

Mikro-organofazielle Studien an Sedimenten des Enspel-Sees (Oberoligozän, Westerwald, Deutschland)

Microscopic organic study of Lake Enspel sediments (Upper Oligocene, Westerwald area, Germany)

Mit 2 Abbildungen, 1 Tabelle und 4 Tafeln

ANDREAS CLAUSING

Zusammenfassung: Die Ablagerungen der oberoligozänen Fossilagerstätte Enspel enthalten reichlich organische Rückstände, welche die Primärproduktion des Sees widerspiegeln. Vertreter von verschiedenen Algengruppen belegen das autochthone Phytoplankton. Es sind dies Chrysophyceen, Diatomeen, eine Dinoflagellatenspezies und die Grünalgen *Botryococcus* und *Tetraedron*. Alginit B wird durch gegenwärtig noch nicht identifizierte Produzenten gebildet, die wahrscheinlich zu den Cyanobakterien zu rechnen sind. Daneben sind benthische Mikrobienmatten bekannt, die zum Teil ebenfalls als Alginit B erhalten sind. Dinoflagellatenzysten dominieren in einem Sediment das durch Alginit A gekennzeichnet wird. Chrysophyceenzysten und Diatomeenschalen bilden ebenfalls ausgeprägte laminare Lagen. Die ausgeprägte Lamination deutet auf jahreszeitlich gesteuerte Primärproduktion, sowie kurzzeitig erfolgende Produktionsmaxima von organischer Substanz hin. Zusätzlich erfolgten kurzfristige Ereignisse mit hohen Sedimentationsraten und schneller Eliminierung der aquatischen Flora. Ursachen waren vulkanische Aktivitäten und anschließende Erosion, die zu wenig laminierten Sedimenten führten.

Abstract: The sediments of the Upper Oligocene Enspel lake are rich in organic remains, which are remnants of the primary production in the lake. Members of various algal groups form the autochthonous phytoplankton. Chrysophytes, different diatoms, a dinoflagellate species, and the green algae *Botryococcus* and *Tetraedron* exist. Alginite B is formed by unknown organisms of probably cyanobacterial relationship. Benthic microbial mats are also partially preserved as alginite B. Dinoflagellate cysts are dominant components in a facies which is characterized by the occurrence of alginite A. Chrysophyte cysts and diatom shells form laminar horizons in another facies type. The distinct lamination suggests annually controlled primary production and short timed production of organic matter. Additionally, short term events led to increased sedimentation and rapid termination of the aquatic flora. This was mainly caused by volcanic activities and subsequent erosion and resulted in less laminated sediments.

1 Einführung

Die tertiäre Fossilagerstätte Enspel im Westerwald (TK 25, Blatt 5313 Bad Marienberg), wird seit 1990 intensiv erforscht. In mehreren Grabungskampagnen des Referates für Erdgeschichtliche Denkmalpflege im Steinbruch Adrian (1991-1994) wurden neben Pflanzenresten (Blätter, Früchte, Samen) zahlreiche tierische Fossilien (Insekten, Fische, Amphibien, Krokodile, Säuger) geborgen. Eine vorläufige Klärung der sedimentologischen Verhältnisse erfolgte durch die Niederbringung einiger Bohrungen (GAUPP & WILKE 1998). Im Liegenden eines Basaltes stehen lakustrine Sedimente an, welche das devonische Grundgebirge diskordant überlagern. Die Seesedimente werden durch fossilreiche feinlaminierte „Ölschiefer“ mit zwischengeschalteten Tuffen/Tuffiten gebildet. Einige grobe Studien ergaben, daß eine

Wechsellagerung von Diatomeen mit bituminösen Tonen die Lamination dieser Pelite bestimmen sollte (SIEBER et al. 1993).

Für den überlagernden Basalt lieferten erste radiometrische Bestimmungen ein Alter von etwa 28-30 MA (HORN, in prep.) Die liegenden Sedimente wurden damit als Ablagerungen mindestens tief-oberoligozänen Alters eingestuft. Diese Annahme stimmt mit den Angaben von STORCH et al. (1996) überein. Diese stellen die Fundstelle aufgrund des Fundes von *Eomys quercyi* in die Säugetierzone MP-28, was etwa einem magnetostratigraphischen Alter von 25,8 MA entspricht. Durch die Zusammensetzung der Flora wird dieses Alter ebenfalls bestätigt. KÖHLER (1997) konnte Früchte und Blätter bestimmen, die bisher lediglich aus oberoligozänen

1.1 Palynofazielle Studien

Proben makroskopisch verschiedener Faziestypen wurden unter Verwendung von HCl und HF nach der verbreiteten palynologischen Methode vorab aufbereitet. Das anschließende Sieben führte zwar zu amorphem Restmaterial, enthielt aber keinerlei organische figurierte Reste. Eine palynofazielle Analyse ist auf der Basis des vorliegenden Materials, soweit es die Rolle der Palynomorphen betrifft, noch nicht eindeutig durchzuführen. Festzustellen ist aber vorläufig, daß ein hoher Anteil an amorpher Substanz für die Rückstände typisch ist. Dieser läßt sich zum Teil mit Alginit B korrelieren, dessen Vorkommen sich unter Fluoreszenz deutlich erkennen läßt. Die übrigen Rückstände sind wahrscheinlich auf stark degradierte Reste höherer Pflanzen zurückzuführen. Im Vergleich mit der Fluoreszenzanalyse ist festzustellen, daß außerdem ein flüchtiger Anteil an organischer Substanz existiert, der während des

Aufbereitungsprozesses verloren geht.

Die einfachste Form der Aufbereitung erwies sich als ungeeignet, um Palynomorphe aus dem Enspel-Sediment herauszulösen. Eine demgegenüber veränderte Methodik, in welcher zusätzlich Salpetersäure eingesetzt wird, wurde von THIELE-PFEIFFER (1988) für die Messel-Sedimente verwendet und von HOTTENROTT (1988) für die diatomeenhaltigen Sedimente von Sieblos eingesetzt. Der Nachteil dieser Methoden liegt in einer stärkeren Bleichung der Rückstände, was deren Diagnose und die Unterscheidbarkeit von Rezentmaterial erschwert. Zudem gehen wichtige Daten über Erhaltungszustände verloren, die der taphonomischen Deutung dienlich sind. KÖHLER (1997) gelang es inzwischen, Palynomorphe für taxonomische Zwecke mit einer dem Gestein angepaßten Aufbereitung zu gewinnen und zu bestimmen.

2 Die Laminite

Die Schichtflächen ausgewählter pelitischer Sedimente (Schwarzpelite, Laminite) wurden zunächst makroskopisch, dann mikroskopisch untersucht. Die Gesteine weisen im Gelände unterschiedliche Farben auf; entsprechend wurden Proben ausgewählt. Festzustellen ist eine variable Färbung mit vorwiegend graugrünen bis olivgrün-grauen Tönen im oberen Profilbereich (Schichten 2,4,6,8) und mehr braunen bis rotbraunen Tönen im tieferen Abschnitt (Schichten 10,12,14,16,18). Die Masse dieser Seesedimente ist aus laminierten bis feingeschichteten Siltsteinen, vereinzelt auch Ton-Siltsteinen, aufgebaut. Die Lamination besteht allgemein aus hellen und dunklen Laminæ unregelmäßiger Abfolge und Verbreitung. Bereichsweise erfolgte aber offensichtlich auch eine kontinuierliche Sedimentation von Partikeln, ohne daß ausgesprägte Laminæ gebildet worden wären.

Die dunkleren Laminæ weisen meist glatte Schichtflächen auf, sie sind braun bis graubraun gefärbt. Auffällig ist ein offenbar geringeres spezifisches Gewicht durchgehend dunkel gefärbter Gesteinsproben gegenüber den hellen oder wechselnd laminierten Sedimenten. Eventuell deutet dies auf geringere Kompaktion oder höhere Porosität hin. In vielen der graugrünen Laminæ treten massiert Fossilien auf, die morphologisch Algenzysten ähnlich sehen und wegen ihrer Häufigkeit auf Planktonen hindeuten. Es handelt sich um chorate Dinoflagellatenzysten, die ganze Schichtflächen bedecken. Diese Massenvorkommen sind häufiger auf unebenen Schichtflächen zu beobachten, wo auch weiße Flecken existieren; insgesamt sind sie aber regellos verteilt.

Manche Laminæ erscheinen stärker graubraun gefärbt. In ihnen lassen sich insgesamt weniger Zysten nachweisen, die zudem stärker degradiert sind. Die

Dinoflagellatenzysten treten aber ebenfalls gehäuft bzw. fleckhaft auf. In denselben Laminæ ist der Anteil an Pollen und Sporen etwas erhöht, und es existieren Fragmente, die Diatomeen entsprechen könnten. Auffällig ist ein höherer Gehalt an kohligem Detritus und an fluoreszierenden Partikeln. Die Fluoreszenzfarbe ist in diesem Bereich des Gesteins intensiver gelblich. Auch die einheitlich bräunlichen Lagen beinhalten weniger Zysten, während Pollen und Sporen etwas verstärkt als Komponenten auftreten. Dies gilt ebenfalls für die mehr schwarzgrauen und grauen Laminæ.

Die hellen Laminæ weisen häufig weiße Flecken (patches) auf einer unregelmäßig-welligen Oberfläche auf, sie enthalten oft Einschaltungen von Grobsilt- bis Feinsandfahnen (Schichten 2-8). Überhaupt ist ein deutlicher Anteil an gröberem mineralischem Detritus fast überall festzustellen. In diesen meist als Diatomeen-Lagen gedeuteten Laminæ sind Pollen und Sporen häufige Komponenten, die mittels Fluoreszenz deutlich zu identifizieren sind. Große ovale Formen und bisaccate Pollen sind anhand der gelblich-orangen Farbtöne klar zu erkennen. Die Diatomeen sind aber mit dieser Methode nicht exakt nachweisbar, da die weißen „patches“ einheitlich dicht sind und sich mit Fluoreszenz nicht anregen lassen. Die Dinoflagellatenzysten mit ihrer charakteristischen gelblich-grünen Fluoreszenzfarbe existieren massiert in scheinbar besserer Erhaltung. Die zusätzlich vorkommenden Pollen und Sporen sind oft vergleichsweise größer als die in den hellen Laminæ.

In Fortführung der Untersuchungen an den Schichtflächen wurden Dünnschliffe senkrecht zur Schichtung bearbeitet. Es wurden einige der charakteristischen Laminite ausgewählt und untersucht. In den Schliffen ist zum Teil der Übergang

vom Laminit in die Tufflagen, bzw. in umgekehrter Orientierung, oder der direkte Kontaktbereich überliefert. Diese Durchlicht-Analyse wurde dort wo es möglich war durch Fluoreszenz ergänzt.

Pyritframboide sind im Sediment bereichsweise

verbreitet, zum Beispiel in Schicht 19 (=T9; Taf. 1f). Die wahrscheinlich autigen gebildeten Minerale sind stellenweise relativ gut sortiert und können in schmalen Bereichen der Schwarzpelite sowie im Grenzbereich Tuff/Laminit gehäuft auftreten.

2.1 Variabilität der Laminite

Nach dem gegenwärtigen Kenntnisstand sind einige charakteristische mikroskopische Unterschiede ausgeprägt, die über die Ausbildung der Lamination für die Primärproduktion wertvolle Aussagen liefern. Sie lassen sich vor allem durch die Kombination der

verschiedenen Untersuchungsmethoden fassen. Eine Quantifizierung der Laminite bzw. eine Analyse ihrer lateralen und vertikalen Verbreitung ist noch nicht erfolgt, daher sind die Beziehungen zueinander nicht vollständig erfaßbar.

2.1.1 Laminite mit Dinoflagellaten

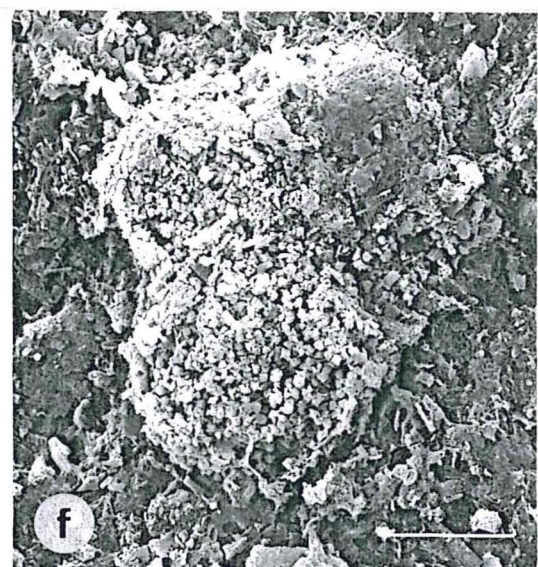
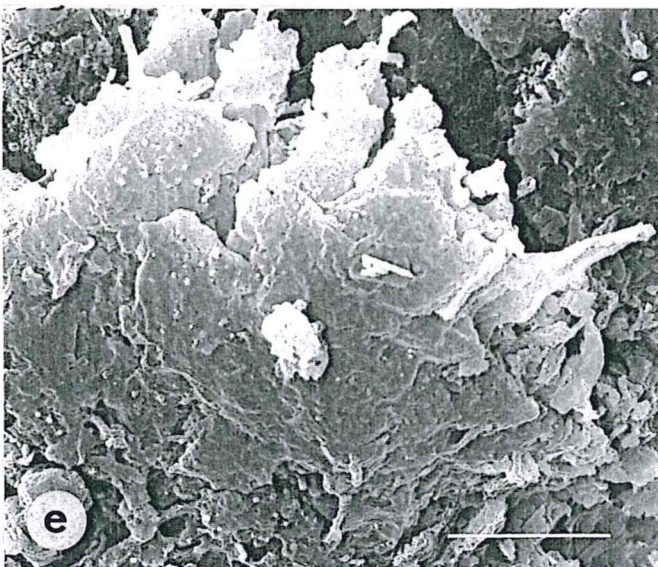
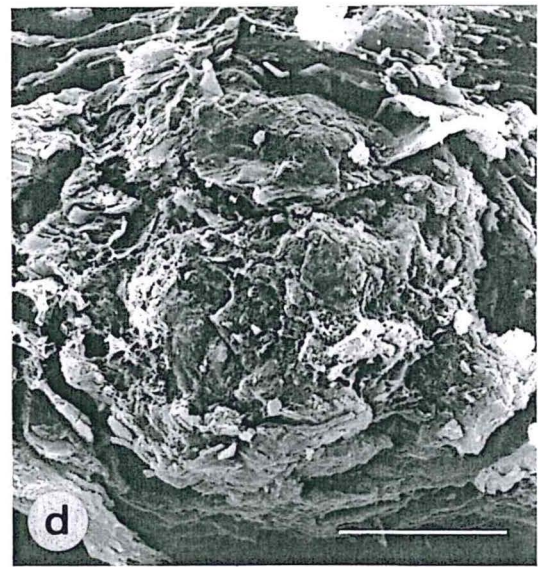
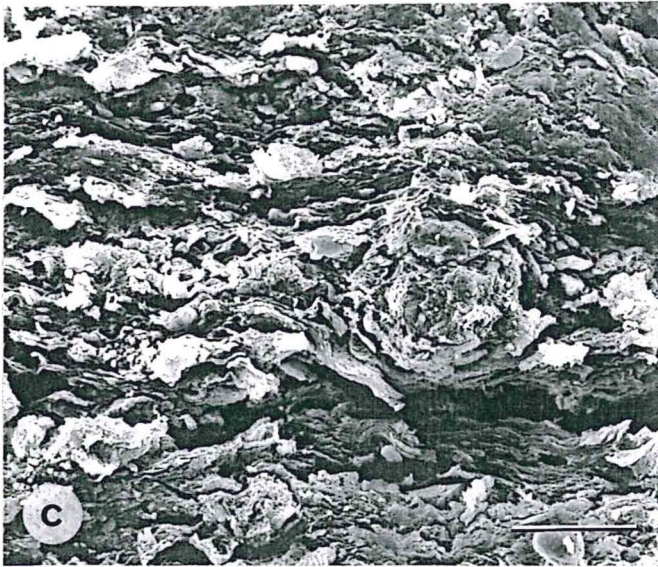
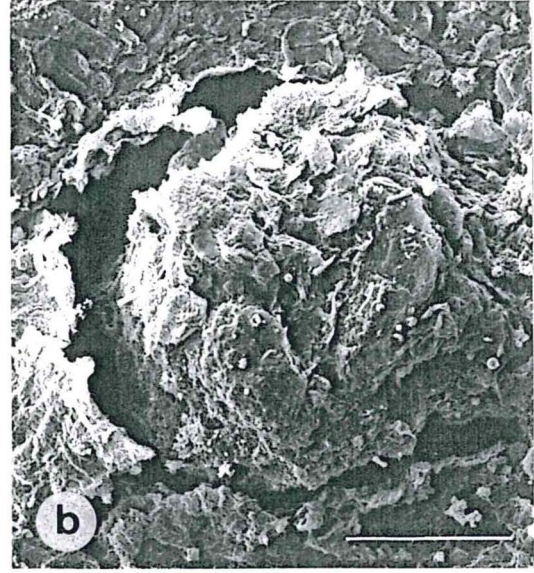
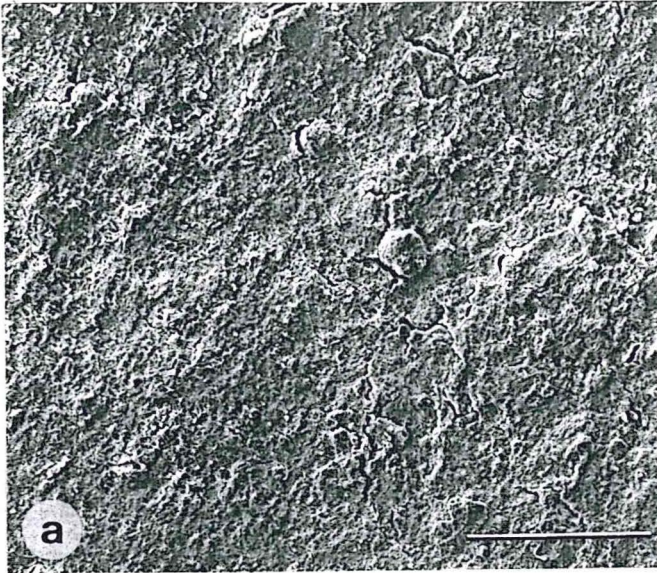
Bei schichtparalleler Betrachtung unter Fluoreszenz fallen zuerst die Dinoflagellatenzysten von 27-35µm Größe auf (Taf. 3). Die Anregung des Phytoplanktons erzeugt eine blasse gelbliche Farbe, wie sie für das Sporopollenin solcher Planktonen in tertiären Ablagerungen häufig existiert (z.B. bei *Botryococcus*). Eine vergleichende morphologische Analyse schließt andere Organismen als Dinoflagellaten aus. Im Anschnitt dieser Schichtflächen sind fluoreszierende, weitgehend körperlich erhaltene Objekte zu erkennen. Diese figurierten Reste sind identisch mit den auf den Schichtflächen identifizierbaren Dinoflagellaten. Sie entsprechen kohlepetrographisch einem Alginit A (oder Telalginit). Ein vergleichbares Gestein mit derartigen Anhäufungen von Dinoflagellatenzysten ist bisher aus tertiären Ablagerungen nicht beschrieben worden. Das Sichtbarmachen von Zysten in tiefern

Gesteinsbereichen durch die Fluoreszenzanregung schließt zudem rezente Kontamination des Gesteines aus.

Unpräparierte Schichtflächen, auf denen sich fluoreszenzmikroskopisch die Zysten nachweisen ließen, wurden auch mittels REM untersucht. Dabei ist festzustellen, daß zwar einzelne grobe Konturen zu erkennen sind, nicht jedoch die Details der Zysten. Wahrscheinlich läßt sich dieses Phänomen wie folgt erklären: Die Fluoreszenzanregung durchdringt die obersten Gesteinspartien und zeigt Dinoflagellaten, die sich unter einer dünnen Kerogen- oder Tonschicht befinden (Taf. 1a,3). Erst mittels gezielter Mazeration konnte KÖHLER (1997) erstmalig vollständige Dinoflagellaten-Zysten isolieren und als *Cleistosphaeridium lacustre* beschreiben.

Tafel 1

- a) Ansicht einer Schichtfläche, die unter Fluoreszenz zahlreiche Dinoflagellaten aufweist. Ein Überzug aus Kerogen oder Tonmineralen maskiert diese Zysten auf der Fläche. Die zahlreichen sphärischen Objekte sind offenbar nicht mit den Zysten identisch, weisen aber dieselbe Größe auf (Schicht 6; Maßstab 200 µm).
- b) Detail eines sphärischen Körpers von a), der aus einer Vielzahl kleiner Mineralplättchen zusammengesetzt ist. Der Sphärolith füllt offenbar einen ehemaligen Hohlraum aus, der die organische Substanz einer Dinoflagellatenzyste enthalten haben könnte (Schicht 6; Maßstab 20 µm).
- c) Unregelmäßige Schichtung eines Laminites im Anschnitt (Bruchflächen); verbogen durch die Einlagerung eines sphärischen Körpers, aber auch aufgrund der welligen Tonminerale (Schicht 6; Maßstab 20 µm).
- d) Detail von c), kleine Mineralplättchen bauen den Körper auf. Die einzelnen Plättchen sind durch ein Netzwerk unbekannter Zusammensetzung miteinander verbunden (Schicht 6; Maßstab 10 µm).
- e) Fragment einer kollabierten Dinoflagellatenzyste. Nur einzelne Reste der Fortsätze sind erkennbar (Schicht 6; Maßstab 10 µm).
- f) Miteinander verbundene Pyritframboide in einer Matrix, die außer Tonmineralen sehr viel Diatomeenschill enthält (Schicht 6; Maßstab 20 µm).



2.1.2 Lamosit

Das charakteristische Gestein des Sees sind die Laminiten, auch „Ölschiefer“ genannt (Taf. 4). Mittels Fluoreszenz läßt sich das Gestein überwiegend als Lamosit klassifizieren, ein Gestein, welches nach COOK et al. (1981) ein laminiertes, organisch-reiches Seesediment mit hohem Anteil an Alginit B darstellt. Nach GOTH (1990) ist dies auch für den Messel-„Ölschiefer“ ein treffender Begriff. Ein anderer Begriff für diese Art Sediment, der auch petrographisch wertfrei ist und daher zunehmend verwendet wird ist „Schwarzpelit“.

Die Farbunterschiede bei Fluoreszenz-Anregung machen deutlich, daß nicht ausschließlich die Dinoflagellaten die Primärproduktion bestimmt haben. Neben der eher grünlich-gelben Farbe der Zysten treten Lagen mit gelb bis gelborange gefärbter organischer Substanz auf, wie sie für Alginit B typisch ist. Dieser wird meist auf Cyanobakterien zurückgeführt (CLAUSING 1992), so daß auch andere Organismen zur Alginitproduktion beigetragen haben. Im Halogen-Durchlicht ist deutlich die ausgeprägte, oftmals leicht wellige Lamination mit vielen eingelagerten, größeren Kristallen zu erkennen. Eingeschaltet sind dunkle, fädige Aggregate, die den Laminae nahezu parallel folgen (Taf. 4c). Durch Fluoreszenz werden diese als schichtungsparelle Anreicherungen von Alginit B, auch Lamalginit genannt, im Laminit erkennbar (gelbe Lagen bzw. „Fäden“). Diese Reste sind unfiguriert und lassen sich daher nicht auf taxonomischer Ebene bestimmen.

2.1.3 Diatomit

Die verbreiteten weißen Flächen („patches“), die sogenannten Diatomeen-Lagen, weisen eine sehr intensive Fluoreszenz auf. Im normalen lichtmikroskopischen Bild des unaufbereiteten Gesteines sind aber die einzelnen Komponenten nicht wahrnehmbar. Erst mit Hilfe von REM-Aufnahmen läßt sich das Sediment eindeutig identifizieren (Taf. 2). Es besteht offenbar in den Lamositbereichen aus sehr viel Diatomeen-Bruchschill (WUTTKE & RADTKE 1993b). Gesteine dieses Typs sind vor allem aus der Fundstelle Sieblos bekannt, wo sie als Dysodil bezeichnet wurden (MARTINI & ROTHE 1988).

Aufgrund von Vergleichen wird aber meist angenommen, daß es sich um homogenisierte Reste von niederen Algen bzw. Cyanobakterien handelt.

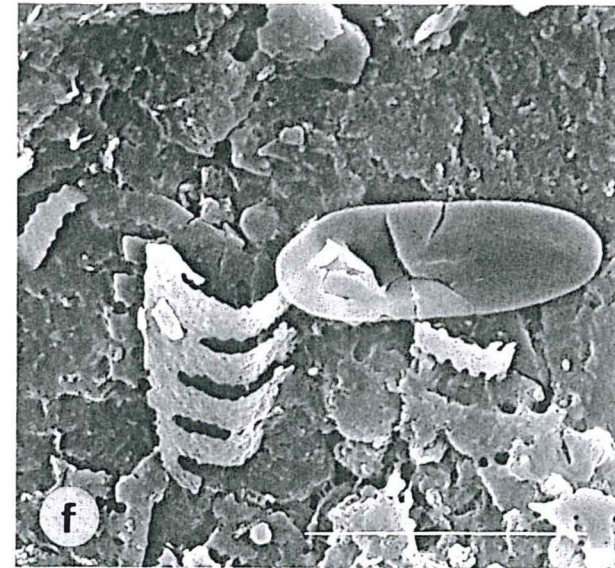
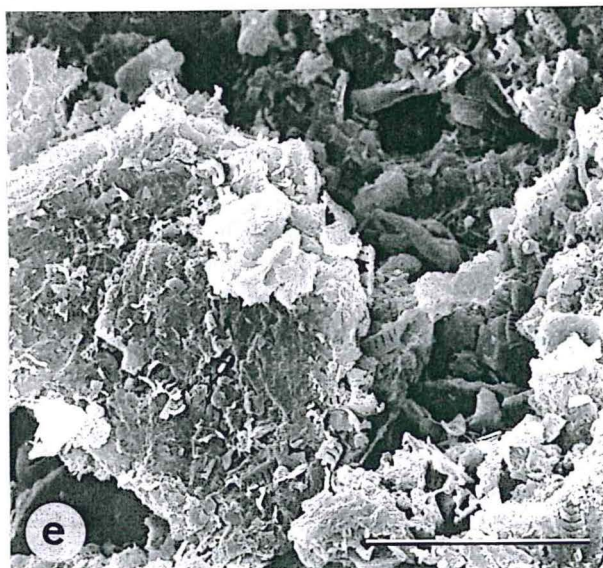
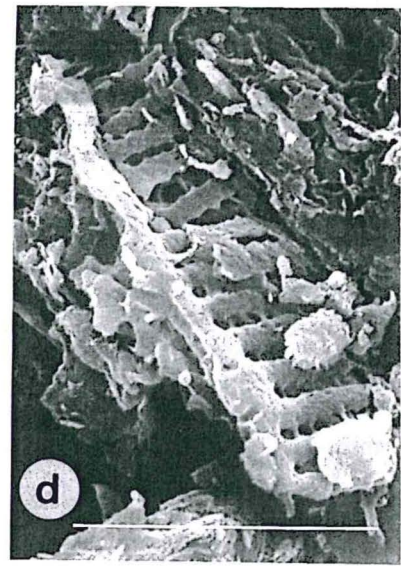
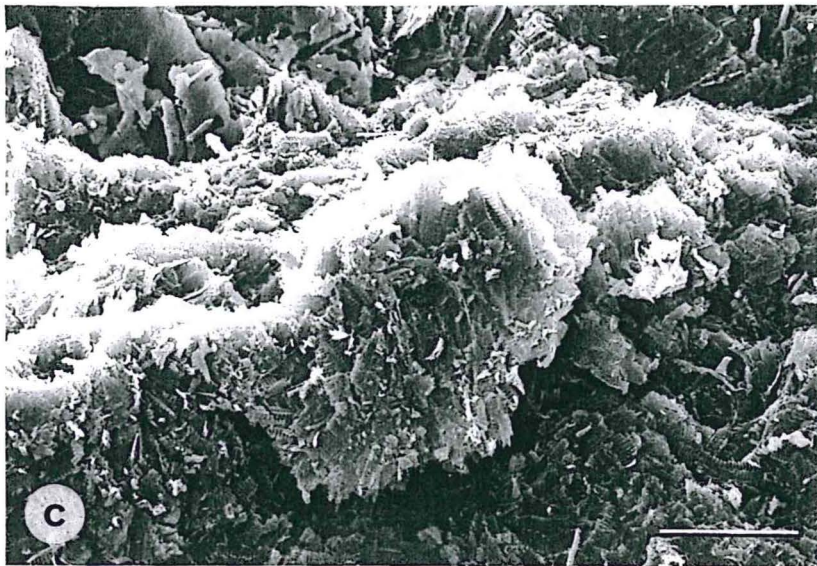
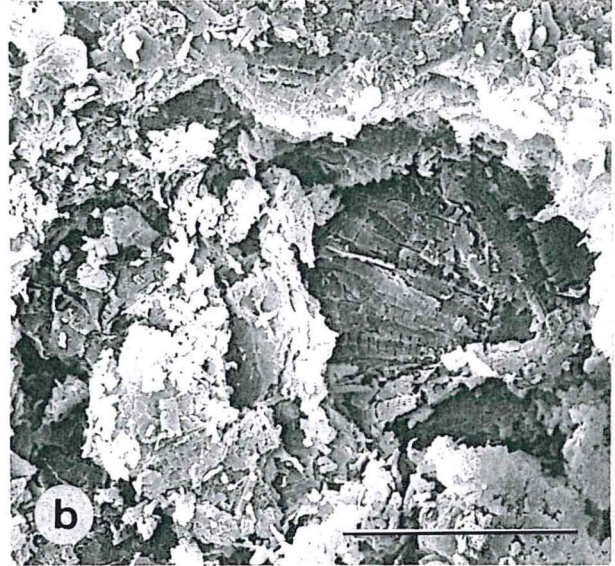
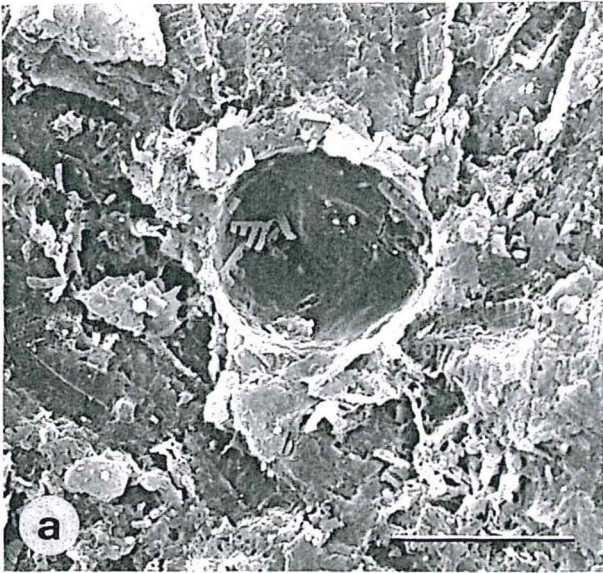
Im Schliffbild sind innerhalb von Alginitlagen immer wieder kugelförmige Hohlräume zu beobachten, die um 10 µm Durchmesser aufweisen, wie sie durch Chrysophyceen-Zysten erzeugt werden. Außerdem sind Chrysophyceen-Zysten zu finden, die mitten im Alginit B schwimmen (Taf. 4a,b). Diese Beobachtungen ergänzen bereits bekannte Studien von WUTTKE & RADTKE (1993a,b). Sie weisen für Enspel auf die Existenz agglutinierender benthischer Mikrobenmatten hin. Organische Reste dieser Organismen wurden von nicht gefunden, ihre Existenz läßt sich bislang durch Sedimentpartikel makro- bis mikroskopisch nachgezeichnet belegen. In den Maschen dieser Matten vermuteten sie ehemalige Chrysophyceen-Zysten. Daraus ließe sich schließen, daß ein gewisser Anteil des Alginit B mit den Resten agglutinierender Mikrobenmatten identisch sein könnte.

Von Bedeutung für diese Interpretation könnten auch neue Mikro-Palynomorphe werden, die sich taxonomisch noch nicht bestimmen ließen (Taf. 4d). Aufgrund ihrer geringen Größe und Häufigkeit sollten sie im Bereich der Cyanobakterien oder kleiner einzelliger Algen zu suchen sein. Es könnte sich demnach um figurierte Individuen der Produzenten der Mikrobenmatten handeln.

Auffällig ist, daß viele Bereiche nur aus Fragmenten der Schalen bestehen, ohne daß eine Anlösung oder diagenetische Überprägung festzustellen ist. Interessant ist, daß zum Teil kleine Pellets existieren, die bei einer Größe von 30-40 µm nur aus Schalenschill bestehen (Taf. 2c,e). Diese Körper könnten als „Fecal Pellets“ von diatomeenfressenden Tieren gedeutet werden. Taxonomische Untersuchungen der Diatomeenflora erfolgen durch SCHILLER (in prep.). Auf den weißen Flächen, den reinen Diatomeen-Lagen, kommen Dinoflagellaten-zysten offenbar nur untergeordnet vor.

Tafel 2

- a) Hohlform einer Chrysophyceen-Zyste im Diatomit (Schicht 6; Maßstab 10 µm).
- b) Hohlform, die wahrscheinlich von einer Dinoflagellaten-Zyste stammt, in Diatomeenschill aus verschiedenen Diatomeenarten (Schicht 6; Maßstab 20 µm).
- c) Längliches Pellet, eventuell Koprolith, aus sehr kleinen Resten von überwiegend pennaten Diatomeengehäusen (Schicht 6; Maßstab 20 µm).
- d) Fragment eines pennaten Diatomeengehäuses (Schicht 6; Maßstab 5 µm).
- e) Kleines Pellet, eventuell Koprolith, aus Resten von pennaten Diatomeengehäusen und Tonmineralen (Schicht 6; Maßstab 20 µm).
- f) Fragmente von Diatomeen und möglicherweise rezente, ellipsoide Mikrobe (Schicht 6; Maßstab 5 µm).



2.1.4 Chrysopel

Neben den Einzelvorkommen von Chrysophyceen, wie sie offenbar im Sediment immer wieder als Hohlformen oder auch erhaltene Zysten vorliegen, erscheinen die Goldalgen auch in anderen Bereichen des Sedimentes. Innerhalb der Laminite finden sich vereinzelt Lagen von 10 bis etwa 60 μm Mächtigkeit, die aus dicht gepackten kugeligen Objekten bestehen. In einigen Fällen sind laterale Ausdünnungen bzw. Linsenbildung zu beobachten (Taf. 4a,b). Die Größe der einzelnen Kugeln von annähernd 10 μm , ihre Morphologie, die silikatische Erhaltung und die Häufigkeit sprechen für Chrysophyceen-Zysten. Dies stimmt mit den bereits von WUTTKE & RADTKE (1993b: Abb. 5) für Enspel beschriebenen

Chrysophyceen-Zysten überein. Durch Fluoreszenz und Polarisierung ist belegbar, daß die Fossilien silikatisch erhalten sind. Somit handelt es sich um ausgeprägte Chrysophyten-Lagen innerhalb der Laminite, welche möglicherweise weit ausgedehnte Cystenanhäufungen widerspiegelt. Diese Ansammlungen dürften sich auch auf den Schichtflächen wiederfinden lassen. Ähnliche Massenvorkommen sind bisher aus Sieblos (MARTINI & SCHRADER 1988) und Rott (MÖRS 1995) bekannt. Für Messel werden ähnliche Vorkommen angenommen (GOTH 1990), allerdings wurden taphonisch bedingt erst vereinzelt Zysten gefunden (SCHMITZ & ERNST 1994, LIEBIG et al. 1996).

2.1.5 Tuff/Tuffit

Neben den Laminiten sind im See von Enspel zahlreiche Tuff- bzw. Tuffitniveaus zu finden. Sie besitzen besonders für die Taphonomie erhebliche Bedeutung, da Tuffe und Laminite oft eng miteinander verzahnt vorkommen (Taf. 3c,d). Recht gleichmäßig verteilte Bestandteile und viele größere, eckige Komponenten kennzeichnen den sog. „Säulchentuff“ (Schicht 5; =T2) unter Fluoreszenzanregung. Er enthält viele dunkle, nicht fluoreszierende Bestandteile (Inertinit bzw. Erze). Das Gestein weist auch in den tuffitischen Teilen statistisch verteilt Alginit B auf (gelbe Flasern), so daß dann makroskopisch eine Hell-Dunkel-Lamination kaum wahrzunehmen ist. Daneben sind auch Abfolgen von Kristalltuff und Schwarzpelit zu beobachten (Basis Schicht 13; =T6u). Der Schwarzpelit setzt stark verdünnt ein, taschenförmige Einbuchtungen können gehäuft Alginit bzw. Sporinit enthalten (Taf. 3c,d). Einzelne schwarze

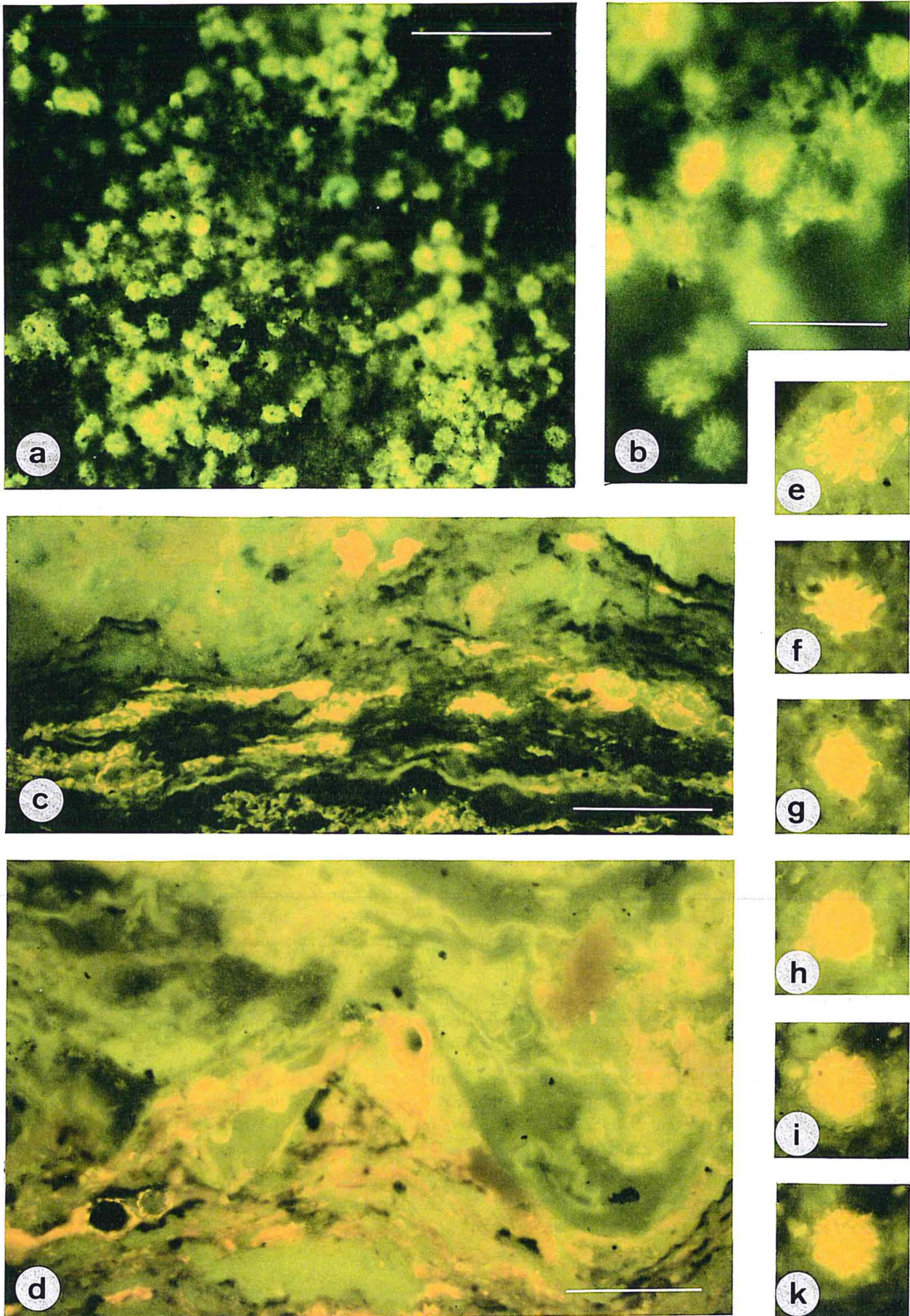
(inertinitische) Partikel befinden sich in der Grundmasse, die eine insgesamt sehr unruhige Schichtung bzw. Lamination aufweist (Taf. 3d).

Der sogenannte Brockentuff (Basis Schicht 3; T1u) weist unterschiedliche Komponenten auf, die sich anhand der Färbung auseinander halten lassen. In einigen Körnern existieren blasenförmige Hohlräume und weitere interne Strukturen. Unter Fluoreszenz zeigt sich grundsätzlich derselbe Innenbau der Komponenten, die Grenzen sind aber weniger deutlich. Der Kristalltuff von Enspel zeigt unter Fluoreszenz deutlich erkennbar die typischen nadelförmigen Kristalle in einer dunklen Grundmasse (Top Schicht 6 (T2); Taf. 4c). Die auch hier existierende starke gelbgrüne Fluoreszenz des Kunstharzes läßt sich als Hilfsmittel für eine bessere Deutung von Internstrukturen heranziehen.

Tafel 3

(alle Aufnahmen unter Fluoreszenz-Auflicht, 420-490 nm)

- a) Massenansammlung von Dinoflagellatenzysten auf unterschiedlichen Schichtflächenebenen eines Laminites (Schicht 6; Maßstab 200 μm).
- b) Regellose Anordnung von Dinoflagellatenzysten auf verschiedenen Schichtflächen eines Laminites (Schicht 6; Maßstab 100 μm).
- c) Übergangsbereich vom Laminit (liegend) in den sogenannten „Säulchentuff“. Zahlreiche, unterschiedlich stark deformierte Dinoflagellatenzysten sind schichtparallel angereichert und bilden typische Lagen von Alginit A (Schichten 6 + 5 (T2); Maßstab 100 μm).
- d) Übergangsbereich vom Laminit (liegend) in den „Säulchentuff“, der taschenförmig in den Laminit eindringt. Mehrere Dinoflagellatenzysten schwimmen dreidimensional erhalten in der silikatischen Grundmasse (Schichten 6 + 5 (T2); Maßstab 100 μm).
- e-k) Beispiele für die choraten Dinoflagellatenzysten aus Enspel bei unterschiedlichen Foci (Schicht 6; Durchmesser der Zysten jeweils etwa 40 μm).



2.2 Laminationsaufbau

Auf der Basis von Proben der durch die Grabung erschlossenen Gesteinsabfolge lassen sich derzeit zwei idealisierte Typen für die Lamination im Enspel-See aufstellen. Auffällig ist eine Abfolge von Algen mit silikatischer Überlieferung, wie Diatomeen und Chrysophyceen in Kombination mit organischer Materie (Abb. 2). Dabei ist ein Wechsel von kleinwüchsigen zu größeren Diatomeen ebenfalls eingeschlossen. Dieses Schema ist dem sehr ähnlich, welches als Beispiel für jahreszeitliche Schichtung durch ZOLITSCHKA (1989, 1990) bereits aus subrezentem Ablagerungen einiger Eifel-Maare vorgestellt wurde. Eine andere Variante des Laminationsaufbaues zeigt sich mit einer Abfolge von tufftischem Material und Massenvorkommen von Dinoflagellaten und organischer Materie, überwiegend Alginit B. Diese Art der Laminenzusammensetzung erinnert stark an kurzfristig in Seen auftretene Ereignisse wie sie etwa bei einer Eutrophierung zu

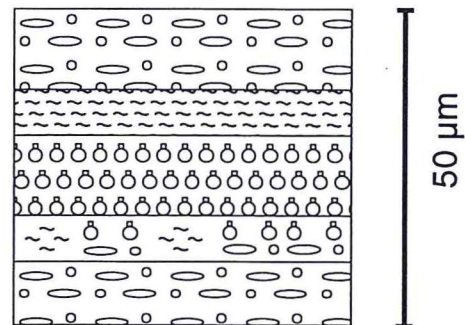
erwarten sind (SCHMIDT 1978). In Verbindung mit der verstärkten Zufuhr von Nährstoffen während eines Tuffeintrages ist eine Überdüngung und daraus resultierende plötzliche Phytoplanktonblüte vorstellbar.

Wie Untersuchungen belegen, sind nicht alle erkannten Gesteinstypen miteinander kombiniert. Es deutet sich an, daß in den Sedimenten des Enspel-Sees zwei Modi der Laminationsbildung erhalten sein könnten. Zum einen eine jahreszeitlich induzierte Lamination, die eventuell auch klimatische Bezüge erlaubt, und zum anderen eine kurzzeitig gesteuerte Lamination, die auf raschen Wechseln von Umweltbedingungen beruht. Klarheit über diese Vermutungen ist aber erst nach einer gründlichen, detaillierten Analyse von mehr zusammenhängendem Material zu erwarten. Dieses liegt inzwischen mit der Forschungsbohrung Enspel von 1996 vor, deren detaillierte Auswertung inzwischen begonnen wurde.

Abb. 2:

Idealisierter Laminationstyp aus dem Enspel-See.

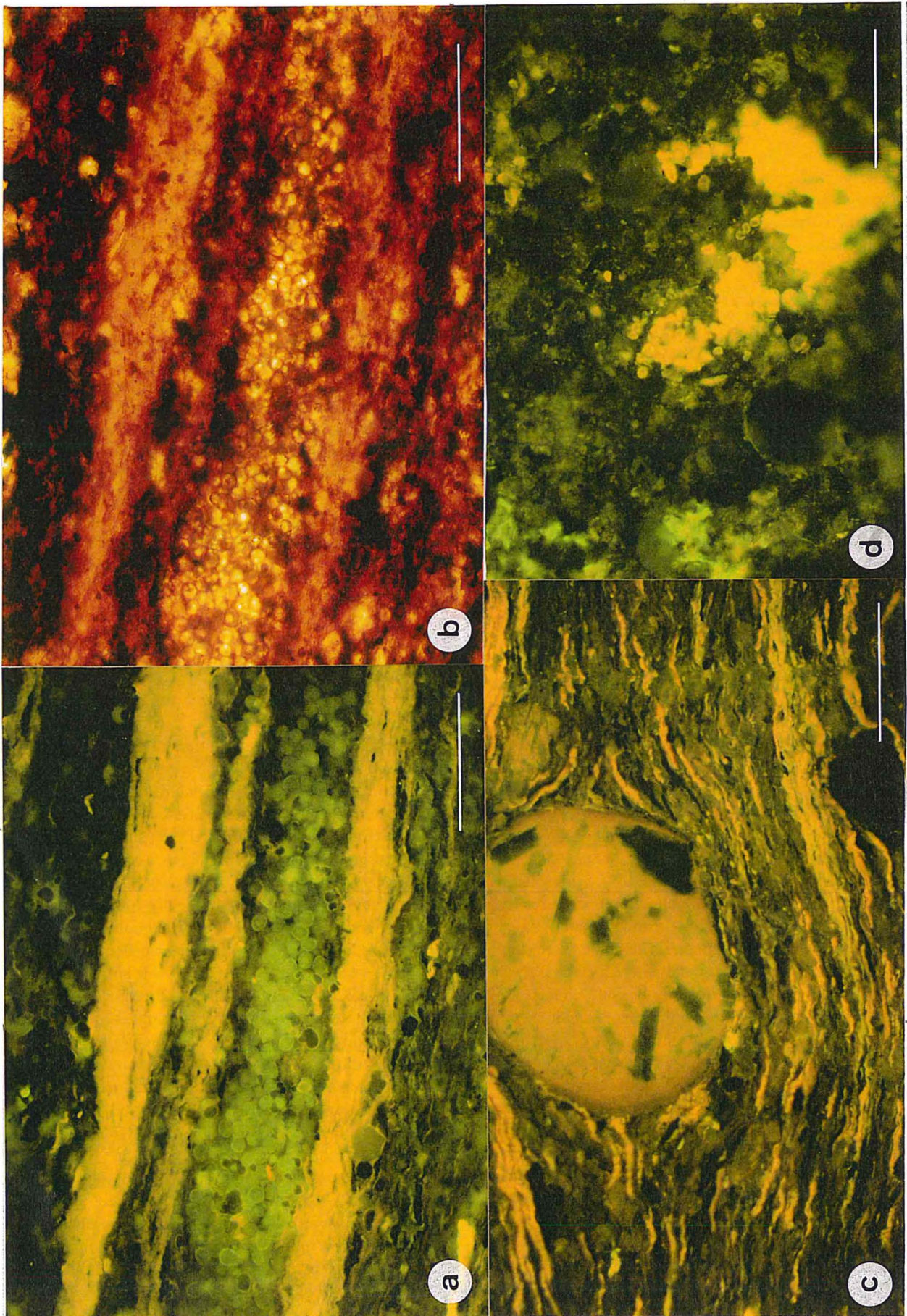
Die Unterscheidung beruht auf Untersuchungen an Sedimenten aus den durch die Grabungen erschlossenen Schichtbereichen.



Tafel 4

(alle Aufnahmen außer b) unter Fluoreszenz-Auflicht, 420-490 nm)

- Ausschnitt aus einem Laminit. Die stark gelb fluoreszierenden Lagen werden von Alginit B gebildet. Die schichtparallele Ansammlung von gleichmäßig großen Kügelchen im Bildmittelpunkt wird durch Chrysophyceenzysten verursacht. Diese lassen sich unregelmäßig verteilt auch innerhalb anderer Laminae feststellen (Schicht 19 (T9); Maßstab 100 µm).
- Wie a), aber bei Durchlicht. Die Lagen mit Alginit B weisen einen undeutlichen Feinbau auf, der möglicherweise auf teilfigurierte Reste von kokkalen Grünalgen oder Filamente von Cyanobakterien zurückzuführen ist (Schicht 19 (T9); Maßstab 100 µm).
- Unterschiedlich durchhaltende und unterbrochene Laminae mit Alginit B. An der Bildbasis ein Klast eines Kristalltuffes, um den die Laminae herumführen. Schwarze Partien innerhalb der Laminae werden überwiegend durch Inertinit erzeugt. Die sehr kleinen, rundlich schwarzen Körper sind Pyritframboide (Top Schicht 6 (T2); Maßstab 100 µm).
- Blick auf eine Schichtfläche mit Mikro-Palynomorphen von durchschnittlich 5 µm Größe. Fluoreszenzfarbe, Größe und Häufigkeit deuten auf figurierte Reste von kokkalen Grünalgen oder Cyanobakterien hin (Schicht 6; Maßstab 100 µm).



2.3 Kurze Betrachtungen zur Taphonomie

Die Vielfalt der Primärproduzenten in den Seesedimenten von Enspel weist größere Ähnlichkeiten zum See von Sieblos als beispielsweise zu dem von Messel auf. Wie in Sieblos ist das Phytoplankton mit zahlreichen verschiedenen Gruppen vertreten, wobei die silikatischen Fossilien etwas dominieren. Die gefundenen Dinoflagellatenzysten sind ähnlich gut erhalten wie die Alge *Tetraedron* im Messel-See (GOTH 1990). Kalkige Überreste fehlen bislang vollständig, Pollen und Sporen sind nur mäßig gut erhalten.

Der für die Erhaltung der Dinoflagellatenzysten interessanteste Abschnitt ist der Übergang vom Lamosit im Liegenden zu dem sogenannten „Säulchentuffit“ im Hangenden (Schichten 6 + 5; Taf. 3c-k). Besonders in diesem Kontaktbereich schwimmen die Algenzysten in dreidimensionaler Erhaltung in der silikatischen Matrix des Tuffes. Eine schnelle Mobilisierung des SiO₂ aus dem Tuff, wahrscheinlich frühdiagenetisch, schuf offenbar die Grundlagen zur Fossilisierung der Planktonten. Eine ähnliche Überlieferung von Palynomorphen ist beispielsweise im Rotliegend des Weidener Beckens beobachtet worden (HARTKOPF-FRÖDER, mdl. Mitt.). Gut bekannt ist eine solche Fossilisierung außerdem von den Pflanzenresten aus dem devonischen Rhynie-Chert (TAYLOR & TAYLOR 1993).

Eine weitere Konservierung erfolgte durch die Auflagerung von Kerogenlagen, eventuell auch durch dünne Tonhäutchen. Diese bewirken zudem, daß sich bei unbearbeiteten Schichtflächen des Lamosites unter dem REM keine Dinoflagellatezysten eindeutig erkennen lassen (Taf. 1).

Verblüffend ist die Feststellung, daß der überlagernde Basalt die Seesedimente offenbar nur geringfügig thermisch beeinflusst hat. Andernfalls müßten die Palynomorphen in den Durch Grabung erschlossenen Gesteinen erheblich stärker degradiert und die Umwandlung des Alginites erheblich weiter fortgeschritten sein. SUMMER & VEROSUB (1992) stellten fest, daß durchaus Temperaturen von nur etwa 200° C für extrusive Vulkanite angenommen werden können, wenn Wasser verfügbar ist. Bei dieser Temperatur würde z.B. das Sporopollenin der Palynomorphen nur geringfügig oder überhaupt nicht beeinflusst werden. Zudem ist auch denkbar, daß zwischen Basaltbasis und Sedimenttop Sedimente unbestimmbarer Mächtigkeit fehlen. Beim Einfließen des heißen Magmas könnten die jüngsten, unverfestigten und wassergesättigten Sedimente verdrängt worden sein. Auch dies betont die besondere taphonomische Situation der Fossilagerstätte Enspel.

3 Vergleichende Beobachtungen

Unter Verwendung der Mikro-Organofazies ist es möglich, einige Überlegungen zum Laminationsaufbau und der Primärproduktion im See von Enspel beizusteuern. Die Untersuchungen zur organischen Primärproduktion belegen zunächst, daß die Diatomeen nicht die einzigen Laminitbildner darstellen. Mittels Fluoreszenz lassen sich einige Liptinit-Anteile des Gesteins verschiedenen Primärproduzenten zuordnen. Nach den bisherigen Untersuchungsergebnissen sind innerhalb der Algenflora nur autochthone Elemente vertreten. Es wird daher angenommen, daß alle Algen tatsächlich zu den jeweiligen Zeiten den See besiedelt haben. Pollen und Sporen sind im gesamten untersuchten Sediment mittels Fluoreszenz belegbar. Ihre Verbreitung schwankt stark und läßt bisher keine Trends erkennen. Der Beitrag dieser Palynomorphen zur Primärproduktion beruht auf dem allochthonen Eintrag von organischem Detritus. Zusammen mit dem mineralischen Input bildet er einen wichtigen Bestandteil im Nährstoffkreislauf.

Die Alginit B-Vorkommen sind wahrscheinlich mit den agglutinierenden Mikrobenmatten identisch. Als Erzeuger werden Cyanobakterien angenommen, die genügend Biomasse liefern könnten, um die Alginitanreicherungen zu erklären. Alginit A wird von

massiert auftretenden Dinoflagellaten-Zysten repräsentiert (*Cleistosphaeridium*, KÖHLER 1997). Sie lassen sich in unfigurierten bis dreidimensional erhalten Erhaltungszuständen nachweisen. Es handelt sich um eine neue Spezies, vergleichbare Individuen aus anderen lakustrinen Tertiär-Fundstellen sind bisher nicht bekannt. Reste der Grünalgen *Botryococcus* und *Tetraedron* wurden im Anschnitt bzw. im Schriff nicht identifiziert, konnten aber eindeutig mit dem REM nachgewiesen werden. Ihre Bedeutung für die Primärproduktion im Gesamtsee wurde noch nicht erfaßt, sie dürften aber für Alginitevorkommen verantwortlich sein. Neben diesen organisch erhaltenen Resten von Primärproduzenten sind solche dominierend, die ein mineralisches Gehäuse ausbilden. Massenansammlungen von Chrysophyceen-Zysten bilden bereichsweise durchgehende Laminen in Form dichtester Kugelpackungen. In den Laminen zwischen diesen Lagen sind ebenfalls Zysten zu finden, häufig sind diese eng mit Vorkommen von Alginit B korreliert. Somit sind Vertreter von drei wichtigen Gruppen des Phytoplanktons, zwei Gruppen benthischer Algen und benthischer Mikroben belegt.

Reste von Primärproduzenten sind aus einigen der anderen deutschen Tertiärfundstellen mit lakustrinen Sedimenten bekannt und ermöglichen einen

vorläufigen Vergleich (Tab. 1). Tertiäre Süßwasser-Dinoflagellaten wurden erstmals aus dem eozänen Geiseltal von KRUTZSCH (1962) beschrieben; drei Gattungen und 5 Arten wurden bestimmt. Diatomeen wurden im Geiseltal ebenfalls gefunden (SCHWARZENHOLZ 1976); nach Expertenansicht handelt es sich aber möglicherweise um rezente Kontamination. In Messel sind Diatomeen nur als fragliche Abdrücke bekannt, in den Laminiten tritt vereinzelt die Süßwasseralge *Botryococcus* auf. Der Hauptanteil an organischer Produktion wurde aber durch die Grünalge *Tetraedron* abgedeckt (GOTH 1990). Dinoflagellaten wurden dort bisher nicht gefunden, ihre Existenz wird aber aufgrund geochemischer Analysen für möglich gehalten (GOTH 1990). Im unteroligozänen Sieblos-See treten die

Gehäuse von Diatomeen gesteinsbildend auf, daneben sind auch weitere Arten von Dinoflagellaten, Chrysophyceen und Nannoplankton vorhanden (MARTINI & SCHRADER 1988). Die Lagerstätte Eckfeld hebt sich durch eine deutlichen Verschiebung der Taxa ab (WILDE et al. 1993). Die Ablagerungen des Geiseltales sind wenn, nur als Einzellokalitäten mit Enspel vergleichbar und zudem sind für die komplette Abfolge viel größere Zeiträume zu veranschlagen (KRUMBIEGEL et al. 1983). Mit der in Enspel vorkommenden Dinoflagellatenspezies stimmen weder die aus Sieblos bekannten Arten noch die Geiseltalformen überein. Die Systematik der Diatomeen und Chrysophyceen wird derzeit bearbeitet (SCHILLER), mit Vergleichsmöglichkeiten ist nach Abschluß dieser Arbeit zu rechnen.

Tab. 1: Vorkommen verschiedener Algengruppen in einigen paläogenen Seeablagerungen Deutschlands. Aufgeführt ist die Zahl der gegenwärtig aus der Literatur bekannten Arten.

Algen	Eckfeld	Enspel	Geiseltal	Hausen	Messel	Sieblos
Charophyten	2	-	-	-	-	1
Chlorophyten	2	2	-	1	2	1
Chrysophyten	1	?2	-	3	1	5
Dinoflagellaten	-	1	5	-	?	1
Diatomeen	1	8	(?17)	2	1	14
Nannoplankton	-	-	-	-	-	2
Zygnematales	1	-	-	-	-	-

4 Schlußfolgerungen

Von den bekannten Lokalitäten scheint die Fundstelle Sieblos dem Enspel-See gegenwärtig am ähnlichsten zu sein. Beide weisen ein ähnlich breites Spektrum an Primärproduzenten in einem räumlich begrenzten Areal auf. Allerdings besteht mit den in Sieblos vorhandenen Karbonatgesteinen ein deutlicher Unterschied zu den Enspel-Sedimenten. Das gehäufte monospezifische Auftreten von Dinoflagellaten stellt offenbar eine Besonderheit der Primärproduktion des Enspel-Sees verglichen mit anderen tertiären Seen dar. Ähnlich differenzierte Ansammlungen von Chrysophyceen-Zysten und Diatomeenschalen im Paläogen sind nur selten beschrieben worden. Erste Schätzungen der Verteilung zeigen, daß regelmäßig wiederkehrende Anhäufungen von Produzenten sowohl in Form von Alginit B als auch als figurierte Reste vorliegen. Dieses Phänomen läßt sich am ehesten auf periodische Entwicklungen wie etwa Algenblüten beziehen, die somit in verschiedenen Algengruppen zu verschiedenen Zeiten erfolgt sein könnten. Der Einfluß jahreszeitlicher Ereignisse und anderer Rhythmen ist damit für die Laminationsentwicklung des Enspel-Sees sehr wahrscheinlich.

Es ist noch nicht ausreichend geklärt, inwiefern Lamination und Variabilität des Phytoplanktons im

Enspel-See auch jährliche oder jahreszeitliche Klimawechsel dokumentieren. Ähnlichkeiten lassen sich aber zum eozänen Eckfeld-See in der Eifel feststellen. Die Ablagerungen dieses Maarsees enthalten Laminarpaare, die aus wechselnden Diatomeen- und Siltsteinlagen bestehen. Diese treten rhythmisch auf und werden als jährliche Warven gedeutet. Als Beleg für jahreszeitliche Zyklizität werden zudem solare Periodizitäten aufgefaßt, die aus den laminierten Ölschiefern ermittelt wurden (MINGRAM 1994). Außerhalb Europas wurden ähnliche Untersuchungen an den eozänen Seen der Green River Formation durchgeführt, deren Laminite ebenfalls als Jahreswarven interpretiert werden (CROWLEY et al. 1986).

Es treten innerhalb der Sedimentabfolge auch Laminite auf, deren Ausbildung eine Unterbrechung oder Veränderung der Sedimentation andeuten. Diese Störungen liegen überwiegend in vulkanischer Aktivität begründet, die sich auf die Produktion im See auswirkten und auch geochemisch nachgewiesen werden konnten (SCHULZ et al. 1997). Die variable Entwicklung der Laminite beruht damit partiell auch auf den raschen Wechseln der Umweltbedingungen in dem vulkanisch geprägten Umfeld rund um den Enspel-See. Es deutet sich an, daß die Laminite mit

einem stärker organischen Gehalt während nährstoffreicher Phasen entstanden und eher an vulkanische Aktivität geknüpft waren. Die Laminiten

mit silikatisch dominierten Produzenten repräsentieren hingegen die normale saisonale Entwicklung während geringer oder fehlender vulkanischer Aktivitäten.

Dank

Ich danke Herrn M. WUTKE (Mainz) und Frau G. RADTKE (Wiesbaden), die mir freundlicherweise Probenmaterial überließen und Schiffe zur Verfügung stellten. Sie ermöglichten es, die Ausgrabungen in Enspel im Jahre 1992 erstmals besuchen und an der Auswertung der Fossilagerstätte teilhaben zu können. Ihnen, sowie Herrn R. GAUPP (Jena), Frau J. KÖHLER (Celle), Herrn H. LUTZ (Mainz), Herrn T. MÖRS (Bonn), Herrn B. M. PIRRUNG (Bremerhaven) und

Herrn W. SCHILLER (Frankfurt/M.) habe ich auch für informative und konstruktive Diskussionen zu danken. Herr M. SCHUDACK (Berlin) vermittelte die Nutzung des REM am Institut für Paläontologie der FU Berlin; Frau C. NUGLISCH (Halle) führte Fotoarbeiten aus. Für kritische Durchsicht und Verbesserungsvorschläge zum Manuskript danke ich Frau M. FELDER (Jena), Herrn K. GOTH (Dresden), Herrn T. MÖRS (Bonn) und Herrn M. SCHUDACK (Berlin).

Literatur

- CLAUSING, A. (1991): Zur Anwendung der Fluoreszenzmikroskopie bei der Untersuchung von Sedimenten, mit Beispielen aus dem saarpfälzischen Rotliegend (Unter-Perm; SW-Deutschland).- *Mainzer geowiss. Mitt.*, **20**: 131-142, 3 Abb.; Mainz.
- CLAUSING, A. (1992): Fluoreszenzmikroskopische Untersuchungen an Seesedimenten des Saar-Nahe Beckens (Ober-Karbon - Unter-Perm; SW-Deutschland).- *Leica Mitt. f. Wiss. und Tech.*, **10** (3): 72-79, 3 Abb., 3 Taf.; Wetzlar. [Korrigenda: *10* (5): 188, Juni 1993].
- CLAUSING, A. (1993): Mikro-Organofazies lakustriner Horizonte im saarpfälzischen Rotliegend (Permokarbon; SW-Deutschland).- In: DABER, R., RÜFFLE, L. & WENDT, P. B. [eds.]: *Pflanzen der geologischen Vergangenheit.*- Festschrift Prof. Wilfried Krutzsch, 61-72, 3 Abb.; Berlin.
- COOK, A. C., HUTTON, A. C. & SHERWOOD, N. R. (1981): Classification of oil shales.- *Bull. Centres Rech. Explor.-Prod. Elf-Aquitaine*, **5**: 353-381, 4 Abb., 6 Tab., 2 Taf.; Pau.
- CROWLEY, K. D., DUCHON, C. E. & RHI, J. (1986): Climate record in varved sediments of the Eocene Green River Formation.- *J. Geophys. Res.*, **91**: 8637-8647.
- FELDER, M., WEIDENFELLER, M. & WUTKE, M. (1998): Lithologische Beschreibung einer Forschungsbohrung im Zentrum des oberoligozänen, vulkano-lakustrinen Beckens von Enspel/Westerwald (Rheinland-Pfalz; Bundesrepublik Deutschland).- *Mainzer geowiss. Mitt.*, **27**: 101-136, 4 Abb., 3 Taf.; Mainz.
- GAUPP, R. & WILKE, A. (1998): Zur Sedimentologie der oberoligozänen Seesedimente von Enspel/Westerwald.- *Hallesches Jahrb. Geowiss.*, **20**: 97-118, 33 Abb., 2 Tab.; Halle (S.).
- GOTH, K. (1990): Der Messeler Ölschiefer - Ein Algenlaminit.- *Courier Forsch.-Inst. Senckenberg*, **131**, 143 S., 27 Abb., 9 Tab., 20 Taf.; Frankfurt/M.
- HOTTENROTT, M. (1988): Palynostratigraphische Untersuchungen im Oligozän von Sieblos an der Wasserkuppe/Rhön.- *Beitr. Naturkde. Osthessen*, **24**: 93-98, 19 Abb.; Fulda.
- KÖHLER, J. (1997): Die Fossilagerstätte Enspel. Vegetation, Vegetationsdynamik und Klima im Oberoligozän.- *Dissertation Univ. Tübingen*, 211 S., 54 Abb., 17 Taf.; Tübingen.
- KRUMBIEGEL, G., RÜFFLE, L. & HAUBOLD, H. (1983): Das eozäne Geiseltal ein mitteleuropäisches Braunkohlenvorkommen und seine Tier- und Pflanzenwelt.- *Die neue Brehm-Bücherei*, **237**, 227 S., 175 Abb., 8 Tab.; Wittenberg Lutherstadt (Ziemschen).
- KRUTZSCH, W. (1962): Die Mikroflora der Geiseltalbraunkohle. Teil III Süßwasserdinoflagellaten aus subaquatisch gebildeten Blätterkohlagen des mittleren Geiseltales.- *Hallesches Jb. mitteldt. Erdg.*, **4**: 40-45, 1 Abb., Taf. 10-11; Berlin.
- LIEBIG, K., FREY, E., THEOBALD, G. & WILLIS, P. M. A. (1996): Taphonomy of crocodylians from the Eocene Lake Messel (Darmstadt, Germany) with implications for the sedimentary environments.- *N. Jb. Geol. Paläont. Abh.*, **199** (2): 269-293, 9 fig.; Stuttgart.
- MARTINI, E. & ROTHE, P. (1988): Die unteroligozäne „Braunkohlen“-Lagerstätte Sieblos an der Wasserkuppe/Rhön (Geologie, Paläontologie, Paläoökologie, Paläogeographie).- *Beitr. Naturkde. Osthessen*, **24**: 7-25, 7 Abb., 1 Tab.; Fulda.
- MARTINI, E. & SCHRADER, H. (1988): Diatomeen, Chrysophyceen, Nannoplankton, Dinoflagellaten und Schwammnadeln aus dem Unter-Oligozän von Sieblos/Rhön.- *Beitr. Naturkde. Osthessen*, **24**: 55-60, 10 Abb., 1 Tab.; Fulda.
- MINGRAM, J. (1994): Sedimentologie und Zyklizität laminiertes eozäner Ölschiefer von Eckfeld/Eifel.- *Mainzer Naturwiss. Archiv Beiheft*, **16**, 55-85, 10 Abb., 3 Tab., 4 Taf.; Mainz.

- MÖRS, T. (1995): Die Sedimentationsgeschichte der Fossilagerstätte Rott und ihre Alterseinstufung anhand neuer Säugetierfunde (Oberoligozän, Rheinland).- Courier Forsch.-Inst. Senckenberg, **187**, 129 S., 14 Abb., 14 Taf.; Frankfurt/M.
- PIRRUNG, B. M. (1997): Zur Genese der tertiären Seesedimente von Eckfeld (Eifel), Enspel (Westerwald), Messel (Sprendlinger Horst) und Sieblos (Rhön): Geologische und geophysikalische Untersuchungen.- Dissertation Univ. Jena, 162 + 4 S., 60 Abb., 23 Tab.; Jena.
- SCHMIDT, E. (1978): Ökosystem See. Das Beziehungsgefüge der Lebensgemeinschaft im eutrophen See und die Gefährdung durch zivilisatorische Eingriffe.- 3. Aufl., Biol. Arbeitsbücher, **12**, 171 S., 37 Abb., 28 Tab., 5 Fotos; Heidelberg (Quelle & Meyer).
- SCHMITZ, M. & ERNST, K. (1994): Microspherical objects within the Eocene Messel Formation (Messel Oilshale Pit/Germany).- *Kaupia*, **4**: 13-19, 8 figs.; Darmstadt.
- SCHULZ, U., LEYTHAEUSER, D. & SCHWARK, L. (1997): High-resolution geochemical investigation of an Oligocene lacustrine paleoenvironment - Impact of volcanic activity on biological communities of the fossil Enspel maar lake.- Würzburger geogr. Manusk., **41**: 195-196, 1 Abb.; Würzburg.
- SCHWARZENHOLZ, W. (1976): Diatomeen aus mitteleozänen Trichtern der Geiseltalkohle.- Abh. Zentr. Geol. Inst., Pal. Abh., **26**: 16-17, 1 Tab.; Berlin.
- SIEBER, G., WUTTKE, M. & RADTKE, G. (1993): Zur Geologie von Enspel.- In: Ortsgemeinde Enspel [ed.]: 100 Jahre Industrie-Dorf Enspel, gestern und heute! Ein Dorf erzählt.- 268-273, 2 Abb.; Enspel.
- STORCH, G., ENGESESSER, B. & WUTTKE, M. (1996): Oldest fossil record of gliding in rodents.- *Nature*, **379** (6564): 439-441, 4 Abb.; London.
- SUMMER, N. S. & VEROSUB, K. L. (1992): Diagenesis and organic maturation of sedimentary rocks under volcanic strata, Oregon.- *Am. Ass. Petrol. Geol. Bull.*, **76** (8): 1190-1199, 5 Abb., 3 Tab.; Tulsa/OK.
- TAYLOR, T. N. & TAYLOR, E. L. (1993): The biology and evolution of fossil plants.- 982 pp., zahlr. Abb.; Englewood Cliffs/NJ (Prentice Hall).
- THIELE-PFEIFFER, H. (1988): Die Mikroflora aus dem mitteleozänen Ölschiefer von Messel bei Darmstadt.- *Palaeontographica*, **B211** (1-3): 1-86, 2 Abb., 16 Taf., 1 Beil.; Stuttgart.
- WILDE, V., FRANKENHÄUSER, H. & LUTZ, H. (1993): Algenreste aus den mitteleozänen Sedimenten des Eckfelder Maars bei Manderscheid in der Eifel.- *Mainzer Naturwiss. Archiv.*, **31**: 127-148, 9 Abb.; Mainz.
- WUTTKE, M. & RADTKE, G. (1993a): Fossilisation und Diagenese lakustriner benthischer Mikrobenmatten.- In: AMLER, M. R. W. & TIETZE, K.-W. [eds.]: *Sediment 93.- 8. Sedimentologen-Treffen 3.-5. Juni 1993 in Marburg Kurzfassungen, Geologica et Palaeontologica Sdbd. 1993*, S. 106; Marburg.
- WUTTKE, M. & RADTKE, G. (1993b): Agglutinierende Mikrobenmatten im Profundal des mitteleozänen Eckfelder Maar-Sees bei Manderscheid/Eifel (Bundesrepublik Deutschland).- *Mainzer naturwiss. Archiv*, **31**: 115-126, 7 Abb.; Mainz.
- ZOLITSCHKA, B. (1989): Jahreszeitlich geschichtete Sedimente aus dem Holzmaar und dem Meerfelder Maar.- *Z. dt. geol. Ges.*, **140** (1): 25-33, 4 Abb., 1 Tab., 1 Taf.; Hannover.
- ZOLITSCHKA, B. (1990): Spätquartäre jahreszeitlich geschichtete Seesedimente ausgewählter Eifelmaare. Paläolimnologische Untersuchungen als Beitrag zur spät- und postglazialen Klima- und Besiedlungsgeschichte.- *Docum. Naturae*, **60**, 226 S., 48 Abb., 18 Tab., 29 Taf.; München.

Anschrift des Autors:

Dr. Andreas Clausing
 Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
 Institut für Geologische Wissenschaften und Geiseltalmuseum
 Domstr. 5
 D-06108 Halle (Saale).
 e-mail: clausing@geologie.uni-halle.de