erkennen. KNAUST (1996b) bezeichnet diese Konglomerate als Großgerölle.

Darüber hinaus gibt es im Unteren Muschelkalk der Nietleben-Bennstedter Mulde einige meist nur wenige cm-mächtige Konglomerat-Horizonte. Sie treten horizontgebunden innerhalb der Wellenkalk auf. TRAUTWEIN (1957) hat unter anderem drei Konglomerat-Lagen im Mittleren Wellenkalk beschrieben und zur Korrelation genutzt. Dabei handelt es sich um intraformationelle Konglomerate mit einzelnen tonreicheren Wellenkalk-Geröllen in rein karbonatischer Matrix. Auf diese Konglomerate soll hier nicht näher eingegangen werden.

3.3.3 Mega-Konglomerate

Im Unteren Wellenkalk unterhalb der Unteren Oolithbank tritt ein ca. 40 cm mächtiger Horizont auf, der aus plattigen, einige Dezimeter langen und 10 cm - 15 cm dicken Geröllen besteht (Abb. 5e, 5f). Diese Mega-Konglomerate konnten nur im „Großen Steinbruch“ von Köllme beobachtet werden.

3.3.4 Interpretation

Bei den chaotisch deformierten Horizonten handelt es sich um Gleit- und Rutsch-Horizonte, deren interne Kohäsion beim Transport nie ganz aufgehoben wurde. Vergleichbare Deformationshorizonte werden im Muschelkalk Oberschlesiens von synsedimentären Störungen begleitet (SZULC 1993) und können damit als erdbebeninduzierte Massenbewegungen von nicht konsolidiertem Material angesprochen werden. Die brecciöse Basis des Deformationshorizontes und einzelne interne Gleitflächen zeigen die beginnende Auflösung der internen Kohäsion. Damit kündigt sich der Übergang zu Debris Flows an, die für den Muschelkalk Schlesiens typisch sind und die dort öfters durch Mega-Konglomerate repräsentiert werden können (SZULC 1993), während sie aus dem mitteldeutschen Raum noch nicht beschrieben worden sind.

Die Übergänge von den dm-mächtigen Konglomeratlagen zu Rutschfalten zeigen ihre genetische Zusammengehörigkeit an. Damit handelt es sich auch bei den Konglomerat-Horizonten um durch subaquatische Rutschungen verstellte und verfaltete Wellenkalk (SCHWARZ 1975). Da aber unklar ist, welche räumliche Ausdehnung sie haben, ist eine Interpretation als Seismite fraglich. TRAUTWEIN (1957) jedenfalls hat diese Horizonte nicht korrelieren können.

4 Korrelation seismischer Horizonte

4.1 Problematik

Synsedimentäre Deformationsstrukturen und die damit verbundenen Sedimente können stratigraphisch genutzt werden, da seismische Ereignisse zeitgleiche subaquatische Rutschungen und Resedimentationsprozesse in großen Räumen auslösen können. Die biostratigraphische Auflösung des Unteren Muschelkalkes reicht bei weitem nicht an die Auflösung heran, die durch eine stratigraphische Korrelation durch Seismite erreicht werden kann. Auch fehlt bislang eine hochauflösende sequenzstratigraphische Gliederung (Zyklengliederung, Parasequenzen) des Unteren Muschelkalkes. Es ist lediglich eine hochauflösende Bankstratigraphie vorhanden.

Seismite können also einen wichtigen Beitrag zur stratigraphischen Gliederung leisten, wenn einige Rahmenbedingungen beachtet werden:

- Durch eine Seimit-Stratigraphie könnte beispielsweise nachgewiesen werden, inwieweit die lithostratigraphischen Einheiten tatsächlich beckenweit zeitgleiche Ereignisse darstellen. Hier ist jedoch zu beachten, daß es nicht zu einem Zirkelschluß kommt, denn die Deformations-Horizonte können nur unter Anwendung der Litho- bzw. Bankstratigraphie korreliert werden.
- Zeitgleiche Rutschungen, die durch verschiedene (nur lokal) wirksame Faktoren hervorgerufen werden, können in einem weiteren Zirkelschluß als Seimit fehlinterpretiert werden.
- Eine weitere Problematik liegt in dem auf bestimmte Lithologien beschränkten Auftreten von Gefügen und Sedimenten, die auf seismische Ereignisse hindeuten. Diese fehlen in den Oolithbänken vollständig. Dies kann jedoch nicht als Fehlen seismischer Ereignisse zur Zeit der Ablagerung der Oolithe gedeutet werden. Deformationen und Sedimentgefüge, wie sie in Abschnitt 3 für den Wellenkalk beschrieben werden, sind in den Oolithkalken nicht möglich bzw. nicht erhaltungsfähig: Rutschungserscheinungen benötigen zum einen ein mikritisches, semikonsolidiertes Material und zum anderen dürfen die Lagen nicht durch Wind- und Wellenagitation aufgearbeitet werden.
- Darüberhinaus können Seimit natürlich auch lokal auftreten. Sie haben dann aber - genau wie alle anderen nur lokal wirksamen Kontrollfaktoren - keine stratigraphische Bedeutung.

Bei der Korrelation seismischer Ereignisse muß ferner berücksichtigt werden, daß diese räumlich zu unterschiedlichen Erscheinungen führen können:

- Sigmoidalklüftung entspricht homogenen mikritischen Lagen, wenn die interne Kohäsion des Schichtpaketes verloren geht,
- bestimmte Schill-„Kalkstotzen“ („Brotlaibe“) gehen lateral in Schillkalke über, deren Schalen nicht eingeregelt sind und
- Debris Flows und Rutsch- und Wickelfaltung stehen miteinander in Verbindung.

4.2 Korrelation seismischer Horizonte in Teilbereichen des Germanischen Beckens

Bereits LOTZE (1932) hat den quergeplatteten Lagen den Charakter von Leithorizonten zugewiesen, ohne daß er dies jedoch nachgewiesen und angewandt hätte. SZULC (1993) konnte im Muschelkalk Oberschlesiens einzelne deformierte Horizonte über eine Distanz von 115 km korrelieren, und KNAUST (1996a) verwendet die Seismite im Unteren Muschelkalk des Thüringer Beckens als Leithorizonte.

Die Genauigkeit der stratigraphischen Korrelation mit Seismiten hängt allerdings von der eindeutigen Zuordnung der zu korrelierenden Horizonte ab. Die Vielzahl der quergeplatteten Lagen insbesondere im Unteren Wellenkalk der Nietleben-Bennstedter Mulde verhindert schon in benachbarten Aufschlüssen eine eindeutige Zuordnung einzelner Horizonte. Hier scheint es also sinnvoller, mehrere Horizonte jeweils zu Deformationseinheiten zusammenzufassen, wie es KNAUST (1996a) getan hat. Er hat mindestens acht Deformationseinheiten erkannt, die sich am gesamten Südost-Rand der Thüringischen Senke verfolgen lassen. Wenn nicht einzelne charakteristisch deformierte Horizonte wie im Muschelkalk Oberschlesiens vorliegen, wird die Korrelation zwangsläufig ungenauer. Es können nur Profilabschnitte (bzw. Zeiten) zusammengefaßt werden, die zahlreiche Horizonte mit Hinweisen auf seismische Ereignisse enthalten.

Insgesamt scheint eine stratigraphische Korrelation der beschriebenen Horizonte im Bereich des Germanischen Beckens ausgesprochen sinnvoll und überfällig.

4.3 Korrelation seismischer Horizonte über das Germanische Becken hinaus

SZULC (1993) hat neben den kurzzeitigen seismischen Ereignissen längerfristige tektonische Bewegungen rekonstruiert. Nur auf diese Weise läßt sich eine Korrelation mit Regionen außerhalb des Germanischen Beckens verwirklichen. Aus dem Bereich der Tethys sind zahlreiche gravitative Massenbewegungen und Slumping-Strukturen beschrieben worden (z.B. aus dem Oberen Anis der Südalpen, RÜFFER & ZÜHLKE 1995). Diese können jedoch nicht als einzelne seismische Horizonte angesprochen werden, da hier, im Gegensatz zum Germanischen Becken, ein ausgeprägtes Relief zu häufigen, stratigraphisch nicht eng begrenzten Rutschungserscheinungen führt. Auffällig ist in diesem Zusammenhang die zeitliche Koinzidenz verschiedener Ereignisse etwa an der Bithyn/Pelson-Grenze (Grenze Unteres / Oberes Anis):

- Im Muschelkalk der Nietleben-Bennstedter Mulde treten stark ausgeprägte seismische Horizonte im Bereich um die Oolith-Bänke auf (zahlreiche sigmoidal verfaltete Lagen, Mega-Konglomerate).
- In den Nördlichen Kalkalpen vollzieht sich der Umschwung von typisch „germanischer“ Fazies (in Form der den Wellenkalken sehr ähnlichen, stark bioturbaten Virgloria Formation) zu den bereits typisch alpinen Karbonatrampen der Steinalm Formation mit mikrobiellen Inkrustationen (RÜFFER 1995).
- In den nordöstlichen Dolomiten erfolgt ein abrupter Umschwung von starker Subsidenz zu geringer Hebung (ZÜHLKE in RÜFFER & ZÜHLKE 1995).

In etwa dieser Zeit, an der Bithyn/Pelson-Grenze, findet auch der Umschwung von der Wellenkalk-Sedimentation innerhalb des N-S-streichenden Thüringisch-Westbrandenburgischen Randbeckens zu den Oolithkalken der „Oolithbank-Zone“ statt.

Eine feinstratigraphische Korrelation seismischer Horizonte ist also über das Germanische Becken hinaus nicht möglich. Aber über die Erfassung von Deformationseinheiten im Muschelkalk und Subsidenzanalysen im Anis können Aussagen über die tektonischen Rahmenbedingungen beider Räume gemacht werden.

Dank

Für die kritische Durchsicht des Manuskriptes danke ich Herrn Prof. Dr. G. H. BACHMANN (Halle). Den Hinweis auf die Steinbrüche von Bennstedt und Köllme verdanke ich den Studenten der Vorlesung „Sequenzstratigraphie“. Die Idee, die synsedimentären Deformationen zu beschreiben, entstand durch Exkursionen, Vorträge und Publikationen von Dr. JOACHIM SZULC (Krakau) und DIRK KNAUST (Greifswald).

Literatur

- AIGNER, T. & BACHMANN, G. H. (1992): Sequence-stratigraphic framework of the German Triassic.- *Sedim. Geol.*, **80**: 115-135; Amsterdam.
- ANDRAE, C. J. (1850): Geognostische Karte der Umgebung von Halle und Erläuterungen.- Halle.
- BEUTLER, G. (1993): Der Muschelkalk zwischen Rügen und Grabfeld.- In: HAGDORN, H. & SEILACHER, A. (eds.): *Muschelkalk.- Schöntaler Symposium 1991*: 47-56; Stuttgart.
- DUALEH, A. R. A. (1995): Charakteristik, Entstehung und geologische Bedeutung der Querplattung im Wellenkalk von Rüdersdorf. - *Berliner geowiss. Abh.*, **A 168**: 249-257; Berlin.
- FREYBERG, B. von (1922): Der Aufbau des unteren Wellenkalkes im Thüringer Becken.- *N. Jb. Miner., Beil.-Bd.*, **45**: 214-274; Stuttgart.
- FRICTSCH, K. von (1894): Zur Kenntnis der Saurier des Halleschen unteren Muschelkalkes.- *Abh. naturf. Ges. zu Halle*, **20**: 273-302; Halle.
- GIEBEL, C. (1856): Die Versteinerungen im Muschelkalk von Lieskau bei Halle.- *Abh. Naturwissen. Ver. Provinz Sachsen und Thüringen in Halle*, **1**: 55-126; Berlin.
- HERBIG, A. (1931): Die Dynamik des deutschen Muschelkalkmeeresbodens, ihr Einfluß auf die Genesis der Muschelkalkgesteine und ihre Bedeutung für Probleme der physikalischen und historischen Geologie.- *Abh. preuß. geol. L.-Anst.*, *Beiträge zur physikal. Erforschung der Erdrinde*, **4**: 1-225; Berlin.
- KNAUST, D. (1996a): Synsedimentäre Deformation und Resedimentation im Unteren Muschelkalk (Mittlere Trias) von Thüringen.- *Abstracts Sedimentologentreffen 1996*: 80; Wien.
- KNAUST, D. (1996b): Die „Kalkstotzen“-Fazies im Muschelkalk (Mittlere Trias) von Thüringen.- *Zbl. Geol. Paläont., Teil I*, **1995**: 189-204; Stuttgart.
- LOTZE, F. (1932): Zur Erklärung der Querplattung (Sigmoidalklüftung) im Wellenkalk.- *Cbl. Min. Geol. Paläont.*, **B 1932**: 300-307; Stuttgart.
- REIS, O. M. (1910): Beobachtungen über Schichtenfolge und Gesteinsausbildung in der fränkischen unteren und mittleren Trias.- *Geognost. Jh.*, **22**: 1-285; München.
- RÜFFER, T. (1995): Entwicklung einer Karbonat-Plattform: Fazies, Kontrollfaktoren und Sequenzstratigraphie in der Mitteltrias der westlichen Nördlichen Kalkalpen (Tirol, Bayern).- *Gaea Heidelbergensis*, **1**: 288 S.; Heidelberg.
- RÜFFER, T. & ZÜHLKE, R. (1995): Sequence stratigraphy and sea-level changes in the Early to Middle Triassic of the Alps: A global comparison.- In: HAQ, B. U. (ed.): *Sequence Stratigraphy and Depositional Response to Eustatic, Tectonic and Climatic Forcing*.- 161-207; Kluwer (Dordrecht).
- SCHROEDER, J. H. (1995): Die Kreuzbrückenspalte von Rüdersdorf - subglaziale Erosion im Wellenkalk.- *Berliner geowiss. Abh.*, **A 168**: 177-189; Berlin.
- SCHWARZ, H.-U. (1975): Sedimentary structures and facies analysis of shallow marine carbonates (Lower Muschelkalk, Middle Triassic, Southwestern Germany).- *Contrib. Sediment.*, **3**: 1 - 100; Stuttgart.
- SEIFERT, H. (1928): Vergleichende stratigraphische Untersuchungen über den Unteren Muschelkalk in Mittelthüringen.- *Jb. preuß. geol. L.-Anst.*, **49**: 859-917; Berlin.
- SEILACHER, A. (1984): Sedimentary structures tentatively attributed to seismic events.- *Marine Geol.*, **55**: 1-12; Amsterdam.
- SZULC, J. (1990): The Muschelkalk - Sedimentary environments, facies, diagenesis.- *IAS Intern. Workshop Booklet*: 1 - 58; Cracow.
- SZULC, J. (1991): The Muschelkalk in Poland.- In: HAGDORN, H., SIMON, T. & SZULC, J. (eds.): *Muschelkalk. A Field Guide*.- 58-62; Stuttgart.
- SZULC, J. (1993): Early alpine tectonics and lithofacies succession in the Silesian Part of the Muschelkalk. A synopsis.- In HAGDORN, H. & SEILACHER, A. (eds.): *Muschelkalk.- Schöntaler Symposium 1991*: 19-28, Stuttgart.
- TRAUTWEIN, I. (1957): Feinstratigraphische und kleintektonische Untersuchungen im unteren Muschelkalk der Nietleben-Lieskauer Muschelkalkmulde.- *Diplom-Arb. Geol. Inst., Univ. Halle*: 115 S., 12 Anlagen; Halle. - [Unveröff.]
- WAGNER, R. (1897): Beitrag zur genauen Kenntnis des Muschelkalks bei Jena.- *Abh. königl. preuß. geol. L.-Anst. N.F.*, **27**: 1-105; Berlin.

Anschrift des Autors:

Dr. Thomas Ruffer
 Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
 Institut für Geologische Wissenschaften und Geiseltalmuseum
 Domstr. 5
 D-06108 Halle (Saale)