Mainzer naturwiss. Archiv	38	S. 39–91	84 Abb.	Mainz 2000

Feinstratigraphische Untersuchungen der Kernbohrung Enspel 1991(2) unter besonderer Berücksichtigung der kieseligen Mikrofossilien

WOLFGANG SCHILLER

Kurzfassung

Die limnischen bituminösen Sedimentabschnitte der Kernbohrung Enspel 1991(2) wurden mit Hilfe eines Rasterelektronenmikroskopes unter besonderer Berücksichtigung der kieseligen Mikrofossilien feinstratigraphisch untersucht. Neben Diatomeen (Bacillariophyceae) wurden die kieseligen Zysten von Goldalgen (Chrysophyceae) sowie kieselige Schwammnadeln (Porifera: Spongillidae) bearbeitet. Ferner wurden die Grünalgen (Chlorophyceae) *Tetraedron* und *Botryococcus* gefunden. Die Auswertung der Ergebnisse deutet auf eine annähernd gleichmäßige Verteilung der Mikrofossil-Arten in diesem Bohrkernmaterial hin. Durch diagenetische Veränderungen im Sediment wurden kieselige Fossilreste mehr oder weniger stark weggelöst. In einigen Sedimentabschnitten wurde amorphes SiO_2 in Schalenhohlräumen wieder ausgefällt, so daß es zur Bildung von Steinkernen kam.

Abstract

Microstratigraphical investigations of drill core Enspel 1991(2)
with special consideration of siliceous microfossils

Limnic bituminous sediments of drill core Enspel 1991(2) have been examined by means of SEM techniques for siliceous microfossils like diatoms, cysts of Chrysophyceae and siliceous sponge spicules. In addition remains of *Tetraedron* and *Botryococcus* (Chlorophyceae) have been found. The microfossil species seem to be homogeneous distributed in the core material. Caused by diagenesis siliceous microfossils are not preserved the same way. Some of them show little solution, some of them are totally dissolved and a few of them are transformed to stony casts.

Inhalt

1. Einleitung 40
2. Untersuchungsmethoden 40
3. Beschreibung der untersuchten Proben der Kernbohrung Enspel 1991(2) 42
4. Beschreibung der untersuchten Mikrofossilien 53
4.1 Kieselalgen 53
4.2 Goldalgen 58
4.3 Zweiteilige Kieselzysten 62
4.4 Grünalgen 62
4.5 Schwämme 64
4.5.1 Monaxone, Amphioxe 65
4.5.2 Amphidisken 65
4.5.3 Sphaeraster 66
4.5.4 Beschreibung der Schwammgattungen aufgrund der gefundenen Amphidisken 66
5. Diagenetische Veränderungen des Enspeler Ölschiefers 67

6. Danksagung 69
7. Schriftenverzeichnis 69

1. Einleitung

Die Untersuchung der Kernbohrung Enspel 1991 (2) ist ein Teilbereich meiner Dissertation „Oligozäne und miozäne Diatomeen-Vergesellschaftungen in terrestrischen Ablagerungen Deutschlands" und wird unabhängig von der gesamten Arbeit veröffentlicht. Ursprünglich sollte dieser Beitrag in einem speziellen Band zum Enspel-Symposium 1995 erscheinen, dessen Fertigstellung sich jedoch bislang verzögerte.

1991 wurden insgesamt 3 Kernbohrungen im Steinbruch der Fa. Adrian Basalt GmbH (Enspel/ Westerwald) abgeteuft, um die Lagerungsverhältnisse und Mächtigkeit dieser oberoligozänen limnischen Sedimente zu erkunden. Die Bohrung 1991(2) umfaßte die größte Mächtigkeit an bituminösen, feingeschichteten Sedimenten und wurde deshalb für eine feinstratigraphische Untersuchung ausgewählt.

2. Untersuchungsmethoden

Bei der Beprobung des Bohrkernmaterials wurde besonders darauf geachtet, nur Material zu entnehmen, das während der Lagerung noch nicht aufblätterte oder Schwundrisse zeigte, um eine mögliche Verunreinigung zu verhindern. In erster Linie wurden die bituminösen Sedimente (= Schwarzpelit, Ölschiefer) in etwa regelmäßigen Abständen beprobt. Ferner wurde auch Material aus der Ölschiefer / Staub- und Aschentuffit - Wechsellagerung entnommen, welches möglicherweise umgelagert oder aufgearbeitet wurde.

Da für die Untersuchungen mit dem Rasterelektronenmikroskop (REM) nur kleine Probenmengen nötig sind, konnte genügend gut erhaltenes Material gewonnen werden. Nachdem die Proben völlig trocken waren, wurden die Sedimentklötzchen nochmals aufgespalten und formatisiert, um frische und unbeschädigte Sedimentoberflächen zu erhalten. Wie die Erfahrung mit ähnlichen Sedimenten zeigte, sollten die Proben nur 2 bis 3 mm dick sein, bevor sie mit einem Zweikomponentenkleber dauerhaft auf die REM-Objektträger aufgeklebt werden. Dickere Sedimentproben neigen unter Umständen dazu Luftfeuchtigkeit aufzunehmen, aufzublättern und sich dann im REM aufzuladen.

Insgesamt wurden auf diese Weise 98 bituminöse Sedimentproben willkürlich ausgewählt und präpariert (siehe Abb. 1), mit einer Gold- bzw. Kohlenstoffoberfläche versehen und dann mit Hilfe des REM untersucht und dokumentiert.

Die Untersuchung von Sedimentflächen mit dem REM bietet sich besonders dann an, wenn man eine Veränderung der Sedimentkomponenten und speziell der Mikrofossilien durch Aufbereitung, Mazeration und Anreicherung verhindern will. Diagenetische Erscheinungen wie z.B. Lösungserscheinungen und Ausfällungen oder die Kompaktion des Sedimentes lassen sich auf diese Weise leichter beurteilen.

Stufenförmig aufgebrochene Sedimentlagen eignen sich ganz besonders für derartige Untersuchungen, da sie oftmals verschiedene Abfolgen unterschiedlicher Organismen sowie die Mächtigkeiten der Laminae zeigen (siehe Abb. 9).

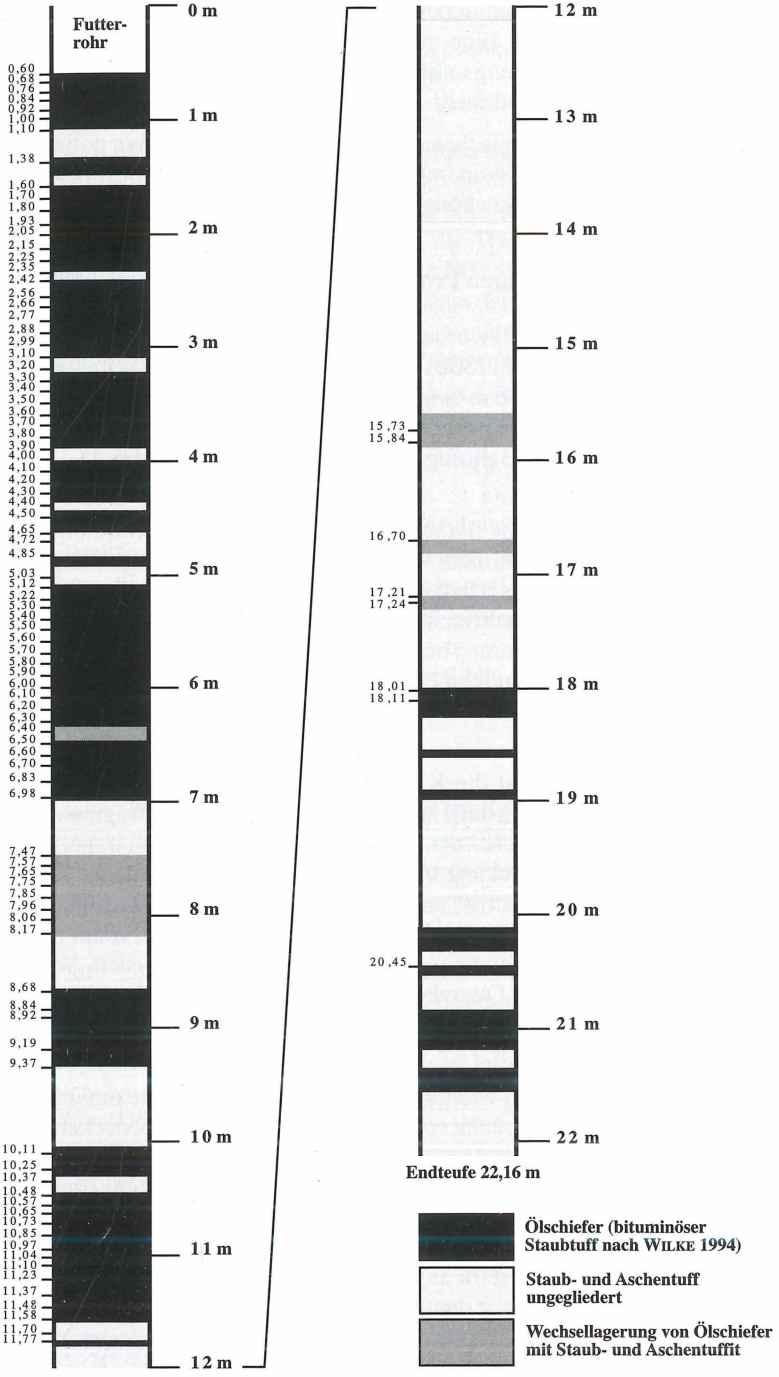


Abb. 1: Kernbohrung Enspel 1991(2): Schematische Profildarstellung nach WILKE (1994), stark vereinfacht und modifiziert. Auf den linken Profilseiten wurden die Probenentnahmen mit den zugehörigen Profiltiefen angegeben.

Das Hauptinteresse der Untersuchungen galt den kieseligen Mikroorganismen sowie deren diagenetischen Veränderungen. Eine an das REM gekoppelte EDX-Analysenanlage ermöglichte die Elementbestimmung unbekannter Komponenten und die eindeutige Identifikation der Kieselsubstanz im Sediment.

Neben den elektronenmikroskopischen Analysen wurden auch einige polierte Dünnschliffe mit einem Fluoreszenzmikroskop untersucht, um den Anteil der Chlorophycee *Botryococcus* im Sediment abschätzen zu können.

3. Beschreibung der untersuchten Proben der Kernbohrung Enspel 1991(2)

Die Kernbohrung Enspel 1991(2) wurde am Stöffel, im Basaltsteinbruch der Fa. Adrian Basalt GmbH, an der Lokalität R: 21730611 und H: 9478076 bei 420,01 m über NN abgeteuft und bei einer Endteufe von 22,16 m eingestellt, ohne das Liegende der tertiären Sedimente und Vulkanite zu erreichen. Die Beschreibung der untersuchten Proben erfolgt von oben nach unten. Das Futterrohr der Bohrung reichte bis 0,59 m (siehe Abb. 1).

Profiltiefe 0,60 m:
Die oberste Probe zeigt eine sehr starke Anlösung und Wegfuhr der amorphen Kieselsubstanz der Mikrofossilien. Im Sediment weisen sehr viele Abdrücke von kugeligen Chrysophyceen-Zysten auf einen ehemals fossilreichen Sedimentabschnitt hin. Abdrücke der Kieselalge *Cymbella* sp. konnten mehrfach identifiziert werden. Monaxone und Amphidisken von Süßwasserschwämmen kommen nur in Fragmenten mit starken Anlösungserscheinungen vor. Im Sediment sind zahlreiche Pyritframboide und sekundäre Gipskristalle enthalten.

Profiltiefe 0,68 m:
In diesem Sedimentabschnitt ist die Kieselsäurelösung deutlich schwächer. Zwar findet man immer noch zahlreiche sehr stark korrodierte Schwammnadelfragmente, jedoch überwiegen relativ gut erhaltene Monaxone. Einige Monaxone besitzen ungefähr in der Mitte eine knotenförmige Nadelverdickung. Als Besonderheit ist zu erwähnen, daß der größere Teil der Monaxone eine schlitzartige und unterschiedlich lange Einkerbung in Längsrichtung aufweist (siehe Abb. 57). Wie auch in der vorherigen Probe erkennt man viele Pyritframboide und Abdrücke von unbestimmbaren Chrysophyceen-Zysten. Vereinzelt enthält die Probe auch (xenolithische) Quarzkörner, die vermutlich durch vulkanischen Einfluß leicht korrodiert wurden (siehe Abb. 77).

Profiltiefe 0,76 m:
Auch in dieser Probe findet man wieder viele geschlitzte Monaxone mit und ohne zentrale Verdickung. Kugelförmige Abdrücke von Chrysophyceen-Zysten bedecken große Flächen. In diesem Sedimentabschnitt wurde nicht nur Kieselsäure gelöst und weggeführt sondern auch wieder aus diffundierenden SiO_2-haltigen Lösungen ausgefällt. Einige Kieselalgen der Arten *Cymbella* sp. und *Gomphonema bohemicum* liegen in Steinkernerhaltung vor, wo amorphe Kieselsubstanz im Druckschatten der Schalenhohlräumen ausgeschieden wurde. In einigen Fällen konnten auch stark angelöste Schalenfragmente von *Cymbella* sp. beobachtet werden. Das Sediment weist deutliche Kompaktionsspuren auf.

Profiltiefe 0,84 m:
Bei 0,84 m können keine geschlitzten Monaxone mehr registriert werden. Jedoch kommen normal ausgebildete Schwammnadeln häufig vor. In vielen Fällen zeigen sie starke Lö-

sungserscheinungen in Form von punktförmiger Korrosion (kreisrunde Löcher). *Cymbella* sp. liegt vereinzelt in Steinkernerhaltung vor. Noch immer findet man massenhaft kugelige Abdrücke von Chrysophyceen-Zysten im Sediment.

Profiltiefe 0,92 m:
Zu den bereits bei 0,84 m beschriebenen Komponenten treten erstmals zwei weitere Diatomeen-Arten hinzu. Stellenweise findet man viele Schalenfragmente von *Fragilaria* cf. *construens* (siehe Abb. 2). Ferner kann man häufig röhrenförmige Abdrücke von *Melosira undulata* erkennen. In einigen Hohlräumen blieben die Thekendiski der zentrischen Diatomeen-Schalen erhalten, während die zylindrischen Mantelbereiche völlig weggelöst wurden. Unbestimmbare Monaxone und die Amphidisken der Gattung *Ephydatia* zeigen deutliche Lösungserscheinungen. Im Sediment liegen erstmals die stark deformierten Zellwände der Grünalge *Tetraedron* sp. fein verteilt vor. Zahlreiche Pyritframboide und sekundäre Gipskristalle gehören zu dem Erscheinungsbild dieses Sedimentabschnittes.

Profiltiefe 1,00 m:
Die Häufigkeit von *Melosira undulata* nimmt deutlich zu. Jedoch ist der Erhaltungszustand der Kieselschalen unverändert schlecht (siehe Abb. 3). Die Länge der röhrenförmigen Kolonie-Abdrücke erreicht maximal 250 µm. Außer Abdrücken von *Melosira undulata* findet man auch massenhaft Abdrücke von ca. 15 µm langen, unbestimmbaren pennaten Diatomeen. *Cymbella* sp. kann nur anhand einiger stark korrodierter Schalenfragmente nachgewiesen werden. Korrodierte Schwammnadeln sind vertreten durch glatte Monaxone (mit und ohne Verdickung), morgensternartige Sphaeraster sowie Amphidisken von *Ephydatia* sp. Einige Bruchflächen von Monaxonen zeigen deutliche Anlösungsspuren. *Tetraedron* sp. ist sehr viel besser erhalten als in der vorherigen Probe. Erstmals kann auch die Grünalge *Botryococcus* cf. *braunii* beobachtet werden.

Profiltiefe 1,10 m:
Fragilaria cf. *construens* und *Cymbella* sp. liegen häufig als stark angelöste Schalenfragmente vor. Im Sediment erhaltene, aber nicht mehr identifizierbare Abdrücke von zahllosen pennaten Diatomeen deuten auf eine sehr individuenreiche Diatomeen-Flora hin. Amphidisken gehören zur Gattung *Ephydatia*. Erstmals wurde auch eine ellipsoide Chrysophyceen-Zyste gefunden, die vermutlich der Gattung *Carnegia* angehört.

Profiltiefe 1,38 m:
Der Erhaltungszustand der kieseligen Mikrofossilien in dieser Probe schwankt sehr stark. Einerseits findet man unzählige Abdrücke pennater Diatomeen (u.a. die kaum noch identifizierbaren Reste von *Fragilaria* sp. und *Cocconeis* sp.) im Sediment, andererseits liegen in unmittelbarer Nachbarschaft hierzu Schwammnadeln, die nur wenig oder fast gar nicht angelöst sind. Es handelt sich dabei um Amphidisken der Gattung *Ephydatia* und um unbestimmbare Monaxone. Erstmals kommen auch einige zweiteilige Kieselzysten vor, deren unterschiedlich große, uhrglasartigen Schalenhälften voneinander getrennt sind. Reste von *Tetraedron* sp. zeigen deutliche Kompaktionserscheinungen. Die untersuchte Probe enthält auch Pyritframboide mit gut erhaltenen Kristallen.

Profiltiefe 1,60 m:
In diesem Sedimentabschnitt findet man massenhaft und flächendeckend Chrysophyceen-Zysten vom Typ Cysta sphaerica (siehe Abb. 4). Viele dieser Zystenschalen wurden nicht weggelöst und sind relativ gut erhalten. *Melosira undulata*, *Fragilaria* cf. *construens* und *Cymbella* sp. zeigen sehr starke Anlösungserscheinungen und kommen recht häufig vor.

Stellenweise enthält diese Sedimentprobe nur noch die Abdrücke kleiner pennater Diatomeen (siehe Abb. 5). Wenige Exemplare von *Gomphonema bohemicum* und *Fragilaria* cf. *construens* liegen in Steinkernerhaltung vor. Dies gilt auch für einige Chrysophyceen-Zysten. Monaxone sind sehr schwach bedornt und zeigen nur geringe Korrosionsspuren. Amphidisken lassen sich der Gattung *Ephydatia* zuordnen. *Tetraedron* sp. und einige Pollenkörner spielen nur eine untergeordnete Rolle.

Profiltiefe 1,70 m:
Der Anteil an Monaxonen nimmt deutlich zu. Ihre Oberfläche weist häufig starke Korrosionsspuren auf. Sphaeraster findet man mit unterschiedlich vielen, stachelartigen Fortsätzen. Die Amphidisken der Gattungen *Ephydatia* und *Radiospongilla* sind stark korrodiert und auch häufig zerbrochen. Die Schalen der Kieselalgen sind weitgehend weggelöst und nur noch als Abdrücke im Sediment erhalten. Anhand der Schalenumrisse lassen sich u.a. *Pinnularia* sp. und *Fragilaria* sp. identifizieren. Abdrücke von Chrysophyceen-Zysten kommen nur gelegentlich vor. Die Reste von *Tetraedron*-Zellen besitzen einen wesentlichen Anteil an der Sedimentzusammensetzung.

Profiltiefe 1,80 m und 1,93 m:
Diese beiden Sedimentproben ähneln sehr stark dem zuvor beschriebenen Profilabschnitt. Zusätzlich ist ein hoher Anteil an zweiteiligen Kieselzysten zu erwähnen. Monaxone zeigen eine feine Bedornung. Ferner konnte bei den Diatomeen-Abdrücken *Gomphonema bohemicum* erkannt werden.

Profiltiefe 2,05 m:
In einer Bohrtiefe von 2,05 m scheinen die kieseligen Mikrofossilien etwas besser als bisher erhalten zu sein. Neben den zahlreichen unbestimmbaren Diatomeen-Abdrücken findet man aber auch sehr viele Schalenfragmente von *Pinnularia* sp., *Cymbella* sp., *Gomphonema bohemicum* und *Melosira undulata*. Außer glatten Monaxonen kommen auch leicht bedornte Schwammnadeln sowie Sphaeraster vor. Die Amphidisken lassen sich den Gattungen *Ephydatia* und *Radiospongilla* zuordnen. Alle Schwammnadeln zeigen kaum oder nur mäßige Korrosionsspuren. Chrysophyceen-Zysten vom Typ Cysta sphaerica sowie wenige zweiteilige Kieselzysten konnten ebenfalls beobachtet werden. Zahlreiche Pyritframboide besitzen stark korrodierte Kristalle.

Profiltiefe 2,15 m:
Melosira undulata ist die häufigste Kieselalge dieses Abschnittes. Ihre Theken bilden bis zu 90 µm lange, zusammenhängende Ketten. Ihr Erhaltungszustand ist deutlich schlechter als in der vorangegangenen Probe. Zahllose, bis zu ca. 15 µm große Schalen pennater Diatomeen sind völlig weggelöst und ihre Abdrücke im Sediment lassen sich artlich nicht mehr bestimmen. Neben glatten Monaxonen und Sphaerastern findet man auch Amphidisken der Gattung *Ephydatia*. Pyritframboide sind häufig sekundär angelöst (siehe Abb. 78).

Profiltiefe 2,25 m und 2,35 m:
Die Fossilvergesellschaftung und der Erhaltungszustand dieser beiden Sedimentproben ist in etwa vergleichbar mit der vorangegangenen Probe. Neben den bereits erwähnten Organismenresten konnten zusätzlich Schalenfragmente von *Pinnularia* sp. und *Cymbella* sp. identifiziert werden. Außerdem findet man zahlreiche (überwiegend geschlossene) zweiteilige Kieselzysten, Zellwandreste von *Tetraedron* sp. und bei 2,35 m einige Pollenkörner.

Profiltiefe 2,42 m:
In diesem Profilabschnitt liegt eine größere Ansammlung gleichartiger, schwach bedornter Monaxone (siehe Abb. 44, 50). Dieses konzentrierte und auch dreidimensionale Vorkommen von Schwammnadeln deutet auf einen an dieser Stelle im Sediment zerfallenen Schwammkörper hin. In seinem Zentrum lassen sich kaum Sedimentpartikel erkennen, was bei einer Zusammenschwemmung von Monaxonen wahrscheinlich wäre. Fast alle Skleren dieses Gebildes zeigen eine leichte, punktförmige Korrosion der Kieselsubstanz. In der näheren Nachbarschaft des Schwammrestes befinden sich mehr oder weniger stark angelöste Schalenfragmente von *Cymbella* sp. Ähnlich schlecht ist der Erhaltungszustand von *Melosira undulata* im umgebenden Sediment. Gut erhaltene (geschlossene) zweiteilige Kieselzysten spielen nur eine untergeordnete Rolle, während die Abdrücke von kugeligen Chrysophyceen-Zysten Massenvorkommen anzeigen. Auffälligerweise findet man in dieser Sedimentprobe auch einige sehr gut erhaltene Monaxone mit ballonartiger Verdickung (siehe Abb. 54).

Profiltiefe 2,56 m, 2,66 m, 2,77 m, 2,88 m und 2,99 m:
Diese Sedimentproben unterscheiden sich nur ganz unwesentlich voneinander. In allen Proben können glatte und leicht bedornte Monaxone sowie Sphaeraster beobachtet werden. Amphidisken gehören den Gattungen *Ephydatia* und *Radiospongilla* an. Die Kieselalgen *Melosira undulata*, *Pinnularia* sp. und *Cymbella* sp. sind schlecht erhalten oder auch völlig weggelöst. Unbestimmbare, bis zu 15 µm große pennate Diatomeen, zweiteilige Kieselzysten und *Tetraedron*-Zellen findet man in jedem Probenabschnitt recht häufig. Abdrücke von weggelösten Chrysophyceen-Zysten lassen sich besonders häufig bei 2,56 m beobachten. Die Probe bei 2,99 m enthält einige Pollenkörner.

Profiltiefe 3,10 m:
Bei 3,10 m ist erstmals ein Massenvorkommen von *Gomphonema bohemicum* nachweisbar. Die Schalen sind jedoch oberflächlich stark angelöst und stellenweise nur noch fragmentarisch erhalten. Eventuell lassen sich auch zahlreiche, bis zur Unkenntlichkeit überprägte Abdrücke kleiner pennater Diatomeen auf diese Art zurückführen. Außer deformierten Zellwandresten von *Tetraedron* sp. und wenigen, relativ stark bedornten Monaxonen und Sphaerastern konnte auch eine ca. 8 µm große Barytrosette beobachtet werden (siehe Abb. 75).

Profiltiefe 3,20 m, 3,30 m, 3,40 m und 3,50 m:
Diese vier untersuchten Proben können aufgrund ihrer ähnlichen Ausbildung zusammengefaßt werden. Sie enthalten relativ lange (bei 3,40 m sogar bis zu 250 µm messende), zusammenhängende und stark angelöste Frusteln von *Melosira undulata*. Kleine, bis zu ca. 15 µm lange pennate Diatomeen sind nur noch als Abdrücke im Sediment überliefert und nicht näher bestimmbar. *Cymbella* sp. und *Fragilaria* sp. können anhand vereinzelter Schalenfragmente identifiziert werden. Bei 3,50 m kam es vereinzelt zu einer Steinkernbildung in den Diatomeen-Schalen. In dieser Sedimentsequenz zeigen die meisten Monaxone eine schwach bedornte Oberfläche und sind in der Regel leicht korrodiert. Daneben findet man vereinzelt bis zu 40 µm große, mit langen Dornen ausgestattete Exemplare. Sphaeraster kommen besonders häufig bei 3,30 m vor. Die Amphidisken gehören den Gattungen *Ephydatia* und *Radiospongilla* an. Der Anteil der Zellwandreste von *Tetraedron* sp. nimmt bei 3,50 m gegenüber den vorherigen Proben sehr stark zu. Abdrücke von Chrysophyceen-Zysten sind in allen Proben zahlreich vorhanden.

Profiltiefe 3,60 m:
Bei 3,60 m bilden die Zellen von *Tetraedron* sp. die Hauptkomponente des Sedimentes. Stellenweise findet man fast reine Lagen dieser Chlorophycee (siehe Abb. 6). Die Zellen sind so gut erhalten, daß man ihre retikulate Skulptur sowie ihren viereckigen Umriß deutlich erkennen kann (siehe Abb. 41). Der erstaunlich gute Erhaltungszustand dieser Zellen ermöglicht auch die Artbestimmung von *Tetraedron minimum*. Die in dieser Probe enthaltenen Schwammnadeln zeigen eine sehr starke Anlösung. Kleinere pennate Diatomeen sind völlig weggelöst. Einige Exemplare von *Cymbella* sp. und *Pinnularia* sp. sind als rudimentäre Fragmente gerade noch zu erkennen. Auch die relativ dickwandigen, zweiteiligen Kieselzysten weisen recht deutliche Korrosionsspuren auf. Ihre Gehäuseschalen sind fast immer geöffnet. Ähnlich schlecht erhalten sind die robust gebauten Chrysophyceen-Zysten vom Typ Cysta cf. acanthophora. An einer Stelle konnten auch einige Schalenreste von Cysta sphaerica beobachtet werden.

Profiltiefe 3,70 m:
Der Anteil der *Tetraedron*-Zellen ist hier deutlich geringer als bei 3,60 m. Die Zellwandreste sind auch schlechter erhalten und stärker kompaktiert. Zweiteilige (geöffnete) Kieselzysten findet man nur sporadisch. Sie sind sehr stark korrodiert und nur noch rudimentär erhalten. Die zahlreichen Abdrücke von Chrysophyceen-Zysten wurden durch Kompaktionsvorgänge im Sediment fast bis zur Unkenntlichkeit überprägt. Vereinzelt trifft man auch noch einige sehr schlecht erhaltene Goldalgen-Zysten vom Typ Cysta sphaerica an. Pennate Kieselalgen sind bis auf die Ausnahme von wenigen Schalenfragmenten von *Pinnularia* cf. *legumen* als nicht mehr identifizierbare Abdrücke im Sediment überliefert. Im Gegensatz hierzu zeigen die monaxonen Schwammnadeln nur mäßige Anlösungserscheinungen in Form von punktförmiger und auch oberflächlicher Korrosion. Die relativ gut erhaltenen Amphidisken gehören der Gattung *Ephydatia* an.

Profiltiefe 3,80 m und 3,90 m:
In diesem Sedimentabschnitt findet man erstmals zwei weitere Diatomeen-Arten. Es handelt sich hierbei um eine nur noch rudimentär erhaltene und nicht mehr näher bestimmbare kleine zentrische Diatomee (cf. *Aulacoseira* sp., siehe Abb. 7) und um die „eieruhrförmigen" Theken von *Tetracyclus celatom. Pinnularia* sp., Fragmente und nicht mehr identifizierbare Abdrücke kleiner pennater Diatomeen gehören ferner dieser Kieselalgen-Vergesellschaftung an. *Tetraedron*-Zellen bilden die Hauptkomponente des Sedimentes. Die Zellwandreste sind aber nicht so gut erhalten wie bei 3,60 m Profiltiefe. Monaxone und Sphaeraster weisen deutliche Anlösungsspuren auf. Die Zysten von Goldalgen sind nur durch Abdrücke im Sediment überliefert.

Profiltiefe 4,00 m, 4,10 m, 4,20 m, 4,30 m und 4,40 m:
Die Mikrofossil-Vergesellschaftung ist in diesem Sedimentabschnitt nahezu gleichmäßig. In allen Proben findet man Schalenfragmente von *Tetracyclus celatom*. Die zusammenhängenden Frusteln erreichen Kolonielängen bis zu 70 µm. Schalenbruchstücke von *Pinnularia* sp. und *Cymbella* sp. sowie vereinzelte Abdrücke von *Aulacoseira* sp. und zahlreiche unbestimmbare Abdrücke von kleinen pennaten Formen deuten auf eine mäßig arten-, aber individuenreiche Diatomeen-Flora hin. Leicht bedornte Monaxone und zweiteilige Kieselzysten kommen nur untergeordnet vor und zeigen jeweils starke Korrosionsspuren. Bei 4,40 m ist ihr Erhaltungszustand jedoch deutlich besser. Ab dieser Profiltiefe liegen einige Chrysophyceen-Zysten vom Typ Cysta sphaerica in Schalenerhaltung vor. Abdrücke von unbestimmbaren Chrysophyceen-Zysten bilden in allen Proben flächendecken-

de Massenvorkommen. In der Probe bei 4,10 m konnte eine weitere Barytrosette gefunden werden.

Profiltiefe 4,50 m:
Das charakteristische Merkmal dieser Probe ist eine bisher nicht beobachtete Individuen- und Formenvielfalt der Chrysophyceen-Zysten (siehe Abb. 8). Neben Cysta sphaerica, Cysta cf. acanthophora und Cysta costata (Manuskriptname) findet man auch wieder sehr viele zweiteilige Kieselzysten. Diese Zysten sind vergesellschaftet mit *Tetracyclus celatom*, *Cymbella* sp., bedornten Monaxonen, Sphaerastern sowie *Tetraedron* sp.

Profiltiefe 4,65 m:
Die Kieselsäurelösung ist in diesem Sedimentabschnitt deutlich höher als bei 4,50 m. Bis auf wenige Chrysophyceen-Zysten vom Typ Cysta sphaerica, einigen Schalenfragmenten von *Cymbella* sp. und vereinzelte bedornte Monaxone findet man keine weiteren kieseligen Mikrofossilien in Schalen- bzw. Nadelerhaltung. Zahllose, zum Teil bis zur Unkenntlichkeit überprägte Abdrücke im Sediment geben jedoch Zeugnis eines ehemals fossilreichen Profilabschnittes. Insbesondere sind die Massenvorkommen von Abdrücken der Goldalgen-Zysten zu erwähnen.

Profiltiefe 4,72 m:
Die kieseligen Mikrofossilien aus dieser Profiltiefe erfuhren eine deutliche Anlösung ihrer Substanz. Während die Schalenoberflächen stark angelöst und z.T. sogar weggelöst wurden, kam es aber auch zu einer Ausfällung von amorphem SiO_2 in den Schalenhohlräumen und somit zu einer beginnenden Steinkernbildung. Schwammnadeln scheinen von der Anlösung fast nicht betroffen zu sein. Einige bedornte Monaxone zeigen fast gar keine Korrosionsspuren. Die Kieselalgen sind vertreten durch wenige Individuen von *Pinnularia* sp., *Cymbella* sp., *Aulacoseira* sp. sowie zahlreiche Exemplare von *Tetracyclus celatom*. Diese Probe enthält auch wieder einige gut erhaltene Pollenkörner.

Profiltiefe 4,85 m:
Der Erhaltungszustand der kieseligen Mikrofossilien dieses Sedimentabschnittes ist ziemlich schlecht. Das amorphe SiO_2 wurde weitgehend gelöst und weggeführt. Zahllose Abdrücke kleiner pennater Diatomeen, bis zu 70 µm lange Kolonieketten von *Aulacoseira* sp. sowie flächendeckende Abdrücke von Chrysophyceen-Zysten lassen auf einen ehemals individuenreichen Fossilabschnitt schließen. Lediglich bedornte und z.T. zerbrochene Monaxone blieben vor der völligen Auflösung verschont. Die schlecht erhaltenen und stark deformierten Zellwandreste von *Tetraedron minimum* besitzen keinen hohen Anteil an der Sedimentzusammensetzung.

Profiltiefe 5,03 m:
Das Sediment aus dieser Tiefe besitzt eine gewisse Ähnlichkeit mit der Probe 4,50 m. Man findet eine arten- und individuenreiche Flora folgender Chrysophyceen-Zysten: Cysta cf. acanthophora, Cysta protuberans und Cysta spinosa (Manuskriptname). Aufgebrochene Chrysophyceen-Zysten und Diatomeen-Schalen lassen eine Ausfällung von amorphem SiO_2 in den Schalenhohlräumen erkennen, während die Schalenoberflächen nur unmerklich angelöst zu sein scheinen. Verschiedene kleine pennate Diatomeen sind als Steinkerne erhalten und können bis auf *Gomphonema bohemicum* nicht mehr identifiziert werden. Größere pennate Formen gehören der Gattung *Cymbella* an. Ferner enthält das Sediment auch einige Schalenfragmente, Abdrücke und beginnende Steinkernerhaltung von *Aulacoseira* cf. *islandica* sowie vereinzelt Sphaeraster.

Profiltiefe 5,12 m:
Bei 5,12 m konnten sehr viele kleine Abdrücke von pennaten Diatomeen und Relikte von *Pinnularia* sp. beobachtet werden. Chrysophyceen-Zysten sind nur als Abdrücke überliefert. Das amorphe SiO_2 dieses Profilabschnittes wurde fast völlig gelöst und weggeführt. Vereinzelt kann man Pyritframboide in dem stark kompaktierten Sediment erkennen.

Profiltiefe 5,22 m:
Bei 5,22 m kam es wieder zu einer Ausfällung von amorphem SiO_2 in Hohlräumen von Diatomeen und Chrysophyceen-Zysten. Folgende Kieselalgen konnten aufgrund ihrer Morphologie und Umrisse bestimmt werden: *Fragilaria* sp., *Tetracyclus celatom*, *Aulacoseira* cf. *islandica* und *Cymbella* sp. Die schwach bedornten und bis zu 200 µm großen Monaxone zeigen keine Anzeichen von Korrosion.

Profiltiefe 5,30 m:
In dieser Probe blieben nur wenige Monaxone und Sphaeraster vor der völligen Auflösung verschont. Alle übrigen kieseligen Mikrofossilien, wie z.B. Chrysophyceen-Zysten, *Tetracyclus celatom* und *Cymbella* sp. findet man nur als Abdrücke im Sediment. Vereinzelt enthält diese Sedimentprobe auch Pollenkörner.

Profiltiefe 5,40 m:
In regelmäßiger Wiederholung kam es zur Ausfällung von amorphem SiO_2 in dem untersuchten Bohrkernmaterial. So sind in diesem Sedimentabschnitt wieder Steinkerne und Schalenreste von *Tetracyclus celatom* und *Cymbella* sp. zu erkennen. Die Ketten von *Tetracyclus celatom* werden bis zu 200 µm lang. Von *Pinnularia* sp., *Aulacoseira* cf. *islandica* und *Fragilaria* sp. existieren nur noch Abdrücke oder rudimentäre Schalenfragmente. Außer geöffneten zweiteiligen Kieselzysten findet man auch häufig Zellwandreste von *Tetraedron* sp. und gelegentlich deformierte Pollenkörner. Leicht bedornte und schwach korrodierte Monaxone sind nur selten anzutreffen.

Profiltiefe 5,50 m, 5,60 m, 5,70 m, 5,80 m, 5,90 m und 6,00 m:
In dieser Sedimentsequenz dominieren die Zellwandreste von *Tetraedron minimum*. Ihr Erhaltungszustand schwankt von sehr stark deformiert bis gut erhalten. Die Schalensubstanz der Chrysophyceen-Zysten ist in allen Proben völlig weggelöst. Ihre zahllosen Abdrücke findet man ebenso häufig wie die nicht mehr bestimmbaren Abdrücke kleiner pennater Diatomeen. Zusätzlich konnten bei 5,50 m und 5,90 m *Cymbella* sp., bei 5,60 m massenhaft *Tetracyclus celatom*, bei 5,80 m und 6,00 m *Melosira undulata* sowie bei 5,90 m *Pinnularia* sp. identifiziert werden. Allen Proben gemein sind ferner mehr oder weniger stark korrodierte Monaxone. Das Sediment enthält auch einzelne Pollenkörner.

Profiltiefe 6,10 m:
Bei 6,10 m findet man nun auch wieder zerbrochene und angelöste Amphidisken der Gattung *Ephydatia*. In gleicher Erhaltung liegen auch einige Monaxone vor. *Melosira undulata* kommt ebenfalls in (schlechter) Schalenerhaltung vor. *Tetraedron minimum* besitzt einen wesentlichen Anteil am Sedimentaufbau.

Profiltiefe 6,20 m, 6,30 m, 6,40 m, 6,50 m und 6,60 m:
Von 6,20 m bis 6,60 m ist anscheinend keine gravierende Veränderung in der Sedimentbildung eingetreten. Dieser Sedimentabschnitt ist insgesamt durch eine ausgeprägte SiO_2 Lösung gekennzeichnet. Die Diatomeen *Melosira undulata*, *Cymbella* sp., *Fragilaria* sp. und *Pinnularia* sp. können nur anhand ihrer Abdrücke im Sediment bestimmt werden. Bei 6,30 m konnten einige Chrysophyceen-Zysten vom Typ Cysta sphaerica in Schalenerhaltung be-

obachtet werden. Schwach korrodierte Monaxone und Sphaeraster wurden in allen Proben gefunden. Der Anteil an Zellwandresten von *Tetraedron minimum* nimmt deutlich ab. Vereinzelte Pollenkörner lassen sich in jeder Sedimentprobe nachweisen.

Profiltiefe 6,70 m und 6,83 m:
In diesen beiden Proben findet man wieder vermehrt Monaxone. Ihr Zustand schwankt von gut erhalten bis stark korrodiert. Die Zysten der Goldalgen und die Schalen der Kieselalgen wurden weitgehend weggelöst. Dies trifft insbesondere auf die bis zu 15 µm großen pennaten Diatomeen zu, deren zahllose Abdrücke im Sediment keine Artbestimmung mehr ermöglichen. Zellwandreste von *Tetraedron minimum* zeigen deutliche Kompaktionsspuren. Die Probe 6,83 m enthält viele Pollenkörner.

Profiltiefe 6,98 m:
In der Profiltiefe von 6,98 m häufen sich geschlossene zweiteilige, deutlich angelöste Kieselzysten. Die Diatomeen-Arten *Cymbella* sp. und *Gomphonema bohemicum* liegen als stark korrodierte Schalenfragmente vor. Die wenigen Amphidisken gehören der Gattung *Ephydatia* an. Die Pollenführung nimmt in dieser Profiltiefe noch zu.

Profiltiefe 7,47 m, 7,57 m, 7,65 m und 7,75 m:
In dieser Sedimentsequenz wurde erneut amorphes SiO_2 in Hohlräumen von Chrysophyceen-Zysten und Diatomeen-Schalen ausgefällt. Die Zysten der Goldalgen besaßen einen maßgeblichen Anteil am Sedimentaufbau. Heute deuten nur noch ihre Abdrücke, die teilweise von Steinkernen ausgefüllt sind, auf ihre lagigen Massenvorkommen hin (siehe Abb. 74). *Melosira undulata* und *Cymbella* sp. kommen sowohl als rudimentäre Schalenfragmente als auch in Steinkernerhaltung vor. Amphidisken der Gattung *Ephydatia* und Monaxone zeigen deutliche, punktförmige Korrosionsspuren.

Profiltiefe 7,85 m:
Bei 7,85 m findet man neben zahlreichen Zellwandresten von *Tetraedron minimum* auch stark deformierte Kolonien von *Botryococcus* cf. *braunii*. Der Anteil der Schwammnadeln mit punktförmigen Anlösungserscheinungen nimmt deutlich zu. Insbesondere gilt dies für die *Ephydatia*-Amphidisken. Kleine, unbestimmbare pennate Diatomeen findet man nur noch als (überprägte) Abdrücke im Sediment.

Profiltiefe 7,96 m, 8,06 m, 8,17 m:
Auch dieser Sedimentabschnitt ist durch ein einheitliches Erscheinungsbild geprägt. Die Zellwandreste von *Tetraedron minimum* gehören zu den häufigsten Sedimentkomponenten. Daneben spielen die Amphidisken der Gattung *Ephydatia* und auch Monaxone und Sphaeraster eine wichtige Rolle. Die Oberflächen der Schwammnadeln können sowohl gut erhalten als auch stark angelöst sein. Bei 7,96 m kommen Diatomeen-Abdrücke von *Melosira undulata* und darin erhaltene Thekendiski vor. Bei 8,17 m findet man *Cymbella* sp. und viele Schalenbruchstücke von *Tetracyclus celatom.*

Profiltiefe 8,68 m und 8,84 m:
Der Erhaltungszustand dieser beiden Proben ist deutlich schlechter als in dem zuvor beschriebenen Sedimentabschnitt. Die Amphidisken der Gattung *Ephydatia* sowie die Sphaeraster zeigen neben Anlösungserscheinungen auch mechanische Aufarbeitungsspuren (abgerundete Dornenfortsätze), die eventuell auf Sedimenttransport, bzw. eine Umlagerung schließen lassen könnten. Die Kieselalge *Cymbella* sp. liegt zwar in Schalenerhaltung vor, jedoch sind die Theken zerbrochen und auch deutlich angelöst. Chrysophyceen-Zysten sind nur als Abdrücke im Sediment überliefert.

Profiltiefe 8,92 m und 9,19 m:
Die Proben 8,92 m und 9,19 m enthalten wieder Chrysophyceen-Zysten, die zur Gattung *Carnegia* gehören (siehe Abb. 33). Auf weitere Zysten von Goldalgen deuten nur noch Abdrücke im Sediment hin. Während einige Schwammnadeln sehr stark korrodiert sind, zeigt der überwiegende Teil fast gar keine Anlösungsspuren. Einige Monaxone weisen eine Verdickung in der Nadelmitte auf. Ein stark korrodierter Monaxon besitzt auf seiner Oberfläche eine deutliche schlitzartige Kerbe, ähnlich den bereits erwähnten Exemplaren bei 0,68 m und 0,76 m. Die Amphidisken lassen sich der Gattung *Ephydatia* zuordnen. Die Schalen von *Cymbella* sp. sind nur mäßig angelöst und relativ gut erhalten. Bei 8,92 m konnten einige bis zu 100 µm lange Kolonie-Abdrücke von *Melosira undulata* sowie zahlreiche Pyritframboide (siehe Abb. 76) beobachtet werden.

Profiltiefe 9,37 m:
Bei 9,37 m nimmt die Anzahl der Monaxone deutlich zu. Sie sind fast immer glatt und kaum angelöst. Zahllose, kleine pennate Diatomeen liegen als unbestimmbare Abdrücke im Sediment vor. *Melosira undulata* und zweiteilige Kieselzysten findet man in dieser Probe recht häufig. Ihr Erhaltungszustand schwankt von sehr stark bis mäßig angelöst.

Profiltiefe 10,11 m und 10,25 m:
In diesem Sedimentabschnitt findet man sehr viele gut erhaltene zweiteilige Kieselzysten. Die Amphidisken gehören der Gattung *Ephydatia* an, sind häufig zerbrochen und zeigen wie auch die Monaxone nur geringe Anlösungserscheinungen. Im Gegensatz hierzu steht der schlechte Erhaltungszustand zahlreicher stark korrodierter Chrysophyceen-Zysten vom Typ Cysta sphaerica. Außerdem findet man unzählige Abdrücke von kleinen pennaten Diatomeen, deren Schalensubstanz völlig weggelöst wurde. Das Sediment enthält außerdem einen nicht unerheblichen Anteil an sehr stark deformierten Zellwandresten von *Tetraedron minimum*.

Profiltiefe 10,37 m:
Der Erhaltungszustand der kieseligen Mikrofossilien ist in dieser Probe deutlich schlechter. Monaxone und Sphaeraster zeigen mäßige Anlösungsspuren. *Ephydatia*-Amphidisken sind teilweise zerbrochen und stark angelöst. Während die zweiteiligen Kieselzysten noch rudimentär erhalten sind, wurden die kugelförmigen Chrysophyceen-Zysten völlig weggelöst. Ursprünglich bedeckten die Zysten der Goldalgen große Sedimentflächen (siehe Abb. 9). Zahllose Abdrücke kleiner pennater Diatomeen lassen sich heute nicht mehr identifizieren. Die sehr stark deformierten Zellwandreste von *Tetraedron minimum* deuten auf eine ausgeprägte Kompaktion des Sedimentes hin. Ferner findet man bis zu 20 µm große Pyritframboide.

Profiltiefe 10,48 m:
Der Anteil der deformierten Zellwandreste von *Tetraedron minimum* nimmt bei 10,48 m deutlich zu. Zweiteilige Kieselzysten, Monaxone und Sphaeraster blieben aufgrund ihrer massiven Schalen wenigstens teilweise erhalten. Die Abdrücke von *Melosira undulata* enthalten die in die Hohlräume gefallenen Thekendiski dieser Kieselalgen. Die Abdrücke von Chrysophyceen-Zysten bedecken große Sedimentflächen. Bis zu 15 µm lange pennate Diatomeen wurden vollständig weggelöst. Ihre Abdrücke im Sediment deuten auf Koloniebildner hin. Die Pyritframboide dieses Profilabschnittes sind häufig mit einer Sedimenthülle umgeben, so daß ihre Struktur nicht immer deutlich erkennbar ist.

Profiltiefe 10,57 m:
Die untersuchte Probe zeichnet sich durch Massenvorkommen von Pyritframboiden aus, deren Durchmesser von ca. 10 bis 35 µm reicht. Neben zerbrochenen und angelösten Monaxonen findet man auch bis zu 35 µm große Sphaeraster. *Melosira undulata* ist durch Abdrücke und vereinzelte Thekendiski überliefert. *Tetraedron minimum* spielt nur eine untergeordnete Rolle.

Profiltiefe 10,65 m:
In dieser Profiltiefe fand neben einer starken Kieselsäurelösung, von der *Melosira undulata*, kleine pennate Diatomeen und Chrysophyceen-Zysten betroffen waren, auch wieder eine Ausfällung von amorphem SiO_2 in Hohlräumen von Diatomeen-Schalen statt. Die Amphidisken gehören der Gattung *Ephydatia* an.

Profiltiefe 10,73 m:
Diese Probe enthält auch die schon in den Profilabschnitten 0,68 m, 0,76 m und 8,92 m beschriebenen, geschlitzten Monaxone. Daneben kommen auch normal ausgebildete Monaxone und Sphaeraster in allen möglichen Erhaltungsstadien (mit Ausnahme von Steinkernen) vor. Die Amphidisken lassen sich der Gattung *Ephydatia* zuordnen. Die Mehrzahl der zweiteiligen Kieselzysten liegt im geschlossenen Zustand vor. Während *Melosira undulata* wenigstens noch eine fragmentarische Schalenerhaltung aufweist, sind die Theken von *Cymbella* sp., *Fragilaria* sp., *Pinnularia* sp., *Gomphonema bohemicum* sowie zahllose kleine pennate Diatomeen-Schalen restlos weggelöst. Einen maßgeblichen Anteil am Sedimentaufbau besitzen auch die deformierten Zellwandreste von *Tetraedron minimum* sowie unterschiedliche Pollenkörner.

Profiltiefe 10,85 m:
Dieser Abschnitt unterscheidet sich von der vorangegangenen Probe lediglich durch das Fehlen der geschlitzten Monaxone. Normal ausgebildete Schwammnadeln findet man in dieser Sedimentprobe nur selten.

Profiltiefe 10,97 m und 11,04 m:
Die beiden Proben bei 10,97 m und 11,04 m zeichnen sich durch eine reichhaltige Pollenführung wie schon bei 10,73 m und 10,85 m aus. Die Theken von *Tetracyclus celatom*, *Pinnularia* sp. sowie kleine pennate Diatomeen wurden vollständig weggelöst. Ebenso sind die Zysten der Goldalgen von der Kieselsäurelösung betroffen. Die Monaxone sind zum Teil zerbrochen und zeigen deutliche Korrosionsspuren. *Tetraedron minimum* spielt nur noch eine untergeordnete Rolle.

Profiltiefe 11,10 m:
Die Sedimentoberfläche dieser Probe ist durch sekundäre Ausblühungen von Gipskristallen nahezu vollständig überprägt. Stellenweise erkennt man schlecht erhaltene Pyritframboide und Abdrücke von nicht mehr identifizierbaren pennaten Diatomeen.

Profiltiefe 11,23 m und 11,37 m:
Diese beiden Sedimentproben enthalten jeweils einen hohen Anteil an deformierten aber dennoch gut erhaltenen Pollenkörnern (siehe Abb. 10). Hingegen sind die kieseligen Mikrofossilien völlig weggelöst. Im Sediment erkennt man die Abdrücke von *Pinnularia* sp., *Cymbella* sp., *Tetracyclus celatom*, *Melosira undulata* sowie von unzähligen, unbestimmbaren kleinen pennaten Diatomeen. Weiterhin sind viele Abdrücke von Chrysophyceen-Zysten und zweiteiligen Kieselzysten überliefert. Das Sediment weist starke Kompaktionsspuren auf.

Profiltiefe 11,48 m:
Bei 11,48 m enthält das Bohrkernmaterial zahlreiche bis zu 70 µm große Kolonien von *Botryococcus* cf. *braunii*. Der Anteil der Pollenkörner entspricht dem der beiden zuvor beschriebenen Proben. Die kieseligen Mikrofossilien fielen vollständig der Kieselsäurelösung zum Opfer. Folgende Diatomeen konnten noch bestimmt werden: *Pinnularia* sp. und *Melosira undulata*. Während die Schalensubstanz der Chrysophyceen-Zysten weggelöst wurde, kam es aber auch vereinzelt zur Ausfällung von amorphem SiO_2 in deren Hohlräumen. Das Sediment zeigt starke Kompaktionserscheinungen.

Profiltiefe 11,58 m und 11,70 m:
In beiden Proben findet man noch immer zahlreiche Pollenkörner. Die Schalen von *Cymbella* sp. sowie von zahlreichen, kleinen pennaten Kieselalgen wurden vollständig weggelöst. Das gleiche Schicksal ereilte auch die Goldalgen-Zysten. Sphaeraster und Monaxone blieben hiervon wenigstens teilweise verschont. Bei 11,70 m enthält das Sediment vereinzelt stark deformierte Zellwandreste von *Tetraedron* sp.

Profiltiefe 11,77 m:
In dieser Profiltiefe liegen zahlreiche Diatomeen der Gattungen *Gomphonema* und *Cymbella* in Steinkernerhaltung vor. Ihre ursprüngliche Schalensubstanz wurde jedoch vollständig weggelöst. Monaxone und Sphaeraster weisen sehr starke Anlösungsspuren auf. Der Anteil der Pollenkörner nimmt im Vergleich zu den zuvor beschriebenen Proben ab. Sekundäre Gipskristalle deuten auf Zersetzungsprozesse von Pyrit hin.

Profiltiefe 15,73 m:
In diesem Sedimentabschnitt findet man massenhaft bis zu 60 µm große, deformierte Kolonien von *Botryococcus* cf. *braunii*. Pollenkörner spielen nur noch eine untergeordnete Rolle. Chrysophyceen-Zysten sowie die Schalen von *Tetracyclus celatom* und *Aulacoseira* sp. wurden vollständig weggelöst.

Profiltiefe 15,84 m und 16,70 m:
Neben stark deformierten Kolonien von *Botryococcus* cf. *braunii* enthalten diese beiden Proben auch wieder zahlreiche Abdrücke von *Cymbella* sp., *Tetracyclus celatom*, bis zu 100 µm lange Hohlräume von *Aulacoseira* sp., sowie unbestimmbare, kleine pennate Diatomeen und Chrysophyceen-Zysten. In den Hohlräumen der Kieselalgen und Goldalgen-Zysten wurde amorphes SiO_2 ausgefällt.

Profiltiefe 17,21 m und 17,24 m:
Die Proben 17,21 m und 17,24 m zeichnen sich beide durch ihren schlechten Erhaltungszustand aus. Das amorphe SiO_2 der kieseligen Mikrofossilien wurde vollständig weggelöst. Im Sediment weisen nur noch die bis zu 200 µm langen Abdrücke von *Melosira undulata* und die Umrisse von Chrysophyceen-Zysten auf eine Mikroflora hin.

Profiltiefe 18,01 m und 18,11 m:
Bei 18,01 m besitzen die *Botryococcus*-Kolonien einen maßgeblichen Anteil am Sedimentaufbau. Stellenweise liegen sie so eng zusammen, daß sie dichte und lagige Polster bilden (siehe Abb. 42). Die Koloniegröße erreicht bis 250 µm. Chrysophyceen-Zysten sind nur als Steinkerne und Abdrücke erhalten. Vereinzelt wurden auch Abdrücke von *Cymbella* sp. im Sediment überliefert. Einige zweiteilige Kieselzysten liegen in stark korrodierter Schalenerhaltung vor. Bei 18,11 m geht der Anteil der *Botryococcus*-Kolonien etwas zurück, während die Anzahl der *Cymbella*-Abdrücke stark ansteigt.

Profiltiefe 20,45 m:
Die Sedimentprobe 20,45 m unterscheidet sich erheblich von dem zuvor beschriebenem Material. Die kieseligen Mikrofossilien liegen in unterschiedlichen Erhaltungsstadien in unmittelbarer Nachbarschaft zusammen vor. Neben wenig bis deutlich angelösten Diatomeen-Schalen und Goldalgen-Zysten findet man auch Steinkerne sowie eine Kombination von Schalen- und Steinkernerhaltung. Die Diatomeen-Flora setzt sich zusammen aus zahlreichen Vertretern von *Melosira undulata*, *Gomphonema bohemicum*, *Fragilaria* cf. *construens*, *Cymbella* sp. und *Pinnularia* sp. Einige Chrysophyceen-Zysten in Schalenerhaltung lassen sich als Cysta sphaerica identifizieren. Zahllose Abdrücke der Goldalgen-Zysten deuten auf eine ausgesprochene Massenproduktion hin. Die Monaxone sind entweder glattschalig oder auch deutlich bedornt. Die Amphidisken gehören der Gattung *Ephydatia* an. Die Schwammnadeln scheinen insgesamt nur unmerklich angelöst zu sein. Vereinzelt enthält das Sediment auch deformierte Zellwandreste von *Tetraedron* sp. und wenige Pollenkörner. Ferner konnten einige Pyritframboide sowie sekundäre Gipskristalle beobachtet werden.

4. Beschreibung der untersuchten Mikrofossilien

4.1 Kieselalgen:

Die Kieselalgen (Diatomeen) gehören zu den einzelligen kokkalen Algen. Sie leben entweder als Einzelindividuen oder sind durch eine Gallertsubstanz zu Kolonien miteinander verbunden. Eine einzelne Diatomeen-Zelle besteht aus zwei unterschiedlich großen schachtelartigen Schalenhälften (Epitheka = „Schachteldeckel" und Hypotheka = „Schachtelboden"). Die Vermehrung erfolgt hauptsächlich vegetativ durch Zellteilung. Nach KRAMMER (1986: 23) liegt die Teilungsfrequenz einer Zelle „im allgemeinen" bei weniger als 24 Stunden. Dieses Phänomen erklärt u.a. die Entstehung von Kieselalgenblüten und die Anreicherung von Diatomeen-Schalen im Sediment. Fossil erhaltungsfähig sind nur die aus amorpher Kieselsäure aufgebauten Zellwände. Die Lebensweise der Kieselalgen ist sehr anpassungsfähig. Man findet sie nicht nur in limnischen, brackischen und marinen Gewässern (sowohl planktonisch als auch benthisch) sondern auch im feuchten Milieu (z.B. überrieselte Felsen). Bei Trockenheit können Dauerstadien gebildet werden. Die Hauptverbreitung der Diatomeen erfolgt neben dem Wassertransport und der Verschleppung durch andere Organismen hauptsächlich durch Windtransport über sehr weite Entfernungen. Auf diese Weise können die Kieselalgen nahezu jeden Biotop als Pionierpflanzen bevölkern und anderen Organismen als Nahrungslieferanten dienen.

Die systematische Gliederung der Diatomeen erfolgte nach dem von ROUND, CRAWFORD & MANN (1990) vorgeschlagenen Modell, die altbekannte Form wurde in eckigen Klammern mit aufgeführt.

Überreich	Eukaryota WHITTAKER & MARGULIS 1978
[Reich	Protista HAECKEL 1866]
Stamm	Bacillariophyta ROUND, CRAWFORD & MANN 1990
	[Heterokontophyta CAVALIER-SMITH 1981]
Klasse	Coscinodiscophyceae ROUND & CRAWFORD 1990
	[Diatomaphyceae RABENHORST 1864 = Bacillariophyceae DANGEARD 1933]
Unterklasse	Coscinodiscophycidae ROUND & CRAWFORD 1990
Ordnung	Melosirales CRAWFORD 1990
	[Centrales SCHÜTT 1896]
Familie	Melosiraceae KÜTZING 1844
Gattung	*Melosira* AGARDH 1824

***Melosira undulata* (EHRENBERG) KÜTZING 1844**

Abb. 11-15

*1840	*Gallionella undulata* EHRENBERG; EHRENBERG, S. 211.
1844	*Melosira undulata* (EHRENBERG) KÜTZING; KÜTZING, S. 54f., Taf. 2: Fig. 9.
1892	*Melosira undulata* (EHRENBERG) KÜTZING; SCHMIDT, Taf. 180: Fig. 1-6.
1942	*Melosira undulata* (EHRENBERG) KÜTZING; HUBER-PESTALOZZI, S. 378ff., Abb. 449.
1980	*Melosira undulata* (EHRENBERG) KÜTZING; REHÁKOVÁ, S. 96f., Taf. 1: Fig. 3.
1983	*Melosira undulata* (EHRENBERG) KÜTZING; SCHAUDERNA, S. 95f., Taf. 1: Fig. 3-5.
1991	*Melosira undulata* (EHRENBERG) KÜTZING; KRAMMER & LANGE-BERTALOT, S. 16f., Taf. 6: Fig. 6-8.

Dimensionen: Der Thekendurchmesser in dem untersuchten Material beträgt ca. 25 bis 35 µm, die Thekenhöhe ca. 18 bis 27,5 µm. Das Verhältnis von Thekenhöhe zum Thekendurchmesser entspricht ca. 0,75.

Beschreibung: Die Zellen sind nach außen hin zylindrisch ausgebildet, während die innere Mantelfläche gewölbt und die Zellwand somit unterschiedlich dick ist. Auf der äußeren Mantelfläche befinden sich ca. 15 Porenreihen in 10 µm und verlaufen parallel zur Pervalvarachse. Einige größere Poren führen kanalartig in das Zellinnere (siehe Abb. 12). Auf den Diskusflächen verlaufen die Punktreihen radial. In den Zentren der Diski befinden sich kleine areolenfreie Areae (siehe Abb. 11). Die Zellen sind zu langen Ketten aneinander gereiht. Die Verbindungsdornen der Theken sind relativ klein (siehe Abb. 15).

Bemerkung: Aufgrund der starken Anlösungserscheinungen zeigen einige Schalen von *Melosira undulata* gewölbte äußere Mantelflächen (siehe Abb. 14).

Häufigkeit: *Melosira undulata* ist in fast allen Sedimentabschnitten von Enspel vorhanden.

Ökologie: Litoralform stehender tropischer Gewässer.

Stratigraphische Verbreitung: Oberoligozäner Polierschiefer von Seifhennersdorf/Sachsen (HERRMANN & REICHELT 1895, SALLUM 1956). Miozäner Polierschiefer vom Habichtswald bei Kassel-Wilhelmshöhe (SCHMIDT 1892, KRASSKE 1934). Miozäne Süß- und Brackwassersedimente im Nördlinger Ries (SCHAUDERNA 1983). Miozäne Kieselgur von Beuern/Vogelsberg (KRASSKE 1934). Miozäne und pliozäne Süßwasserablagerungen der CSSR (REHÁKOVÁ 1980). Rezent lebt diese Art hauptsächlich als Bodenform in tropischen Seen (KRAMMER & LANGE-BERTALOT 1991a).

Ordnung Aulacoseirales CRAWFORD 1990
[Centrales SCHÜTT 1896]
Familie Aulacoseiraceae CRAWFORD 1990
Gattung *Aulacoseira* THWAITES 1848

***Aulacoseira* cf. *islandica* (O. MÜLLER) SIMONSEN 1979**

Abb. 16

*1906 *Melosira islandica* O. MÜLLER; O. MÜLLER, S. 56ff., Taf. 1-2.
1927 *Melosira islandica* O. MÜLLER; NIPKOW, S. 11, Taf. 3, Tab. 14.
1942 *Melosira islandica* O. MÜLLER; HUBER-PESTALOZZI, S. 384f., Abb. 460-461.
1991 *Aulacoseira islandica* (O. MÜLLER) SIMONSEN; KRAMMER & LANGE-BERTALOT, S. 26f., Taf. 22: Fig. 1-12.

Dimensionen: Der Thekendurchmesser von *Aulacoseira* cf. *islandica* beträgt ca. 12-16 µm, die Thekenhöhe ca. 8 bis 10 µm. Das Verhältnis von Thekenhöhe zum Durchmesser entspricht in dem Enspeler Material einem Wert von ca. 0,65.

Beschreibung: Der schlechte Erhaltungszustand dieser kleinen zentrischen Diatomee erlaubt keine einwandfreie Diagnose. Die Theken von *Aulacoseira* cf. *islandica* bilden lange, fadenförmige Kolonien. Die Zellen besitzen eine zylindrische Form. Auf der Mantelfläche verlaufen die Porenreihen parallel zur Pervalvarachse. Man kann ca. 22 Punkte in 10 µm zählen. Die Verbindungsdornen der Theken scheinen zierlich zu sein.

Bemerkung: Die Schalen von *Aulacoseira* cf. *islandica* fielen fast ausnahmslos der Diagenese zum Opfer. Die Theken wurden häufig weggelöst oder liegen in Steinkernerhaltung vor (siehe Abb. 73). Während der perforierte Mantelbereich nur in den seltensten Fällen erhalten blieb, findet man recht häufig die massiven Thekenhälse in den Sedimentabdrücken. Der schlechte Erhaltungszustand des vorliegenden Materials ermöglicht keine genaue Arteinstufung.

Häufigkeit: Wegen ihrer geringen Größe und ihrer filigranen Ausbildung blieben die Schalen von *Aulacoseira* cf. *islandica* nur selten in dem Enspeler Ölschiefer vor Anlösung verschont. Aus diesem Grund lassen sich keine sicheren Aussagen über die Häufigkeit dieser Kieselalge machen. Das beste Material stammt aus einer Profiltiefe von 5,03 m.

Ökologie: Planktonische Form in Flüssen und Seen.

Stratigraphische Verbreitung: Fossil ist diese Art nicht bekannt. Rezent wurde *Aulacoseira islandica* u.a. aus dem See Thingvallavatn/Island (MÜLLER 1906), aus dem Zürichsee (NIPKOW 1927) und aus der Newa-Bucht/Ostsee (PANKOW 1976) beschrieben.

Klasse Fragilariophyceae ROUND 1990
Unterklasse Fragilariophycidae ROUND 1990
Ordnung Fragilariales SILVA 1962
[Pennales SCHÜTT 1896]
Familie Fragilariaceae GREVILLE 1844
Gattung *Fragilaria* LYNGBYE 1819

***Fragilaria* cf. *construens* (EHRENBERG) GRUNOW 1862**

Abb. 2, 24

*1843 *Staurosira construens* EHRENBERG; EHRENBERG, S. 56 u. 136.

1965 *Fragilaria construens* (EHRENBERG) GRUNOW; REHÁKOVÁ, S. 36, Abb. 10, Taf. 11: Fig. 11-14.
1983 *Fragilaria construens* (EHRENBERG) GRUNOW; SCHAUDERNA, S. 105f., Taf. 5: Fig. 18-19, Taf. 21: Fig. 7.
1991 *Fragilaria construens* (EHRENBERG) GRUNOW; KRAMMER & LANGE-BERTALOT, S. 152ff., Taf. 129: Fig. 21-27, Taf. 131: Fig. 5-6, Taf. 132: Fig.1-34.
1994 *Fragilaria construens* (EHRENBERG) GRUNOW; SCHILLER, S. 40, Abb. 14-15.

Dimensionen: Die Thekenlänge beträgt ca. 7 bis 14 µm, die Thekenbreite ca. 4 bis 5 µm.

Beschreibung: Der Umfang der Schalen reicht von rundlich-oval bis elliptisch-lanzettförmig. Die Transapikalstreifen verlaufen parallel-alternierend. Man erkennt ca. 14 Punktstreifen in 10 µm. In Gürtelansicht erscheinen die Frusteln rechteckig. Die Zellen sind mit Dornfortsätzen zu Ketten verbunden.

Bemerkung: Der sehr schlechte Erhaltungszustand erlaubt keine exaktere Diagnose und sichere Artbestimmung.

Häufigkeit: *Fragilaria* cf. *construens* kommt nachweislich massenhaft bei 0,92 m, 1,10 m und 20,45 m vor. In den übrigen Sedimentabschnitten ist die Existenz dieser Kieselalge nicht unwahrscheinlich. Wegen der geringen Größe wurden die Theken jedoch meist bis zur Unkenntlichkeit weggelöst.

Ökologie: Kosmopolitisch, im Süßwasser und selten im Brackwasser.

Stratigraphische Verbreitung: ?Oligozäne Sedimente von Lipnice/Becken von Trebon (REHÁKOVÁ 1965). Miozäne Süß- und Brackwassersedimente im Nördlinger Ries (SCHAUDERNA 1983). Miozäner Diatomit von Rüdenschwinden/Rhön (SCHILLER 1994). Miozäne Kieselgur von Beuern/Vogelsberg und Niederofleiden/Vogelsberg (KRASSKE 1934). Oberpliozäne Kieselgur von Trais-Horloff/Wetterau (KRASSKE 1934).

Ordnung	Tabellariales ROUND 1990
	[Pennales SCHÜTT 1896]
Familie	Tabellariaceae KÜTZING 1844
Gattung	*Tetracyclus* RALFS 1843

***Tetracyclus celatom* OKUNO 1958**

Abb. 18, 19

*1958 *Tetracyclus celatom* OKUNO; OKUNO, S. 240ff., Text-Fig. 1, Taf. 35: Fig. 3a-d.

Dimensionen: Die Länge der Theken beträgt ca. 50 bis 60 µm, die breitesten Stellen ca. 25 µm und die Einschnürung in der Mitte ca. 5 µm. Die Thekenhöhe erreicht ungefähr 3 µm.

Beschreibung: *Tetracyclus celatom* besitzt einen Schalenumfang, der an eine Eieruhr erinnert. Die Thekenmitte weist im Querschnitt eine starke Einschnürung auf. Das Schaleninnere ist mit ca. 3 Transapikalwänden in 10 µm verstärkt. Die (vermutlich sehr filigrane) Perforation ist nicht mehr erhalten. Die Zellen sind zu langen Kolonien aneinander gereiht.

Häufigkeit: *Tetracyclus celatom* kommt in fast allen Sedimentabschnitten des Enspeler Ölschiefers mit unterschiedlicher Häufigkeit vor.

Ökologie: Litoralform im Süßwasser.

Stratigraphische Verbreitung: (?Miozän) Lovelock, Nevada, U.S.A. (OKUNO 1958). Rezent ist diese Art nicht bekannt.

Klasse	Bacillariophyceae HAECKEL 1878 emend. MANN 1990
Unterklasse	Bacillariophycidae MANN 1990
Ordnung	Cymbellales MANN 1990
	[Pennales SCHÜTT 1896]
Familie	Cymbellaceae GREVILLE 1833
Gattung	*Cymbella* AGARDH 1830

***Cymbella* sp.**

Abb. 20, 21

Dimensionen: Die Thekenlänge schwankt von ca. 55 bis 90 µm, die Thekenbreite von 12 bis 15 µm.

Beschreibung: Die Schalen sind flach und schwach dorsiventral ausgebildet. Die Streifen verlaufen in der Schalenmitte leicht radial und an den Enden annähernd parallel. Man erkennt 9 bis 12 Streifen in 10 µm und ca. 19 bis 22 Punkte in 10 µm. Die Raphe verläuft fast gerade.

Bemerkung: Der schlechte Erhaltungszustand des vorliegenden Materials erlaubt keine Artbestimmung. Möglicherweise handelt es sich nicht nur um eine einzige Art.

Häufigkeit: Die Schalen von *Cymbella* sp. findet man nahezu in allen Sedimentproben der Kernbohrung Enspel 1991(2). Massenvorkommen wurden jedoch nicht beobachtet.

Familie	Gomphonemataceae KÜTZING 1844
Gattung	*Gomphonema* AGARDH 1824

***Gomphonema bohemicum* REICHELT & FRICKE 1902**

Abb. 22, 23

*1902 *Gomphonema bohemicum* REICHELT & FRICKE; SCHMIDT, Taf. 235: Fig. 18-25.
1956 *Gomphonema bohemicum* REICHELT & FRICKE; SALLUM, S. 27ff., Fig. 44.
1991 (?) *Gomphonema bohemicum* REICHELT & FRICKE; KRAMMER & LANGE-BERTALOT, Taf. 77: Fig. 16-21.

Dimensionen: Die Schalenlänge beträgt ca. 18 bis 55 µm, die Schalenbreite ca. 3 bis 7 µm.

Beschreibung: Die Schalen besitzen eine schwach keulenförmige Gestalt. Die Streifen verlaufen leicht radial (ca. 11 Streifen in 10 µm). In der Mitte sind einseitig keine Streifen ausgebildet. Bei gut erhaltenen Exemplaren erkennt man, daß die Foramina auf der Schalenoberfläche eine schlitzartige Form haben.

Häufigkeit: *Gomphonema bohemicum* kommt in fast allen untersuchten Sedimentabschnitten z.T. in großen Massen vor.

Ökologie: Benthische Süßwasserform.

Stratigraphische Verbreitung: Oberoligozäner Polierschiefer von Breiter Busch bei Hainspach/Böhmen (SCHMIDT 1902). Oberoligozäner Polierschiefer von Seifhennersdorf/Sachsen (SALLUM 1956). Vermutlich handelt es sich bei *Gomphonema bohemicum* um eine rezent ausgestorbene Art.

Ordnung	Achnanthales SILVA 1962
	[Pennales SCHÜTT 1896]
Familie	Cocconeidaceae KÜTZING 1844
Gattung	*Cocconeis* EHRENBERG 1838

***Cocconeis* sp.**

(nicht abgebildet)

Dimensionen: Die Schalenlänge beträgt ca. 15 µm, die Schalenbreite ca. 9 µm.

Beschreibung: In den untersuchten Sedimentproben wurde nur bei 1,38 m ein einziger Abdruck einer raphenlosen *Cocconeis*-Schale gefunden. Der schlechte Erhaltungszustand erlaubt keine Artbestimmung.

Ordnung	Naviculales BESSEY 1907
	[Pennales SCHÜTT 1896]
Unterordnung	Sellaphorineae MANN 1990
Familie	Pinnulariaceae MANN 1990
Gattung	*Pinnularia* EHRENBERG 1843

***Pinnularia* cf. *legumen* (EHRENBERG) EHRENBERG 1843**

Abb. 17

*1841	*Navicula legumen* EHRENBERG; EHRENBERG, S. 144.
1843	*Pinnularia legumen* (EHRENBERG) EHRENBERG; EHRENBERG, S. 44, Taf. 4: Fig. 7.
1986	*Pinnularia legumen* (EHRENBERG) EHRENBERG; KRAMMER & LANGE-BERTALOT, S. 413f., Fig. 184: 1-4.

Dimensionen: Die Thekenlänge beträgt ca. 70 µm bis 120 µm (mit einer Ausnahme sogar ca. 160 µm), die Thekenbreite ca. 10 bis 15 µm (Ausnahme 22 µm).

Beschreibung: Der Schalenumfang ist linear. Die Transapikalstreifen verlaufen in der Mitte radial und zu den Enden hin konvergent. Man erkennt ca. 9 bis 10 Streifen in 10 µm.

Bemerkung: Der schlechte Erhaltungszustand erlaubt keine exaktere Diagnose. Nach KRAMMER & LANGE-BERTALOT (1986) gibt es Übergangsformen von *Pinnularia legumen* über *Pinnularia subsolaris* zu *Pinnularia microstauron*.

Häufigkeit: *Pinnularia* cf. *legumen* kommt mit großer Regelmäßigkeit in den Proben der Kernbohrung Enspel 1991(2) vor. Man findet jedoch immer nur einzelne Exemplare.

Ökologie: Ohne Angabe.

Stratigraphische Verbreitung: Oberoligozäner Polierschiefer von Seifhennersdorf/Sachsen (SALLUM 1956).

4.2 Goldalgen:

Stamm	Heterokontophyta CAVALIER-SMITH 1981
Klasse	Chrysophyceae PASCHER 1931
Hilfsfamilie	Chrysostomataceae CHODAT 1922

Kieselige Chrysophyceen-Zysten findet man in fast allen fossilen Sedimenten, die auch Diatomeen enthalten. Ihre taxonomische Stellung ist jedoch nicht eindeutig geklärt.

Nach STARMACH (1985) werden die Süßwasserformen zur Hilfsfamilie Chrysostomaceae und die marinen Zysten zur Hilfsfamilie Archaeomonadaceae gestellt. Die Zysten der Goldalgen können vielfältige Gehäuseformen aufweisen. Die Zuordnung fossiler Zysten zu rezenten Chrysophyceen-Gattungen ist bis auf wenige Ausnahmen nicht möglich. Das Vorhandensein zyklischer Chrysophyceen-Zystenlagen in feingeschichteten Seesedimenten deutet auf jahreszeitlich bedingte Vegetationsperioden hin. Ihre Ursache kann auf Temperaturänderungen (Sommer/Winter) oder auch auf Regen- und Trockenzeiten zurückgeführt werden. Die Massenproduktion von Zysten, wie sie in den Enspel-Sedimenten häufig zu beobachten ist, könnte auch als Streßreaktion der Chrysophyceen z.B. auf vulkanische Aschenablagerungen und damit verbundener Wassertrübung und hoher Sedimentationsrate angesehen werden. Die in dem Enspeler Ölschiefer beobachteten Lagen von Chrysophyceen-Zysten sind durch ihre dichte Kugelpackung charakterisiert. Die Mächtigkeit dieser Laminae beträgt durchschnittlich 1 bis 3 Kugelzysten. Wie die Untersuchungen zahlreicher Chrysophyceen-führender Sedimente zeigte, erlaubt die Ausbildung der Zystenschalen Rückschlüsse auf die Wasserdynamik. Dünnschalige Zysten mit filigranen Schwebestacheln deuten auf relativ unbewegtes Wasser hin, während massive Schalen mit kräftigen Rippen, bzw. Dornen auf bewegtes Wasser, eventuell mit Sedimentfracht hinweisen.

Entsprechend ihrer unterschiedlichen Schalenmorphologie stellte NYGAARD (1956) ein beschreibendes, vorläufiges Klassifikationsschema (nomina tempora, z.B. Cysta sphaerica) für Chrysophyceen-Zysten auf, welches für diese Arbeit übernommen wurde.

Cysta sphaerica NYGAARD 1956

Abb. 4, 25-27

*1956 Cysta sphaerica NYGAARD; NYGAARD, S. 84, 91, Taf. 10: Fig. 1-7.
1995 Stomatocyst 42 DUFF & SMOL; DUFF et al., S. 27, Fig. 7E.
1998 Cysta sphaerica NYGAARD; SCHILLER, S. 180, Taf. 1: Fig. 2, Taf. 9: Fig. 3.

Dimensionen: Der Kugeldurchmesser beträgt ca. 8 bis 16 µm, der Durchmesser des Porus ca. 1,0 bis 1,5 µm.

Beschreibung: Cysta sphaerica ist eine einfach gebaute, rundliche Form mit glatter Oberfläche und besitzt keinen Hals. Die Schalenwandstärke scheint relativ dünn zu sein. Der Porus ist nach außen ein wenig konisch erweitert.

Abgrenzung: NYGAARD (1956) beschreibt zwei sehr ähnliche Chrysophyceen-Zysten, die sich nur im Durchmesser und entsprechend auch durch ihre Porusöffnungen unterscheiden: Cysta globata (Durchmesser 10-12 µm, Porus ca. 1,3 µm) und Cysta sphaerica (Durchmesser 12-16 µm, Porus 1,8-2,7 µm). Wie die Untersuchungen Chrysophyceen-führender Sedimente von anderen Lokalitäten zeigte, scheint diese Unterteilung ausschließlich nach geringfügigen Größenunterschieden jedoch nicht haltbar zu sein.

Bemerkung: Korrodierte Schalen erschweren die Beurteilung der Schalenwandstärke und der Porusöffnung.

Häufigkeit: Cysta sphaerica scheint eines der häufigsten Mikrofossilien in dem Enspeler Ölschiefer zu sein. Die zahllosen Abdrücke glattschaliger Chrysophyceen-Zysten sind wahrscheinlich auf diese Form zurückzuführen.

Ökologie: Noch keine Angaben möglich.

Stratigraphische Verbreitung: Glattschalige Chrysophyceen-Zysten ohne Hals vom Typ Cysta sphaerica sind aus dem unteroligozänen Dysodil von Sieblos/Rhön (MARTINI & SCHRADER 1988, SCHILLER 1998) und zahlreichen anderen tertiären, quartären und subfossilen Sedimenten bekannt.

Cysta protuberans NYGAARD 1956

Abb. 31

*1956 Cysta protuberans NYGAARD; NYGAARD, S. 86, 90, Taf. 10: Fig. 10-11.

Dimensionen: Der Zystendurchmesser beträgt ca. 17 µm.

Beschreibung: Die Zysten dieses Typs sind kugelig ausgebildet, dickwandig und mit Höckern und stumpfen, kurzen Dornen besetzt.

Häufigkeit: Cysta protuberans konnte nur mit einem einzigen Exemplar bei 5,03 m Profiltiefe nachgewiesen werden.

Ökologie: Die massive Schalenbauweise deutet auf bewegtes Wasser hin.

Stratigraphische Verbreitung: Subfossile Sedimente im See Gribsø/Dänemark (NYGAARD 1956).

Cysta cf. acanthophora NYGAARD 1956

Abb. 32

*1956 Cysta acanthophora NYGAARD; NYGAARD, S. 87f., Taf. 10: Fig. 12.

Dimensionen: Die Länge der Zysten beträgt ca. 18 bis 20 µm, die Breite ca. 15 µm, der Halsdurchmesser ca. 8 µm und die Porusöffnung ca. 2,5 µm.

Beschreibung: Cysta cf. acanthophora besitzt eine ellipsoide Form mit einem deutlich abgesetzten und massiven Hals. Der Bauch ist mit kräftigen, kurzen aber dicken Dornen besetzt.

Abgrenzung: Nach NYGAARD (1956) gibt es noch eine ähnliche Form (Cysta resecta), die jedoch konische, gestutzte Dornen aufweist und insgesamt ein wenig kleiner ist.

Bemerkung: Die ursprüngliche Dornenform wurde durch Anlösungserscheinungen verändert.

Häufigkeit: Bei 3,60 m, 4,50 m und bei 5,03 m Profiltiefe findet man diesen Zystentyp recht häufig.

Ökologie: Das massive Zystengehäuse deutet auf eine hohe Wasserdynamik hin.

Stratigraphische Verbreitung: Subfossile Sedimente vom See Gribsø/Dänemark (NYGAARD 1956).

Cysta spinosa (Manuskriptname)

Abb. 29, 30

Dimensionen: Der Durchmesser von Cysta spinosa beträgt ca. 8 bis 11 µm, der Porus weist eine Weite von ca. 1,5 µm auf.

Beschreibung: Cysta spinosa (spinosus, lat.: dornig) weicht von den von NYGAARD (1956) beschriebenen Formen deutlich ab. Die Zysten besitzen ein kugelförmiges Gehäuse mit zahlreichen kurzen und spitzkegeligen Dornen. Diese Fortsätze werden ca. 1 bis 1,5 µm lang. Die Dichte der Dornen in der Umgebung des Porus ist deutlich reduziert. Dies hat u.a. zur Folge, daß die Zyste entsprechend ihres Schwerpunktes mit der Öffnung nach oben absinkt. Der Porus ist leicht konisch ausgebildet. Die Schalendicke beträgt an der Öffnung ca. 0,5 µm.

Abgrenzung: Cysta spinosa besitzt im Gegensatz zu den von NYGAARD (1956) beschriebenen Formen Cysta crassicollis, Cysta subastroidea und Cysta microspinosa keinen Hals.

Häufigkeit: Bei 5,03 m Profiltiefe wurden insgesamt sieben Exemplare von Cysta spinosa gefunden.

Ökologie: Die dünnschaligen Zysten mit kurzen, spitzen Stacheln deuten auf mäßig bewegtes Wasser hin.

Stratigraphische Verbreitung: Bisher nicht bekannt.

Cysta costata (Manuskriptname)

Abb. 28

Dimensionen: Die Länge der Zysten beträgt ca. 15 bis 19 µm, die Breite ca. 14 bis 18 µm. Der Hals ist ca. 9 µm breit, der Porus ca. 2 µm.

Beschreibung: Cysta costata (costa, lat.: Rippe) ist annähernd kugelig ausgebildet. Der breite Hals besitzt etwa den halben Kugeldurchmesser. Die sehr massiven, z.T. gewundenen und scharfkantigen Längsrippen enden am Halsrand und bilden einen konzentrischen Ringwall. Der Porus ist als erhabener Kegel ausgebildet. Die Schalenoberfläche des Halsbereiches ist fein genarbt.

Häufigkeit: Cysta costata wurde nur bei 4,50 m vereinzelt gefunden.

Ökologie: Die extrem robust aussehende Zyste scheint an starke Wasserbewegung bzw. Transport angepaßt zu sein.

Stratigraphische Verbreitung: Bisher nicht bekannt.

Gattung *Carnegia* PANTOCSEK 1912

***Carnegia* sp.**

Abb. 33

Dimensionen: Die Längsachse entspricht ca. 11 bis 15 µm, der Durchmesser ca. 9,5 bis 10 µm.

Beschreibung: Die Zysten von *Carnegia* sp. besitzen eine ellipsoide Form. Die Schale ist glatt und ohne Struktur. Der Zystenhals ist deutlich abgesetzt und ca. 1 bis 1,5 µm hoch. Als Besonderheit ist ein hakenförmiger Fortsatz am Hals zu erwähnen. Dieser Fortsatz bedeckt in der Regel die Porusöffnung und kann bei mechanischer Belastung leicht abbrechen (siehe Abb. 33). Die Porusöffnung beträgt ca. 1,5 µm.

Häufigkeit: Zysten von *Carnegia* sp. wurden bei 1,10 m, 8,92 m und 9,19 m Profiltiefe jeweils als Einzelexemplare angetroffen.

Ökologie: Ohne Angabe.

Stratigraphische Verbreitung: Unteroligozäner Dysodil von Sieblos/Rhön (MARTINI & SCHRADER 1988).

4.3 Zweiteilige Kieselzysten:

Abb. 34-40

Die zweiteiligen Kieselzysten bestehen genau wie Diatomeen-Schalen, Chrysophyceen-Zysten und Schwammnadeln aus amorpher Kieselsäure. Die systematische Zugehörigkeit dieser Mikrofossilgruppe konnte bis jetzt noch nicht geklärt werden. Entsprechend ihres Aufbaus, ihrer relativ konstanten Größe und ihrer Häufigkeit kann man sie als Dauerstadien oder Zysten einstufen. Sie besitzen aufgrund ihrer kugeligen Gestalt und ihrer Größe eine gewisse Ähnlichkeit mit Chrysophyceen-Zysten. Hierfür spricht auch jeweils die glatte Innenfläche der Schalen. Zweiteilige kieselige Chrysophyceen-Zysten scheinen bisher nicht bekannt zu sein. STARMACH (1985: 27) beschreibt jedoch „zweischalige mit Eisen- oder Kalksalzen imprägnierte" Pseudozysten der Chrysophycee *Chrysotilos ferrea*. Die von ihm abgebildete Form (Zeichnung) besitzt eine große Ähnlichkeit mit den zweiteiligen Kieselzysten von Enspel.

Beschreibung und Dimensionen: Die zweiteiligen Kieselzysten bestehen aus zwei ähnlich ausgebildeten, uhrglasartigen Schalenhälften. Man unterscheidet eine etwas größere Schale mit einem deutlich abgesetzten glatten, inneren Schloßrand und eine einfach gebaute kleinere Schale (siehe Abb. 39 u. 40). In Äquatorialansicht erkennt man, daß die größere Schale weit über den Schloßrand nach unten gezogen ist und die geschlossene Zyste ein bikonvexes Profil aufweist. Der Querschnitt der Schalenhälften ist kreisrund. Der Durchmesser der größeren Schalenhälfte schwankt von 13,2 bis 14,8 µm. Die kleineren Schalen messen 11,6 bis 12,2 µm. Die Höhe der geschlossenen Zysten beträgt ca. 8,5 bis 9 µm. Geöffnete Schalenhälften zeigen keinerlei innere Strukturen. Die dickwandigen und robusten Zystenschalen sind besonders stabil und widerstandsfähig gegen Anlösung.

Häufigkeit: Zweiteilige Kieselzysten gehören zu den häufigeren kieseligen Mikrofossilien der untersuchten Bohrkernproben von Enspel. Sie sind im höheren Teil der Kernbohrung 1991(2) von 1,38 bis 11,37 m in fast allen Proben zu finden. Massenvorkommen konnten bei 1,80 bis 1,93 m, 2,25 bis 2,35 m, 4,50 m, 6,98 m, 10,11 bis 10,25 m und bei 11,37 m beobachtet werden. Das Verhältnis von geöffneten zu geschlossenen Zysten ist etwa gleich.

Ökologie: Aller Wahrscheinlichkeit nach handelt es sich bei den zweiteiligen Kieselzysten um bisher unbekannte Organismenreste (?Chrysophyceae), so daß keine ökologischen Daten vorliegen. Die robuste Schalenbauweise deutet auf eine stärkere Wasserbewegung oder auch auf eine ausgeprägte mechanische Schutzvorrichtung gegen Sedimentbedeckung hin.

Stratigraphische Verbreitung: Ohne Angabe.

4.4 Grünalgen:

Stamm	Chlorophyta PASCHER 1914
Klasse	Chlorophyceae KÜTZING 1845
Ordnung	Chlorococcales MARCHAND 1895
Familie	Chlorellaceae BRUNNTHALER 1915
Gattung	*Tetraedron* KÜTZING 1845

Tetraedron minimum (A. BRAUN) HANSGIRG 1888

Abb. 6, 41

*1855 *Polyedrium minimum* A. BRAUN; A. BRAUN, S. 94.
1888 *Tetraedron minimum* (A. BRAUN) HANSGIRG; HANSGIRG, S. 130ff.
1976 *Tetraedron minimum* (A. BRAUN) HANSGIRG; PANKOW, S. 371f., Abb. 814.
1983 *Tetraedron minimum* (A. BRAUN) HANSGIRG; KOMÁREK & FOTT, S. 697f., Taf. 195: Fig. 7-8.
1990 *Tetraedron minimum* (A. BRAUN) HANSGIRG; GOTH, S. 17f., Taf. 1: Fig. 1-8, Taf. 2: Fig. 1-8, Taf. 3: Fig. 1-8, Taf. 4: Fig.1-9, Taf. 20: Fig. 1-4.
1994 *Tetraedron minimum* (A. BRAUN) HANSGIRG; GOTH & SCHILLER, S. 292, Abb. 3c, 3d, 3g und 5.

Dimensionen: Einzelne Zellen von *Tetraedron minimum* erreichen in dem untersuchten Material von Enspel eine Kantenlänge von 4 bis 8 µm.

Beschreibung: Die Zellen von *Tetraedron minimum* besitzen einen viereckigen bis tetraedrischen Umfang. Die Zellwände sind skulpturiert. Rezentvergleiche ergaben nach GOTH (1990: 18) für kleine Zellen ein „scrobiculates Muster aus sehr dicht stehenden, warzenförmigen Elementen", während „große Zellen ein weitmaschiges retikulates Muster zeigen". Die vier Zellecken sind „schnäuzchenartig mit zwei kleinen Gruben" (siehe Abb. 41).

Bemerkung: Bei den als *Tetraedron minimum* identifizierten Algenfossilien handelt es sich um organische Zellwandreste, die durch diagenetische Vorgänge verändert wurden. Durch die Kompaktion des Sedimentes wurden die Zellen zum Teil sehr stark überprägt, so daß ihre ursprüngliche morphologische Gestalt nicht immer erkennbar ist.

Häufigkeit: Die Chlorophycee *Tetraedron minimum* besitzt einen maßgeblichen Anteil am Sedimentaufbau des Enspeler Ölschiefers. Vermutlich könnte man in nahezu jeder gut erhaltenen Ölschieferprobe Zellwandreste dieser Grünalge nachweisen. Bei 1,70 bis 1,93 m, 3,60 m, 3,80 bis 3,90 m, 5,50 bis 6,10 m, 7,85 bis 8,17 m, 10,48 m und 10,73 m konnten deutliche Anreicherungen dieser Alge gefunden werden. Bei 3,60 m kam es zu einem fast reinen Ablagerungshorizont von sehr gut erhaltenen *Tetraedron minimum* Zellen (siehe Abb. 6).

Ökologie: Nach KOMÁREK & FOTT (1983) findet man *Tetraedron minimum* rezent im Plankton und Periphyton von Binnengewässern. Die Verbreitung ist wahrscheinlich kosmopolitisch.

Stratigraphische Verbreitung: Mitteleozäner Ölschiefer von Messel (GOTH 1990). Untermiozäner Ölschiefer von Hausen/Rhön (GOTH & SCHILLER 1994).

Familie Botryococcaceae WILLE 1909
Gattung Botryococcus KÜTZING 1849

Botryococcus cf. *braunii* KÜTZING 1849

Abb. 42, 43

*1849 *Botryococcus braunii* KÜTZING; KÜTZING, S. 892.
1976 *Botryococcus braunii* KÜTZING; PANKOW, S. 368, Abb. 804.
1983 *Botryococcus braunii* KÜTZING; KOMÁREK & FOTT, S. 376ff., Taf. 113: Fig. 4-5.

Dimensionen: Die Zellkolonien von *Botryococcus* cf. *braunii* erreichen in den untersuchten Proben des Enspeler Ölschiefers ca. 50 bis 250 µm Durchmesser. Einzelne Zellkelche werden ca. 4 bis 10 µm groß (siehe Abb. 43a).

Beschreibung: *Botryococcus* cf. *braunii* bildet radialstrahlige, traubige Zellkolonien. Die Vermehrung erfolgt durch Autosporen. Häufig erkennt man zusammengehörige, vielzellige Teilkolonien. Einzelne Zellkelche zeigen häufig konzentrisch verschachtelte Wandstrukturen (siehe Abb. 43a). Mit Hilfe eines Fluoreszenzmikroskopes lassen sich *Botryococcus*-Kolonien leicht nachweisen. Hierfür ist die deutliche Fluoreszenz der ölhaltigen Zellwandreste verantwortlich. Frische Sedimentflächen zeigen eine gelbliche Fluoreszenzfarbe, die polierten Dünnschliffe hingegen ein leuchtendes Grün (verursacht durch die Fluoreszenzfarbe des verwendeten Kunstharzes).

Häufigkeit: Die Grünalge *Botryococcus* cf. *braunii* läßt sich in der Kernbohrung Enspel 1991(2) erstmals ab der Profiltiefe von 1,00 m mit einer kleinen und sehr schlecht erhaltenen Zellkolonie nachweisen. Bei 7,85 m konnte eine weitere, ähnlich erhaltene Kolonie beobachtet werden. Im Gegensatz hierzu enthalten die untersuchten Sedimentproben 11,48 m, 15,73 m, 15,84 m, 16,70 m, 18,01 m, 18,11 m viele bis sehr viele gut erhaltene Kolonien. Wie die (semiquantitative) Auswertung von Dünnschliffen ergab, besitzen die *Botryococcus* Kolonien bei 18,01 m bis ca. 30 Volumenprozent am Sedimentaufbau.

Ökologie: KOMÁREK & FOTT (1983) beschreiben *Botryococcus braunii* als eine planktonische, manchmal auch benthische und an submersen Pflanzen anhaftende, sehr variable Art, die in nährstoffreichen Gewässern Algenblüten bilden kann.

Stratigraphische Verbreitung: Morphologisch entsprechen die von GOTH (1990) abgebildeten *Botryococcus*-Reste des mitteleozänen Messeler Ölschiefers ziemlich genau den Formen von Enspel. Für eine exakte Artbestimmung wären jedoch Ultrastrukturuntersuchungen nötig (GOTH 1990). Die mitteleozänen Sedimente des Eckfelder Maares/Eifel führen nach den Untersuchungen von WILDE et al. (1993) ebenfalls *Botryococcus* cf. *braunii*. Weitere *Botryococcus*-Reste, die vermutlich zur Art *braunii* gehören, wurden von MARTINI & ROTHE (1988) für die unteroligozänen gebänderten Kalke von Sieblos/Rhön beschrieben und abgebildet. Vergleichbare Formen sind auch von limnischen Sedimenten an der Grenze Jura/Kreide aus Schweden bekannt (GUY-OHLSON 1998). Rezent lebt *Botryococcus braunii* z.B. in der gesamten Ostsee (PANKOW 1976).

4.5 Schwämme:

Reich	Animalia (ARISTOTELES) WHITTAKER & MARGULIS 1978
Unterreich	Metazoa HAECKEL 1868
Stamm	Porifera GRANT 1872
Klasse	Silicea BOWERBANK 1862
Unterklasse	Demospongida SOLLAS 1875 (= Demospongiae SOLLAS 1875)
Ordnung	Haplosclerida TOPSENT 1898
Familie	Spongillidae GRAY 1867

Süßwasserschwämme bestehen aus einem fossil nicht erhaltungsfähigen Weichkörper (Parenchym) und einem Stützskelett von beständigen Kieselnadeln. Schwammnadeln (Skleren, Spicula) von Süßwasserschwämmen findet man nahezu in jeder Sedimentprobe des feingeschichteten Enspeler Ölschiefers. Morphologisch lassen sich insgesamt drei ver-

schiedene Schwammnadeltypen mit unterschiedlichen Funktionen voneinander unterscheiden.

4.5.1 Monaxone, Amphioxe (siehe Abb. 47-57):
Als Monaxone werden in der Regel nadelartige, gerade oder gekrümmte, an beiden Enden zugespitzte Formen bezeichnet. Die Oberfläche der Monaxone kann entweder glatt oder auch schwach bis stark bedornt sein. Die Amphioxe können eine (seltener auch mehrere) Verdickung im Nadelschaft aufweisen. Das charakteristische Merkmal aller Monaxone ist ihr Zentralkanal (nur im Durchlichtmikroskop oder im REM bei Nadelquerschnitten zu erkennen, siehe Abb. 47-49). Entsprechend ihrer Größe können Makro- und Mikroskleren unterschieden werden. Die häufigsten Monaxone des untersuchten Enspeler Bohrkernmaterials sind schlank, gerade bis schwach gekrümmt, besitzen eine leicht bedornte Oberfläche und sind ca. 100 bis 300 µm lang (siehe Abb. 44, 50 u. 51). An zweiter Stelle stehen schlanke, gerade bis leicht gekrümmte Exemplare mit einer glatten Oberfläche. Die Länge dieser Amphioxe beträgt auch etwa 100 bis 300 µm (siehe Abb. 53). In den Sedimentproben 0,68 m, 0,76 m, 8,92 m und 10,73 m wurden untypische Monaxone mit Furchen gefunden. Diese geschlitzten Amphioxe sind anscheinend einzigartig in Enspel und sind als außergewöhnliche Modifikation besonders zu erwähnen. Die Skleren besitzen eine glatte Oberfläche und eine schlitzartige, gerade Kerbe in Längsrichtung. Diese Nut kann entweder als schwache Furche auf der Nadeloberfläche ausgebildet sein oder auch als tiefe Kerbe die Nadelwand durchtrennen. Einige Amphioxe zeigen eine Kombination beider schlitzartiger Kerben (siehe Abb. 56). Die Länge dieser Furchen ist unterschiedlich. In der Regel erkennt man ihren Ursprung aber an einem Nadelende. Betroffen von dieser Erscheinung sind sowohl Monaxone mit und ohne Nadelverdickung. Eine besondere Funktion konnte dieser speziellen Nadelausbildung bis jetzt noch nicht zugewiesen werden. Vermutlich handelte es sich um einen „Konstruktionsfehler" bei der Nadelproduktion eines Schwammindividuums und wurde durch die fehlerhafte Anlagerung von amorphem SiO_2 beim Längenwachstum der Monaxone verursacht. Ungeschlitzte Amphioxen mit deutlichen Nadelverdickungen wurden bei 1,80 m, 2,42 m und 2,66 m beobachtet (siehe Abb. 54). Eventuell dienen derartige verdickte Skleren dem Schwamm als SiO_2 -Reservoirs.
Anhand isolierter Monaxone lassen sich Süßwasserschwämme artlich nicht bestimmen.

4.5.2 Amphidisken (siehe Abb. 58-68):
Amphidisken besitzen im Gegensatz zu den Monaxonen radialstrahlige Dornenfortsätze oder rundliche Scheiben an ihren Nadelenden, so daß ihre Gesamtform enfernt an eine Hantel erinnert. Der Nadelschaft kann glatt oder auch bedornt sein. Aufgebrochene Amphidisken lassen einen Zentralkanal erkennen, der sich in den Dornenfortsätzen verzweigt (siehe Abb. 58 u. 65). Süßwasserschwämme benutzen Amphidisken als Belagnadeln für ihre Gemmulae. Hierbei handelt es sich um kleine kugelige Gebilde (mit radialstrahlig um einen zelligen Keim angeordneten Amphidisken), die von den Schwämmen in großen Mengen vorzugsweise im Herbst gebildet werden und die neben der geschlechtlichen Fortpflanzung der Vermehrung im nächsten Frühjahr durch Knospung (Gemmulation) dienen. Die Gemmulae können entweder durch die Wasserströmung verschleppt werden oder „keimen innerhalb des ausgefaulten Schwammes aus und besiedeln das alte Skelett" (GRUNER 1993: 270). Die Größe der Gemmulae sowie die Form der Amphidisken ist weitgehend gattungs- bzw. artspezifisch. Die Bestimmung und Abgrenzung rezenter Süßwasserschwämme erfolgt jedoch auch anhand weiterer, fossil nicht erhaltungsfähiger Merkmale, so daß die

Identifikation fossiler Schwammnadeln mit den Daten rezenter Spongillidae nur bedingt möglich ist.

4.5.3 Sphaeraster (siehe Abb. 45, 46):
Kugelförmige, mit Dornen besetzte Kieselschwammnadeln scheinen für die Süßwasserschwämme weitgehend unbekannt zu sein. Vom Autor konnte diese Schwammnadelform jedoch in sehr vielen limnischen Kieselgurvorkommen (z.B. in Beuern/Vogelsberg oder Kleinsaubernitz/Sachsen) und in dem Enspeler Ölschiefer beobachtet werden. Für marine Kieselschwämme wurde der Name Sphaeraster von SCHULZE & LENDENFELD (1889: 28f.) für „Aster mit kugeliger Centralmasse und kurzen, dicken, zugespitzt kegelförmigen, deutlich abgesetzten Strahlen" verwendet. Die von RÜTZLER & MACINTYRE (1978) mit einem REM dokumentierten Sphaeraster besitzen eine große Ähnlichkeit mit den im Enspeler Ölschiefer gefundenen, kugeligen und bedornten Schwammnadeln, so daß auch für diese Exemplare der Name Sphaeraster verwendet wurde. Die Enspeler Sphaeraster zeigen durchweg deutliche Anlösungsspuren und abgestumpfte Dornfortsätze. Der Durchmesser der Sphaeraster erreicht ca. 20 bis 60 µm.

4.5.4 Beschreibung der Schwammgattungen aufgrund der gefundenen Amphidisken
Die Bestimmung erfolgte nach PENNAK (1978) und PENNEY & RACEK (1968).

Gattung *Ephydatia* LAMOUROUX 1816

Abb. 58-66

Dimensionen: Die Amphidisken der Gattung *Ephydatia* sind ungefähr 33 bis 50 µm lang. Der Durchmesser ihrer dornigen Endscheiben beträgt ca. 20 bis 25 µm, der Nadelquerschnitt ca. 8 bis 11 µm.

Beschreibung: Die Nadelschäfte weisen bis zu 8 kräftige Dornen auf. Bei einigen Exemplaren sind die dornigen, radialstrahligen Fortsätze zu dichten, flachen Scheiben verwachsen (siehe Abb. 61, 62), während andere Amphidisken auch jeweils einen Dornfortsatz in Richtung der Längsachse aufweisen (siehe Abb. 66).

Häufigkeit: Die Amphidisken der Gattung *Ephydatia* konnten in fast der Hälfte der untersuchten Proben angetroffen werden. Besonders häufig wurden sie bei 1,80 m, 9,19 m, 10,73 m und 20,45 m beobachtet.

Ökologie: Keine generelle Aussage möglich.

Stratigraphische Verbreitung: Amphidisken der Gattung *Ephydatia* sind z.B. bekannt aus dem mitteleozänen Ölschiefer von Messel (RICHTER & WUTTKE 1995), dem unteroligozänen Dysodil von Sieblos/Rhön (MARTINI & SCHILLER 1995), der miozänen Kieselgur von Beuern/Vogelsberg und der miozänen Spongillidenerde von Schirnding-Mühlbach/Fichtelgebirge (REUL 1954) sowie aus neogenen Sedimenten Frankreichs (FIRTION 1944).

Gattung *Radiospongilla* PENNEY & RACEK 1968

Abb. 67, 68

Dimensionen: Die *Radiospongilla*-Amphidisken von Enspel sind ca. 63 µm lang, der Nadeldurchmesser beträgt etwa 10 bis 12 µm, die bedornten Nadelenden messen ca. 16 bis 20 µm im Querschnitt.

Beschreibung: Im Gegensatz zu den Amphidisken der Gattung *Ephydatia* sind die Dornen bei *Radiospongilla* im Verhältnis zur Gesamtlänge deutlich kürzer (siehe Abb. 67, 68) und die Nadeln sehen insgesamt stämmiger aus. Die Dornenfortsätze an den Amphidiskenenden stehen sehr dicht nach allen Seiten weg. Die Nadelschäfte weisen zwischen 3 und 11 Dornen auf.

Häufigkeit: Die Amphidisken der Gattung *Radiospongilla* scheinen in dem Enspeler Ölschiefer nicht so häufig wie die Vertreter von *Ephydatia* vorzukommen. Ihre größte Verbreitung wurde bei 1,80 m, 2,56 m und 3,30 m beobachtet.

Ökologie: Nach PENNEY & RACEK (1968) bevorzugt *Radiospongilla* tropische und subtropische Lebensräume.

Stratigraphische Verbreitung: Fossil nicht bekannt.

5. Diagenetische Veränderungen des Enspeler Ölschiefers

Das untersuchte Probenmaterial der Kernbohrung Enspel 1991(2) zeichnet sich durch seine unterschiedlichen Erhaltungszustände aus, die sowohl auf synsedimentäre Prozesse (Aufarbeitung und Umlagerung) als auch auf die Sedimentdiagenese zurückzuführen sind. Der Anteil der diagenetisch leicht veränderlichen Sedimentkomponenten wie z.B. (glasige) Aschen- und Staubtuffeinschaltungen, Weichteile von Organismen, Zellinhaltstoffe von Algen bzw. Protisten aber auch die Skelette bzw. Schalen der kieseligen Mikrofossilien stehen einem geringeren Sedimenteintrag an beständigen (kristallisierten) vulkanischen Mineralen oder eingeschwemmten Sandkörnern gegenüber. Die Hauptursache für die unterschiedlichen Erhaltungsstadien der kieseligen Mikrofossilien dürfte durch die Kompaktionsvorgänge des Ölschiefers begründet sein. Geht man von einem ehemals wassergesättigten Sedimentschlamm aus, der später von dem mächtigen Basaltkomplex des Stöffel überlagert wurde, so läßt sich eine erhebliche Sedimentkompaktion und Volumenreduktion leicht erklären. Die im Ölschiefer zwischengelagerten kompakten und härteren Tuffbänke sind wahrscheinlich für die unterschiedlichen Setzungserscheinungen der bituminösen Sedimente mitverantwortlich.

Die rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen ergaben, daß der Enspeler Ölschiefer noch immer ein hohes Porenvolumen besitzt. Als geeigneter Indikator für den Setzungsbetrag des Sedimentes können z.B. die Theken der zentrischen Diatomee *Melosira undulata* herangezogen werden. In vielen Fällen blieben von dieser Kieselalge nur noch die röhrenförmigen Abdrücke mit darin enthaltenen Thekendiski erhalten. Ähnliche Lösungserscheinungen an miozänen Diatomeen-führenden Sedimenten aus der Rhön wurden von SCHILLER (1994) untersucht und beschrieben. Für die selektive Lösung der Mantelflächen größerer zentrischer Kieselalgen ist besonders die Drucklösung während der Sedimentkompaktion verantwortlich. Das ursprünglich lockere Gefüge der einzelnen Sedimentkomponenten wurde durch die Auflast verdichtet, somit das Porenvolumen verringert und das Porenwasser ausgetrieben. Die horizontal abgelagerten zentrischen Diatomeenketten erfuhren mit zunehmender Sedimentkompaktion eine erhöhte Druckbelastung an ihren zylindrischen Mantelflächen während die Thekenböden (Diski) hiervon nicht betroffen wurden. Nachdem die Mantelflächen der Diatomeen weggelöst waren, fielen die Thekendiski in die noch bestehenden Hohlräume und blieben vor weiterer (Druck-) Lösung weitgehend verschont (siehe Abb. 3). Wie der überwiegende Teil der untersuchten Proben der Kernbohrung

Enspel 1991(2) zeigte, endete die Sedimentkompaktion des Ölschiefers ungefähr in diesem Stadium. Nach LANDMESSER (1988) sind für die Auflösung von amorphem SiO_2 relativ große Mengen von Wasser nötig. Die Löslichkeit von amorpher Kieselsäure erhöht sich jedoch deutlich bei zunehmender (Wasser-) Temperatur, wie sie wahrscheinlich auch durch die Aufheizung des Stöffel-Vulkanitkomplexes zur Verfügung gestanden haben muß.

Neben der Lösung und Wegfuhr des amorphen SiO_2 wurde auch häufig Silizium-Substanz wieder im Druckschatten von Diatomeen-Schalen und Goldalgen-Zysten ausgefällt (siehe Abb. 69-74). Die Struktur dieser Steinkerne unterscheidet sich kaum von den von GOTH (1990) beschriebenen Opal-CT-Lepisphären des Messeler Ölschiefers. Jedoch konnten in dem Enspeler Ölschiefer bis jetzt keine sphärolithischen Opal-CT-Lepisphären nachgewiesen werden. Die Steinkernbildungen in den Hohlräumen der Enspeler Sedimente bestehen aus „schwammartigen" verschachtelten Lamellen ohne scharfe Konturen und geometrische Gesetzmäßigkeit. Mit zunehmendem Wachstum wird der Schalenhohlraum detailgetreu ausgefüllt, so daß man in einigen Fällen die ursprünglichen Mikroorganismen anhand ihrer Steinkerne bestimmen kann (siehe Abb. 70).

Mit Hilfe eines energiedispersiven Röntgenanalyse Systems (EDX-Anlage) wurden sowohl die Steinkernbildungen als auch Schalen- und Skelett-Teile der kieseligen Mikrofossilien untersucht. Während für die photographische Dokumentation eine Goldbedampfung der Proben nötig ist (gewährleistet bei höheren Vergrößerungen ein günstiges Signal- / Rauschverhältnis und somit ein höheres elektronenoptisches Auflösungsvermögen), stören die Au-Peaks bei EDX-Analysen besonders stark. Die Proben ENSP 6 (siehe Abb. 79) und ENSP 10 (siehe Abb. 80) wurden deshalb mit einer für die EDX-Analyse nicht störenden Kohlenstoffoberfläche versehen. Die analysierten Steinkerne einer Goldalgen-Zyste (siehe Abb. 79) und einer *Pinnularia*-Frustel (siehe Abb. 80) bestehen neben Si auch aus Fe, Al, Mg, Ca, K, und Ti. Im Gegensatz hierzu enthalten die Proben CYS 1 (gut erhaltene zweiteilige Kieselzyste, siehe Abb. 83) und MEL 1 (korrodierte Schale von *Melosira undulata*, siehe Abb. 84) kein Ti, Ca, K, die Probe CYS 1 anscheinend auch kein Mg. Die Proben AMPH 1 (gut erhaltener Amphidiskus von *Ephydatia* sp., siehe Abb. 81) und MON 1 (korrodierter Monaxon, siehe Abb. 82) zeigen außer den störenden Gold-Peaks nur Si und Fe Gehalte an. Auf eine Berechnung der Elementverteilung wurde wegen der dreidimensionalen Oberflächen der untersuchten Objekte und damit verbundener undefinierter Reflexionswinkel des Elektronenstrahls verzichtet.

In einem einzigen Fall konnte auch ein zerbrochener Monaxon beobachtet werden, auf dessen Oberfläche ein feiner, sekundärer SiO_2 -Belag abgeschieden wurde (siehe Abb. 47). Schwammnadeln eignen sich in der Regel nicht besonders gut als Indikatoren für diagenetische Sedimentveränderungen, da die Skelettnadeln der Süßwasserschwämme den Zersetzungsprodukten (Bakterien) der saisonal absterbenden Schwämme ausgesetzt sind und hierdurch angelöst werden können.

Als weitere diagenetische Erscheinungen der untersuchten Sedimente von Enspel ist die Bildung von Pyritframboiden (siehe Abb. 76 u. 78) und Barytrosetten (siehe Abb. 75) zu erwähnen.

6. Danksagung

Herrn Dipl.-Geol. A. WILKE, Mainz, danke ich für die gemeinsame Beprobung der Bohrkerne. Besonderen Dank schulde ich Herrn Prof. Dr. E. MARTINI, Frankfurt/M., für die Durchsicht des Manuskriptes.

Die Deutsche Forschungsgemeinschaft förderte diese Untersuchung im Rahmen des Projektes Ma 199/30-1.

7. Schriftenverzeichnis

BRAUN, A. (1855): Algarum unicellularium genera nova et minus cognita, praemissis observationibus de algis unicellularibus in genere **I-III:** 111 S., 5 Taf. Leipzig (W. Engelmann).

DUFF, K.E., ZEEB, B.A. & SMOL, J.P. (1995): Atlas of chrysophycean cysts. – Developments Hydrobiology **99**: VII + 189 S. Dordrecht. (Kluwer Academic Publishers).

EHRENBERG, C.G. (1840): Charakteristik von 274 neuen Arten von Infusorien. – Ber. Bekanntm. Verh. Königl. Preuss. Akad. Wissensch. Berlin: 197-219. Berlin. – [Sitzung der physikal.-mathemat. Klasse].

EHRENBERG, C.G. (1841/43): Verbreitung und Einfluss des mikroskopischen Lebens in Süd- und Nord-Amerika. – Abh. Königl. Preuss. Akad. Wiss. Berlin: 158 S., 4 Taf. Berlin. – [Vortrag vom 25.3 und 10.6.1841 mit späteren Zusätzen].

FIRTION, F. (1944): Spongilles et Chrysostomatacées d'un lignite de la formation cinéritique du Lac Chambon (Puy-de-Dôme). – Bull. Soc. Géol. France, 5e sér. **14:** 331-346, Taf. 7-8. Paris.

GOTH, K. (1990): Der Messeler Ölschiefer – ein Algenlaminit. – Cour. Forsch.-Inst. Senckenberg **131**: 143 S., 27 Abb., 9 Tab, 20 Taf. Frankfurt/M.

GOTH, K. & SCHILLER, W. (1994): Miozäne Algenlaminite von Hausen in der Rhön. – Paläont. Z. **68**: 287-297, 5 Abb. Stuttgart (Schweizerbart).

GRUNER, H.-E. (1993): Wirbellose Tiere, **1**(1): Einführung Protozoa, Placozoa, Porifera. – In: KAESTNER, A. [Begr.]: Lehrbuch der speziellen Zoologie: 318 S., 115 Abb., 3 Tab., 5 Taf.; Jena (G. Fischer).

GUY-OHLSON, D. (1998): The use of the microalga *Botryococcus* in the interpretation of lacustrine environments at the Jurassic-Cretaceous transition in Sweden. – Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology **140**: 347-356, 2 Fig., 3 Taf., 1 Tab. Amsterdam (Elsevier).

HANSGIRG, A. (1888): Ueber die Süßwasseralgen-Gattungen *Trochiscia* KTZ., (*Acanthococcus* LAGRH., *Glochiococcus* DE-TONI) und *Tetraedron* KTZ. (*Astericium* CORDA, *Polyedrium* NAG., *Cerasterias* REINSCH). – Hedwigia **27**(5/6): 126-132. Dresden.

HERRMANN, O. & REICHELT, H. (1895): Ueber Diatomeenschichten aus der Lausitz. – Sitz.-Ber. Naturf. Ges. Leipzig, [19. bis 21. Jahrg.]: 67-77. Leipzig (Engelmann). [Sitzung vom 7.3.1893].

HUBER-PESTALOZZI, G. (1942): Das Phytoplankton des Süßwassers, 2. Teil, 2. Hälfte, Diatomeae. – In: HUBER-PESTALOZZI, G. [Hrsg.]: Die Binnengewässer **16**: X + 367-549, Abb. 444-645. Stuttgart (Schweizerbart).

KOMÁREK, J. & FOTT, B. (1983): Das Phytoplankton des Süßwassers, 7. Teil, 1. Hälfte, Chlorophyceae (Grünalgen) Ordnung Chlorococcales. – In: HUBER-PESTALOZZI, G. [Hrsg.]: Die Binnengewässer **16**: X + 1044 S., 14 Abb., 43 Tab., 253 Taf. Stuttgart (Schweizerbart).

KRAMMER, K. (1986): Kieselalgen: Biologie, Baupläne der Zellwand, Untersuchungsmethoden. – 140 S., 243 Abb. Stuttgart (Franckh).

KRAMMER, K. & LANGE-BERTALOT, H. (1986): Bacillariophyceae. – In: PASCHER, A. [Begr.]: Süßwasserflora von Mitteleuropa **2**(1): XIV + 876 S., 206 Fig. Stuttgart (G. Fischer).

KRAMMER, K. & LANGE-BERTALOT, H. (1991a): Bacillariophyceae. – In: PASCHER, A. [Begr.]: Süßwasserflora von Mitteleuropa **2**(3): XIII + 576 S., 166 Taf. Stuttgart (G. Fischer).

KRAMMER, K. & LANGE-BERTALOT, H. (1991b): Bacillariophyceae. – In: PASCHER, A. [Begr.]: Süßwasserflora von Mitteleuropa **2**(4): VI + 437 S., 88 Taf. Stuttgart (G. Fischer).

KRASSKE, G. (1934): Die Diatomeenflora der hessischen Kieselgurlager. – Sitz.-Ber. Heidelb. Akad. Wiss. Mathem.-naturw. Kl. **5**: 1-26, 12 Fig. Heidelberg (Weiß).

KÜTZING, F.T. (1844): Die kieselschaligen Bacillarien oder Diatomeen. – 152 S., 30 Taf. Nordhausen (W. Köhne).

LANDMESSER, M. (1988): Transport- und Akkumulationsmechanismen des SiO_2 in petrologischen Systemen: Achate. – Z. Dt. Gemmol. Ges. **36**(3/4): 101-119, 8 Abb., 2 Tab. Stuttgart (Schweizerbart).

MARTINI, E. & ROTHE, P. (1988): Die unteroligozäne „Braunkohlen"-Lagerstätte Sieblos an der Wasserkuppe/Rhön. – Beitr. Naturkde. Osthessen **24**: 7-25, 7 Abb., 1 Tab. Fulda (Parzeller).

MARTINI, E. & SCHILLER, W. (1995): Amphidisken der Schwammgattung *Ephydatia* im Unter-Oligozän von Sieblos/Rhön. – Beitr. Naturkde. Osthessen **31**: 17-21, 5 Abb. Fulda (Parzeller).

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. Fulda (Parzeller).

MÜLLER, O. (1906): Pleomorphismus, Auxosporen und Dauersporen bei *Melosira*-Arten. – Jb. wiss. Bot. **43**: 49-88, 2 Taf. Leipzig (Borntraeger).

NIPKOW, H.F. (1927): Über das Verhalten der Skelette planktischer Kieselalgen im geschichteten Tiefenschlamm des Zürich- und Baldeggersees. – 52 S., 9 Taf., 14 Tab. Zürich (Sauerländer & Co.).

NYGAARD, G. (1956): Ancient and recent flora of diatoms and Chrysophyceae in Lake Gribsø. – Folia Limnol. Scandinavica **8**: 32-94, Abb. 12-13, Tab. 6-13, Taf. 1-12. København.

OKUNO, H. (1958): Electron-microscopic fine structure of fossil diatoms. V. Observation on some diatoms found in the „Celatoms". – Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan, N.S. **31**: 237-242, 1 Text-Abb., 1 Tab., Taf. 34-35. Kyoto.

PANKOW, H. (1976): Algenflora der Ostsee, II. Plankton. – 493 S., 880 Abb., 26 Taf. Jena (G. Fischer).

PENNAK, R.W. (1978): Fresh-water invertebrates of the United States. – 803 S., 548 Abb. New York (Wiley).

PENNEY, J.T. & RACEK, A.A. (1968): Comprehensive revision of a worldwide collection of fresh-water sponges (Porifera: Spongillidae). – U.S. Nat. Mus. Bull. **272**: 184 S., 15 Taf. Washington (Smithsonian Institution Press).

REHÁKOVÁ, Z. (1965): Fossile Diatomeen der südböhmischen Beckenablagerungen. – Rozpr. Ústr. Úst. geol. **32**: 96 S., 50 Abb., 20 Taf. Praha.

REHÁKOVÁ, Z. (1980): Süßwasserdiatomeenflora des oberen Miozäns in der Tschechoslowakei. – Journ. Geol. Sc., Palaeontology **23**: 83-184, 1 Abb., 20 Taf. Praha.

REUL, K. (1954): Spongilliden-Erde im Miocän des Fichtelgebirges. Ein Vergleich mit der miocänen Kieselgur von Beuern. – Geol. Bl. NO-Bayern **4**(1): 14-20, 3 Abb. Erlangen.

RICHTER, G. & WUTTKE, M. (1995): Der Messeler Süßwasser-Kieselschwamm *Spongilla gutenbergiana*, eine *Ephydatia*. – Natur und Museum **125**(4): 134-135, 2 Abb. Frankfurt/M.

ROUND, F.E., CRAWFORD, R.M. & MANN, D.G. (1990): The diatoms, biology and morphology of the genera. – 747 S., 332 Abb. Cambridge (Cambridge University Press).

RÜTZLER, K. & MACINTYRE, I.G. (1978): Siliceous sponge spicules in coral reef sediments. – Mar. Biol. **49**: 147-159, 6 Abb., 2 Tab. Berlin, Heidelberg, New York (Springer).

SALLUM, R. (1956): Mikrofloristische Untersuchungen des Polierschiefers von Seifhennersdorf als Mittel zur Deutung seiner Genese. – Unveröff. Dipl.-Arb. Bergakad. Freiberg: 50 S., 14 Anl. Freiberg.

SCHAUDERNA, H. (1983): Die Diatomeenflora aus den miozänen Seeablagerungen im Nördlinger Ries. – Palaeontographica, Abt. B **188:** 83-193, 15 Abb., 10 Tab., 27 Taf. Stuttgart (Schweizerbart).

SCHILLER, W. (1994): Miozäne Diatomeen von der Guckas bei Rüdenschwinden/Rhön. – Beitr. Naturkde. Osthessen, **29:** 35-47, 16 Abb. Fulda (Parzeller).

SCHILLER, W. (1998): Kieselige Mikrofossilien aus dem Unter-Oligozän von Sieblos/Rhön. – In: MARTINI, E. & ROTHE, P. [Hrsg.]: Die alttertiäre Fossillagerstätte Sieblos an der Wasserkuppe/Rhön. – Geol. Abh. Hessen **104**: 173-199, 1 Abb., 1 Tab., 9 Taf. Wiesbaden.

SCHMIDT, A. (1874-1959): Atlas der Diatomaceen-Kunde. Begründet von A. SCHMIDT (Taf. 1-212), fortgesetzt von M. SCHMIDT (Taf. 213-216), F. FRICKE (Taf. 217-240), H. HEIDEN (Taf. 241-244), O. MÜLLER (Taf. 245-246), F. FRICKE (Taf. 247-256), H. HEIDEN (Taf. 257-264), F. FRICKE (Taf. 265-268) und F. HUSTEDT (Taf. 269-472). Aschersleben, Leipzig, Berlin.

SCHULZE, F.E. & LENDENFELD, R. VON (1890): Über die Bezeichnung der Spongiennadeln. – Physik. Abh. Königl. Akad. Wiss. Berlin [für 1889]: 1-35. Berlin (G. Reimer).

STARMACH, K. (1985): Chrysophyceae und Haptophyceae. – In: PASCHER, A. [Begr.]: Süßwasserflora von Mitteleuropa **1:** 515 S., 1051 Fig. Stuttgart (G. Fischer).

WILDE, V., FRANKENHÄUSER, H. & LUTZ, H. (1993): Algenreste aus den mitteleozänen Sedimenten des Eckfelder Maares bei Manderscheid in der Eifel. – Mainzer naturwiss. Archiv **31:** 127-148, 9 Abb. Mainz.

WILKE, A. (1994): Zur Sedimentologie der ober-oligozänen Fossillagerstätte Enspel/Westerwald. – Unveröff. Dipl.-Arb. Univ. Mainz: 130 S., 84 Abb., 19 Profiltaf. Mainz.

Anschrift des Verfassers: Dipl.-Geol. Wolfgang Schiller, Geologisch-Paläontologisches Institut, Johann Wolfgang Goethe-Universität, Senckenberganlage 32-34, D-60325 Frankfurt a. M.

Manuskript eingegangen: 31. Juli 2000.

Sedimentübersichten

Abb. 2: Sedimentüberblick mit deutlich angelösten Diatomeen-Schalen von *Fragilaria* cf. *construens*. Die Sedimentprobe stammt aus 0,92 m Tiefe.
Abb. 3: Sedimentüberblick mit *Melosira undulata*. Während die zylindrische Mantelfläche dieser Kieselalge der Drucklösung zum Opfer fiel, blieben die Thekendiski im Schalenhohlraum erhalten. Die Sedimentprobe stammt aus 1,00 m Tiefe.
Abb. 4: Massenvorkommen der Chrysophyceen-Zysten vom Typ Cysta sphaerica aus 1,60 m Tiefe. Die Zystenschalen sind äußerlich gut erhalten. Aufgebrochene Exemplare zeigen eine beginnende Steinkernbildung.

Sedimentübersichten

Abb. 5: Sedimentüberblick mit *Melosira undulata* und zahllosen Abdrücken nicht mehr bestimmbarer kleiner pennater Diatomeen. Die Sedimentprobe stammt aus 1,60 m Tiefe.
Abb. 6: Massenvorkommen der Chlorophycee *Tetraedron minimum* aus 3,60 m Tiefe.
Abb. 7: Sedimentüberblick mit weggelösten Diatomeen-Schalen von *Aulacoseira* sp. Lediglich die massiveren Thekenhälse dieser Diatomee blieben in den Schalenhohlräumen erhalten. Die Sedimentprobe stammt aus 3,80 m Tiefe.

Sedimentübersichten

Abb. 8: Fossilreiche Sedimentprobe aus 4,50 m Tiefe. Auf der linken Bildhälfte erkennt man die Kieselalge *Tetracyclus celatom* mit stark angelöster Schalensubstanz und beginnender Steinkernbildung in ihrem Hohlraum. In der Bildmitte findet man Chrysophyceen-Zysten vom Typ Cysta sphaerica, am rechten Bildrand Cysta costata und Cysta cf. acanthophora.
Abb. 9: Stufenförmig aufgebrochene Sedimentprobe aus 10,37 m Tiefe. Die untere Schichtfläche zeigt zahllose Abdrücke kleiner unbestimmbarer pennater Kieselalgen, während die obere Sedimentfläche ein Massenvorkommen weggelöster kugeliger Chrysophyceen-Zysten darstellt.
Abb. 10: Sedimentprobe aus 11,23 m Tiefe mit zahlreichen deformierten Pollenkörnern.

Zentrische Diatomeen

Der Maßstab für die Abb. 11 bis 15 entspricht einheitlich 10 µm.
Abb. 11: Diskusfläche von *Melosira undulata* aus 9,37 m Tiefe. Man erkennt im Zentrum eine areolenfreie Area und radial verlaufende Punktreihen.
Abb. 12: Theken von *Melosira undulata*, obererer Teil aufgebrochen. Einige größere Poren führen kanalartig in das Zellinnere (siehe Pfeil). Das gefundene Exemplar stammt aus 3,40 m Tiefe.
Abb. 13: Blick in das Thekeninnere von *Melosira undulata*, Profiltiefe 3,40 m.
Abb. 14: Stark korrodierte Schale von *Melosira undulata* aus 3,50 m Tiefe mit angelöster äußerer Mantelfläche.
Abb. 15: *Melosira undulata* mit feiner Verzahnung (siehe Pfeil), Profiltiefe 20,45 m.
Abb. 16: Stark korrodierte Theken von *Aulacoseira* cf. *islandica* aus 5,03 m Profiltiefe.

Pennate Diatomeen

Abb. 17: Rudimentäre Erhaltung von *Pinnularia* cf. *legumen*, Profiltiefe 3,70 m. Der Maßstab entspricht 10 µm.
Abb. 18: Sehr stark angelöste Schale von *Tetracyclus celatom*, Blick in das Schaleninnere, Profiltiefe 4,10 m. Der Maßstab entspricht 10 µm.
Abb. 19: Sehr stark angelöste Schale von *Tetracyclus celatom* mit beginnender Steinkernbildung, Profiltiefe 4,50 m. Der Maßstab entspricht 10 µm.
Abb. 20: *Cymbella* sp., Innenansicht, Profiltiefe 5,03 m. Der Maßstab entspricht 10 µm.
Abb. 21: *Cymbella* sp., Außenansicht, Profiltiefe 4,72 m. Der Maßstab entspricht 10 µm.
Abb. 22: *Gomphonema bohemicum* mit starken Anlösungsspuren, Profiltiefe 20,45 m. Der Maßstab entspricht 10 µm.
Abb. 23: *Gomphonema bohemicum*, Innenansicht, Profiltiefe 20,45 m. Der Maßstab entspricht 10 µm.
Abb. 24: Stark angelöste Schalen von *Fragilaria* cf. *construens*, Profiltiefe1,60 m. Der Maßstab entspricht 10 µm.

Chrysophyceen-Zysten

Der Maßstab für die Abb. 25 bis 33 entspricht einheitlich 3 µm.
Abb. 25: Aufgebrochene Schale von Cysta sphaerica, Profiltiefe 1,60 m.
Abb. 26: Leicht angelöste Schale von Cysta sphaerica, Profiltiefe 1,60 m.
Abb. 27: Gut erhaltene Schale von Cysta sphaerica. Am unteren Bildrand erkennt man ein anhaftendes Schalenfragment einer benachbarten Goldalgen-Zyste. Das gefundene Exemplar stammt aus einer Profiltiefe von 6,30 m.
Abb. 28: Cysta costata, Profiltiefe 4,50 m.
Abb. 29: Cysta spinosa, Profiltiefe 5,03 m.
Abb. 30: Cysta spinosa, Profiltiefe 5,03 m.
Abb. 31: Cysta protuberans, Profiltiefe 5,03 m.
Abb. 32: Cysta cf. acanthophora, Profiltiefe 4,50 m.
Abb. 33: *Carnegia* sp. Der Pfeil weist auf den abgebrochenen Haken hin. Das abgebildete Exemplar stammt aus einer Profiltiefe von 8,92 m.

Zweiteilige Kieselzysten

Der Maßstab für die Abb. 34 bis 40 entspricht einheitlich 3 µm.
Abb. 34: Zweiteilige Kieselzyste in Äquatorialansicht, Profiltiefe 9,37 m.
Abb. 35: Zweiteilige Kieselzyste, Profiltiefe 4,50 m.
Abb. 36: Zweiteilige Kieselzyste mit leicht geöffneter Schale, Profiltiefe 10,37 m.
Abb. 37: Zweiteilige Kieselzyste mit leicht geöffneter Schale, Profiltiefe 4,50 m.
Abb. 38a und 38b: Zweiteilige Kieselzyste, Profiltiefe 4,50 m.
Abb. 39: Zweiteilige Kieselzyste, Blick in die größere Schalenhälfte, Profiltiefe 4,50 m.
Abb. 40: Zweiteilige Kieselzyste, Blick in die kleinere Schalenhälfte, Profiltiefe 10,37 m.

Chlorophyceen

Abb. 41: *Tetraedron minimum*, Profiltiefe 3,60 m. Der Maßstab entspricht 1 µm.
Abb. 42a: Detailaufnahme: *Botryococcus* cf. *braunii*, deformierte Zellkolonie aus 18,01 m Profiltiefe. Der Maßstab entspricht 10 µm.
Abb. 42b: Sedimentübersicht mit *Botryococcus* cf. *braunii*, deformierte Zellkolonien aus 18,01 m Profiltiefe.
Abb. 43a: Detailaufnahme: Verschachtelte Zellwandstrukturen von *Botryococcus* cf. *braunii*, aus 18,01 m Profiltiefe. Der Maßstab entspricht 3 µm.
Abb. 43b: Verschachtelte Zellwandstrukturen von *Botryococcus* cf. *braunii*, aus 18,01 m Profiltiefe. Der Maßstab entspricht 10 µm.

Spongillidae

Abb. 44: Sedimentübersicht mit zahlreichen leicht bedornten Monaxonen eines Süßwasserschwammes, Profiltiefe 2,42 m.
Abb. 45: Sphaeraster mit korrodierter Oberfläche, Profiltiefe 1,00 m. Der Maßstab entspricht 10 µm.
Abb. 46: Sphaeraster mit korrodierter Oberfläche, Profiltiefe 10,57 m. Der Maßstab entspricht 10 µm.
Abb. 47: Zerbrochener Monaxon mit feinem SiO_2 -Belag auf der Oberfläche, Profiltiefe 2,66 m.
Abb. 48: Zerbrochener Monaxon mit korrodierter Oberfläche, Profiltiefe 1,60 m.
Abb. 49: Zerbrochener Monaxon mit korrodierter Oberfläche und erweitertem Zentralkanal, Profiltiefe 7,85 m.
Abb. 50: Leicht bedornte Monaxone aus 2,42 m Profiltiefe (Ausschnitt aus Abb. 44).

Spongillidae

Abb. 51: Schwach bedornter und in der Nadelmitte angelöster Monaxon, Profiltiefe 1,80 m. Der Maßstab entspricht 30 µm.
Abb. 52a: Deutlich angelöster Monaxon mit punktförmigen Korrosionslöchern, Profiltiefe 10,73 m. Der Maßstab entspricht 30 µm.
Abb. 52b: Detailaufnahme: Deutlich angelöster Monaxon mit punktförmigen Korrosionslöchern, Profiltiefe 10,73 m. Der Maßstab entspricht 3 µm.
Abb. 53: Glatter Monaxon, Profiltiefe 10,37 m. Der Maßstab entspricht 30 µm.
Abb. 54a: Monaxon mit deutlicher Verdickung, Profiltiefe 2,42 m. Der Maßstab entspricht 30 µm.
Abb. 54b: Monaxon mit deutlicher Verdickung, Profiltiefe 2,42 m. Der Maßstab entspricht 3 µm.
Abb. 55: Geschlitzter Monaxon, Profiltiefe 0,76 m. Der Maßstab entspricht 30 µm.
Abb. 56a: Geschlitzter Monaxon mit Verdickung. Die schlitzartige Furche durchtrennt die Nadelwand teilweise oder ist als oberflächliche Nut ausgebildet, Profiltiefe 0,76 m. Der Maßstab entspricht 30 µm.
Abb. 56b: Detailaufnahme: Geschlitzter Monaxon mit Verdickung. Die schlitzartige Furche durchtrennt die Nadelwand teilweise oder ist als oberflächliche Nut ausgebildet, Profiltiefe 0,76 m. Der Maßstab entspricht 3 µm.
Abb. 57a: Geschlitzter Monaxon mit Verdickung, Profiltiefe 0,68 m. Der Maßstab entspricht 30 µm.
Abb. 57b: Detailaufnahme: Geschlitzter Monaxon mit Verdickung, Profiltiefe 0,68 m. Der Maßstab entspricht 3 µm.

Spongillidae

Der Maßstab für die Abb. 58 bis 68 entspricht einheitlich 10 µm.
Abb. 58: Zerbrochener Amphidiskus der Gattung *Ephydatia*, Profiltiefe 1,70 m.
Abb. 59: Amphidiskus der Gattung *Ephydatia*, Profiltiefe 20,45 m.
Abb. 60a: Korrodierter Amphidiskus der Gattung *Ephydatia*, Profiltiefe 10,37 m.
Abb. 60b: Korrodierter Amphidiskus der Gattung *Ephydatia* mit Blick auf die Diskusscheibe, Profiltiefe 10,37 m.
Abb. 61a: Amphidiskus der Gattung *Ephydatia*, Profiltiefe 20,45 m.
Abb. 61b: Amphidiskus der Gattung *Ephydatia* mit Blick auf die Diskusscheibe, Profiltiefe 20,45 m.
Abb. 62a: Amphidiskus der Gattung *Ephydatia*, Profiltiefe 20,45 m.
Abb. 62b: Amphidiskus der Gattung *Ephydatia* mit Blick auf die Diskusscheibe, Profiltiefe 20,45 m.
Abb. 63: Amphidiskus der Gattung *Ephydatia*, Profiltiefe 3,50 m.
Abb. 64: Stark angelöster Amphidiskus der Gattung *Ephydatia*, Profiltiefe 7,85 m.
Abb. 65: Amphidiskus der Gattung *Ephydatia*, Profiltiefe 2,05 m.
Abb. 66: Amphidiskus der Gattung *Ephydatia* mit Dornfortsatz in Längsrichtung, Profiltiefe 9,19 m.
Abb. 67: Amphidiskus der Gattung *Radiospongilla*, Profiltiefe 1,80 m.
Abb. 68: Amphidiskus der Gattung *Radiospongilla*, Profiltiefe 2,56 m.

Steinkernbildungen

Abb. 69: *Cymbella* sp., rudimentäre Schale mit Steinkernfüllung, Profiltiefe 5,03 m. Der Maßstab entspricht 3 µm.
Abb. 70: *Gomphonema bohemicum* in Steinkernerhaltung, Profiltiefe 14,05 m. Der Maßstab entspricht 3 µm.
Abb. 71: Chrysophyceen-Zyste mit beginnender Steinkernbildung, Profiltiefe 1,60 m. Der Maßstab entspricht 3 µm.
Abb. 72: Steinkernbildung in einem Hohlraum einer Chrysophyceen-Zyste, Profiltiefe 7,47 m.
Abb. 73a: Steinkernbildung in weggelösten Schalen von *Aulacoseira* cf. *islandica*, Profiltiefe 5,22 m. Der Maßstab entspricht 3 µm.
Abb. 73b: Detailaufnahme: Steinkernbildung in weggelösten Schalen von *Aulacoseira* cf. *islandica*, Profiltiefe 5,22 m. Der Maßstab entspricht 3 µm.
Abb. 74: Sedimentüberblick mit Steinkernbildungen in weggelösten Chrysophyceen-Zysten. Die Probe stammt aus einer Profiltiefe von 7,47 m.

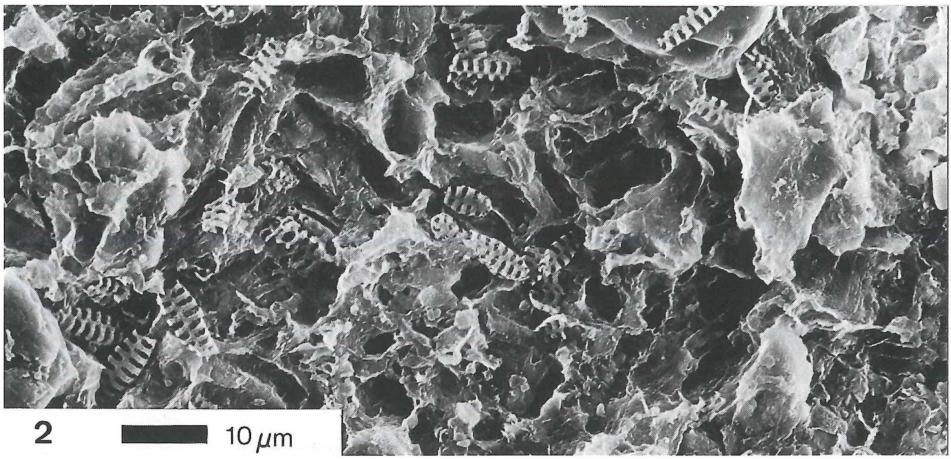
Minerale

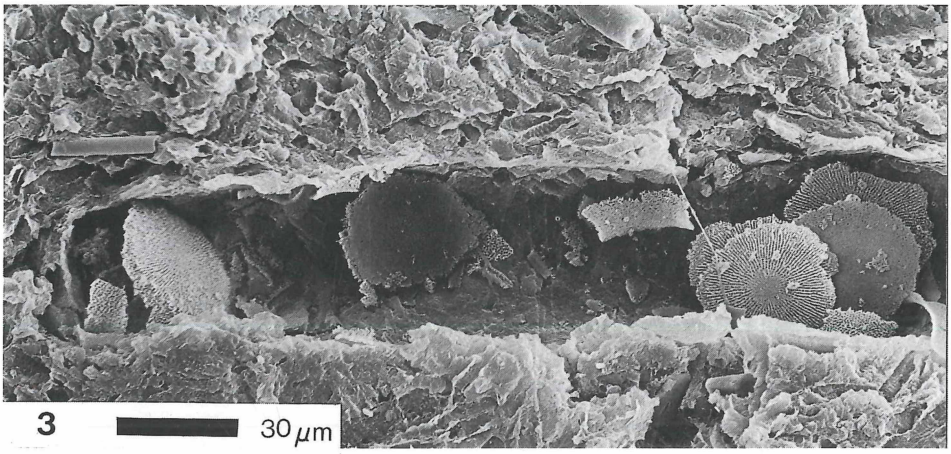
Abb. 75: Barytrosette, Profiltiefe 3,10 m. Der Maßstab entspricht 3 µm.
Abb. 76a: Detailaufnahme: Pyritframboid, Profiltiefe 8,92 m. Der Maßstab entspricht 3 µm.
Abb. 76b: Sedimentüberblick mit zahlreichen Pyritframboiden, Profiltiefe 8,92 m.
Abb. 77: Vulkanisch korrorodiertes Quarzkorn, Profiltiefe 0,68 m. Der Maßstab entspricht 30 µm.
Abb. 78: Pyritframboide mit angelösten (verwitterten) Kristallen, Profiltiefe 2,15 m. Der Maßstab entspricht 3 µm.

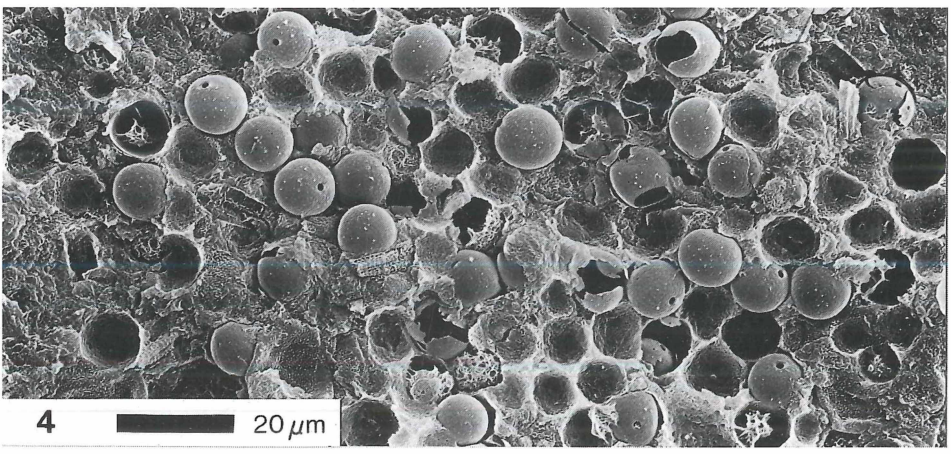
EDX-Analysen

Die weißen Rahmen kennzeichnen die analysierten Bereiche.
Abb. 79a: EDX-Probe ENSP 6 = Steinkernbildung in einer weggelösten Chrysophyceen-Zystenschale, Profiltiefe 11,48 m.
Abb. 79b: Graphische Darstellung der Elementanalyse.
Abb. 80a: EDX-Probe ENSP 10 = Steinkernbildung in einer weggelösten *Pinnularia* -Schale, Profiltiefe 5,22 m.
Abb. 80b: Graphische Darstellung der Elementanalyse.
Abb. 81a: EDX-Probe AMPH 1 = gut erhaltener Amphidiskus der Gattung *Ephydatia*, Profiltiefe 18,01 m.
Abb. 81b: Graphische Darstellung der Elementanalyse.
Abb. 82a: EDX-Probe MEL 1 = korrodierter Monaxon, Profiltiefe 10,73 m.
Abb. 82b: Graphische Darstellung der Elementanalyse.
Abb. 83a: EDX-Probe CYS 1 = gut erhaltene zweiteilige Kieselzyste, Profiltiefe 4,50 m.
Abb. 83b: Graphische Darstellung der Elementanalyse.
Abb. 84a: EDX-Probe MEL 1 = korrodierte Schale von *Melosira undulata*, Profiltiefe 18,01 m.
Abb. 84b: Graphische Darstellung der Elementanalyse.

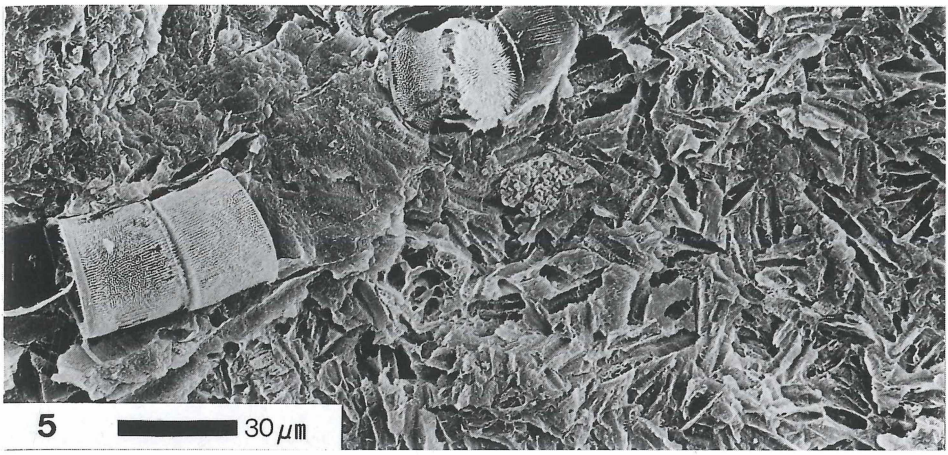
Sedimentübersichten

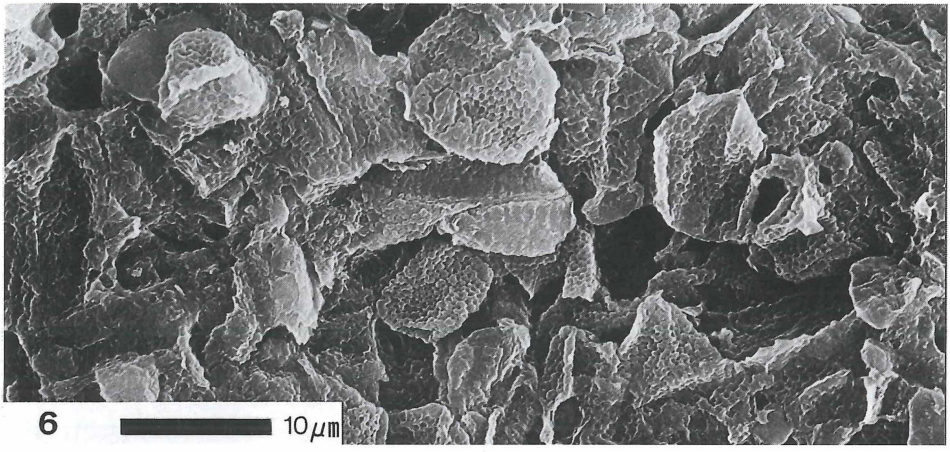


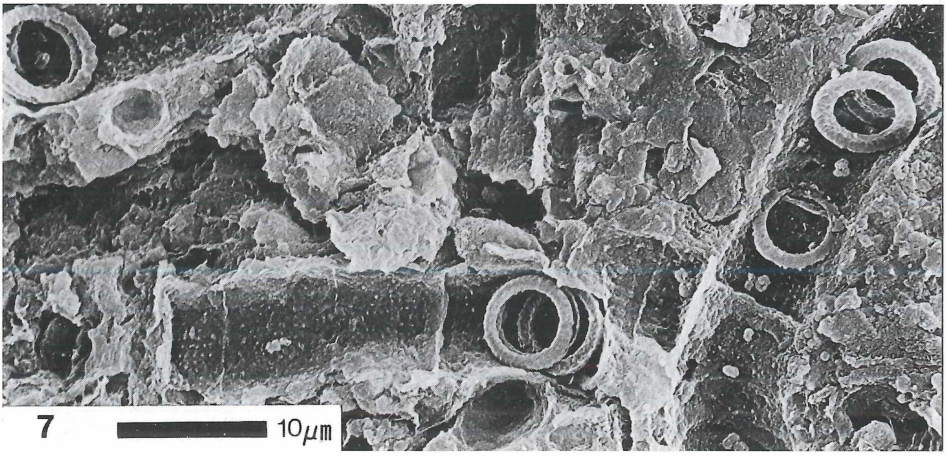




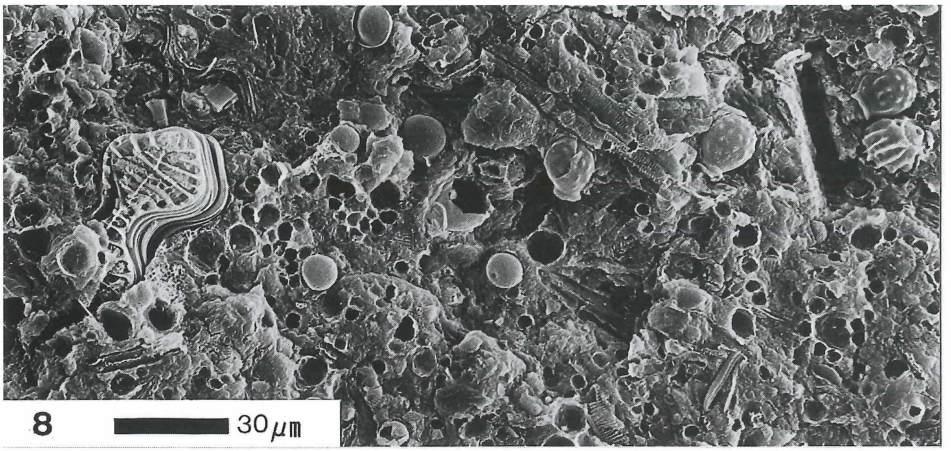
Sedimentübersichten

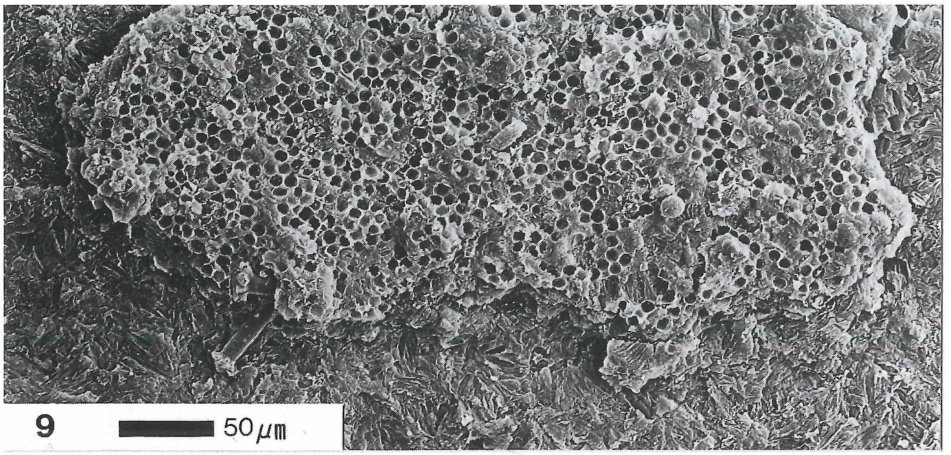


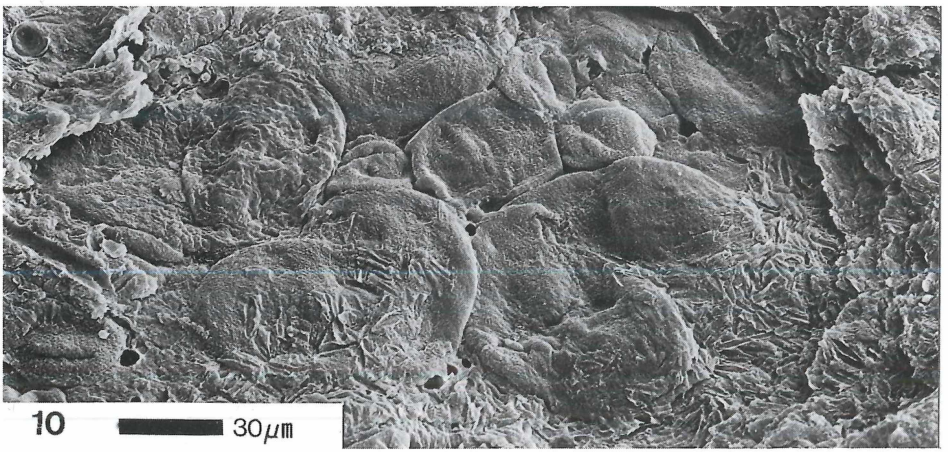




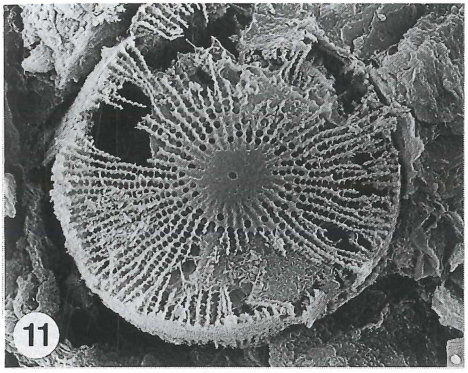
Sedimentübersichten

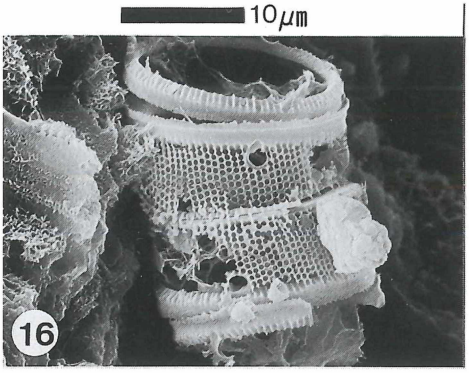


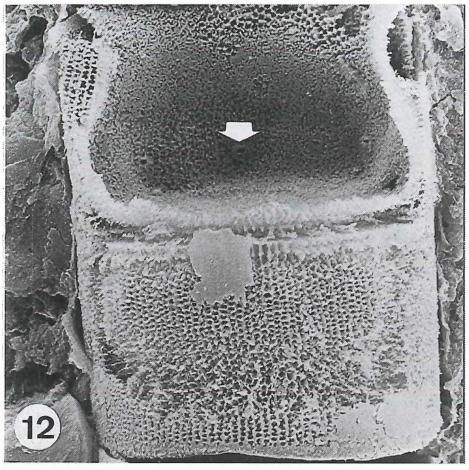


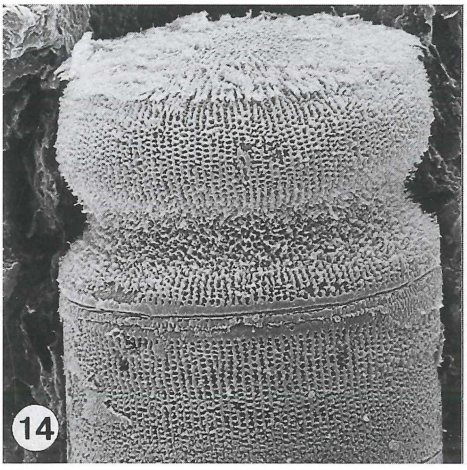


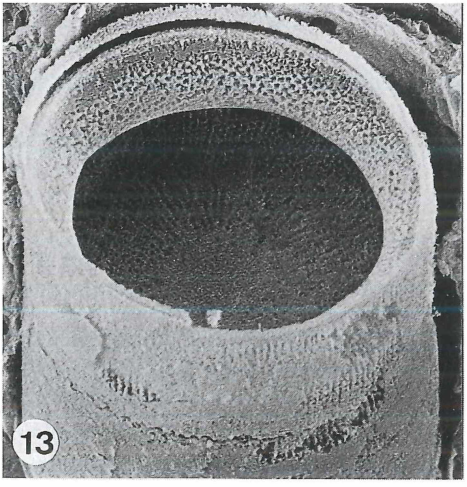
Zentrische Diatomeen

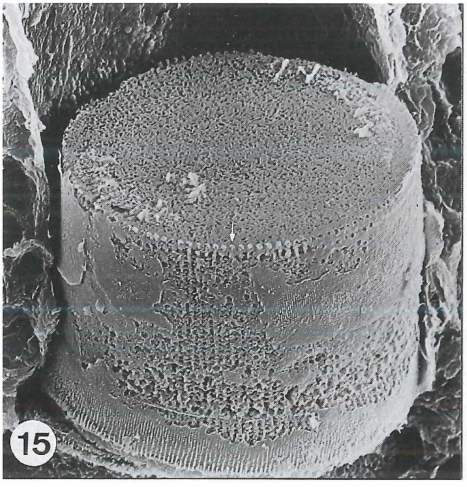




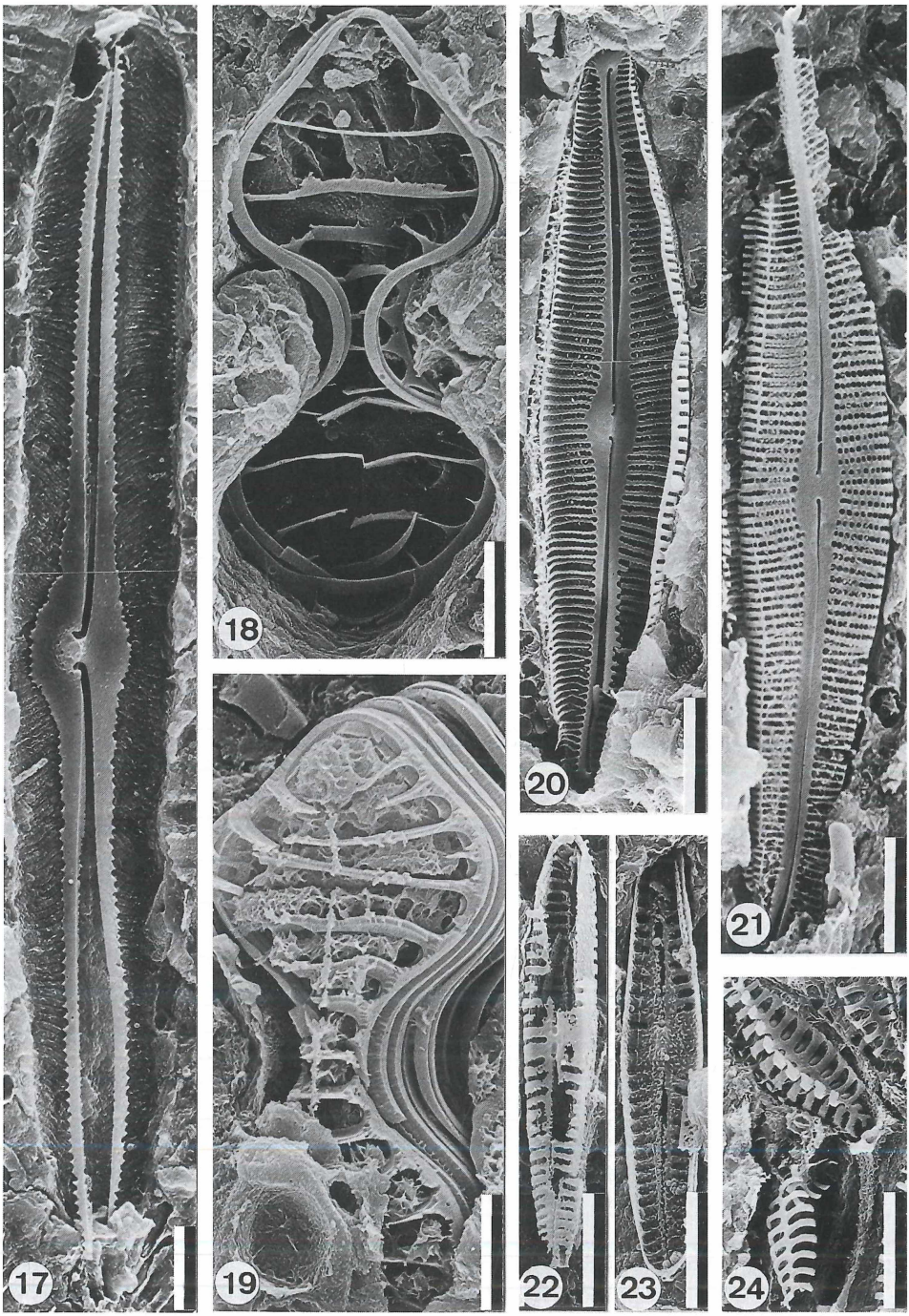




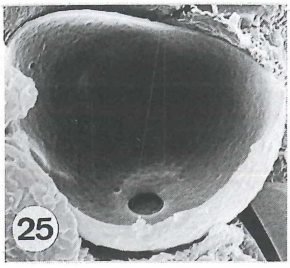


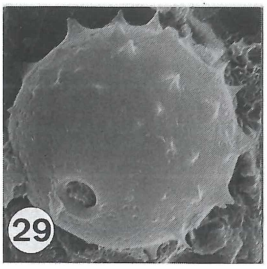


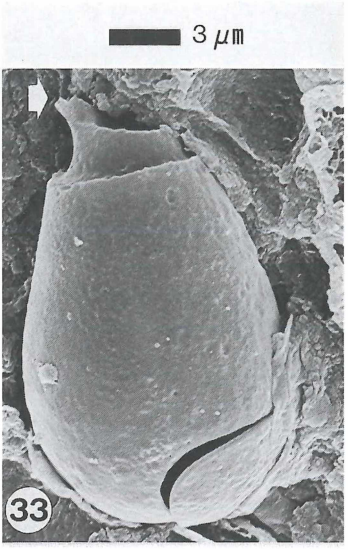
Pennate Diatomeen

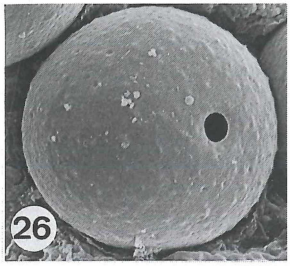


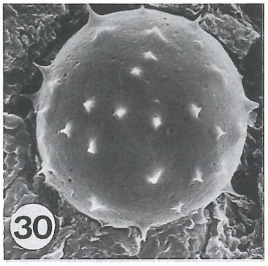
Chrysophyceen-Zysten

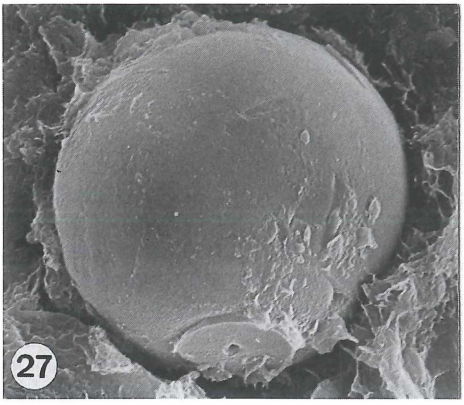


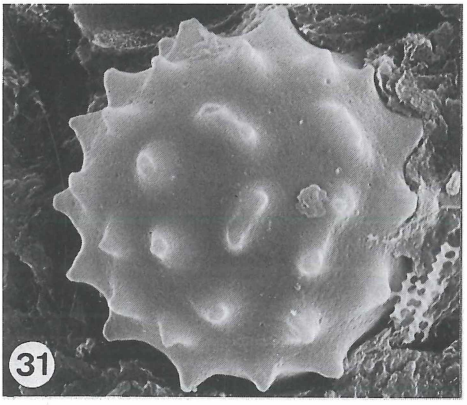


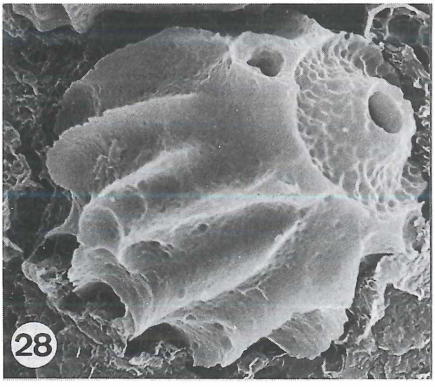


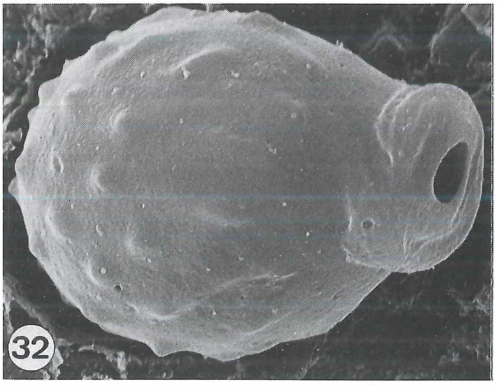




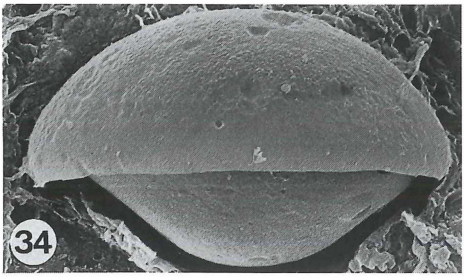


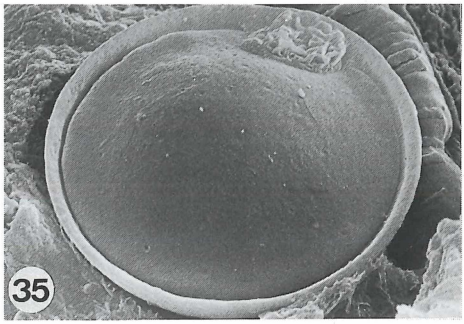


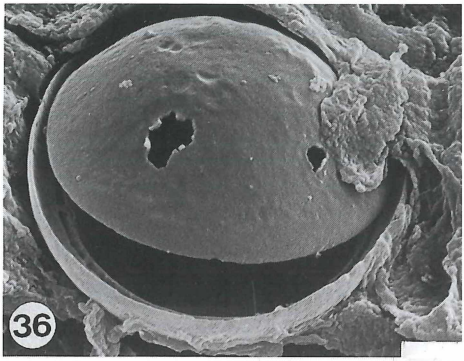


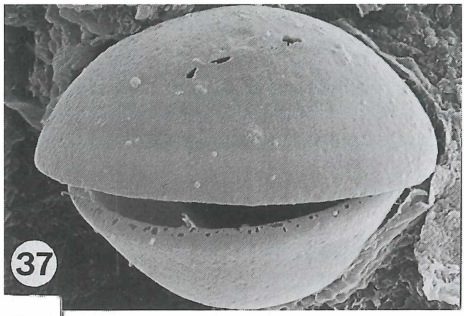


Zweiteilige Kieselzysten

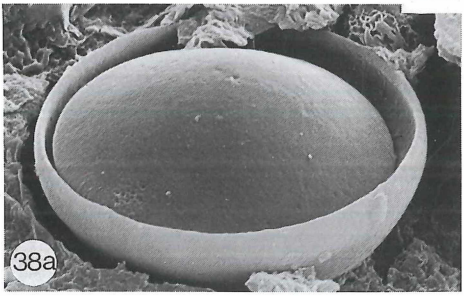


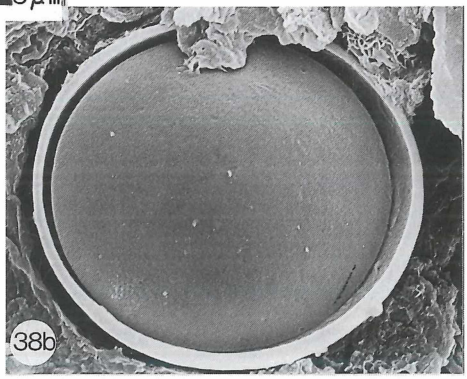


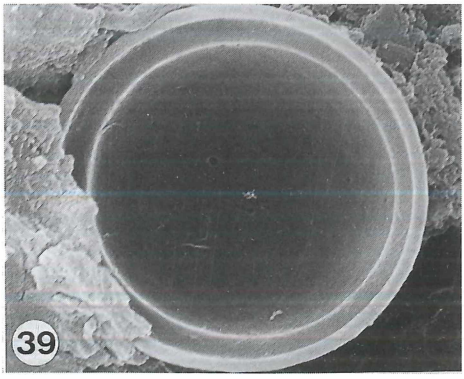


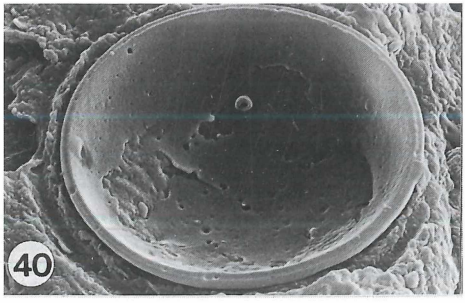


3 µm

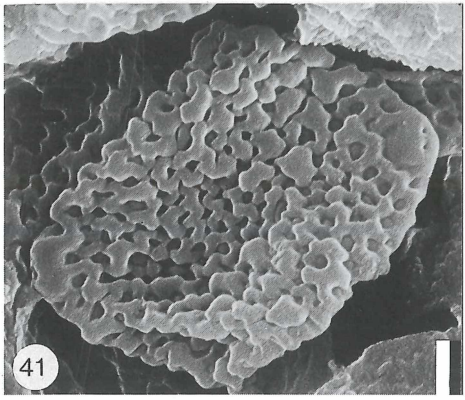


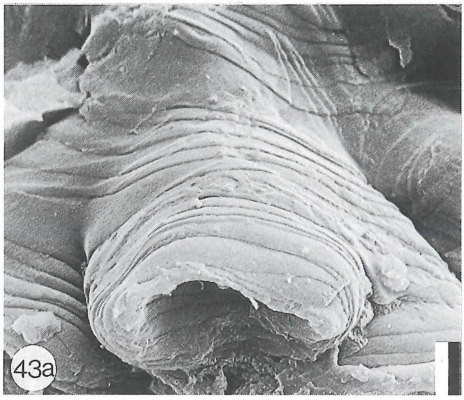


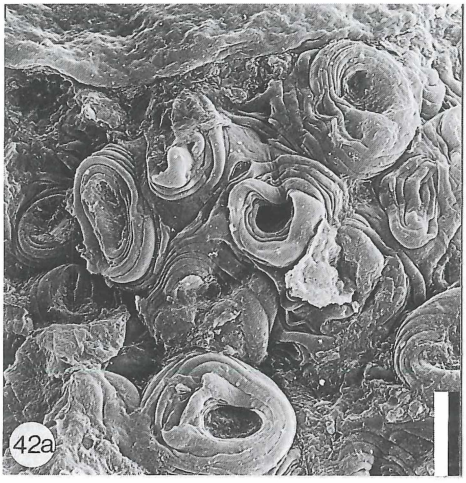




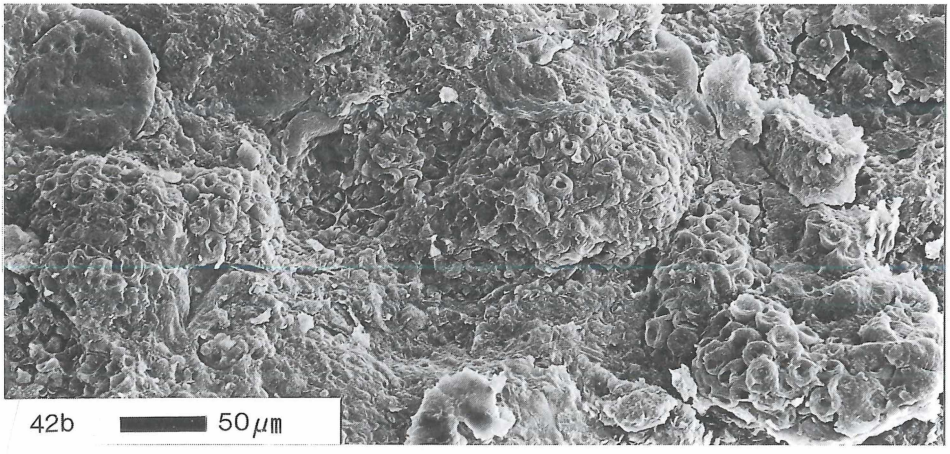
Chlorophyceen



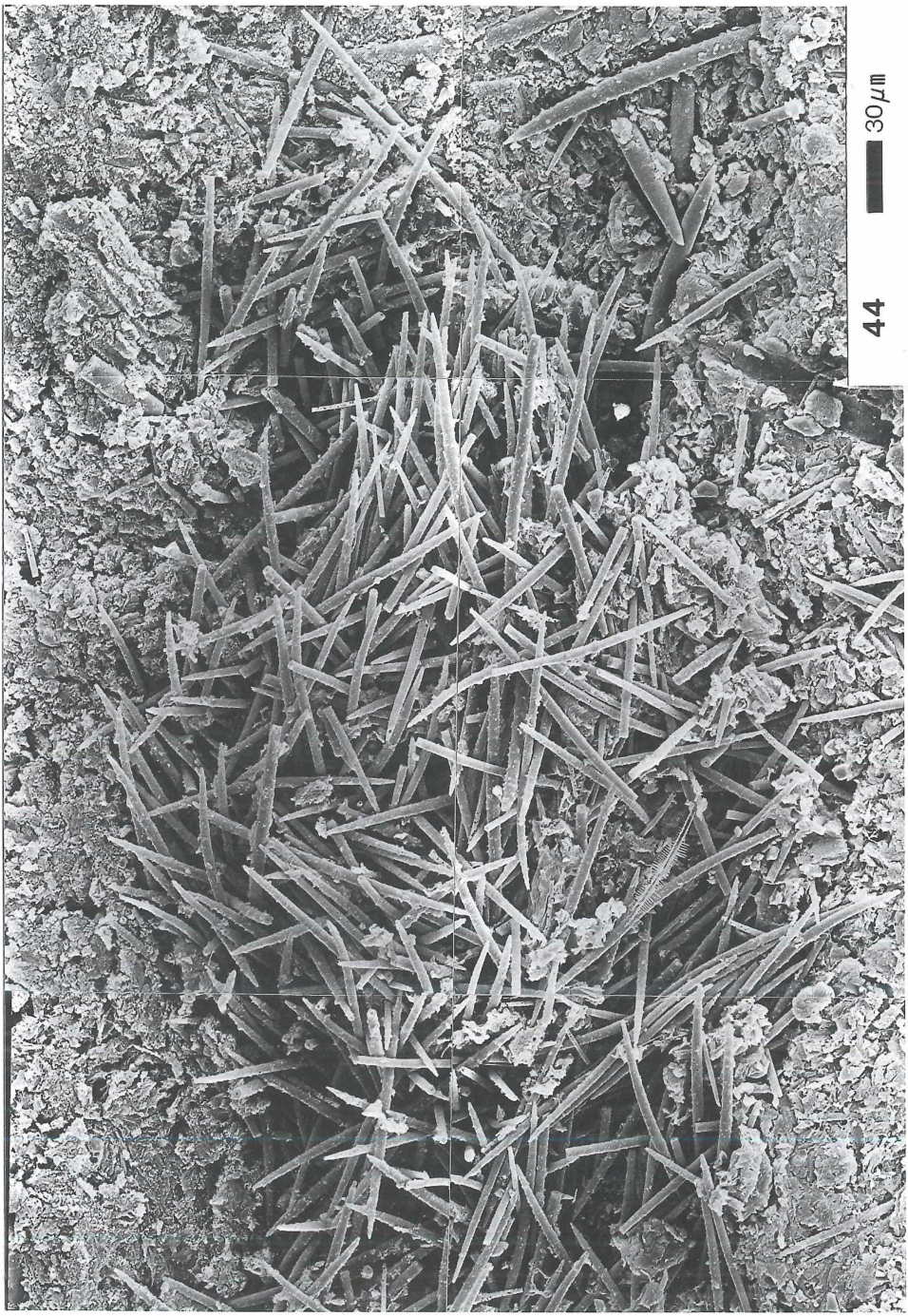




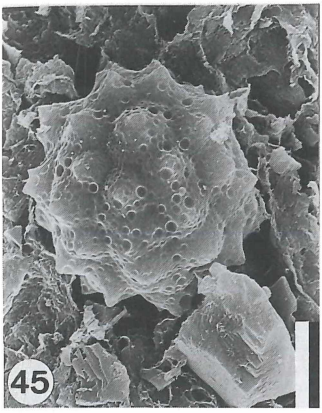


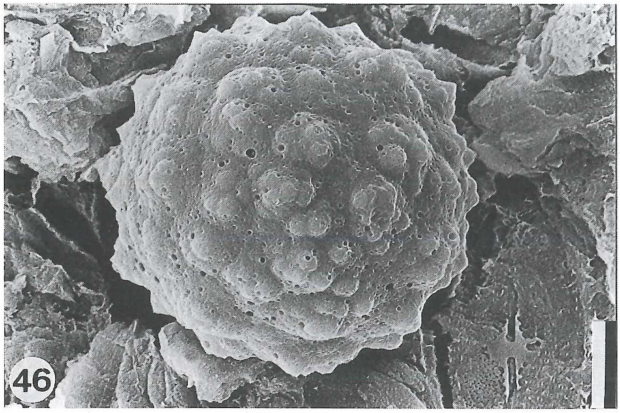


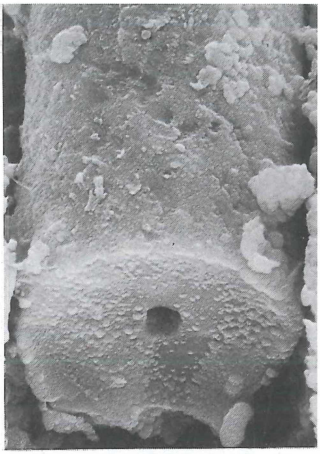
Spongillidae



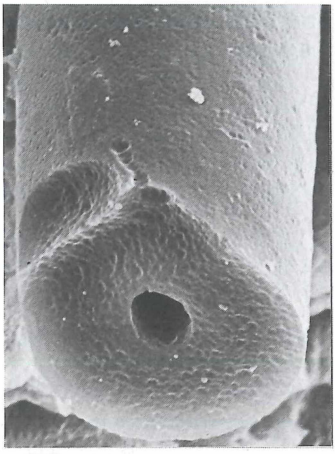
Spongillidae



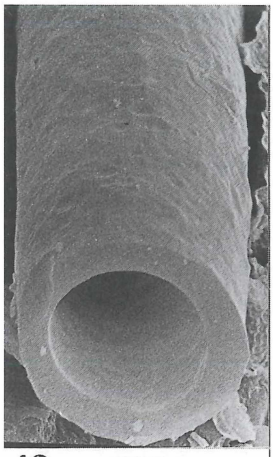




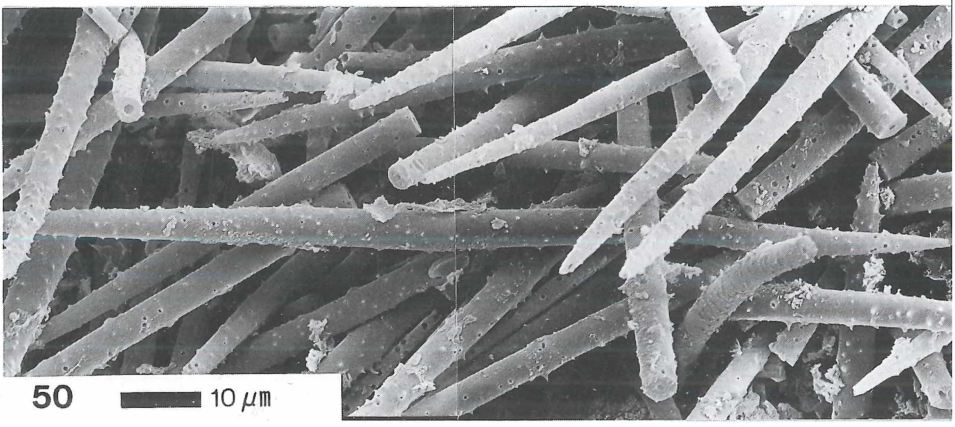
47 3 µm



48 3 µm

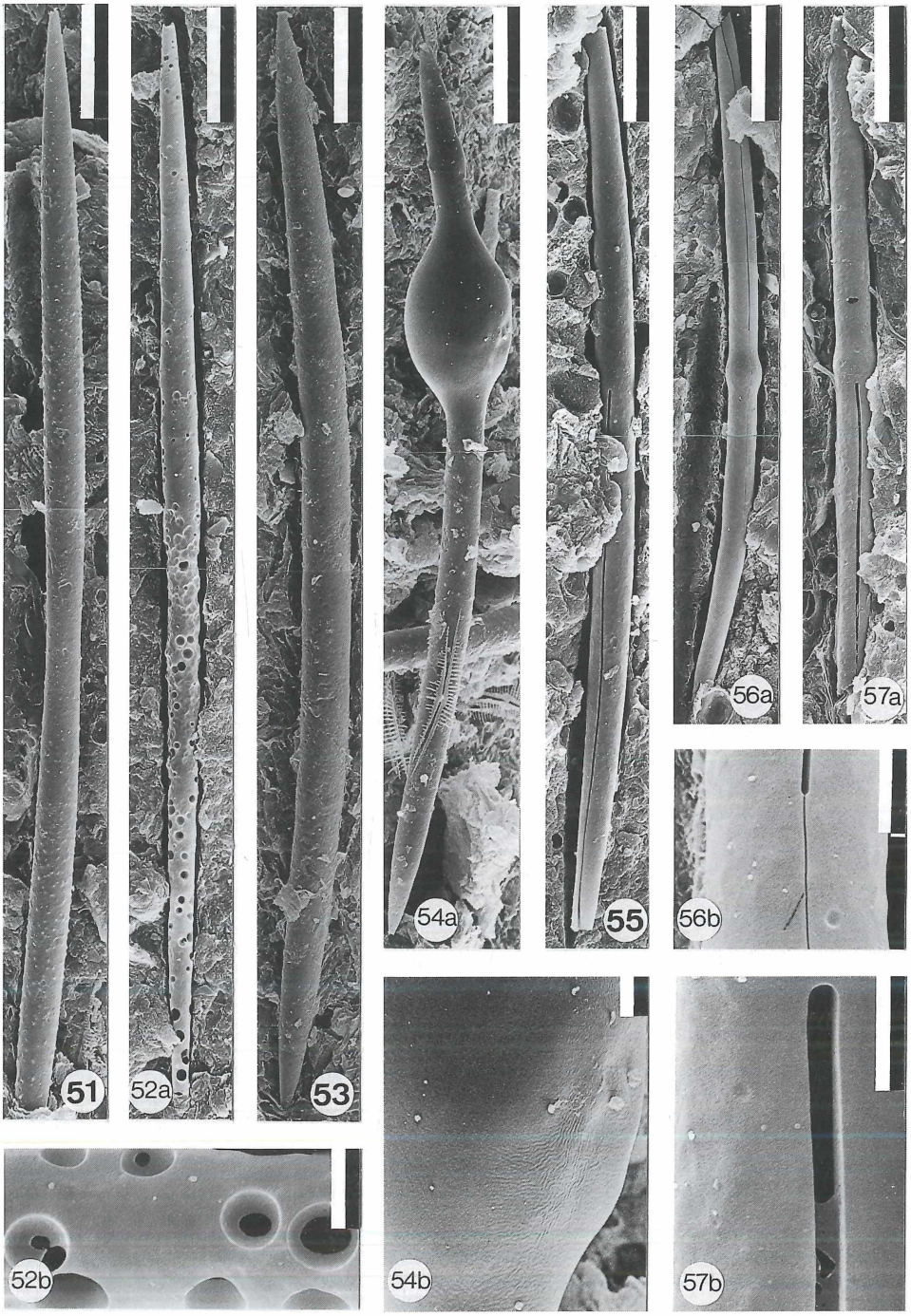


49 3 µm

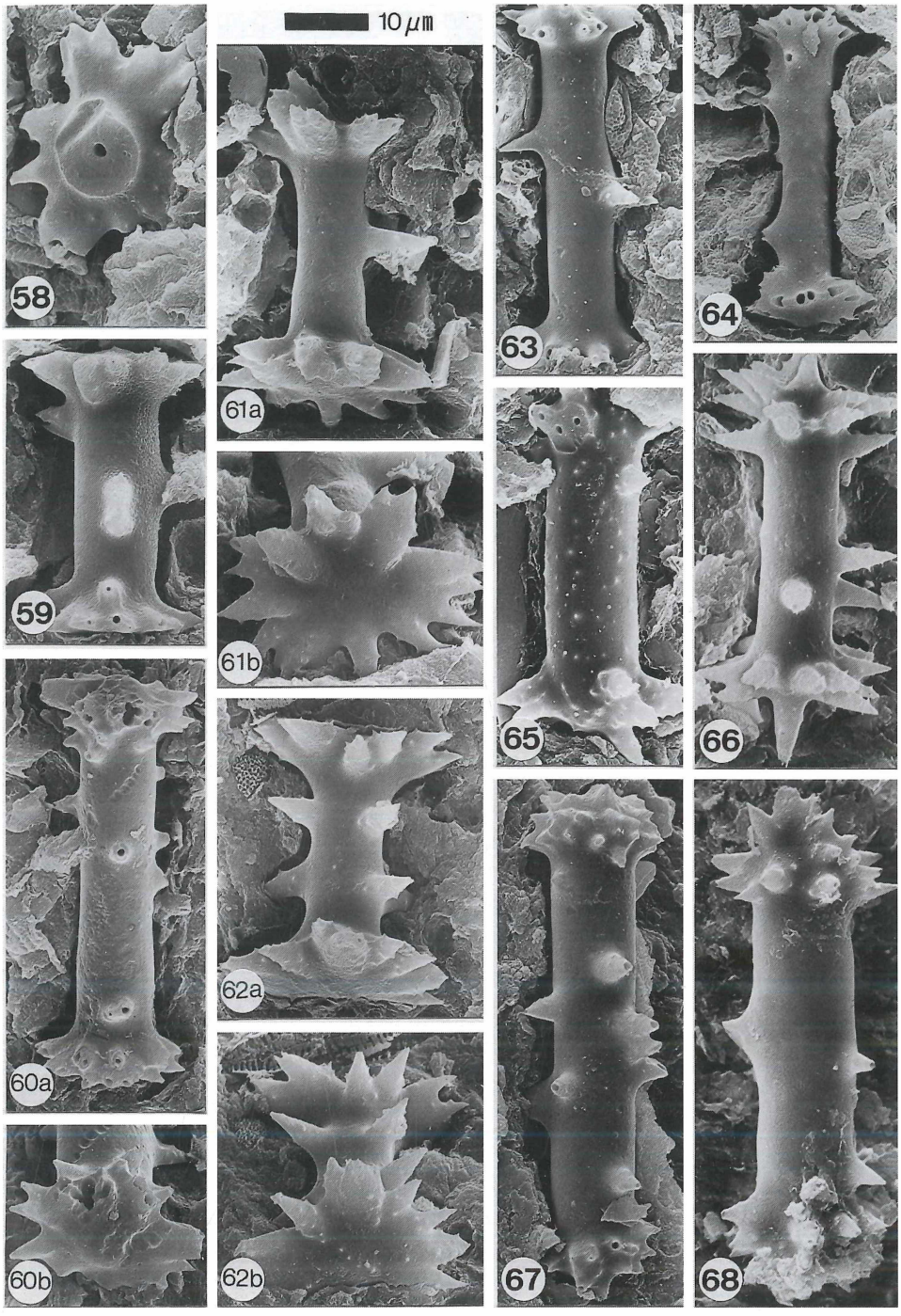


50 10 µm

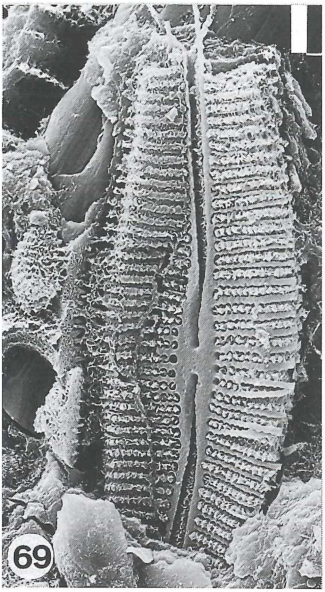
Spongillidae

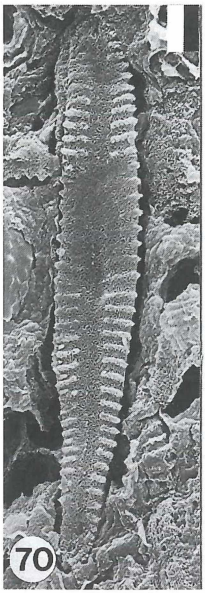


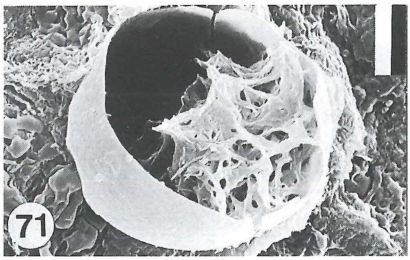
Spongillidae

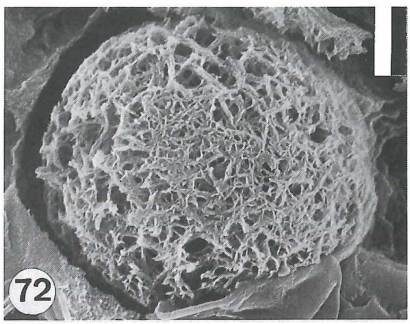


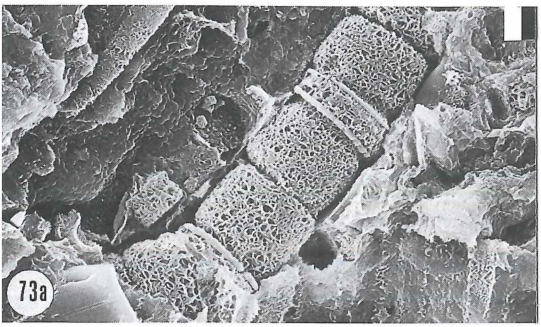
Steinkernbildungen

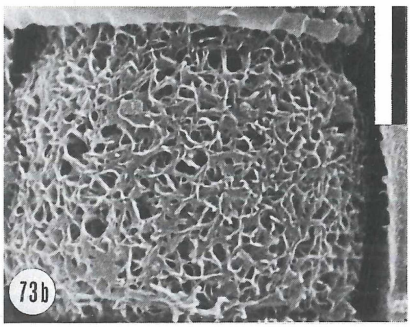


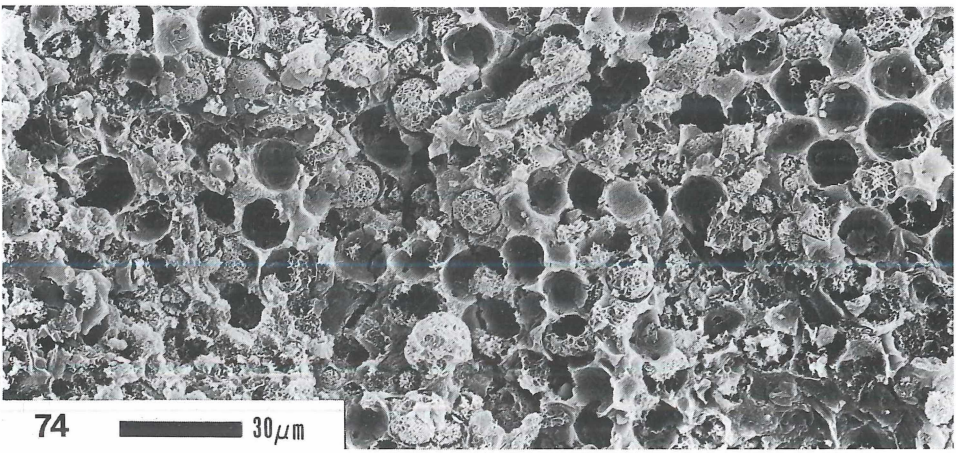




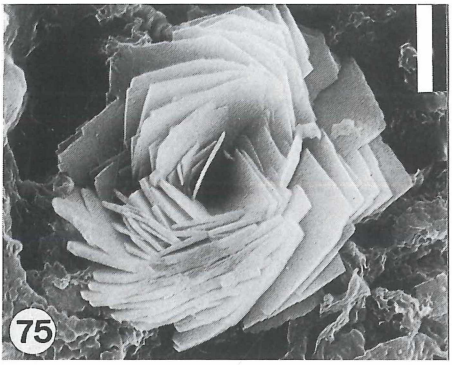


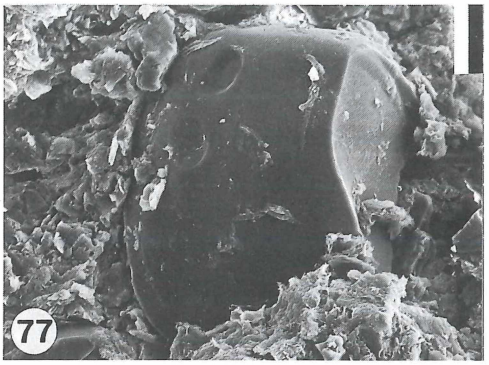


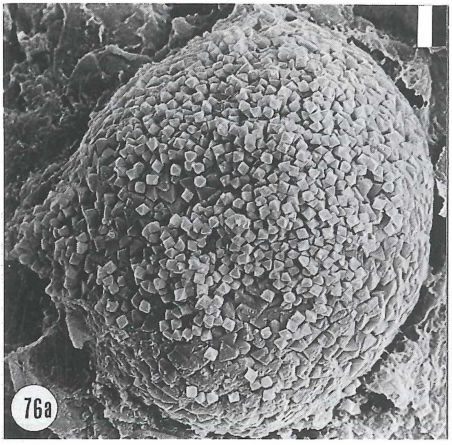


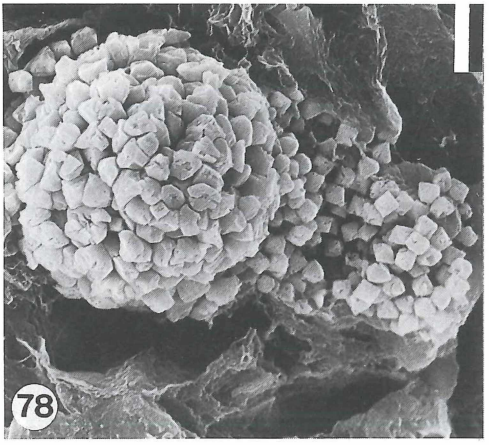


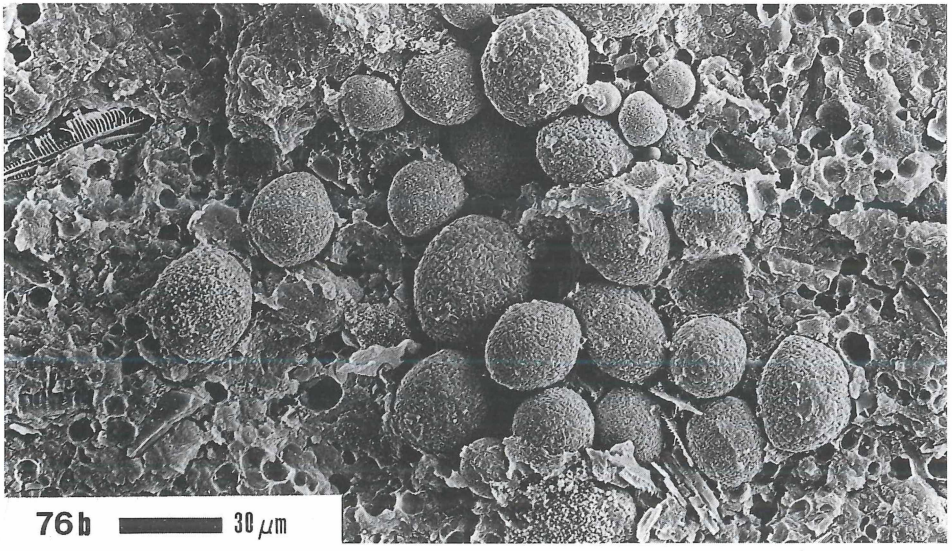
Minerale



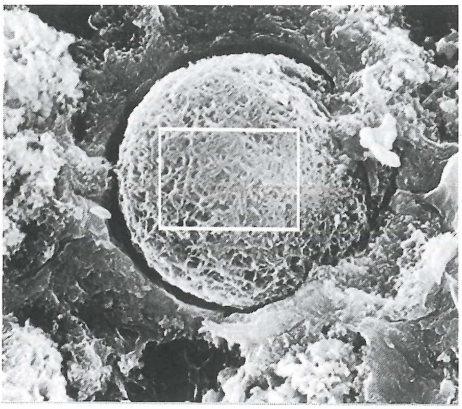




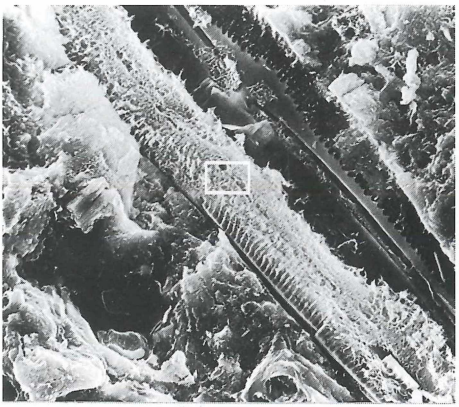




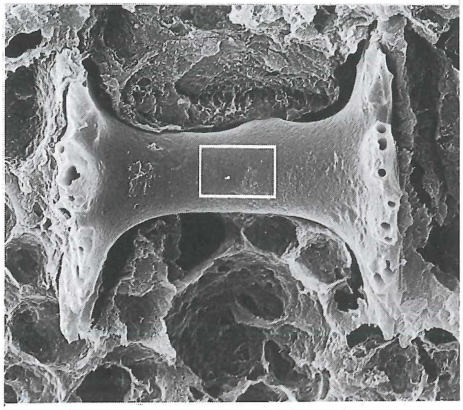
Minerale



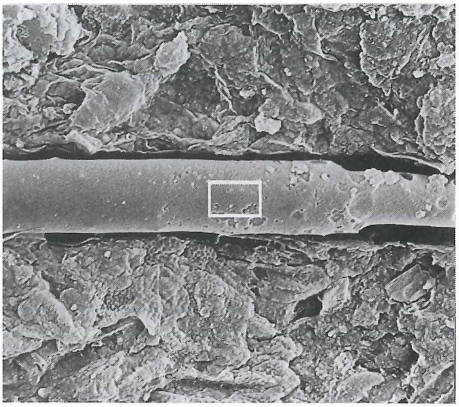
79a 3 µm



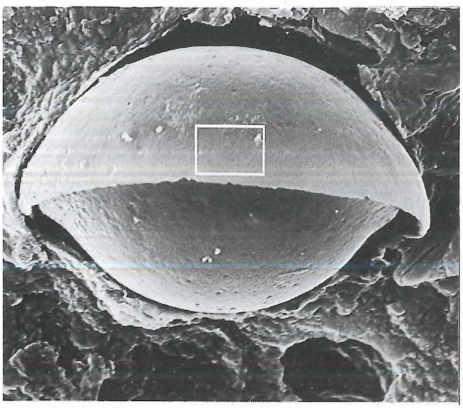
80a 10 µm



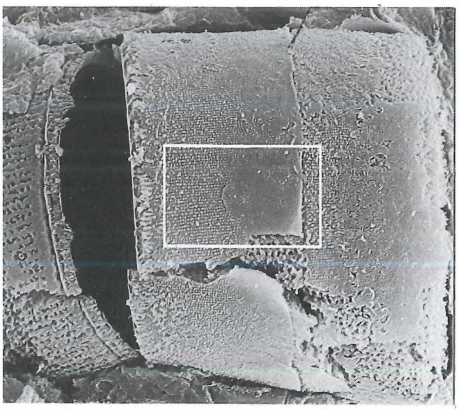
81a 10 µm



82a 10 µm

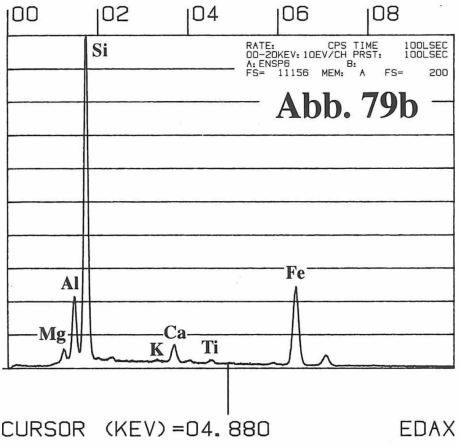


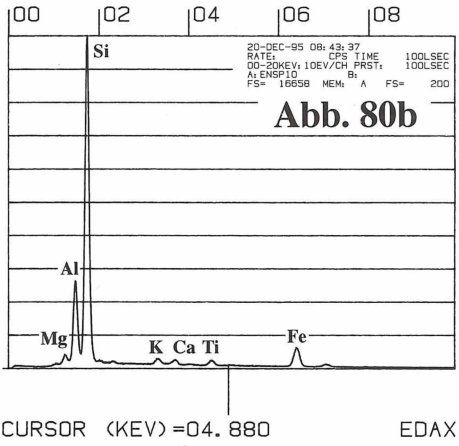
83a 3 µm

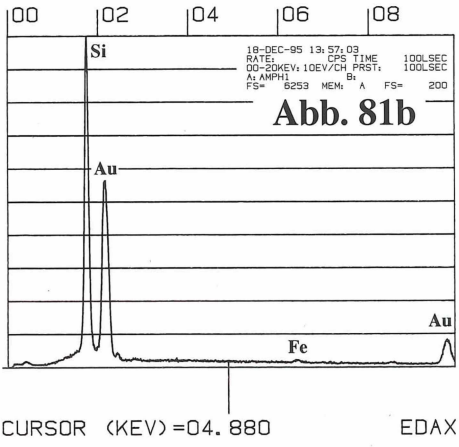


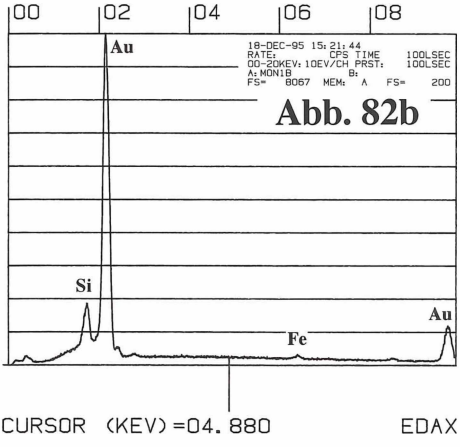
84a 3 µm

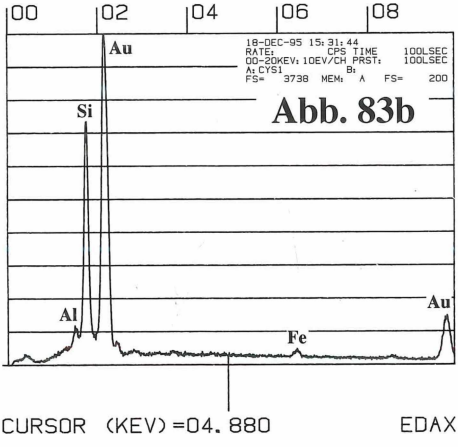
Minerale

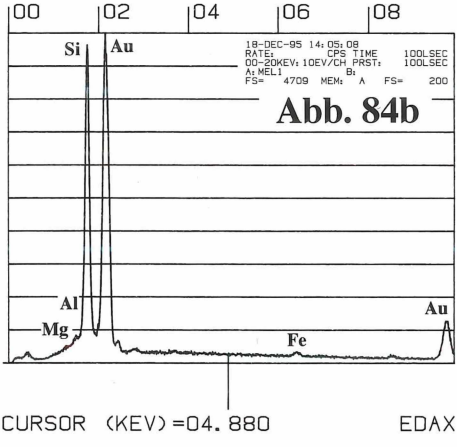

00 02 04 06 08
Si
RATE: CPS TIME 100LSEC
00-20KEV: 10EV/CH PRST: 100LSEC
A: ENSP6 B:
FS= 11156 MEM: A FS= 200
Abb. 79b
Al
Mg
Ca
K
Ti
Fe
CURSOR (KEV) =04. 880
EDAX


00 02 04 06 08
Si
20-DEC-95 08: 43: 37
RATE: CPS TIME 100LSEC
00-20KEV: 10EV/CH PRST: 100LSEC
A: ENSP10 B:
FS= 16858 MEM: A FS= 200
Abb. 80b
Al
Mg
K Ca Ti
Fe
CURSOR (KEV) =04. 880
EDAX


00 02 04 06 08
Si
18-DEC-95 13: 57: 03
RATE: CPS TIME 100LSEC
00-20KEV: 10EV/CH PRST: 100LSEC
A: AMPH1 B:
FS= 8253 MEM: A FS= 200
Abb. 81b
Au
Fe
Au
CURSOR (KEV) =04. 880
EDAX


00 02 04 06 08
Au
18-DEC-95 15: 21: 44
RATE: CPS TIME 100LSEC
00-20KEV: 10EV/CH PRST: 100LSEC
A: MON1B B:
FS= 8067 MEM: A FS= 200
Abb. 82b
Si
Fe
Au
CURSOR (KEV) =04. 880
EDAX


00 02 04 06 08
Au
18-DEC-95 15: 31: 44
RATE: CPS TIME 100LSEC
00-20KEV: 10EV/CH PRST: 100LSEC
A: CYS1 B:
FS= 3738 MEM: A FS= 200
Abb. 83b
Si
Al
Fe
Au
CURSOR (KEV) =04. 880
EDAX


00 02 04 06 08
Si
Au
18-DEC-95 14: 05: 08
RATE: CPS TIME 100LSEC
00-20KEV: 10EV/CH PRST: 100LSEC
A: MEL1 B:
FS= 4709 MEM: A FS= 200
Abb. 84b
Al
Mg
Fe
Au
CURSOR (KEV) =04. 880
EDAX