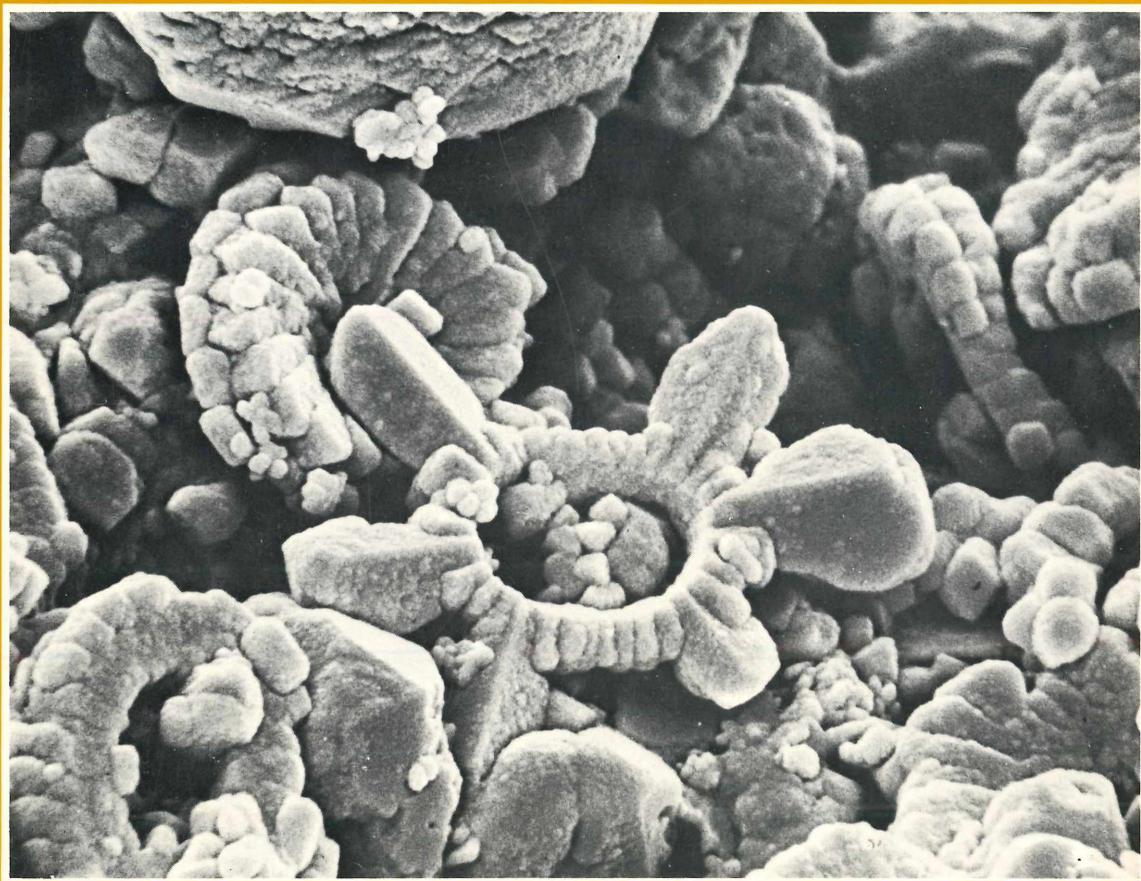


T 00777/37  
Helmut Keupp

# Ultrafazies und Genese der Solnhofener Plattenkalke

(Oberer Malm,  
Südliche Frankenalb)



Abhandlung der Naturhistorischen  
Gesellschaft Nürnberg e.V.  
Band 37/1977

80. LANDESMUSEUM  
BIBLIOTHEK

*Stephanolithion bigoti* DEFLANDRE,  
*Cyclagelosphaera margereli* NOEL  
und *Microstaurus alemnensis*  
n.sp. im Mergel des Malm zeta 2a  
von Rögling in der Südlichen  
Frankenalb. REM-Foto 8999,  
verg. 11 900 mal.



Natur und Mensch ISSN 0077–6025

Band 37–1977 der Naturhistorischen Gesellschaft Nürnberg e.V.

Dissertation: Helmut Keupp – Auflage: 3000

Layout: Ronald Heißler

Umschlaggestaltung: Ernst Schäfer

Druck und Lithos: Grafische Werkstätte Graf Fürth

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Naturhistorischen Gesellschaft  
Gewerbemuseumsplatz 4, 8500 Nürnberg

## Zur Entstehung dieser Abhandlung

*Helmut Keupp wurde schon als Gymnasiast Mitglied der Naturhistorischen Gesellschaft. Von Anfang an gehörte er zu den aktiven Mitarbeitern der Abteilung für Geologie. Umfangreiches Wissen auf dem Gebiet der Paläontologie und konstruktives Denken brachten ihm beachtliche Erfolge bei dem Wettbewerb „Jugend forscht“. Seit Jahren bewährt er sich als wissenschaftlicher Berater bei der Gestaltung des Geologie-Saales unseres Museums. Seine Fähigkeit, auch schwierige geologische Probleme anschaulich zu erklären, findet auf Exkursionen und bei Vorträgen dankbare Zuhörer. Aufgrund dieser erfolgreichen Mitarbeit ist die Naturhistorische Gesellschaft sofort bereit gewesen, seine Dissertation als Abhandlung zu übernehmen, die den Mitgliedern kostenlos ausgeliefert wird. Es gehört zur Tradition unserer Gesellschaft, soweit es die Mittel erlauben, wissenschaftliche Arbeiten ihrer Mitglieder zu veröffentlichen. Im Gegensatz zu den Jahresmitteilungen, die sich an einen sehr großen Leserkreis wenden, verlangen die Abhandlungen mehr Wissen, Interesse und Mühe vom Leser. Dennoch kann hier auch der interessierte Laie an der Forschungsarbeit teilhaben und dabei erleben, wie sich mit Hilfe moderner Methoden neue Erkenntnisse gewinnen lassen.*

*Diese Abhandlung wäre ohne reiche Bildausstattung wenig sinnvoll gewesen. Das war aber nur als Gemeinschaftsleistung möglich. Namhafte Spenden von Mitgliedern schufen die Voraussetzung dafür. Frau Elisabeth Knarr (†) legte mit DM 3.000,— den Grundstock. Friedrich Kirschbaum und Jochen Göbel steuerten je DM 500,— bei. Der Autor selbst beteiligte sich mit DM 2.000,—. Den Aufpreis für die beste Papierqualität übernahm die Abteilung für Geologie. Den großen Rest bestritt die Naturhistorische Gesellschaft. Zu den Geldspenden kamen ehrenamtliche Sachleistungen, welche die Druckkosten wesentlich gesenkt haben. Ronald Heißler kümmerte sich um die typographische Auszeichnung des Manuskriptes und den druckreifen Papierumbruch. Neben der Gestaltung des Umschlages beriet Ernst Schäfer bei der Schriftwahl. Das zeitraubende Korrekturlesen der schwierigen Texte nahm Frau Gertraud Heißler auf sich. Unser Mitglied Eugen Schneider hat so günstig wie möglich kalkuliert und keine Mühe gescheut, drucktechnisch das Beste zu leisten.*

Dr. Dr. Manfred Lindner

Auf den folgenden Seiten finden Sie ein spezielles Fachwortverzeichnis.  
Es wurde zur Erleichterung des Studiums als Lesezeichen beigelegt.

## Fachwortverzeichnis

**aerisch**: Unter atmosphärischem Einfluß (Luft, Regen usw.)

**Aggregat**: Zusammenballung einzelner Körner

**Aktualitätsprinzip**: Übertragung der heute beobachtbaren Gesetzmäßigkeiten auf frühere Erdzeitalter

**allochthon**: An anderer Stelle entstanden

**allodapisch**: Durch periodische Einschüttungen von Fremdmaterial gekennzeichnet

**anaerobe Bakterien**: Bakterien, die ihren Stoffwechselhaushalt ohne freien Sauerstoff bewerkstelligen

**äolisch**: Unter Einwirkung bzw. Beteiligung des Windes

**Apertur**: Öffnung

**aquatish**: Unter Wasser

**artefaktisch**: auf nicht natürlichem Wege durch Einwirkung des Menschen entstanden

**autochthon**: An Ort und Stelle gebildet

**back reef**: Geschützter Bereich hinter einem Riff-Körper

**basal**: der Zelle zugewandte Seite

**Bathymetrie**: Wassertiefe

**Belemniten-Rostrum**: Massiver Kalkkörper am Hinterende einer heute ausgestorbenen Tintenfisch-Gruppe

**benthonisch**: am Meeresboden lebend

**Benthos**: Tier- und Pflanzenwelt des Meeresbodens

**bio-**: Unter Beteiligung von Lebewesen

**Biogenschutt**: Ansammlung mechanisch zerkleinerter Hartteile ehemaliger Lebewesen

**Bioherm**: Durch sessile Organismen aufgebaute, vertikal betonter Kalk-Körper

**Biostrom**: Durch in situ (→)-Organismen aufgebaute, horizontal betonter Kalkkörper

**Biostratigraphie**: Zeitliche Gliederung einer Gesteinsserie mit Hilfe von Organismen

**Biofazies**: Die Gesamtheit der biogenen Merkmale eines Sedimentgesteins

**Bioklastika**: = Biogenschutt (→)

**Bivalven**: Muscheln („Zweischaler“)

**Campan**: Stufe der Oberkreide

**Calcisphaeruliden**: Kleine, hohle Kalkkörper, deren systematische Stellung noch unsicher ist, z.T. wohl Dauerzysten (→) von Dinoflagellaten

**Chondriten**: Verzweigte Fraßgänge von Sedimentfressern (Spurenfossil)

**Coccolithophoriden**: Zum Nannoplankton gehörende Geißelalgen mit zumindest zeitweisem Kalkpanzer

**Coccosphaera**: Der aus Einzelplatten zusammengesetzte Kalkpanzer eines Coccolithophoriden.

**Coccolithen**: Die einzelnen Kalkplättchen einer Coccosphaera

**Cyanophyceen**: = Blaugrünalgen

**Dauerzyste**: Abkapselung zur Überdauerung von Ruhephasen einzelliger Lebewesen

**Detritus**: Durch Wasserbewegung transportierte Partikel

**Diagenese**: Alle Prozesse, die nach der Ablagerung eines Sediments ohne nennenswerte Stoffzufuhr zu dessen Verfestigung beitragen

**Dinoflagellaten**: Zum Nannoplankton zählende Geißelalgen mit einem Zellulose-Panzer

**diskordant**: winkelig angelagert

**dislozieren**: verlagern, umlagern

**distal**: Die vom Körper abgewandte Seite (Außen-seite) betreffend

**environment**: Die Gesamtzahl der einen Ablagerungsraum kennzeichnenden Bedingungen

**epikontinental**: im Bereich des Festlands bzw. des Kontinentalschelfs

**epirogen**: im Zuge einer Epirogenese (→)

**Epirogenese**: In großen Zeiträumen ablaufende Hebung- und Senkungsbewegungen größerer Erdkrustenteile

**Erosion**: Verwitterung und Abtragung

**erzgebirgisches Streichen**: Nach dem Verlauf des Erzgebirges benannte Richtung (50-70°)

**euهدral**: von eigenen, gut ausgebildeten Kristallflächen begrenzt

**euxinisch**: Faulschlamm-Bedingungen in Bodennähe (wie im Schwarzen Meer)

**Evaporation**: Eindampfung von Wasser

**Fauna**: Gesamtheit der tierischen Organismen eines Lebensraumes

**Fazies**: Gesamtheit aller Merkmale eines Gesteins

**Flexur**: tektonische Verbiegung eines Gesteinskörpers, meist unter Beteiligung von Bruchstörungen

**Flora**: Gesamtheit der pflanzlichen Organismen eines Lebensraumes

**Fossilagerstätte**: Sedimentkörper mit überdurchschnittlicher paläontologischer Information

**Gametozyten**: Schwärmendes Stadium des geschlechtlichen Vermehrungszyklus von Foraminiferen (meist kalkschalige Amöben)

**Geobios**: Gesamtheit der am Festland lebenden Organismen

**glaukonitisch**: Glaukonit-haltig

**Glaukonit**: Mineral: grünes Eisensilikat

**Granulae:** feinkörnige Kristallite

**Halobios:** Gesamtheit der im Meer lebenden Organismen

**high energy environment:** ≈ Ablagerungsraum im Bewegt-Wasser

**Holomixis:** völlige Durchmischung unterschiedlicher Wasserkörper

**Holotyp:** Das vom Autor einer Art bestimmte Individuum, das die wesentlichen Artmerkmale erkennen läßt.

**hypersalin:** übersalzen

**idiomorph:** Mit der für das entsprechende Mineral typischen Eigengestalt versehen.

**incertae sedis:** unsicherer systematischer Zuordnung

**in situ:** an Ort und Stelle

**intertidal:** im Gezeitenbereich

**Kalzifikation:** Vorgang der Verkalkung

**Karbonat-Petrographie:** Teil der Gesteinskunde, der sich mit der Bildung und Ausbildung von Kalken und Kalk-verwandten Sedimenten beschäftigt.

**Kimmeridge:** Mittlere Stufe des Weißjura

**Klastika:** Sedimentanteile, die aus der mechanischen Zerstörung anderer Gesteine stammen.

**klastisch:** als Fremdpartikel aus der Zerstörung anderer Gesteine angeliefert

**Kompaktion:** Verdichtung eines Sediments durch Entwässerung

**Konsolidation:** Verfestigung eines Gesteinskörpers

**Koprolith:** fossiler Kotballen

**Kristallit:** kleiner Kristall, häufig ohne deutlich ausgeprägte Flächen

**Lamination:** Feinschichtungsgefüge

**Lethalfaktor:** Umstand, der zum Tod eines Lebewesens führt

**Lithifizierung:** Verfestigung eines Sediments, die zur Bildung eines Gesteins führt

**Lithologie:** Charakteristische Abfolge von Gesteinstypen

**Lithographie:** Technisches Verfahren zur Herstellung des Steindrucks, das auf dem gegenseitigen Abstoßen von Wasser und Fettfarben in einem feinkörnigen, porösen Gestein beruht.

**low energy environment:** ≈ Ablagerungsraum im relativ Ruhig-Wasser

**Malm:** Oberer Abschnitt des Jura

**Marginalzyklus:** randlicher Plattenkranz eines Cocolithen

**Massenkalk:** ungeschichtete Kalke, die meist im Zusammenhang mit ehemaligen Riffen stehen.

**Matrix:** Feinanteil eines Sediments zwischen größeren Komponenten (z.B. Fossilreste)

**Megafossilien:** Versteinerungen, die mit bloßem Auge gut erkennbar sind

**Mergel:** durch Tone verunreinigter Kalk

**Micellen:** Einzelelemente (meist Einkristalle), die einen Cocolithen aufbauen

**Mikrit:** Mikrokrystalliner Kalk, dessen Korngrößenmaximum 4 Mikron nicht überschreitet

**Mikrofazies:** Die Gesamtheit aller Merkmale eines Gesteins, (bes. Sedimente), die im Dünnschliff-Bereich erfaßbar sind

**Mikron:** Maßeinheit für 1/1000 mm

**Milieu:** Spezifische Umweltfaktoren eines Raumes

**Modalbestand:** Gehalt an verschiedenen Bestandteilen einer Probe

**Modifikation:** Eine für bestimmte Druck-Temperaturbedingungen stabile Kristallform eines chemischen Stoffes

**Morphologie:** äußere Gestalt

**Nanno-:** Vorsilbe, die den Größenbereich unterhalb der mm-Skala bezeichnet

**Nannoagorit:** Ein Mikrit (→), der überwiegend aus erkennbaren Nannofossilien aufgebaut wird

**neomorph:** Mit durch Weiterwachsen eines Kornes während der Diagenese entstandenen Kristallflächen versehen (Subst.: Neomorphismus)

**Nekton:** Organismen mit aktiv schwimmender Lebensweise

**Ökologie:** Gesamtheit der Umweltfaktoren eines Lebensraumes

**ontogenetisch:** Im Zusammenhang mit der Entwicklung eines Individuums

**Ooide:** kleine, rundliche, konzentrisch-schalige Kalkkörperchen, die im turbulenten Warmwasser entstehen können

**Orthomikrit:** Feinschlammkalk, dessen Kristallite überwiegend durch physikochemische Fällung entstanden sind

**Oxford:** Untere Stufe des Weißjura

**Paläogeographie:** Wissenschaftszweig, der sich mit der Rekonstruktion der Land-Meer-Verteilung u.ä. in der geologischen Vorzeit beschäftigt

**patch reef:** Kleiner Riffkörper innerhalb einer lagunären Entwicklung

**pelagisch:** im offenen Meer lebend

**Placolith:** Cocolithentyp, der aus zwei fest miteinander verwachsenen Schilden aufgebaut wird

**Plankton:** Organismen mit schwebender Lebensweise

**point-counter-Verfahren:** Methode zum Auszählen einer Probe unter Verwendung der „Netzpunkt-Methode“.

**Polygonalleisten:** als positives Relief vorliegendes Netzwerk mit unregelmäßig vielkantigen Maschen

**Portland:** Vor allem in W-Europa gebräuchliche Bezeichnung der obersten Weißjura-Stufe (z.T. i.S. Tithon)

**red tide:** kurzzeitige Planktonblüte, rezent vor allem bei Dinoflagellaten bekannt.

**REM:** Abkürzung für Raster-Elektronenmikroskop

**Rhomboeder:** Typische Kristallform des Kalzit

**Saxonische Gebirgsbildung:** Mit Bruchstrukturen verbundene Hebungsphase im konsolidierten Mitteleuropa gleichzeitig mit der Alpenfaltung

**Sediment:** Durch den Absatz aus dem Wasser entstandenes Gestein

**selektive Lösung:** Bevorzugtes Auflösen kleiner Kristalle (erhöhte Oberfläche!) im Zuge der Diagenese (→)

**Sparit:** Während der Diagenese entstandener, grobkristalliner Hohlraumzement

**Sputter-Gerät:** Zum Aufbringen eines atomaren Metall-Films auf eine Probe im Kathodenstrahl. Für die Untersuchung im REM muß die Probenoberfläche elektrisch leitfähig sein!

**Stagnat-Bedingungen:** Durch Salzanreicherung entstehende Dichte-Schichtung im Stillwasser

**stenohalin:** nur bei normalmariner Salzkonzentration vorkommend

**Stratigraphie:** Zweig der geologischen Wissenschaft, der sich mit der zeitlichen Gliederung der Gesteine bzw. Erdgeschichte befaßt

**stromatolithisch:** Mit einer Lamination versehen, die unter Beteiligung von Blaugrünalgen entstanden ist

**Struktur:** die Art des Korngefüges in einem Gestein (Kornzusammensetzung und -größen)

**Stylolith:** durch Drucklösung entstandene Verzahnung von karbonatischen Gesteinskörpern

**subaerisch:** Unter Einfluß der freien Atmosphäre (Regen, Wind, Temperatur)

**subaquatisch:** unter Wasserbedeckung

**submarin:** unter Meeresbedeckung

**submikroskopisch:** mit dem Lichtmikroskop nicht mehr erkennbar

**Subspezies:** Unterart

**subtidal:** Unterhalb des Gezeitenbereiches

**Suspensionsschüttung:** episodischer Sedimenttransport, bei dem die einzelnen Partikel in Schwebelage gehen (→ Turbidit)

**Suturlinien:** mehr oder weniger unregelmäßig erscheinende Nahtlinien

**Synärese:** Vorgang der subaquatischen Sediment-Entwässerung

**Synonym:** taxonomischer Begriff für unterschiedliche Namen derselben Art

**syntaxial:** in Richtung der Kristallachse

**Tangentialdruck:** Seitendruck

**taxonomisch:** systematisch

**tektonisch:** im Zusammenhang mit Bewegungen der Erdkruste, gesteuert durch innere Kräfte.

**terrestrisch:** festländisch

**Tethys:** besonders im Mesozoikum bestehendes zentrales Mittelmeer

**Textur:** die spezifische Anordnung und Regelung von Körnern eines Gesteinsgefüges

**Thixotropie:** spezifisches Fließverhalten feinkörniger Sedimente mit der Möglichkeit einer reversiblen Zustandsänderung allein durch Erschütterung

**Tithon:** Bezeichnung für die obere Stufe des Weißjura

**Toarciens:** Oberste Stufe des Lias (= Schwarzer Jura)

**Top-Fläche:** Oberfläche

**Tubus:** Röhre

**Turbidit-Schüttung (= turbidity current):** Episodischer Vorgang einer Suspensionsschüttung

**Ultrafazies:** Gesamtheit aller Merkmale eines (Sediment-) Gesteins, die unterhalb der lichteptischen Erfaßbarkeit liegen

**undertracks:** Fährten-Typ, der durch das Furchenspießen der Beine durch einen weichen Oberflächenschlamm auf die darunter liegende härtere Schicht entstanden ist.

**vados:** Unter Einfluß des Grundwassers

**Wohnkammer-Lumen:** Hohlraum im vorderen Abschnitt eines Ammonitengehäuses

**xerotisch:** an trockenen Standorten lebend

**Zyolith:** ringförmiger Coccolithentyp mit deutlicher kreuz- oder speichenförmiger Zentralstruktur

# **Ultrafazies und Genese der Solnhofener Plattenkalke**

**(Oberer Malm, Südliche Frankenalb)**

**Den Naturwissenschaftlichen Fachbereichen  
der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg**

zur Erlangung des Doktorgrades

vorgelegt von

**Helmut Keupp**  
aus Augsburg

I 20777 / 37

Oberösterreichisches  
Landesmuseum Linz / D.  
Bibliothek

Inv. Nr. 263/1278

Als Dissertation genehmigt von den Naturwissenschaftlichen  
Fachbereichen der Universität Erlangen-Nürnberg

Tag der mündlichen Prüfung: 25.5.1977

Vorsitzender der Promotionskommission: Professor Dr. E. Schweizer

Erstberichterstatter:

Professor Dr. E. Flügel

Zweitberichterstatter:

Professor Dr. D. Herm, München

# Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorwort	7
Danksagung	8
Zusammenfassung	9
Abstract	10
<b>1 Einführung</b>	<b>12</b>
1.1 Problemstellung	12
1.2 Definition „Plattenkalk“	12
1.3 Methodische Anmerkungen	14
<b>2 Die Einbeziehung der Solnhofener Plattenkalke in die Entwicklung der Südlichen Frankenalb</b>	<b>15</b>
2.1 Faziesentwicklung im Malm der Südlichen Frankenalb	16
2.2 Die Stratigraphie des Solnhofener Plattenkalkes	
<b>3 Die Nannofossilien der Solnhofener Schichten</b>	<b>20</b>
3.1 Klasse Coccolithophyceae	20
Familie <i>Biscutaceae</i>	23
Familie <i>Ellipsagelosphaeraceae</i>	29
Familie <i>Podorhabdaceae</i>	42
Familie <i>Retacapsaceae</i>	46
Familie <i>Eiffellithaceae</i>	48
Familie <i>Zygodiscaceae</i>	50
Familie <i>Stephanolithiaceae</i>	52
Coccolithen fraglicher Zuordnung	54
Familie <i>Microrhabdulidae</i>	56
Literatur zu Kapitel 3.1	58
3.2 Familie <i>Calcisphaerulidae</i>	61
Literatur zu Kapitel 3.2	67
<b>4 Die Ultrafazies des Solnhofener Plattenkalkes</b>	<b>69</b>
4.1 Faziestypen des Plattenkalkes im Malm zeta 2b von Solnhofen und Eichstätt	69
4.2 Die Sedimentbildner	76
4.3 Die Diagenese des Solnhofener Plattenkalkes	82
4.3 a Die Kompaktion	82
4.3 b Die isomineralische Diagenese	86
4.4 Überblick über die bisherigen Vorstellungen der Sedimentgenese	91

<b>5</b>	<b>Beschreibung der untersuchten Profile</b>	93
5.1	Die Solnhofener Wanne	93
5.2	Die Obereichstätt-Schernfelder Wanne	98
5.3	Die Krumpfen Lagen	102
5.4	Faziesunterschiede des Solnhofener und Eichstätt Ablagerungsraumes	103
<b>6</b>	<b>Modell der Plattenkalk-Genese in Solnhofen und Eichstätt</b>	106
6.1	Die Paläogeographie des Ablagerungsraumes	106
6.2	Der hypersaline Zyklus	112
6.3	Der normalmarine Zyklus	113
6.4	Mögliche Ursachen der Wasser-Umschichtung	115
<b>7</b>	<b>Die Genese des Solnhofener Plattenkalkes im Wandel der Forschungsgeschichte</b>	119
	Literatur	124
	Lebenslauf	128

## Vorwort

### Einleitung und Problemstellung

*In den rezenten Flachmeeren entstehen feinkörnige karbonatische Sedimente überwiegend durch die Ablagerung von Zerfallsprodukten kalkschaliger Organismen, in der Tiefsee bildet sich Kalkschlamm durch Ablagerung planktonischer Organismen. Bedingt durch die extreme Feinkörnigkeit (Korngrößen im Mikron-Bereich), durch die komplexen Vorgänge bei der Verfestigung des Kalkschlammes und durch die Merkmalsarmut im makroskopischen Bereich ist die genetische Interpretation der mikrokristallinen Kalke („Mikrite“) sehr schwierig. Erst der Einsatz des Rasterelektronenmikroskopes ermöglicht die Erkennung von neuen, für die Interpretation und für die Klassifikation der Mikrite wesentlichen Daten.*

*Herr H. Keupp hat in seiner, im Rahmen des von der Deutschen Forschungsgemeinschaft unterstützten Projektes „Mikrit-Genese“ durchgeführten Arbeit über die Ultrafazies und die Genese der Solnhofener Plattenkalke einen wichtigen Beitrag zum Verständnis der bei der Bildung von feinstkörnigen Karbonatgesteinen zusammenwirkenden ökologischen und sedimentologischen Faktoren erbracht. Da die Solnhofener Plattenkalke als „Typus“ mikritischer Kalke gelten, erhalten die weiteren Untersuchungen über die submikroskopische Struktur von Mikriten eine notwendige und richtungsweisende Vergleichsbasis.*

Prof. Dr. Erik Flügel  
Ordinarius für Paläontologie  
der Universität Erlangen-Nürnberg



## Danksagung

Die vorliegende Arbeit wurde erst durch die Bereitstellung eines Raster-Elektronenmikroskopes im Institut für Paläontologie der Universität Erlangen-Nürnberg durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft ermöglicht. Darüber hinaus bin ich der DFG für finanzielle Unterstützung im Rahmen des von ihr geförderten Forschungsvorhabens F1 42/24 (Typisierung submikroskopischer Karbonatstrukturen) zu Dank verpflichtet.

Herrn Prof. Dr. E. Flügel gebührt mein ganz besonderer Dank für die Anregung zu dieser Arbeit und sein stetes, mit Hilfestellungen und klärenden Diskussionen verbundenes Interesse an ihrem Fortgang. Den Herren Dr. W. Bausch, Prof. Dr. J. Th. Groiß, Dr. G.-F. Tietz, Prof. Dr. A. Zeiß, Erlangen, und Herrn Dr. Chr. Hemleben, Tübingen, danke ich für Hinweise und kritische Diskussionen. Herrn Dr. R. K. F. Meyer, München, bin ich für die Bereitstellung seiner am Bayerischen Geologischen Landesamt durchgeführten Porositätsbestimmungen und anregende Unterhaltungen dankbar. Herrn Dr. G. Viohl, Eichstätt, danke ich für die Führungen durch die Sammlung der Theologischen Hochschule und die Überlassung einzelner Materialproben. Herrn Prof. Dr. D. Herm, München, verdanke ich wertvolle Informationen über rezente Organismenkonservierung durch Algen. Herrn Dr. G. Flajs, Bonn, bin ich für Anmerkungen zur Kalzifikation bei Blaugrünalgen dankbar. Den Herren Prof. Dr. L. David und Dr. P. Bernier, Lyon, möchte ich an dieser Stelle für die Führung anlässlich einer Vergleichsexkursion im Plattenkalkrevier von Cerin danken. Die Herren Dr. R. Förster und Dr. G. Schairer, München, ermöglichten mir in dankenswerter Weise den Zugang zu schwer beschaffbarer Literatur. Dem technischen Personal des Paläontologischen Instituts, vor allem Frau Ch. Sporn und G. Weißmann danke ich für die Unterstützung bei den Fotoarbeiten.

Der Naturhistorischen Gesellschaft Nürnberg bin ich für die Veröffentlichung und Übernahme der erheblichen Druckkosten der hervorragenden Ausstattung zu besonderem Dank verpflichtet. Dankbar erwähnen möchte ich eine großzügige, zweckgebundene Geldspende von Fr. E. Knarr, Nürnberg, die die Herausgabe wesentlich erleichterte. Herrn R. Heißler gebührt mein Dank für die Bemühungen um das Layout der vorliegenden Abhandlung.

Nicht zuletzt schulde ich meinen Eltern aufrichtigen Dank, die mir verständnisvoll jede mögliche Unterstützung zukommen ließen.

## Zusammenfassung

Innerhalb des ca. 70 × 30 km großen Ablagerungsraumes des Solnhofener Plattenkalles (Südliche Frankenalb, SW-Deutschland) wandert diese Fazies in der Zeit von E nach W. Die unterschiedliche Position der einzelnen Plattenkalk-Wannen zu den begrenzenden Riffschwällen im NE, S und W, bzw. der allmählich nach S vordringenden Mitteldeutschen Festlandsmasse im NW, und die bei einem ausgeprägten Internrelief generell von E nach W zunehmende Bathymetrie sind z.T. für erhebliche Fazies-Unterschiede verantwortlich. Die vorliegende Arbeit beschränkt sich auf die Untersuchung der zentraleren Sedimentationsräume des Solnhofener und Eichstätter Abbau-Gebietes, in dem die typischen Plattenkalke während des Malm zeta 2b (Unter-Tithon) zur Ablagerung gelangten. Die Profil-Entwicklung vom Malm zeta 1 bis 3 zeigt die weitgehende Eigenständigkeit dieser beiden Gebiete auf.

Die Klärung der Ultrafazies des mikritischen Solnhofener Plattenkalles erfolgt mit Hilfe eines Raster-Elektronenmikroskopes über die Erfassung folgender, faziesbestimmender Kriterien:

### Biofazies – Sedimentstruktur – Diagenese

Die Biofazies umfaßt den Gehalt an Nannoplankton und benthonischen Nanno-Organismen sowie ihre spezifische Verteilung im Sediment. Das Nannoplankton, das überwiegend auf den Schichtflächen konzentriert ist, weist durch seine häufige Anordnung in 50 bis 100 Mikron großen Zusammenballungen auf einen Ablagerungsmechanismus über die Kotpillen-Bildung. Es umfaßt:

#### 1. Coccolithophoriden

*Bidiscus ignotus* (GORKA, 1957); *Bidiscus bellis* (NOEL, 1970); *Biscutum ellipticum* (GORKA, 1957); *Cyclagelosphaera margereli* (NOEL, 1965); *Ellipsagelosphaera britannica* (STRADNER, 1963); *Ellipsagelosphaera keftalrempti* (GRÜN, 1975); *Ellipsagelosphaera ovata* (BUKRY, 1969); *Watznaueria barnesae* (BLACK, 1959); *Watznaueria deflandrei* (NOEL, 1965); *Podorhabdus cylindricus* (NOEL, 1965); *Podorhabdus dietzmanni*

(REINHARDT, 1965); *Microstaurus alcmonensis* n. sp.; *Staurorhabdus quadricellus* (NOEL, 1965); *Zeughrabdotos noeli* (ROOD, HAY & BARNARD, 1971); *Zeughrabdotos salillum* (NOEL, 1965); *Stephanolithion bigoti* (DEFLANDRE, 1939); ? *Loxolithus* sp.; ? *Tetralithus pyramidus* (GARDET, 1955).

2. Kalkiges Nannoplankton incertae sedis  
*Pseudolithraphidites quattuorbacillatus* (KEUPP, 1976); *Pseudolithraphidites multibacillatus* (KEUPP, 1976).

#### 3. Calcisphaeruliden

*Pithonella gustafsoni* (BOLLI, 1974); *Pithonella cf. thayeri* (BOLLI, 1974); *Pithonella piriformis* n. sp.

Die Beschreibung benthonischer Nanno-Organismen, die sich fast ausschließlich im Inneren der einzelnen Karbonatlagen befinden, steht im engen Zusammenhang mit der Sedimentstruktur.

Die übereinstimmenden Korngrößenmaxima zwischen 1 und 3 Mikron und die gerundete Korngestalt legen für die kalkigen Flinze und die mergeligen Fäulen denselben Bildungsmechanismus nahe. Der besonders in den Fäulen hohe Porenraum kann als Mikro-Fenstergefüge aufgefaßt werden. Die Zusammensetzung des Sediments aus dicht gepackten, kalzitischen Hohlkugeln (Durchmesser 8 - maximal 30 Mikron), deren Wandkristallite keine Vorzugsorientierung erkennen lassen, werden auf coccale Blaugrünalgen zurückgeführt. Der Solnhofener Plattenkalk kann somit als regelmäßig laminiertes Stromatolith coccaler Blaugrünalgen einer lagunären Tiefwasser-Entwicklung angesprochen werden. Ein rezentes Gegenstück ist bisher nicht bekannt geworden.

Die hohe Porosität (Fäulen: 14-26 %; Flinze: 7-12 %), die geringe neomorphe Überprägung der Matrixkristallite und das für Schreibkreiden charakteristische Auftreten eines mikritischen Nieder-Mg-Kalzit-Zements legen für den Plattenkalk eine Bildung aus einer primär stabilen Karbonatmodifikation nahe. Das mobile Karbonat für die Zementation läßt sich aus dem erkennbaren Auftreten selektiver Lösung kleiner Körner und einer Drucklösung ableiten.

Die Zementation umfaßt mindestens drei voneinander unabhängige Vorgänge:

1. Eine frühdiagenetische Zementation im Bereich der Blaugrünalgen - Schleimschichten, die
    - a. ein plastisch verformbares Gerüst aus mehr oder weniger verwachsenen Hohlkugeln entstehen läßt und
    - b. im Zusammenhang mit dem bakteriellen Abbau organischer Substanzen eine von der Schichtoberfläche ausgehende Zementation bewirkt („Häutchenbildung“).
  2. Eine subaquatische Zementation der späteren Diagenese bringt euhedrale Niedermg-Kalzit-Rhomboeder in den Hohlräumen hervor. Teilweise können diese im Zuge einer Sammelkristallisation in sparitischen Blockzement transformiert werden.
  3. Eine rezente bis subrezente Zementation durch vadose Wässer und terrestrische Organismen, die von den Trennflächen ausgeht.
- Der zyklische Wechsel zwischen Sedimentlagen mit coccalen Cyanophyceen und Schichtflächen mit normalmarinen Organis-

men indiziert ein neues Modell der Plattenkalkgenese, das nur für den Raum Solnhofen-Eichstätt Gültigkeit haben soll:

In einer vom offenen Meer weitgehend – aber nicht vollständig – abgeschlossenen Stillwasser-Lagune mit Wassertiefen zwischen 30 und 60 m wird durch eine klimatisch bedingte, erhöhte Evaporation eine Dichteschichtung erzeugt. Während des hypersalinen, nicht euxinischen Zyklus bilden die coccalen Blaugrünalgen geschlossene Matten. Ein periodisches Umwälzen, das im Zusammenhang mit einem (jährlichen?) Wasser- und Organismenaustausch mit der Tethys steht, ermöglicht vorübergehend normalmarine Bedingungen in der Lagune. Die Blaugrünalgen-Matten sterben ab (Sedimentationsunterbrechung!), Foraminiferen besiedeln den Boden. Im Oberflächenwasser führt ein reiches Plankton- und Nektonleben zur Ablagerung der normalmarinen Organismen auf den Schichtflächen. Zunehmende Eindampfung baut eine erneute Salzschiebung auf. Die sich nun wieder ausbreitenden coccalen Blaugrünalgen ermöglichen die hervorragende Fossilhaltung.

## Abstract

Within the great deposition area (ca. 70 × 30 km) of the Solnhofen lithographic limestones (Southern Franconian Alb, SW-Germany) this facies advances through the time from E to W. The different position of the single depositional basins ("Wannen") to the reef-sills, which are building the boundaries of the area in the NE, S, and W, respectively to the landmass of the "Mitteldeutsche Schwelle" in the NW and the gradually increasing bathymetry (apart from the bottom relief as a result of died algal-sponge-bioherms) are responsible for considerable facies-differences.

This work is confined to the study of the more central deposition areas of the Solnhofen and Eichstätt quarries. In this region the typical lithographic limestone was deposited in the Lower Tithonian (Malm zeta 2b). The development of the profile from Malm zeta 1 to 3

shows a partly independence of both areas. The ultrafacies of the micritic Solnhofen limestone was studied with the aid of a Scanning Electron Microscope. Following criterias for the typification of the ultrafacies are used:

biofacies – structure and texture of the sediment-fabrics of diagenesis

The biofacies includes the content of calcareous nannoplankton and of benthonic nano-organisms, and their specific distribution within the sediment. The calcareous nannoplankton is mainly concentrated on the bedding planes. In many cases, the arrangement of coccolithes in accumulations of 50 to 100 microns give hints for the mechanism of their way of sedimentation as fecal pelets. The following calcareous nannoplankton is described from the Solnhofen formation:

1. Coccolithophorids:

*Bidiscus ignotus* (GORKA, 1957); *Bidiscus bellis* (NOEL, 1970); *Biscutum ellipticum* (GORKA, 1957); *Cyclagelosphaera margereli* (NOEL, 1965); *Ellipsagelosphaera britannica* (STRADNER, 1963); *Ellipsagelosphaera kefalrempti* (GRÜN, 1975); *Ellipsagelosphaera ovata* (BUKRY, 1969); *Watznaueria barnesae* (BLACK, 1959); *Watznaueria deflandrei* (NOEL, 1965); *Podorhabdus cylindratum* (NOEL, 1965); *Podorhabdus dietzmanni* (REINHARDT, 1965); *Microstaurus alcmoneensis n. sp.*; *Staurorhabdus quadriarcullus* (NOEL, 1965); *Zeugrhabdotus noeli* (ROOD, HAY & BARNARD, 1971); *Zeugrhabdotus sallillum* (NOEL, 1965); *Stephanolithion bigoti* (DEFLANDRE, 1939); ? *Loxolithus sp.*; ? *Tetralithus pyramidus* (GARDET, 1955).

2. Calcareous nannoplankton incertae sedis:

*Pseudolithraphidites quattuorbacillatus* (KEUPP, 1976); *Pseudolithraphidites multibacillatus* (KEUPP, 1976).

3. Calcispheres:

*Pithonella gustafsoni* (BOLLI, 1974); *Pithonella cf. thayeri* (BOLLI, 1974); *Pithonella piriformis n. sp.*

The description of benthonic nanno-organisms, which only can be find in the inner part of the single carbonate layers, show a narrow coherence to the sediment structure.

The corresponding grain size between 1 and 3 micron and the roundet grain shape implies the same mechanism of deposition for the "Flinze" and the marly "Fäulen". The large pore space especially in the "Fäulen", can be interpreted as a kind of micro-open-space structure. The compound of the sediment consists of densely piled up calcitic spheres (diameter 8-20, max. 30 micron). The wall crystals of these spheres show no preference in orientation and can be traced back to coccoïd blue green algae. The Solnhofen platy limestone can be considered as a regular laminated stromatolite of coccoïd blue green algae of a lagoonal deeper-water environment. A recent counterpart is not known up to now.

The high porosity ("Fäulen": 14-26%; "Flinze": 7-12 %) and little neomorphism of matrix

crystals and the occurrence of a micritic low-Mg-calcite-cement (typical for chalk) establish a development of a primary stable modification of carbonate for the platy limestone. The mobile carbonate for the cementation can be derived from the occurrence of selective solution of small grains an a pressure solution. The cementation includes at least three processes, independant from each other:

1. An early diagenetic cementation within the blue-green algae mucilage, which
  - a. creates a plastic frame of more or less connected spheres, and
  - b. produced an exogenic cementation in connection with bacterial reduction of organic substances ("Häutchenbildung").
2. A subaquatic cementation of the later diagenesis brings out in cavities euheudral low-Mg-calcite-rhombohedral. Due to a accretive crystallization these can be transformed partly into sparitic block cement.
3. A recent to subrecent cementation by vadose waters and terrestrial organisms starting on the cleavage planes.

The cyclic change between sediment-layers with coccoïd cyanophycees and bedding planes with normal marine organisms induces a new modell of the limestone genesis which is only valid for the area Solnhofen-Eichstätt:

In a low energy water-lagoon (water depths between 30 and 60 m), almost seperated from the open sea, a stratification of density is produced. In the hypersaline but not euxinic cycle the blue-green algae form connected mats. A periodical turn over in connection with an (?) annual exchange of water and organisms with the Tethys allows for some times normal marine conditions in the lagoon. The blue-green algae die (interruption of sedimentation), foraminiferes begin to settle on the ground. The abundance of plancton and necton verifies the deposition of normal marine organisms on the bedding planes. Increasing evaporation forms a new salt stratification. The again spreading coccoïd blue-green algae make the excellent fossil preservation possible.

# 1 Einführung

## 1.1 Problemstellung

Mehr als 200-jährige geologische und paläontologische Bearbeitung der Solnhofener Plattenkalke durch zahlreiche Autoren hat bis heute zu keiner eindeutigen und widerspruchsfreien Klärung des Ablagerungsraumes geführt. Als Ursachen für viele widersprüchliche Interpretationen können wohl folgende Schwierigkeiten angesehen werden, mit denen der jeweilige Bearbeiter konfrontiert wird:

1. Das heutige Verbreitungsgebiet der Plattenkalke ist ein Erosionsrelikt. Die tatsächlichen paläogeographischen Verhältnisse müssen deshalb – insbesondere was die N- und W-Begrenzung betrifft – spekulativ bleiben (vergl. ROLL, 1933; FREYBERG, 1968; ZEISS, 1968). Die Rekonstruktion der südlichen Begrenzung wird durch die problematische Zeitkorrelation der unterschiedlichen Fazies und das tektonische Abtauchen des Jura unter die alpine Molasse entlang der „Donau-Flexur“ erschwert.

2. In der Gegenwart ist eine zur Plattenkalkfazies führende Karbonatsedimentation nicht bekannt (WILSON, 1975: S. 279). Die Anwendung des Aktualitätsprinzips stößt daher auf Schwierigkeiten. Die Fülle von zum Teil konträren Deutungsversuchen der Ablagerungs- und Lebensbedingungen in der Solnhofener Lagune (vergl. Abb. 19) mag durch die unterschiedliche Schwerpunktsetzung einzelner Beobachtungskomplexe und ihre Übertragung auf rezent vergleichbar scheinende Milieus bedingt zu sein.

3. Eine exakte Ansprache des Sediments war aufgrund seiner extremen Feinkörnigkeit (echter Mikrit i.S. von FOLK, 1959, 1962) mit klassischen, lichtoptischen Methoden nicht möglich. Die Frage nach Herkunft und Zusammensetzung des Sediments mußte deshalb mehr oder weniger spekulativ beantwortet werden. Die Gesteinsansprache, die bei jeder Rekonstruktion eines Ablagerungs-

raumes Grundlage sein sollte, mußte aus technischen Gründen weitgehend aus der sachlichen Argumentation ausgeklammert werden.

Erst die Entwicklung der Elektronenmikroskopie und ihr Einsatz in den Geowissenschaften ermöglichten erste Hinweise auf den wahren Charakter des Sediments (FLÜGEL & FRANZ, 1967; LAFITTE & NOEL, 1967). Diese ersten stichprobenartigen Untersuchungen, meist anhand von Museumsmaterial durchgeführt, wurden – wie die vorliegende Arbeit zeigt – überbewertet (z.B. „Coccolithenschlamm“ bei BUISSONJE, 1972).

Systematische Untersuchungen einzelner Plattenkalk-Profile im Solnhofener und Eichstätter Raum sollen mit Hilfe eines Raster-Elektronenmikroskopes (REM) Aufschluß geben über:

1. die spezifische Verteilung von Nannofossilien,
2. Zusammensetzung, Herkunft und Diagenese des Sedimentes.

Eine weitere Zielsetzung dieser Arbeit ist es, die möglichen Ablagerungsbedingungen unter besonderer Berücksichtigung der Sedimentgenese einzuengen und dadurch ein Modell der Plattenkalk-Entstehung dieses Raumes zu entwickeln, dessen Spekulationspielraum gegenüber den bisher veröffentlichten Theorien eingeschränkt ist.

## 1.2 Definition „Plattenkalk“

Im Zusammenhang mit der Fossilagerstätte Solnhofen treten sehr unterschiedliche Begriffe für die Gesteinsansprache auf.

Die in der Literatur geläufigsten sind:

„Plattenkalk“ – „Schiefer“ – „Kalkschiefer“ – „Lithographischer Kalk“ – „Bankkalk“.

FREYBERG (1968: S.25-26) nimmt eine abschließend beschreibende Einteilung der Plattenkalke vor. Je nach Schichtmächtigkeit unterscheidet er „Schiefer“, „Plattenkalke“ und „Bankkalke“. Welcher Typ entsteht, ist allein abhängig von der Sequenz einzelner Mergellagen, die den feinkörnigen Kalk in verschiedene Dicken aufteilt.

HADDING (1958: S.21) legt dagegen bei der Definition der „Lithographischen Kalke“ starken Wert auf genetische Aspekte. So faßt er alle makroskopisch einheitlichen, dichten, ebenflächigen Kalke unter diesem Begriff zusammen, auch wenn sie nicht für lithographische Zwecke geeignet sind. Die Definition wird durch die Angabe typischer Eigenschaften vervollständigt:

Muscheliger Bruch - im allgemeinen frei von gesteinsbildenden Fossilfragmenten – kaum anorganischer Detritus – hell gefärbt – Kristallite dicht verwachsen.

Hinzu kommt noch eine paläogeographische Determination:

Ablagerung in flachen, lagunenähnlichen Becken.

FESEFELDT (1962: S.16) kommt, nur auf Solnhofen bezogen, zu folgender Definition der „Kalkschiefer“:

„Kalkschiefer sind kalkreiche Sedimente, die durch Feinschichtung in Verbindung mit ebenen Schichtgrenzen gekennzeichnet sind. Die Spaltflächen sind Schichtflächen. Kalkschiefer bestehen aus einer Wechselagerung ebenflächiger, meist plattiger oder dünnbankiger, meist feinkörniger, dichter und glatter Kalke (Flinze) mit ebenflächigen, feinschichtigen, etwas mergeligeren Kalken (Fäulen).“

HÜCKEL (1974 a: S153-154) bezieht in seine überregionale Charakterisierung der „Plattenkalke“ die spezifische Fossilführung und – erhaltung ein. Er schreibt:

„Plattenkalke unterscheiden sich von anderen Kalken vor allem durch ihre dünnplattige Spaltbarkeit parallel zur Schichtung. Die Platten sind oft in sich feingeschichtet. In den Plattenkalken findet sich eine nektonische Fauna von Fischen, Crustaceen, Echinodermen und Cephalopoden, dagegen

fehlen Hinweise auf benthonisches Leben. Die Skelette der oben erwähnten Fossilien sind meist zusammenhängend, oft auch mit Resten von Weichteilen erhalten, die unter den Ablagerungsbedingungen normaler Kalke nicht konserviert werden.“

Da der Begriff „Schiefer“ heute im allgemeinen nur noch im tektonischen Sinne Anwendung findet, sollte er im Zusammenhang mit Plattenkalken nicht verwendet werden. Ähnliches gilt für die „Bankkalke“, unter denen man, zumindest seit SEIBOLD (1952), eher die geschichteten Kalke z.B. des Oxford und Kimmeridge versteht, die durch eine wellige Schichtoberfläche und das Fehlen einer laminaren Feinschichtung gekennzeichnet sind. Auch der Begriff „Lithographischer Kalk“ erscheint mir angesichts des prozentual verschwindend geringen Anteils der für die Lithographie verwendbaren Platten nicht geeignet. In Anbetracht der sehr unterschiedlichen paläogeographischen Stellung verschiedener Plattenkalk-Vorkommen (vergl. HEMLEBEN, 1976) vom back reef (Solnhofen: FREYBERG, 1968) bis zum offenen Schelf (Haqel/ Libanon: HÜCKEL, 1974a,b) ist meines Erachtens auch die Einbeziehung einer bestimmten paläogeographischen Situation in die Definition unzulässig.

Im Verlauf der vorliegenden Arbeit soll der Begriff „Plattenkalk“ mit folgender Charakterisierung Anwendung finden:

Plattenkalke sind durch schichtparallele Spaltbarkeit entlang ebener Trennflächen gekennzeichnet. Die meist feinkörnigen, mehr oder weniger dünnplattigen Kalke bzw. Mergel, deren Zusammensetzung und Ursprung sehr unterschiedlich sein kann, lassen durch ihre meist auftretende Fein- bis Latent- (= angedeutetes Schichtgefüge, an denen i.a. keine Aufspaltung erfolgt) schichtung auf eine Ablagerung unter Ruhigwasserbedingungen schließen. Die auffällige Armut an Benthos, die meist hervorragende Erhaltung nektonischer und planktonischer Organismen und die Ablagerung innerhalb eines mehr oder weniger ausgeprägten Bodenreliefs weisen auf eine Sonderfazies unter Stagnatbedingungen hin.

### 1.3 Methodische Anmerkungen

Es wurde je ein möglichst vollständiges Profil des unteren Unter-Tithon im Solnhofener bzw. Eichstätter Plattenkalkrevier aufgenommen und nahezu komplett beprobt. Aus Mangel an durchgehenden Gesamtprofilen mußten diese „Standardprofile“ in verschiedenen Aufschlüssen zusammengestellt werden. Da innerhalb des eigentlichen Plattenkalkprofils keine wesentlichen Unterschiede in der Ultrafazies und Fossilführung auftreten, können einige, gleichmäßig über das Profil verteilte, wenige cm mächtige, orientierte Profilausschnitte als repräsentativ für das Gesamtprofil angesehen werden. Zur Erfassung der verschiedenen Fazies-Typen wurde zusätzlich ein Teil des Belegmaterials von FESEFELDT (1962) herangezogen. Stichproben anderer Aufschlüsse im Bearbeitungsgebiet haben gezeigt, daß die ausgewählten Profile in ultrafazieller Hinsicht den durchschnittlichen Verhältnissen entsprechen.

Um im Hinblick auf Verteilung und Einbettung der Nannofossilien, sowie hinsichtlich des Korngefüges keine präparativen Verfälschungen zu erhalten, wurden im allge-

meinen Bruch- und unveränderte Schichtflächen untersucht. Nach einer mechanischen Zerkleinerung auf ca.  $4 \times 4$  mm wurden die Proben schonend von noch lose anhaftenden Partikeln gereinigt (i.a. durch Abblasen mit Preßluft, seltener durch kurzes Beschallen in der Ultraschall-Schwingwanne). Das Aufkitten auf den Probenteller erfolgte mit Leitsilber. Vor der Betrachtung mit dem Raster-Elektronenmikroskop muß das Untersuchungsobjekt elektrisch leitfähig gemacht werden. Dies erfolgte mit Hilfe eines Sputtergerätes (Mini-Coater) durch Aufbringen eines wenige Å dicken Gold-Filmes im Kathodenstrahl.

Die REM-Aufnahmen sind am Stereoscan S 4-10 (Firma CAMBRIDGE INSTRUMENT Co.), soweit nicht anders angegeben, mit einer Beschleunigungsspannung von 20 KV (brauchbarer Kompromiß zwischen Auflösungsvermögen und Kantendurchstrahlung) angefertigt worden.

Alle REM-Proben sind im Institut für Paläontologie der Universität Erlangen-Nürnberg hinterlegt.



Abbau im Plattenkalk-Schichtstoß der dünnplattigen Eichstätter Fazies von Winterberg  
Foto: R. Heißler

## 2 Die Einbeziehung der Solnhofener Plattenkalke in die Entwicklung der Südlichen Frankenalb

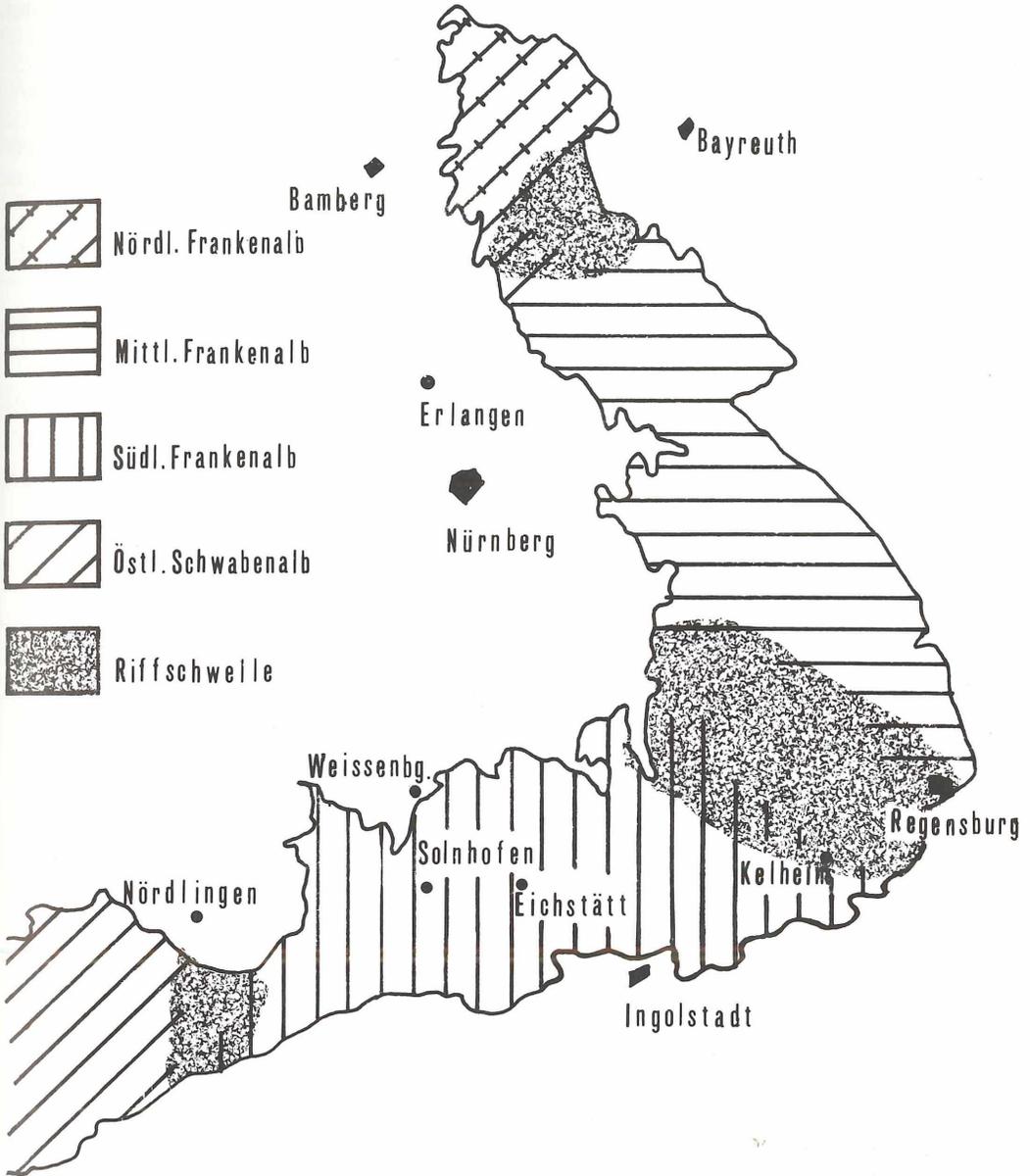


Abb. 1: Übersicht über die Faziesgebiete der Frankenalb (Malm), nach A. ZEISS, 1968.

## 2.1 Faziesentwicklung im Malm der Südlichen Frankenalb

Die Solnhofener Plattenkalke fügen sich in eine mehr oder weniger kontinuierliche paläogeographische Entwicklung während des Malm der Südlichen Frankenalb ein. Die Fazies-Einheit Südalb wird durch die Ries-Schwelle im W und den Riffgürtel entlang der Regensburg-Parsberger Schwelle im NE von den weitgehend eigenständigen Faziesgebieten der östlichen Schwabenalb bzw. der Mittleren Frankenalb getrennt (Abb. 1; ZEISS, 1968b).

Die Weißjura-Schichtfolge beginnt im Mittel-Oxford mit einer überwiegend mergeligen, teilweise glaukonitischen Karbonatserie. Die ca. 40 m mächtigen Ablagerungen, die im oberen Oxford von einer 20 m mächtigen, gut geschichteten Bankkalk-Folge (i.S. SEIBOLD, 1952) abgelöst werden, lassen sich mit Hilfe von Ammoniten stratigraphisch gut gliedern.

Bereits im mittleren Oxford setzt eine laterale Differenzierung zwischen der Schichtfazies und beginnender Massenkalkfazies-Entwicklung ein. Vor allem im Bereich der niedereenergetischen, submarinen Schwellen treten embryonale Algen-Schwamm-Bioherme auf (MEYER, 1975a).

Während das Riffwachstum kontinuierlich fortschreitet, werden im Beckeninneren während des Unter-Kimmeridge zunächst noch ammonitenreiche Mergel- und Bankkalk-Wechselfolgen sedimentiert. Erst im mittleren Kimmeridge führt die zunehmende Verflachung des gesamten Ablagerungsraumes zu einer weiträumigen Ausbreitung einer dickbankigen Schwamm-Biostromfazies. („Treuchtlinger Marmor“), dessen Gehalt an Ooiden und Bioklastika auf eine hochenergetische Entwicklung hinweist. Aus der Biostrom-Fazies entwickeln sich im ausgehenden Malm delta großflächige Riffareale. Durch das Vorauswachsen der Algen-Schwamm-Riffe, an deren Aufbau neben den Kieselspongien vor allem Blaugrünalgen beteiligt sind (MEYER, 1975b; BEHR & BEHR, 1976), entsteht ein submarines Relief. Die zwischen dem progressiven Riffwachstum

verbleibenden Gebiete, in denen weiterhin dickbankige Kalke zur Ablagerung kommen, nennt ROLL (1934) „Restlücken“. Im Verlauf des oberen Kimmeridge nimmt das Riffwachstum vorübergehend ab, die Restlücken-Fazies breitet sich im sogenannten „Schüssel-Stadium“ (ROLL, 1933) auf Kosten der sich mit ihnen verzahnenden Riff-Areale aus. Hierzu gehören die etwas unregelmäßig gebankten, kieselig splittrigen Thorleite-Schichten, die aufgrund ihrer reichen Ammonitenführung in den oberen Malm epsilon zu stellen sind.

Der Trend des Riff-Rückzuges geht weiter, bis schließlich im unteren Tithon die Schwamm-Algen-Bioherme im zentralen Teil der Südlichen Frankenalb absterben. Hand in Hand mit dem Zurücktreten der Schwämme übernimmt in der NE' begrenzenden Parsberg-Kelheimer Riffschwelle das seit dem Oberkimmeridge einsetzende Korallen- bzw. Hydrozoen-Wachstum (BAUSCH & ZEISS, 1966; FAY, 1976) die riffbildende Funktion, während im SW das Schwammwachstum, wenn auch zurücktretend, anhält.

Die fazielle Entwicklung der Südalb spiegelt eine allgemeine Verflachung des gesamten Gebietes wider. Der NE-Teil wurde dabei bevorzugt gehoben. Das durch die abgestorbenen Riffe gebildete Untergrundrelief wird im Unter-Tithon gemäß der Kipp-Bewegung von der in der Zeit von E nach W wandernden Plattenkalk-Serie aufgefüllt (vergl. ZEISS, 1968a), die ihre maximale Entwicklung im Raume Eichstätt-Solnhofen während des Malm zeta 2 erreicht.

Die Ablagerung der Plattenkalke zwischen und über den abgestorbenen Algen-Schwamm-Riffen, bei der echte Verzahnungen fehlen und diskordante Anlagerungen auftreten, nennt FESEFELDT (1962) „Wannen-Stadium“. Nur im unmittelbaren Kontakt der Plattenkalk-Lagune mit den sie begrenzenden, großen Riffschwellen (z.B. Kelheimer und Paintener Wanne) finden sich durch Riffschutt-Rutschmassen angedeutete Verzahnungen von wannen- und riffbetonten

Sedimenten (FREYBERG, 1968). Zu Beginn des Malm zeta 3 löst die Korallenfazies mit einer deutlichen Ausbreitung des Riffwachstums (= „Jüngere Riffgeneration“: FREYBERG, 1964, 1968) auch im Bereich der SW' Schwelle die Algen-Schwamm-Fazies ab. Im Zusammenhang mit dieser Korallen-Entwicklung kommt es im höheren Unter-Tithon (Usseltal- und Rennertshofener Schichten) immer wieder zur Ausbildung von Plattenkalken zwischen Bankkalk-Serien. Das jüngste noch erhaltene Schichtglied, der

Malm zeta 6 (= Neuburger Bankkalk, Mittel- und unteres Ober-Tithon: ZEISS, 1975), liegt in Form gut geschichteter Bankkalk vor. Eine vollständige Rekonstruktion der paläogeographischen Entwicklung in der Südlichen Frankenalb scheidet an dem nur relikhaften heutigen Verbreitungsgebiet. So bewirkte die kippschollenartige Exponierung des Jura während der saxonischen Gebirgsbildung entlang flach erzgebirgisch streichender Linien eine weitgehende Erosion im N und ein steiles Abtauchen unter die Molasse im S.

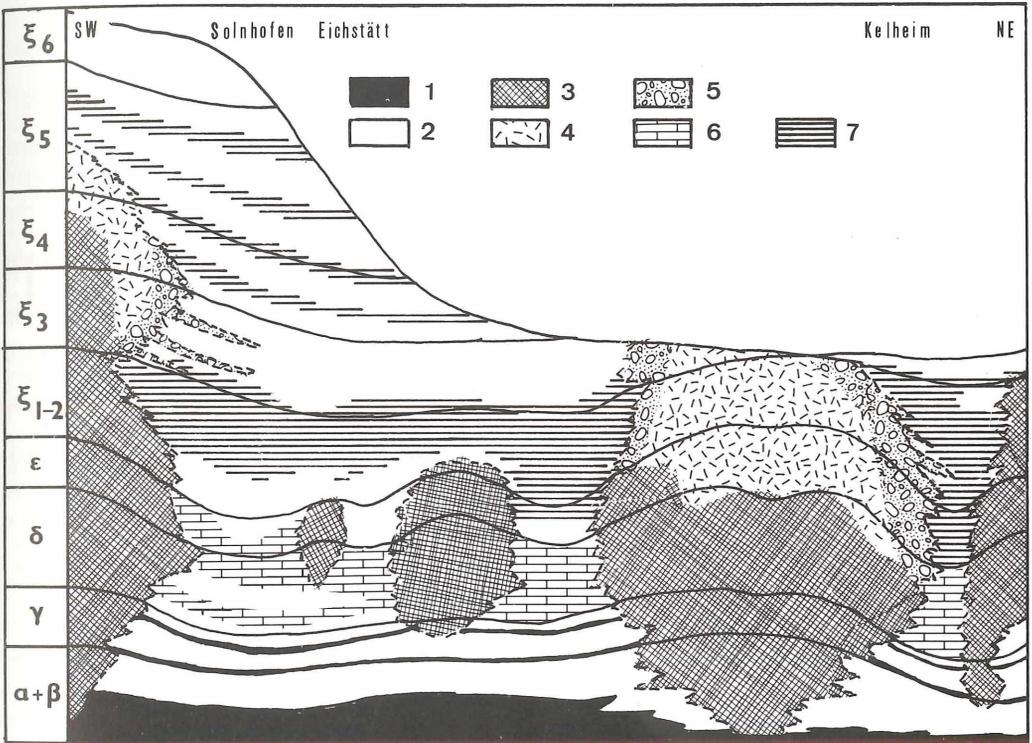


Abb. 2: Fazies-Schema des Malm in der Südlichen Frankenalb (nach R. K. F. MEYER, 1975)

- |             |                             |                          |                |
|-------------|-----------------------------|--------------------------|----------------|
| 1: Mergel   | 3: Algen-Schwamm-Riffe      | 5: Riffnahe Schuttfazies | 7: Plattenkalk |
| 2: Bankkalk | 4: Korallen-Hydrozoen-Riffe | 6: Biostromkalk          |                |

## 2.2 Die Stratigraphie des Solnhofener Plattenkalkes

Entsprechend der tektonischen Kippung des Südalgebietes des oberen Malm wandert die Plattenkalk-Fazies in der Zeit von E nach W bzw. SW. So stehen in der östlich gelege-

nen Ebenwieser Wanne (vergl. FREYBERG, 1968) die frühesten Plattenkalk bereits im oberen Malm delta an (STREIM, 1961). Von hier aus breiten sie sich allmählich innerhalb

einzelner Wannen nach W aus. Im oberen Malm epsilon erreichen die Plattenkalke das Gebiet des Kartenblattes Kipfenberg (ZEISS, 1968a), im Verlauf des Malm zeta 1 zunächst die Eichstätt und mit geringerer Verzögerung die Solnhofener Wanne. Weiter im SW erlangt die Plattenkalk-Fazies erst ab dem Malm zeta 3 (z.B in Daiting) Bedeutung (FESEFELDT, 1962; JANICKE, 1967). Schließlich finden sich nahe der Donau noch Plattenkalke in Wechsellagerung mit Bankkalken im Malm zeta 4 und 5 (ZEISS, 1968a).

Im Rahmen dieser Arbeit soll nur das zentrale Plattenkalkkrevier des Solnhofener und Eich-

### Lithologische Kriterien

Die Solnhofener Schichten (= Malm zeta 2) werden nach ROLL (1940) und FREYBERG (1964) in die Unteren und Oberen Solnhofener „Schiefer“ unterteilt (zeta 2a bzw. zeta 2b). Sie lassen sich vor allem durch ihre Lithologie voneinander trennen. Den Hangendabschluß beider Horizonte bildet jeweils eine „Krumme Lage“ (= subaquatische Rutschungen: REIS, 1909, KRUMBECK, 1928).

Die Abgrenzung der Schichten des Malm zeta 2a von den liegenden Geisental-Schichten (FREYBERG, 1964) bzw. Röglinger Bankkalken des Malm zeta 1 erfolgt nach FREYBERG (1964, S. 27) durch drei lithologische Merkmale:

1. Das zeta 1 hat in dem „Dachhornstein“ eine markante Obergrenze.
2. Die Unteren „Schiefer“ setzen nach einer deutlichen Verebnung mit einer steilen, morphologischen Geländestufe ein.
3. Häufig sind die plattigen Kalke des zeta 2a durch ein intensives Wühlgefüge charakterisiert („Spurenschiefer“).

Auf genauere Profilbeschreibungen sei hier mit Hinweis auf die umfangreichen Geländeaufnahmen (FESEFELDT, 1962; FREYBERG, 1964; ZEISS, 1964a; EDLINGER, 1964) verzichtet. Insgesamt lassen sich die Unteren „Schiefer“ folgendermaßen charakterisieren:

stätt (ohne die Sonderfazies von Pfalzpaint) Ablagerungsraumes berücksichtigt sein, in dem die echten, d.h. durch ihre Lithologie und Ultrafazies (s.u.) definierten Plattenkalke während des Malm zeta 2 (= Solnhofener Schichten, KRUMBECK, 1928) abgelagert wurden. Im Gebiet von Eichstätt reichen die Plattenkalke noch in das zeta 3 (EDLINGER, 1964).

Die stratigraphische Gliederung und Einstufung der Solnhofener Plattenkalke basiert

1. auf lithologischen Kriterien,
2. auf biostratigraphischen Methoden.

Die überwiegend dünnplattigen, feinkörnigen Kalke sind in ihrem liegenden Teil besonders mergelreich. Sie bilden durch zunehmende Einschaltung latent geschichteter Kalke im oberen Abschnitt den Übergang zu den echten Plattenkalken. Die Schichtflächen sind meist wellig und vielfach durch das Auftreten unregelmäßig begrenzter, leistenförmiger Spuren gekennzeichnet. Die Mächtigkeiten schwanken im Raume Eichstätt in Abhängigkeit vom Paläorelief zwischen 6 und 20 m, wobei die Trennende Krumme Lage nur maximal 5 m erreicht (EDLINGER, 1964). Im Solnhofener Gebiet werden Mächtigkeiten bis 35 m gemessen, wobei jedoch der Hauptanteil des Profils von der Trennenden Krummen Lage eingenommen wird (FESEFELDT, 1962). Auf die Ultrafazies soll im Zusammenhang mit der Beschreibung des aufgenommenen und beprobten Profils (Kapitel 5) eingegangen werden.

Die „Oberen Schiefer“ (Malm zeta 2b) über der Trennenden Krummen Lage sind durch die in ihrer Mächtigkeit stark wechselnden echten Plattenkalke gekennzeichnet. Innerhalb der einzelnen Wannen ist eine Parallelisierung mit Hilfe charakteristischer „Lagen“, d.h. bestimmten metrisch erfaßbaren Flinzfäulen-Abfolgen, über größere Strecken möglich (FESEFELDT, 1962; EDLINGER, 1964). Den Hangendabschluß des Malm zeta 2b bildet die in der Solnhofener und

Eichstätter Wanne gleichermaßen verfolgbare Hangende Krumme Lage, deren Mächtigkeit lokal deutlichen Schwankungen unterliegt.

Die Abgrenzung der Solnhofener Schichten zu den Mörsheimer Schichten (= Malm zeta 3) ist lithologisch durch den Top der Hangenden Krummen Lage gegeben. In Solnhofen erfolgt etwa gleichzeitig ein Fazieswechsel, der durch die Einschaltung von Hornsteinplatten und schuttreichen Kalkbänken mit welligen Schichtflächen gekennzeichnet ist.

### Biostratigraphische Methoden

Neben den meist gut faßbaren lithologischen Abgrenzungsmöglichkeiten des Schichtstoßes ist auch zumindest im Kerngebiet von Eichstätt und Solnhofen eine biostratigraphische Gliederung weitgehend gesichert. Während SCHNEID (1914) die Solnhofener Schichten unter Einbeziehung der Mörsheimer Schichten in die Unterstufe der *Oppelia lithographica* gestellt hat, ergab die Bearbeitung der Ammonitenfaunen durch ZEISS (1964a,b,c; 1968a), daß *Glochiceras lithographicum* (OPPEL) eher für das zeta 3 typisch ist. Eine Trennung des Malm zeta 2a und b mit Hilfe von Ammoniten ist nicht möglich (ZEISS, 1964a). Als Zonenfossil der gesamten Solnhofener Schichten kann *Subplanites ruepellianus* (QUENSTEDT) angesehen werden (ZEISS, 1968a). Die Geisental-Schichten im Liegenden sind durch *Lithacoceras riedense* (SCHNEID) und *Neochetoceras praecursor* (ZEISS) charakterisiert, während in den hangenden Mörsheimer Schichten *Subplanites moersheimensis* (SCHNEID) leitend ist. Als übergeordnete Leitfossilien für die gesamten „Altmühltal-Schichten“ (FREYBERG, 1964), die z.T. auch eine Korrelation mit anderen Untertithon-Sedimenten erlauben, kann *Hybonotoceras hybonotum* (OPPEL) und *Gravesia gigas* (ZIETEN) gelten. Das von OPPEL (1863) als Zonenfossil aufgestellte *Neochetoceras steraspis* (OPPEL) findet sich analog zu *Glochiceras lithographicum* (OPPEL) im zeta 2 und 3, stellt aber für diesen Bereich eine brauchbare Leitform dar.

zeichnet ist. Generell entspricht die zeta 2-zeta 3-Grenze dem Wechsel von geringenergetischen Sedimentationsbedingungen der Plattenkalke zu hochenergetischen Ablagerungsbereichen. In der Eichstätter Wanne bleiben dagegen auch nach dem Ereignis der Hangenden Krummen Lage die Plattenkalk-Bedingungen zunächst noch erhalten. Bedingt durch lokale, submarine Rutschungen wird hier gelegentlich detritisches Material zwischengelagert. Erst im oberen Abschnitt des zeta 3 erfolgt im Eichstätter Raum der Übergang zur Mörsheimer Kieselfazies.

GROISS (1967) hat eine Gliederung mit Foraminiferen versucht. Eine mikrofaunistische Grenze zwischen dem zeta 1 und 2a ist demnach nicht faßbar. Die Abtrennung von zeta 2a und 2b ist ebenso wie die Abgrenzung zum zeta 3 nur unter Berücksichtigung der Variationsstatistik der häufig vorkommenden Arten *Paalzowella feifeli* (PAALZOW) und *Trocholina conica* (SCHLUMMBERGER) möglich. Eine Parallelisierung der Solnhofener Schichten mit zeitäquivalenten Ablagerungen anderer Gebiete scheidet an der spezifischen Faunenzusammensetzung, die in den ökologischen Sonderbedingungen des Lebensraumes begründet zu sein scheinen.

Dem wohl durch den Fazies-Wechsel bedingten „plötzlichen“ Auftreten der Calcisphaeren-Art *Pithonella piriformis* n.sp. in den Mörsheimer Schichten kann bestenfalls ein lokaler Leitcharakter für diesen Horizont zugesprochen werden.

Eine Gliederung mit Hilfe des Nannoplanktons ist innerhalb des Unter-Tithon nicht möglich. Die Coccolithen-Vergesellschaftung fügt sich jedoch gut in die „*Watznaueria communis-Zone*“ (BARNARD & HAY, 1974) ein, die den Zeitraum zwischen *Aulacostephanus pseudomutabilis*-Zone und *Subplanites wheatleyensis*-Zone umfaßt.

### 3. Die Nannofossilien der Solnhofener Schichten

#### 3.1 Reich: *Plantae*

##### Abteilung: *Chrysophyta*

##### Klasse: *Coccolithophyceae*

#### Anmerkung zur Coccolithenverteilung im Sediment

Das gesamte Nannoplankton findet sich im typischen Solnhofener Plattenkalk (Malm zeta 2b von Solnhofen und Eichstätt), im Gegensatz zu teilweise ähnlichen Kalken und Mergeln im Liegenden und Hangenden, fast ausschließlich im Bereich der einzelnen Schichtflächen. Im Inneren jeder Lage treten Coccolithen nur sehr vereinzelt auf. Die Nannoflora verhält sich somit analog den Megafossilien, die sich ebenfalls mit überwiegender Mehrheit auf den Schichtflächen findet.

Auch innerhalb derselben Schichtfläche treten in der Coccolithen-Verteilung auffällige Häufigkeitsschwankungen auf. Die Schilde scheinen in einzelnen „Nestern“ angereichert zu sein, deren Größe i. a. zwischen 50 und 100 Mikron schwankt (Taf. 1, Fig. 1-4). Diese Verteilung legt eine bevorzugte Sedimentation der Coccolithen über den Weg der Kotpillen-Bildung nahe (vergl. SMAYDA, 1970; HATTIN, 1975; HONJO, 1976). Kleinere Nester gleichartiger Coccolithen (Tafel 2) gehen wohl auf in situ zerfallene Coccusphaeren zurück (NOEL, 1972; KEUPP, 1976c). Die überwiegende Ablagerung der Coccolithen als Kotpillen kann neben anderen Ursachen (z. B. Fixierung durch einen Blaugrünalgen-Film: KEUPP, 1977; Ablagerung in küstennahem Ruhigwasser bei erhöhter Sedimentationsrate: ANDREE, 1920; FLÜGEL & FRANZ, 1967b) als Grund für die relativ häufige Erhaltung vollständiger Coccusphaeren (KEUPP, 1976a, b) angesehen werden.

#### Hinweis zu den Tafelerläuterungen

Alle REM-Fotos sind, soweit nicht anders angegeben, bei einer Beschleunigungsspannung von 20 KV mit einem Stereoscan S-4/10 (Firma Cambridge Instruments) selbst angefertigt worden. Bei den angegebenen Maßstäben entspricht, wenn nicht extra vermerkt, ein Teilstrich 1 Mikron

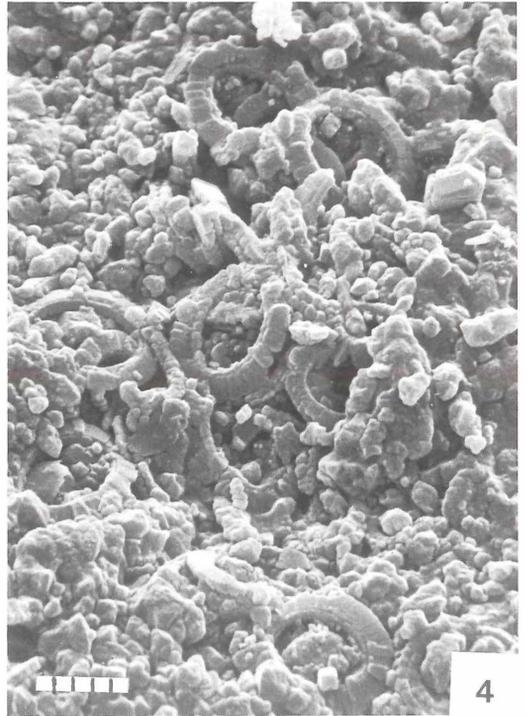
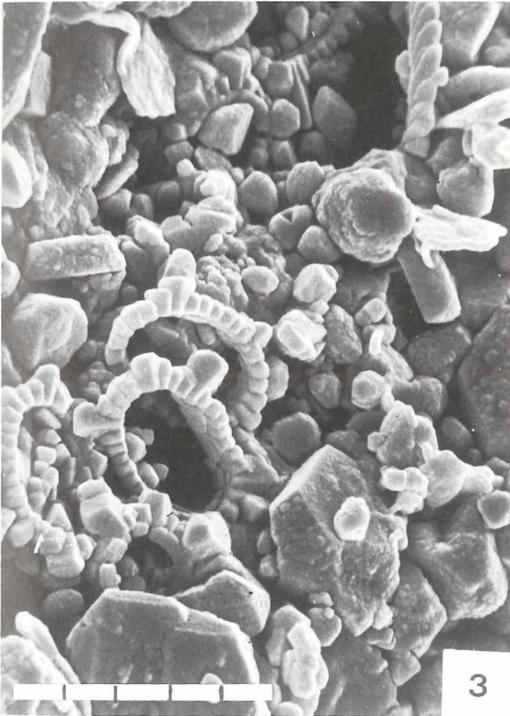
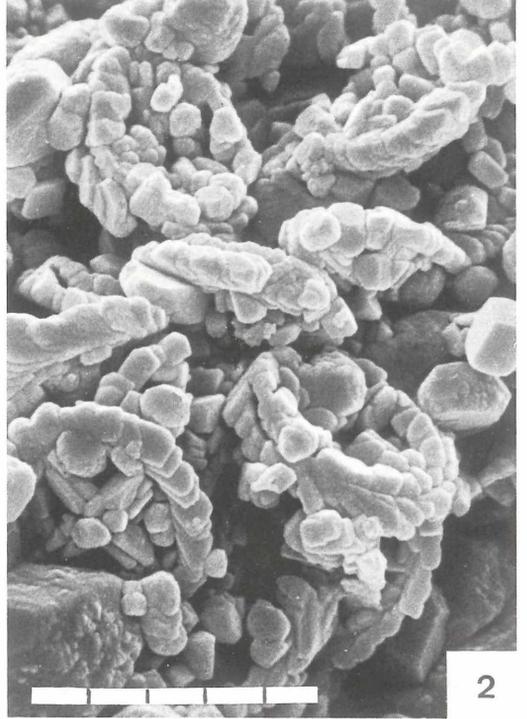
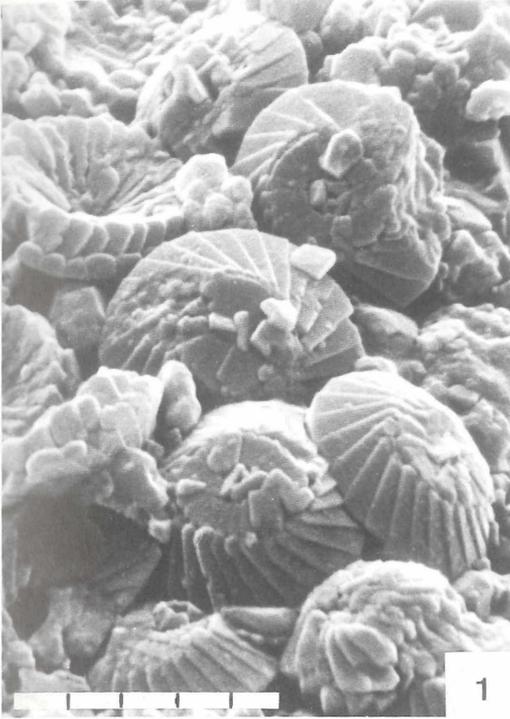
#### Tafel 1: Koproolithogene Sedimentation von Coccolithen

Fig. 1: Lokale Anhäufung von *Cyclagelosphaera margereli* NOEL, 1965 auf einer Flinz-Oberfläche von Schernfeld. Probe S 18-1; REM-Foto 868

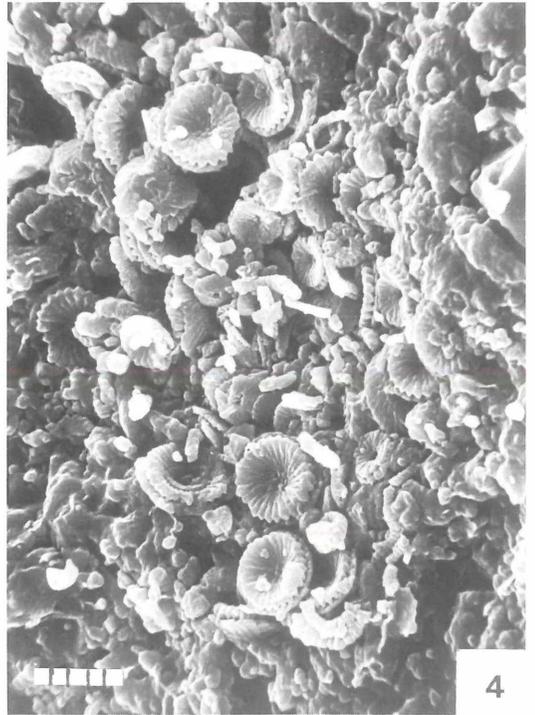
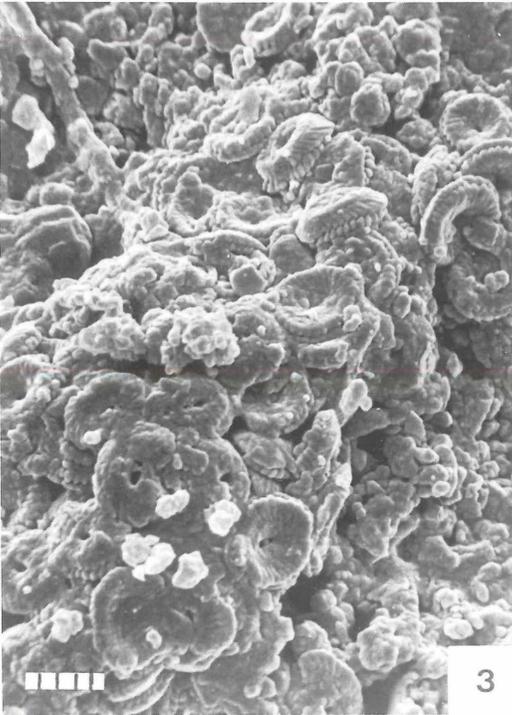
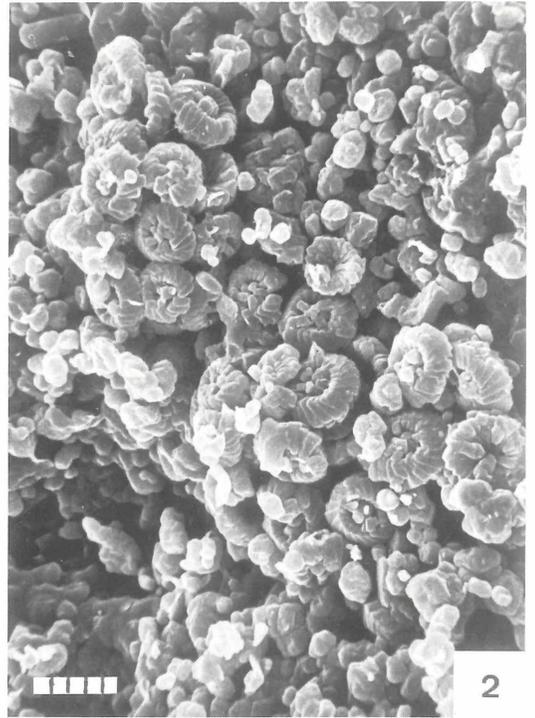
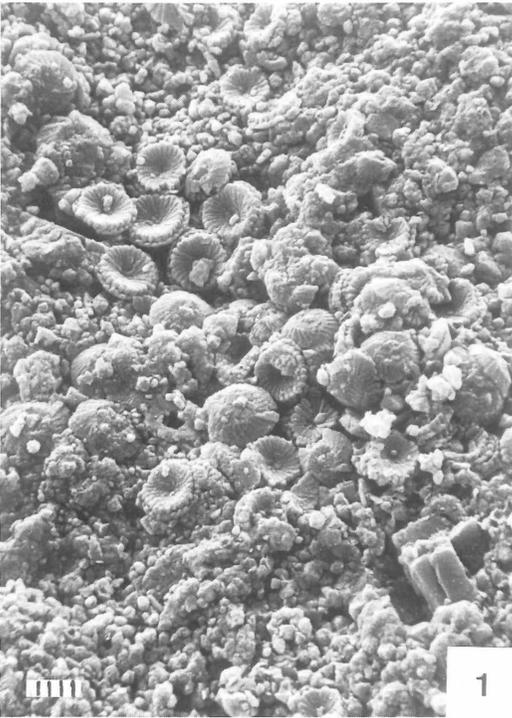
Fig. 3: Durch rezente Zementation entlang der Schichtfläche unter Beteiligung von Pflanzen (Algen-Faden im Bild links oben) etwas veränderter Koproolith, bestehend aus *Ellipsagelosphaera keftalrempti* GRÜN, 1975. Probe S 18/19-6; REM-Foto 6445

Fig. 2: Durch selektive Lösung veränderte Schilde von *Cyclagelosphaera margereli* NOEL, 1965 in einer Kotpille. Probe S 70u-8; REM-Foto 2176

Fig. 4: Lokale Anhäufung verschiedener Coccolithen: *Cyclagelosphaera*, *Ellipsagelosphaera*, *Bidiscus* auf einer Fäulenschichtfläche von Schernfeld. Probe S 18/19-9; REM-Foto 2081



Tafel 1



Tafel 2

## Familie Biscutaceae BLACK, 1971

### Genus Bidiscus BUKRY, 1969

GRÜN & ALLEMANN (1975) räumen der Art *Bidiscus ignotus* (GORKA, 1957) auf Kosten mehrerer in der Literatur geführten Arten einen weiten Variationsspielraum ein. Die im Solnhofener Plattenkalk vorkommenden Formen dieser Gattung ließen sich danach durchaus in dieser Spezies zusammenfassen. Die Auswertung von 50 Exemplaren, bei der nur die Proportionen der einzelnen Elementzyklen statistisch berücksichtigt sind, zeigt jedoch eine klare Aufspaltung in zwei sich nicht überlappende Verteilungsmuster (Abb. 3). Eine Trennung in zwei Arten erscheint hier notwendig. Das Einbeziehen des *Discorhabdus bellis* (NOEL, 1970) in den Formkreis von *Bidiscus ignotus* (GORKA, 1957) läßt sich aufgrund des Solnhofener Materials m. E. nicht belegen. Eine Aufgliederung in verschiedene Subspezies, wie dies HILL (1976) vorschlägt, erscheint so lange fragwürdig, wie über den artspezifischen Charakter einzelner Coccolithen-Merkmale aus Rezentbeobachtungen nicht mehr bekannt ist.

#### **Bidiscus ignotus (GORKA, 1957) HOFFMANN, 1970**

(Tafel 3, Fig. 1-6) – \*  $\hat{=}$  Holotyp

- \* 1957 : *Tremalithus ignotus* n.sp. – GORKA, S. 248, 272; Taf. 2, Fig. 9  
 1965a: „Embasse de *Discorhabdus*“ – NOEL (partim), S. 12; Fig. 60  
 1965b: „Embasse de *Discorhabdus*“ – NOEL (partim), Taf. 23, Fig. 7, 10, 11, 13  
 1965 : *Biscutum tredenale* n.sp. – REINHARDT, S. 32; Text-Fig. 2, Taf. 1, Fig. 3  
 1967 : *Biscutum ignotum* (GORKA, 1957) n.comb. – REINHARDT & GORKA, S. 245; Taf. 31, Fig. 9, 13  
 1968 : *Discorhabdus ignotus* (GORKA, 1957) n.comb. – PERCH-NIELSEN, S. 81; Text-Fig. 41, Taf. 28, Fig. 6  
 1970 : *Discorhabdus ignotus* (GORKA, 1957) PERCH-NIELSEN, 1968 – NOEL, (partim), Taf. 32, Fig. 4, 7, 10, 14  
 1970 : *Biscutum ignotum* (GORKA, 1957) REINHARDT & GORKA, 1967 – REINHARDT, S. 18; Taf. 1, Fig. 1-4, 6  
 1975 : *Bidiscus ignotus* (GORKA, 1957-03) HOFFMANN, 1970 – GRÜN & ALLEMANN, S. 157, Text-Fig. 4; Taf. 1, Fig. 8-10  
 1976b: *Bidiscus ignotus* (GORKA 1957) HOFFMANN 1970 – KEUPP (partim), S. 364; Abb. 13, 14  
 1976 : *Discorhabdus ignotus* (GORKA, 1957) PERCH-NIELSEN, 1968 ssp. *ignotus* – HILL, III, S. 137; Taf. 14, Fig. 4-5

### Beschreibung:

Die runden Placolithen haben einen Durchmesser zwischen 2,3 und 5 Mikron (im Ausnahmefall bis 7 Mikron). Sie bestehen aus zwei übereinanderliegenden monozyklischen Plattenreihen. Die größere distale und die kleinere basale Scheibe werden von je 12 bis 22 radial nebeneinander angeordneten, keil-

förmigen Micellen aufgebaut. Die distale, meist offene Zentralpore nimmt nur 10 bis höchstens 20% des Coccolithen-Durchmessers ein. Ihre Begrenzung erscheint oft durch unterschiedlich weites Hineinwachsen der einzelnen Micellen unregelmäßig.

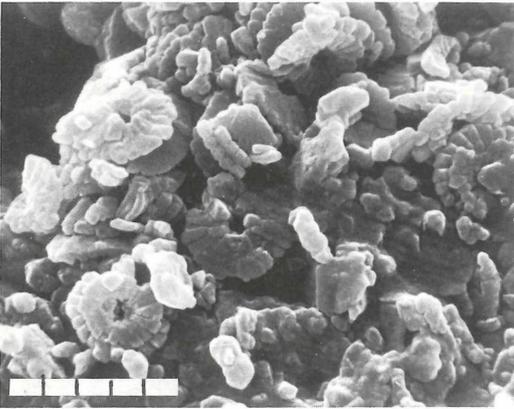
#### **Tafel 2:** An Ort und Stelle zerfallene, nicht verschwemmte Coccosphären belegen Stillwasser-Verhältnisse

Fig 1: *Cyclagelosphaera margereli* NOEL, 1965 auf einer Flinz-Oberfläche. Probe S 18-1b; REM-Foto 4872

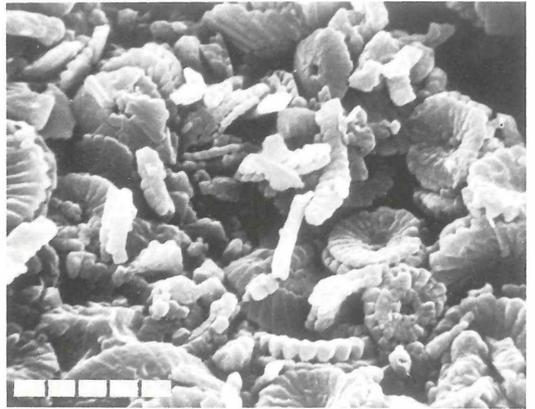
Fig. 2: *Staurorhabdus quadriarcullus* (NOEL, 1965) NOEL, 1972 aus dem Malm zeta 2a von Rögling-Warching. Probe R 31; REM-Foto 8625

Fig. 3: *Stephanolithion bigoti* DEFLANDRE, 1939 von derselben Lokalität. Probe R 31; REM-Foto 8622

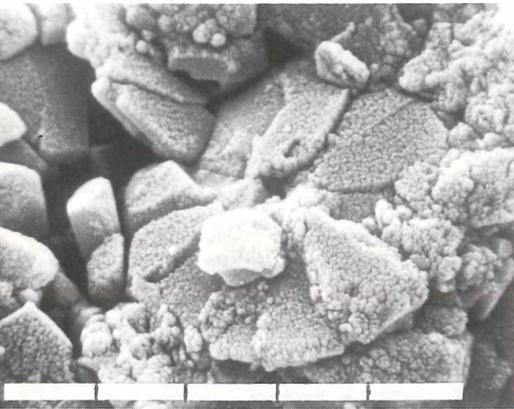
Fig. 4: *Podorhabdus dietzmanni* (REINHARDT, 1965) REINHARDT, 1967 aus dem Malm zeta 2b von Schernfeld. Probe S 18-1b; REM-Foto 4879



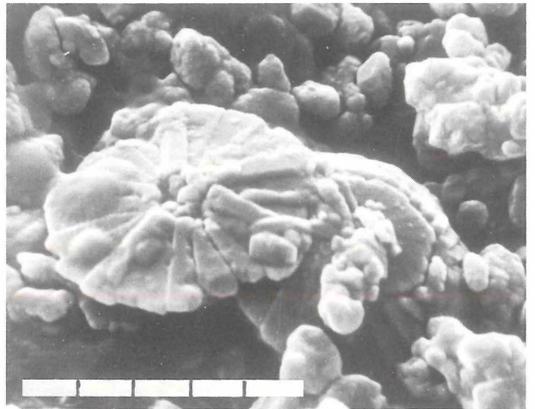
1



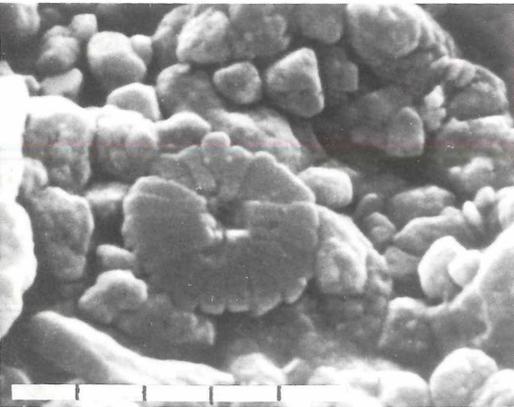
2



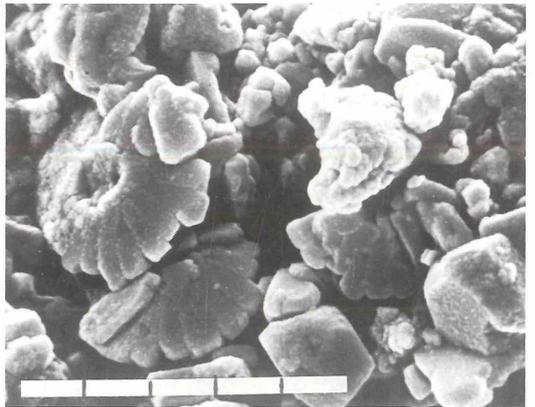
3



4



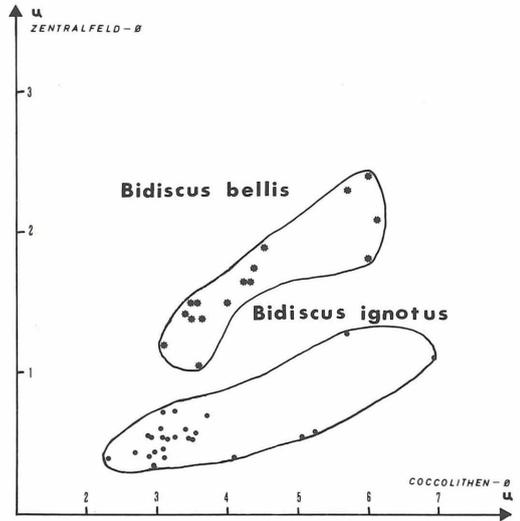
5



6

Die bekannte stratigraphische Reichweite dieser Art vom Oxford bis in das Campan belegt ihren „Durchläufer“-Charakter. Dementsprechend findet sich *Bidiscus ignotus* auch im gesamten untersuchten Profilabschnitt von den Röglinger Bankkalken (Malm zeta 1) bis in die Mörnshheimer Schichten (Malm zeta 3).

Abb. 3: Verhältnis distales Zentralfeld zum Durchmesser des Placolithen bei *Bidiscus bellis* (NOEL, 1970) und *Bidiscus ignotus* (GORKA, 1957)



**Bidiscus bellis (NOEL, 1970) n.comb.**

(Tafel 4, Fig. 1-6)

- 1965a: „Embasse de *Discorhabdus*“ – NOEL (partim), S. 12; Fig. 59
- 1965b: „Embasse de *Discorhabdus*“ – NOEL (partim); Taf. 23, Fig. 8, ? 9
- \* 1970 : *Discorhabdus bellis* n.sp. – NOEL, S. 89; Taf. 32, Fig. 8, 11-13
- 1973 : *Discorhabdus rotatorius* (BURKY, 1969) – THIERSTEIN, S. 42; Taf. 5, Fig. 13-16
- 1976b: *Bidiscus* sp. – KEUPP, S. 364; Abb. 20
- 1976b: *Bidiscus ignotus* GORKA 1957) HOFFMANN 1970 – KEUPP (partim), Abb. 15
- 1976 : *Discorhabdus ignotus* (GORKA, 1957) PERCH-NIELSEN, 1968, ssp.*bellis* (NOEL) M.HILL, n.stat. – HILL, S.138

**Beschreibung:**

Die runden Placolithen schwanken in ihrem Durchmesser zwischen 3 und 6 Mikron. Die distale Scheibe überragt die basale. Der distale Schild wird aus 16 bis 26 radial nebeneinanderliegenden, keilförmigen Micellen gebildet. Das Zentralfeld nimmt 25 bis 40% des Scheibendurchmessers ein. Die Granulae des Zentralfeldes, die je nach dessen Durchmesser in deutlichen, radial angeordneten Elementreihen von 6 bis 18 Micellen arrangiert sein können, sind meistens nicht mehr

vorhanden. Die Basalansicht unterscheidet sich von *Bidiscus ignotus* durch das Auftreten eines zentralen Elementzyklusses. Die gegenüber dem Distalschild deutlich kleinere Basalplatte wird aus durchschnittlich 18-22 radial angeordneten, keilförmigen Micellen zusammengesetzt.

In den untersuchten Profilen konnte diese Form vom Malm zeta 2a bis ins Malm zeta 3 nachgewiesen werden.

**Tafel 3:** *Bidiscus ignotus* (GORKA, 1957) HOFFMANN, 1970 aus dem Malm zeta 2b von Schernfeld

- Fig. 1: Zerfallene Coccosphäre. Probe S 18/19-9; REM-Foto 4425
- Fig. 3: Distalseite eines Exemplares mit geringer Micellenzahl. Die ausgeprägte Oberflächenätzung ist artefaktisch durch Verunreinigungen während des Sputter-Vorgangs (Ionenätzung!). Probe S 18-1; REM-Foto 861
- Fig. 5: Distalseite auf einer Fliinz-Oberfläche. Probe S 18-1b; REM-Foto 4890

- Fig. 2: Koprogene Anhäufung zusammen mit *Ellipsagelosphaera* und *Cyclagelosphaera*. Probe S 18/19-9; REM-Foto 2082
- Fig. 4: Distalseite eines Exemplares mit 22 Micellen. Probe S 18/19-3; REM-Foto 1390
- Fig. 6: Zerfallene Coccosphäre. Probe S 18-1c; REM-Foto 7368

**Biscutum ellipticum (GORKA, 1957) GRÜN & ALLEMANN, 1975**

(Tafel 5, Fig. 1-4)

- ★ 1957 : *Tremalithus ellipticum* n.sp. – GORKA, S. 255, 269; Taf. 1, Fig. 11
- 1957 : *Tremalithus melaniae* n.sp. – GORKA, S. 245, 270; Taf. 1, Fig. 12
- 1957 : *Tremalithus rhomboidalis* n.sp. – GORKA, S. 247, 271; Taf. 2. Fig. 3
- 1957 : *Tremalithus enodis* n.sp. – GORKA, S. 247, 271; Taf. 2, Fig. 8
- 1957 : *Discolithus constans* n.sp. – GORKA, S. 257, 279; Taf. 4, Fig. 7
- 1957 : *Discoaster floridus* n.sp. – GORKA, S. 264, 283; Taf. 5, Fig. 11
- 1959 : *Biscutum testudinarium* n.sp. – BLACK in BLACK & BARNES, S. 325; Taf. 10, Fig. 1
- 1959 : *Biscutum castrorum* n.sp. – BLACK in BLACK & BARNES, S. 326; Taf. 10, Fig. 2
- 1964 : *Cribrosphaerella tectiforma* n.sp. – REINHARDT, S. 758; Taf. 2, Fig. 4
- 1965 : *Coccolithites polyangulatus* n.sp. – REINHARDT, S. 39; Taf. 3, Fig. 4
- 1966 : *Cribrosphaera* (al. *Cibrosphaerella*) *tectiforma* REINHARDT, 1964 – REINHARDT, S. 30, Abb. 12; Taf. 5, Fig. 3, Taf. 12, Fig. 3-4
- 1967 : *Biscutum constans* (GORKA, 1957) n.comb. – BLACK, S. 139
- 1967 : *Watznaueria melaniae* n.comb. – REINHARDT & GORKA, S. 241, 247, Abb. 3; Taf. 31, Fig. 10, 14
- 1968 : *Biscutum constans* (GORKA, 1957) BLACK, 1967 – PERCH-NIELSEN, S. 78, Abb. 39; Taf. 27, Fig. 1-11
- 1968 : *Biscutum castrorum* BLACK, 1959 – PERCH-NIELSEN, S. 79, Abb. 40; Taf. 28, Fig. 1-5
- 1968 : *Maslovella blackii* n.sp. – PIENAAR (partim), S. 366; Taf. 69, Fig. 5
- 1968 : *Maslovella pulchra* n.sp. – PIENAAR, S. 366; Taf. 69, Fig. 3
- 1969 : *Biscutum testudinarium* BLACK, 1959 – BUKRY, S. 28; Taf. 8, Fig. 7-12
- 1969 : *Biscutum melaniae* (GORKA, 1957) n.comb. – REINHARDT, S. 936; Taf. 1, Fig. 5
- 1970 : *Biscutum constans* (GORKA, 1957) BLACK, 1967 – NOEL, S. 91; Taf. 33, Fig. 1-10, Taf. 34, Fig. 1a-g
- 1970 : *Biscutum constans* (GORKA, 1957) BLACK, 1967 – HOFFMANN, S. 861; Taf. 5, Fig. 3, Taf. 6, Fig. 6
- 1970 : *Biscutum melaniae* (GORKA, 1957) REINHARDT, 1969 – REINHARDT, S. 19, Abb. 32-34; Taf. 1, Fig. 7, 8
- 1970 : *Calyptrolithus tectiforma* (REINHARDT,) n.comb. – SHUMENKO, S. 74; Taf. 2, Fig. 1
- 1971 : *Biscutum gartneri* n.sp. – BLACK, S. 393; Taf. 30, Fig. 2
- 1972 : *Biscutum gartneri* BLACK, 1971 – BLACK, S. 27; Taf. 2, Fig. 1-4
- 1973 : *Biscutum constans* (GORKA, 1957) BLACK, 1967 – THIERSTEIN, S. 41
- 1974 : *Biscutum ellipticum* (GORKA, 1957) GRÜN, 1975 – GRÜN, PRINS & ZWEILL, S. 297
- 1975 : *Biscutum ellipticum* (GORKA, 1957 -03) n.comb. – GRÜN & ALLEMANN (partim), S. 154-156, Abb. 3; Taf. 1, Fig. 5-6, non 7
- 1976b: *Biscutum ellipticum* (GORKA 1957) GRÜN & ALLEMANN 1975 – KEUPP, S. 365-366, Abb. 12
- 1976 : *Biscutum constans* (GORKA, 1957) BLACK 1967 – HILL, S. 123; Taf. 1, Fig. 32-37, Taf. 13, Fig. 2-4

**Tafel 4:** *Bidiscus bellis* (NOEL, 1970) n. comb. aus den Solnhofener Schichten

Fig. 1: Distalansicht aus dem tiefen Malm zeta 2a von Schernfeld. Probe S 1-3; REM-Foto 5746

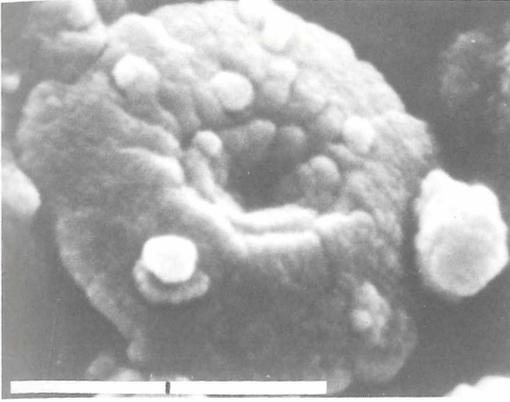
Fig. 2: Distalseite mit ausgefallenem inneren Elementzyklus; Basis des Malm zeta 2a von Rögling-Warching. Probe R-22; REM-Foto 6855

Fig. 3: Dieses Exemplar vom selben Fundort zeigt, daß die basalen Micellen tubusartig die distale Zentralöffnung umgeben können. Probe R-23; REM-Foto 8637

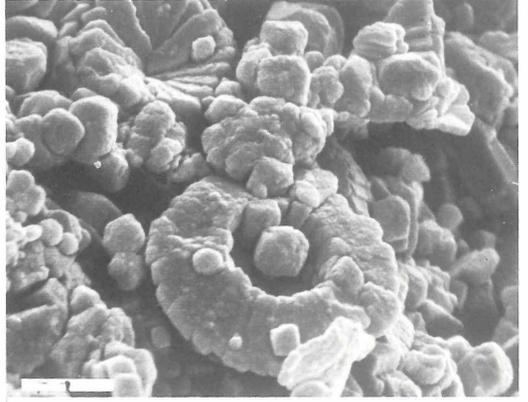
Fig. 4: Exemplar (Distalseite) mit besonders großem Zentralfeld. Malm zeta 2b von Schernfeld. Probe S 18-6; REM-Foto 1333

Fig. 5: Basalansicht mit deutlichem inneren Elementzyklus. Probe S 1-3; REM-Foto 5750

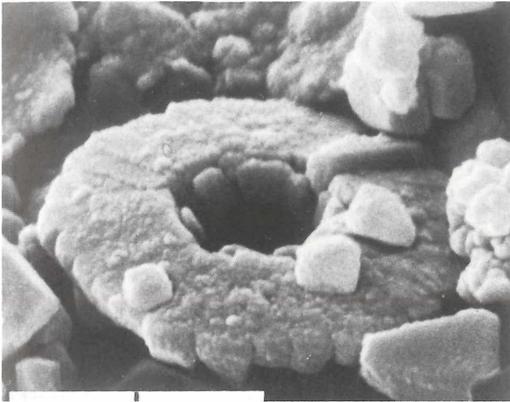
Fig. 6: Basalansicht auf einer Fäulenoberfläche des Malm zeta 2b von Schernfeld. Probe S 18/19-2; REM-Foto 1715



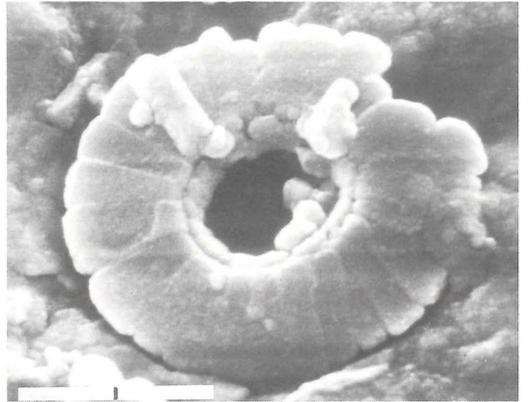
1



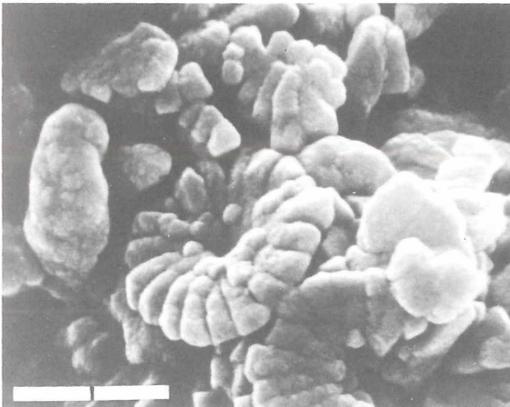
2



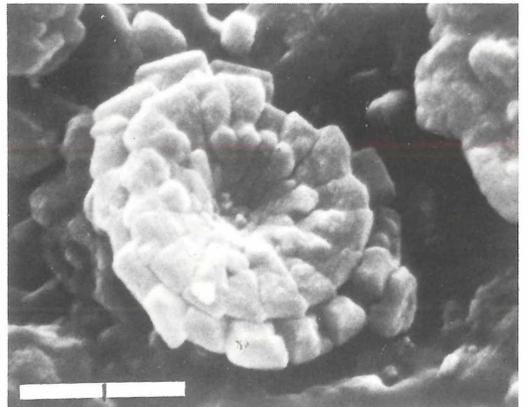
3



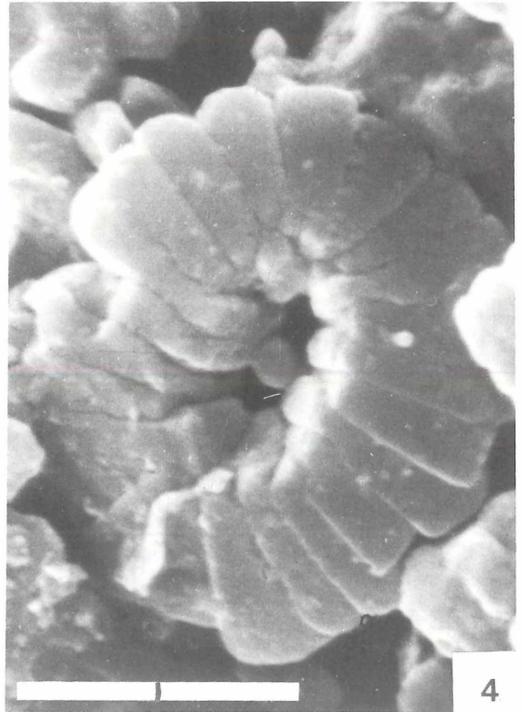
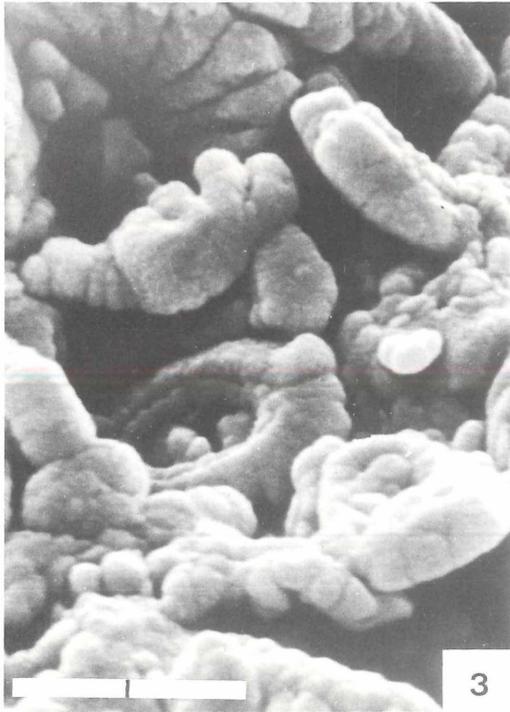
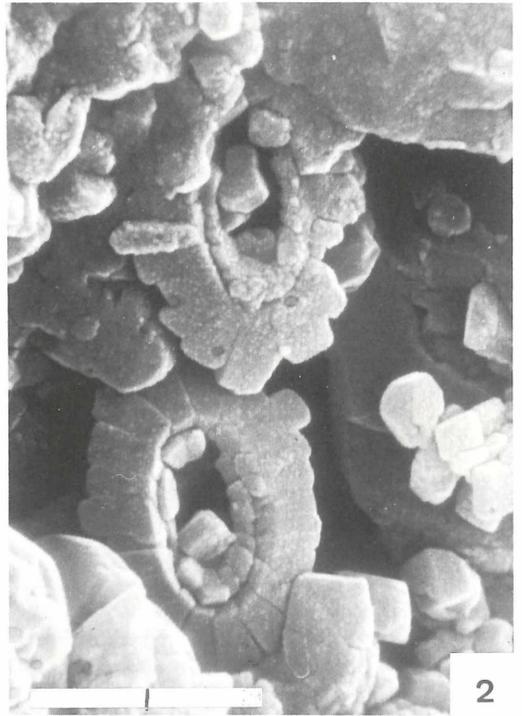
4



5



6



Tafel 5

## Beschreibung:

Die kleinen Placolithen sind bei einer Länge von 2,6 bis 3,4 Mikron und einer Breite zwischen 1,8 und 2,4 Mikron elliptisch. Dem ovalen Umriß entspricht ein Längen-Breiten-Verhältnis von 1,2 bis 1,5 (im Durchschnitt bei 1,4). In Distalansicht dominiert der breite, marginale Plattenkranz, der durchschnittlich aus 20 (16-22) radial angeordneten, rechteckigen Micellen aufgebaut wird. Das Zentralfeld besteht aus einem schmalen, etwas eingesenkten Plattenkranz, der aus durchschnittlich 16 (12-18) radial angeordneten Elementen zusammengesetzt ist. Seine

Größe umfaßt etwa 50% (35-60%) der Gesamtlänge. Die verbleibende, längliche Zentralöffnung (25 bis 30% der Gesamtlänge) ist leer oder mit einzelnen, unregelmäßig angeordneten Granulae plombiert. Die Basalscheibe ist kleiner als die distale. Das Zentralfeld wird von einem kleinen Micellenkranz umgeben, so daß in der Basalansicht zusammen mit der überstehenden Distalscheibe drei Plattenzyklen sichtbar sind. In den untersuchten Proben konnte diese Form vom Malm zeta 2a bis ins Malm zeta 3 gefunden werden.

## Familie Ellipsagelosphaeraceae NOEL, 1965

### Genus Cyclagelosphaera NOEL, 1965

Die Aufspaltung der im Solnhofener Plattenkalk vorkommenden Individuen der Gattung *Cyclagelosphaera* in zwei Arten, wie ich dies früher angenommen hatte (KEUPP, 1976b), läßt sich nicht mehr vertreten. Weitere Beobachtungen haben nämlich gezeigt, daß die zu *Cyclagelosphaera rotaclypeata* BUKRY, 1969 gestellten Formen als ledigliche Diagenese-Stadien von *Cyclagelosphaera margereli* NOEL, 1965 anzusehen sind. Die radiale Anordnung der die distale Zentralpore verschließenden Elemente wird nur durch das sekundäre, korngrößenabhängige Auslösen der kleinen Micellen des inneren Plattenkranzes vorgetauscht.

### *Cyclagelosphaera margereli* NOEL, 1965

(Taf. 6, Fig. 1-8; Taf. 7, Fig. 1-6; Taf. 17, Fig. 6; Taf. 27, Fig. 1-5)

1965 : *Coccolithus* sp. – BLACK, S. 133, Fig. 7

1965b: *Cyclagelosphaera margereli* n.sp. – NOEL, S. 130-132, Abb. 44-46; Taf. 17, Fig. 4-9, Taf. 18, Fig. 1-2, Taf. 20, Fig. 2-4

★ 1965a: *Cyclagelosphaera margereli* n.gen.n.sp. – NOEL, S. 12, Fig. 45-48

1966 : *Tergestiella barnesae* (BLACK, 1969) REINHARDT, 1964 – REINHARDT (partim), S. 15, Abb. 2; Taf. 1, Fig. 1, 2

1968 : *Cyclagelosphaera margereli* NOEL, 1965 – BLACK, S. 798, Taf. 144, Fig. 5

1968 : *Markalius circumradius* STOVER, 1966) – PERCH-NIELSEN (partim), S. 73, Abb. 36; Taf. 25, Fig. 2-7

1969 : *Cyclagelosphaera margereli* NOEL, 1965 – BUKRY, S. 29, Taf. 9, Fig. 5-6

1969 : *Tergestiella margereli* (NOEL, 1965) n.comb. – SHUMENKO, S. 69; Taf. 1, Fig. 3

1970 : *Cyclagelosphaera margereli* NOEL, 1965 – BLACK, S. 39; Taf. 3, Fig. 5

1971 : *Cyclagelosphaera margereli* NOEL, 1965 – BLACK, Taf. 45.1, Fig. 11

1971 : *Cyclagelosphaera margereli* NOEL, 1965 – ROOD, HAY & BARNARD, S. 270; Taf. 5, Fig. 8-9

1971 : *Tergestiella ? margeli* (NOEL) n.comb. – REINHARDT, S. 29, Abb. 23

**Tafel 5:** *Biscutum ellipticum* (GORKA, 1957) GRÜN & ALLEMANN, 1975 aus dem Malm zeta 2b von Schernfeld

Fig. 1: Flinzoberfläche mit zwei Exemplaren in Distalansicht. Probe S 18-1c; REM-Foto 7388

Fig. 3: Exemplar aus dem tiefsten Malm zeta 2b. Probe S 1-9; REM-Foto 5805

Fig. 2: Einzelne Micellen sind diagenetisch in c weitergewachsen. Probe S 18-1; REM-Foto 1186

Fig. 4: Diagenetisch veränderte Distalansicht: Der innere Elementzyklus ist selektiv gelöst, der äußere zeigt z.T. Drucklösungserscheinungen, z.T. axiales Weiterwachsen. Probe S 36/37-5; REM-Foto 2366

- 1971 : *Tergestiella ? reinhardtii* (PERCH-NIELSEN, 1968) n.comb. – REINHARDT, S. 29, Abb. 24; Taf. 1, Fig. 6  
 1972 : *Cyclagelosphaera margereli* NOEL, 1965 – NOEL, S. 121; Taf. 16, Fig. 1  
 1973 : *Cyclagelosphaera casarubrensis* n.sp. – BLACK, S. 76; Taf. 25, Fig. 1-3  
 1973 : *Cyclagelosphaera punkta* n.sp. – BLACK, S. 76; Taf. 25, Fig. 13  
 1973 : *Cyclagelosphaera shenleyensis* n.sp. – BLACK, S. 78, Abb. 39; Taf. 25, Fig. 10  
 1975 : *Cyclagelosphaera margereli* NOEL, 1965 – GRÜN & ALLEMANN, S. 165-166, Abb. 10; Taf. 3, Fig. 1-3  
 1976a : *Cyclagelosphaera margereli* NOEL, 1965 – KEUPP, S. 98, Abb. 1a, 2c, 3c  
 1976b : *Cyclagelosphaera margereli* NOEL, 1965 – KEUPP, S. 366, Abb. 7, 8, 9, 31  
 1976b : *Cyclagelosphaera rotaclypeata* BUKRY, 1969 – KEUPP, S. 367, Abb. 10-11  
 1976 : *Cyclagelosphaera margereli* NOEL, 1965 – HILL, S. 136-137, Taf. 14, Fig. 3

## Beschreibung:

Die kugeligen Coccosphären bestehen i.a. aus 12 runden Coccolithen, deren morphologische Variabilität besonders auffallend ist. Abweichungen vom Holotyp (NOEL, 1965: Taf. 17, Fig. 4) in der Absolutgröße, Anzahl der einzelnen Micellen, in den Proportionen der Elementzyklen zueinander und in der Ausbildung des Zentralfeldes sind z.T. recht erheblich (vergl. Abb. 4-6).

Der Durchmesser der zyklischen Placolithen variiert zwischen 2,5 und 11 Mikron, wobei jedoch Durchmesser zwischen 4 und 6 Mikron bei weitem überwiegen. Unabhängig von der Individualgröße beträgt die Zahl der dachziegelartig übereinander gefächerten Micellen des distalen, zur Peripherie hin abfallenden Marginalkranzes, 16 bis 32. Ein zentraler Elementzyklus bildet eine horizontale Abplattung des Coccolithen. Seine Micellen sind ebenfalls dachziegelartig angeordnet, jedoch etwa um den Faktor 2 kleiner als die des marginalen Plattenkranzes. In der Mitte verbleibt schließlich eine runde bis schwach ovale Zentralpore, die offen sein kann, oder mit einem kleinen Kegel aus 4 bis 8 einzelnen, sternförmig angeordneten Platten verschlossen ist. Das diagenetische Weiter-

wachsen dieser zentralen Platten in Richtung der c-Achse führt u.U. bei gleichzeitiger selektiver Lösung der kleinen Elemente des zentralen Plattenkranzes zu Formen, die an *Cyclagelosphaera rotaclypeata* BUKRY, 1969 erinnern. Aber auch eine mehr oder weniger vollständige Füllung der Zentralpore mit Granulae ist möglich. Sind diese kleinen Kristallite zyklisch arrangiert, kann eine schmale Pore frei bleiben, in der ein weitgehend kompakter, sternförmiger Pfropfen wachsen kann. Aber nicht nur die Ausbildung und Anzahl der einzelnen Micellen ist starken Schwankungen unterworfen, sondern auch die Proportionen der einzelnen Elementzyklen zueinander. Eine Extremvariante mit besonders großem Durchmesser des gesamten Zentralfeldes stellt das Exemplar der Taf. 7, Fig. 2 dar.

Auf der Basalseite dominiert die Basalscheibe, die geringfügig kleiner als die Distalscheibe ist. Sie besteht aus durchschnittlich 20 bis 26 radial nebeneinander liegenden, keilförmigen Kristallen. Das kleine Zentralfeld (durchschnittlich 19% des Gesamtdurchmessers mit Streuung zwischen 10 und 23%) ist meist mit Granulae gefüllt.

### Tafel 6: *Cyclagelosphaera margereli* NOEL, 1965 aus den Solnhofener Schichten

Fig. 1: Extrem großer Schild in Distalansicht. Probe S 18-1c; REM-Foto 7390

Fig. 3: Distalansicht; Malm zeta 2b von Schernfeld. Probe S 18/19-9; REM-Foto 2317

Fig. 5: Das distale Zentralfeld wird bei diesem Exemplar aus 9 Elementen zusammengesetzt. Probe S 18-1b; REM-Foto 4864

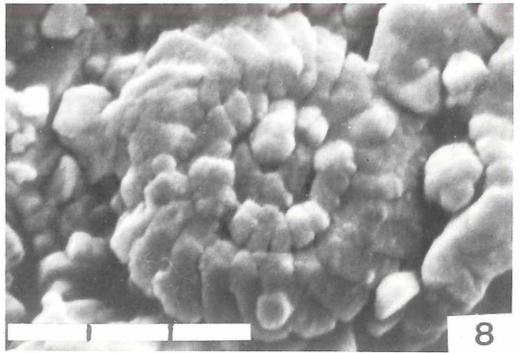
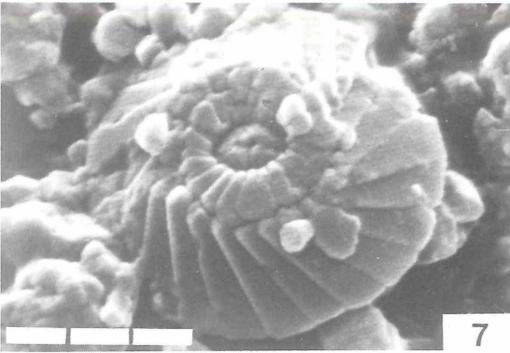
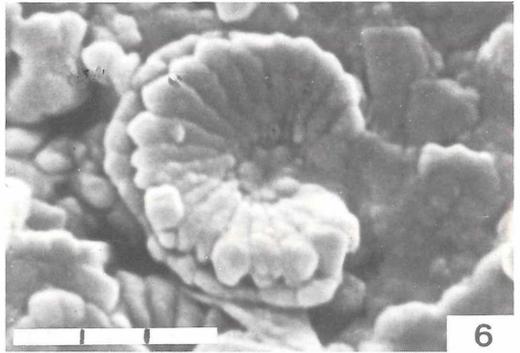
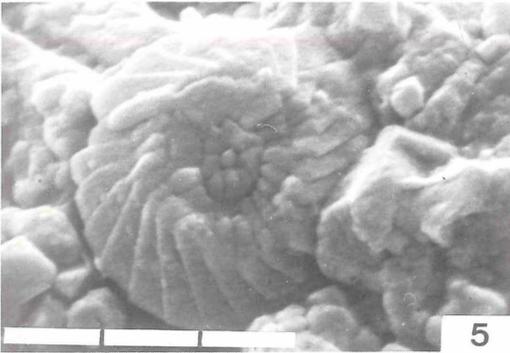
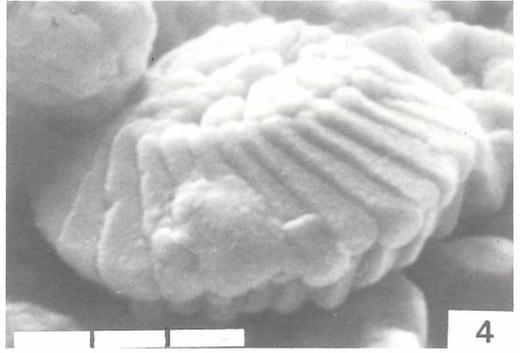
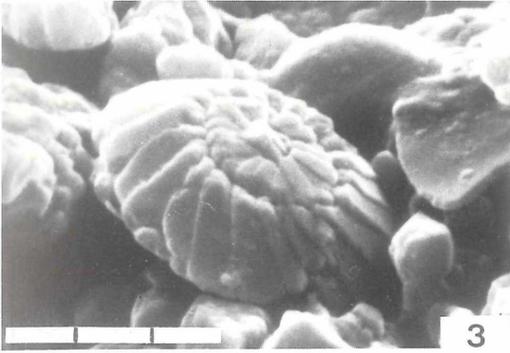
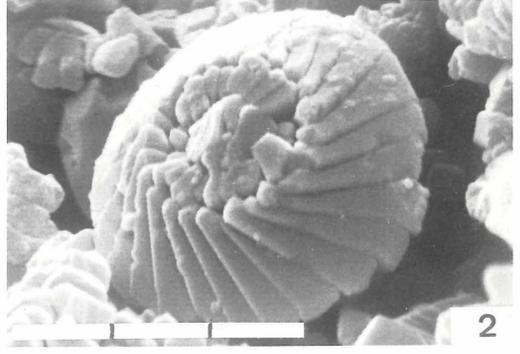
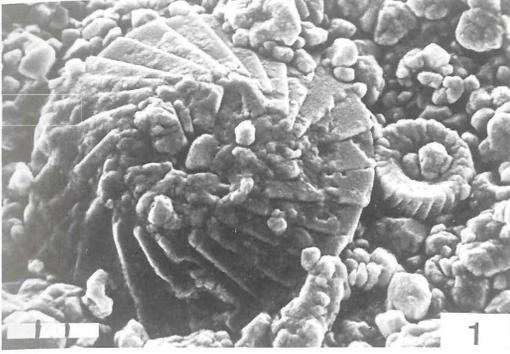
Fig. 7: Distale Zentralstruktur aus 5 Elementen aufgebaut. Probe S 18-2b; REM-Foto 4937

Fig. 2: Distalansicht eines Coccolithen aus dem Malm zeta 2a; die zentralen Platten formen einen Kegel. Probe R -23; REM-Foto 8938

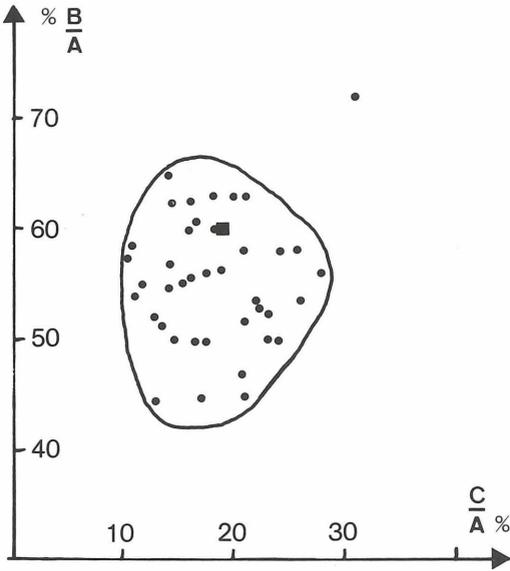
Fig. 4: Ähnliche Form aus dem Malm zeta 3 von Schernfeld. Probe S 117-7; REM-Foto 5629

Fig. 6: Basalansicht eines Exemplares mit radialer Anordnung der zentralen Elemente. Probe S 18/19-6; REM-Foto 6450

Fig. 8: Variante mit schmalen Marginalzyklus und relativ großem Zentralfeld. Probe S 18/19-7; REM-Foto 1821



Tafel 6



Der bekannten stratigraphischen Reichweite dieser Art vom Oxford bis ins Maastricht entspricht das Vorkommen in allen untersuchten Horizonten (Malm zeta 1 bis 3).

Abb. 4: Proportionen der Elementzyklen bei *Cyclagelosphaera margereli* NOEL, 1965; B = mittlerer Elementzyklus; C = Zentralpore; A = Gesamtdurchmesser. Quadrat = Holotyp.

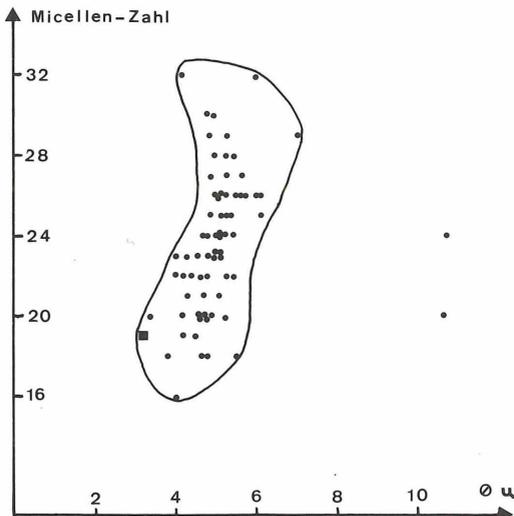


Abb. 5: Streuung der Micellenzahl des distalen Marginalkranzes in Abhängigkeit vom Durchmesser bei *Cyclagelosphaera margereli* NOEL, 1965. Quadrat = Holotyp.

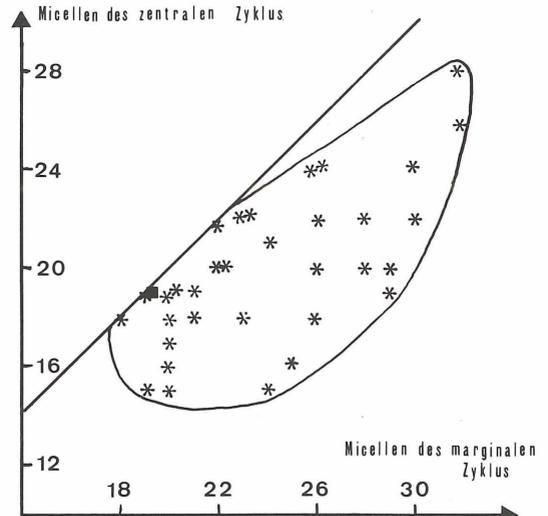


Abb. 6: Verhältnis der Micellenzahl der distalen Elementzyklen bei *Cyclagelosphaera margereli* NOEL, 1965. Quadrat = Holotyp.

**Tafel 7: *Cyclagelosphaera margereli* NOEL, 1965 aus dem Malm zeta 2b von Schernfeld**

Fig. 1: Coccosphäre; die Micellen der inneren Elementzyklen sind z.T. diagenetisch gelöst, z.T. axial verlängert. Probe S 70u-8; REM-Foto 2184

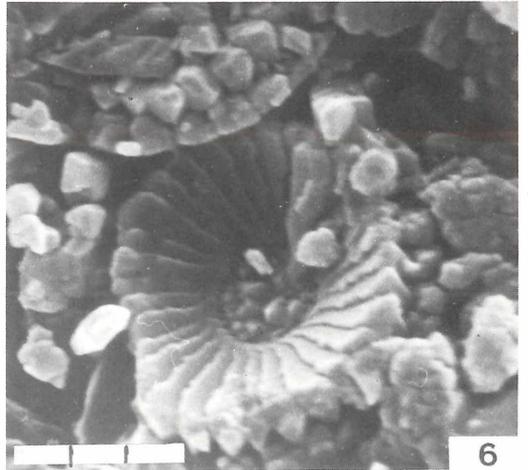
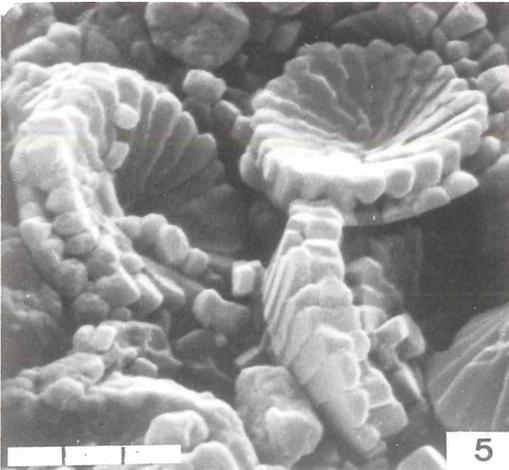
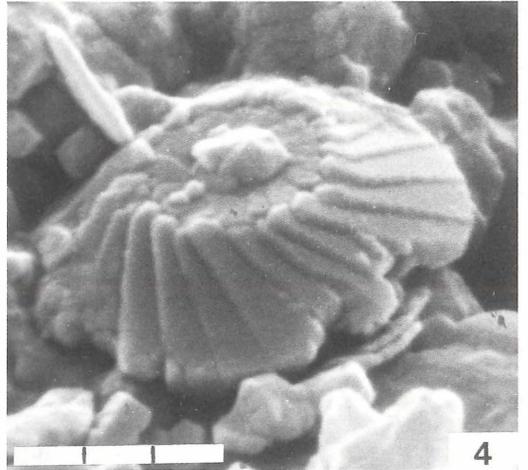
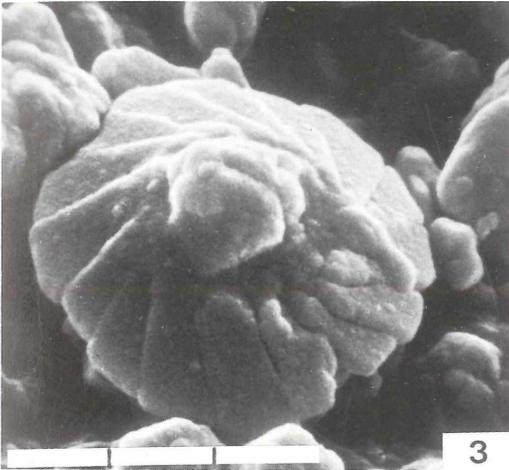
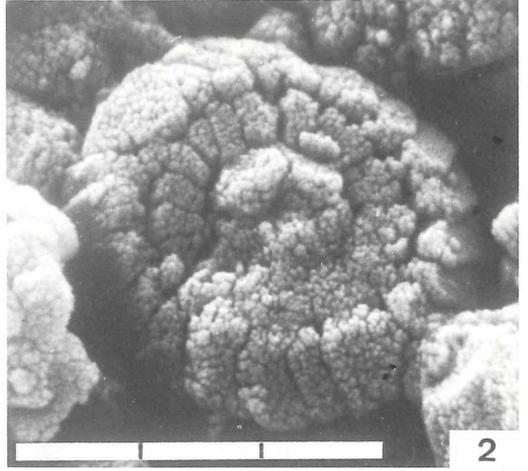
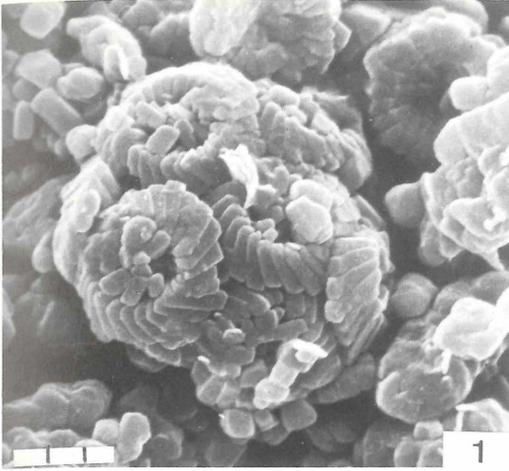
Fig. 3: Extremvariante mit nur 16 distalen Randplatten. Probe S 18-5; REM-Foto 1250

Fig. 5: Schilder einer zerfallenen Coccosphäre in Basalansicht. Probe S 18-1b; REM-Foto 4838

Fig. 2: Variante mit extrem schmalem äußeren Elementzyklus des distalen Schildes (Anätzung: vergl. Taf.3, Fig. 3). Probe S 18-1; REM-Foto 1110

Fig. 4: Drucklösungserscheinungen im Bereich des Marginalrandes. Probe S 18-1b; REM-Foto 4847

Fig. 6: Basalansicht eines Exemplares mit großem Zentralfeld, das granular gefüllt ist. Probe S 1-5; REM-Foto 5761



Tafel 7

## Genus *Ellipsagelosphaera* NOEL, 1965

In allen coccolithenführenden Proben von der Basis des Tithon (z.B. rote Mergellage an der Grenze Malm epsilon – zeta) bis in die Mörnsheimer Schichten sind die Individuen dieser Gattung reichlich vertreten. *Ellipsagelosphaera keftalrempti* GRÜN, 1975 stellt den Hauptanteil, während die übrigen Arten besonders *Ellipsagelosphaera ovata* (BUKRY, 1969) zahlenmäßig stark zurücktreten.

### *Ellipsagelosphaera britannica* (STRADNER, 1963) PERCH-NIELSEN, 1968

(Taf. 8, Fig. 1-6)

- ★ 1963 : *Coccolithus britannicus* n.sp. – STRADNER, S. 10; Taf. 1, Fig. 7
- 1964 : *Watznaueria britannica* (STRADNER, 1963) n.comb. – REINHARDT, S. 753, Abb. 5; Taf. 2, Fig. 3
- 1964 : *Watznaueria communis* n.sp. – REINHARDT, S. 756, Abb. 6; Taf. 2, Fig. 5
- 1965 : *Coccolithus britannicus* STRADNER, 1963 – BLACK, S. 133, Fig. 6
- 1965a: *Ellipsagelosphaera frequens* n.sp. – NOEL (partim), S. 8, Fig. 38
- 1965b: *Ellipsagelosphaera frequens* n.sp. – NOEL (partim), S. 119, Abb. 38; Taf. 11, Fig. 7; Taf. 12, Fig. 1-7, 9, 10; Taf. 13, Fig. 5, 10
- 1965a: *Ellipsagelosphaera lucasi* n.sp. – NOEL, S. 8 Fig. 40, 41
- 1965b: *Ellipsagelosphaera lucasi* n.sp. – NOEL (partim), S. 126, Abb. 41, 42; Taf. 11, Fig. 1-3, 5
- 1966 : *Watznaueria communis* REINHARDT, 1964 – REINHARDT (partim), S. 17; Taf. 4, Fig. 7
- 1968 : *Ellipsagelosphaera communis* (REINHARDT, 1964) n.comb. – PERCH-NIELSEN, S. 71
- 1968 : *Ellipsagelosphaera britannica* (STRADNER, 1963) n.comb. – PERCH-NIELSEN, S. 71
- 1970 : *Ellipsagelosphaera frequens* NOEL, 1965 – BLACK, Taf. 4, Fig. 2
- 1971 : *Ellipsagelosphaera lucasi* NOEL, 1965 – BLACK, Taf. 45.1, Fig. 10
- 1971 : *Ellipsagelosphaera gephyrocapsoides* n.sp. – BLACK, S. 399, Taf. 30, Fig. 7
- 1971 : *Watznaueria britannica* (STRADNER, 1963) REINHARDT, 1964 – ROOD, HAY & BARNARD, S. 269; Taf.5, Fig.5
- 1971 : *Watznaueria britannica* (STRADNER, 1963) REINHARDT, 1964 – REINHARDT, S. 33, Abb. 34-36
- 1971 : *Watznaueria communis* REINHARDT, 1964 – REINHARDT, S. 34, Fig. 38
- 1972 : *Ellipsagelosphaera communis* (REINHARDT, 1964) PERCH-NIELSEN, 1968 – NOEL (partim), S. 119; Taf. 14, Fig. 2-5
- 1972 : *Ellipsagelosphaera britannica* (STRADNER, 1963) PERCH-NIELSEN, 1968 – NOEL, S. 119; Taf. 14, Fig. 6-7
- 1975 : *Ellipsagelosphaera britannica* (STRADNER, 1963) PERCH-NIELSEN, 1968 – GRÜN & ALLEMANN, S. 159, 160, Abb. 5; Taf. 1, Fig. 11, 12; Taf. 2, Fig. 1-4
- 1976a: *Ellipsagelosphaera ovata* (BUKRY, 1969) – KEUPP, S. 98, Abb. 1b, 2a
- 1976b: *Ellipsagelosphaera britannica* (STRADNER, 1963) PERCH-NIELSEN, 1968 – KEUPP, S. 367, 369; Abb. 2, 5

### Tafel 8: *Ellipsagelosphaera britannica* (STRADNER, 1963) PERCH-NIELSEN, 1968 aus den Solnhofener Schichten

Fig. 1: Coccusphäre aus dem basalen Malm zeta 2a von Rögling. Probe R 22-2; REM-Foto 9007

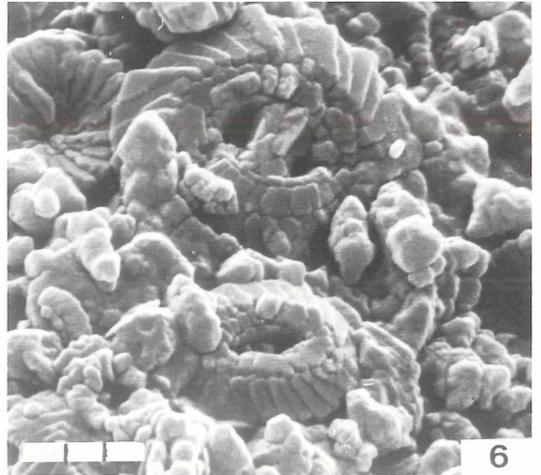
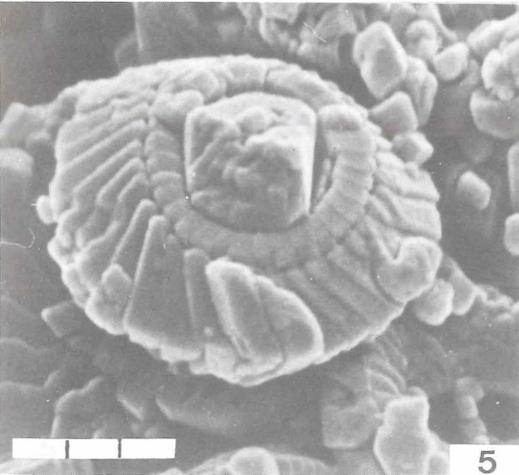
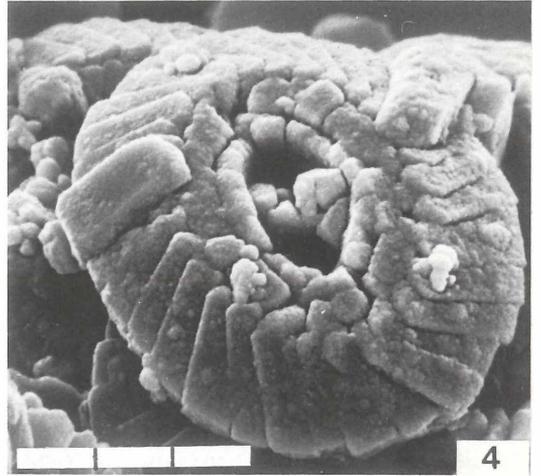
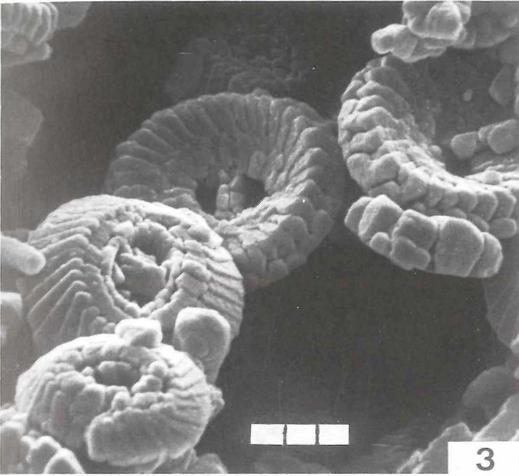
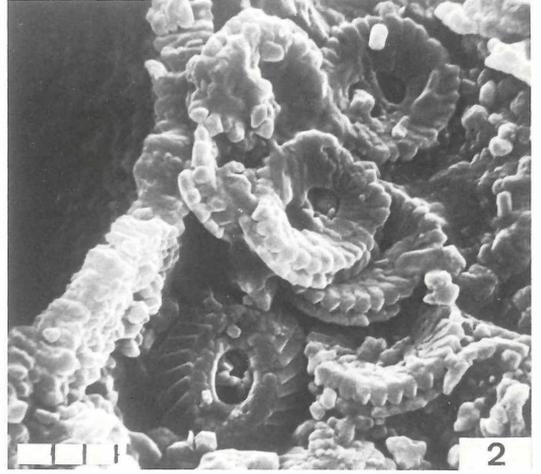
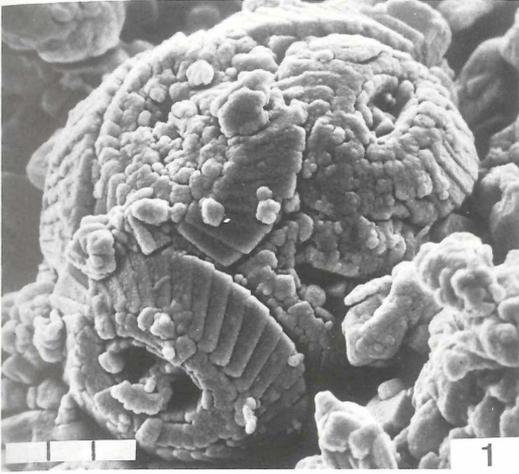
Fig. 3: Distal- und Basalseite. Probe R 22; REM-Foto 6759

Fig. 5: Das besonders große Zentralfeld ist durch einen Nieder-Mg-Zement-Kristall plombiert. Probe R 22; REM-Foto 6795

Fig. 2: In situ zerfallene Coccusphäre mit *Pithonella gustafsoni* BOLLI, 1974 aus dem Malm zeta 2b von Schernfeld. Probe S 18/19-10; REM-Foto 1909

Fig. 4: Distalseite mit deutlichem „overgrowth“ aus dem basalen Malm zeta 2a. Probe R 22-2; REM-Foto 8995

Fig. 6: Flinzoberfläche des Malm zeta 2b mit *Ellipsagelosphaera britannica*, *Ellipsag. keftalrempti*, *Cyclagelosphaera margereli* und *Stephanolithion bigoti*. Probe S 18-1b; REM-Foto 4889



Tafel 8

## Beschreibung:

Die Länge der breitelliptischen Placolithen beträgt im allgemeinen 5,5 bis 8,5 Mikron. Das Längen-Breiten-Verhältnis liegt im Durchschnitt bei 1,2. Auf der distalen Scheibe sind drei Elementzyklen ausgebildet:

1. der marginale Plattenkranz mit 24 bis 34 dachziegelartig übereinander liegenden, gefächert angeordneten Micellen,
2. ein schmaler Plattenkranz mit kleinen, annähernd gleich vielen Micellen, und
3. ein sehr dünner Elementzyklus, der als deutlicher Tubus die Zentralpore umschließt.

Die Längsachsen der beiden Zyklen nehmen im Durchschnitt 60 (56-64%) bzw. 41 (34-46%) % der Gesamtlänge des Coccolithen ein.

### *Ellipsagelosphaera keftalrempti* GRÜN, 1975

(Taf. 9, Fig. 1-5; Taf. 10, Fig. 1-6)

- 1965b : *Ellipsagelosphaera frequens* n. sp.-NOEL (partim), S. 119; Taf. 12, Fig. 8; Taf. 19, Fig. 1  
 1966 : *Watznaueria* sp. aff. *W. communis* REINHARDT, 1964-REINHARDT, S. 19; Taf. 4, Fig. 1  
 1972 : *Watznaueria barnesae* (BLACK, 1959) BUKRY, 1969-LAUER in GRÜN et. al. (partim), S. 154; Taf. 26, Fig. 5  
 \* 1975 : *Ellipsagelosphaera keftalrempti* GRÜN, n. sp.-GRÜN & ALLEMANN, S. 161, 162, Abb. 7; Taf. 2, Fig. 5-6  
 1976a : *Watznaueria barnesae* (BLACK, 1959)-KEUPP (partim), S. 96; Abb. 2b, ? 3e (non 1b, 3a, 3b, 3d)  
 1976 : *Watznaueria barnesae* (BLACK, 1959) PERCH-NIELSEN, 1968-HILL (partim), S. 159, 160; Taf. 15, Fig. 23

## Beschreibung:

Die 5-7 Mikron in der Längsachse messenden elliptischen Placolithen (Längen-Breiten-Verhältnis 1,15-1,4) sind durch ihre extrem schmale Zentralpore, deren Längen-Breiten-Index zwischen 2 und 3,5 variiert (entgegen 1,2 bis höchstens 2 bei *Ellipsagelosphaera britannica* (STRADNER, 1963)), charakterisiert. Die leere Zentralpore, deren Längsachse 16 bis 27% des Coccolithen einnimmt, wird von einem schmalen Elementzyklus (14-20 Micellen) umgeben, der zu einem deutlichen Tubus verwachsen ist. Die Anzahl der distalen, dachziegelartig gefächerten Micellen schwankt zwischen 22 und 34 beim margin-

lithen ein. Die verbleibende, elliptische Zentralpore (im Mittel 28,5% bei einer Streuung zwischen 26 und 33%) wird durch eine aus kleinen Elementen zusammengesetzte Brücke zweigeteilt. Fällt diese der selektiven Lösung zum Opfer, sind Verwechslungsmöglichkeiten mit *Ellipsagelosphaera ovata* (BUKRY, 1969) gegeben. Die basale Scheibe ist gegenüber der distalen geringfügig kleiner. Sie wird aus überwiegend radial angeordneten, keilförmigen Elementen zusammengesetzt. In der bis zu 1/3 der Längsachse messenden Zentralpore ist eine Querbrücke ausgebildet.

Die Art kommt vom Malm zeta 1 bis 3 vor.

len bzw. 20 und 30 beim inneren Elementzyklus. Der Anteil des inneren Plattenkranzes am Aufbau des Distalschildes beträgt durchschnittlich 60%. Die basale Scheibe ist etwas kleiner als die distale. Sie wird aus weitgehend radial angeordneten, keilförmigen Elementen aufgebaut.

Die stratigraphische Reichweite dieser Art wird bei GRÜN & ALLEMANN (1975) vom Mittel-Callovien bis oberes Hauterivien angegeben. Entsprechend findet sie sich in allen untersuchten Horizonten als sehr häufiger Anteil des Nannoplanktongehaltes.

### Tafel 9: *Ellipsagelosphaera keftalrempti* GRÜN, 1975

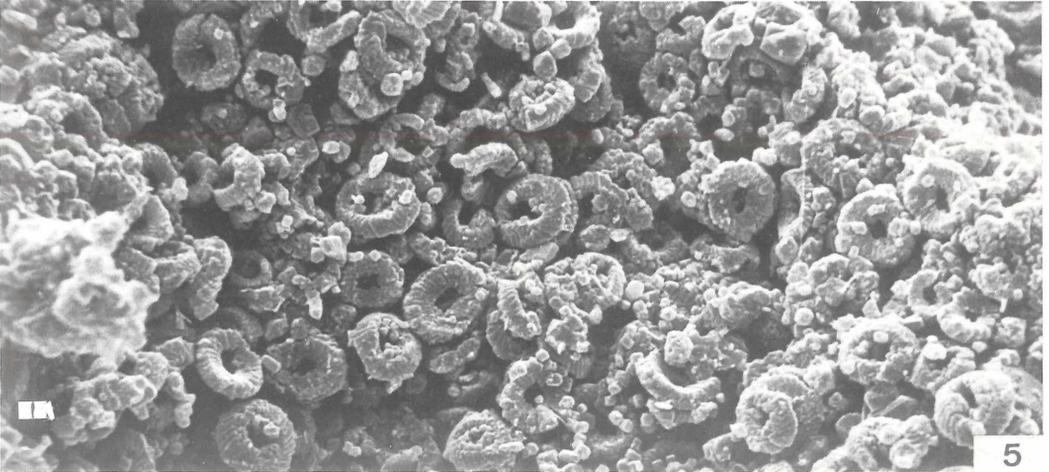
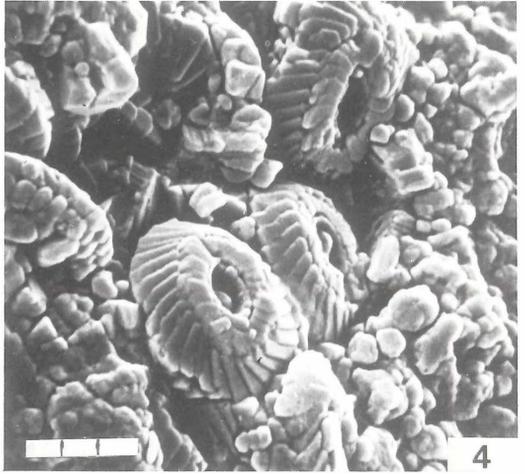
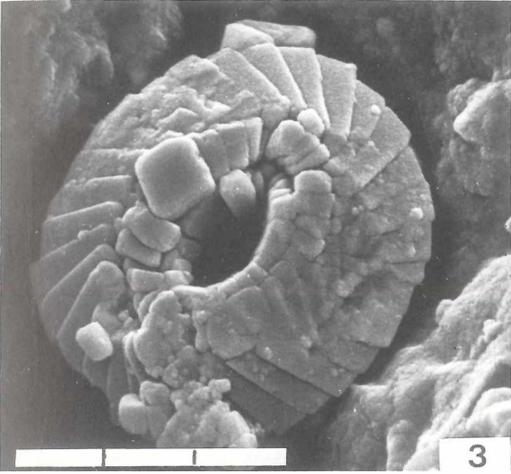
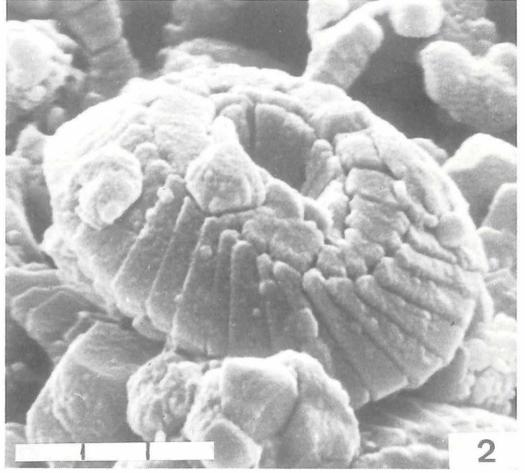
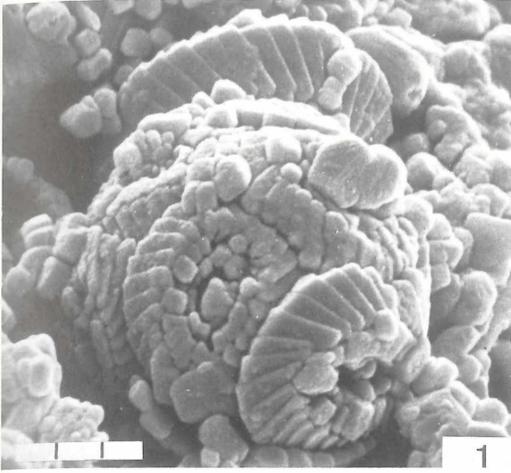
Fig. 1: Coccosphäre aus dem basalen Malm zeta 2a von Rögling. Probe R 22; REM-Foto 6769

Fig. 3: Teilweise diagenetische Kornvergrößerung bei einem Placolithen aus dem Malm zeta 3 von Mörsheim (Horstberg). Probe M II-4/1; REM-Foto 7400

Fig. 5: Ausschnitt aus der „Roten Mergellage“ im Grenzbereich Malm zeta 1/2 vom Schaudiberg südlich Mühlheim. Probe FE-7; REM-Foto 6557

Fig. 2: Distalseite mit deutlich erkennbarem Zentraltubus. Probe R 23; REM-Foto 8934

Fig. 4: Mehrere Coccolithen in Distalansicht auf einer Flinzoberfläche von Schernfeld. Probe S 18-1c; REM-Foto 7689



Tafel 9

**Ellipsagelosphaera ovata (BUKRY, 1969) BLACK, 1973**

(Taf. 11, Fig. 1-3)

- \* 1969 : *Watznaueria ovata* n.sp. – BUKRY (partim), S. 33; Taf. 11, Fig. 11 (non Fig. 12)  
 1973 : *Ellipsagelosphaera ovata* (BUKRY, 1969) n. comb.-BLACK, S. 71; Taf. 26, Fig. 10-12  
 1975 : *Ellipsagelosphaera ovata* (BUKRY, 1969) BLACK, 1973-GRÜN & ALLEMANN, S. 160-161, Abb. 6; Taf. 2, Fig. 7-9  
 1976b : *Ellipsagelosphaera ovata* (BUKRY, 1969) BLACK 1973-KEUPP, S. 370; Abb. 4

**Beschreibung:**

Die elliptischen Placolithen (Längen-Breiten-Verhältnis 1,15 bis 1,4) sind bei einer Länge von 3 bis 6 Mikron durch ihre extrem große, offene, ovale Zentralpore gekennzeichnet. Diese nimmt 35 bis 45 % des Coccolithen-durchmessers ein. Ein schmaler aus 20 bis 30 Elementen bestehender Tubus umgrenzt die Zentralpore. Der marginale Plattenkranz der Distalscheibe ist aus 28 bis 32 sich dachzie-

gelartig überlappenden Micellen aufgebaut. Etwa die gleiche Anzahl weist der innere Plattenkranz auf, dessen äußerer Durchmesser zwischen 65 und 75 % des Distalschildes einnimmt.

Bisher konnte *Ellipsagelosphaera ovata* nur sehr vereinzelt im Malm zeta 1 bis 2b nachgewiesen werden.

**Genus *Watznaueria* REINHARDT, 1964**

Diese Gattung unterscheidet sich von *Ellipsagelosphaera* nur durch das Fehlen des Zentraltubus. Im Plattenkalk ist sie mit zwei Arten vertreten:

***Watznaueria barnesae* (BLACK, 1959) PERCH-NIELSEN, 1968**

(Taf. 12, Fig. 1-6)

- \* 1959 : *Tremalithus barnesae* n. sp.-BLACK, in BLACK & BARNES, S. 324; Taf. 9, Fig. 1, 2  
 1964 : *Colvillea barnesae* (BLACK, 1959) n. comb.-BLACK, S. 311  
 1964 : *Watznaueria angustoralis* n. sp.-REINHARDT, S. 753, Abb. 4; Taf. 2, Fig. 2  
 1965 : *Colvillea barnesae* (BLACK, 1959) BLACK, 1964-BLACK, S. 132, Abb. 2  
 1965b : *Ellipsagelosphaera frequens* n. sp.-NOEL (partim), S. 119; Taf. 16, Fig. 1-4; Taf. 19, Fig. 4  
 1966 : *Maslovella barnesae* (BLACK, 1959) n. comb.-TAPPAN & LOEBLICH, S. 43  
 1966 : *Tergestiella barnesae* (BLACK, 1959) REINHARDT, 1964-REINHARDT (partim), S. 15; Taf. 2, Fig. 1; Taf. 12, Fig. 2  
 1966 : *Watznaueria angustoralis* REINHARDT, 1964-REINHARDT, S. 16, Abb. 5; Taf. 2, Fig. 2; Taf. 3, Fig. 1-3; Taf. 23, Fig. 4  
 1968 : *Watznaueria barnesae* (BLACK, 1959) n. comb.-PERCH-NIELSEN (partim), S. 69, Abb. 32; Taf. 22, Fig. 1, 2, 4-7  
 1969 : *Watznaueria barnesae* (BLACK, 1959) n. comb.-BUKRY (partim), S. 31; Taf. 10, Fig. 1-6  
 1970 : *Watznaueria* aff. *W. barnesae* (BLACK, 1959) PERCH-NIELSEN, 1968-NOEL (partim), S. 92; Taf. 35, Fig. 2-4, 6-8, 10, 11  
 1971 : *Watznaueria barnesae* (BLACK, 1959) PERCH-NIELSEN, 1968-REINHARDT, S. 32; Fig. 31-33  
 1972 : *Watznaueria barnesae* (BLACK, 1959) BUKRY, 1969-LAUER in GRÜN et. al. (partim), S. 154; Taf. 26, Fig. 2  
 1973 : *Watznaueria barnesae* (BLACK, 1959) PERCH-NIELSEN, 1968-BLACK, S. 82; Taf. 24, Fig. 7  
 1975 : *Watznaueria barnesae* (BLACK, 1959) PERCH-NIELSEN, 1968-GRÜN & ALLEMANN, S. 162-164, Abb. 8; Taf. 2, Fig. 10

**Tafel 10: *Ellipsagelosphaera keftalrempti* GRÜN, 1975 aus den Solnhofener Schichten**

Fig. 1: Distalansicht mit randlicher Drucklösung.

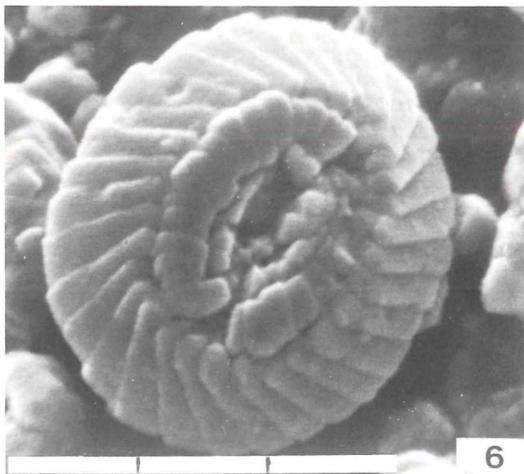
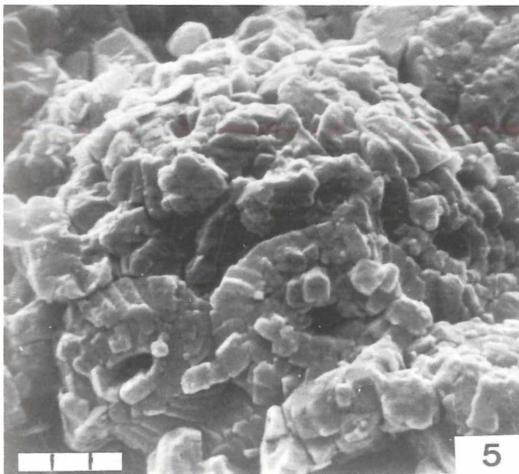
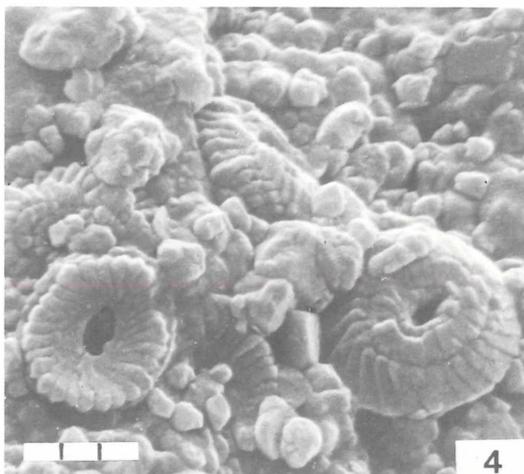
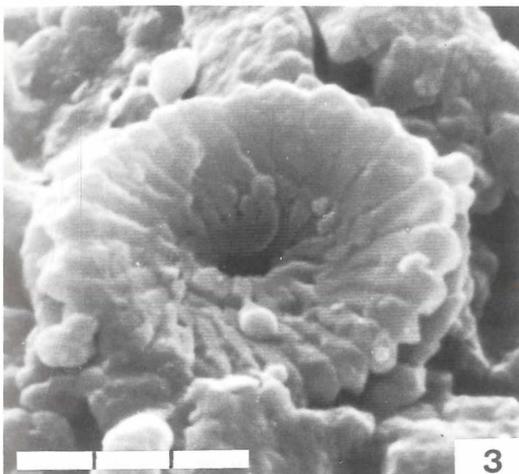
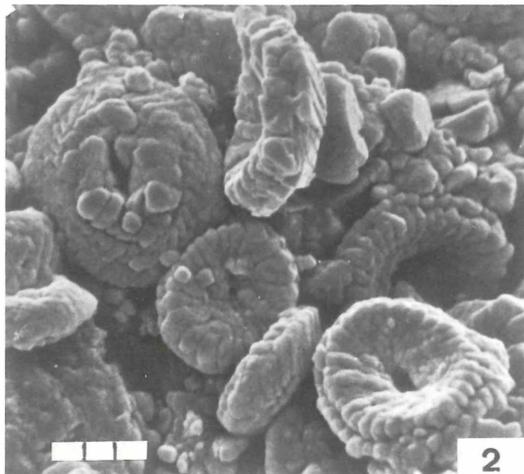
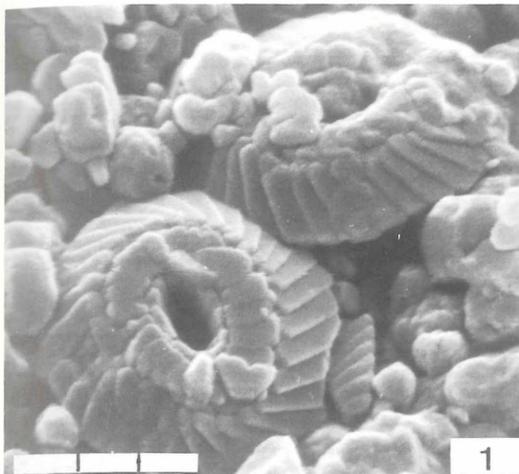
Probe S 18-1b; REM-Foto 4814

Fig. 3: Basalansicht; Malm zeta 2b von Schernfeld.

Probe S 18/19-9; REM-Foto 4301

Fig. 5: Coccusphäre im Inneren eines Flinzes vom Maxberg bei Solnhofen. Probe M-3; REM-Foto 5190

Fig. 2: In Basalansicht ist das Zentralfeld meist offen.  
Probe R 22; REM-Foto 6801Fig. 4: Mehrere Exemplare auf einer Flinzoberfläche.  
Probe S 18-1b; REM-Foto 4791Fig. 6: Distalseite; Malm zeta 2b von Schernfeld.  
Probe S 37-2; REM-Foto 5374



Tafel 10

- 1976a : *Watznaueria barnesae* (BLACK, 1959) PERCH-NIELSEN, 1968-KEUPP (partim), S. 96; Abb. 1b, 3a, b, d (non 2b, ? 3e)  
 1976b : *Watznaueria barnesae* (BLACK, 1959) PERCH-NIELSEN, 1968-KEUPP, S. 373; Abb. 1  
 1976 : *Watznaueria barnesae* (BLACK, 1959) PERCH-NIELSEN, 1968-HILL (partim), S. 21-22; Taf. 15, Fig. 21, 22, ? 24 (non 23)

### Beschreibung:

Die elliptischen Coccolithen (Längen-Breiten-Verhältnis 1,08 bis 1,3) mit einem Längsdurchmesser von 5 bis 8,5 Mikron werden aus zwei übereinander liegenden Schilden aufgebaut. Die distale Platte besteht aus zwei Plattenreihen mit jeweils dachziegelartig übereinanderliegenden Micellen. Der marginale Elementzyklus, bestehend aus 26 bis 32 Micellen, fällt zur Peripherie hin ab. Die innere Plattenreihe aus 16 bis 30 wesentlich kleineren Micellen nimmt mit ihrer äußeren Begrenzung zwischen 50 und 75 % des Placolithen-Durchmessers ein. In der verbleibenden, langovalen Zentralpore (Längen-Breiten-Index 2 bis 3,5)

ist teilweise ein etwas vertiefter dritter Plattenkranz ausgebildet. Seine Micellen sind jedoch horizontal angelegt – im Gegensatz zu der vertikalen Orientierung des Zentraltubus bei *Ellipsagelosphaera*. Die Basalscheibe ist etwas kleiner als die distale Platte. Ihre Micellen sind radial nebeneinander angeordnet. In den Solnhofener Plattenkalken läßt sich eine unregelmäßige Verteilung dieser vom Oxford bis ins Campan bekannten Form erkennen. Während sie im Malm zeta 1 und 2a allgemein noch verbreitet scheint, findet sie sich ab dem Malm zeta 2b nur noch untergeordnet im Raume Eichstätt.

### *Watznaueria deflandrei* (NOEL, 1965) REINHARDT, 1971 (Taf. 11, Fig. 4-6)

- ★ 1965a : *Actinosphaera deflandrei* nov. gen. nov. sp. – NOEL, S. 12; Fig. 43, 44  
 1965b : *Actinosphaera deflandrei* nov. sp.-NOEL, S. 133, 134; Abb. 48, 49; Taf. 18, Fig. 4-8; Taf. 19, Fig. 2, 6-8  
 1971 : *Watznaueria deflandrei* (NOEL, 1965) n. comb.-REINHARDT, S. 35, Abb. 40, 41  
 1975 : *Watznaueria deflandrei* (NOEL, 1965a) REINHARDT, 1971-GRÜN & ALLEMANN, S. 164  
 1976b : *Ellipsagelosphaera* cf. *forbesii* BLACK, 1971-KEUPP, S. 369, 370; Abb. 3

### Beschreibung:

Die breitelliptischen Placolithen (Längen-Breiten-Verhältnis 1,12 bis 1,3) erreichen in den untersuchten Proben Größen zwischen 4,5 und 10 Mikron (Holotyp: nur 3,6 Mikron). In der Distalansicht treten zwei Elementzyklen auf, ein breiterer marginaler mit 26-34 dachziegelartig angeordneten Micellen, und

ein schmalerer innerer Zyklus mit kleinen Micellen, die häufig infolge der bevorzugten Lösung von kleineren Kristalliten fehlen können. Das große ovale Zentralfeld, das 30 bis 55 % des Coccolithendurchmessers einnehmen kann, ist mit länglichen Kalzitelementen vollständig verfüllt. Die Berührungsstelle der beid-

#### Tafel 11:

Fig. 1: *Ellipsagelosphaera ovata* (BUKRY, 1969), BLACK 1973 aus dem Malm zeta 2b von Schernfeld. Probe S 18/19-2; REM-Foto 1722

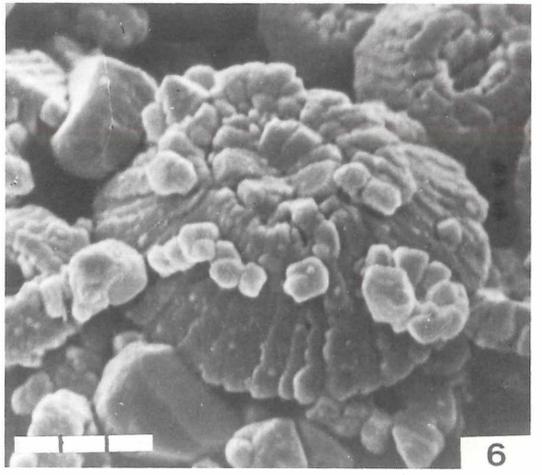
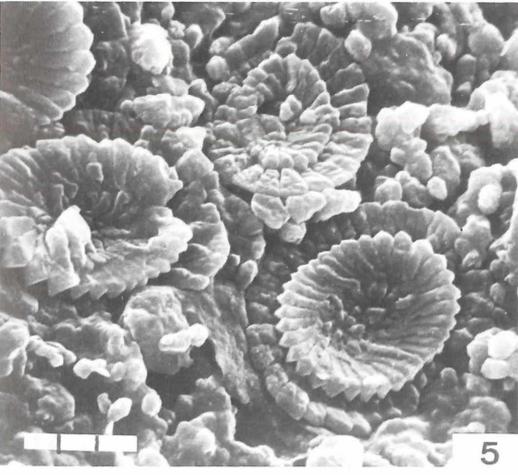
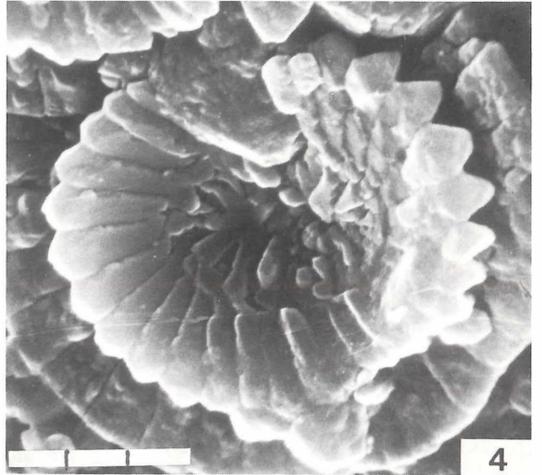
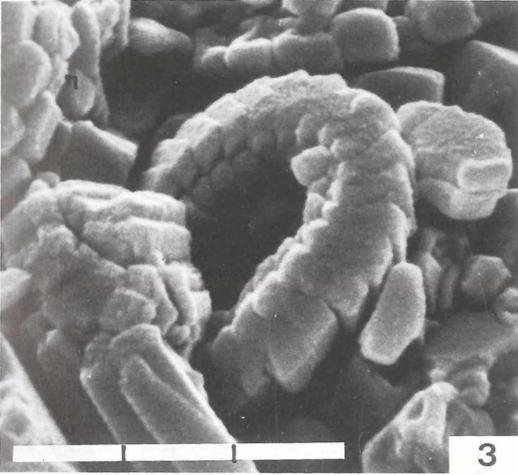
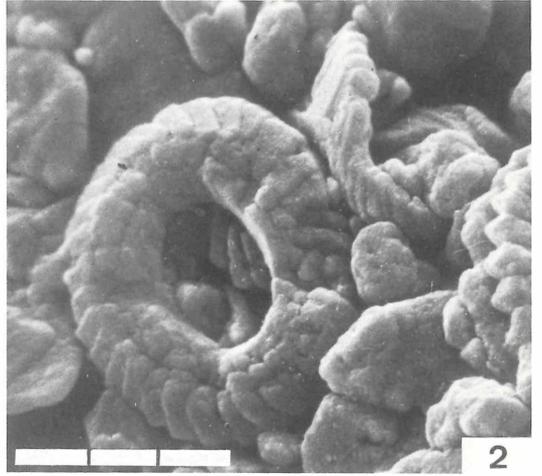
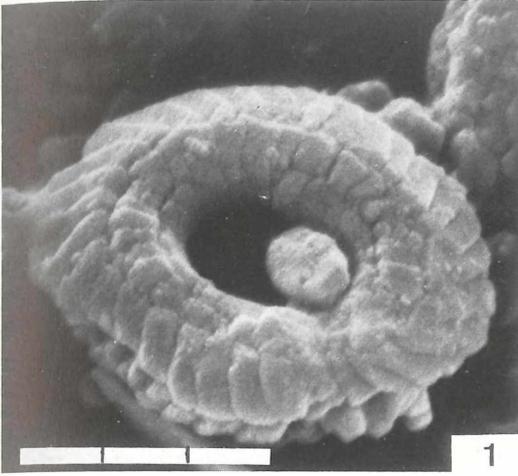
Fig. 3: *Ellipsagelosphaera ovata* aus dem basalen Malm zeta 2a von Rögling-Warching. Probe R-23; REM-Foto 8942

Fig. 5: Größerer Ausschnitt derselben Probe mit einer in situ zerfallenen Coccosphäre von *Watznaueria deflandrei*. Probe S 18/19-9; REM-Foto 2092

Fig. 2: *Ellipsagelosphaera ovata* auf einer Flinzoberfläche. Probe S 18-6; REM-Foto 1310

Fig. 4: Basalansicht von *Watznaueria deflandrei* (NOEL, 1965) REINHARDT, 1971 auf einer Fäulenfläche von Schernfeld. Probe S 18/19-9; REM-Foto 2093

Fig. 6: Distalansicht von *Watznaueria deflandrei* aus dem basalen Malm zeta 2a von Rögling-Warching. Probe R-22; REM-Foto 6778



Tafel 11

seitig regelmäßig einwachsenden Micellen ist als deutliche, z. T. etwas rinnenartig vertiefte Mittellinie entwickelt.

Die Basalplatte ist um 20 bis 40 % kleiner als der distale Schild. Sie wird aus 26 bis 34 keilförmigen, sich teilweise schwach überlappenden und gedreht angeordneten Micellen auf-

gebaut. Das große, im allgemeinen deutlich abgegrenzte Zentralfeld ist analog der Distalseite mit radial angeordneten Kristalliten gefüllt. Die Mittellinie ist hier jedoch oft nicht sehr deutlich ausgeprägt.

Vorkommen: Sehr selten im Malm zeta 1 bis zeta 2b

## Familie *Podorhabdaceae* NOEL, 1965

### Genus *Podorhabdus* NOEL, 1965

#### *Podorhabdus cylindratus* NOEL, 1965

(Taf. 13, Fig. 6)

- \*1965 a : *Podorhabdus cylindratus* NOEL 1965-NOEL, S. 6; Abb. 30
- 1965 b : *Podorhabdus cylindratus* nov. sp.-NOEL, S. 103-104, Abb. 30; Taf. 9, Fig. 3, 7
- 1968 : *Podorhabdus cylindratus* NOEL, 1965-BLACK, S. 806; Taf. 150, Fig. 1
- 1970 : *Podorhabdus cylindratus* NOEL, 1965b-REINHARDT, S. 86-87, Abb. 106
- 1971 : *Podorhabdus cylindratus* NOEL - ROOD, HAY & BARNARD, S. 261; Taf. 3, Fig. 1-2
- 1972 : *Podorhabdus cylindratus* NOEL, 1965.NOEL, S. S. 109-110; Taf. 6, Fig. 1-2; Taf. 7, Fig. 1-3
- 1974 : *Podorhabdus cylindratus* NOEL-BARNARD & HAY, Taf. 2, Fig. 1; Taf. 4, Fig. 13

#### Beschreibung:

Der i.a. zwischen 4 und 7 Mikron große, breit-elliptische Distalschild (Längen-Breiten-Index bei 1,2) ist monozyklisch. Die zur Peripherie hin abfallende Randscheibe besteht aus ca. 30 rechteckigen, schwach dachziegelartig aufeinanderliegenden Platten. Die Umgrenzung des großen Zentralfeldes (durchschnittlich 65% des Scheibendurchmessers) bildet ein kleiner Plattenkranz, dessen fast quadratischen Micellen steil zur Basis hin einfallen. Ein aus Granulae bestehendes Kreuz

entlang der Ellipsenachsen, das in einem zylindrischen Zentralfortsatz endet, überspannt das Zentralfeld. Vier große, runde Poren bleiben offen. Die Breite des Porenfeldes beträgt 72 bis 75% seiner Höhe – Bei *Podorhabdus dietzmanni* (REINHARDT, 1965) dagegen nur 55 bis 60% (vergl. BLACK, 1972).

Im Solnhofener Plattenkalk konnte diese sehr seltene Art nur im Malm zeta 2b von Schernfeld gefunden werden.

#### Tafel 12: *Watznaueria barnesae* (BLACK, 1959) PERCH-NIELSEN, 1968 aus den Solnhofener Schichten

Fig. 1: Coccosphäre auf einer Flinzoberfläche vom Hart-hof bei Eichstätt. Probe E1/T-9; REM-Foto 394

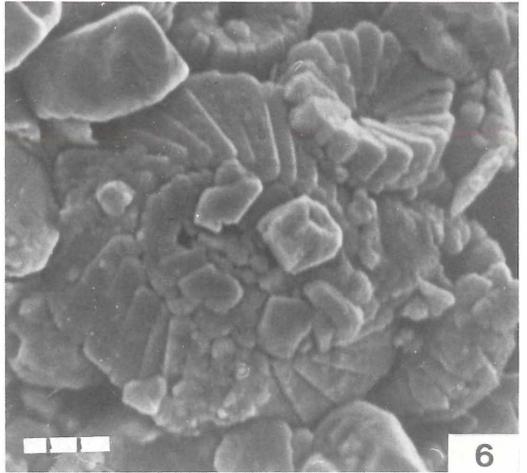
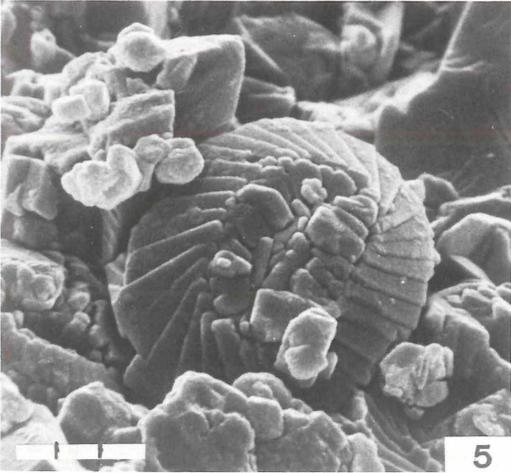
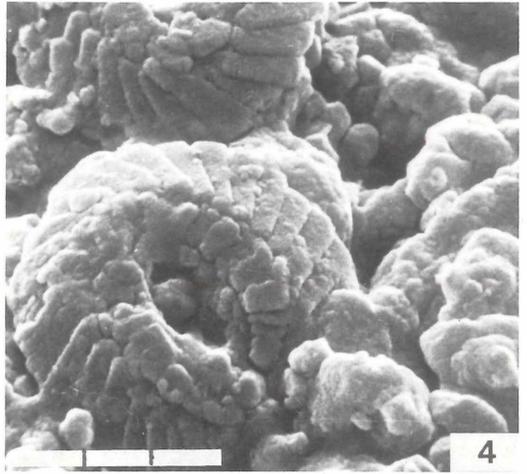
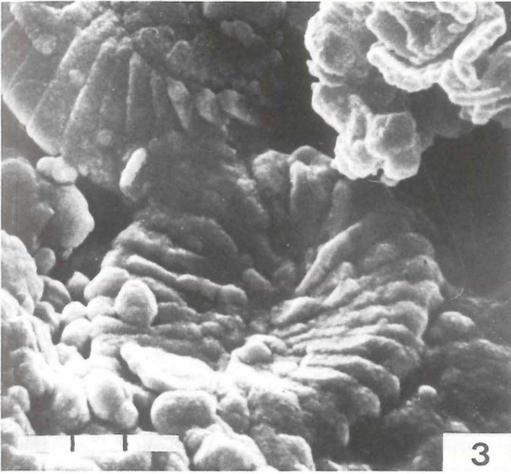
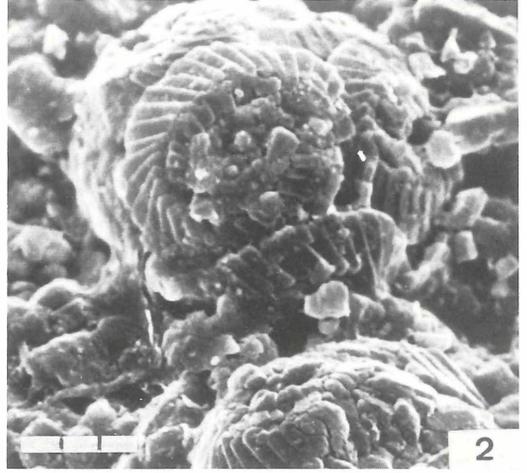
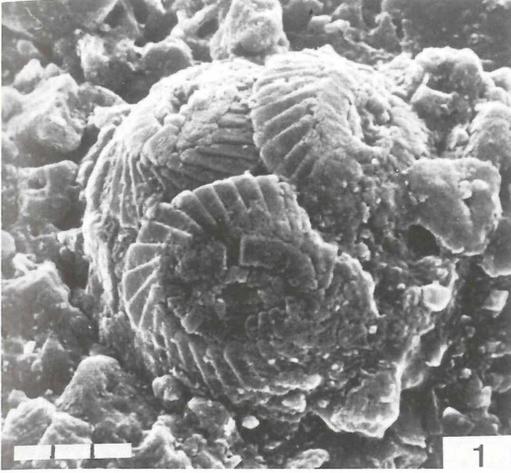
Fig. 3: In der Basalansicht ist das Zentralfeld geschlossen; Malm zeta 2b von Schernfeld. Probe S 1/2-5; REM-Foto 6019

Fig. 5: Distalansicht, basaler Malm zeta 2a von Rögling-Warching. Probe R-23; REM-Foto 8636

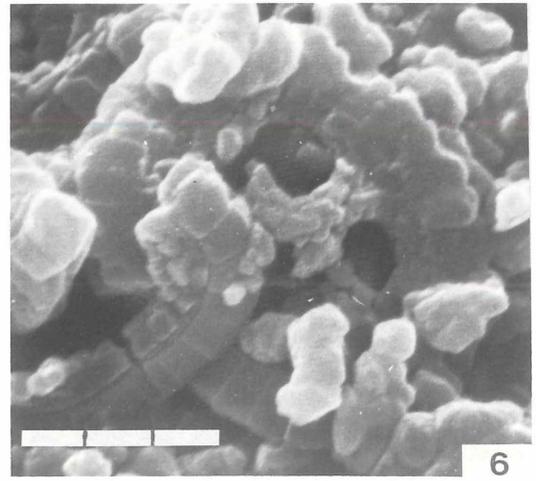
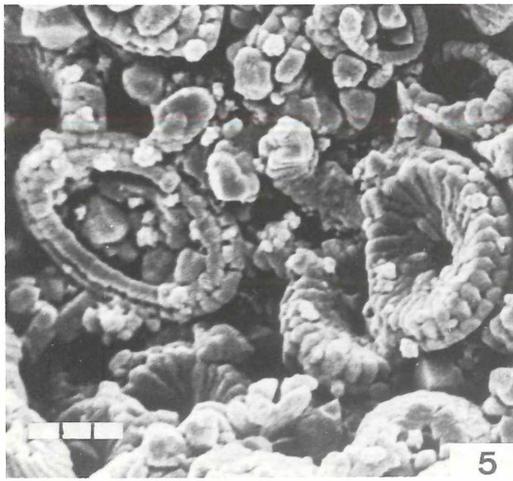
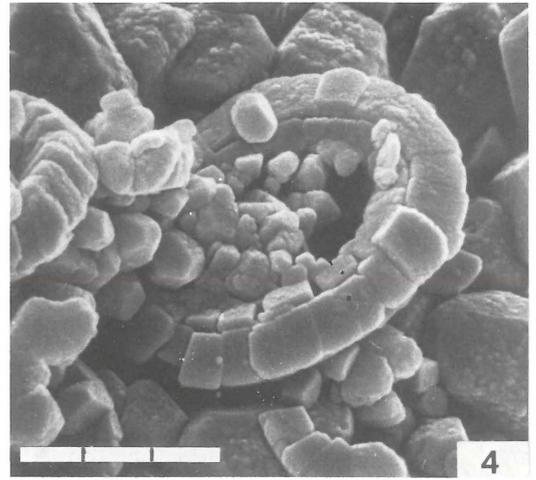
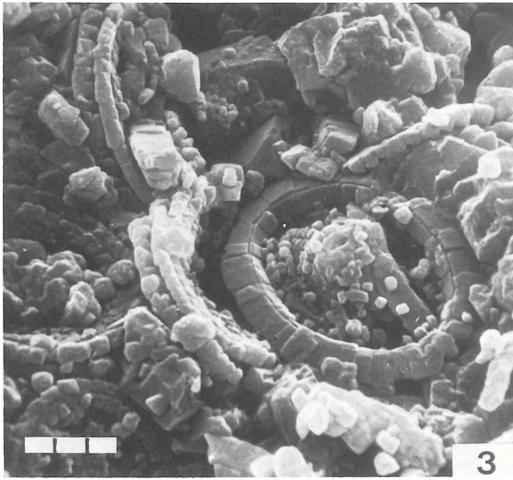
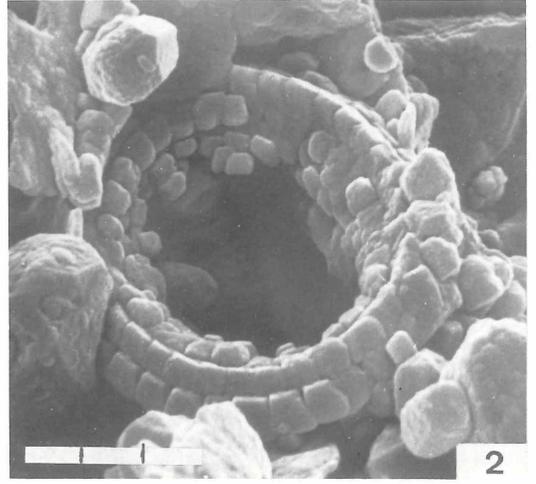
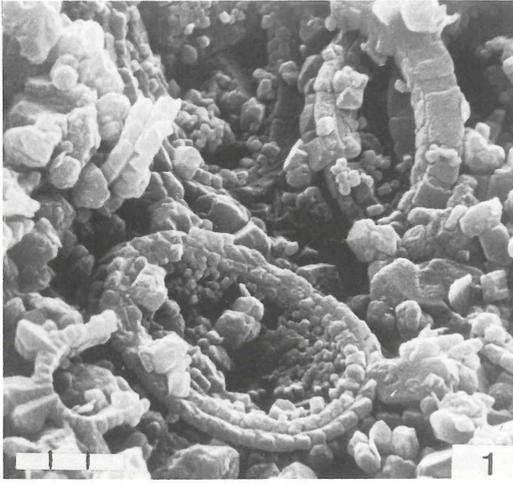
Fig. 2: Weitere Coccosphären derselben Probe. REM-Foto 388

Fig. 4: Distalseite eines Placolithen. Probe S 18-2b; REM-Foto 6349

Fig. 6: Weiteres Exemplar aus dem gleichen Horizont. Probe R-22; REM-Foto 6783



Tafel 12



Tafel 13

**Podorhabdus dietzmanni (REINHARDT, 1965) REINHARDT, 1967**

(Taf. 2, Fig. 4; Taf. 13, Fig. 1-5)

- ★ 1965 : *Ahmuelлераella dietzmanni* n.sp. – REINHARDT, S. 30, Abb. 1; Taf. 1, Fig. 1
- 1966 : *Cretarhabdus dietzmanni* (REINHARDT, 1965) n.comb. – REINHARDT, S. 27, Taf. 22, Fig. 1
- 1967 : *Podorhabdus dietzmanni* (REINHARDT, 1965) n.comb. – REINHARDT, S. 169, Abb. 4
- 1969 : *Podorhabdus dietzmanni* (REINHARDT, 1965) n.comb. – BUKRY, S. 37; Taf. 16, Fig. 1-3
- 1970 : *Podorhabdus dietzmanni* (REINHARDT, 1965) REINHARDT, 1967 – REINHARDT, S. 87, Abb. 107; Taf. 6, Fig. 4
- 1971 : *Podorhabdus* sp.indet. – BLACK, Taf. 45.4, Fig. 36
- 1972 : *Podorhabdus dietzmanni* (REINHARDT) REINHARDT, 1967 – BLACK, S. 33-34; Taf. 5, Fig. 1-5; Abb. 7, 36
- 1972 : *Podorhabdus* sp.cf.*septentrionalis* BLACK, 1971 – BLACK, S. 35-36; Taf. 6, Fig. 1-3
- 1975 : *Podorhabdus dietzmanni* (REINHARDT, 1965) REINHARDT, 1967 – GRÜN & ALLEMANN, S. 168-169; Taf. 3, Fig. 7-9
- 1976 : *Podorhabdus dietzmanni* (REINHARDT, 1965) REINHARDT, 1967 – HILL, S. 149; Taf. 10, Fig. 31-33; Taf. 11, Fig. 1-2; Taf. 15, Fig. 5

**Beschreibung:**

Diese in den Plattenkalken häufigere Art ist vor allem durch ihren langovalen Umriß (Längen-Breiten-Verhältnis 1,4 bis 1,6) bei einer Coccolithengröße zwischen 5 und 9 Mikron charakterisiert. Der schmale zur Peripherie hin abfallende, distale Marginalzyklus weist zwischen 35 und 44 rechteckige Micellen auf, die schwach dachziegelartig angeordnet sind. Die große Zentralarea wird von einem steil zur Basis einfallenden Micellenkranz mit etwa gleicher Elementzahl begrenzt. Obwohl im gesamten mir vorliegenden Material kein Exemplar mit vollständig

erhaltenem Zentralfeld enthalten ist, ermöglichen doch die äußere Form, die hohe Micellenzahl und die großflächigen Reste der granularen Zentralstruktur (Taf. 13, Fig. 1,3) die taxonomische Zuordnung.

Die stratigraphische Reichweite dieser Art wird bei GRÜN & ALLEMANN (1975) mit oberstem Tithon bis Campan angegeben, bei HILL (1976) mit oberem Valangien bis Santon. Im Solnhofener Plattenkalk kommt diese Art auch im Unter-Tithon (ab Malm zeta 1) vor.

**Tafel 13:** *Podorhabdus dietzmanni* (REINHARDT, 1965) REINHARDT, 1967 (Fig. 1-5) und *Podorhabdus cylindratus* NOEL, 1965 (Fig. 6) aus den Solnhofener Schichten

Fig. 1: Zerfallene Coccosphäre mit *Stephanolithion bigoti* DEFL. auf einer Flinzoberfläche des Malm zeta 2b von Schernfeld. Probe S 18-1; REM-Foto 824

Fig. 3: Zerfallene Coccosphäre; die die zentrale Kreuzstruktur und den distalen Fortsatz aufbauenden Granulae sind weitgehend ausgefallen. Probe S 18-1; REM-Foto 822

Fig. 5: *Podorhabdus dietzmanni* (basal) und *Cyclagelosphaera* aus dem Malm zeta 2a. Probe R 22-2; REM-Foto 9008

Fig. 2: Basalseite mit ausgefallenem Zentralfeld aus dem tiefen Malm zeta 2a. Probe R-31; REM-Foto 8602

Fig. 4: Distalseite; Malm zeta 2a von Rögling-Warching. Probe R-31; REM-Foto 8631

Fig. 6: *Podorhabdus cylindratus* (distal) mit noch erhaltener Zentralstruktur aus dem Malm zeta 2b von Schernfeld. Probe S 18/19-9; REM-Foto 4300

## Familie *Reticapsaceae* GRÜN, in GRÜN & ALLEMANN, 1975

### Genus *Microstaurus* BLACK, 1971

#### *Microstaurus alcmonensis* n.sp.

(Tafel 14, Fig. 1–6)

1976b: *Microstaurus* sp. – KEUPP, S. 370-371; Abb. 17

Derivatio nominis: Alcmona (lat.): Altmühl

Holotyp: Schilder der zerfallenen Coccosphäre von Taf. 14, Fig. 1-2: REM-Foto 972 und 1028; Probe S 18-2

Locus typicus: S-Wand des Steinbruchs STRACKE, östlich Schernfeld; Meßtischblatt Bieswang: h 19180, r 35830

Stratum typicum: Unter-Tithon (Malm zeta 2b); 5,1m unterhalb der Basis der „Hangenden Krummen Lage“

Diagnose: Breitelliptische Coccolithen der Gattung *Microstaurus* BLACK, 1971. Distal mit einem breiten äußeren Elementzyklus und einem feingranularen Zentralfortsatz.

Aufbewahrt im Institut für Paläontologie, Universität Erlangen.

#### Beschreibung:

Die breitelliptischen Coccolithen (Längen-Breiten-Verhältnis 1,05 bis 1,35) variieren in ihrer Größe zwischen 4,5 und 7 Mikron. Der annähernd plane Distalschild wird von zwei Plattenzyklen aufgebaut. Der äußere weist 24 bis 30 rechteckige Micellen auf, die radial angeordnet sind, oder sich schwach dachziegelartig gegen den Uhrzeigersinn überlagern. Dieser Zyklus, der teilweise mit unregelmäßiger Suture dem inneren Hauptzyklus angegliedert ist, nimmt, soweit er nicht der selektiven Lösung zum Opfer gefallen ist, zwischen 20 und 35% des Coccolithendurchmessers ein. Der innere Zyklus mit etwa derselben Anzahl rechteckiger Micellen, die sich z.T. im Uhrzeigersinn schwach dachziegelartig überlappen, umschließt das zwischen 40 und 50% des Durchmessers einnehmende

Zentralfeld. Eine im Bereich der Ellipsenachsen angelegte, aus der Distalebene herausragende Kreuzstruktur verwächst zu einem kleinen Zentralfortsatz. Die am Innenrand des distalen Hauptzyklus angewachsene Zentralstruktur wird aus etwa 0,2 Mikron messenden Granulae aufgebaut.

Die gegenüber dem Distalschild nur geringfügig kleinere Basalscheibe ist monozyklisch aus 24 bis 30 weitgehend radial angeordneten, breit keilförmigen Elementen aufgebaut. Die achsenparallele Kreuzstruktur wird aus zwei Reihen rhombischer Granulae gebildet. Im Bereich der Ansatzstellen am Distalschild können die beiden Reihen geringfügig divergieren und eine schmale Pore offen lassen (Taf. 14, Fig. 6).

#### Differentialdiagnose:

*Microstaurus chiastus* (WORSLEY, 1971) GRÜN, 1975 (Synonym zu *Microstaurus quadratus* BLACK, 1971) und *Microstaurus* sp.36 GRÜN, 1975 unterscheiden sich durch ihren aus nur 4 Elementen zusammengesetzten Zentralfortsatz. Ebenso ist *Microstaurus* sp.32 GRÜN in GRÜN & ALLEMANN, 1975 durch die Ausbildung eines massigen Zentralsporns charakterisiert. Bei *Microstaurus lindensis* BLACK, 1971 überwiegt die Breite des äußeren, distalen Elementzyklus bei ebenfalls abweichendem Bau des Zentralfeldes. Der in seinem Habitus ähnliche *Microstaurus pusillus* BLACK, 1972 weicht von der neuen Art nicht nur durch seine geringe Größe und Micellenzahl, sondern auch durch das grobgranulare Zentralkreuz ab.

Stratigraphische Reichweite: Unter-Tithon (Malm zeta 1 bis zeta 3).

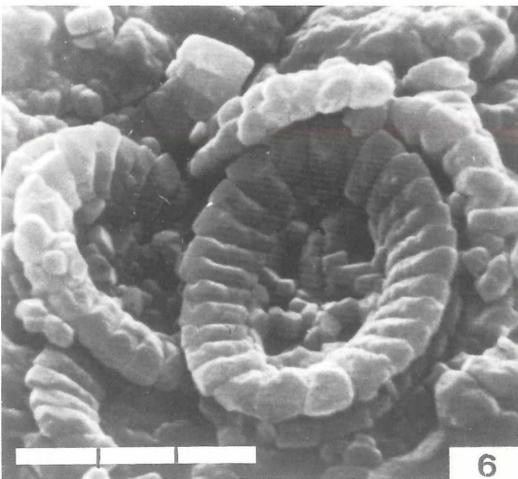
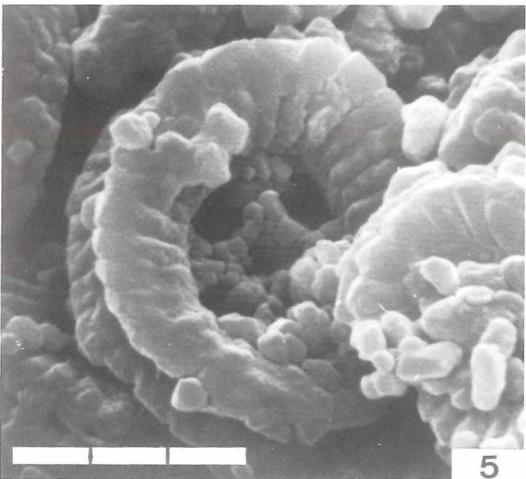
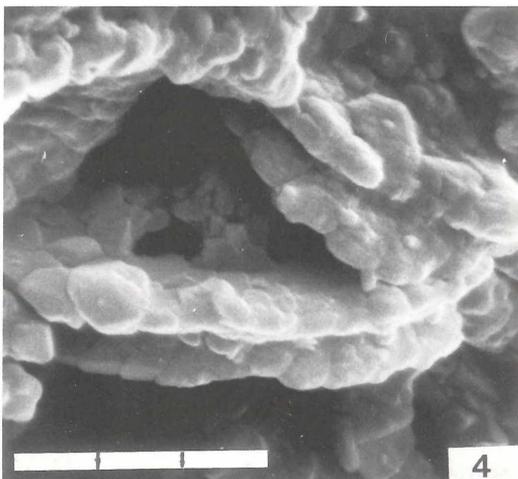
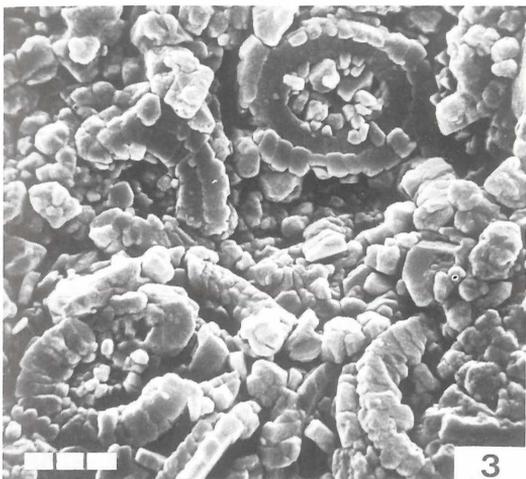
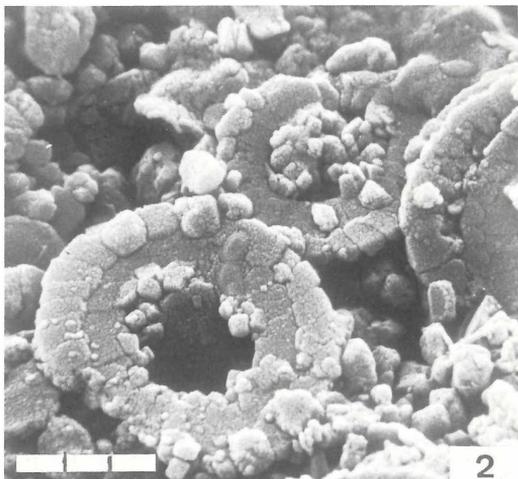
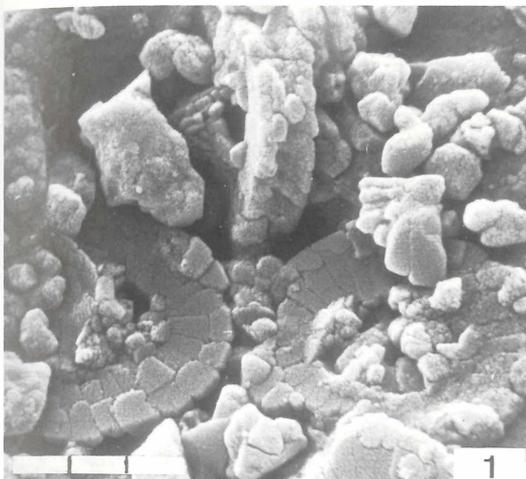
Tafel 14: *Microstaurus alcmonensis* n.sp. aus dem Malm zeta 2b von Schernfeld

Fig. 1 und 2: Zerfallene Coccosphäre (Holotyp) auf einer Flinzoberfläche; der zentrale Fortsatz ist nur selten erhalten. Probe S 18-1; REM-Foto 972 (Fig. 1) und 1028 (Fig. 2)

Fig. 3: Distalansicht. Probe S 18-1c; REM-Foto 7373

Fig. 4: Seitenansicht mit noch erhaltenem Zentralfortsatz. Probe S 18/19-2; REM-Foto 1743

Fig. 5 und 6: Basalseite. Probe S 19/19-9; REM-Foto 4434 (Fig. 5) und 4429 (Fig. 6)



Tafel 14

## Familie Eifellithaceae REINHARDT, 1965

### Genus *Staurorhabdus* NOEL, 1972

#### *Staurorhabdus quadriarcullus* (NOEL, 1965) NOEL, 1972

(Taf. 2, Fig. 2; Taf. 15, Fig. 1-6)

- ★ 1965 a : *Discolithus quadriarcullus* n. sp.-NOEL, S. 4; Abb. 7
- 1965 b : *Discolithus quadriarcullus* n. sp.-NOEL, S. 74-75; Taf. 1, Fig. 14-15; Taf. 2, Fig. 1-2
- 1971 : *Vekshinella quadriarculla* (NOEL, 1965) n. comb.- ROOD, HAY & BARNARD, S. 250; Taf. 1, Fig. 1
- 1972 : *Staurorhabdus quadriarcullus* (NOEL, 1965) n. comb.- NOEL, S. 101-102; Taf. 1, Fig. 5-6; Taf. 2, Fig. 1-5
- 1974 : *Staurorhabdus quadriarcullus* (NOEL, 1965) NOEL, 1973-GRÜN, PRINS & ZWEILI, S. 307-308; Abb. 19, Fig. 6
- 1976 b : *Staurorhabdus quadriarcullus* (NOEL, 1965) NOEL, 1972-KEUPP, S. 371; Abb. 6

#### Beschreibung:

Die elliptischen Zygolithen (Längen-Breiten-Verhältnis 1,15 bis 1,55) variieren in ihrer Größe zwischen 4 und 5,5 Mikron. Ein schmaler Elementzyklus aus 32 bis 40 dachziegelartig übereinandergefächerten Micellen baut den monozyklischen Distalschild auf. Er umschließt das große (65 bis 78 % des Coccolithendurchmessers) Zentralfeld, in dem eine aus länglichen Kalzitelementen zusammengesetzte, kaum aus der Distalebene hervortretende Kreuzstruktur dominiert. Der Schnittpunkt des Kreuzes trägt einen meist nicht mehr erhaltenen Zentralfortsatz. Die vier entsprechend der achsialen Anlage des Zentralkreuzes diagonal stehenden, elliptischen Perforationen nehmen je 18 bis 24 % des Coccolithendurchmessers ein. Auf der Basalseite liegt dem hohen distalen

Elementzyklus ein flacher, aus 32 bis 40 mehr oder weniger rechteckigen Micellen zusammengesetzter Plattenkranz auf. In dem etwas verengten Zentralfeld (50 bis 65 % des Coccolithendurchmessers) spart das Zentralkreuz Poren aus, die nur ca. 14 % des Durchmessers einnehmen. Eine als Furche erscheinende Mittelachse teilt die Kreuzbalken in je zwei Hälften. Dem zentralen Fortsatz der Distalseite entspricht basal eine feine Durchbohrung im trichterartig eingesenkten Kreuz-Mittelpunkt.

Im Plattenkalk konnte *Staurorhabdus quadriarcullus* im Malm zeta 2a und 2b gefunden werden. Die bisher bekannte stratigraphische Reichweite ist Toarcien bis Portlandien (NOEL, 1972).

#### Tafel 15: *Staurorhabdus quadriarcullus* (NOEL, 1965) NOEL, 1972 aus den Solnhofener Schichten

Fig. 1: Basalansicht. Das Verschwinden der Konturen geht wohl auf eine Sinterbildung durch vadose Wässer zurück. Probe S 19/19-11; REM-Foto 6059

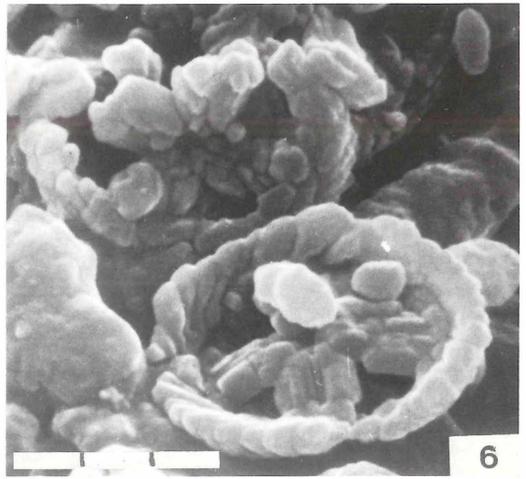
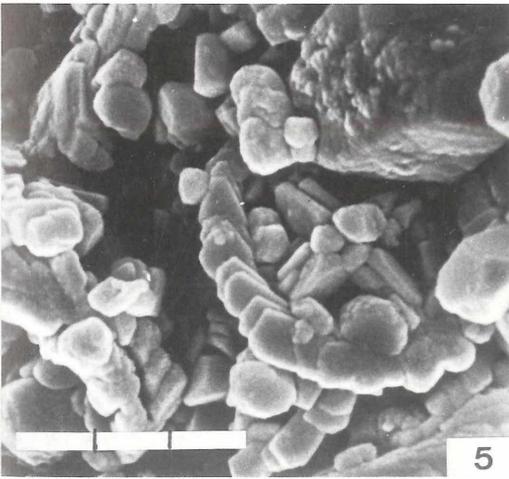
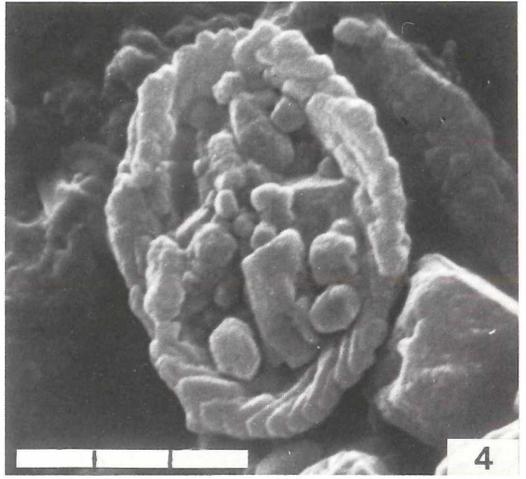
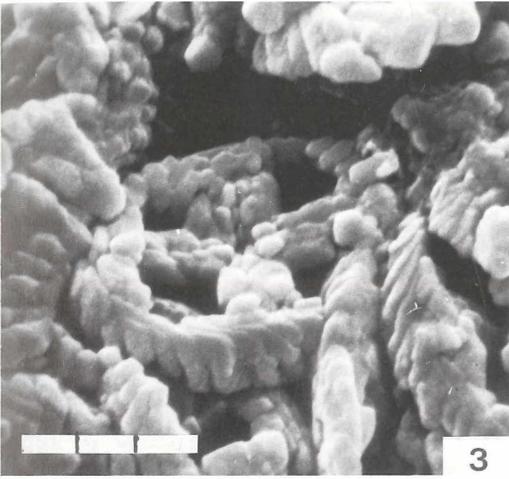
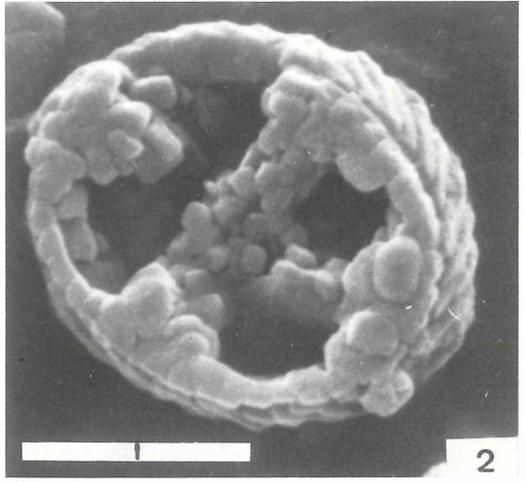
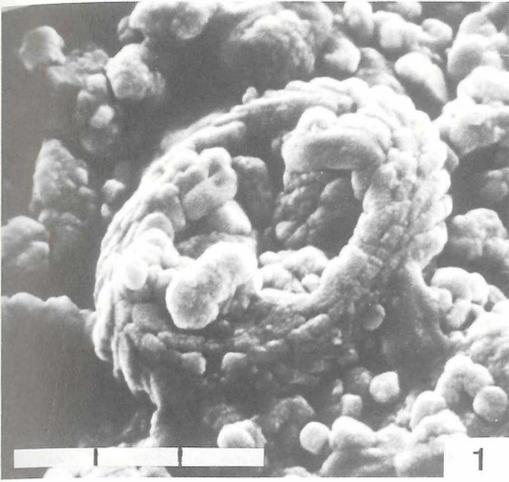
Fig. 3: Basalseite eines Coccolithen im Bereich einer an Ort und Stelle zerfallenen Coccosphäre. Probe S 18/19-8; REM-Foto 1801

Fig. 5: Zerfallene Coccosphäre aus dem Malm zeta 2a von Rögling. Probe R-31; REM-Foto 8626

Fig. 2: Basalansicht; tiefer Malm zeta 2b von Schernfeld. Probe S 1-2; REM-Foto 5736

Fig. 4: Distalseite; Malm zeta 2b von Schernfeld. Probe S 18-2b; REM-Foto 6352

Fig. 6: Distale und basale Ansicht; Schichtfläche einer Fäule von Schernfeld. Probe S 18/19-9; REM-Foto 4583



Tafel 15

## Familie *Zygodiscaceae* HAY & MOHLER, 1967

### Genus *Zeugrhabdotus* REINHARDT, 1965

#### *Zeugrhabdotus noeli* ROOD, HAY & BARNARD, 1971

(Taf. 17, Fig. 1-2)

- 1954 : *Zycolithus erectus* DEFLANDRE-DEFLANDRE & FERT (partim), S. 150, Abb. 60-61; Taf. 15, Fig. 14-17  
1965b : *Zycolithus erectus* DEFLANDRE 1954-NOEL, S. 62-64, Abb. 2; Taf. 1, Fig. 3-4  
★ 1971 : *Zeugrhabdotus noeli* n. sp.-ROOD, HAY & BARNARD, S. 252-253; Taf. 1, Fig. 4  
1972 : *Zeugrhabdotus noeli* ROOD, HAY & BARNARD, 1971-NOEL, S. 99-100; Taf. 1, Fig. 1-4  
1974 : *Zeugrhabdotus noeli* ROOD, HAY & BARNARD-BARNARD & HAY, Taf. 3, Fig. 8

#### Beschreibung:

Die im Solnhofener Plattenkalk zwischen 5 und 6 Mikron großen, ovalen bis langelliptischen Zycolithen (Längen-Breiten-Verhältnis 1,4 bis 1,6) sind durch ihren breiten marginalen Plattenzyklus charakterisiert. Er besteht aus 18 bis 24 sich dachziegelartig überlagernden Micellen. Eine kräftige, aus wenigen Kalzitelementen gebildete Querbrücke teilt das 60 bis 65 % der Gesamtlänge einnehmende Zentralfeld. Die beiden ver-

bleibenden ovalen Zentralporen sind klein (15 bis 20 % der Gesamtlänge). Die Richtung ihrer Längsachsen stimmt mit der Zycolithen-Längsachse überein. Auf dem breiten Querbalken ist der hohle Zentralfortsatz im allgemeinen nicht mehr erhalten. *Zeugrhabdotus noeli* konnte in den untersuchten Proben nur sehr vereinzelt aus dem Malm zeta 2b nachgewiesen werden.

#### *Zeugrhabdotus salillum* (NOEL, 1965) ROOD, HAY & BARNARD, 1971

(Tafel 16, Fig. 1-6)

- ★ 1965a : *Discolithus salillum* NOEL, 1965-NOEL, S. 4; Abb. 5-6  
1965b : *Discolithus salillum* n. sp.-NOEL, S. 72-74, Abb. 5-6; Taf. 1, Fig. 8-12  
1971 : *Zeugrhabdotus salillum* (NOEL) n. comb.-ROOD, HAY & BARNARD, S. 253; Taf. 1, Fig. 5  
1976b : *Zeugrhabdotus salillum* (NOEL, 1965) ROOD, HAY & BARNARD, 1971-KEUPP, S. 373-374; Abb. 16

#### Beschreibung:

Die elliptischen Zycolithen variieren bei einer Größe von 3 bis 5,5 Mikron in ihrem Längen-Breiten-Verhältnis zwischen 1,2 und 1,6. Der schmale, monozyklische distale Marginalkranz wird aus 24-36 sich dachziegelartig überlappenden Micellen aufgebaut. Eine aus wenigen, großen Kalzitelementen zusammengesetzte Querbrücke teilt das große Zen-

tralfeld, das zwischen 65 und 75 % der Zycolithen-Längsachse einnimmt. Bei den beiden verbleibenden Zentralporen ist im Gegensatz zu *Zeugrhabdotus noeli* die Querachse größer als die Längsachse. Letztere umfaßt 21 bis maximal 30 % des Gesamtdurchmessers. Der Zentralfortsatz ist im allgemeinen nicht mehr erhalten.

#### Tafel 16 *Zeugrhabdotus salillum* (NOEL, 1965) ROOD, HAY & BARNARD, 1971

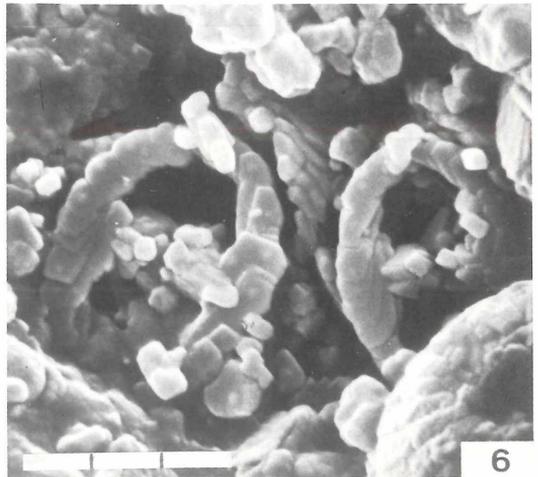
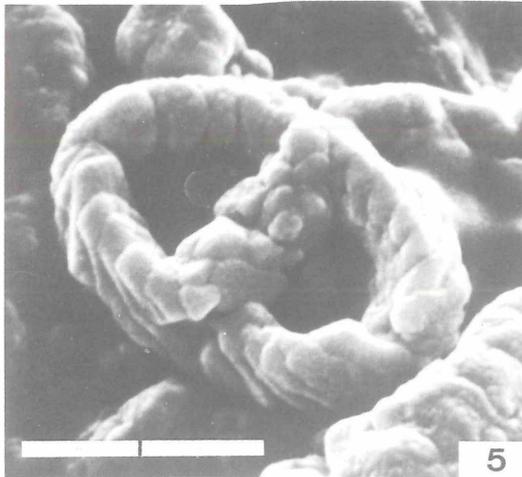
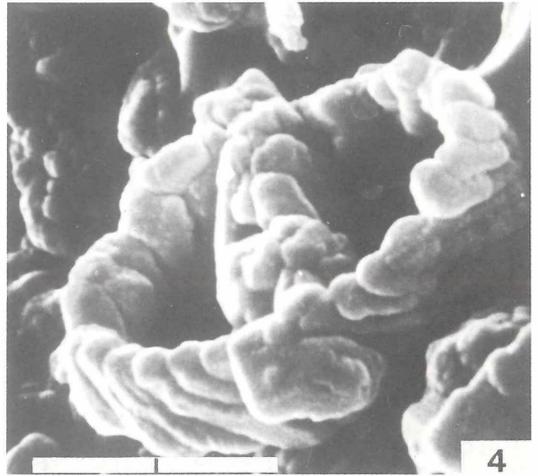
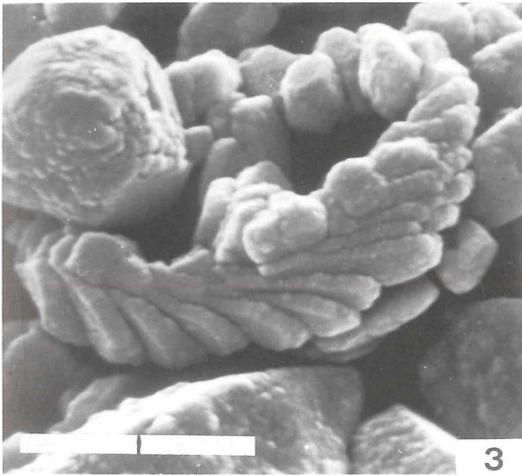
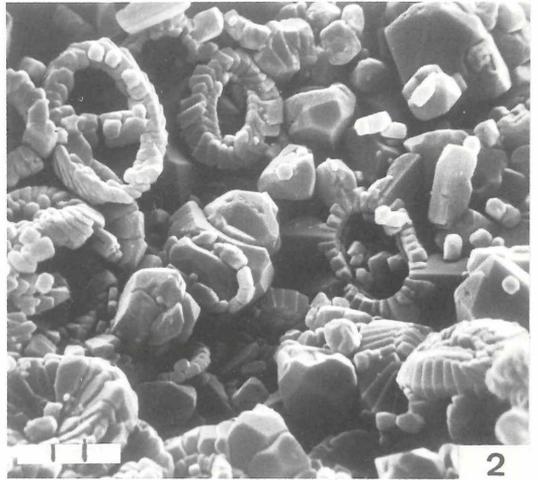
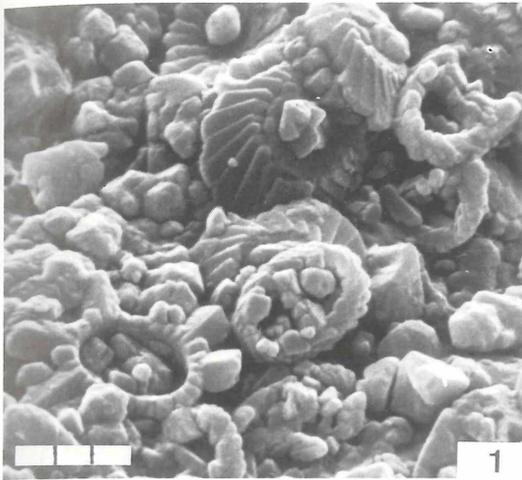
Fig. 1: Topfläche eines Flinzes mit *Zeugrhabdotus salillum* (basal), *Stephanolithion bigoti* DEFL. und *Cyclagelosphaera margereli* NOEL. Probe S 18-1b; REM-Foto 4877

Fig. 2: Die z.T. bituminösen Mergel des obersten Malm epsilon (Zone des *Virgataxioceras setatum*) in den riffnahen Randgebieten von Painten (Stbr. RYGOL) werden überwiegend von Coccolithen aufgebaut: *Zeugrhabdotus*, *Stephanolithion*, *Ellipsagelosphaera*, *Cyclagelosphaera*. Probe Pa -2; REM-Foto 8279

Fig. 3: Zycolith in Basalansicht aus dem Malm zeta 2a von Rögling. Probe R-31; REM-Foto 8611

Fig. 4 und 5: Zwei Exemplare aus dem Malm zeta 2b von Schernfeld. Probe S 18/19-11; REM-Foto 6054 bzw. 6056

Fig. 6: Distalseite von zwei Zycolithen aus dem Malm zeta 2b von Schernfeld. Probe S 18/19-8; REM-Foto 1984



Tafel 16

Auf der Basalseite wird der hohe distale Elementzyklus oft von einem flachen Plattenzyklus bedeckt, der aus kleinen, unregelmäßig angeordneten Micellen besteht.

*Zeugrhabdotus salillum* läßt sich im gesamten untersuchten Profil (Malm zeta 1 bis 3) nachweisen.

## Familie Stephanolithiaceae BLACK, 1968

### Genus Stephanolithion DEFLANDRE, 1939

#### Stephanolithion bigoti DEFLANDRE, 1939

(Taf. 2, Fig. 3; Taf. 17, Fig. 3-6; Taf. 18, Fig. 1-6)

- ★ 1939 : *Stephanolithion bigoti* n. sp.-DEFLANDRE, S. 1332, Abb. 1-14
- 1954 : *Stephanolithion bigoti* DEFLANDRE-DEFLANDRE & FERT, Taf. 15, Fig. 1-6
- 1965a : *Stephanolithion bigoti* DEFLANDRE, 1939-NOEL, S. 4; Abb. 9-14
- 1965b : *Stephanolithion bigoti* DEFLANDRE, 1939-NOEL, S. 78-83, Abb. 9-11; Taf. 5, Fig. 1-10; Taf. 6, Fig. 1-2
- 1968 : *Stephanolithion bigoti* DEFLANDRE-BLACK, S. 807-808; Taf. 152, Fig. 1
- 1971 : *Stephanolithion bigoti* DEFLANDRE, 1939-REINHARDT, S. 27-28. Abb. 18-19
- 1971 : *Stephanolithion bigoti* DEFLANDRE-ROOD, HAY & BARNARD, S. 260; Taf. 2, Fig. 8
- 1972 : *Stephanolithion bigoti* DEFLANDRE, 1939-NOEL, S. 109; Taf. 5, Fig. 1-4
- 1972 : *Stephanolithion bigoti* DEFLANDRE-ROOD & BARNARD, S. 329; Taf. 1, Fig. 5, 11
- 1973 : *Stephanolithion bigoti* DEFLANDRE, 1939-BLACK, S. 92; Text-Fig. 44
- 1974 : *Stephanolithion bigoti* DEFLANDRE-BARNARD & HAY, Taf. 3, Fig. 6; Taf. 6, Fig. 5
- 1976b : *Stephanolithion bigoti* DEFLANDRE, 1939-KEUPP, S. 372; Abb. 18, 19, 22

#### Beschreibung:

Die hexagonale Randscheibe besteht aus 20 bis 34 radial nebeneinanderliegenden, schmal-keilförmigen Micellen. Meist 6, seltener 7 dieser Elemente sind stark vergrößert und überragen den marginalen Zyklus z. T. sehr weit. Der Coccolithendurchmesser (Längsachse) variiert zwischen 5 und 8 Mikron, wobei die fortsatzfreie Außenbegrenzung des schmalen Micellenkranzes nur 60 bis 70% ( $\approx$  3 bis 5 Mikron) bei einem Längen-

Breiten-Verhältnis von 1,3 bis 1,6 einnimmt. In Basalansicht liegt der hohen distalen Randscheibe ein etwas kleinerer Plattenkranz mit flachen, rechteckigen Micellen auf. An ihm ist ein zierliches, diagonal angelegtes Zentralkreuz angeheftet, das einen feingranulierten, distalen Fortsatz trägt. Das Zentralfeld umfaßt etwa 58 bis 75% des Marginalrand-Durchmessers (ohne Fortsätze).

**Tafel 17:** *Zeugrhabdotus noeli* ROOD, HAY & BARNARD, 1971 und *Stephanolithion bigoti* DEFLANDRE, 1939 aus den Solnhofener Schichten

Fig. 1: *Zeugrhabdotus noeli* ROOD et al., 1971 aus dem Malm zeta 2b von Schernfeld (Distalseite). Probe S 18-6; REM-Foto 1317

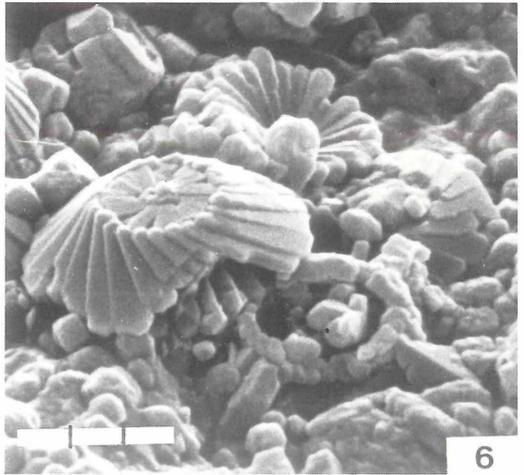
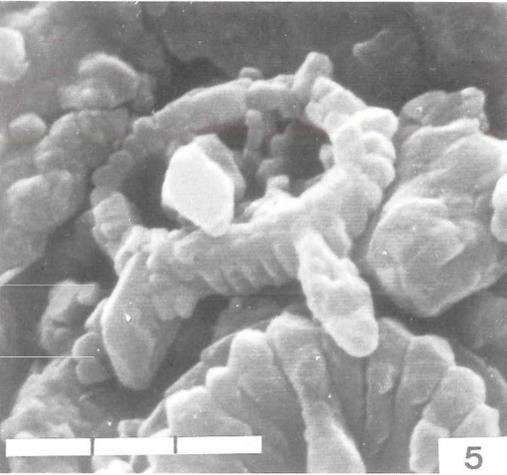
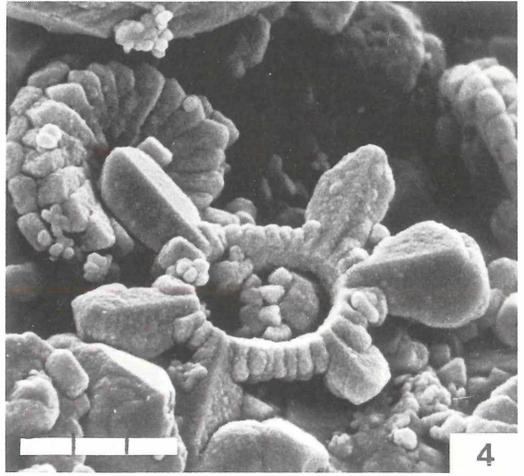
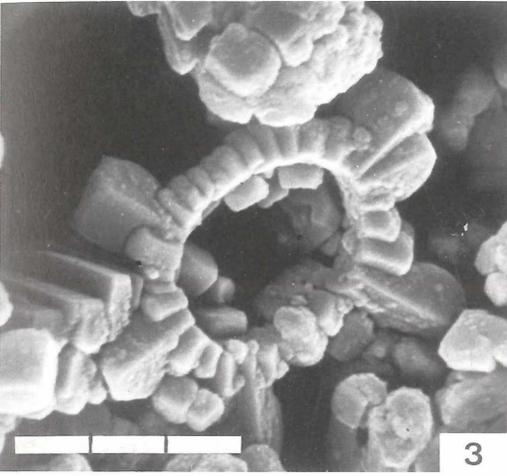
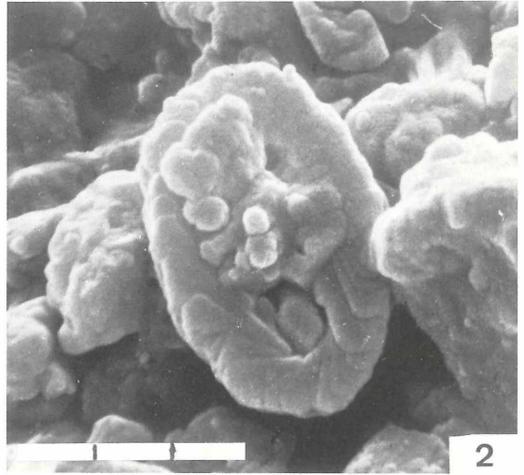
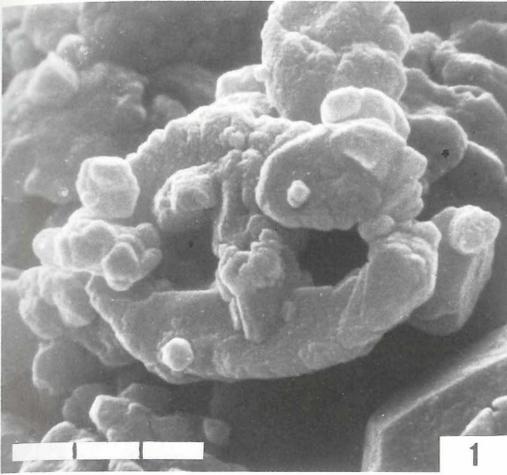
Fig. 3: Distalseite von *Stephanolithion bigoti* DEFLANDRE, 1939 mit ausgefallener Zentralstruktur; Basis des Malm zeta 2a von Rögling. Probe R-22; REM-Foto 6854

Fig. 5: Basalseite von *Stephanolithion bigoti* DEFLANDRE aus dem Malm zeta 2b von Schernfeld. Probe S 18/19-9; REM-Foto 4424

Fig. 2: Distalseite von *Zeugrhabdotus noeli* ROOD, et al., 1971. Probe S 18-5; REM-Foto 1217

Fig. 4: *Stephanolithion bigoti* mit teilweise erhaltener Zentralstruktur (Distalseite). Probe R 22-2; REM-Foto 9000

Fig. 6: *Stephanolithion bigoti* DEFLANDRE (basal) mit *Cyclagelosphaera margereli* NOEL aus dem Malm zeta 2b; der Placolith im Vordergrund mit marginaler Drucklösungskaverne. Probe S 18-1b; REM-Foto 4833



Tafel 17

Die ursprünglich angenommene stratigraphische Reichweite vom Callovien bis Oxfordien (*bigoti*-Assoziation: STRADNER, 1963; ROOD & BARNARD, 1972) wurde 1972 durch NOEL erweitert. Sie beschreibt *Stephanolithion*

*bigoti* aus dem Kimmeridgien (1972, Taf. 5, Fig. 2, 4). Die vorliegenden Exemplare belegen nun das Vorkommen im Unter-Tithon (in allen Profilen vom Malm zeta 1 bis 3 geläufig).

## Coccolithen fraglicher Zuordnung

### ? *Loxolithus* sp.

(Taf. 19, Fig. 1)

1976b: *Loxolithus* sp.-KEUPP, S. 370; Abb. 23

Die Abbildung zeigt einen ca. 3 Mikron großen, elliptischen Coccolithen, der nur aus einem massiven Micellenkranz aufgebaut ist. Seine 26 bis 28 sich dachziegelartig überlagernden Micellen weisen einen einheitlich trapezförmigen Querschnitt auf. Das große Zentralfeld ist leer. Alle diese Merkmale entsprechen der Gattung *Loxolithus* NOEL, 1965 (vergl. auch FORCHHEIMER, 1968; REINHARDT, 1972).

Das nur sehr vereinzelt Auftreten solcher Formen im Solnhofener Plattenkalk, meist in Bereichen stärkerer diagenetischer Verän-

derungen, läßt jedoch Zweifel an der Zuordnung zu *Loxolithus* offen. Ein diagenetisches Zusammenwachsen des distalen und basalen Schildes bei *Ellipsagelosphaera* bzw. *Cyclagelosphaera* (vergl. Taf. 27, Fig. 4, 5) kann bei zusätzlich auftretender selektiven Lösung der kleinen Elementzyklen durchaus ähnliche Formen hervorbringen. Ferner muß die Möglichkeit in Betracht gezogen werden, daß Distal- und Basalscheibe dieser Placolithen isoliert erhalten sein können. Auch in diesem Falle erhielte man vergleichbare Phänomene.

### ? *Tetralithus pyramidus* GARDET, 1955

(Tafel 19, Fig. 2)

- ★1955 : *Tetralithus pyramidus* n. sp.-GARDET, S. 521; Taf. 7, Fig. 66
- 1963 : *Tetralithus pyramidus* GARDET, 1955-STRADNER, Taf. 6, Fig. 3
- 1963 : *Tetralithus pyramidus* GARDET, 1955-VACHRAMEEVA et al., S. 160; Abb.30
- 1969 : *Tetralithus pyramidus* GARDET, 1955-PIENAAR, S. 112
- 1976b : *Tetralithus pyramidus* GARDET, 1955-KEUPP, S. 372-373; Abb. 21

## Tafel 18: *Stephanolithion bigoti* DEFLANDRE, 1939 aus dem Ober-Kimmeridge und Unter-Tithon

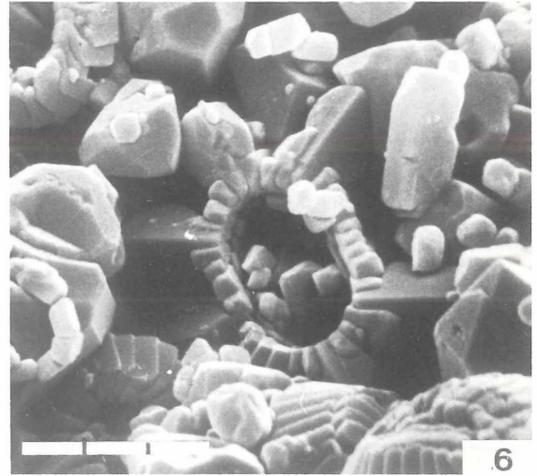
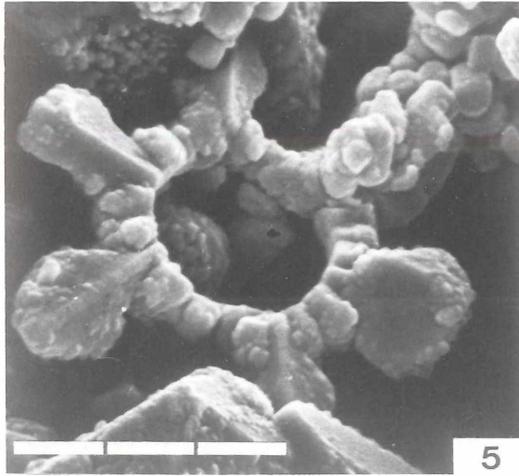
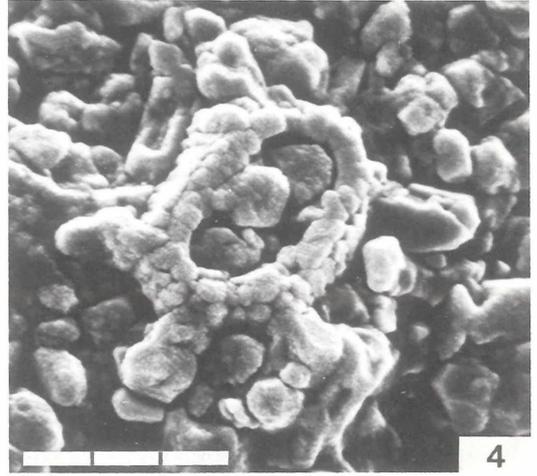
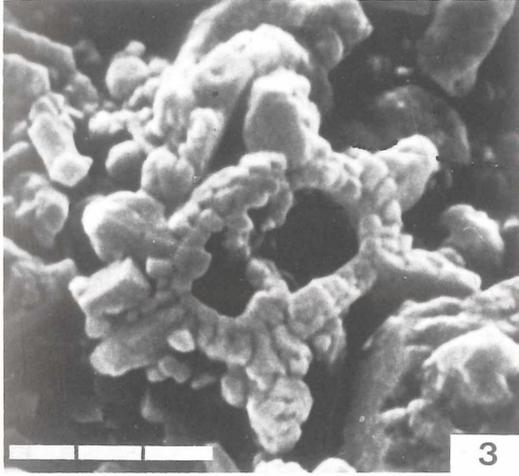
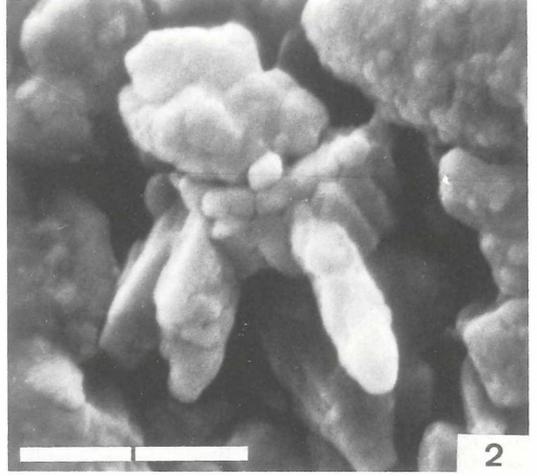
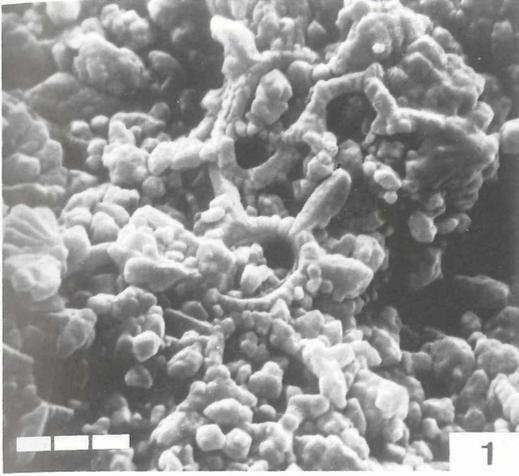
Fig. 1: Zerfallene Cocosphäre auf einer Fäulen-Schichtfläche des Malm zeta 2b. Probe S 18/19-8; REM-Foto 1825

Fig. 3 und 4: Distalseite im Bereich einer Flinz-Schichtfläche des Malm zeta 2b. Probe S 18-1c; REM-Foto 7686 bzw. 7372

Fig. 5: Basalansicht; der rechte Fortsatz zeigt eine deutlich neomorphe Überprägung; Oberster Malm epsilon, Painten (Stbr.Rygot). Probe Pa-1; REM-Foto 8125

Fig. 2: Lateralansicht: Die Fortsätze sind schwach zur Basis hin geneigt; Malm zeta 2b, Schernfeld. Probe S 18/19-8; REM-Foto 1817

Fig. 6: Euhedrale Zementkristalle im Inneren der Mergel (Oberster Malm epsilon, Painten) haben die Coccolithen kaum beeinträchtigt. Probe Pa-2; REM-Foto 8279



Tafel 18

## Beschreibung:

Bisher liegt lediglich ein Einzelfund aus dem Malm zeta 2b von Schernfeld vor. Die rautenförmige Platte ist aus vier gleich großen Rauten zusammengesetzt. Im Zentrum bleibt eine winzige Pore offen. Die Diagonalachse mißt 4,6 Mikron. Obwohl morphologisch völlige Übereinstimmung mit *Tetralithus pyramidus*, wie er von GARDET (1955) aus dem Miozän und von STRADNER (1963) bzw. PIENAAR (1969) aus der Oberkreide beschrieben wurde, vorliegt, können Zweifel an der Zuordnung des vorliegenden Individuums zu dieser Art nicht restlos ausgeräumt werden.

So zeigt der Kontakt zur benachbarten *Ellipsagelosphaera* deutliche Lösungserscheinungen, die eventuell auf Drucklösung im Bereich der Schichtfläche zurückgeführt werden können. Jedoch tritt ein für eine Kalzitplatte ungewöhnliches Durchpausen des Nachbarreliefs auf. Die Frage, ob das vorliegende Exemplar aus Kalzit oder unter Umständen organischer Substanz (rezente Probenverunreinigung – vergl. KEUPP, 1976d) besteht, läßt sich auch nicht mit dem röntgenenergie dispersiven System (ORTEC) klären, da die leichten Elemente organischer Substanzen unterhalb der Nachweismöglichkeit liegen und der Kalzit des Untergrundes in jedem Fall angezeigt wird.

## Kalkiges Nannoplankton incertae sedis

### Familie *Microrhabdulidae* DEFLANDRE, 1963

In dieser Familie werden stabförmige Elemente zusammengefaßt, deren taxonomische Stellung unklar ist. Im allgemeinen werden sie zu den Coccolithophoriden gestellt (vergl. z. B. DEFLANDRE, 1963; REINHARDT, 1970, 1972; HILL, 1976 u. a.). Ihre Hauptverbreitung liegt in der Kreide. DEFLANDRE (1963) bezieht vier eng definierte Gattungen in diese Familie ein. Für die jurassischen *Microrhabdulithen* war es erforderlich, eine eigene Gattung einzuführen, da die Merkmale nicht mit den bekannten Gattungsdiagnosen in Einklang zu bringen sind (KEUPP, 1976b).

### Genus *Pseudolithraphidites* KEUPP, 1976

Diese Gattung ist durch langgestreckte Kalzitkörper charakterisiert, die jeweils aus mindestens 4 langzylindrischen Elementen zusammengesetzt sind. Die gerundeten Kanten verlaufen in der gesamten Länge parallel zueinander.

#### *Pseudolithraphidites quattuorbacillatus* KEUPP, 1976 (Tafel 20, Fig. 1-4)

1965b : „*Aiguilles d'aragonite*-NOEL (partim), Taf. 29, Fig. 6, 8

\* 1976b : *Pseudolithraphidites quattuorbacillatus* n. g. n. sp. - KEUPP, S. 376; Abb. 26, 27

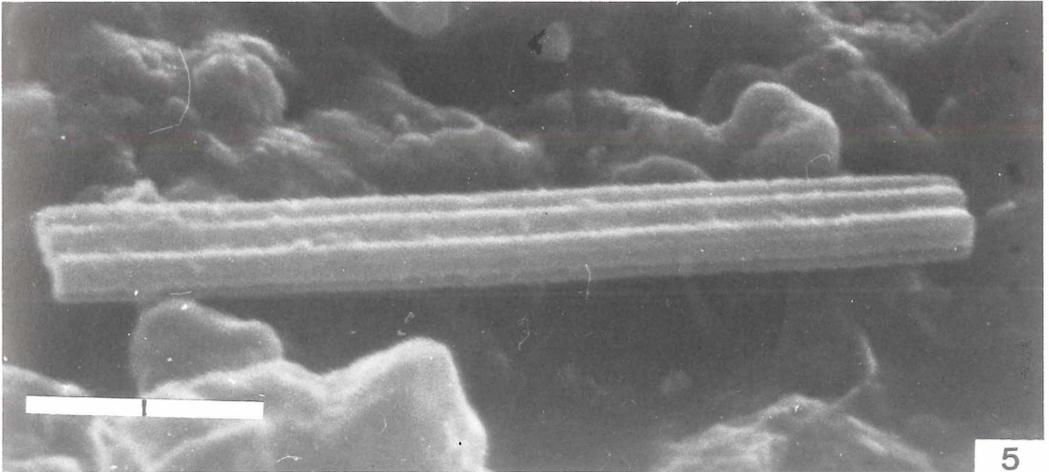
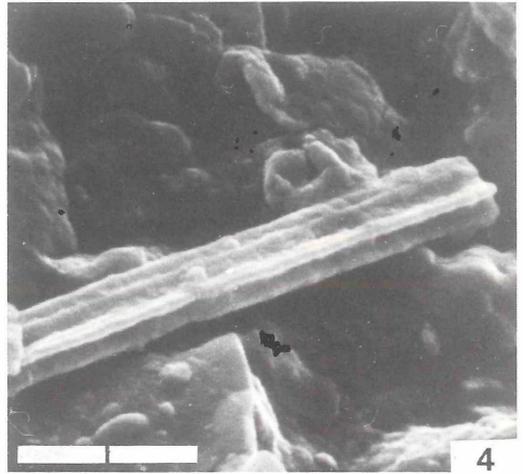
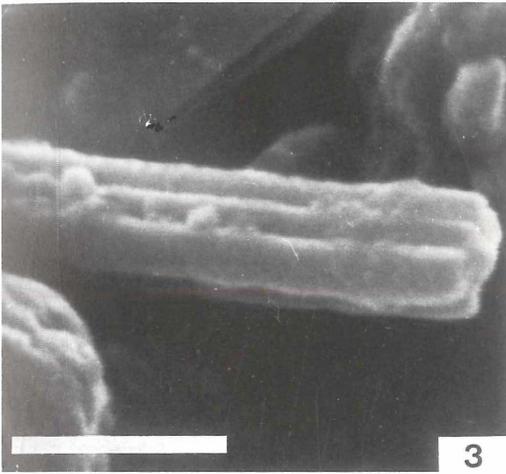
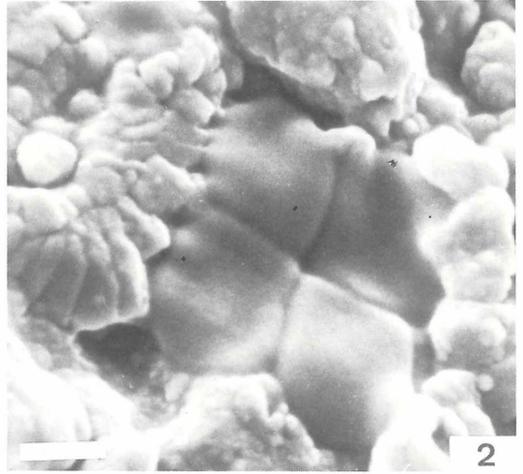
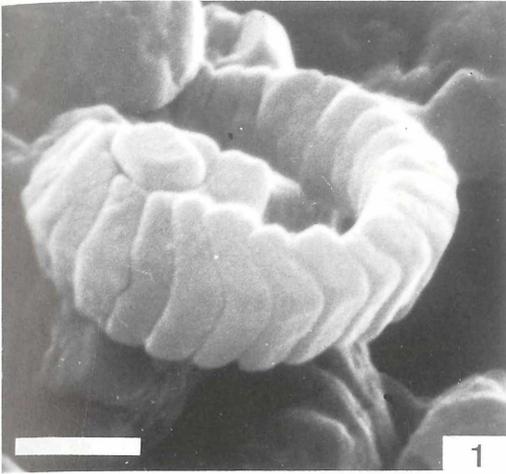
#### Tafel 19:

Fig. 1: ? *Loxolithus* sp. aus dem Malm zeta 2b von Schernfeld. Probe S 70u-1; REM-Foto 2142

Fig. 3: *Pseudolithraphidites multibacillatus* KEUPP, 1976 aus dem Malm zeta 3 - Plattenkalk von Schernfeld; Holotyp. Probe S 117-2; REM-Foto 2553

Fig. 2: ? *Tetralithus pyramidus* GARDET, 1955 auf einer Fäulen-Schichtfläche des Malm zeta 2b. Probe S 18/19-9; REM-Foto 1846

Fig. 4 und 5: Weitere Exemplare von *Pseudolithraphidites multibacillatus* aus dem Malm zeta 3. Probe S 117-2; REM-Foto 2587 bzw. 2575



## Beschreibung:

Die parallelkantigen Stäbchen erreichen bei einer Breite zwischen 0,7 und 1,5 Mikron Längen bis zu 45 Mikron, meist jedoch zwischen 10 und 20 Mikron. Vier skulpturlose, im Querschnitt annähernd runde, eng parallel verwachsene Einzelelemente bauen ein Stäbchen auf. Ihre Anordnung ist stets kantenständig, so daß ein abgerundet quadratischer Querschnitt entsteht mit jeweils einer deutlichen Einkerbung im Mittelpunkt der Qua-

dratkanten. Vereinzelt kann ein kleiner Mittelsteg eingeschaltet sein, der zwei Elementpaare etwas voneinander entfernt (Taf. 20, Fig. 3).

*Pseudolithravidites quattuorbacillatus* findet sich im Malm zeta 1 bis 3. NOEL (1965b) bildet vergleichbare Exemplare aus dem Valangien ab.

## **Pseudolithravidites multibacillatus KEUPP, 1976**

(Tafel 19, Fig. 3-5)

1965b: „Aiguilles d'aragonite" – NOEL (partim), Taf. 29, Fig. 3, 4, 7

★ 1976b: *Pseudolithravidites multibacillatus* n.g.n.sp. – KEUPP, S. 376; Abb. 24, 25

## Beschreibung:

Diese wesentlich seltener vorkommende Art wird aus mindestens sechs jeweils paarweise angeordneten Elementen aufgebaut. Im Querschnitt erscheint diese Form entsprechend breiter.

## Literatur zu Kapitel 3.1

**ANDREE, K.** (1920): Geologie des Meeresbodens. Bodenbeschaffenheit, nutzbare Materialien am Meeresboden. – 689 S., Leipzig (Borntraeger)

**BARNARD, T. & HAY, W. W.** (1974): On Jurassic Coccoliths: A tentative zonation of the Jurassic of Southern England and North France. – *Ecol. Geol. Helv.*, **67**, 3, 563-585, Basel

**BLACK, M.** (1964): Cretaceous and Tertiary coccoliths from Atlantic Seamounts. – *Paleontology*, **7**, 2, 306-316, London

\_\_\_\_\_(1965): Coccolithen. – *Endeavour*, **1965**, 131-137, London

\_\_\_\_\_(1967): New names for some coccolith taxa. – *Proc. geol. Soc. London*

\_\_\_\_\_(1968): Taxonomic problems in the study of coccoliths. – *Paleontology*, **11**, 5, 793-813, London

\_\_\_\_\_(1970): Derived Coccoliths in the Bridlington Crag. – *Proc. Yorkshire geol. Soc.*, **38**, 1, 37-45

\_\_\_\_\_(1971): The systematics of coccoliths in relation to the palaeontological record. – In FUNNELL, B. M. & RIEDEL, W. R.: (Ed.) *The Micropalaeontology of Oceans*. – 611-624, Cambridge Univ. Press

\_\_\_\_\_(1971): Coccoliths of the speeton Clay and Sutterby Marl. – *Proc. Yorkshire geol. Soc.*, **38**, 3, 381-424, Leeds

\_\_\_\_\_(1972): British Lower Cretaceous Coccoliths I.: Gault Clay. – *Monogr. palaeontogr. Soc.*, **126**, 1, 1-48, London

\_\_\_\_\_(1973): British Lower Cretaceous Coccoliths. I.: Gault Clay. – *Monogr. palaeontogr. Soc.*, **127**, 49-112, London

\_\_\_\_\_(1975): British Lower Cretaceous Coccoliths. I.: Gault Clay. – *Monogr. palaeontogr. Soc.*, **129**, 113-142, London

**BLACK, M. & BARNES, B.** (1959): The Structure of Coccoliths from the English Chalk. – *Geol. Mag.*, **96**, 5 321-328, Hertford

**BUKRY, D.** (1969): Upper Cretaceous Coccoliths from Texas and Europe. – *Univ. Kansas Paleont. Contrib.*, **51**, 1-79, Lawrence

**DEFLANDRE, G.** (1939): Les stéphanolithes, représentants d'un type nouveau de coccolithes du Jurassique supérieur. – *C. R. Acad. Sci.* **208**, 1331-1333, Paris

\_\_\_\_\_(1963): Sur les Microrhabduliés, famille nouvelle de nannofossiles calcaires. – *C. R. Acad. Sci.*, **256**, 3484-3486, Paris

**DEFLANDRE, G. & FERT, C.** (1954): Observations sur les Coccolithophorides actuels et fossiles en microscopie ordinaire et électronique. – *Ann. Paléont.*, **40**, 115-176, Paris

**FLÜGEL, E. & FRANZ, H. E.** (1967): Über die lithogenetische Bedeutung von Coccolithen in Malmkalcken des Flachwasserbereiches. – *Ecol. Geol. Helv.*, **60**, 1, 1-17, Basel

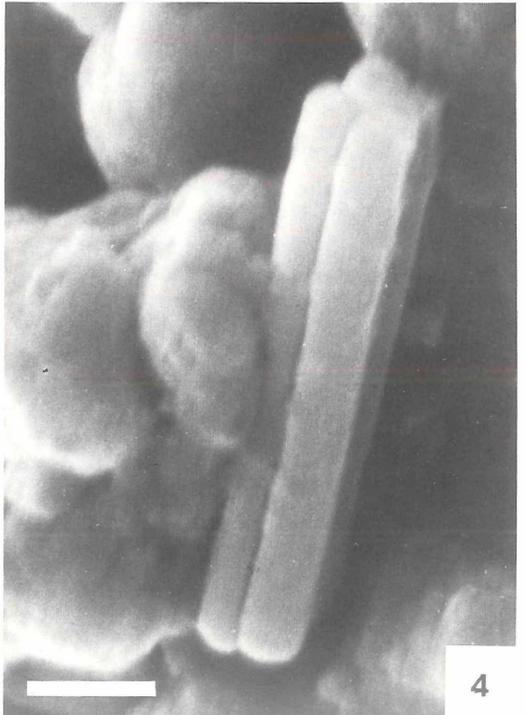
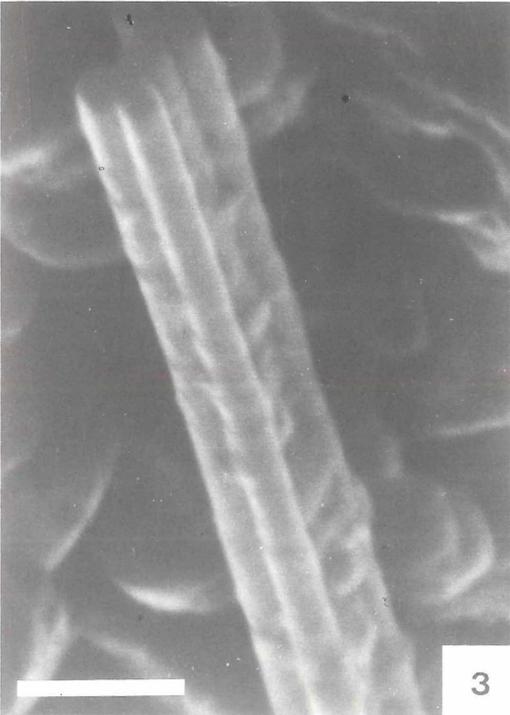
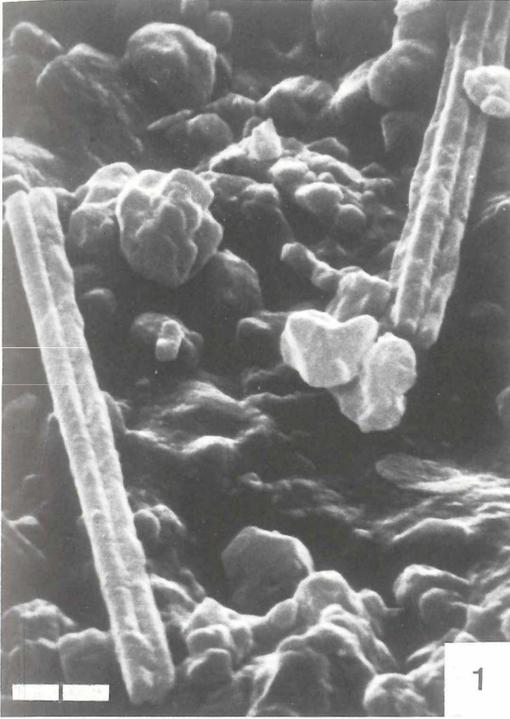
► S.S.60

## **Tafel 20: Pseudolithravidites quattuorbacillatus KEUPP, 1976 aus dem Malm zeta 2b**

Fig. 1 und 2: Holotyp von Schernfeld. Probe S 36/37-2; REM-Foto 2298 bzw. 2301

Fig. 3: Exemplar mit partiell eingeschaltetem Mittelsteg; Harthof bei Eichstätt. Probe E1/B-1; REM-Foto 2882

Fig. 4: Kurzstengeliges Exemplar vom Harthof. Probe E1/M-5; REM-Foto 2342



Tafel 20

- FORCHHEIMER, S.** (1968): Die Coccolithen des Gault-Cenoman, Cenoman und Turon in der Bohrung Höllviken I, Südwest-Schweden. – Sver.Geol.Unders.Ser.C, **635**, 1-84, Stockholm
- GARDET, M.** (1955): Contribution à l'étude des coccolithes des terrains Néogènes de l'Algérie. – Publ.Serv.Carte Géol. Algérie, ser. 2, Bull, **5**, 477-550, Alger
- GORKA, H.** (1957): Les Coccolithophoridés du Maastrichtien supérieur de Pologne. – Acta palaeont.pol., **2**, 1, 235-284, Warschau
- GRÜN, W., KITTLER, G., LAUER, G., PAPP, A. & SCHNABEL, W.** (1972): Studien in der Unterkreide des Wienerwaldes. – Jb. geol. Bundesanst., **115**, 103-186, Wien
- GRÜN, W., PRINS, B. & ZWEIL, F.** (1974): Coccolithophoriden aus dem Lias epsilon von Holzmaden (Deutschland). – N.Jb.Geol. Paläont.Abh., **147**, 3, 294-328, Stuttgart
- GRÜN, W. & ALLEMANN, F.** (1975): The Lower Cretaceous of Caravaca (Spain) – Berriasian Calcareous Nannoplankton of the Miravetes Section (Subbetic Zone, Prov. of Murcia). – Eclog. Geol.Helv., **68**, 1, 147-211, Basel
- HATTIN, D. E.** (1975): Petrology and origin of fecal pellets in Upper Cretaceous strata of Kansas and Saskatchewan. – J.Sed. Petrol., **45**, 3, 686-696, Tulsa
- HAY, W. W. & MOHLER, H. P.** (1967): Calcareous Nannoplankton from Early Tertiary Rocks at Pont Labau, France, and Paleocene – Early Eocene Correlations. – J.Paleont., **41**, 6, 1505-1541, Tulsa
- HILL, III, M. E.** (1976): Lower Cretaceous calcareous nannofossils from Texas and Oklahoma. – Palaeontograph.Abh.B, **156**, 4-6, 103-179, Stuttgart
- HOFFMANN, N.** (1970): Coccolithineen aus der weißen Schreibkreide (Unter-Maastricht) von Jasmund auf Rügen. – Geologie, **19**, 7, 846-859, Berlin
- HONJO, S.** (1976): Coccoliths: Production, Transportation and sedimentation. – Marine Micropal., **1**, 65-79, Amsterdam
- KEUPP, H.** (1976a): Neue Coccolithen aus dem Solnhofener Plattenkalk I. – Geol.BI.NO-Bayern, **26**, 2, 95-104, Erlangen
- \_\_\_\_\_(1976b): Kalkiges Nannoplankton aus den Solnhofener Schichten (Unter-Tithon, Südliche Frankenaab). – N.Jb.Geol. Paläont.Mh., **1976**, 6, 361-381, Stuttgart
- \_\_\_\_\_(1976c): Der Solnhofener Plattenkalk – Ein neues Modell seiner Entstehung. – Jahresmitt.Naturhist.Ges.Nürnberg, **1975**, 19-36, Nürnberg
- \_\_\_\_\_(1977): Der Solnhofener Plattenkalk – Ein Blaugrünalgen Laminit. – Paläont.Z., **51**, 112, 102-116
- NOEL, D.** (1965a): Note préliminaire sur des Coccolithes siques. – Cah.Micropaléont.Cent.nat.Rech.sci., ser. 1, 1, 1-12, Paris
- \_\_\_\_\_(1965b): Sur les Coccolithes du Jurassique Européen et d'Afrique du Nord. Essai de classification des coccolithes fossiles. – CNRS, 1-212, Paris
- \_\_\_\_\_(1970): Coccolithes Crétacés: la craie companienne du Basin de Paris. – CNRS, S. 1-129, Paris
- \_\_\_\_\_(1972): Nannofossiles calcaires de sédiments jurassiques finement laminés. – Bull.Mus.Nat.Hist., Ser. 3, **75**, 95-156, Paris
- PERCH-NIELSEN, K.** (1968): Der Feinbau und die Klassifikation der Coccolithen aus dem Maastrichtien von Dänemark. – Det. Kong.Dan.Vidensk.Selskap, Biol.Skr., **16**, 1, 1-96, Kopenhagen
- PIENAAR, R. N.** (1968): Upper Cretaceous Coccolithophorids from Zululand, South Africa. – Palaeontology, **11**, 3, 361-367, London
- \_\_\_\_\_(1969): Upper Cretaceous calcareous nannoplankton from Zululand, South Africa. – Palaeont.Afric., **12**, 75-149, Johannesburg
- REINHARDT, P.** (1964): Einige Kalkflagellaten-Gattungen (Coccolithophoriden, Coccolithineen) aus dem Mesozoikum Deutschlands. – Monatsber.Dt.Akad.Wiss.Berlin, **6**, 10, 749-759, Berlin
- \_\_\_\_\_(1965): Neue Familien für fossile Kalkflagellaten (Coccolithophoriden, Coccolithineen). – Monatsber.Dt.Akad.Wiss. Berlin, **7**, 1, 30-40, Berlin
- \_\_\_\_\_(1966): Zur Taxonomie und Biostratigraphie des fossilen Nannoplanktons aus dem Malm, der Kreide und dem Alttertiär Mitteleuropas. – Freiberger Forschungsh., **C 196**, 5-109, Leipzig
- \_\_\_\_\_(1967): Fossile Coccolithen mit rhagoidem Zentralfeld (Fam.Ahnuellerellaceae,Subord.Coccolithineae). – N.Jb.Geol. Paläont.Mh., **1967**, 3, 163-178, Stuttgart
- \_\_\_\_\_(1969): Neue Coccolithenarten aus der Kreide. – Monatsber.Dt.Akad.Wiss.Berlin, **11**, 932-938, Berlin
- \_\_\_\_\_(1970): Synopsis der Gattungen und Arten der mesozoischen Coccolithen und anderer kalkiger Nannofossilien, Teil I. – Freiberger Forschungsh., **C 260**, 5-33, Leipzig
- \_\_\_\_\_(1970): Synopsis der Gattungen und Arten der mesozoischen Coccolithen und anderer kalkiger Nannofossilien, Teil II. – Freiberger Forschungsh., **C 265**, 43-111, Leipzig
- \_\_\_\_\_(1971): Synopsis der Gattungen und Arten der mesozoischen Coccolithen und anderer kalkiger Nannofossilien, Teil III. – Freiberger Forschungsh., **C 267**, 19-41, Leipzig
- \_\_\_\_\_(1972): Coccolithen. – Neue Brehm-Bücherei, **453**, 1-99, Wittenberg
- REINHARDT, P. & GORKA, H.** (1967): Revision of some upper Cretaceous Coccoliths from Poland and Germany. – N.Jb.Geol. Paläont.Abh., **129**, 3, 240-256, Stuttgart
- ROOD, P. & BARNARD, T.** (1972): On Jurassic Coccoliths: Stephanolithon, Diadozygus and Related Genera. – Eclog.Geol. Helv., **65**, 2, 327-342, Basel
- ROOD, A. P., HAY, W. W. & BARNARD, T.** (1971): Elektron Microscope Studies of Oxford Clay Coccoliths. – Eclog.Geol. Helv., **64**, 2, 245-272, Basel
- \_\_\_\_\_(1973): Electron Microscope Studies of Lower and Middle Jurassic Coccoliths. – Eclog.Geol.Helv., **66**, 2, 365-382, Basel
- SHUMENKO, S.I.** (1969): Elektronnomikroskopopscheskoe isutschenie turonskich kokkolithoforid wostoka USSR i oblasti kurskoj magnitnoj anomalii. – Paleont.Sb. **6**, 68-73, L'vov
- \_\_\_\_\_(1970): Elektronnomikroskopopscheskoe isutschenie turonskich kokkoliforid wostoka USSR i oblasti kurskoj magnitnoj anomalii. – Paleont.Sb., **7**, 71-76, L'vov
- SMAYDA, T. J.** (1970): The suspension and sinking of phytoplankton in the sea. – Oceanogr.Mar.Biol. Ann.Rev. **8**, 353-414
- STRADNER, H.** (1963): New contributions to mesozoic stratigraphy by means of nannofossils. – 6. World Petrol.Congr.Frankfurt, 1963, Sect. 1, 4, 1-16, Frankfurt/Main
- TAPPAN, H. & LOEBLICH, A. R.** (1966): Masiovela nom.nov. – Taxon, **15**, 1, 43
- THIERSTEIN, H. R.** (1973): Lower Cretaceous Calcareous Nannoplankton Biostratigraphy. – Abh.geol.Bundesanst., **29**, 1-52, Hannover
- VACHRAMEEVA, V. A., RABCENKO, G. P. & TACHTABTÄNA, A.L.** (1963): Osnovy paleontologii, **14**, 698 S., Moskau
- WORSLEY, T. R.** (1971): Calcareous Nannofossil Zonation of Upper Jurassic and Lower Cretaceous sediments from the Western Atlantic. – Proc.II.plankt.Conf.Roma (1970), 1301-1321, Rom

### 3.2 Familie *Calcisphaerulidae* BONET, 1956

Unter dem Oberbegriff Calcisphären werden Organismen unterschiedlicher systematischer Zugehörigkeit zusammengefaßt.

Erhebliche Unterschiede bestehen bei paläozoischen und mesozoischen Formen in Bezug auf Größe, Wandaufbau und vor allem hinsichtlich der faziellen und ökologischen Abhängigkeit. Die Familie *Calcisphaerulidae* wird deshalb hier nur für meist kleine, mesozoische, einkammerige, kalkschalige Körper unsicherer taxonomischer Zuordnung im Sinne von BOLLI (1974) verwendet.

Auf die bewegte Erforschungsgeschichte der Calcisphären, die z.T. gesteinsbildende Funktion in Jura- und Kreidesedimenten des Tethysraumes und der Epikontinentalentwicklung („Orbulinarit-Fazies“ BESCHOREN, 1926; LOCKER, 1967) haben, will ich mit dem Verweis auf zusammenfassende Darstellungen bei BORZA (1964) und BOLLI (1974) nicht näher eingehen. Die Zuordnung der unter zahlreichen Gattungen beschriebenen Sphären zu den Foraminiferen (KAUFMANN in HEER, 1865; LORENZ, 1901; WANNER, 1940; VOGLER, 1941) wurde zunächst von LOMBARD (1945) bezweifelt. Er hält die schon 1938 abgebildeten *Stomiosphaera*-Typen für Sporen verschiedener Algen: *Chlorophyceae*, *Globochaete*, *Eotryx*. POKORNY (1954, 1958) und BONET & TROJE (1958) reihen diese Formen ohne nähere Spezifizierung bei den Protozoen ein. Das überwiegende Vorkommen der Calcisphären in küstenfernen bis pelagischen Sedimenten (BORZA, 1964; LOCKER, 1967; BOLLI, 1974; u.a.) führte zur Deutung als Mikroplankton. DOBEN (1973) versucht, die Gattung *Stomiosphaera* WANNER, 1940 und *Cadosina* WANNER, 1940 in Anlehnung an die Einordnung von *Thoracosphaera* KAMPTNER, 1927 bei den Kalkflagellaten in die Verwandtschaft der Coccolithophoriden zu stellen.

Rezentbeobachtungen haben Hinweise auf Ähnlichkeiten mit Dauerzysten von Dinoflagellaten erbracht (WALL, GUILLARD, DALE, SWIFT & WATABE, 1970). FÜTTERER (1976) hat recht anschaulich den Zusammen-

hang zwischen *Thoracosphaera* und den Dauerzysten kalkiger Dinoflagellaten aufgezeigt. Trotz einiger Unterschiede dieser Sphären zu *Pithonella*, von denen nur die mögliche Anzahl der die Wandung aufbauenden Schichten qualitativen Charakter zu haben scheint, hebt er die „verblüffende“ Ähnlichkeit beider Gattungen hervor.

Die Tatsache, daß im fossilen Material Individuen mit und ohne Gehäuseöffnung vorkommen, ist für BOLLI (1974) Anlaß, die Calcisphären mit der von ihm neu definierten Gattung *Pithonella* LORENZ, 1901 als Zysten noch unbekannter Algen aufzufassen. Die Exemplare ohne Apertur seien danach als Frühstadien anzusehen, während die Öffnung ein späteres, ontogenetisches Stadium sei. In diesem Zusammenhang erscheint der Nachweis interessant, daß bei rezenten Dasycladaceen ähnliche Sporen-Zysten ausgebildet werden können (MARSZALEK, 1975).

Die gegenüber der lichtoptischen Untersuchung von Dünnschliffen, auf der die Aufstellung der 12 bekannten Genera mesozoischer Calcisphären beruht, wesentlich detailliertere Aussagemöglichkeit der Raster-Elektronenmikroskopie erfordert, ähnlich wie bei der Coccolithen-Taxonomie, eine Neufassung der Gattungs- und Artmerkmale. Nachdem sich die äußere Gestalt, die Ausbildung einer Gehäuse-Öffnung und die Anzahl der einzelnen wandaufbauenden Schichten als sehr variabel erwiesen haben, bleibt als sicheres Artkriterium nur die weitgehend jenseits der lichtoptischen Möglichkeiten erkennbare Kristallit-Anordnung innerhalb der Wandung (BOLLI, 1974). Die Kriterien der lichtoptisch definierten Gattungen und Arten sind demnach nicht relevant. BOLLI sah sich daher – leider ohne Berücksichtigung des Typmaterials der früheren Autoren – gezwungen, die Arten nach raster-elektronenoptischen Eigenschaften neu zu definieren. Folgende Gattungen faßt er als Synonyme von *Pithonella* LORENZ, 1901 auf:

*Stomiosphaera* WANNER, 1940  
*Cadosina* WANNER, 1940  
*Cadosinella* VOGLER, 1941  
*Calcisphaerula* BONET, 1956

*Parastomiosphaera* NOWAK, 1968  
*Carpistomiosphaera* NOWAK, 1968  
*Colomiosphaera* NOWAK, 1968  
*Hemiosphaera* NOWAK, 1968

## Genus *Pithonella* LORENZ, 1901

### *Pithonella gustafsoni* BOLLI, 1974

(Taf. 21, Fig. 1-4; Taf. 22, Fig. 1, 3)

★ 1974: *Pithonella gustafsoni* BOLLI, n.sp. – BOLLI, S.854; Taf. 3, Fig. 9-12; Taf. 12, Fig. 7-17; Taf. 13, Fig. 1-2; Taf. 22, Fig. 3

1976b: *Pithonella* cf. *gustafsoni* BOLLI, 1974 – KEUPP, S. 377; Abb. 29-30

### Beschreibung:

Die runden Gehäuse erreichen in den untersuchten Proben Durchmesser zwischen 20 und 35 Mikron. Die einschichtige Wand ist mit 1,5 bis 2,5 Mikron dünn, so daß der Innenraum durchschnittlich 75 bis 85% des Außendurchmessers einnimmt. Die Wand selbst ist aus kleinen, streng radial angeordneten Prismen aufgebaut. Die Außenfläche erhält durch Kantenverrundung der Kristallite, deren Querschnitt selten größer als 1 Mikron ist, ein an ein Kopfsteinpflaster erinnerndes Gepräge. Die Innenfläche der Wandung ist durch ein regelmäßiges Mosaik gekennzeichnet, das aus scharfkantigen Kristalliten zusammengesetzt ist (Neomorphismus?). Eine

Apertur konnte bei dem vorliegenden Material noch nicht mit Sicherheit nachgewiesen werden. Dem offensichtlichen Fehlen einer Öffnung entspricht das überwiegende Vorkommen unverfüllter Sphären.

*Pithonella gustafsoni*, für die BOLLI (1974) eine Verbreitung vom ? Oberapt bis Alb angibt, ist im Untersuchungsgebiet vom Malm zeta 1 (Röglinger Bankkalke) bis zeta 3 (Mörsheimer Schichten und Eichstätter Plattenkalk) geläufig. Im Malm zeta 2b kommt sie jedoch nur vereinzelt im Schichtflächenbereich vor.

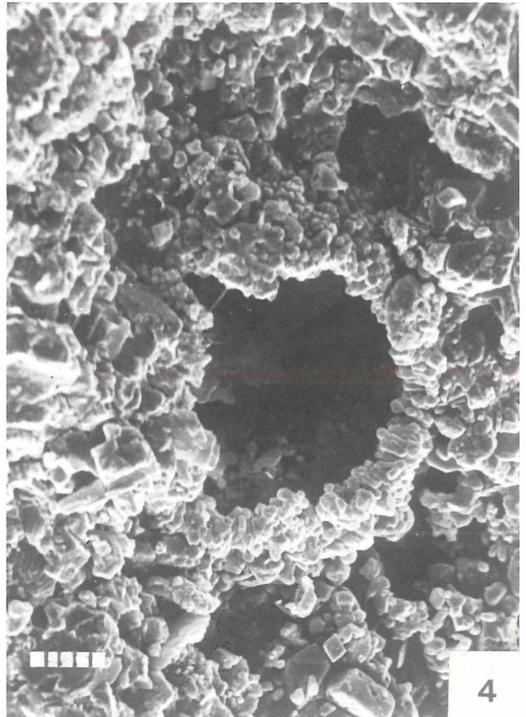
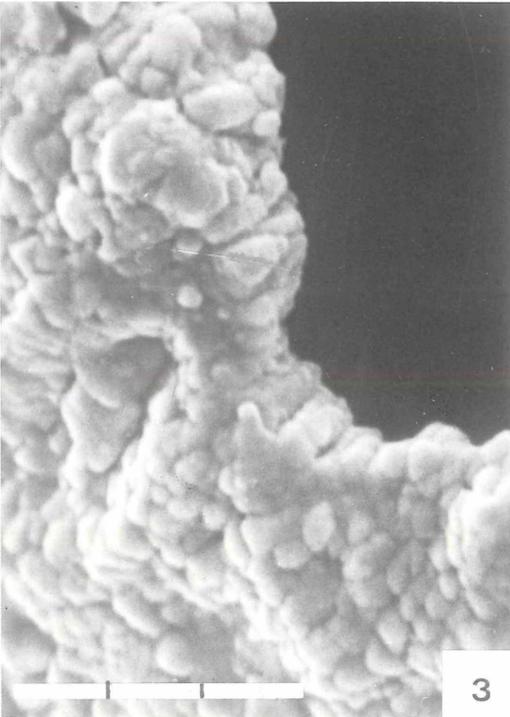
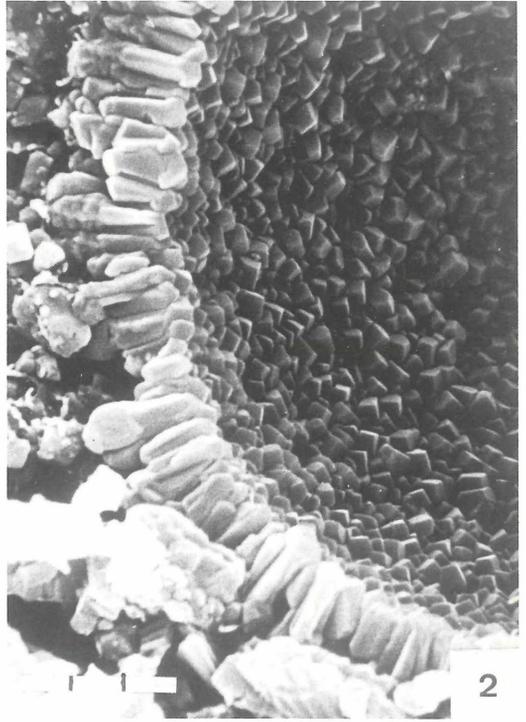
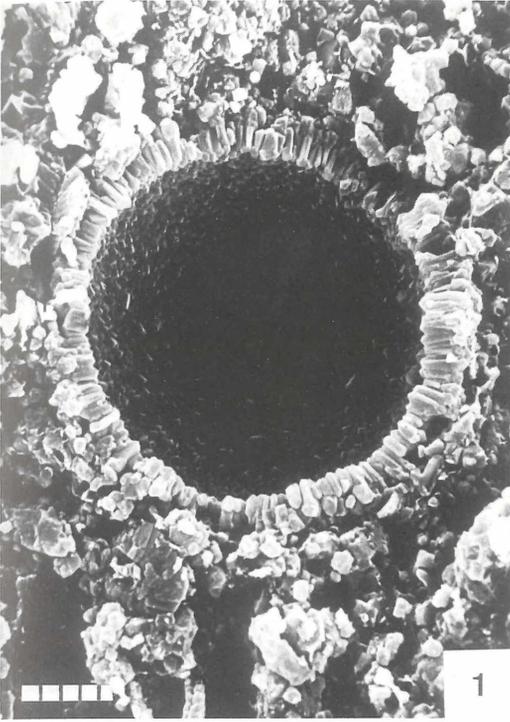
### Tafel 21: *Pithonella gustafsoni* BOLLI, 1974 aus den Solnhofener Schichten

Fig. 1: Aufgebrochenes Gehäuse aus den Mörsheimer Schichten vom Horstberg. Probe M II/4-1; REM-Foto 7423

Fig. 3: Sphären-Oberfläche mit gerundeten Kristalliten; Malm zeta 2b von Schernfeld. Probe S 18/19-6; REM-Foto 6453

Fig. 2: Ausschnitt-Vergrößerung von Fig. 1. REM-Foto 7424

Fig. 4: Vergleichbare Calcisphäre aus dem Malm zeta 2a von Rögling-Warching. Probe R-23; REM-Foto 6615



Tafel 21

***Pithonella cf. thayeri* BOLLI, 1974**

(Taf. 22, Fig. 2, 4)

★ 1974: *Pithonella thayeri* BOLLI n. sp. – BOLLI, S. 853; Taf. 1, Fig. 9-12; Taf. 8, Fig. 9-12; Taf. 9, Fig. 1-12; Taf. 21, Fig. 3  
1976b: *Pithonella cf. thayeri* BOLLI 1974 – KEUPP, S. 377-378; Abb. 28

**Beschreibung:**

Die im Malm zeta 2b selten vorkommenden Hohlkugeln haben einen Durchmesser von 20 bis 25 Mikron. Ihre Wandung ist mit 2 - 2,5 Mikron relativ dünn. Der verbleibende Innenraum beträgt durchschnittlich 75-80% des Außendurchmessers. Der Wandaufbau ist unregelmäßig, die z.T. großen Kalzitkristallite sind überwiegend tangential angeordnet. Entsprechend des Wandaufbaues erscheint die Oberfläche ungeordnet und uneben. Die Innenfläche ist oft durch kleine Kristallite, die sich im vorliegenden Material nicht zu einer

geschlossenen Lage vereinigen, ausgekleidet.

In ihrem Gesamthabitus ähnelt die nur einzeln im Schichtflächenbereich vorkommende *Pithonella cf. thayeri* den als coccale Cyanophyceen gedeuteten gesteinsbildenden Sphären (vergl. Taf. 25, 26). Letztere massenhaft im Schichtinneren auftretenden Formen unterscheiden sich jedoch durch ihre geringere Größe (8 bis 20 Mikron) und die dickere Wandung (freier Innenraum 50-70% des Außendurchmessers).



Abb. 7: *Pithonella piriformis* n. sp.; die kleinen Kristallite der Innenraum-Auskleidung sind bei diesem Exemplar zu einer dritten Lage zusammengeschlossen. Probe M II-4; REM-Foto 7464; vergr. 2500 X

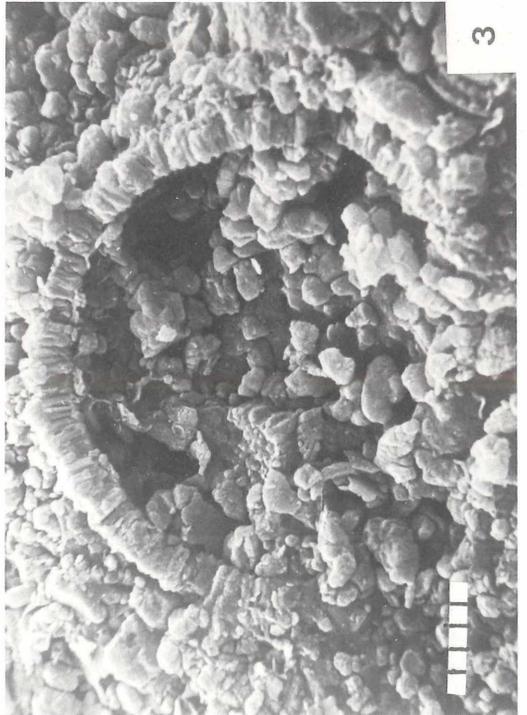
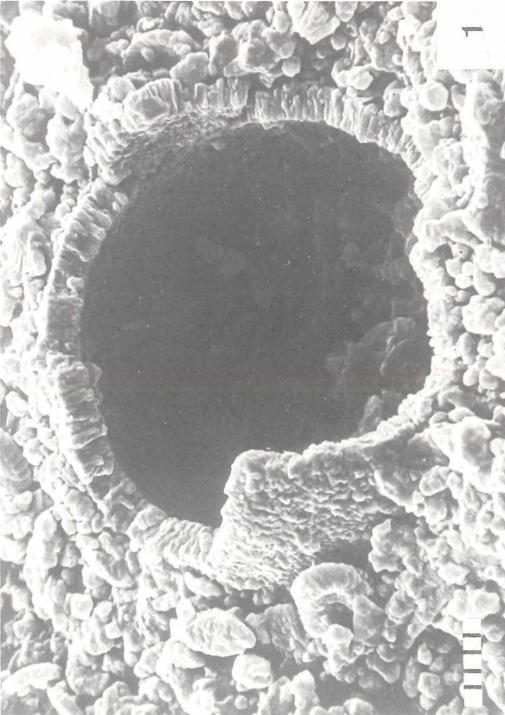
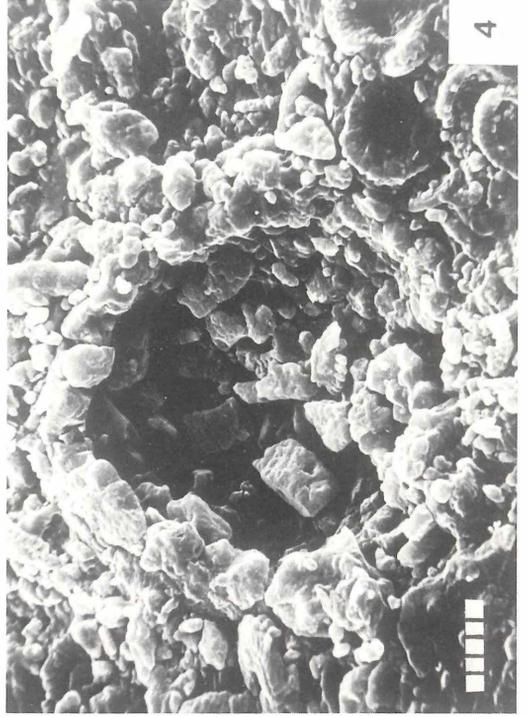
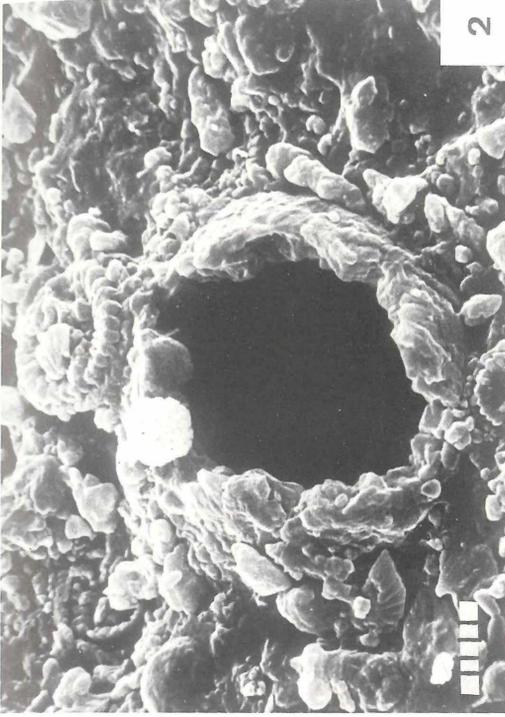
**Tafel 22:** Calcisphaeruliden aus dem Malm zeta 2b von Schernfeld

Fig. 1: *Pithonella gustafsoni* BOLLI, 1974 auf einer Fäulen-Schichtfläche. Probe S 18/19-11; REM-Foto 6048

Fig. 3: Vor der Einbettung zerbrochene *Pithonella gustafsoni* BOLLI, 1974 mit Sedimentfüllung. Probe S 18-1; REM-Foto 1013

Fig. 2: *Pithonella cf. thayeri* BOLLI, 1974 auf derselben Probe. REM-Foto 1916

Fig. 4: Aufgebrochene und verfüllte Sphäre von *Pithonella cf. thayeri* BOLLI, 1974. Probe S 18/19-11; REM-Foto 1922



Tafel 22

### ***Pithonella piriformis* n. sp.**

(Tafel 23, Fig. 1-5; Abb. 7)

Derivatio nominis: pirum (lat.): die Birne

Holotyp: REM-Foto 7418 (Taf. 23, Fig. 3)

Probe M II-4/1; aufbewahrt: Paläontologisches Institut, Universität Erlangen

Abmessungen des Holotyps: Länge 48 Mikron, Breite 28 Mikron

Locus typicus: Steinbruch-W-Wand am Horstberg bei Mörsheim; Meßtischblatt Monheim, r 26480, h 15280

Stratum typicum: Unter-Tithon (Malm zeta 3 = Mörsheimer Schichten); 2 cm mächtiger, roter Mergel 3,6 m über Top der Hangenden Krummen Lage.

Diagnose: Birnenförmige Calcisphären mit doppelschichtiger Wand

### **Beschreibung:**

Die äußere Gestalt ist birnenförmig mit weit ausgezogenem Hals. Die Länge beträgt 45 bis 55 Mikron bei einer maximalen Breite zwischen 25 und 35 Mikron. Das Längen-Breiten-Verhältnis liegt demnach bei 1,7 - 2. Die Breite des Innenraumes, der i.a. nicht verfüllt ist, beträgt beim Holotyp nur 35% der Gesamtbreite. Das Fehlen einer Sedimentfüllung stützt die Vermutung, daß meist keine Apertur ausgebildet ist. Sehr charakteristisch ist der Aufbau der dicken Wandung:

Die äußere Lage ist meist um 4 Mikron dick. Sie besteht aus streng radial angeordneten,

etwa 1 Mikron breiten Kalzitkristalliten, die nach außen etwas keilförmig verbreitert sind. Auf der Außenfläche sind die Kristallkanten meist gerundet. Entlang einer scharfen Trennlinie ist die meist geringfügig dickere (4 bis 4,5 Mikron) innere Lage angesetzt. Ihre Kristallite sind groß und in der Regel schräg zur Oberfläche angelagert. Die Innenfläche wird durch eine Tapete sehr kleiner, idiomorpher Kalzitrhomboeder eingegebenet, die sich im Ausnahmefall zu einer schmalen dritten Lage verbinden können (Abb. 7).

### **Differentialdiagnose:**

Die spezifische Wandstruktur und die markante äußere Form lassen sich mit keiner der bisher elektronenoptisch beschriebenen *Pithonella*-Arten in Einklang bringen (BANNER, 1972; ANDRI & AUBRY, 1973; BOLLI, 1974; BEIN & REISS, 1976). Selbst die zahlreichen Dünnschliff-Untersuchungen (z.B. WANNER, 1940; VOGLER, 1941; BONET, 1956; BORZA, 1964, 1969, 1972; NOWAK, 1968; KNAUER, 1970, 1974; ANDRI, 1972 u.a.) erbrachten keine vergleichbaren Arten.

Sehr ähnliche Gebilde beschreiben BEHR & BEHR (1976) aus den Kimmeridge-Schwammkalken („Treuchtlinger Marmor“). Sie stellen die 20 bis 500 Mikron (im Durchschnitt 50 Mikron) großen, dickwandigen Hohlkugeln, bzw. von der Kugelgestalt abweichende Hohlkörper (u.a. Tropfenform), in die Verwandtschaft hormogonaler Cyanophyceen. *Pithonella piriformis* unterscheidet sich in folgenden Punkten von der bei BEHR & BEHR (1976: S. 284-285) gegebenen Beschreibung der Rivulariaceen:

1. Geringe Streuung in der Dimension
2. Ausschließliche Tropfen- bis Birnenform
3. Meistens solitäres Auftreten
4. Fehlen eines Längskanals in den keilförmigen Kristalliten
5. Feste Verwachsung der beiden Wandschichten
6. Unterschiedliche Kristallit-Anordnung der beiden Wandschichten.

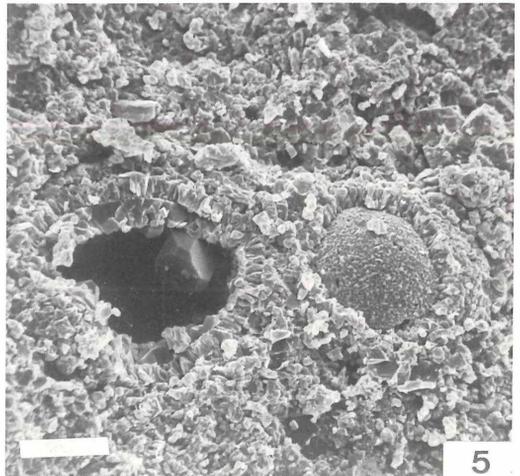
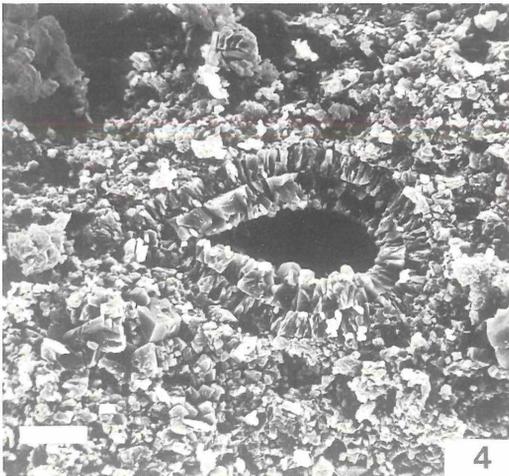
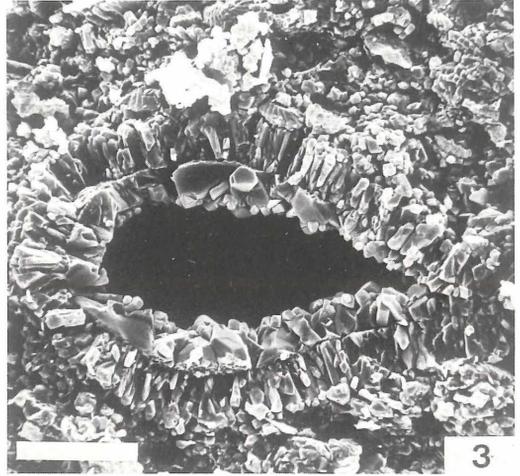
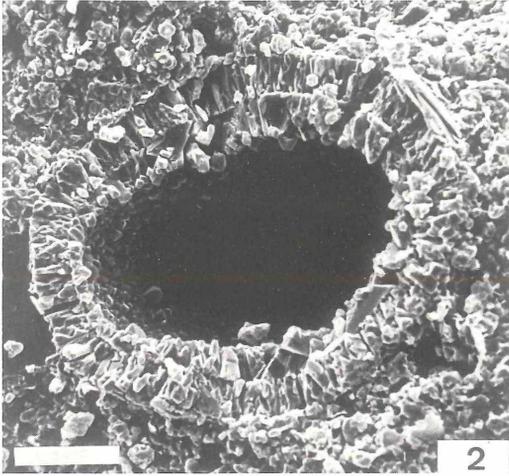
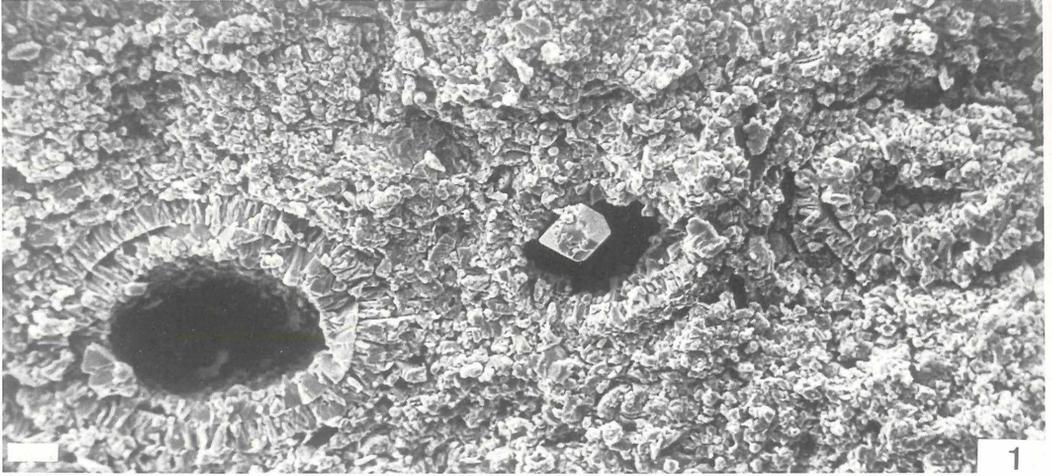
Vor allem die schräg zur Oberfläche orientierten Kristallite der inneren Wandung zeigen, daß eine Zuordnung der vorliegenden Sphären zu Rivularien nicht möglich ist, da bei dem von WALLNER (1936) und BEHR & BEHR (1976) beschriebenen Wachstumsmodus eine Abweichung von der radialen Kristallit-Anordnung kaum denkbar ist.

## Verbreitung:

*Pithonella piriformis* kommt sehr zahlreich in den Mörnshheimer Schichten (Malm zeta 3) vor. In den zeitgleichen Plattenkalken von Eichstätt konnte diese Form ebenso wie in tieferen Horizonten nicht gefunden werden. Ob sich in dem Vorkommen eine Faziesabhängigkeit widerspiegelt, muß vorerst offen bleiben.

## Literatur zu Kapitel 3.2

- ANDRI, E.** (1972): Mise au point et données nouvelles sur la famille des Calcisphaerulidae BONET 1956: les genres Bonetocardiella, Pithonella, Calcisphaerula et „Stomiosphaera“. – Rev. Micropaléontol., **15**, 1, 12-34, Paris
- ANDRI, E. & AUBRY, M.-P.** (1973): Recherches sur la micro-structure des tests de Pithonella ovalis (Kaufmann) et Pithonella perlonga Andri. – Rev. Micropaléontol., **16**, 3, 159-167, Paris
- BANNER, F. T.** (1972): Pithonella ovalis from the early Cenomanian of England. – Micropaleontology, **18**, 3, 278-284, New York
- BEHR, K. & BEHR, H.-J.** (1976): Cyanophyten aus oberjurassischen Algen-Schwamm-Riffen. – Lethaia, **9**, 3, 283-292, Oslo
- BEIN, A. & REISS, Z.** (1976): Cretaceous Pithonella from Israel. – Micropaleontology, **22**, 1, 83-91, New York
- BESCHOREN, B.** (1926): Cenoman und Turon der Kreidemulde von Sack bei Alfeld. – N.Jb.Min.Geol.Paläont., Beil.Bd. B, **55**, 87-132, Stuttgart
- BOLLI, H. M.** (1974): Jurassic and Cretaceous Calcisphaerulidae from DSDP LEG 27, Eastern Indian Ocean. – Init.Rep.DSDP, **27**, 843-907, Washington
- BONET, F.** (1956): Zonification microfaunistica de las calizas cretácicas del e te de Mexico. – 20.Intern.Geol.Congr., Mexico
- BONET, F. & TREJO, M.** (1958): Nuevos datos sobre la Familia Calcisphaerulidae (Protozoa). – Anal.Esc.Nac.Cienc.Biol., **9**, 43-48, Mexico
- BORZA, K.** (1964): Die Gattung Stomiosphaera WANNER, 1940 in den West-Karpaten. – Geol.Sbornik, **15**, 189-195, Bratislava
- \_\_\_\_ (1969): Die Mikrofazies und Mikrofossilien des Oberjuras und der Unterkreide der Klippenzone der Westkarpaten. – Verlag Slowak.Akad.Wiss., 301 S., Bratislava
- \_\_\_\_ (1972): Pithonella LORENZ und Palinosphaera REINSCH aus der oberen Kreide. – Geol.Sbornik, Geol.Carpathica, **23**, 139-150, Bratislava
- DOBEN, K.** (1973): Kalkflagellaten (Thoracosphaera und Stomiosphaera) im Mitteltithon von Neuburg a.d. Donau. – Geol. Bavarica, **667**, 169-171, München
- FÜTTERER, D.** (1976): Kalkige Dinoflagellaten („Calcicdinelloidae“) und die systematische Stellung der Thoracosphaeroidea. – N.Jb.Geol.Paläont.Abh., **151**, 2, 119-141, Stuttgart
- KAMPTNER, E.** (1927): Beitrag zur Kenntnis adriatischer Coccolithophoriden. – Arch.Protistenkunde, **58**, 173-184, Jena
- KAMPTNER, E.** (1956): Thoracosphaera Deflandrei nov.spec., ein bemerkenswertes Kalkflagellaten-Gehäuse aus dem Eozän von Donzacq (Dep.Landes, Frankreich). – Österr.Bot.Z., **103**, 4, 448-456, Wien
- KAUFMANN, F. J.** (1865): Polythalamien des Seewerkalkes. – in HEER, O.: Die Urwelt der Schweiz, 194-199, Zürich
- KEUPP, H.** (1976b): Kalkiges Nannoplankton aus den Solnhofener Schichten (Unter-Tithon, Südliche Frankenalb). – N.Jb. Geol.Paläont., Mh., **1976**, 6, 361-381, Stuttgart
- KNAUER, J.** (1970): Calcisphaerula, Pithonella and Stomiosphaera from Middle Cretaceous beds of the Bakony Mountains. – Földtani Közlöny, **100**, 1, 88-90, Budapest
- \_\_\_\_ (1974): Doppelschalige Cadosins (Protozoa ?) aus den Alb-Bildungen des Bakony-Gebirges. – Földtani Közlöny, **104**, 4, 423-431, Budapest
- LOCKER, S.** (1967): Die Sphären der Oberkreide und die sogenannte Orbularitfazies. – Geologie, **16**, 7, 850-859, Berlin
- LOMBARD, A.** (1938): Microfossiles d'attribution incertaine de Jurassique supérieur alpin. – Eclogae Geol.Helv., **30**, 2, Basel
- LOMBARD, A.** (1945): Attribution de microfossiles du Jurassique supérieur alpin à chlorophyceés (Proto-et Pleurococcaceés). – Eclog.geol.Helv., **38**, 1, Basel
- LORENZ, T.** (1901): Geologische Studien im Grenzgebiete zwischen helvetischer und ostalpiner Fazies. II. Teil: Südlicher Rhaetikon. – Ber.naturforsch.Ges.Freiburg i.Br., **12**, 34-62, Freiburg
- MARSZALEK, D. S.** (1975): Calcisphere ultrastructure and skeletal Aragonite from the alga Acetabularia antillana. – J.Sed. Petr., **45**, 1, 266-271, Tulsa
- NOWAK, W.** (1968): Stomiosphaerids of the Cieszyn Beds (Kimmeridgian-Hauterivian) in the Polish Cieszyn Silesia and their stratigraphic value. – Ann.Soc.Géol.Pologne, **38**, 275-327, Warszawa
- POKORNY, VI.** (1954): Základy zoologickej mikropaleontologie. – 652 S., Nakl.CSAV. Praha
- \_\_\_\_ (1958): Grundzüge der zoologischen Mikropaläontologie Bd. 1. – 582 S., VEB Deutschl.Verl.Wiss., Berlin
- VOGLER, J.** (1941): Oberjura und Kreide von Misol (Niederländisch Indien). – Paläontographica, Suppl. – Bd. **4**, Abt. **4**, 243-293, Stuttgart
- WALL, D., GUILLARD, R. R. L., DALE, B., SWIFT, E. & WATABE, N.** (1970): Calcitic resting cycts in Peridinium trochoideum (Stein) Lemmermann, an autotrophic marine dinoflagellate. – Phycologia, **9**, 2, 151-156,
- WALLNER, J.** (1936): Zur Kenntnis der Kalkbildung in der Gattung Rivularia. – Beih.Bot.Zentrabl., Abt. A, **54**, 151-155,
- WANNER, J.** (1940): Gesteinsbildende Foraminiferen aus Malm und Unterkreide des östlichen Ostindischen Archipels. – Paläontol.Z., **22**, 2, 75-99, Stuttgart



## 4. Die Ultrafazies des Solnhofener Plattenkalkes

Seit der Begründung des Fazieskonzeptes durch A. GRESSLY (1838) spielt in der Karbonat-Petrographie die Fazies-Analyse eine wichtige Rolle bei der Ansprache und Interpretation von Karbonatgesteinen (vergl. z. B. in neuerer Zeit: BATHURST, 1971; MILLI-MAN, 1974; WILSON, 1975). Die zahlreichen Vorschläge für eine Kalk-Klassifikation gehen von Beobachtungen im Gelände, am Handstück (DUNHAM, 1962; LEIGHTON & PENDEXTER, 1962) und von Dünnschliff-Untersuchungen aus (FOLK, 1959, 1962; PLUMLEY et al., 1962; MONTY, 1963; TODD, 1966; FÜCHTBAUER, 1970). Die Gesamtheit der im Schliff-Bereich (Kleinbereich) typisierbaren paläontologischen und sedimentpetrographischen Merkmale wird als „Mikrofazies“ bezeichnet (FLÜGEL, 1976). In Anlehnung an dieses Mikrofazies-Konzept sei die Gesamtheit der paläontologischen und sedimentpe-

trographischen Merkmale, die sich jenseits der lichtoptischen Auflösungsgränze befinden, als „Ultrafazies“ verstanden. Der Begriff ist demnach, analog dem Mikrofazies-Begriff, definiert durch:

1. die Untersuchungsmethode (Elektronenoptik)
2. den Untersuchungsbereich (Mikrometer)

Der Hauptanwendungsbereich der Ultrafazies-Untersuchung konzentriert sich auf die sogenannten „Mikrite“: feinkörnige Kalke (Korngrößen unter 4 Mikron; FOLK, 1959), deren Auflösung im Dünnschliff nicht mehr gegeben ist. Der Einsatz der Elektronenmikroskope ermöglichte schon 1969 erste Versuche einer Mikrite-Klassifikation (HONJO), bei der die Unterscheidung zwischen Nannokrit und Orthomikrite eine genetische Interpretation gestattet.

### 4.1 Faziestypen des Plattenkalkes im Malm zeta 2b von Solnhofen und Eichstätt

Aufgrund der unterschiedlichen Menge an Tonmineralien und der daraus resultierenden Differenzierung in der Diagenese unterscheiden die Steinbrucharbeiter auf Schlagbeanspruchung verschieden reagierende Materialtypen. FESEFELDT (1962, S. 15-16) verwendet in Anlehnung an die bei den Steinbrucharbeitern gebräuchliche Gesteinsansprache folgende Faziestypen in der Solnhofener Wanne, der sich auch EDLINGER (1964) für den Eichstätt Raum weitgehend anschließt:

1. Fäule
2. Zähle Fäule
3. Zäher Flinz
4. Flinz (einschließlich „Blätterflinz“, der etwa dem Begriff „Schiefer“ bei EDLINGER (1964) bzw. FREYBERG (1968) entspricht)

Die Übergänge zwischen den 4 Faziestypen sind gleitend. Innerhalb des Schichtstoßes tritt ein unregelmäßiger Wechsel zwischen

**Tafel 23:** *Pithonella piriformis* n.sp. aus den Mörsheimer Schichten (Malm zeta 3) vom Horstberg bei Mörsheim. Der Maßstab entspricht hier jeweils 10 Mikron.

Fig. 1: Drei Exemplare im Horizontalschnitt. Probe M II-4; REM-Foto 7465

Fig. 2: Horizontalschnitt. Probe M II-6; REM-Foto 7432

Fig. 4: Weiteres Exemplar im Vertikalschnitt. Probe M II/4-1; REM-Foto 7421

Fig. 3: Holotyp; der Vertikalschnitt läßt die Birnenform deutlich werden. Probe M II/4-1; REM-Foto 7418

Fig. 5: Die scharfe Trennung der beiden Wandschichten wird durch die Möglichkeit des Abschälens belegt. Probe M II/7-6; REM-Foto 7600

den kalkigen Flinzen und den mergeligen Fäulen auf. So wird i. a. eine Sequenz mehrerer eben spaltender Flinze (maximal 20), die zusammen ein „Flinzpaket“ bilden, von einer unterschiedlich mächtigen, sehr feinschichtigen Fäulenlage begrenzt.

Im Solnhofener und Eichstätter Raum entsprechen die „Krummen Lagen“ im Liegenden und Hangenden des Plattenkalkschichtstoßes in ihrer faziellen Ausbildung den nicht submarin gerutschten Schichten. Allochthones Material in Form von Riffschutt, wie es in den Randgebieten des Plattenkalk-Areals (z. B. Paintener und Kelheimer Wanne) in zahlreichen Rutschmassen und Turbiditen den Plattenkalken zwischengeschaltet ist (vergl. STREIM, 1961; RUTTE, 1962; SCHAIRER, 1968; SCHAIRER & LUPU, 1969; JANICKE, 1967, 1969; MEYER, 1974; FLÜGEL et al., 1975; FAY, 1976; u. a.), fehlt im Kerngebiet von Solnhofen und Eichstätt weitgehend.

Der Tonanteil scheint bevorzugt im Bereich der einzelnen Schichtflächen angereichert zu sein. Das läßt sich teils auf eine erhöhte Tonfällung während dieser Sedimentationsunterbrechung, teils auf eine sekundäre Anreicherung infolge von Drucklösung zurückführen. Eine enge Sequenz von Schichtflächen, wie sie bei den Fäulen auftritt, hat somit einen höheren Tongehalt zur Folge. Das Zusammenspiel zwischen Tongehalt und Schichtmächtigkeit steuert die Möglichkeit der Porenwasser-Zirkulation und somit das Ausmaß der diagenetischen Veränderung, insbesondere der Zementation. Diese Faktoren führen zusammen mit Textur-Unterschieden zur Ausbildung der verschiedenen Fazies.

Zur Darstellung der Standardfazies-Typen wurde, um subjektive Ansprache-Differenzen auszuschließen, weitgehend das Belegma-

#### Tafel 24:

Fig. 1: Kleine Rhomboeder-Hohlform im Inneren eines dichten, für Lithographiezwecke verwendeten Flinzes von Lichtenberg kann eventuell als ausgelöster Dolomit oder Hoch-Mg-Kalzit gedeutet werden. Probe Li-3; REM-Foto 4273

Fig. 3: Vielleicht vergleichbare Hohlform im Inneren einer Fäule von Schernfeld. Probe S 18/19-1; REM-Foto 5251

Fig. 5: Analoge Bildung im Malm zeta 2b von Schernfeld. Probe S 1-4; REM-Foto 5999

terial von FESEFELDT (1962) zur Untersuchung herangezogen. Diese unter REM-Nr. FE-1 bis FE-7 registrierten Proben können, wie der Vergleich mit den Proben der untersuchten Profile zeigt, als repräsentativ angesehen werden.

Die mit Hilfe von REM-Fotos erzielten Korngrößenspektren basieren auf dem sogenannten „ribbon sampling“-Verfahren (PLAAS, 1962), bei dem alle Körner innerhalb bestimmter Felder in ihrer größten Achse gemessen werden. Die so im Feld-Verfahren erzielten Werte geben die Zahlenhäufigkeit der einzelnen Korngrößen wieder. Sie sind nicht direkt mit den Volumenverhältnissen, wie sie beim Sieb-, Point-Counter- oder Linien-Verfahren erzielt werden, vergleichbar (STAUFER, 1966; FLÜGEL, 1976).

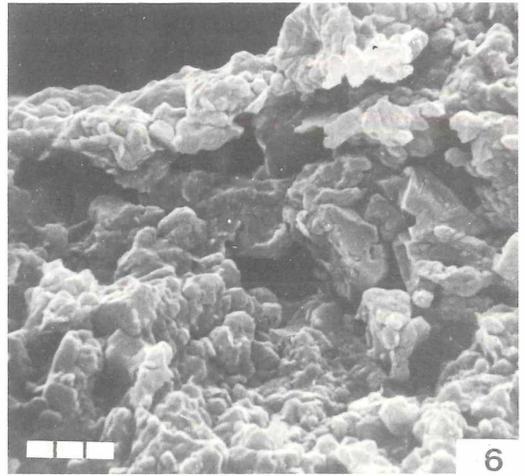
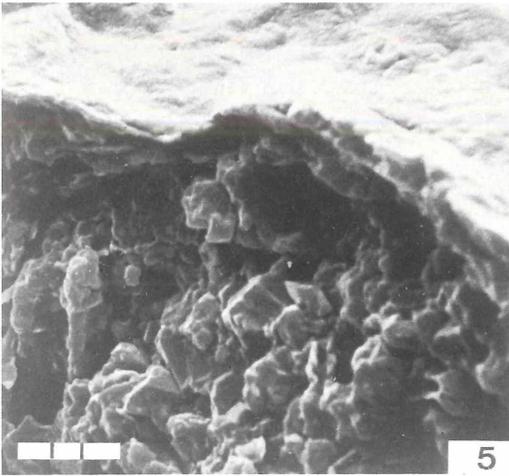
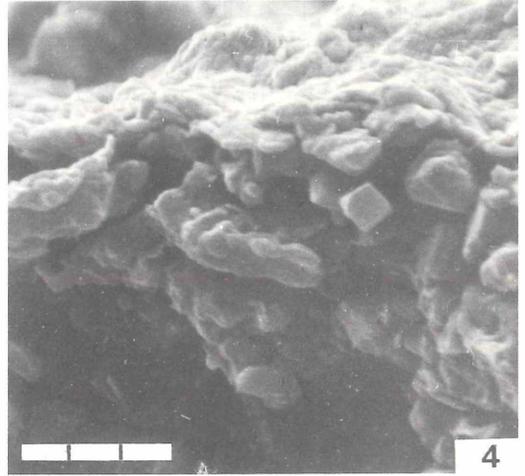
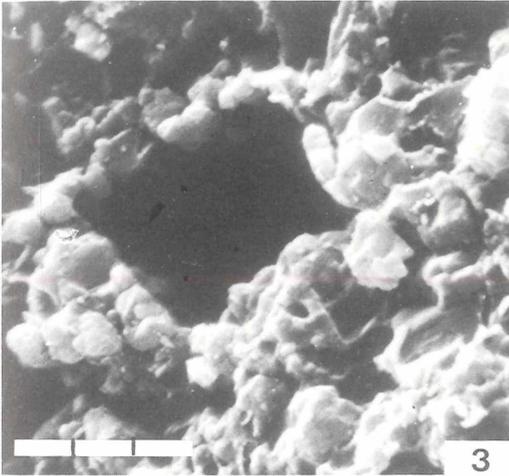
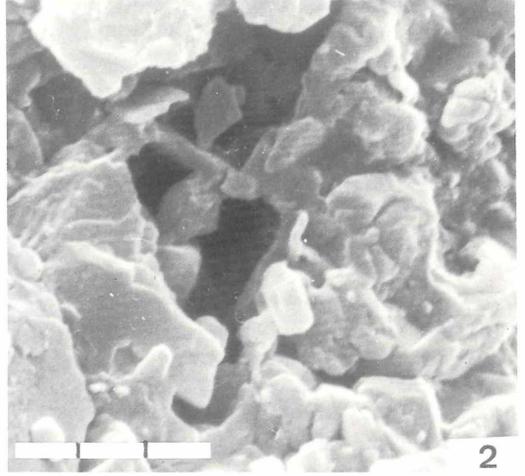
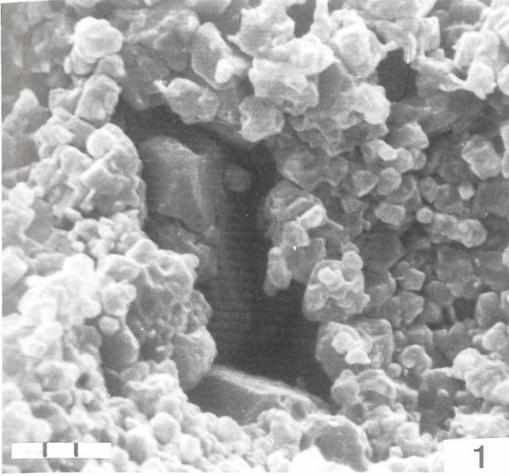
### 1. Die Fäulen

Sie bestehen aus mergeligem Kalk mit einem Tongehalt zwischen 10 und 20% (HÜCKEL, 1974). Die mineralogische Zusammensetzung des Tonanteils soll erst im Zusammenhang mit dem Genese-Modell des Solnhofener Plattenkalkes berücksichtigt werden. Die Schichtstärken der Fäulen schwanken zwischen 0,05 und 0,2 mm, wobei die Schichtfugen z. T. etwas welligen und unregelmäßigen Verlauf zeigen können (MÜNCH, 1955; FESEFELDT, 1962). Die Ultrafazies ist durch einen sehr hohen Porenraum (Porenanteil aus dem Quotienten von Trockendichte zur Korndichte bei 0,24 bis 0,26) gekennzeichnet. Er geht auf nicht verfüllte Hohlkugeln coccaler Cyanophyceen zurück (s. u.). Die kantenverrundeten Matrix-Kristallite zeigen ein deutliches Maximum zwischen 1 und 3 Mikron. Eine geringe Streuung der Korngröße nach oben wird durch die mit deutlichen Kristallflächen versehenen Kalzithomboeder be-

Fig. 2: Ähnliche Rhomboeder-Hohlform im Bereich einer Latentschichtlage eines Lithographie-Steines. Probe Li-1; REM-Foto 4264

Fig. 4: Durch eine schichtparallele Drucklösung entsteht eine Oberflächenkruste infolge enger Verfilzung von Tonmineralien, Probe S 112/113-1 (Malm zeta 3), REM-Foto 2539

Fig. 6: Weniger deutliche Ausbildung der Drucklösungsfront. Der die Schichtfläche markierende Coccolith ist nicht in Mitleidenschaft gezogen. Probe S 18-1b; REM-Foto 4897



Tafel 24

wirkt, die als beginnende Zementation in den Hohlräumen auftreten. Coccolithen finden sich mit überwiegender Mehrheit nur auf den Schichtflächen. Bei Betrachtung einer Fäulenlage senkrecht zur Schichtung erscheint die Trennfläche infolge der Anreicherung von Tonmineralien als eine mehr oder weniger kompakte Oberflächenhaut (Taf. 24, Fig. 4-6).

## 2. Die zähen Fäulen

Hierunter versteht FESEFELDT (1962) Fäulen, deren deutliches Schichtgefüge zugunsten einer unregelmäßigen Flaserung aufgehoben ist. Durch den nicht mehr so vollständigen Zirkulationsstau der Porenlösungen an den Schichtflächen tritt i.a. eine etwas stärkere Zementation auf, die sich in der Korngrößen-Verteilung durch das Auftreten einzelner bis 15 Mikron großer Kalzit-rhomboeder bemerkbar macht. Im übrigen liegt eine völlige ultrafaziale Übereinstimmung mit den Fäulen vor.

## 3. Die zähen Flinze

Sie stellen noch etwas stärker tonhaltige, z.T. unregelmäßig geschichtete Flinze dar, die einen rauhfächigen, muscheligen Bruch aufweisen. Eine Trennung von den zähen Fäulen ist oft nicht möglich. Die graduell weiter

zunehmende Zementation macht sich einmal in einer deutlichen Zunahme größerer Zementkristalle, und zum anderen im verringerten Porenvolumen (0,11 bis 0,14) bemerkbar.

## 4. Die Flinze

Die Flinze, bei denen FESEFELDT die weniger als 1 cm mächtigen Lagen als „Blätterflinz“ abtrennt, sind reine Kalke mit nur 2 bis 3% unlöslichem Rückstand. Ihre Schichtstärke kann in der Solnhofener Wanne bis 30 cm erreichen. Meist tritt eine deutliche Latentschichtung auf, die erkennen läßt, daß einem Flinz mehrere Sedimentationsvorgänge entsprechen. Die bessere Zirkulation der Porenlösungen, durch den geringen Gehalt an Tonmineralien und die größere Schichtmächtigkeit bedingt, ermöglichte eine weitgehende Zementation. Die Porosität ist auf Werte um 0,07 bis 0,08 zurückgegangen. Das Korngrößenmaximum ist zwar zwischen 1 und 3 Mikron deutlich, doch nicht mehr so ausgeprägt, wie bei den Fäulen. Die Überlagerung der primären, unregelmäßig klumpigen Kalzitkörner durch neomorph beeinflusste Kristallite und vor allem deutlich idiomorphem Niedermagnesiumkalzit-Zement wird im REM-Bild auffallend. Die höhere Dichte läßt beim Anschlagen einen glatten, muscheligen Bruch entstehen.

## Diskussion der Ergebnisse

Das Resultat der Korngrößenverteilung (vergl. Abb. 8-10) und der spezifischen Kornform innerhalb der 4 Faziestypen kann, wie folgt, zusammengefaßt werden:

Die geringfügigen Unterschiede im Korngrößenspektrum zwischen Fäulen und Flinzen lassen sich in Verbindung mit der Abnahme des Porenvolumens auf das Auftreten zunehmender Zementation zurückführen. Das Nebeneinander kleiner, wohl primär gerundeter Kalzitkörner bzw. frühdiagenetisch entstandenen Kornaggregaten und sekundär gewachsenen, größeren Kristalliten ist für die mäßige (bei direkter Übertragung der Zahlenwerte in die für Siebanalysen entwickelten Proportionen der Summenkurve) bis schlechte (bei Berücksichtigung der Volumenanteile) Sortierung

(i.S. FOLK & WARD, 1957; FRIEDMANN, 1962) verantwortlich.

Neben der Kongruenz der Korngrößenmaxima legt die übereinstimmende Korngestalt der primären Kalzitkristallite als unregelmäßig gerundete Körner und Aggregate für beide Fazies denselben Bildungsmechanismus aus coccalen Blaugrünalgen (s.u.) nahe. Die Unterschiede zwischen Flinz und Fäule sind demnach nur quantitativer, nicht aber qualitativer Natur.

Die Zusammensetzung des Mikrits aus Nanno-Organismen und das weitgehende Fehlen von Detritus („low energy conditions“) gestatten, das Sediment im Sinne HONJO's (1969) als Nannoagorit anzusprechen. Der „Orthomikrit“ unterscheidet sich durch sein

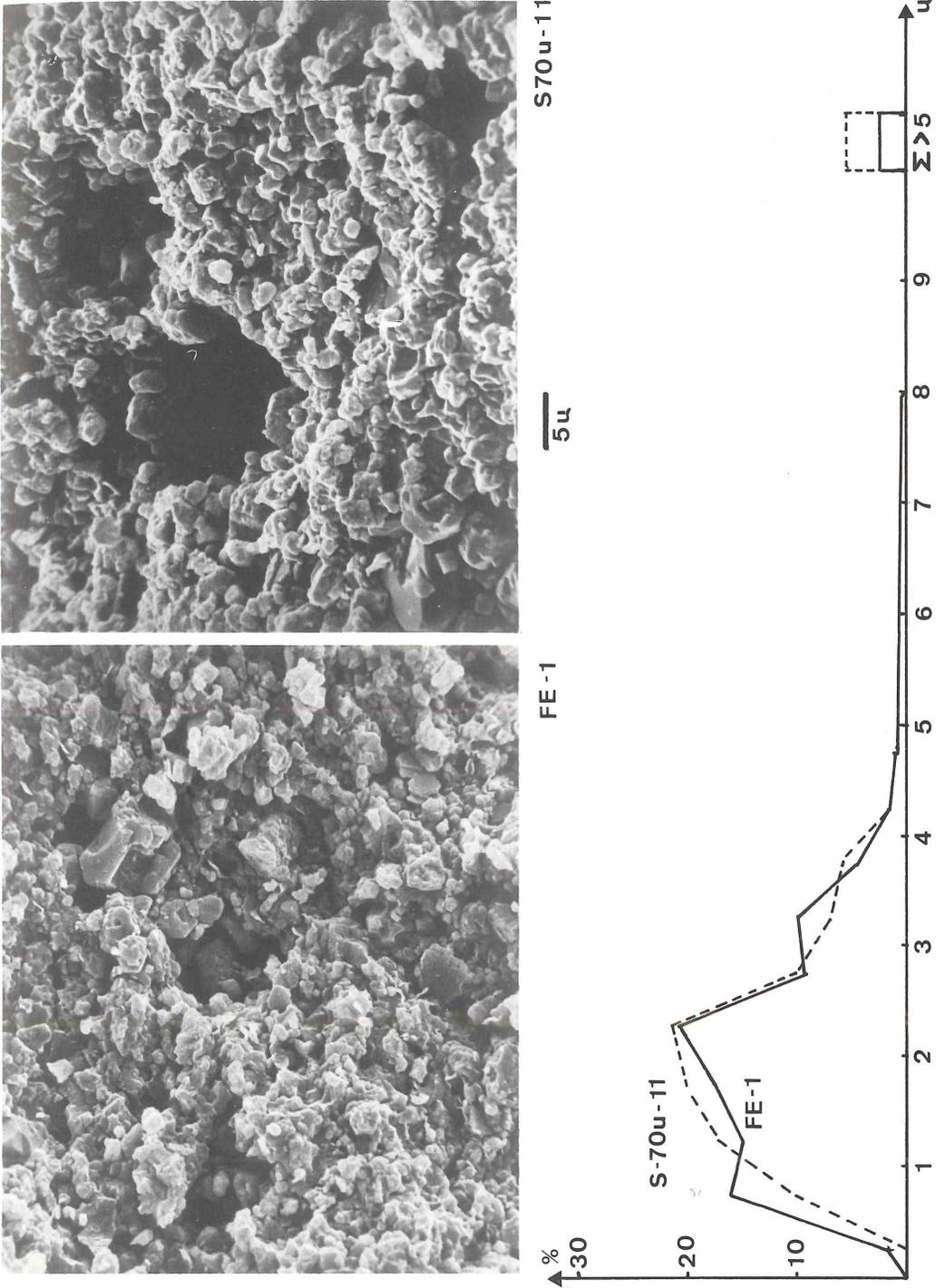


Abb. 8: Korngrößenverteilung in Fäulen des Malm zeta 2b von Schrandel (FE-1) und Schernfeld (S 70 u - 11)

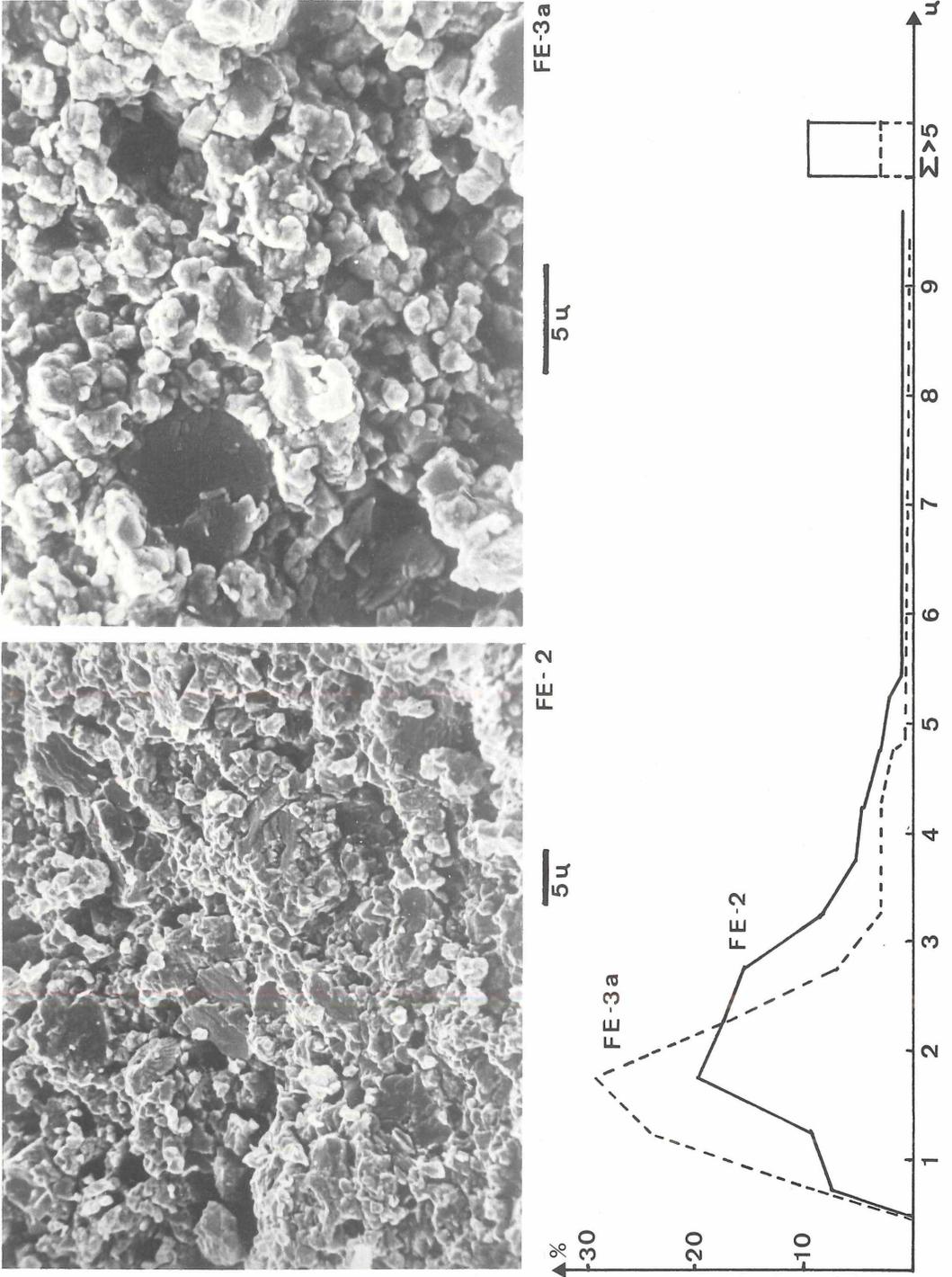


Abb. 9: Korngrößenverteilung in zäher Fäule (FE-2) von Lichtenberg bzw. zähem Flinz (FE-3a)

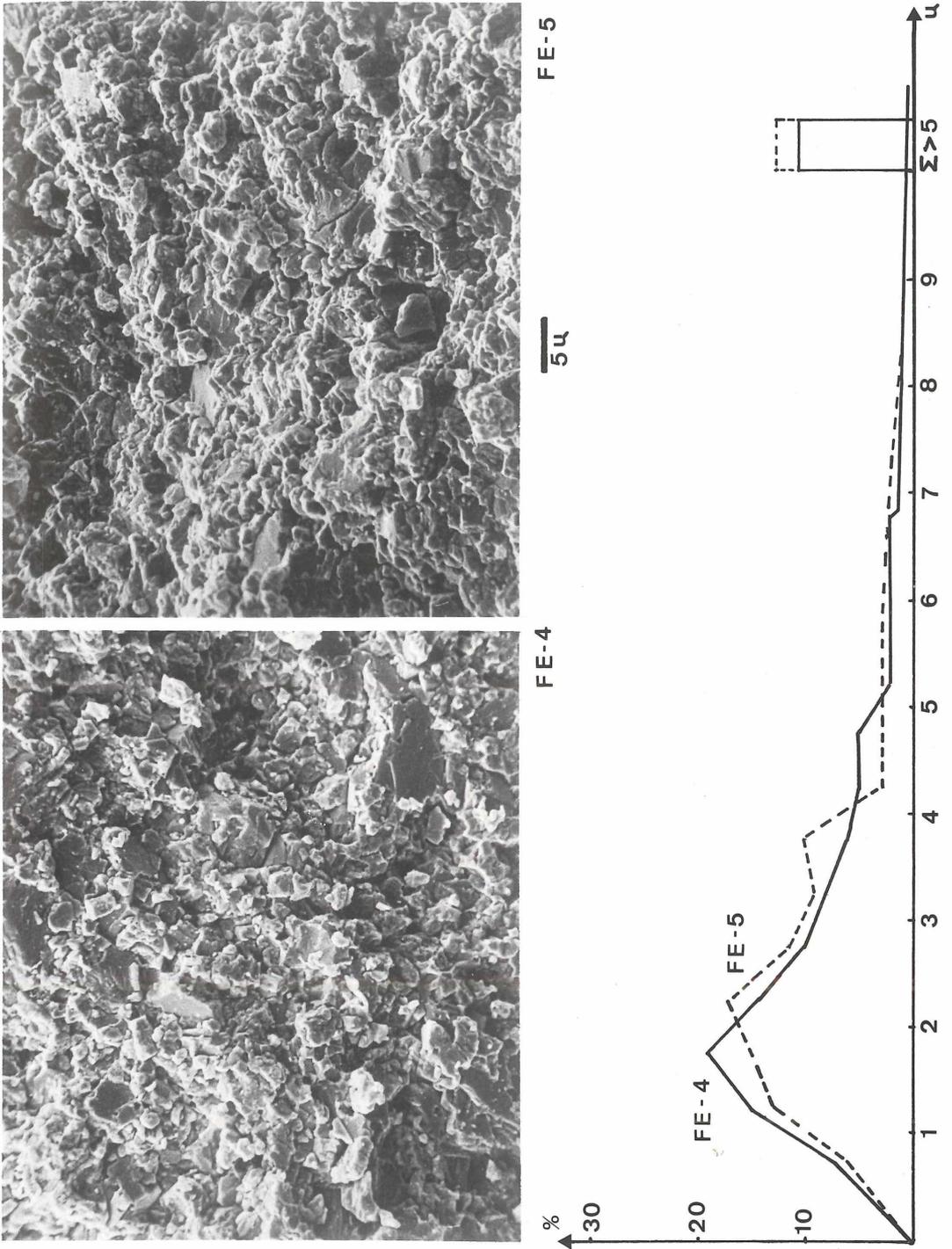


Abb. 10: Korngrößenverteilung im Flinz vom Maxberg (FE-4) bzw. Blätterflinz von Schrandel südl. Langenatheim (FE-5)

mikrokristallines Mosaik idiomorpher Kalzitkristalle, die auf ein schuttreiches "high energy environment" zurückgehen.

Nachdem gerade in jüngerer Zeit wieder die Herkunft des Sediments aus Coccolithen (GÜMBEL, 1891; FLÜGEL & FRANZ, 1967; BUISSONJE, 1972; u.a.) diskutiert wird, soll kurz auf diese Vorstellung eingegangen werden:

Zerlegt man die zahlenmäßig im Solnhofener Plattenkalk am meisten vorkommenden (im Bereich der Schichtflächen !) Placolithen von *Ellipsagelosphaera* oder *Cyclagelosphaera* in ihre Einzelelemente, erhält man aus Distal- und Basalschild zusammen durchschnittlich 100 Kalzitkörper, deren Korngrößenverteilung zwei Maxima aufweist. Die kleineren Micellen nehmen bei einer Größe zwischen 0,5 und 1 Mikron 25 bis 30 % ein. Das Hauptmaximum mit 65 bis 75% (Auf Anzahl der Platten bezogen) liegt bei den Micellen zwischen 1,5 und 3 Mikron. Trotz der recht exakten Entsprechung dieser Korngrößen läßt sich der Solnhofener Plattenkalk nicht durch zerfallene Coccolithen erklären. Das Fehlen eines Korngrößenmaximums im Bereich der kleinen Micellen ließe sich noch durch die selektive Lösung bevorzugt

## 4.2 Die Sedimentbildner

Nachdem die Analysen der Korngrößen und Kornformen gezeigt haben, daß Fäulen und Flinze auf denselben Ursprung zurückgehen, erscheint es zweckmäßig, bei der Frage nach Herkunft des Sediments von den diagenetisch wenig veränderten Fäulen auszugehen.

Übersichtsaufnahmen von Bruchflächen senkrecht zur Schichtung zeigen bei geringen Vergrößerungen (Taf. 25, Fig. 1, 2) deutlich

kleinerer Kristallite, wie dies bei noch vollständigen Coccolithen häufig beobachtbar ist, erklären. Das dabei frei werdende, mobile Karbonat müßte jedoch neben einer Porenraumzementation die neomorphe Kornvergrößerung der Micellen des distalen Marginalrandes bzw. des Basalschildes begünstigen. Bevorzugt wären dann in der c-Achse verlängerte Kristallite zu erwarten, deren Größe mehr als 3 Mikron beträgt. Weder Korngröße, noch -gestalt weisen in den Plattenkalcken auf einen derartigen Diagenese-Prozeß hin. Nimmt man auch für die größeren Micellen eine stärkere Anlösung an, aus der sich ggf. die gerundete Form der Kristallite ableiten ließe, müßte das Korngrößenmaximum unter dem des Plattenkalckes liegen. Zudem läßt sich die geringe Zementation vor allem der Fäulen nicht mit dieser Annahme vereinbaren.

Der Hauptanteil des mikritischen Sediments (i.S. FOLKS, 1959, 1962) der Solnhofener Plattenkalke ist nicht coccolithogen. Um die primär aus resistentem Nieder-Magnesiumkalzit aufgebauten Coccolithen restlos umzugestalten, bedürfte es Diageneseprozesse in einem Ausmaß, wie sie im Plattenkalk nicht gegeben sind.

den hohen Porenraum der Fäulen (Porenvolumen 0,24 bis 0,26). Teilweise sind die Poren schichtparallel angereichert. Eine stärkere Vergrößerung läßt eine dichte Packung kleinerer Hohlkugeln erkennen, deren Außendurchmesser zwischen 8 und 20, vereinzelt bis zu 30 Mikron schwankt (Taf. 25, Fig. 3-6, Taf. 26). Ihre Wandung ist relativ dick, wodurch der meist nicht verfüllte Innenraum nur 50 bis 70%

**Tafel 25:** Coccale Blaugrünalgen sind die hauptsächlichen Gesteinsbildner in den Solnhofener Plattenkalcken

Fig. 1: Schichtparallele Anreicherung der Sphären sind nur selten zu beobachten. Probe S 70u-1; REM-Foto 5421, vergr. 100 x

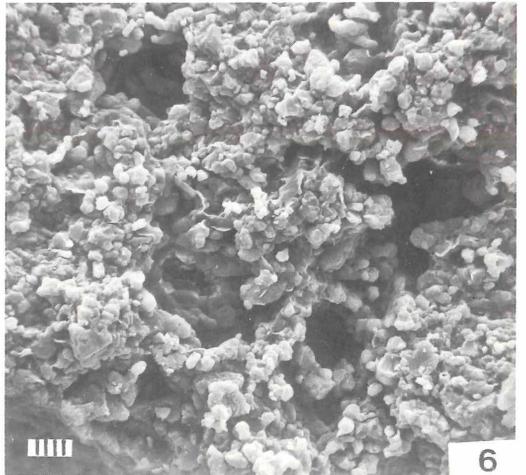
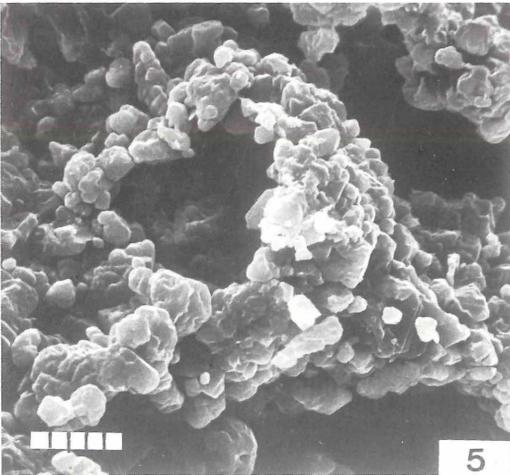
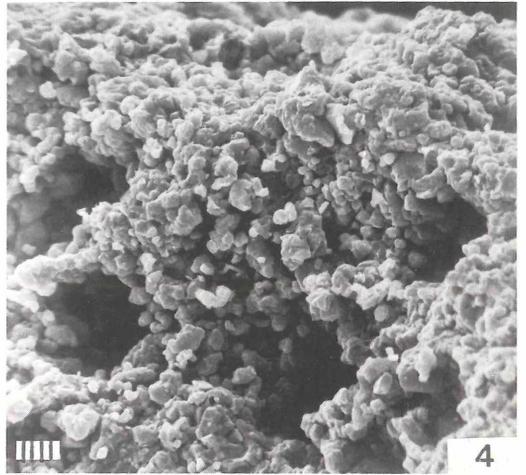
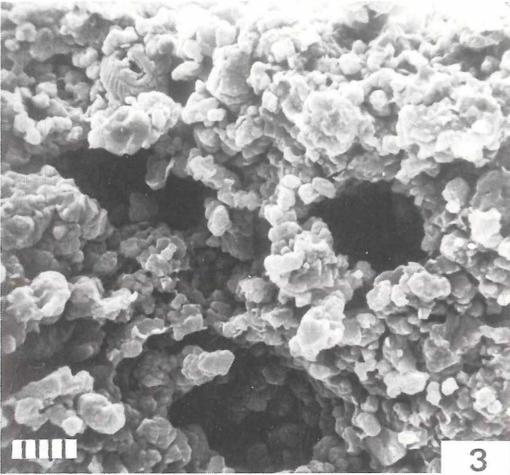
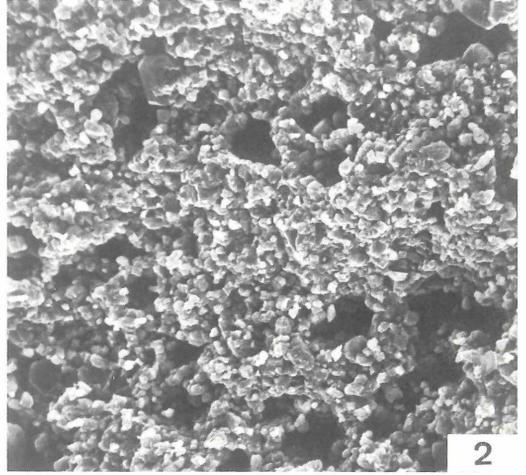
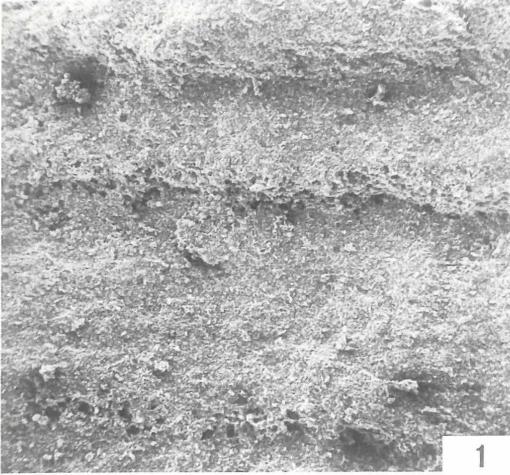
Fig. 3: Die Schichtfläche wird durch Coccolithen (*Ellipsagelosphaera*) markiert, während im Inneren der Fäulenlage die coccalen Cyanophyceen vorherrschen. Probe S 37-4; REM-Foto 5378

Fig. 5: Deutlich zeichnet sich die Kugelgestalt ab. Probe S 70u-11; REM-Foto 2257

Fig. 2: Meistens werden die Fäulen aus einer dichten Packung unregelmäßig angeordneter Sphären aufgebaut. Probe S 70u-11; REM-Foto 2258; vergr. 700 x

Fig. 4: Malm zeta 2b von Schernfeld. Probe S 70u-12 (vergl. Abb. 15); REM-Foto 5409

Fig. 6: Auch die Plattenkalke des Malm zeta 3 von Schernfeld beinhalten zahlreiche Sphären. Probe S 117-5c; REM-Foto 5619



Tafel 25

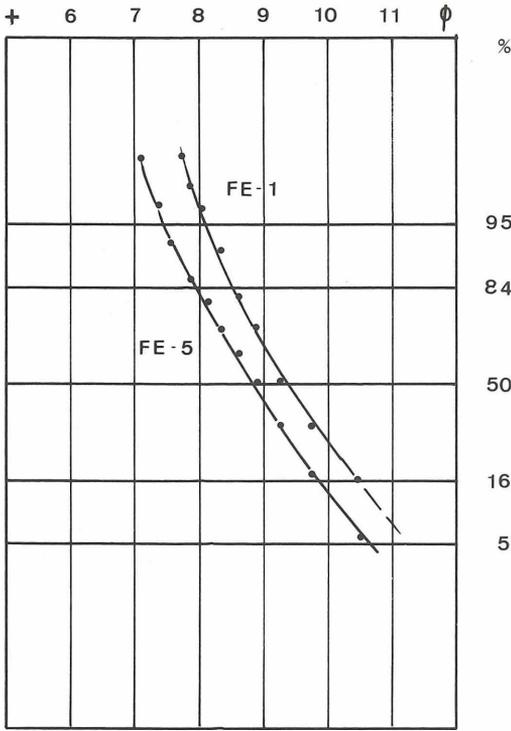


Abb. 11: Summenkurven der Korngrößen einer Fäule (FE-1) von Schrandel südlich Langenaltheim und eines Flinzes (FE-5) vom selben Fundort. Die alleinige Berücksichtigung der Zahlenproportion ergibt eine mäßige Sortierung.

des Außendurchmessers einnimmt. Die Sphärenwand ist durch unregelmäßig angeordnete, 1-3 Mikron große Kalzitkristalle bzw. -aggregate charakterisiert, deren Kanten überwiegend gerundet sind. Eine bestimmte Vorzugsorientierung der Kristallite scheint zu fehlen. Neben völlig isoliertem Vorkommen finden sich nicht selten dicht gepackte, kolonieähnliche Anhäufungen der Hohlkugeln. Zwei

oder mehr Individuen können innerhalb einer solchen Kolonie ein und dieselbe Wand als Begrenzung verwenden (Taf. 26, Fig. 4).

Die offensichtlich unregelmäßige Kristallit-Anordnung der Sphärenwand verhindert bei zunehmender Verfüllung des Innenraumes mit mikritischem Zement das Erkennen des ursprünglichen Kugelcharakters (Taf. 26, Fig. 6). Aus diesem Umstand erklärt sich auch ihr scheinbares Fehlen innerhalb der Flinze. Dennoch belegen die übereinstimmenden Korngrößen und -formen und das vereinzelt Auftreten noch erkennbarer Sphären im etwas tonreicheren, schichtflächennahen Bereich einzelner Lagen, daß auch die Flinze ursprünglich aus diesen Sphären aufgebaut sind.

Auf einen Algenursprung der gerundeten Matrixkristallite im Solnhofener Plattenkalk deutet die Übereinstimmung der Korngrößenmaxima zwischen 1 und 3 Mikron mit den Korngrößenintervallen von gesicherten mesozoischen Blaugrünalgen-Sedimenten aus den Karpaten (GERSTHOFFEROVÁ & MISIK, 1971, S. 173, Abb. 3).

Die sehr geringe Zementation der Fäulen und die nur geringfügige neomorphe Überprägung der gerundeten Kristallite legen die Bildung des Karbonats in Form einer primär stabilen Modifikation, vermutlich als Nieder-Magnesiumkalzit, nahe (vergl. KEUPP, 1976c.). Gegebenfalls wäre auch eine ursprüngliche Ausscheidung als Hoch-Mg-Kalzit denkbar, der im Zuge der Frühdiagenese ohne wesentliche Veränderung der Korngestalt (FRIEDMANN, 1964; GROSS, 1964; FÜCHTBAUER, 1974) durch einen Austausch des Magnesiums durch Calcium stabilisiert wurde.

**Tafel 26:** Sphären coccaler Blaugrünalgen aus den Plattenkalken von Solnhofen und Eichstätt

Fig. 1: Tiefer Malm zeta 2b von Schernfeld. Probe S 1/2-6; REM-Foto 6034

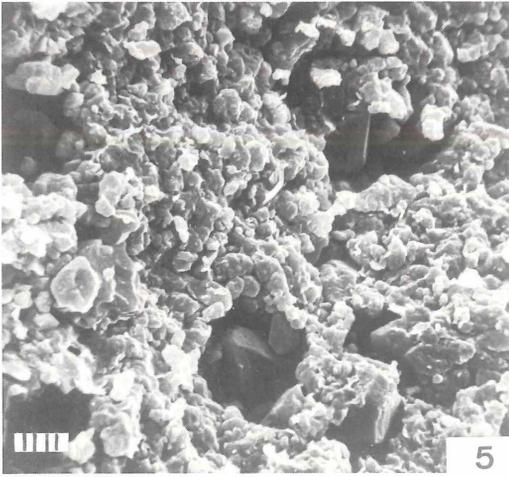
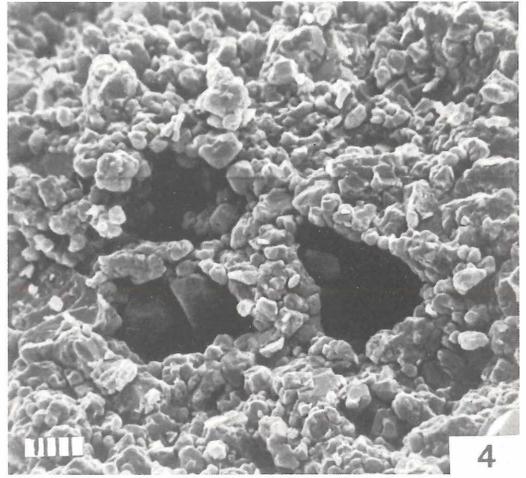
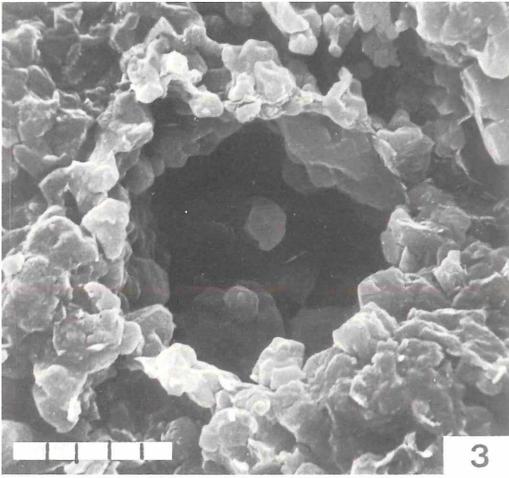
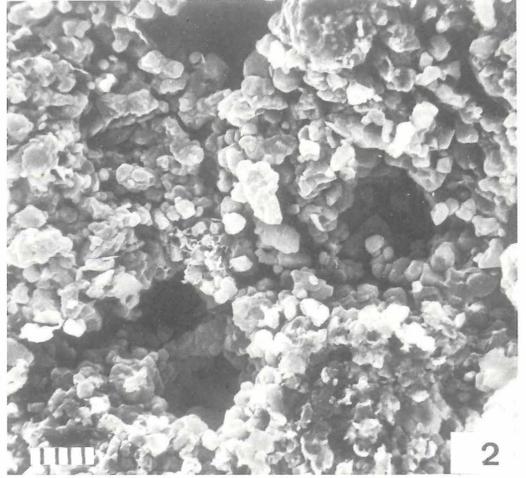
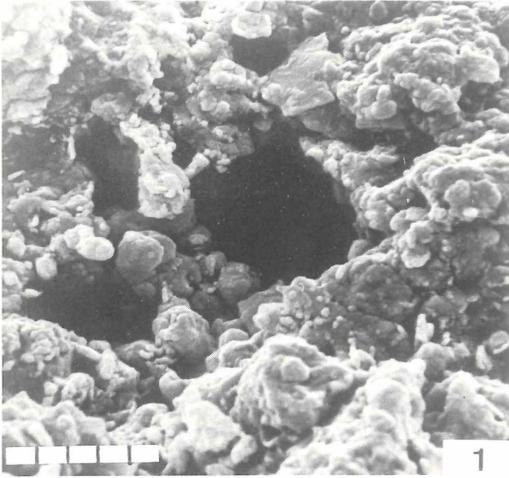
Fig. 3: Einzelne Sphäre aus dem tiefen Malm zeta 2b vom Horstberg. Probe M1-1; REM-Foto 6276

Fig. 5: Teilweise mit Nieder-Mg-Kalzit zementierte Sphärenhohlräume. Probe S 18/19-9; REM-Foto 1855

Fig. 2: Malm zeta 3 von Schernfeld. Probe S 117-3; REM-Foto 6546

Fig. 4: Kolonieähnliche Ansammlung von drei Sphären, die z.T. eine gemeinsame Wand verwenden. Probe S 70u-11; REM-Foto 9194

Fig. 6: Die zunehmende Zementation läßt die Gegenwart einer Sphäre nur noch andeutungsweise erkennen. Probe M/5-14; REM-Foto 7358



Tafel 26

Als Urheber der gesteinsbildenden Sphären müssen also den Innendurchmesser entsprechend, 5 bis 15 Mikron große, mehr oder weniger kugelige Organismen gesucht werden, die einzeln oder in Kolonien lebend imstande sind, eine primär kalzitische, primitiv strukturelose Oberflächenmineralisation zu bewerkstelligen. Aufgrund des weitgehenden Fehlens anderer zumindest fossil erhaltungsfähiger Benthos-Organismen muß zudem die Fähigkeit der Sphärenbildner gefordert werden, in ökologischen Extrembedingungen lebensfähig zu sein.

Wohl die einzigen Organismen, die alle geforderten Eigenschaften auf sich vereinigen, sind

### coccale Cyanophyceen.

In der Dimension vergleichbare Formen beschreiben z.B. JOHNSON, 1937 : 16 Mikron; GEBELEIN, 1969 : 7 Mikron; FOTT, 1971 : ca. 8-15 Mikron; HORODYSKI & HAAR, 1975 : 12-20 Mikron. Rezent leben die coccalen Blaugrünalgen seltener isoliert, sondern meist in eng zusammengeballten, kolonieartigen Aggregaten (vergl. z.B. JOHNSON, 1937; MONTY, 1967; FOTT, 1971; KRUMBEIN & COHEN, 1974).

Die spezifische Kalzifikation der Wand gleicht dem Verkalkungsmodus des sogenannten „Chaetophora-Typus“, den FLAJS (1976) bevorzugt bei Cyanophyceen beschreibt. Er versteht darunter eine extrazelluläre, primär kalzitische Mineralisierung. Innerhalb der die Zelle umgebenden Schleimhülle wachsen anorganisch kleine, teilweise idiomorphe Kristallite, die im Zuge einer bereits an der lebenden Zelle einsetzenden Frühdiagenese zu Krusten und größeren Körnern verschmelzen. Die so bei rezentelem Material entstehende Wandung ist durch relativ unregelmäßig orientierte, kantenverrundete Kristallite gekennzeichnet. Die Bildung einer primär kalzitischen Wand wird danach unabhängig vom umgebenden Lebensraum durch das Mikromilieu innerhalb der Schleimhülle gesteuert. Daß im Bereich von Polysaccharidschleimen der Algengallen ten die Aragonit-Fällung, wie sie durch den Stoffwechselvorgang anaerober Bakterien im

hypersalinen Milieu eines Ufersees am Golf von Aqaba hervorgerufen wird, weitgehend zugunsten einer Mg-Kalzit-Bildung verdrängt wird, konnten auch KRUMBEIN & COHEN (1974, S. 1051) beobachten.

Die geschilderte Art der Kalzifikation ist ein Vorgang, der von der Zelle selbst nicht steuerbar ist. Im Falle der coccalen Blaugrünalgen müßte sich die zunehmende Verkalkung spätestens beim Zusammenschluß der einzelnen, lose in der Gallerte schwimmenden Kristallkeime als Letalfaktor erweisen. Ein Mechanismus, wie er vor allem bei filamentösen Blaugrünalgen rezent durchaus beobachtbar ist (frdl. mündl. Mitteilung von Herrn Dr. G. FLAJS, Bonn). Inwieweit Bakterien durch den Abbau der Algensubstanz auf die Bildung von Kalzit-Kristallkeimen Einfluß haben, bzw. diese erst einleiten (vergl. HADDING, 1958; DALRYMPLE, 1965; KRUMBEIN, 1974; KRUMBEIN & COHEN, 1974; MAURIN & NOEL, 1977), kann aufgrund der vorliegenden Beobachtungen nicht entschieden werden.

Fossil und rezent sind coccale Blaugrünalgen aus  $\pm$  normalmarinen stromatolithischen Bildungen (z.B. MONTY, 1967; GEBELEIN, 1969; GOLUBIC, 1973) und subtidalen Matten (z.B. BATHURST, 1967) meist in Vergesellschaftung mit zahlreichen anderen Benthos-Organismen, aus dem Süßwasser (z.B. JOHNSON, 1937; FOTT, 1971), aber vor allem aus hypersalinem Milieu bekannt (z.B. SCHOLL & TAFT, 1964; FRIEDMAN et al., 1973; KRUMBEIN & COHEN, 1974; HORODYSKI & HAAR, 1975). Die großflächigere Ausbildung mehr oder weniger geschlossener Matten coccaler Cyanophyceen scheint im hypersalinen Milieu besonders begünstigt zu sein. Aber gerade in dieser extremen Umwelt finden sich i.a. keine hartschaligen, und somit fossilisationsfähigen, Benthonten (KRUMBEIN & COHEN, 1974, S. 1049; HORODYSKI & HAAR, 1975, S. 895).

Nachdem nun als Bildner des Solnhofener Plattenkalkes coccale Cyanophyceen wahrscheinlich gemacht sind, lassen sich einige Phänomene im Plattenkalk selbst zwanglos deuten:

1. Das Vorhandensein eines sogen. „Oberflächenhäutchens“, verbunden mit der frühen Konsolidierung des Sediments.

MAYR (1967, Taf. 13, Fig. 1-3) bildet gefiederte Ammonitenrollmarken bzw. gefiederte Schleifmarken aus dem Eichstätter Steinbruchrevier ab. Eine Fiederung kann aber nur entstehen, wenn eine festere Oberflächenhaut vorliegt. MAYR schließt, gestützt auf Experimente, auf beginnende Austrocknung des Sediments. Nachdem aber ein Trockenfallen des Solnhofen - Eichstätter Ablagerungsraumes nicht mehr vertreten werden kann (vergl. S. 110), bietet sich als Ursache des Oberflächenhäutchens ein dünner Blaugrünalgen-Film an (vergl. GEBELEIN, 1969, S. 56; HORODYSKI & HAAR, 1975, S. 904), in dem durch das Absterben der Algen während des Ereignisses der Schichtflächenbildung eine erhöhte bakterielle Karbonatproduktion stattfindet. Sie begünstigt eine synsedimentäre, von der Oberfläche ausgehende Zementation. Die Erhaltungsfähigkeit von Arthropodenspuren, Aufsetzmarken u.ä. setzt eine plastische Stabilität der Sedimentoberfläche voraus (BARTHEL, 1964; JANICKE, 1969; VIOHL, 1976), wie sie bei einem Mikrit unter Wasserbedeckung normalerweise nicht zu erwarten ist (vergl. GINSBURG, 1957, S. 91: 260 % Wasser gegenüber Karbonattrockenmasse an der Sedimentoberfläche feinkörniger Sedimente in der Florida Bay). Die rezente kaum bekannte, sehr frühe Konsolidation des Bodensediments (WILSON, 1975, S. 279) erklärt sich wohl aus der engen Verfilzung coccaler Cyanophyceen und der dadurch bedingten Karbonatproduktion, die primär ein tuffartiges, zähplastisches Gerüst entstehen läßt. Auf eine Gerüstbildung weisen vor allem die Sphärenkolonien hin, in denen gemeinsame Wände für verschiedene Individuen entwickelt sind (vergl. Taf. 26, Fig. 4).

2. Die hervorragende Fossil-Erhaltung.

Entsprechend dem Kapitel 6.2 ist ein  $H_2S$ -Milieu als Erklärung für die fossile Überlieferung von Weichteilen (so MÜNCH, 1955; BARTHEL, 1964, 1966, 1970, 1972; JANICKE, 1967, 1969; STRAATEN, 1971; BUISSONJE, 1972; HÜCKEL, 1974; u.a.) nicht wahrschein-

lich. Die Möglichkeit eines geschlossenen Blaugrünalgen-Films ermöglicht die gleichen Erhaltungsbedingungen auch bei Gegenwart von Sauerstoff. Abgesehen von einer ohnehin verzögerten Verwesung bei Hypersalinität sind Cyanophyceen in der Lage, abgesunkene Organismen rasch zu besiedeln und ebenfalls mit einem geschlossenen Film abzudecken. Im Wattgebiet vor W-Afrika konnte Prof. Dr. D. HERM, München (nach freundl. Mitteilung) beobachten, daß angestrandete Fischleichen innerhalb weniger Stunden durch einen Film nicht näher bestimmter Algen so vollständig abgeschlossen wurde, daß sich im Inneren des Fisches ein  $H_2S$ -Milieu entwickeln konnte, während außerhalb ein reiches  $O_2$ -Angebot vorlag.

Die Ergebnisse zusammenfassend läßt sich der Solnhofener Plattenkalk als ein Blaugrünalgen-Laminat ansprechen, der im hypersalinen, subtidalen Stillwasser gebildet wurde.

Die rezenten Stromatolithen coccaler Cyanophyceen in der Lagune Mormona/ Mexico (HORODYSKI & HAAR, 1975) unterscheiden sich vom Solnhofener Plattenkalk insbesondere durch:

1. die Bildung im extremen Flachwasser (20-40 cm) mit starker Gipsausscheidung infolge erhöhter Evaporation.
2. eine primär aragonitische Kalzifikation über einem subaerisch zementierten Gips-Hartgrund.
3. eine unregelmäßige, noppige Stromatolith-Oberfläche bedingt durch ein vom Mikorelief gesteuertes, ungleichmäßiges Algenwachstum.
4. die unregelmäßige bis schwache Stromatolith-Lamination mit ausgeprägtem, mehrere mm großem, schichtparallelem Fenstergefüge.

Das Zurücktreten der für coccale Blaugrünalgen typischen Texturgefüge (GEBELEIN, 1974) im Solnhofener Plattenkalk, wie unregelmäßige bis fehlende Lamination und vor allem die großen „open-space-structures“ dürfte durch die Bildung im tieferen Wasser erklärbar sein (s.Kap. 6.1). Das Fehlen eines Mikoreliefs im Untergrund und das Fehlen von Oberflächen-Einflüssen gewährleisten

ein weitgehend gleichmäßiges Algenwachstum. Vielleicht kann die etwas unregelmäßige Flaserung vieler Fäulenpakete im Zusammenhang mit geringen Wachstumsdifferenzen gesehen werden. In der Laguna Mormona läßt sich ein Teil der Fenstergefüge auf die Auslösung eingelagerter Aragonit- und Gipsaggregate zurückführen (HORODYSKI & HAAR, 1975, S.899-900). In wesentlich kleinerem Maßstab finden sich vergleichbare Vorgänge auch im Plattenkalk. Vor allem im Bereich der die Flinze als weiße Bänder durch-

ziehenden Latentschichten und der unregelmäßig verteilten mm-großen, weißen „Füße“ (MÜNCH, 1955) finden sich gelegentlich Rhomboeder-Hohlformen (Taf.24, Fig.1-3), die eventuell auf sekundär ausgelöste, frühdiagenetisch gebildete Dolomit-Kristalle zurückgehen können. Die in den Fäulen noch vorliegenden und in den Flinzen zementierten Hohlformen der coccalen Cyanophyceen sind im Grunde nichts anderes, als ein Mikro-Fenstergefüge, das durch den Zerfall organischer Substanzen frei geworden ist.

### 4.3 Die Diagenese des Solnhofener Plattenkalkes

Die diagenetischen Prozesse, die ein Sediment nach seiner Ablagerung erfährt, lassen sich entweder nach ihrer zeitlichen Abfolge in die Früh- und Spätdiagenese gliedern, oder eindeutiger in die beiden großen Gruppen zusammenfassen (EBHARDT, 1968):

1. Mechanische Vorgänge, die unter zunehmendem Auspressen des Porenwassers zur volumenvermindernden Kompaktion des Sediments führen.
2. Chemische Vorgänge, bei denen eine Anpassung instabiler Mineralphasen auf die im Sediment herrschenden Bedingungen erfolgt. Durch Stoffaustausch im Porenwasser kommt es zur Zementation (Lithifizierung) des Sediments.

#### 4.3a Die Kompaktion

Die Solnhofener Plattenkalk sind durch ihre rasche und sehr frühe Kompaktion charakterisiert (vergl. z.B. ROTHPLETZ, 1909, S.319; ABEL, 1922, S.470; CASTER, 1940, S.22; BANTZ, 1969, S.28; BUISONJE, 1972, S.154), die bereits vor Ablagerung der nächsten Sedimentlage so weit fortgeschritten war, daß eine zähe Spurensprünge und Marken konservierende Plastizität erreicht wurde. Dieser Effekt basiert wohl nicht nur auf einer raschen Setzung des Sediments, sondern wird auch von einer frühdiagenetischen Zementation unterstützt.

##### Tafel 27:

Fig. 1: Die kleinen Micellen des inneren Elementzyklus sind teilweise ausgelöst, die Micellen des marginalen Zyklus zeigen overgrowth und synaxiales Weiterwachsen. Probe E1-12 (Malm zeta 1); REM-Foto 5064

Fig. 3: Synaxiales Weiterwachsen einiger Micellen des inneren Plattenkranzes bewirkt ein sternförmiges Überragen. Probe S 36/37-4 (Malm zeta 2b von Schernfeld);

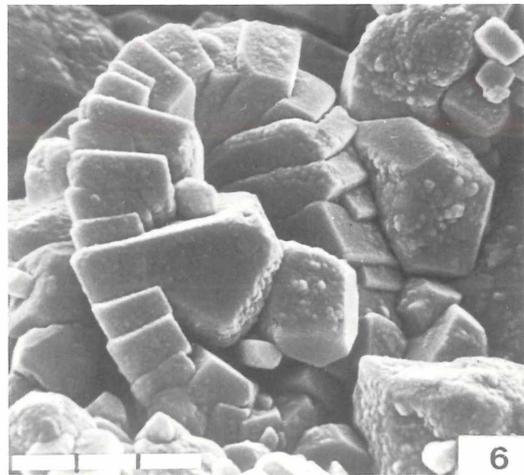
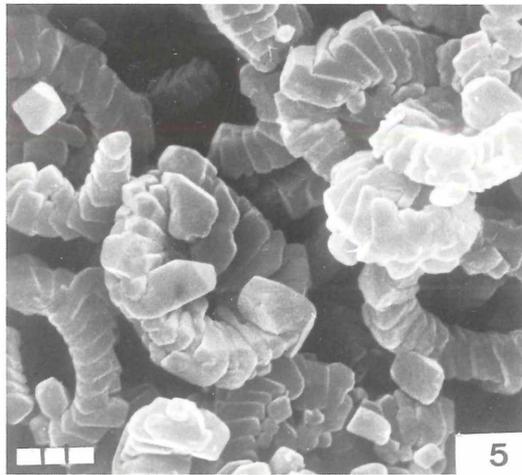
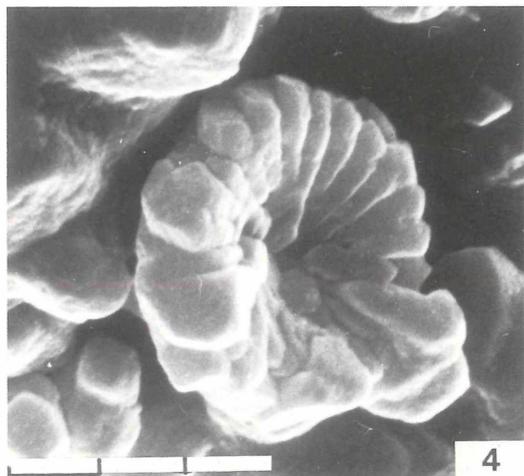
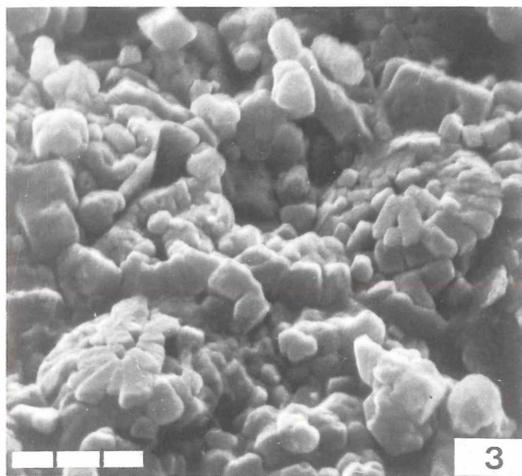
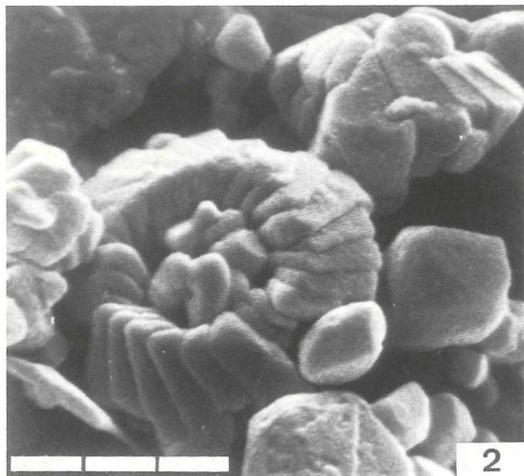
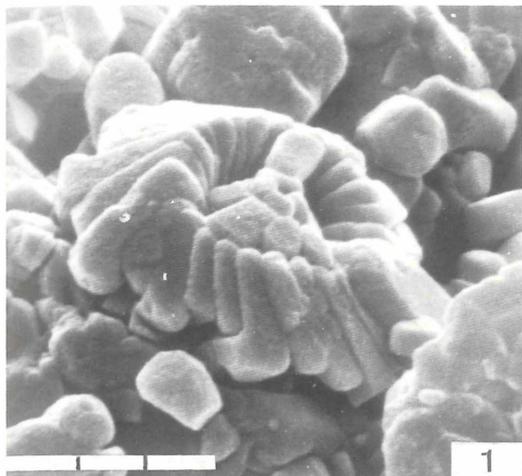
Fig. 5: Die weitgehende Auslösung der inneren Micellen ermöglicht die starke neomorphe Überprägung der Marginalelemente. Probe S 70u-8 (Malm zeta 2b, Schernfeld); REM-Foto 2181

Am Persischen Golf ist bei 60 m Wassertiefe eine Verfestigung der Sediment-Oberfläche im Zuge einer sogenannten exogenen Zementation beschrieben worden (SHINN, 1969; de GRODT, 1969; TAYLOR & ILLING, 1969; ENGELHARDT, 1973). Diese sub-aquatische Zementation nimmt von der Oberfläche nach unten hin ab. Je feinkörniger das Sediment ist, desto weniger tief kann die Verfestigung eindringen. Voraussetzung für die Bildung der von der Oberfläche angreifenden

Fig. 2: Der innere Micellenkranz ist selektiv gelöst. Probe E1-12 (Malm zeta 1; Steinbruch am Obereichstätter Steigweg); REM-Foto 5095

Fig. 4: Overgrowth bei *Cyclagelosphaera margereli* NOEL, 1965. Probe S 70u-11; REM-Foto 2253

Fig. 6: Ausgeprägter Neomorphismus auf Kosten der kleinen Elemente. Probe R-31 (Malm zeta 2a, Rögling); REM-Foto 8623



Tafel 27

Zementation scheint dort ein übersättigtes, warmes Wasser zu sein, aus dem in Phasen verringerter Sedimentation Aragonit gefällt wird. Die sulfatreduzierende Tätigkeit von Bakterien scheint zudem gemeinsam mit Algentätigkeit durch eine Mg-Kalzit-Produktion in den Oberflächenschichten an der Zementation teilzuhaben (ENGELHARDT, 1973). Dieses Rezentmodell läßt sich für den Solnhofener Raum, wo ebenfalls eine frühe Oberflächen-Zementation („Häutchenbildung“) zu einer hardground-Fläche führt (KEUPP, 1976a, c), nur bedingt übertragen. Eine physikochemische Aragonit-Fällung in größerem Umfang ist nicht wahrscheinlich. Das Oberflächenhäutchen scheint vielmehr auf die alleinige Tätigkeit von Blaugrünalgen und Bakterien zurückzugehen (vgl. S. 114). Gemäß der im Kapitel 4.2 dargestellten Vorstellung der Sedimentbildung kann davon ausgegangen werden, daß eine supple Konsistenz, wie sie oft bei rezentem Mikritschlamm detritischer oder physikochemischer Herkunft vorliegt (z.B. BAVENDAMM, 1932; BARTHEL, 1964; GINSBURG, 1957 u.a.), im Solnhofener Plattenkalk nicht vorhanden war.

Eine wichtige Rolle bei der frühdiagenetischen Kompaktion spielt die Synärese (JÜNGST, 1934; JANICKE, 1967, 1969). Dieses Phänomen der subaquatischen Entwässerung ist vor allem bei sehr feinkörnigen, thixotropen Gelen beobachtet worden. So haben Laboruntersuchungen von JÜNGST, (1934) gezeigt, daß in mehr oder weniger kolloidalen Sedimenten Oberflächenercheinungen, wie Schrumpfungsrisse, „fossile Regentropfen“ u.dgl. auf die Synärese zurückführbar sind. JANICKE (1967) macht wahrscheinlich, daß die bei MAYR (1967,

Taf. 14, Fig. 2, 4, 5) als Strömungsrippeln gedeuteten Polygonalleisten und durch „Regen entstandene Oberflächenformen“ ebenso hierher zu stellen sind, wie die von SCHWERTSCHLAGER (1919, S.12), MAYR (1964, S.23) und BARTHEL (1964, S.48) beschriebenen „Trockenrisse“. Die Hauptvorkommen der Synärese-Strukturen liegen in den Randgebieten des Plattenkalkreviers (z.B. Paintener Wanne, Daiting). Zahlreiche, wenn auch meist weniger markante Erscheinungen belegen aber auch für den Solnhofener Raum eine frühe subaquatische Entwässerung. BUISSONJE (1972, S.154) macht am Beispiel eines *Leptolepis* aus dem Gemeindesteinbruch von Solnhofen, der durch Triften über die Sedimentoberfläche das Synärese-Relief verwischt hat, ebenfalls auf das frühe Eintreten der Synärese aufmerksam. Ein stärkerer Bitumengehalt im Sediment fördert sicherlich den Synäresevorgang, ist aber bei entsprechender Feinkörnigkeit des Materials nicht zwingend.

Die Verdrückung von Fossilien gibt in günstigen Fällen Aufschluß über die spätere Auflast-Kompaktion des Sediments. So sprechen sich die meisten Autoren für Setzungsbeträge auf 12 bis 25% der ursprünglichen Mächtigkeit aus (BARTHEL, 1964, S.53; MAYR, 1966, S.103; BUISSONJE, 1972, S.154; WILSON, 1975, S.277). FESEFELDT (1962, S. 37) nimmt eine Kompaktion auf 20% des Ausgangsvolumens an, indem er den Mikritschlamm in seinem Verhalten einem Tonschlamm gleichsetzt. Tatsächlich haben aber Karbonatkörner eine wesentlich geringere relative Oberfläche als Tonminerale. Karbonatschlamm weisen deshalb wohl primär einen geringeren

#### Tafel 28:

Fig. 1: Einzelne Nieder-Mg-Kalzit-Rhomboeder im Inneren einer aufgebrochenen Coccosphäre von *Ellipsagelosphaera*. Probe S 18-1 (Malm zeta 2b); REM-Foto 1043

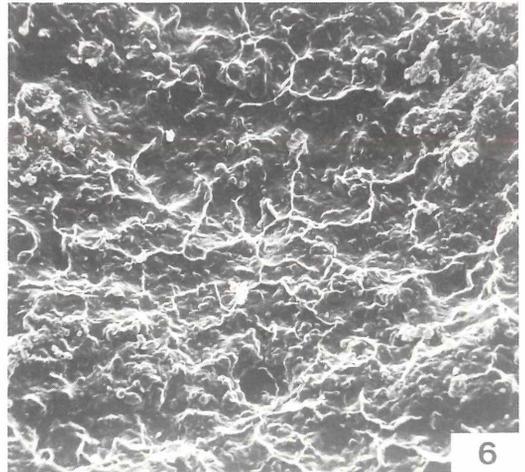
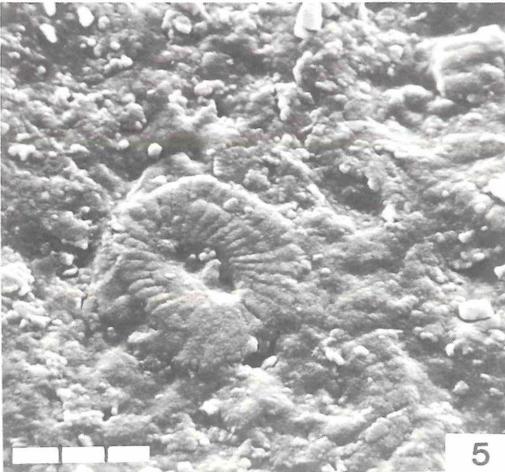
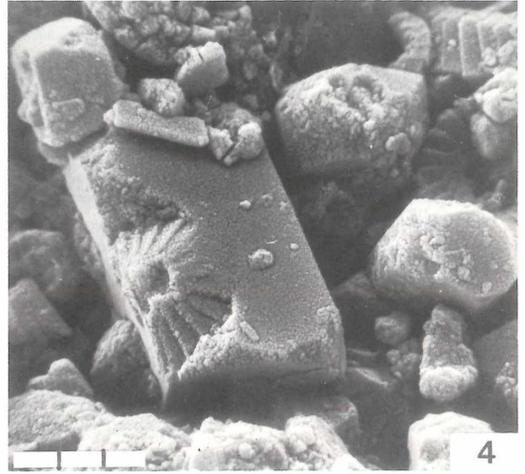
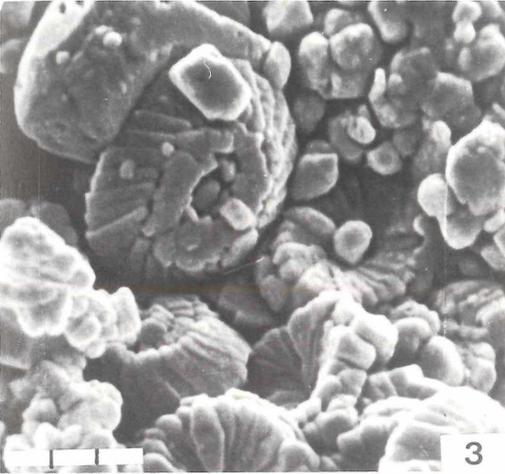
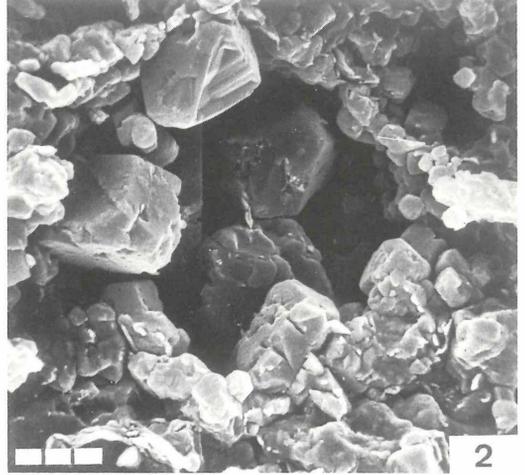
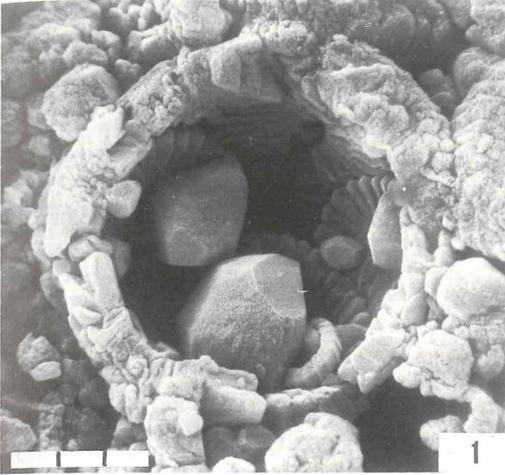
Fig. 3: Umwachsen eines Coccolithen (*Ellipsagelosphaera keftalrempti* GRÜN, 1975) durch einen Kalzit-Zement-Kristall. Probe R-22 (Malm zeta 1, Rögling); REM-Foto 6774

Fig. 5: Ein durch schichtparallele Drucklösung überprägter Placolith einer *Ellipsagelosphaera*. Probe S 1-4 (Malm zeta 2b, Schernfeld); REM-Foto 5996

Fig. 2: Nieder-Mg-Kalzit-Zement in einer Blaugrünalgen-Sphäre. Probe M 5-17 (Malm zeta 2b, Horstberg); REM-Foto 7354

Fig. 4: Negativ eines vollständig überwachsenen Coccolithen. Probe S 18-1 (Malm zeta 2b, Schernfeld); REM-Foto 1071

Fig. 6: Schichtfläche eines Flinzes mit dem für Drucklösung typischen Polygonnetz aus Tonmineralien. Probe S 1-8 (Malm zeta 2b, Schernfeld); REM-Foto 5797



Tafel 28

Wassergehalt auf (EBHARDT, 1968, S.14). JANICKE (1967, 1969) kommt aufgrund von Deformationen an senkrecht zur Schichtung eingebetteten Ammoniten bzw. schräg liegenden Belemniten in den meist grobkörnigeren Sedimenten der Randgebiete zu Setzungswerten auf 40 bis 50 % der ursprünglichen Mächtigkeit. Der Setzungsbetrag nimmt nach seiner Auffassung mit fallender Korngröße ab.

### 4.3b Die Isomineralische Diagenese

Unter isochemischen Diagenese-Prozessen, bei denen kein wesentlicher Wechsel in der chemischen Zusammensetzung des Sediments erfolgt, unterscheidet FÜCHTBAUER (1974, S.279-281) folgende Vorgänge, deren gegenseitige Abgrenzung z.T. nur schwer möglich ist:

1. Zementation
2. Neomorphismus mit
  - a. Sammelkristallisation (= crystal enlargement)
  - b. Rekristallisation
  - c. Transformation (Aragonit → Kalzit)
3. Lösungsvorgänge

Im Folgenden soll nun die Wechselbeziehung zwischen der Zementation (+ Neomorphismus) und den sichtbaren Lösungsvorgängen im Solnhofener Plattenkalk dargestellt werden.

#### Zementation und Neomorphismus

Im Solnhofener Plattenkalk müssen drei unterschiedliche Zementations-Vorgänge unterschieden werden:

1. Eine frühdiagenetische Zementation im Bereich der Blaugrünalgen-Schleimschichten. Entsprechend der Mineralisierung von Cyanophyceen nach dem „Chaetophora-Typus“ (FLAJS, 1976) entstehen krustige Kalzit-Aggregate mit gerundeten Kristallkanten. Das Resultat ist nach Abbau der organischen Substanz ein hohlraumreiches Gerüst. Erhöhte Karbonatproduktion in der oberflächenschicht führt in Verbindung mit bakteriellem Abbau organischer Substanz zur

oben beschriebenen Ausbildung eines „Häutchens“.

2. Eine subaquatische Zementation im Verlauf der späteren Diagenese (vergl. ROTH & THIERSTEIN, 1972; MATTER, 1974; NEUGEBAUER 1975), bei der euhedrale Nieder-Mg-Kalzit-Kristalle die Sedimenthohlräume mikritisch bis sparitisch verfüllen. Zu diesem Vorgang muß auch das teilweise Überwachsen primär kalzitischer Organismenreste (z.B. Coccolithen) und Matrixkristallite gestellt werden (WISE & HSÜ, 1971).

3. Eine im wesentlichen rezente Zementation durch den Einfluß atmosphärischer Wässer und vor allem terrestrischer Organismen (z.B. xerotische Diatomeen), die sich nur im Bereich vorgegebener Trennflächen (Klüfte, Schichtflächen) nahe der Oberfläche auswirkt.

Auf die weitere Darstellung der Zementation 1 kann mit Hinweis auf Kap. 4.2 bzw. 4.3a, der Zementation 3 mit Hinweis auf KEUPP (1976d) verzichtet werden.

Während die Fäulen häufig noch das Anfangsstadium des zweiten Zementationsvorganges konserviert haben (Abb. 8), ist die Hohlräumverfüllung in den Flinzen weitgehend abgeschlossen. Die einzelnen zunächst nur wenige Mikron großen Rhomboeder sind wohl überwiegend im Zuge einer Sammelkristallisation (= crystal enlargement i. S. FÜCHTBAUER, 1974; = aggrading neomorphism i.S. BATHURST, 1971) zu z.T. über 20 Mikron großen, spätig brechenden Kristalliten zusammengewachsen (Abb. 9, 10). Die hohe Zementationsrate in den Flinzen läßt eine intensive Porenwasser-Zirkulation vermuten. Sie erklärt sich wohl aus dem primären Mikrofenstergefüge und der gegenüber den Fäulen besseren Durchlässigkeit infolge einer fehlenden engen Schichtflächensequenz mit entsprechender Anreicherung von Tonmineralien. Die Matrix-Kristallite unterliegen in den Flinzen oft ebenfalls einer sekundären Beeinflussung durch die erhöhte Porenwasser-Zirkulation. Die primär gerundeten Kristallkanten sind mitunter neomorph überprägt und zeigen nun eu- bis subhedrale Gestalt (FRIEDMANN, 1965) bei weitgehen-

der Beibehaltung ihrer ursprünglichen Dimension. Eine stärkere Umkristallisation (der Begriff „Rekristallisation“ sei hier in Anlehnung an FOLK, 1965 nicht verwendet, sondern für den Metamorphose-Bereich reserviert) der Matrix ist aber im großen und ganzen auch für die Flinze nicht gegeben (ENGELHARDT, 1973, S.336), wie Abb. 10 zeigt.

In coccolithenreichen Lagen, sei es auf Schichtflächen innerhalb des Malm zeta 2b, oder in den Mergelkalken des Malm zeta 1 und 2a der Solnhofener und Eichstätter Wanne, läßt sich häufig eine syntaxiale Zementation erkennen. Im Sinne FOLKS (1965) ist diese Art der Zementbildung in den Formenkreis des Neomorphismus zu stellen. Bei den Placolithen der häufigsten Gattungen (*Ellipsagelosphaera*, *Cyclagelosphaera*) unterliegen in der Regel nur die größeren Micellen der Marginalzyklen einer neomorphen Überprägung. Bei *Cyclagelosphaera* zeigen zusätzlich die zentralen Platten des Distalschildes Kornvergrößerung. Analoge Ergebnisse erzielte auch NEUGEBAUER (1975) bei der Untersuchung von Schreibkreide-Coccolithen, bei denen offensichtlich nur Micellen größer als 1 Mikron selektiven Überwuchs aufweisen. Die kleinen Micellen dagegen bleiben aufgrund ihrer mit geringer Oberflächenenergie ausgezeichneten Spaltrhomboider-Flächen (HONIGMANN, 1958) entweder ohne syntaxialen Aufwuchs, oder fallen einer bevorzugten Lösung anheim (s.u.). Das Überwachsen eines Coccolithen kann teilweise so weit fortschreiten, daß der gesamte Schild unter weitgehender Beibehaltung seiner ursprünglichen Gestalt in einen großen, euhedralen Kristallit eingewachsen ist (Taf. 28, Fig. 4). Recht ähnliche Erscheinungen sind vor allem aus Schreibkreide-Sedimenten bekannt (vergl. z.B. AUBRY, 1974, Taf. 2, Fig. 2, 3; WISE & HSÜ, 1971, Fig. 2).

### Lösungsvorgänge

Die Frage nach der Herkunft des mobilen Karbonats für die Zementation leitet über zu den im Plattenkalk beobachtbaren Lösungsphänomenen. Die selektive Lösung bevor-

zugt kleiner (< 1 Mikron) Kristallite läßt sich besonders gut an zahlreichen Coccolithen verfolgen. So fehlen sehr häufig die kleinen Micellen des distalen mittleren Plattenkranzes bei *Cyclagelosphaera* und *Ellipsagelosphaera* (vergl. HILL, 1975). Neben dem Auftreten der selektiven Lösung macht eine weitgehende Übereinstimmung im Diagenese-Ablauf mit teilweise verfestigten Schreibkreiden auch für den Solnhofener Plattenkalk wahrscheinlich, daß ein wesentlicher Motor der Zementation in dem durch Drucklösung frei werdenden Karbonat zu suchen ist (vergl. NEUGEBAUER, 1973, 1974; MAPSTONE, 1965). Daraus ergibt sich als Zeitpunkt der Hauptzementation die zunehmende Sedimentauflast. Die hohe Empfindlichkeit der Karbonate gegenüber der Drucklösung läßt diese bereits bei geringer Bedeckung im noch weitgehend unverfestigten Sediment einsetzen (vergl. ENGELHARDT, 1973, S.330). Ein aerischer Einfluß ist demnach zur Zementation nicht notwendig und nach der geologischen Entwicklung nicht wahrscheinlich (vergl. ROTH & THIERSTEIN, 1972; NEUGEBAUER, 1975). Drucklösung tritt im Plattenkalk auf folgende Weise auf:

1. Am Kontakt zweier Kalzitkörner (= grain-to-grain pressure solution, BATHURST, 1971)
2. Auf den Schichtflächen infolge des Ton-Karbonat-Kontakts
3. Als echte Stylolithen

Zu 1: Die Kontaktlösung zweier Körner läßt sich am besten an Kristalliten mit bekannter Ausgangsform darstellen. Im Schichtflächenbereich, wo die Drucklösung überwiegend auftritt, bieten sich als Demonstrationsobjekte besonders die Coccolithen an. Während die selektive Lösung nur die kleinen Kristallite einbezieht, die infolge ihrer relativ großen Oberfläche anfällig sind, geht die Drucklösung ungeachtet der Korngröße vor sich. So zeigen beispielsweise die Exemplare der Abbildungen Taf. 7, Fig. 4; Taf. 17, Fig. 6 die Drucklösung am Kornkontakt im Bereich des marginalen Elementzyklus sehr ausgeprägt.

Zu 2: Die Konzentration von Tonmineralien auf den einzelnen Schichtflächen hat ihren Ursprung nicht nur in einer primär erhöhten Anlieferung von Illit und Illit-Montmorillonit-Mischstrukturen (BAUSCH, 1969) als Folge einer verringerten Karbonatproduktion, sondern auch in einer geringfügigen sekundären Anreicherung aufgrund der Drucklösung. Die Lösungsfront folgt dem schichtparallelen Materialunterschied. So sind die Schichtflächen im Solnhofener Plattenkalk nahezu alle durch Drucklösung überprägt. Der deutliche Materialkontrast zwischen Ton und Karbonat scheint für die ebene Ausbildung der Drucklösungsfront verantwortlich zu sein (TURNIT, 1967; ENGELHARDT, 1973) während bei Materialgleichheit sägezahnartige Suturlinien auftreten. Da das Ausmaß der jeweiligen Drucklösung offensichtlich von der Geschlossenheit des primär tonreichen Sediments abhängig zu sein scheint, repräsentieren scharf begrenzte Lagen mit starker Überprägung eine entsprechend lange Unterbrechung der autochthonen Karbonatproduktion. An schwach ausgeprägten Latentschichten ist die Drucklösung infolge des geringen Materialunterschieds (nur kurze Sedimentationsunterbrechung) minimal, bzw. durch schwache Kornverzahnung gekennzeichnet.

Die ss-parallele Drucklösungsfront zeigt sich im REM durch ein oberflächliches Verschwinden der Korngrenzen. Ähnliche Erscheinungsformen läßt eine rezente Sinterbildung durch vadose Wässer entstehen (KEUPP, 1976d; BARTHEL, 1976). Die Tonmineralien werden durch die Drucklösung mit den verbleibenden Karbonatkörnern eng verfilzt, so daß häufig eine kompakte Oberflächenhaut entsteht (Taf. 24, Fig. 4-6). Im allgemeinen

werden die stabilen Coccolithen, die auf den Schichtflächen angereichert sind, selten bis zur Unkenntlichkeit verändert, sondern es tritt meist nur eine unterschiedliche starke „Maskierung“ mit Tonmineralien ein. Aus der Tatsache, daß die Coccolithen der Drucklösungsfront entlang der Schichtflächen weitgehend widerstehen können geht hervor, daß das Ausmaß der Drucklösung nicht übermäßig stark ist. Die enge Schichtung des Plattenkalkes allein auf Drucklösung zurückzuführen, ist daher nicht zulässig. Die geringe Zementation, vor allem in den Fäulen, ließe sich ebenfalls nicht mit dieser Vorstellung vereinbaren (KEUPP, 1976c). Das Auftreten eines deutlichen Materialwechsels zwischen coccalen Cyanophyteen innerhalb der einzelnen Lagen und häufigen Anreicherungen von Nanoplankton und gelegentlicher Megafauna (*Saccocoma!*) auf den Schichtflächen indiziert zusammen mit sedimentologischen Phänomenen (Schichtaufbiegen an Fossilien, Fall- und Wickelstrukturen bei den subaquatischen Gleitungen) ein primär sedimentäres Schichtgefüge (ABEL, 1922; FESEFELDT, 1962; JANICKE, 1967 u.a.).

Zu 3: Echte Stylolithen, d.h. makroskopisch sichtbare Drucksuturen sind im Solnhofener Plattenkalk nicht sehr oft zu beobachten (vergl. ROTHPLETZ, 1909, S. 326).

Am Beispiel eines in typischer „Sockel-Erhaltung“ (ROTHPLETZ, 1909; MAYR, 1966; JANICKE, 1967, 1969; BARTHEL, 1964; SEILACHER et al. 1976; u.v.a.) vorliegenden *Subplanites* in dünnplattigem Flinz von Obereichstätt soll kurz auf die wesentlichen Phänomene der Stylolith-Bildung eingegangen werden, wie sie sich im REM darbieten. Die Einbettung des instabilen aragonitischen Ammoniten-Gehäuses hat die Drucklösung im Bereich

**Tafel 29:** Stylolithen im Bereich einer Ammoniten-Wohnkammer von Obereichstätt (Harthof)

Fig. 1: Übersicht einer Stylolith-Verzahnung auf der Schichtfläche. Probe E1/X-1; REM-Foto 4280; vergr. 150 x

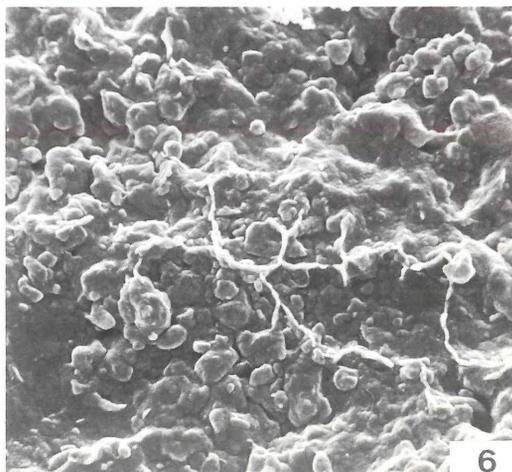
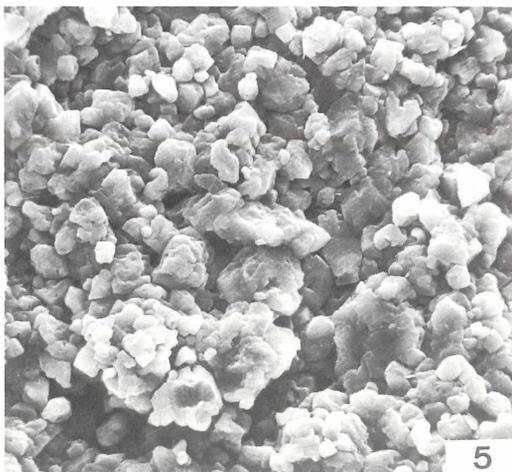
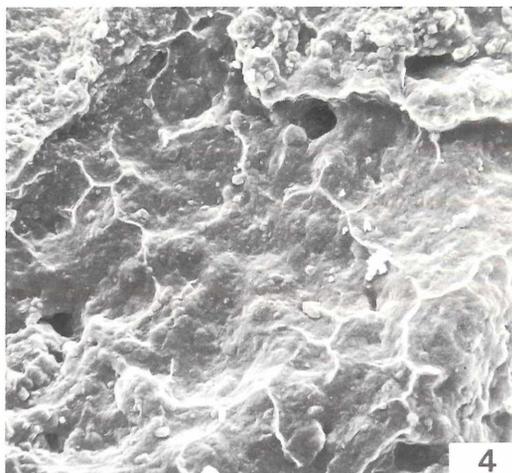
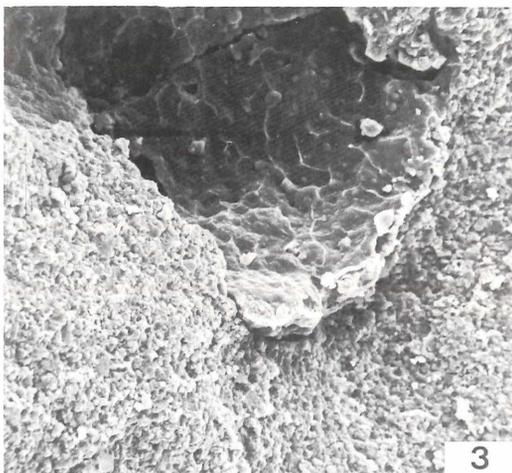
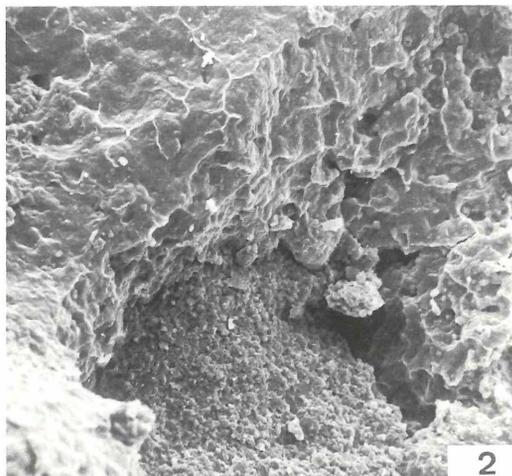
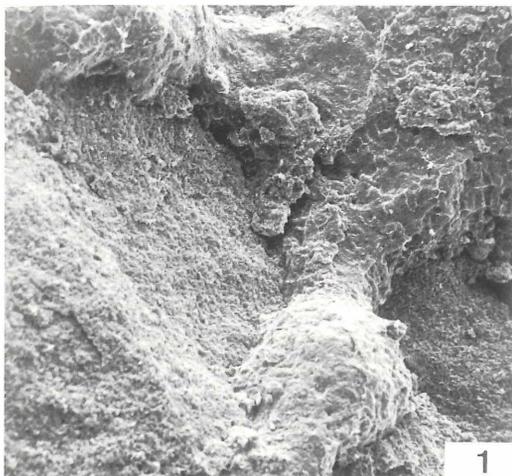
Fig. 3: Scharfkantige Begrenzung der durch die Drucklösung gegeneinander versetzten Bereiche. Probe E1/X-2; REM-Foto 4293; vergr. 500 X

Fig. 5: Nur geringe neomorphe Beeinflussung der Kalkpartikel im Bereich unmittelbar neben der Drucklösungsfront. Probe E1/X-2; REM-Foto 4296; vergr. 1500 x

Fig. 2: Die Tonstege der Lösungsfront zeigen die typische Polygonanordnung der Tonmineralien. Probe E1/X-1; REM-Foto 4281; vergr. 400 x

Fig. 4: Tonbelag der Lösungsfront. Probe E1/X-1; REM-Foto 4285; vergr. 620 x

Fig. 6: Stylolithenfreie Schichtfläche im Malm zeta 2b von Mörsheim (Horstberg) zeigt durch die Tonleisten in polygoner Anordnung die Überprägung durch Drucklösung an. Probe M1-3; REM-Foto 6326; vergr. 1900 x



Tafel 29

des Phragmokons offensichtlich besonders begünstigt. Die ins Liegende und Hangende eingreifenden Zapfen der Drucklösungsfront sind mit einem Residualtonbelag bedeckt. An seiner Oberfläche fällt eine Anordnung der Tonminerale in polygonalen Leisten auf (Taf. 29, Fig. 4). Das durch die Verzahnung intensivierte Relief ist durch den Wechsel scharf begrenzter Areale charakterisiert, in denen sich gering beeinflusst erscheinende Mikrite unvermittelt mit den tonreichen Partien abwechseln. Die gering neomorphe Beeinflussung der mikritischen Anteile im unmittelbaren Lösungskontakt (Taf. 29, Fig. 29) zeigt, daß das mobile Karbonat entlang der Tonflächen vollständig abgeführt wurde. Die Wohnkammer des Ammoniten ist etwa zur Hälfte mit grobspätigem Blockzement gefüllt. Der Phragmokon und das verbleibende Wohnkammerlumen sind kollabiert.

Am Kontakt zwischen Sediment und der grobspartitischen Hohlraumverfüllung der Ammoniten-Wohnkammer, deren Entstehung im Zusammenhang mit der Hauptzementation zu sehen ist, wobei die Grobspätigkeit als Produkt einer Sammelkristallisation aufgefaßt werden kann, läßt sich eine ca. 300 Mikron

breite Zone mit groben, idiomorphen Kristalliten erkennen (Abb. 12). Die Gegenwart der instabilen Aragonit-Schale ermöglichte offensichtlich eine intensive, deutlich idiomorphe Zementation.

Die Diagenese-Prozesse zusammenfassend, läßt sich folgende Aussage treffen:

Das hohe Porenvolumen des Gesteins, die Zementation durch Nieder-Magnesiumkalzit-Rhomboeder mit entsprechend neomorpher Überprägung bestehender Kristallite in Abhängigkeit von sichtbaren Lösungsvorgängen erinnern insgesamt an die Diagenese teilweise verfestigter Schreibkreiden (vergl. z.B. WISE & HSÜ, 1971; SCHOLLE, 1974; MAPSTONE, 1975). Da die Ursache aber für die charakteristische Schreibkreide-Diagenese in ihrem primär kalzitischen Charakter (Coccolithophoriden, Foraminiferen) begründet ist, läßt sich auch für den Solnhofener Plattenkalk eine primär kalzitische Entstehung (Coccale Blaugrünalgen) ableiten. Instabile Karbonat-Modifikationen hatten sicher keinen nennenswerten Anteil an der ursprünglichen Gesteinszusammensetzung.

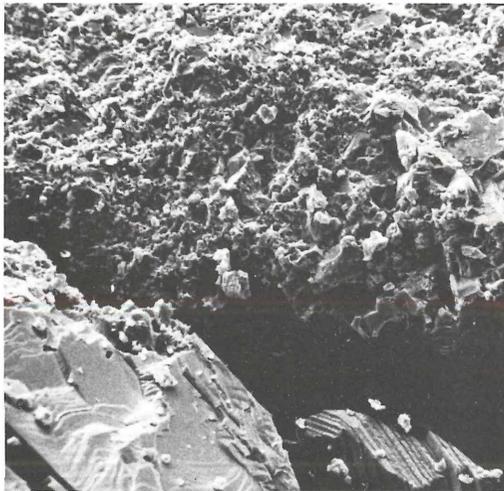


Abb. 12: Kontakt zwischen Sparitfüllung der Ammonitenwohnkammer und Matrix mit einer ca. 300 Mikron breiten Zone größerer Kristallite. Probe E1/X-5; REM-Foto 4311 (600  $\times$ ) bzw. 4308 (1700  $\times$ )

## 4.4 Überblick über die bisherigen Vorstellungen der Sediment-Genese

Wenn man von den Anfängen der wissenschaftlichen Betrachtungsweise des Solnhofener Plattenkalkes absieht, die zu der Erkenntnis führten, daß das Sediment durch die Schlickmassen der Sintflut hinreichend erklärt sei (BAIER, 1730), haben sich schon zur Jahrhundertwende die wesentlichen, z.T. bis heute diskutierten Auffassungen der Sediment-Entstehung abgezeichnet. So lassen sich vier Meinungsblöcke herausstellen, die wiederum in ihren Details starken Differenzierungen unterliegen. Zahlreiche Autoren versuchen auch aus der Kombination zweier oder mehrerer dieser Auffassungen zu einer der Wahrheit näherkommenden Synthese zu gelangen. Die vier grundsätzlichen Vorstellungen sind:

1. Autochthone Fällung des Kalkes aus dem Wasser
2. Bildung als Coccolithenschlamm
3. Äolische Ablagerung durch Auswehen von Kalkdünen
4. Einschüttung von feinstem, allochthonen Detritus

### Autochthone Fällung des Kalkes aus dem Wasser

Aufgrund einer Faunenanalyse gelangt FRISCHMANN (1853) zu der Überzeugung, daß das Sediment in einem marinen Milieu entstanden sei. Die hervorragende Erhaltung der Fossilien veranlaßt ihn dazu, ein sehr ruhiges Wasser mit erhöhtem Kalkniederschlag anzunehmen. Auch SCHWERTSCHLAGER (1919) nimmt eine durch Evaporation ausgelöste Kalkfällung im Watt-Bereich an. Er schließt dabei jedoch episodisch auftretende Einschwemmungen allochthonen Materials nicht aus. Im Zusammenhang mit der spezifischen Einbettung von Echiniden postuliert BANTZ (1969) eine physikochemische Kalkfällung im normal-marinen Flachwasser, die vor allem in riffnahen Randgebieten von periodischen Gleitmassen überlagert wird. FESEFELDT (1962) glaubt ebenfalls, daß in der sehr flachen Lagune eine physikochemische Fällung des im Bereich der nahen Riffe gelösten Karbonats begünstigt sei (vergl. auch ZEISS, 1968).

Eine Differenzierung in der Fällungs-Hypothese stellt das Einbeziehen organogener Stoffwechselvorgänge dar. So glaubt DEHM (1957), daß u.a. auch die Solnhofener Plattenkalk-Ablagerungen seien, die auf Kalkausscheidungen zeitgebundener, fossil nicht überlieferbarer Mikro-Organismen zurück-

gehen. HADDING (1958) entwickelt das Konzept des Zusammenwirkens von Algenbesiedlung und Kalkfällung, die durch den bakteriellen Abbau der organischen Substanzen bewirkt wird.

Im Labor nachvollzogene Diagenese-Experimente mit rezentem Aragonit-Schlamm der Bahamas, der im wesentlichen aus Zerfallsprodukten von Codiaceen zusammengesetzt ist, veranlaßten HATHAWAY & ROBERTSON (1961) den Solnhofener Plattenkalk auf ein ähnliches Ausgangsmaterial zurückzuführen. Die bei der experimentellen Transformation erhaltenen Kalzit-Kristalle sind nämlich in Form und Größe mit elektronenoptischen Aufnahmen eines Fliozes vergleichbar. BARTHEL (1964, 1970) geht ebenfalls von einer primären Aragonit-Fällung im stagnierenden Marinmilieu aus. Die Frage ob und inwieweit eine organische Beteiligung an der Karbonatproduktion vorliegt, läßt er offen. Als letzte Variante der Kalkbildung vermutet KEUPP (1976c) – solange der Zusammenhang mit den coccalen Cyanophyceen nicht erkannt war –, daß aufgrund des primär kalzischen Sediments eine (bio-) physikochemische Kalkfällung wegen des Mg-Gehaltes im Meerwasser nur während einer Süßwasser-Überschichtung denkbar sei.

### **Bildung als Coccolithenschlamm**

Obwohl sich GÜMBEL (1891) nicht ganz von den NEUMAYR'schen Vorstellungen einer Schlamm-Einschüttung lösen kann, räumt er erstmals die Möglichkeit ein, daß der Plattenkalk ein diagenetisch veränderter Coccolithen-Schlamm sei. Er schließt das aus dem Nachweis gut erhaltener Coccolithen in den Fäulen. Diese Vorstellung war für lange Zeit, abgesehen von einer mit Vorbehalten versehenen Erwähnung bei KRUMBECK (1928a), in Vergessenheit geraten. Erst der Einsatz der Elektronenmikroskopie in der Geologie hat die Coccolithen-Theorie wieder belebt. Fast gleichzeitig veröffentlichten NOEL & LAFITTE (1967) und FLÜGEL & FRANZ (1967) die ersten Coccolithenauf-

nahmen. Sie kamen zu dem Resultat, daß wesentliche Anteile des Sediments coccolithogen seien. Aufbauend auf diesen Publikationen gelangen WISE & HSÜ (1971) aufgrund ähnlicher Diagenese mit der Schreibkreide, und SCHOLLE & KLING (1972) anhand einer modellhaften Gleichsetzung des Solnhofener Ablagerungsraumes mit der Schelflagune von Britisch-Honduras zu der Auffassung, daß der Solnhofener Plattenkalk ein ursprünglicher Coccolithenschlamm sei. BUISSONJE (1972) entwirft ein Solnhofen-Modell, bei dem jede einzelne Flinze-Lage einer Coccolithen-red tide entspricht (vergl. auch GROISS, 1975), die das normale Sedimentationsgeschehen (Fäulen!) überlagert.

### **Äolische Ablagerung durch Auswehung von Kalkdünen**

Den Anstoß zur „Dünen-Theorie“ gibt WALTHER (1904), indem er die Fäulen aufgrund ihres höheren Gehaltes an Quarz und Ton und dem Fehlen von Radiolarien und Diatomeen als äolisch eingebrachten Festlandstaub anspricht, der auf der trocken gefallenen Watt-Fläche festgehalten wurde. Die Flinze sieht er als feine Kalksuspension vom Riff, die ihre rasche Lithifizierung einer vadosen, subaerischen Zementation verdankt. ROTHPLETZ (1909) postuliert aufgrund einer „Massenbilanz“, daß die Flinze der äolische

Sedimentanteil während der xerotischen Periode seien. Die nachfolgende Überflutung, welche die Fäulen ablagerte, habe die eingewehten Kalke teilweise aquatisch umgelagert. Trotz der bildhaften Untermauerung der Dünen-Theorie durch ABEL (1922), die sich eng an die ROTHPLETZ'sche Vorstellung anlehnt (vergl. auch BÖLSCHKE, 1938), unterliegt sie in der Folgezeit den Verfechtern der überwiegend aquatischen Entstehungsgeschichte.

### **Einschüttung von feinstem, allochthonen Detritus**

So vielseitig, wie die Möglichkeiten einer allochthonen Einschüttung von Sedimentmaterial sind, so zahlreich sind auch die Differenzierungen bei den verschiedenen Vertretern dieser Vorstellung. NEUMAYR (1887) versucht, die Herkunft des Karbonats aus einer durch Flüsse vom benachbarten Festland eingeschütteten Trübe zu erklären. WALTHER (1904) überträgt das NEUMAYR'sche Modell auf den rein marinen Bereich, indem er für die Flinze eine Suspensionsschüttung von den nahen Riffen annimmt. Nach der „Großzeiten-Theorie“ von WILFARTH (1937) wurde das feinkörnige

Sediment von einer großen Erosionsplattform zwischen der Tethys und der Plattenkalk-Lagune bei periodischen Überflutungen mitgerissen.

Gerade in neuerer Zeit ist das Modell der Allochthonie wiederum aufgegriffen worden. So schließen GOLDRING & SEILACHER (1971) aus der für flyschähnliche Sedimente charakteristischen Erhaltung der *Kouphichnium*-Fährten als „undertracks“ auf eine Turbidit-Schüttung des Solnhofener Plattenkalkes. STRAATEN (1971) entwickelt ein ausgefeiltes Modell des Solnhofener Ablage-

rungsraumes, in dem jede Flinz-Lage einem Suspensionsstrom entspricht, der die normale Fäulen-Sedimentation überlagert. Wirbelstürme hätten danach Karbonatschlamm am Boden der sehr flachen Schelfsee N' der Solnhofener Bucht aufgewühlt. Die durch Unterströmung transportierte Suspension hätte sich nach Überschreiten der Wannen-Schwelle als turbidity current mit geringer Dichte und Geschwindigkeit gleichmäßig ausgebreitet. Von diesen Ausführun-

gen angeregt schließt BARTHEL (1972) durch Stürme ausgelöste Trübestrome als Mechanismus einer periodischen Wasser-Umwälzung nicht aus.

Um dem Dilemma der Sedimentherkunft ohne Möglichkeit einer genaueren Ansprache aus dem Wege zu gehen, hält MAYR (1967) ein Zusammenspiel zwischen chemischer und biochemischer Kalkfällung mit klastischer und bioklastischer Einschüttung für durchaus wahrscheinlich.

Die meisten der hier im Telegrammstil wiedergegebenen Vorstellungen über den wahren Charakter des Sediments mußten aus technischen Gründen überwiegend aus sekundären Indizien, wie der Fossilhaltung, sedimentologischen Phänomenen und Spekulationen im Rahmen bekannter Ablagerungsvorgänge gewonnen werden. Die jetzt vorliegenden elektrooptischen Sediment-Untersuchungen scheinen für den Solnhofen-Eichstätter Ablagerungsraum – und nur hierfür – den von DEHM (1957) und HADDING (1958) postulierten Verhältnissen am ehesten zu entsprechen.

## 5. Beschreibung der untersuchten Profile

### 5.1 Die Solnhofener Wanne

Der Ablagerungsraum der Solnhofener Wanne, der vor allem durch FESEFELDT (1962) kartiert und geologisch bearbeitet wurde, soll hier durch ein zusammengesetztes Profil folgender Aufschlüsse repräsentiert sein (Abb. 13):

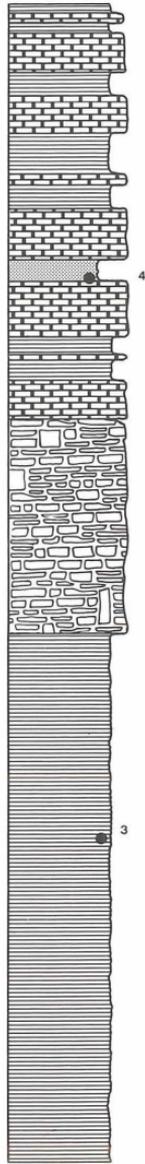
1. Aufgelassener Steinbruch an der alten Straße Rögling-Warching (h 12750 r 21550, Blatt Monheim) mit Malm zeta 1 und 2a.
2. Steinbruch Horstberg bei Mörsheim (h 15280 r 26480, Blatt Monheim) mit Malm zeta 2b und 3.

Die erfaßte Schichtfolge beginnt mit 4,8 m dickbankigen Röglinger Bankkalken (Malm zeta 1) im stillgelegten Steinbruch an der alten Straße zwischen Rögling und Warching. Die Bankmächtigkeiten sind hier mit 20 bis über 70 cm relativ hoch (vergl. ROLL, 1940, S. 209; FESEFELDT, 1962, S.8). Die Fazies ist durch die Ausbildung heller, weiß bis gelber, feinkörniger Kalke gekennzeichnet, die reich

an Detritus, Coccolithen und Calcisphären sind. Die Schichtfugen sind wellig.

Darüber folgt eine 1,3 m mächtige Serie in überwiegend mergeliger Entwicklung. Darin eingeschaltet finden sich einzelne, z.T. sehr fossilreiche Bankkalke. Neben zahlreichen Grabgängen enthalten sie Ammoniten, Belemniten, Gastropoden, Bivalven, Brachiopoden und Echinodermaten. Zwei schmale, rote Kiesel-Lagen in den oberen Mergel-Partien markieren den sogenannten Dachhornsteinhorizont (FREYBERG, 1964) als Abschluß des Malm zeta 1 (= Geisental-Schichten). Die feinschichtigen, gelbbraunen Mergel selbst sind durch ihre große Fülle von Coccolithen gekennzeichnet (ca. 20000000/mm<sup>3</sup>), unter denen *Ellipsagelosphaera keftalrempti* GRÜN, *Ell.britannica* (STRADNER), *Cyclagelosphaera margereli* NOEL, *Bidiscus ignotus* (GORKA) und *Stephanolithion bigoti* (DEFLANDRE) zahlenmäßig dominieren.

# Profil Horstberg

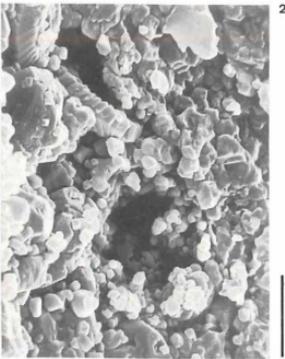


4

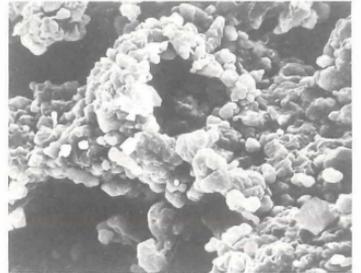
§ 3

§ 2 b

# Profil Rögling-Warching

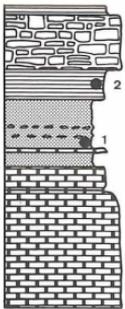


2



3

5 m



§ 2 a

§ 1



Plattenkalke



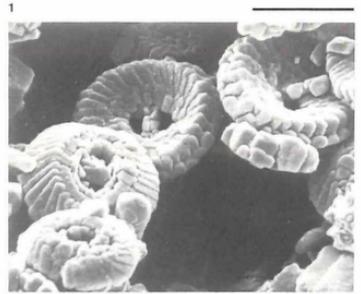
Mergel



„Krumme Lagen“



Bankkalke  
z.T. kieselig



Die „Unteren Solnhofener Schiefer“ (Malm zeta 2a) setzen die mergelige Sedimentation mit ca. 1 m coccolithenreichen, feingeschichteten Mergeln fort. Diese gehen nach oben allmählich in blättrige, meist noch etwas mergelige Flinze über.

Das weitere Profil des Malm zeta 2a bis zu seinem Top, der Trennenden Krümmen Lage, ist außerhalb des kleinen Steinbruches entlang der Straßenböschung aufgeschlossen. So finden sich nach etwa 50 cm Aufschlußlücke 1 m mächtige, mergelreiche Plattenkalke, auf deren ebenen Schichtflächen Lumbricarien und Saccocomen auftreten. Die einzelnen Plattenkalk-Pakete werden 6 bis 20 cm mächtig. Ihre Ultrafazies ist durch das auffällige Zu-

rücktreten des Nannoplanktons innerhalb der Schichtlagen gekennzeichnet, bei gleichzeitigem Auftreten einzelner coccaler Cyanophyceen. Die Schichtflächen-Bereiche beinhalten meist eine starke Anreicherung des Nannoplanktons (Coccolithen, Calcisphären). In den fein- bis latentgeschichteten Plattenkalken des oberen Malm zeta 2a erfolgt demnach der fazielle Übergang zu den echten Plattenkalken.

Die Trennende Krümme Lage, die nach ROLL (1940) und FREYBERG (1964) als Top des zeta 2a gilt, stellt eine stark deformierte, 2 m mächtige Wechselfolge von Bank- bis Plattenkalken mit mergeligen „Schiefern“ dar.

Das vereinfachte Profil von Rögling-Warching läßt sich vom Liegenden zum Hangenden folgendermaßen wiedergeben:

- 400 cm : dickbankige, gelblich weiße, feinkörnige Bankkalke mit welligen Schichtfugen. Bankmächtigkeit 20-70 cm.
- 1 cm : wechselnd mächtige Mergelfuge
- 58 cm : helle Bankkalke mit welligen Schichtflächen
- 23 cm : feinkörnige Kalkbank mit ebener Topfläche
- 31 cm : feinschichtige Mergel mit Chondriten im oberen Abschnitt
- 35 cm : gelber Bankkalk mit zahlreichen Megafossilien und Grabspuren
- 34 cm : feinschichtige Mergel mit Karbonat-Kieselknollen
- 7,5 cm : rote Kieselbank
- 14 cm : feinschichtige Mergel
- 4 cm : rote Kieselbank
- Grenze Malm zeta 1 zu zeta 2a
- ca. 100 cm : unregelmäßig feinschichtige Mergel
- ca. 50 cm : Aufschlußlücke
- 102 cm : etwas mergeliger, feinschichtige Plattenkalke mit *Saccocoma* und *Lumbricaria*
- 16 cm : Basisbank der Trennenden Krümmen Lage
- 170 cm : stark deformierte Trennende Krümme Lage

Die Fortsetzung des Unter-Tithon-Profiles wurde am Horstberg nördlich Mörsheim aufgenommen. An der Steinbruch-Westwand läßt sich folgendes Profil, das hier stark vereinfacht wiedergegeben ist, aufmessen:

Abb. 13: Unter-Tithon-Schichtfolge in der Solnhofener Wanne. Die Maßstäbe bei den Fotos entsprechen jeweils 5 Mikron. Bild 1 : Probe R-22; REM-Foto 6759 – Bild 2: Probe R-31; REM-Foto 8609 – Bild 3: Probe S 70u-11; REM-Foto 2257 – Bild 4: Probe M II-6; REM-Foto 7440

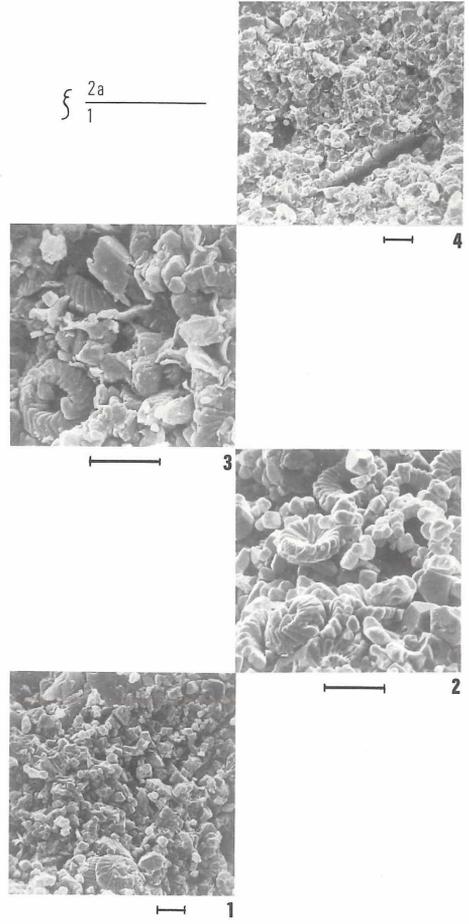
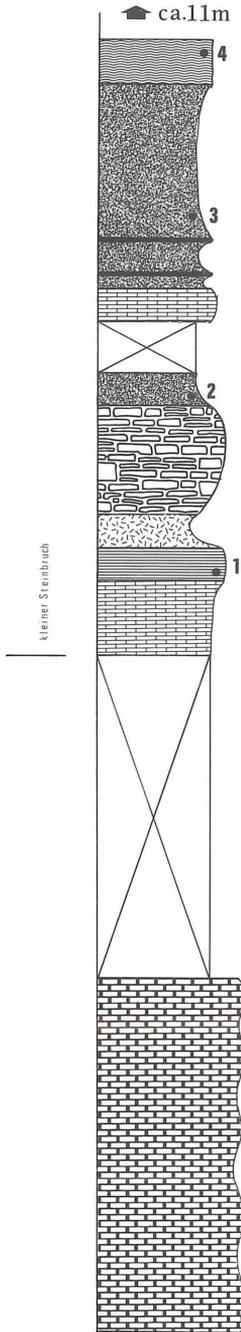
- 1850 cm: Plattenkalk-Wechselfolge von gelblich-weißen Flinzpaketen mit Fäulen. Die Flinze haben Mächtigkeiten zwischen 1 und 16 cm.
- 730 cm: Hangende Krumme Lage mit z.T. intensiv verfalteten und gewickelten Plattenkalken
- \_\_\_\_\_ Grenze Malm zeta 2b zu zeta 3 \_\_\_\_\_
- 100 cm: unregelmäßige Bankkalke mit plattenkalkähnlichen Einschaltungen (im Aufschluß nicht zugänglich)
- 40 cm: latent geschichteter Bankkalk
- 70 cm: feingeschichtete, plattenkalkähnliche Kalke
- 21 cm: Kieselbank
- 83 cm: unregelmäßig geschichtete, rötliche Mergelkalke mit Kieselknollen
- 15 cm: rote, dünnplattige Kalke
- 32 cm: stark verkieselte Bank
- 121 cm: ammonitenreiche, flaserig aufwitternde Kalke
- 5 cm: rot-grau-wechselschichtige Mergel mit Koprolithen
- 84 cm: feinschichtige Mergelkalke
- 105 cm: unregelmäßig geschichtete, detritusreiche Kalke
- 7 cm: fein aufblätternde Mergel
- 61 cm: ammonitenreiche Bankkalke
- 11 cm: rote und graue, feinschichtige Mergel
- 11 cm: grobkörnige, latentgeschichtete Schuttbank
- 37 cm: dünnplattige Kalke und Mergel
- 60 cm: helle Bankkalke
- 146 cm: unregelmäßig latentgeschichtete, schuttreiche Kalke (Schichtstärken 0,5 - 1 cm)
- 31 cm: Kieselbank
- 9 cm: unregelmäßig geschichtete, rötliche Kalke
- 30 cm: ammonitenreiche, z.T. verkieselte Bank
- 30 cm: unregelmäßig geschichtete Kalke
- 20 cm: brachiopodenreiche Dickbank
- 92 cm: unregelmäßig plattige, rötliche Kalke
- 23 cm: Kieselbank
- 23 cm: unregelmäßig geschichtete, dünnbankige Kalke
- 28 cm: schuttführende Dickbank
- 20 cm: mergelige Kalke
- 30 cm: Kieselbank
- 42 cm: rötliche, unregelmäßig geschichtete, dünnbankige Kalke
- 38 cm: kieselige Bank
- 36 cm: unregelmäßig geschichtete, dünnbankige Kalke.

Die basalen 18,5 m des Steinbruchprofils werden von den echten Solnhofener Plattenkalken des Malm zeta 2b eingenommen. Sie entsprechen sowohl in ihrem makroskopischen Erscheinungsbild (feinschichtige, ebenplattig absondernde, fossilarme, gelblich weiße Mikrite in unregelmäßiger Wechselagerung mit mergelreichen Fäulen bzw. Zähnen Fäulen) als auch in ihrer ultrafaziellen Ausbildung den typischen Plattenkalken. Die einzelnen Schichtlagen werden überwiegend aus coccalen Cyanophyceen aufgebaut, während auf den Schichtflächen Nannoplankton angereichert sein kann. Den oberen Abschluß des Malm zeta 2b bildet die hier recht mächtige Hangende Krumme Lage (ROLL, 1940), die faziell den unterlagernden Plattenkalken ähnlich ist. Infolge subaquatischer Gleitvorgänge des z.T. noch plastischen Sediments wurde den ursprünglichen Plattenkalken eine unterschiedlich starke Stauchfaltung mit Wickelstrukturen aufgeprägt.

Die Mörnheimer Schichten (Malm zeta 3) sind durch das fast völlige Fehlen echter Plattenkalke gekennzeichnet. Die an ihre Stelle tretenden dünnplattigen, z.T. latentgeschichteten Kalke zeichnen sich durch wellige, unregelmäßig begrenzte Schichtflächen aus. Ein mehr oder weniger starker, primärer Pyritgehalt ist wohl für die oberflächennahe Rotfärbung der Kalke verantwortlich. Ultrafaziell zeigen sie neben hohem Anteil an Biogenschutt zahlreiche Coccolithen und Calcisphären. Sphären coccaler Cyanophyceen kommen nicht mehr vor. Die Matrix-Kristallite zeigen durch ihre euhedrale Gestalt eine stärkere Diagenese an. Auch die äußerlich den Fäulen im Malm zeta 2b ähnlichen, feinblättrigen, ebenschichtig absondernden Mergel-Einschaltungen sind, soweit die REM-Beobachtungen bisher gezeigt haben, sehr reich an Coccolithen. Sie veraten dadurch ihre Entstehung unter überwiegend normalmarinem Einfluß.

Abb. 14: Unteres Unter-Tithon im Bereich der Obereichstätt-Harthofer Wanne. Die bei den Fotos angegebenen Maßstäbe entsprechen jeweils 5 Mikron. Bild 1: Probe E-3; (Lss); REM-Foto 9620 – Bild 2: Probe E1-12; REM-Foto 5070 – Bild 3: Probe E-18 (Lss); REM-Foto 9622 – Bild 4: Probe E-22 (Lss); REM-Foto 9619

PROFIL OBEREICHSTÄTTER STEIGWEG



-  Spurenschiefer
-  Mergelkalk mit Kiesellage
-  Krumme Lage
-  Dolomit
-  plattiger Kalk
-  dünnbankiger Kalk
-  dickbankiger Kalk



Die Mörsheimer Schichten sind hier besonders fossilreich (überwiegend Ammoniten). Bezeichnend sind weiterhin zahlreiche Kieselhorizonte. Die teilweise unter  $H_2S$ -Bedingungen erfolgte Sedimentation wird neben der sekundären Rotfärbung auch durch die häufige „Siphon-Erhaltung“ vieler Ammoniten an-

gezeigt. Ist Pyrit und/oder Bitumen durch die Verwitterung abgeführt worden, zeigt sich unter dem REM z. T. eine intensive Anätzung vieler Kristallite (Taf. 30, Fig. 1), wie ich sie in den Solnhofener Plattenkalken nicht finden konnte.

## 5.2 Die Obereichstätt-Schernfelder Wanne

Im Eichstätter Ablagerungsraum, der vor allem von EDLINGER (1964) und ZEISS (1964a) geologisch bearbeitet wurde, können im Malm zeta 2 die dünnplattigen Kalke der „Eichstätter Fazies“ (FREYBERG, 1968, S. 28) in zwei miteinander in Verbindung stehenden Wannan angetroffen werden:

1. In der Eichstätter Wanne, in der die beiden großen Steinbruchreviere von Wintershof und Blumenberg liegen.
2. In der Obereichstätt-Schernfelder (= Harthofer-) Wanne, die durch die sie im N und W begrenzende Birkhofer-Eichstätter-Riffschwelle von der Eichstätter Wanne getrennt ist (vergl. EDLINGER, 1964; ZEISS, 1964; FREYBERG, 1968).

Das hier bearbeitete Profil wurde innerhalb der Obereichstätt-Schernfelder Wanne zusammengestellt, da in diesem Areal der untere Malm zeta 3 noch gut entwickelt vorliegt.

Der Liegende Teil (Malm epsilon bis Malm zeta 2a) wurde am Obereichstätter Steig-

weg (h 17350 r 37180, Blatt Dollnstein), der Hangende Teil (Malm zeta 2b und 3) im Steinbruch STRACKE, östlich Schernfeld (h 19180 r 35830, Blatt Bieswang) aufgenommen und beprobt.

Über dolomitierter Massenfazies setzt am Obereichstätter Steigweg der insgesamt 13,8 m mächtige Malm epsilon mit zunächst noch mehr oder weniger dick gebankten, gelbbraunen Kalken ein. Sie sind z. T. dolomitisiert. Nach oben geht die Feinschutt-Fazies bei zunehmendem Zurücktreten der Dolomite in dünnbankigere, etwas flaserig aufwitzernde Kalke über. Den Bankstärken zwischen 20 und 40 cm im unteren Teil stehen wellig absondernde Bänke zwischen 5 und 15 cm im oberen Teil gegenüber.

Die Grenze zwischen Kimmeridge und Tithon bildet die bis 20 cm mächtige „Rote Mergel-lage“, die hier nur als Lesestein-Scherben im Hangschutt gefunden werden kann. Ihr Karbonat-Anteil geht größtenteils auf Cocco-lithophoriden zurück.

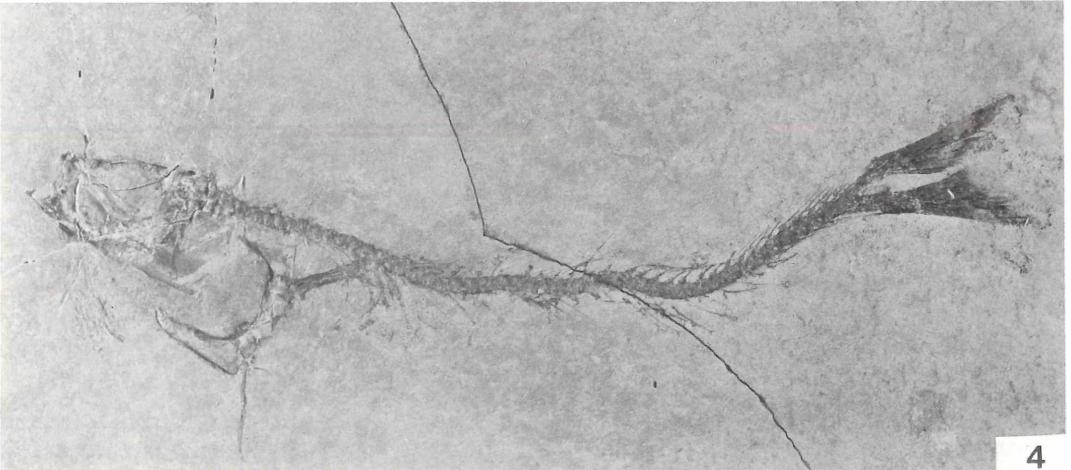
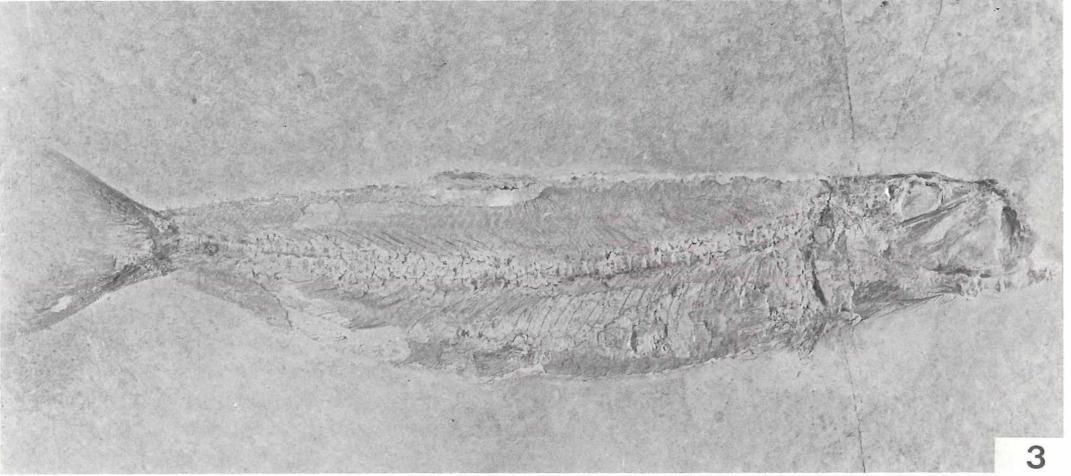
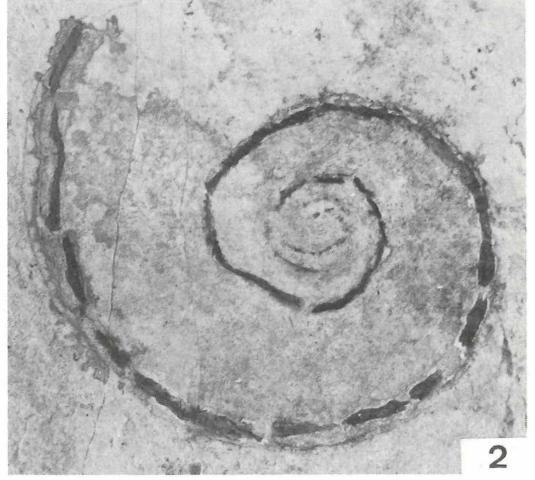
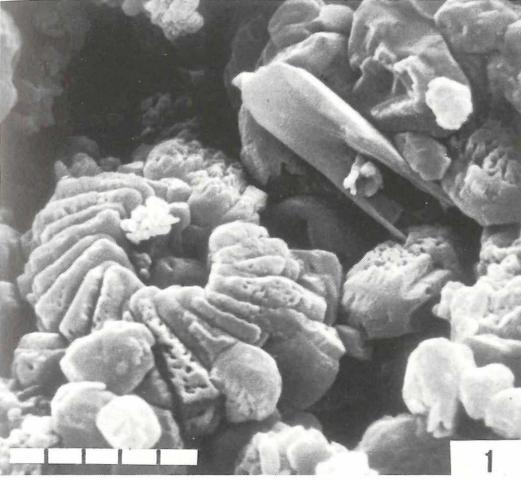
### Tafel 30:

Fig. 1: Ehemals bituminöse Mergel des Malm zeta 3 vom Horstberg, die nahe der Grasnarbe durch die Verwitterung frei von Bitumen bzw. Pyrit sind. Die Oxydation dieser Stoffe verursachte eine intensive Anätzung der Kalzitkristalle. Probe M-X; REM-Foto 2123

Fig. 3: *Leptolepis knorri* BLAINV. in Weichteil-Erhaltung, wie sie für den Eichstätter Ablagerungsraum typisch ist. Nat.Gr. 250 mm; Sammlung H. Keupp

Fig. 4: In der Solnhofener Wanne findet sich *Leptolepis knorri* BLAINV. meist in der sogenannten „Gräten-Erhaltung“. Fundort: Obere Haardt bei Langenaltheim, nat. Gr. 170 mm; Sammlung H. Keupp.

Fig. 2: „Siphon-Erhaltung“ eines *Neocheiloceras* aus den Mörsheimer Schichten (Horstberg) kann als Indiz für euxinisches Ablagerungsmilieu angesehen werden. Nat.Gr. 75 mm



Der untere Malm zeta 1 ist durch eine dickbankige Folge gelblich-weißer, splitterig brechender, schuttreicher Kalke mit hohem Mikrit-Anteil gekennzeichnet. Diese Bankkalke nehmen von der insgesamt 26 m mächtigen zeta 1 – Schichtfolge mindestens 18,5 m ein. Nach einer etwa 4 m betragenden Aufschlußlücke kann die Fortsetzung des Profils in dem nahen, aufgelassenen Steinbruch aufgenommen werden (vergl. ZEISS, 1964a, S. 21). Vom Liegenden zum Hangenden unterliegt das obere zeta 1 starken Faziesdifferenzierungen:

- 80 cm: bräunliche, unregelmäßig gebankte Kalke mit nach oben von 12 auf ca. 2 cm abnehmender Mächtigkeit der wellig absondernden Schichten
  - 10 cm: flaserig, wellig geschichtete Kalke mit 1 cm-Bänken
  - 38 cm: ebenflächig absondernde, rauhe plattenkalkähnliche Kalke mit zahlreichen Fossilien (Fischschuppen, Saccocomen, Ammoniten, Lumbricarien)
  - 31 cm: dolomitierte, feinschichtige Mergel
  - 10 cm: feingeschichtete Dolomit-Bank
  - 105 cm: feingeschichtete Kalke mit Wickelstrukturen und Winkeldiskordanzen (= Buchenhüller Krumme Lage)
  - ca. 30 cm: rötliche, unebenplattige Mergelkalke
  - 100 cm: Aufschlußlücke
  - 30 cm: gelblich weiße Mikrit-Bank
  - 16 cm: dünnplattige Kalke mit Fischschuppen
  - 4,5 cm: verkieselte Kalkbank
  - 28 cm: unregelmäßig geschichtete, weiße Mergelkalke
  - 4 cm: Kiesel-Lage
  - 185 cm: dünnplattige, rauhe Mergelkalke mit welligen Schichtflächen, schuttreich
- Grenze Malm zeta 1 zu zeta 2a (n. ZEISS, 1964a)  
 Im überdeckenden Hangschutt stark aufgewitterte, etwas dislozierte „Spurenschiefer“

Das beschriebene Profil gibt den allmählichen Übergang von der lange Zeit monotonen Dickbank-Sedimentation zu den echten Plattenkalcken wieder. Die plattenkalkähnlichen Kalke etwa 1 m über der Steinbruchbasis belegen durch ihre Ultrafazies die Ablagerung unter weitgehendem Einfluß der offenen See. Die einzelnen latent geschichteten Lagen beinhalten eine Fülle von Coccolithen. Eine idiomorphe Zementbildung verbunden mit deutlichen Drucklösungs-Erscheinungen ist bezeichnend. Die darüber liegenden metasomatisch dolomitierten Lagen sind wohl auf eine frühdiagenetische, fast syndimentäre Dolomitierung ausgehend von der Topfläche während der Sedimentationsunterbrechung zurückzuführen. Ähnliche Vorgänge vermutet BAUSCH, 1963 (S. 89-92) anlässlich einer Beschreibung von Malm epsilon - Bankdolomiten auf Blatt Laaber. Die Dolomitierung ist hier jedoch, analog dem bei ZEISS (1964a, S. 20) geschilderten Fall am Gampelberg, auf nur einen 40 cm mächtigen Horizont beschränkt.

Die Korrelation der etwa 1 m mächtigen, subaquatisch gegliederten, teilweise latentgeschichteten Kalke mit der nur lokal bedeutsamen „Buchenhüller Krumpen Lage“ (EDLINGER, 1964, S. 28) kann aufgrund der übereinstimmenden, lithostratigraphischen Position im Liegenden des Dachhornsteinhorizontes erfolgen.

Die rötlichen Mergelkalke im Hangenden der Krumpen Lage sind sehr reich an Coccolithen, die sehr häufig starken, syntaxialen Aufwuchs und overgrowth zeigen. Nach einer Aufschlußlücke von ca. 1 m setzt sich das Profil im östlichen Teil des kleinen Aufschlusses fort. Die markanten Kiesellagen, die in unregelmäßig geschichtete Mergelkalke eingeschaltet sind, können wohl als Äquivalent des Dachkieselhorizontes (FREYBERG, 1964) angesehen werden.

ZEISS (1964a, S. 21) rechnet aus lithologischen Gründen die 1,85 m mächtigen, z. T. kreidig erscheinenden Mergelkalke zwischen den obersten Kiesellagen und dem Einsetzen

der „Spurenschiefer“ noch dem Malm zeta 1 zu. Setzt man aber die auftretenden Kieselagen dem Dachhornstein i.S. FREYBERGS (1964) gleich, müßten die Mergel bereits zu den unteren „Schiefern“ des Malm zeta 2a gestellt werden. Die Mergel selbst sind durch den Reichtum an fein fraktionierten Bioklastikas charakterisiert, der ihnen einen rauhen Habitus verleiht. Daneben finden sich zahlreiche Coccolithen und Calcisphären. Die nach ZEISS (1964a) insgesamt 11 m mächtigen „Spurenschiefer“ sind nur noch in den überdeckenden Hangrutschmassen aufgeschlossen. Die meist tonbelegten Schicht-

flächen sind durch zahlreiche Wühlspuren uneben. Ultrafaziell künden sie die zunehmende Restriktion des Ablagerungsraumes an. Neben gelegentlich auftretenden, größeren Bioklastikas zählen Nanno-Organismen zu den Seltenheiten. Nur vereinzelt finden sich in dem stark neomorph überprägten Sediment Calcisphären und Coccolithen.

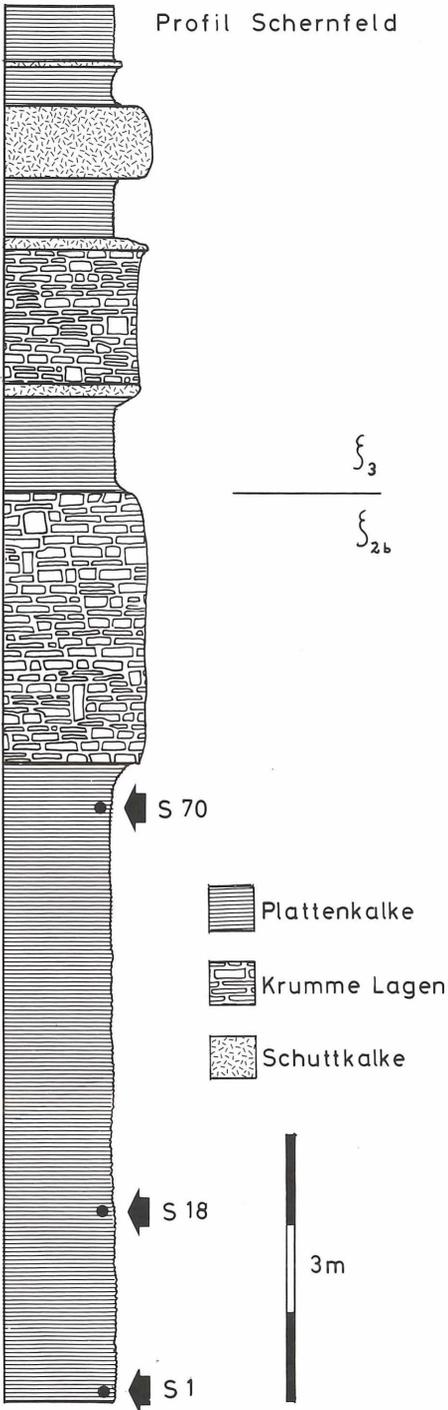
Die im Eichstättler Raum nur unbedeutend entwickelte Trennende Krumme Lage, die den Hangendabschluß des Malm zeta 2a bildet (ROLL, 1940), ist in dem ausgewählten Profil nicht erschlossen.

Der obere Malm zeta 2b und das untere zeta 3 sind an der S- bzw. W-Wand des Steinbruchs STRACKE im Osten von Schernfeld aufgenommen worden. Folgendes, vereinfachte Profil liegt hier vom Liegenden zum Hangenden vor:

- 720 cm: Plattenkalkstoß mit unregelmäßigem Wechsel dünnblättriger Flinzpakete (2 bis maximal 30 cm) und feinblättrigen Fäulen. Flinzstärken selten über 1 cm.
- 295 cm: Plattenkalke in Form von Wickel- und Stauchstrukturen bilden die Trennende Krumme Lage  
\_\_\_\_\_Grenze zwischen Malm zeta 2b und zeta 3\_\_\_\_\_
- 120 cm: dünnplattige Flinzpakete mit eingeschalteten Fäulen
- 200 cm: Krumme Lage aus überwiegend dickbankigen Mikriten, Schichtstärken um 30 cm
- 80 cm: Plattenkalkfolge mit Schichtstärken selten über 1 cm
- 86 cm: Eben begrenzte Schuttbank mit welliger Interntextur
- 55 cm: dünnplattige Flinz-Fäulen-Sequenz
- 5 cm: helle Dickbank, Feinschutt?
- 60 cm: dünnplattige Flinz-Fäulen-Sequenz
- ca. 1,5 - 2 m stark aufgewitterte Plattenkalke unter der Grasnarbe.

Die typischen Plattenkalke, die ultrafaziell durch den Wechsel coccaler Cyanophyceen im Schichtinneren und einer relativen Anhäufung von Nannoplankton auf den ebenen Schichtflächen charakterisiert sind, halten auch im Malm zeta 3 nach dem Ereignis der Hangenden Krümmen Lage noch an. Das Profil von Schernfeld ist gegenüber den Plattenkalken des Horstberges durch seine individuellen- und artenreiche Nannoflora innerhalb des Schichtflächenbereiches ausgezeichnet. Die tektonische Aktivität (vergl. KRUMBECK, 1928) dokumentiert sich während des Malm

zeta 3 in der Einschaltung weiterer Krümmen Lagen. So belegt auch die 86 cm mächtige Schuttbank durch ihre Interntextur den Ursprung aus einer subaquatischen Gleitung. Die in Solnhofen im unmittelbaren Anschluß an die Hangende Krumme Lage einsetzende Kieselfazies der Mörsheimer Schichten kann sich im Raume Eichstätt erst 10 m oberhalb durchsetzen (EDLINGER, 1964, S.48). Fehlende Aufschlüsse in der höheren Hornsteinfazies gestatteten z.Z. keine Profil-Aufnahme.



### 5.3 Die Krummen Lagen

Die Bearbeiter des Solnhofener Plattenkalkes beschäftigte schon früh das Phänomen der „Krummen Lagen“ (WALTHER, 1904, S. 213). Es sind dies im Raum Eichstätt-Solnhofen zwei markante, maximal bis 12 m mächtige Horizonte im Liegenden und Hangenden des Plattenkalk-Schichtstoßes, die bei weitgehend gleicher Fazies (KRUMBECK, 1928b) durch ihre intensiven Stauch- und Wickeltex- turen auffallen. Die früheren Autoren nehmen als Ursache chemische Diagenese-Prozesse an. GÜMBEL (1891, S. 280) denkt aufgrund des Auftretens von Kieseleinschaltungen (vor allem in den Mörsheimer Schichten) an Stau- chungen des Sediments durch Auskristallisie- ren der Kieselsäure, indem er auf die volumen- vergrößern- de Umwandlung von Anhydrit zu Gips verweist. WALTHER (1904, S. 213) räumt die Möglichkeit ein, daß die mechanische De- formation unmittelbar nach dem Abschluß der Sedimentation durch frühdiagenetische Umkristallisations-Vorgänge erfolgt sein könne.

SCHNEID (1914, S. 137) glaubt eher an einen tektonischen Tangentialdruck als Urheber der Krummen Lagen. Den Zeitpunkt des Ereig- nisses läßt er allerdings offen.

Erstmals deutete REIS (1909) im Zusammen- hang mit Untersuchungen in der Trias an, daß die Krummen Lagen subaquatische Rut- schungen seien. Diese Anregung greift KRUMBECK (1928b) in seiner ausführlichen Beschreibung der im Solnhofener Raum auf- tretenden Phänomene auf. Er kommt zu dem Ergebnis, daß infolge des geringen Transport- weges (8–10 m) der Sedimentmassen in einer Richtung bei der großen, flächenhaften Er- streckung, als Erklärung eine Sackung des Sediments bei Erdbeben am wahrschein- lichsten sei. ROLL (1933, S. 560) macht für die subaquatischen Rutschungen die flachen Böschungswinkel der primären Schüsselto- pographie des Ablagerungsraumes verant- wortlich. Diese Vorstellung wird durch FESE-

Abb. 15: Plattenkalk-Profil im Steinbruch STRACKE öst- lich Schernfeld. Die angegebenen Proben-Nummern ge- ben die Lage der Detailausschnitte von Abb. 16 wieder.

FELDT (1962, S. 37) gestützt, der eine Bewegungsrichtung der Krummen Lagen innerhalb des Solnhofener Ablagerungsraumes jeweils zum Beckenzentrum hin annimmt. ALDINGER (1930) stellt im Zusammenhang mit einer Beschreibung der riffnahen allo-dapischen Kalke (MEISCHNER, 1964), die mit den Verhältnissen im Kelheim-Paintener Ablagerungsraum vergleichbar sind (STREIM, 1961; SCHAIRER, 1968; SCHAIRER & LUPU, 1969; FLÜGEL et al. 1975; FAY, 1976), unter den fünf möglichen Ursachen submariner Gleitung –

1. Zunehmende Sedimentauflast
2. Änderung der Wasserkonzentration im Sediment
3. Abnahme des Wasserdruckes durch Erniedrigung der Wassersäule
4. Erosive Vorgänge
5. Erdbeben im Sinne KRUMBECKs (1928b) – bei einem vorgegebenen Böschungswinkel von mindestens 4° die zunehmende Sedimentauflast an erste Stelle. Diese Auffassung findet nicht nur bei LIPPERT (1937), sondern auch bei MÜNCH (1955, S.46) Zustimmung. Aufgrund einer generellen SW-Richtung der geringen Sedimenttransporte (maximal mehrere 10 m) negiert MÜNCH das von ROLL entwickelte „Schüssel-Modell“. EDLINGER (1964, S. 53-55) glaubt einen genetischen Zusammenhang zwischen der durchschnittlichen Schichtmächtigkeit und dem Ausmaß der Gleitbewegung erkennen zu können. Nach seiner Auffassung verursachen epirogene Krustenbewegungen eine Absenkung des Ablagerungsraumes. Der dadurch erhöhte Sedimentanfall im Bereich der Krummen Lagen bedinge eine größere Schichtmächtigkeit und entsprechend

stärkere Setzung. Der durch die Setzung vergrößerte Böschungswinkel indiziere das Abgleiten in Abhängigkeit von der Schichtstärke. Die Ausführungen EDLINGERs zeigen deutlich, daß die Entstehung des slump-Materials mehr oder weniger autochthon ist. Ein Abgleiten des Sediments von den Schwellenbereichen in das Becken hinein kann nicht vorliegen, da gerade auf den Schwellen nur dünnplattige Flinze und Fäulen gebildet werden. Die Gleithorizonte sind innerhalb der Plattenkalkentwicklung Ausnahmen und können deshalb nicht als Ausdruck des Sedimentationsmotors der Plattenkalke selbst gesehen werden (BARTHEL, 1972). Das Auftreten der Krummen Lagen ist deshalb kein Hinweis auf eine Fremdeinschüttung des Plattenkalkes (vergl. Kap. 4.4 und 7).

Unabhängig nun für welche der angebotenen Entstehungsmöglichkeiten der Krummen Lagen man sich entscheidet – die Kombination zwischen der Auffassung EDLINGERs und KRUMBECKs scheint wohl den Gegebenheiten am besten gerecht zu werden –, läßt ihr Vorhandensein im Hinblick auf die Ablagerungsbedingungen des Plattenkalkes folgende Schlußfolgerungen zu:

1. Ein primäres Bodenrelief war gegeben (EDLINGER, 1964)
2. Selbst die minimal notwendigen Böschungswinkel sprechen gegen ein Trockenfallen des Ablagerungsraumes (KRUMBECK, 1928)
3. Das Sediment ist autochthon
4. Die Plastizität des Sediments war abhängig von der Flinzstärke. Dies spricht für eine von der Oberfläche jeder Lage her angreifenden Sedimentverfestigung (vergl. „Hütchenbildung“ in Kap. 4.3).

## 5.4 Faziesunterschiede des Solnhofener und Eichstätter Ablagerungsraumes

Die große Erstreckung, die starke interne Gliederung der gesamten Plattenkalk-Lagune durch die abgestorbenen Algen-Schwamm-Bioherme im Untergrund und die unterschiedlichen Entfernungen zu den begrenzenden Riff-Schwellen bzw. der spekulativen Küste

lassen eine Differenzierung in der lithologischen Ausbildung und Fossilführung erwarten. Die verschiedenen faziellen und faunistischen Sonderausbildung in den Randgebieten von Kelheim, Painten, Pfalzpaint,

Zandt und Daiting, auf die zahlreiche Autoren hinweisen (z.B. GÜMBEL, 1881; SCHWERTSCHLAGER, 1919, 1924; FÖRSTER, 1966; MAYR, 1967; JANICKE, 1967, 1969; BANTZ, 1969; SCHAIRER, 1971; VIOHL, 1972, 1976; u.v.a.), seien bei dieser Betrachtung ausgeklammert.

Wie die Beschreibung der untersuchten Profile (Kap. 5.1 und 5.2) deutlich zeigt, gibt es auch zwischen den beiden riff- und landferneren Ablagerungsräumen von Solnhofen und Eichstätt Unterschiede. Selbst innerhalb einzelner Wannens ist keine Kontinuität der Fazies gegeben (WALTHER, 1904; FESEFELDT, 1962; EDLINGER, 1964, 1966; FREYBERG, 1964, 1968; u.a.). Die beobachteten Differenzierungen in Gesamtmächtigkeit und Schichtstärken stehen in Abhängigkeit zu den lokalen Relief-Verhältnissen.

FREYBERG (1968, S. 27) glaubt an eine großräumige Verbindung der einzelnen Plattenkalk-Wannen, da sich der Übergang beispielsweise zwischen der „Solnhofener“ und „Eich-

stätter Fazies“ nicht an die Wannengrenzen zu halten scheint, sondern innerhalb der südwestlichen Schönfelder Wanne (EDLINGER, 1966) erfolgt. Bezieht man jedoch die faunistische Eigenständigkeit (WALTHER, 1904) mit ein, so scheint doch eher ein durch das Relief und die fehlende Strömungsintensität bedingter, eingeschränkter Wasseraustausch (VIOHL, 1972, S. 364) vorgelegen zu haben. Die Faunendifferenzierung kann wohl teilweise durch separate Kanäle in den Riffschranken (verg. GROISS, 1975) erklärt werden, die jeweils nur in einer Wanne für den notwendigen Wasser- und Organismenaustausch gesorgt haben.

In folgenden Bereichen lassen sich zwischen Solnhofen und Eichstätt Differenzierungen in der Fazies erkennen:

1. Lithologie
2. Organismenzusammensetzung
3. Fossilhaltung

### Lithologie

Die lokalen Abweichungen in den Schichtmächtigkeiten sind in Abhängigkeit der Untergrund-Morphologie zu sehen, wie dies das vereinfachte Querprofil bei EDLINGER (1966, S. 13: Abb. 4) anschaulich macht. Die wesentlichen lithologischen Unterschiede, die bei vielen Autoren vermerkt sind (z.B. GÜMBEL, 1891; WALTHER, 1904, SCHWERTSCHLAGER, 1919), können in Anlehnung an FESEFELDT (1962), EDLINGER (1964), FREYBERG (1964, 1968) und ZEISS (1968a) kurz zusammengestellt werden:

Im Malm zeta 3 markiert die detritusreiche Kieselfazies der Mörsheimer Schichten im Solnhofener Ablagerungsraum das Vorstoßen der „Jüngeren Riffgeneration“ (FREYBERG, 1964, 1968). In dieser Wanne hebt die high-energy-Fazies den Abschluß von der offenen See auf. Die weitgehende Eigenständigkeit der beiden Sedimentationsräume wird in der weiterhin anhaltenden Plattenkalkentwicklung in Eichstätt deutlich.

#### Solnhofener Wanne

**zeta 2a:** maximal 35 m mächtig, wobei die Trennende Kr. Lage mit bis zu 25 m dominiert

**zeta 2b:** dickplattige Kalke (= „Solnhofener Fazies“), max. 60 m, wobei die Hangende Kr. Lage mit 5-7 m bedeutungslos ist

**zeta 3:** die high-energy-Fazies mit Verkieselungen setzt unmittelbar ein

#### Eichstätter Wanne

Bei maximal 23 m Mächtigkeit tritt die Trennende Kr. Lage mit 10 m im Ausnahmefall gegenüber den Spurenschiefern zurück

dünnplattige Kalke (= „Eichstätter Fazies“), max. 25 m, wobei die Hangende Kr. Lage mit bis zu 10 m bedeutsam ist

die Kieselfazies wird im unteren Abschnitt weiterhin durch Plattenkalke vertreten

## Organismenzusammensetzung

Das Verdienst, die Unterschiede in der Organismenverteilung beider Plattenkalkreviere erstmals erkannt zu haben, gebührt J. WALTHER (1904). Er fand durch systematisches Sammeln und Beobachten heraus, daß Eichstätt insgesamt fossilreicher ist, wobei neben den Saccocomen vor allem Insekten auffallend „häufig“ sind. In den fossilärmeren Solnhofener Abbaugebieten können dagegen nur gelegentlich Insekten und niemals Echsen gefunden werden. Neben quantitativen Differenzierungen liegen demnach auch qualitative vor. VIOHL (1972, S. 364) stellt heraus, daß eine echte regionale Beschränkung einzelner Arten vorliegt. So findet sich die Seelilie *Comatula* (= *Antedon*) nur in Solnhofen und Zandt (vergl. LEICH, 1968). *Eryon arctiformis* (SCHLOTHEIM) kommt ausschließlich in Solnhofen vor, während *Cycleryon propinquus* (SCHLOTHEIM) auf Eichstätt beschränkt ist. Da beide *Eryon*-Arten vermutlich nicht in der Lagune gelebt haben (Fehlen von Spuren und Jugendformen), kann dieser Unterschied am besten durch getrennte Zuflüsse von der offenen See erklärt werden.

Das häufigere Vorkommen vor allem gut erhaltener Insekten im Eichstätt Revier dürfte wohl weniger in einer landnäheren Position, als viel mehr in der geringeren Wassertiefe des Ablagerungsraumes begründet sein. Die Chance, daß ein Insekt den Meeresboden ohne nennenswerte Beeinträchtigung erreicht, nimmt mit der Sinkdauer ab. Entsprechend sind die vereinzelt im Solnhofener Raum vorkommenden Insekten, die überwiegend aus dem wohl primär etwas flacheren Bereich um Langenaltheim bekannt geworden sind, wesentlich schlechter erhalten.

Für die Erklärung der Individuenabnahme mariner Organismen von Eichstätt nach Solnhofen bieten sich zwei Möglichkeiten an:

1. Eine zunehmende Restriktion, d.h. Entfernung von der offenen Tethys, liegt vor. Darauf könnte auch neben der Verarmung der Mega- und Mikrofauna (vergl. GROISS, 1967) die

deutliche Abnahme des Nannoplankton-Gehaltes in dieser Richtung weisen. Während im Eichstätt Revier Anreicherungen von Coccolithophoriden und gelegentlich Calcisphaeruliden auf den Schichtflächen geläufig sind, treten sie im Profil von Mörsheim stark zurück. Die im Langenaltheimer Steinbruchgebiet nach Stichproben-Untersuchungen offensichtliche Zunahme des Nannoplankton-Gehaltes (analog der Zunahme an Mega-fauna) müßte danach in einer innerhalb der Solnhofener Wanne günstigeren Lage zur begrenzenden Riffschwelle begründet sein.

2. Die Faunen- und Florenverarmung kann aber auch im Zusammenhang mit der größeren Schichtmächtigkeit im Solnhofener Raum gesehen werden. Gemäß der in der vorliegenden Arbeit entwickelten Vorstellung der Sedimentgenese kann die größere Schichtstärke in einer über längere Zeit andauernden Karbonatbildung durch Beibehaltung der hypersalinen Verhältnisse in Bodennähe verursacht sein. Die größere Wassersäule verhinderte wahrscheinlich in vielen Fällen eine völlige Durchmischung. Die Möglichkeit einer Fauneneinwanderung war deshalb nur seltener gegeben. Eine ungefähre Übereinstimmung der geschätzten Anzahl einzelner Schichtlagen zwischen dem geringmächtigeren, feinschichtigen Profil in Eichstätt und dem mächtigeren Schichtstoß in Solnhofen scheint sich nur unter Einbeziehung der in Solnhofen zahlenmäßig bedeutenden Latentschichtlagen zu ergeben. Das bedeutet aber, daß dort, wo in Eichstätt eine ausgeprägte Schichtfläche entstanden ist, in Solnhofen oft nur eine mehr oder weniger schwache Latentschicht ausgebildet wurde, die nur eine geringfügige Störung des Algenwachstums andeutet. Die Kalkproduktion war kaum verringert. Die Mächtigkeiten der einzelnen Schichten werden somit durch die unterschiedlichen Intervalle der Sedimentationsunterbrechung bzw. der fortgesetzten Kalkproduktion gesteuert.

## Fossilerhaltung

Die unterschiedliche Erhaltung vor allem von *Leptolepis knorri* BLAINV., auf die besonders MAYR (1967) und VIOHL (1972, 1976) hinweisen, läßt sich im Rahmen des entwickelten Modells ebenso mit Hilfe der unterschiedlichen Bathymetrie beider Ablagerungsräume erklären. Nach einer vollständigen Wasser-Umschichtung baut sich durch Evaporation eine erneute Salzschichtung im Wasser auf. Im flachen Raum wird die für das Wachstum der coccalen Blaugrünalgen notwendige Salzkonzentration

wesentlich rascher erreicht, so daß eine schnelle Konservierung durch Überwachsen der abgestorbenen Fische gewährleistet wird. So finden sich die *Leptolepis knorri* in Eichstätt auch auf den deutlich ausgeprägten Schichtflächen häufig in Weichteil-Erhaltung, während in Solnhofen, wo infolge einer sich langsamer aufbauenden Übersalzung die Leichen länger dem Zerfall preisgegeben sind, überwiegend Gräten-Erhaltung auftritt.

## 6. Modell der Plattenkalk-Genese in Solnhofen und Eichstätt

Nachdem die Herkunft des Sediments als biogen und autochthon erkannt ist, muß ein Modell des Solnhofener Ablagerungsraumes folgende Erscheinungen klären:

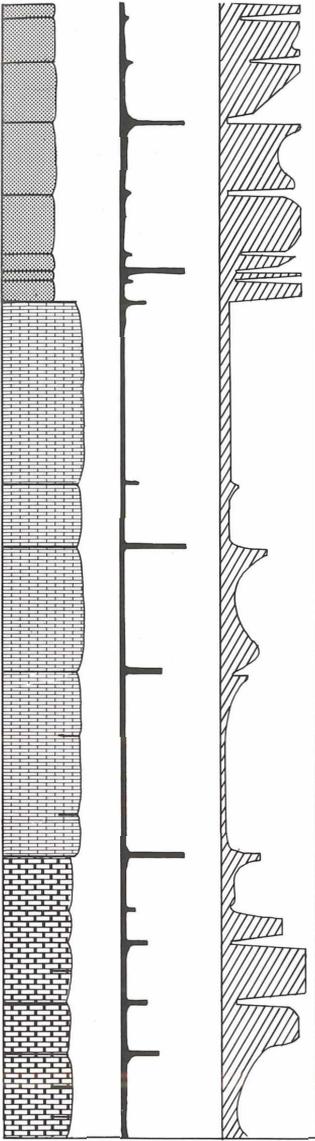
1. den rhythmischen Wechsel von Lagen mit Massenvorkommen von coccalen Cyanophyceen und Schichtflächen mit normalmarinen Organismen (vergl. Abb. 16).
2. die meist ungestörte, feine Lamination.
3. die Seltenheit von Hinweisen auf die Lebensmöglichkeit größerer Benthonten.
4. die meist hervorragende Fossilerhaltung.

### 6.1 Die Paläogeographie des Ablagerungsraumes

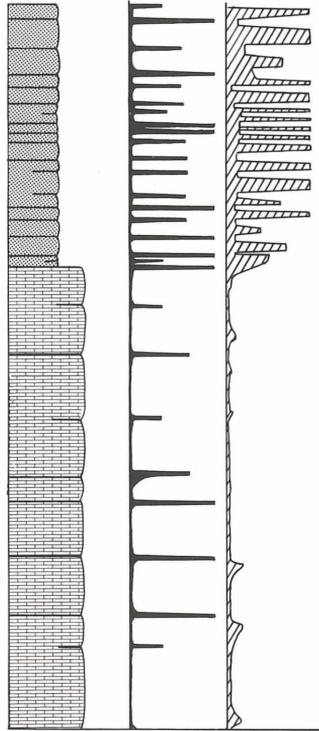
Bei einer generellen Darstellung des Ablagerungsraumes wirkt nicht nur die Tatsache, daß das heutige Verbreitungsgebiet der Plattenkalke erosiv begrenzt ist, erschwerend, sondern auch das zeitliche Wandern der Fazies von E nach W. Das entwickelte Modell soll deshalb nur für den Solnhofener und Eichstätter Raum gelten. Eine recht anschauliche Darstellung der mutmaßlichen Paläogeographie gibt BARTHEL (1970) in Anlehnung an FESEFELDT (1962), BARTHEL (1964) und FREYBERG (1968). Auf frühere Darstellungen soweit sie für das Verständnis der unterschiedlichen Vorstellungen notwendig erscheinen, sei erst in Kapitel 7 eingegangen. Die Begrenzung des Plattenkalk-Gebietes im

N muß weitergehend spekulativ bleiben. Die Faunenbeziehung nach NW-Deutschland (Gravesien) weist auf eine während des Unter-Tithon bestehende Meeresverbindung hin (ROLL, 1932; FESEFELDT, 1962; ZEISS, 1968a), deren Verlauf jedoch nicht eindeutig rekonstruierbar ist. Im NE des Sedimentationsraumes finden wir heute die Parsberg-Kelheimer Riff-Schwelle, in deren zwischen-geschalteten Wannen eine Flachwasser-Randfazies der Plattenkalke vorliegt. Da durch die stärkere Abtragung im N kaum mehr zeitgleiche Sedimente zur Verfügung stehen, kann diese Randfazies als Begrenzung der Plattenkalke in diesem Gebiet aufgefaßt werden.

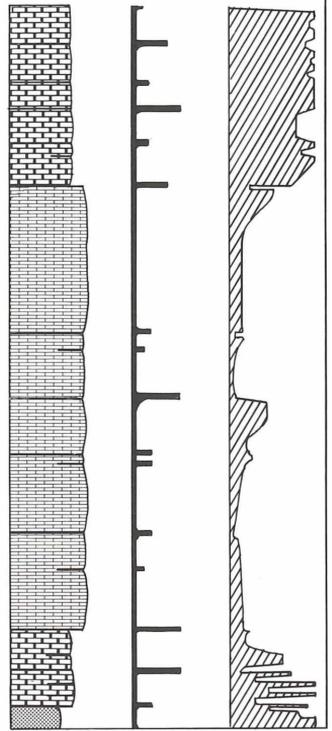
S 1/1-9 + S 1:2/1-8



S 18/1-6 + S 18:19/1-14



S 70u / 0-12



Verteilung der Coccolithen und coccalen  
Cyanophyceen im Malm 2b von Schernfeld



1cm



geschätzter Coccolithen-Anteil



erkennbare coccale Cyanophyceen

Abb. 16: Diese drei Profilausschnitte (vergl. Abb. 15) sind für die Plattenkalke von Eichstätt und Solnhofen repräsentativ. Es liegt eine Wechselschichtung coccaler Blaugrünalgen in den Lagen mit Coccolithen auf den Schichtflächen vor. Das scheinbare Fehlen der Cyanophyceen in den Flinzen (feine Backstein-Signatur) ist diagenetisch bedingt. Fette Backstein-Signatur: Zähle Fäule bzw. zäher Flinz; Punktraster: Fäule

Für das Vorhandensein einer vermutlich im NW gelegenen Festlandsküste spricht das Auftreten terrestrischer Organismen bevorzugt in den nördlichen, dünnplattigeren Bereichen des Ablagerungsraumes. FREYBERG (1968, S.32: Abb.4) sieht in den von NW nach SE generell zunehmenden Schichtstärken der wannenbetonten Sedimente bei in gleicher Richtung abnehmender Bedeutung feinklastischer Zufuhr (Zurücktreten der Mergel) ein zusätzliches Indiz für die Gegenwart der allmählich nach Süden vorrückenden Mitteldeutschen Festlandsschwelle. Das Fehlen fluviatiler Klastika führt FESEFELDT (1962) auf das junge Auftauchen des Festlandes zurück, auf dem noch kein Flußsystem entwickelt war. Eine wahrscheinlichere Erklärung gibt BARTHEL (1970, 1972), indem er annimmt, daß der Bereich des unmittelbaren Landeinflusses der Erosion anheim gefallen ist.

In diesem Zusammenhang ist die mineralogische Zusammensetzung der Tonfraktion von Interesse: In der Literatur finden sich zwei gegensätzliche Auffassungen über den Modalbestand. BAUSCH (1969) spricht dem Solnhofener Plattenkalk infolge eines extrem geringen Kaolinitgehaltes eine Sonderstellung innerhalb der Kalke des Fränkischen Malm zu. HÜCKEL (1974) gibt dagegen einen Kaolinit-Anteil von 25–30% an. Dieser Wert wird von BARTHEL (1976, S.631: Kaolinit: Illit: Montmorillonit/Illit wie 3:4:6) bestätigt. Ein hoher Kaolinit-Gehalt ist nach PARHAM (1966) aufgrund der raschen Sinkgeschwindigkeit ein Indiz für einen landnahen Sedimentationsraum, der aus einer tropischen Verwitterungszone gespeist wird. HÜCKEL sieht deshalb eine Bestätigung der Landnähe im Sinne FREYBERGs (1968). Erneute Röntgendiffraktometer-Untersuchungen des unlöslichen Rückstandes von überwiegend mergeligen Proben aus dem Malm zeta 2a bis 3 von Rögling bzw. vom Horstberg haben nach freundlicher Mitteilung von Herrn Prof. Dr. W. Bausch, Erlangen, die Kaolinit-Armut bestätigt. Das starke Überwiegen der Mixed layers kann unter Umständen als Hinweis auf eine insgesamt rasche Sedimentation der Solnhofener Kalke

gewertet werden, bei der kaum Zeit zur Umwandlung in Illit gegeben war.

Die in geringem Umfang vorkommenden Quarzkörner, deren Durchmesser i.a. unter 10 Mikron beträgt, deutet BARTHEL (1970) als von der Mitteldeutschen Schwelle eingeweht. Aus dem Illit und den Illit-Montmorillonit-Mischstrukturen lassen sich keine paläogeographischen Interpretationen ableiten. Sie sind zwar als terrestrisches Verwitterungsprodukt anzusehen, lassen aber aufgrund ihrer Langschwebeigenschaften eine Aussage über die Beziehung zum Festland nicht zu.

Die nördliche Begrenzung des Ablagerungsraumes kann zusammenfassend demnach folgendermaßen angenommen werden:

1. im etwas entfernter gelegenen NW schiebt sich die Mitteldeutsche Schwelle allmählich nach Süden vor.
2. im NE bedingt die Korallenriff-Zone entlang der Parsberg-Kelheimer Schwelle einen weitgehenden Abschluß.

Da die Geländeaufnahmen deutlich darauf hinweisen, daß während des oberen Malm die Riffe im Süden des Plattenkalkreviers in einer geschlossenen Zone auftreten, während sie sich nach Norden zunehmend auflösen, vermutet FREYBERG (1968, S.31), daß zur Zeit der Plattenkalk-Entstehung ein mehr oder weniger geschlossener Riffzug die Südbegrenzung des Ablagerungsraumes bildete. Die Plattenkalk-Lagune erhält dadurch backreef-Stellung.

Die Verbindung zur offenen See war hier wohl nur durch einzelne Kanäle gewährleistet (vergl. GROISS, 1975). Im Malm zeta 3 löst sich der weitgehend geschlossene Riffverband auf, so daß sich vor allem in der westlichen Solnhofener Wanne die hochenergetische Fazies unter Einfluß der offenen See ausbreiten konnte.

Im Westen muß ein trennendes Element gesucht werden, welches das Plattenkalkrevier von dem ostschwäbischen Becken abschließt, in dem zu dieser Zeit die Zementmergel abgelagert wurden. FESEFELDT (1962, S.55) nimmt aufgrund der von Solnhofen nach Langenaltheim abnehmenden

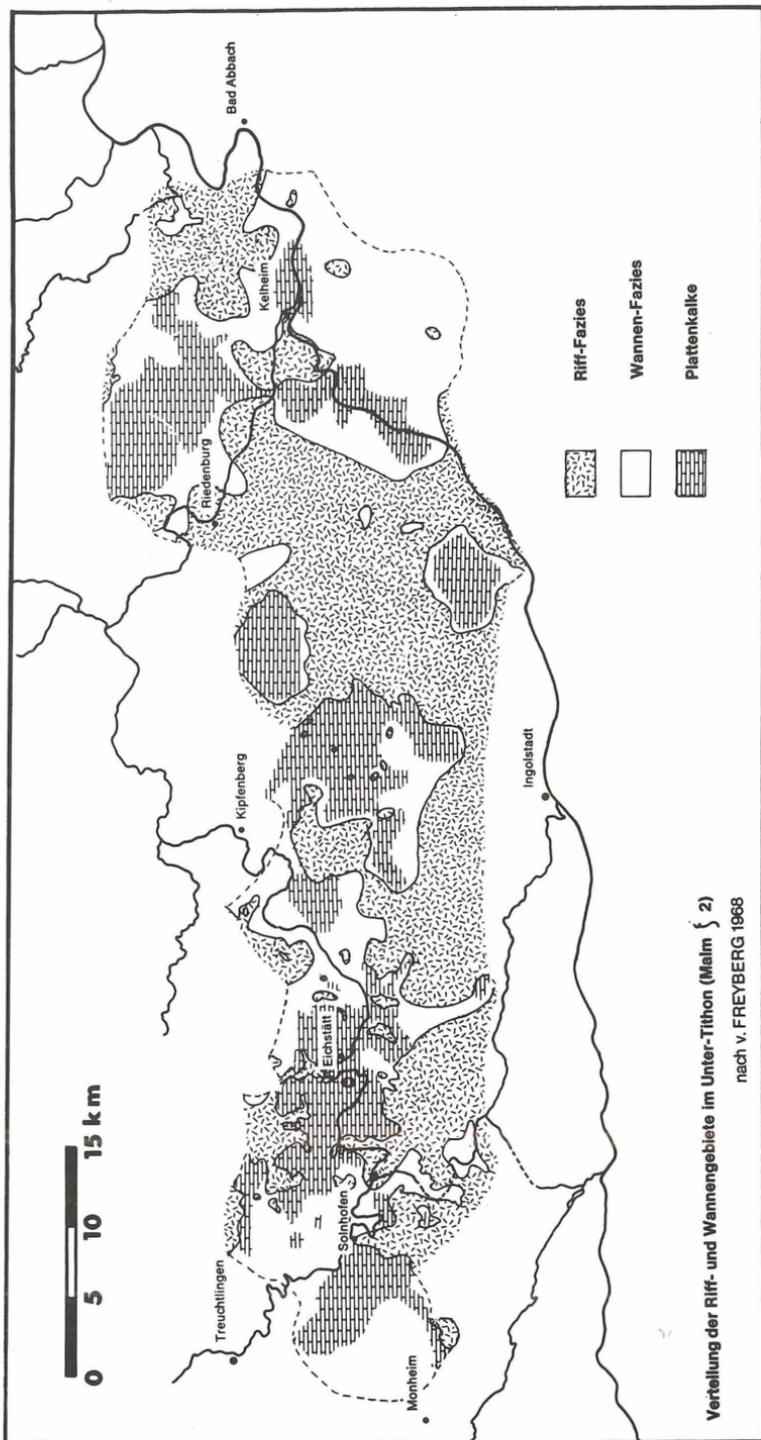


Abb. 17: Vereinfachte Darstellung der Riff- und Wannengebiete während des Malm zeta 2 in der Südlichen Frankenalb.

Schichtmächtigkeiten eine schwache Hebungstendenz der vor allem während der Trias aktiven Riesschwelle (BARTHEL, 1967) an. Ob die Schwellenposition im Unter-Tithon ein bevorzugtes Wachstum von Riff-Organismen bedingt hat, wie es in Analogie zu den Verhältnissen im S und E wahrscheinlich ist, und inwieweit diese gegebenenfalls den weitgehenden Abschluß bewirkt haben, muß spekulativ bleiben, da die Abtragung in diesem Gebiet bereits das Niveau des Malm epsilon erreicht hat (WEBER, 1941).

Unter Berücksichtigung der oben skizzierten Vorstellungen scheint das Plattenkalkrevier von drei Seiten her durch Riffe begrenzt zu sein. Die Ansprache als Atoll-Lagune (BARTHEL, 1970, 1972) erscheint somit berechtigt.

Die interne Gliederung der Lagune durch das Relief der abgestorbenen Algen-Schwamm-Bioherme in einzelne „Wannen“ wurde bereits mehrfach erwähnt. Da Anzeichen für echte Inseln (z.B. Strandgerölle) fehlen, kann man wohl von einer zusammenhängenden Wasserfläche ausgehen. Ein Austausch zwischen den einzelnen Wannen war zumindest während der Stagnationszeiten (s.u.) durch das Untergrundrelief und die weitgehend fehlende Strömung stark eingeschränkt. Bei der Annahme einer totalen Wasserbedeckung kann das Relief, soweit es unter Ausschaltung der Setzungsdifferenzen (FESEFELDT, 1962; EDLINGER, 1964) noch rekonstruierbar ist, als Mindestmaß der Wassertiefe gelten (BARTHEL, 1970).

Die bathymetrischen Verhältnisse des Ablagerungsraumes sind seit Langem umstritten (vergl. Kap. 7). Generell läßt sich wohl seine Tiefenzunahme von E nach W konstruieren (GROISS, 1967; ZEISS, 1968a; KEUPP, 1977). Lokale Abweichungen dieser Darstellung werden durch das Bodenrelief bedingt. Belegt werden kann die Tiefenzunahme durch:

1. Mächtigkeitszunahme der Plattenkalke von E nach W (vergl. EDLINGER, 1966).
2. Abnahme der Strömungsindikatoren: So zeigen die Plattenkalke östlich Eichstätt neben Strömungsrippeln Roll- und Schleifmarken (SEILACHER, 1963), deren Häufigkeit

nach W abnimmt. Die Richtung der Strömungszeiger weist überwiegend nach W (JANICKE, 1967, 1969).

3. Spezifische Verbreitung der Ooppeliden (Ammonoidea), wonach die Grenze zwischen innerem und äußerem Sublitoral (= 40 m – Linie) etwa in der Gegend von Pfalzpaint anzusetzen ist (ZEISS, 1968a, S.152-153).
4. Zeitliches Wandern der Korallenfazies von E nach W (vergl. Kap. 2.1).

Zur indirekten Ermittlung der absoluten Wassertiefe sind, seitdem die letzten Hinweise auf gelegentliches Trockenfallen ausgeräumt werden können (CASTER, 1940; BARTHEL, 1964, 1966, 1970, 1972; JANICKE, 1967, 1969), folgende Kriterien auswertbar:

1. Die spezifische Foraminiferen-Vergesellschaftung, die vor allem für den Raum Eichstätt eine Mindesttiefe von 30 m ableiten läßt (GROISS, 1967).
  2. Die Ooppeliden-Verbreitung indiziert nach ZEISS (1968a) für das Gebiet westlich Pfalzpaint mehr als 40 m Wassersäule.
  3. Aufgrund des rekonstruierbaren Paläoreliefs vermutet BARTHEL (1970) eine Wassertiefe von mindestens 30–60 m.
  4. Das Fehlen von Oszillations- und Strömungsrippeln, Trockenrissen, Winkelschichtungen, Auskolkungen und Bioklastika veranlaßt STRAATEN (1971) einen Ablagerungsraum im Sublitoral unterhalb der Wellenbasis anzunehmen.
- Unter Einbeziehung der vom Relief abhängigen Bathymetrieschwankungen ergibt sich aufgrund der biologischen, paläogeographischen und sedimentologischen Aspekte eine übereinstimmende Mindestwassertiefe zwischen 30 und 60 m. Für Tiefen zwischen 100 und 200 m, wie sie von STRAATEN (1971) bzw. BUISONJE (1972) im Zusammenhang mit den von ihnen entwickelten Modellen postuliert werden, gibt es keine Anhaltspunkte. Die Fazies-Entwicklung der Südlichen Frankenalb (vergl. Kap. 2.1) während des Malm weist eher auf eine mehr oder weniger kontinuierliche, epirogenetische Absenkung des Wasserspiegels hin. Erst ab dem Malm zeta 3 scheint diese Tendenz vorübergehend rückläufig zu sein (VIOHL, 1972).

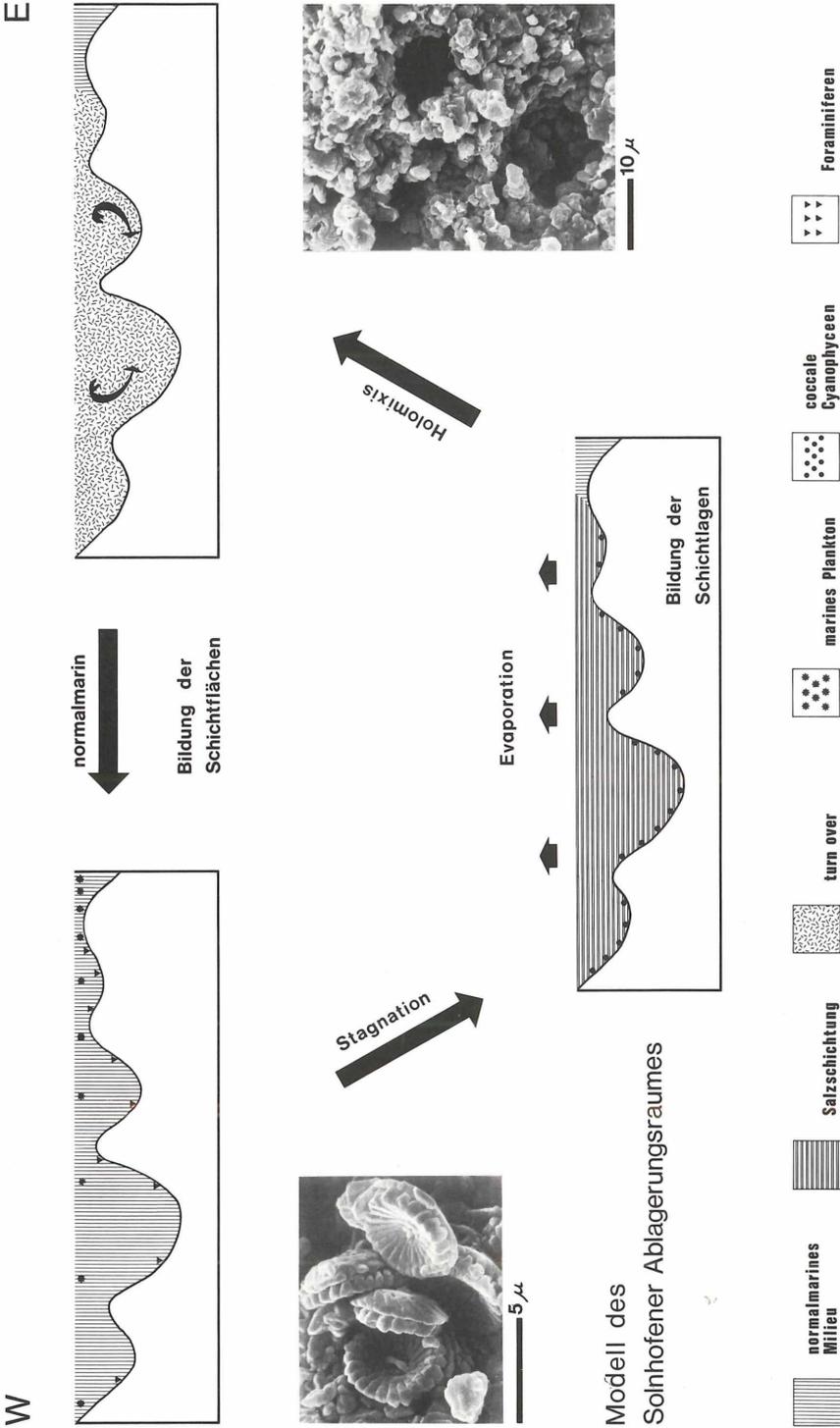


Abb. 18: Modell des Solnhofener Ablagerungsraumes. Linkes Bild: Schichtflächenbereich mit Cyclagelosphaera margerelli NOEL; Probe S 18-1b; REM-Foto 4838 — rechtes Bild: Coccale Blaualgen im Inneren einer Fäule; Probe S 37-4; REM-Foto 5378.

## 6.2 Der hypersaline Zyklus

Die mutmaßliche Paläogeographie läßt den Ablagerungsraum der Solnhofener Plattenkalke als eine großflächige, von der Tethys weitgehend abgeschlossene Lagune erscheinen, die durch ein ausgeprägtes Innenrelief gegliedert wird. Das Klima war zu dieser Zeit wohl tropisch bis subtropisch, worauf neben dem verstärkten Korallen-Riffwachstum das Auftreten typischer Korallenfische und die überdurchschnittlich großen Flügellängen bei den Insekten hinweisen (BARTHEL, 1964). Die bei MAYR (1964) erwähnten  $O^{18}/O^{16}$ -Bestimmungen von Belemnitenrosten haben für den unterlagernden „Treuchtlinger Marmor“ Wassertemperaturen um  $26^{\circ}$  erbracht. FRITZ (1965) konnte aufgrund des  $O^{18}/O^{16}$ -Verhältnisses für den Malm zeta von Württemberg eine Wassertemperatur von  $24,8^{\circ}$  C wahrscheinlich machen.

Das Warmklima hatte wohl eine durch die große Erstreckung der Wasseroberfläche begünstigte, starke Eindampfungsrate zur Folge (BARTHEL, 1964, 1970, 1972; JORDAN, 1974).

Die Möglichkeit, den dabei sinkenden Wasserspiegel durch ständiges Nachziehen von Wasser aus der offenen See über die Riff-Kanäle und durch die Hohlräume des Rifffes selbst auszugleichen, führte zu einer raschen Übersalzung. Das Stillwasser-Milieu ermöglichte eine ausgeprägte Dichteschichtung des Wassers. In randlicheren Bereichen der großen Lagune konnten dabei Organismen mehr oder weniger passiv eintreten, deren fossile Überlieferung durch die hypersalinen Verhältnisse besonders begünstigt war. In dieser Weise läßt sich das gelegentliche Vorkommen hervorragender erhaltener Medusen bei Pfalzpoint, die in die Flinze eingebettet sind, analog zu den experimentellen Ergebnissen von BARTHEL (1970), gut erklären.

Die Organismen-Diversität ist in rezenten, hypersalinen Laken extrem herabgesetzt (vergl. KRUMBEIN & COHEN, 1974; HORODYSKY & HAAR, 1975). Außer coccalen Blaugrünalgen, die ein intensiviertes Wachstum aufweisen,

sind andere Organismen kaum lebensfähig. Am Boden der Solnhofener Lagune entstanden weitgehend geschlossene Matten, die Überwiegend aus coccalen Cyanophyceen aufgebaut waren. Die hohe Konzentration gelöster Stoffe im Wasser führt in Verbindung mit der Photosynthese der Bodenflora zu einer starken Karbonatproduktion.

Für ein  $H_2S$ -Milieu, wie es MÜNCH (1955) für einzelne Lagen postuliert und seit BARTHEL (1964) bei vielen Autoren (z. B. JANICKE, 1967, 1969; SCHAIRER, 1971; STRAATEN, 1971; BUISONJE, 1972; VIOHL, 1972; GOCHT, 1973; HÜCKEL, 1974) als gesichert angesehen wird, gibt es keine eindeutigen Hinweise. Für derartige Faulschlammbedingungen werden folgende Kriterien angeführt:

- Einzelne, graublau horizontale Abschnitte des Plattenkalkprofils belegen, daß die Entfärbung des restlichen Materials auf postsedimentäre Oxydation des ursprünglichen Bitumen- und Pyritgehaltes im Zusammenhang mit der Verwitterung zurückgehe (MÜNCH, 1955, S. 17 ff.; BARTHEL, 1964, S. 54).
- Das weitgehende Fehlen benthonischer Organismen spiegelt die Lebensfeindlichkeit wider.
- Die Fossilhaltung von Weichteilen spricht für einen  $O_2$ -Abschluß.

Dem erstgenannten Kriterium ist entgegenzuhalten, daß dunkelgefärbte Flin- und Fäulenlagen im Bereich der Solnhofener Wanne (Maxberg, Lichtenberg) Einzelfälle darstellen. Nach GÜMBEL (1891) sind „kohlige Fasern“ für die Färbung verantwortlich. HÜCKEL (1974) konnte in solchen Lagen einen maximalen Gehalt an organischem Kohlenstoff von nur 0,4 % in Flinzen und 0,9 % in Fäulen nachweisen. In den typischen Plattenkalken von Solnhofen und Eichstätt ist Bitumen ebenso unbekannt (BARTHEL, 1976) wie nennenswerte Pyritgehalte (GROSS, 1967). Als Ursache für das Fehlen der für ein  $H_2S$ -Milieu zu erwartenden Mineralkomponenten eine tiefgreifende Verwitterung anzunehmen (BARTHEL, 1974), läßt sich m.E. nach Ver-

gleichen mit heute noch Bitumen- bzw. Pyrit-führenden Ablagerungen, die mindestens im gleichen Maße der Verwitterung ausgesetzt waren (z.B. Mergel der oberen *setatum*-Zone in Painten: BARTHEL, 1976; Neuburger Bankkalke: GROISS, 1967a) nicht vereinbaren. Nahe der Grasnarbe anstehende Mergel in den Mörnheimer Schichten vom Horstberg, in denen die „Siphon-Erhaltung“ vieler Ammoniten auf einen ursprünglichen Gehalt an Bitumen und/oder Pyrit schließen läßt, zeigen im REM eine deutliche Anätzung vieler Kristallite (Taf. 30, Fig. 1). Das Fehlen vergleichbarer, durch die Oxydation entstandener Ätzstrukturen in den Plattenkalen legt ein primäres Fehlen von Pyrit und Bitumen nahe.

Gegen generelle  $H_2S$ -Bedingungen während des hypersalinen Sedimentationszyklus, die ein gelegentliches Auftreten eines temporär und lokal begrenzten Faulschlammes nicht ausschließen, sprechen folgende Fakten:

- Das primäre Fehlen von Pyrit und/oder Bitumen.
- Die Ammoniten sind – abgesehen von wenigen Ausnahmen vor allem in den Plattenkalk-Randgebieten – als Schalenabdrücke überliefert. Die für Faulschlamm typische „Siphon-Erhaltung“, bei der bevorzugt die organischen Substanzen nachgezeichnet werden, finden sich meist nur im Hangenden und Liegenden der echten Plattenkalke als Anzeiger lokaler  $H_2S$ -Tümpel.

Das Fehlen von Benthos und die hervorragende Fossil-Konservierung lassen sich auch bei Gegenwart von Sauerstoff durch ledigliche

Übersalzung erklären. Auf die Möglichkeit eines raschen Überwachens angelieferter Organismen durch einen abschließenden Algenfilm habe ich bereits in Kap. 4.2 hingewiesen. Die Deutung der gesteinsbildenden Sphären als coccale Cyanophyceen liefert zudem einen Hinweis auf die Gegenwart von  $O_2$ , wie sie z.B. von MAYR (1967) und VIOHL (1976) aufgrund unterschiedlicher Verweunstadien postuliert wird (vergl. auch GROISS, 1967; BANTZ, 1969). So liegt die Hauptverbreitung der coccalen Blaügrünalgen in der Gegenwart im noch sauerstoff-führenden Milieu (KRUMBEIN & COHEN, 1974). Im Faulschlamm treten sie stark zurück und bilden kaum mehr geschlossene Matten. Die hohe und wohl auch rasche Karbonatproduktion gewährleistet außerdem die Freisetzung der für die Oxydation anfallender organischer Substanzen notwendigen Sauerstoff-Mengen. Die Zeiten der Schichtflächenbildung, in denen das Absterben der Blaügrünalgen-Matten ein erhöhtes Angebot an  $O_2$  erfordert, sind durch die Wasser-Erneuerung und laminare Strömung ausgezeichnet. Die hohe Salinität und die zu vermutende Erwärmung (vergl. GROISS, 1975) setzen zwar normalerweise den  $O_2$ -Sättigungspunkt des Wassers während des hypersalinen Zyklus deutlich herab (KINNE, 1962; 1963). KÜHL (1952) beschreibt aber an rezenten Beispielen die Möglichkeit einer Übersättigung des Wassers durch Absorption des photosynthetisch produzierten Sauerstoffs. Ein Mechanismus, der nur bei geringer Wasserbewegung in Tümpeln und Becken zum Tragen kommt (FRIEDRICH, 1965).

### 6.3 Der normalmarine Zyklus

Das Fehlen echter Evaporite im Plattenkalk veranlaßte bereits BARTHEL (1964) einen episodischen Wasseraustausch in den oberen Wasserschichten der Lagune anzunehmen. Als Ursachen der Durchmischung nimmt er gleichmäßige Strömungen an, die zumindest während der sedimentationsfreien Zeiten wirksam waren. Wenn auch heute die Ursachen der Wasser-Erneuerung nicht mehr nachprüfbar sind (vergl. Kap. 6.4), muß eine

solche dennoch aus folgenden Gründen gefordert werden:

- Fehlen von Evaporiten (BARTHEL, 1964)
- Periodisches Auftreten normalmarinen Planktons und Nektons auf den Schichtflächen
- Vorkommen einer autochthonen, normalmarinen, benthonischen Foraminiferenfauna (GROISS, 1967).

Die Armut an Fossilien innerhalb der einzelnen Schichtlagen (Ausnahmen: gelegentlich Coccolithen, Calcisphaeruliden; Megafauna nur scheinbar im Sediment: Latentschicht!) scheint auf ungünstige Lebensbedingungen auch im Oberflächen-Wasser zur Zeit der Karbonatproduktion während des hypersalinen Zyklus hinzuweisen. Das gelegentliche Vorkommen von Nannoplankton erklärt sich aus dem Mechanismus des ständigen Nachziehens frischen Wassers als Evaporationsausgleich und deren Resistenz gegenüber Salinitätsschwankungen (vergl. SCHOLLE & KLING, 1972; KLING, 1975). Die in den Flinzen bzw. auf Latentschichten eingebetteten Mega-Organismen, wie sie vor allem aus dem bathymetrisch tiefsten Ablagerungsgebiet vom Maxberg bekannt sind, verdanken ihre Position der selteneren vollständigen Durchmischung der hohen Wassersäule. Das Algenwachstum war kaum gestört (größere Flinzstärken!). Die durch normalmarines Oberflächenwasser eingebrachten Organismen sind deshalb in die Algenlaminiten integriert. Die rasche Einbettung dieser Fossilien ermöglicht auch eine besonders gute Konservierung feinsten Details. Erfahrene Fossilisammler geben deshalb solchen Exemplaren trotz mühevoller Präparierarbeit den Vorzug. Eine vollkommene Holomixis, die auch die bodennahen Wasserschichten erfaßt, muß aus dem periodischen Absterben der Blaugrünalgen-Matten (Bildung einer Schichtfläche) und vor allem aus dem Vorkommen einer mehr als 60 Arten umfassenden, autochthonen, benthonischen Foraminiferen-Fauna (GROISS, 1967) geschlossen werden. Die spezifische Zusammensetzung der Mikrofauna weist auf eine lokale Assoziation hin. Ein Einschweben von benachbarten Gebieten kann deshalb nicht zu ihrer Erklärung herangezogen werden. Die Arten selbst repräsentieren ein normalmarines Milieu (GROISS).

Man kann also davon ausgehen, daß jede deutliche Schichtfläche, in deren Bereich sich auch die Mikrofauna befindet, einer völligen Holomixis entspricht. Eine latente Schichtfläche, auf der zahlreiches Nekton und Plankton vorkommen kann, ist wohl einem mehr oder weniger unvollständigen Wasseraustausch,

der sich nur in den oberen Wasserschichten abgespielt hat, gleichzusetzen. Es stellt sich nun die Frage, warum sich im Bereich der Schichtflächen, von wenigen Ausnahmen abgesehen, nur benthonische Foraminiferen und gelegentlich Ostracoden (GOCHT, 1973), kaum aber größeres Benthos findet. Die Antwort kann eventuell in einer relativen Kurzzeitigkeit des normalmarinen Zyklus gesucht werden. Die Fähigkeit der Foraminiferen, sich durch Gametozyten rasch auszubreiten und durch einen schnellen Reproduktionszyklus sich zu vermehren, könnte hier eine Rolle spielen. Die Dauer eines Reproduktionszyklus schwankt nach Beobachtungen an rezenten Formen in Abhängigkeit von den jeweiligen Taxa zwischen zwei Wochen und mehr als einem Jahr (BOLTOVSKY & WRIGHT, 1976). Gehen wir von einer nur wenige Wochen dauernden Reproduktion aus, sind diese Formen innerhalb eines vielleicht jahreszeitlich gesteuerten Sedimentationszyklus (vergl. Kap. 6.4) im Stande, die Lagune zu besiedeln. Die auf den Schichtflächen gelegentlich noch in Lebensstellung vorkommenden Ostracoden scheinen die Vermutung der relativ kurzfristigen Phase normalmariner Bodenverhältnisse zu bestätigen. So konnte GOCHT (1973, S. 196) feststellen, daß überwiegend larvale Stadien zur Einbettung gelangten.

Obwohl bei manchen Ostracoden ebenfalls ein rascher Reproduktionszyklus vorliegt, der teilweise innerhalb von 5 Wochen vom Eistadium über mehrere Häutungsphasen zur Reife führen kann (vergl. MARKHOFEN, 1962, S. 139), scheint die zur Verfügung stehende Zeit normalmariner Bedingungen zumindest in Bodennähe für eine großräumige Besiedlung durch Ostracoden nicht auszureichen.

Die kurzfristigen mehr oder weniger stenohalinen Bodenverhältnisse können auch für die Bildung des sogenannten „Oberflächenhäutchens“ (BARTHEL, 1964; MAYR, 1967; VIOHL, 1976) verantwortlich gemacht werden. Das Absterben der coccalen Cyanophyceen durch den Milieu-Umschwung führt zu einem erhöhten bakteriellen Abbau der Algensubstanz. Das relativ locker gepackte Gerüst karbonatischer Sphären kann nun durch den Stoffwechselhaushalt der Bakterien von

der Schichtfläche aus zementiert werden. Die mit rezenten Verhältnissen im Persischen Golf (vergl. Kap. 4.3a) vergleichbare Oberflächenzementation kann infolge der Feinkörnigkeit des Sediments nicht weit eindringen. Es bildet sich so ein Hartgrund (KEUPP, 1976a, c), der als eine dünne Haut die weniger verfestigte, plastische Kalklage überzieht. Die nach dieser episodischen Holomixis sich wieder aufbauende Dichteschichtung im Wasser führt zunächst zum Absterben des zusammen mit dem Nekton und Plankton von der offenen See über die Riffe und Riff-Kanäle eingewanderten Benthos. Eine neue Matte coccaler Blaugrünalgen entsteht über dem Zementationshartgrund. Die weitere Evaporation führt schließlich auch im oberflächen-

nahen Wasser zu einer zunehmenden Lebensfeindlichkeit. Organismen, die nicht mehr die Lagune verlassen können, sterben ab. Sie werden nach dem Absinken durch das rasche Überwachsen mit einem Algenfilm konserviert. Der Zeitpunkt des Absinkens eines Organismus innerhalb der zyklischen Entwicklung bestimmt das Ausmaß der Verwesung.

Das Resultat des periodischen Wechsels zwischen hypersalinem und normalmarinem Environment ist ein rhythmischer Wechsel in der Sedimentation. Innerhalb der Schichtlagen dominieren die coccalen Cyanophyceen, auf den Schichtflächen die normalmarinen Organismen (vergl. Abb. 16).

## 6.4 Mögliche Ursachen der Wasser-Umschichtung

Bevor wir uns einigen Möglichkeiten der periodischen Wasser-Umwälzung zuwenden, muß die Frage nach überlieferten Indikatoren für Wasserbewegung überhaupt geklärt werden. Das Resultat dieser Fragestellung engt zugleich den weiteren Spekulationsspielraum ein.

Aus den riffnahen Randgebieten liegen zahlreiche Hinweise auf bewegtes Wasser während des Malm zeta 2 vor:

Paintener Wanne: Ammonitenroll-, Schleif- und Rippelmarken, bioklastische Einschüttungen, Aufarbeitungshorizonte (vergl. STREIM, 1961; BARTHEL, 1964; STRAATEN, 1971; u.a.).

Pfalzpaint: Oszillations- und Strömungsrippeln, Winkelschichtung, flute casts (vergl. z.B.: WALTHER, 1904; EDLINGER, 1964; JANICKE, 1967, 1969).

Kelheimer Wanne: Schrägschichtung, flute casts, Aufarbeitung, Biodetritus-Turbidite, Dachziegellagerung bei Brachiopoden u.a. (vergl. SCHAIRER, 1968; SCHAIRER & LUPU, 1969; FLÜGEL et al., 1975; FAY, 1976).

Zandt: Höherer Detritus-Gehalt, Einregelung von *Geocoma* (JANICKE, 1967).

Innerhalb des Solnhofen-Eichstätter Raumes sind Belege für Wasserbewegung sehr selten. Die bei MÜNCH (1955) und MAYR (1967) beschriebenen Strömungsrippeln von Langenthalheim und Solnhofen lassen sich wohl mit JANICKE (1967, 1969) auf Synärese zurückführen. Übrig bleiben, neben den sehr vereinzelt Fieder- und Rollmarken (SEILACHER, 1963; MAYR, 1967), durch Tange verfrachtete Gerölle, wie sie MAYR (1953) auch aus dem Solnhofener und Eichstätter Ablagerungsraum beschreibt. Sie weisen auf eine zeitweise, zumindest oberflächennahe Strömung hin. JANICKE (1967, S.38-44; 1969) hat 266 Individuen eines fossilen *Leptolepis*-Schwarmer vom Maxberg ausgemessen. Aufgrund der paarweisen Einregelung (vergl. WALTHER 1904; ABEL, 1927; WEIGELT, 1928; WIMAN, 1936) und der gleichmäßigen Ausrichtung der als Anker fungierenden Kopfenden nimmt er eine gleichmäßige, in eine Richtung weisende Bodenströmung an. Seine Vermutung ist durch Experimente im Strömungskanal abgesichert.

Diesen vereinzelt Nachweisen einer Wasserbewegung stehen eine Fülle von Beobachtungen entgegen, die auf weitgehende Ruhigwasser-Verhältnisse schließen lassen:

- Die meist unversehrte Feinschichtung (BARTHEL, 1964)
- Das Auftreten zahlreicher Aufsetzmarken unmittelbar neben dem Urheber (Ammoniten, Teuthoideen, Crustaceen, Fische, Echsen) (vergl. ROTHPLETZ, 1909; WEIGELT, 1927; MAYR, 1964, 1967; BARTHEL, 1964; VIOHL, 1976).
- Nicht selten finden sich auf den Schichtflächen kleine Anhäufungen gleichartiger Coccolithen, die auf nicht verschwemmte, in situ zerfallene Coccosphären hinweisen (KEUPP, 1976c).
- Das weitgehende Fehlen von Detritus, Winkelschichtung, Rippelmarken und ähnliche Anzeichen für Wasserbewegung (STRAATEN, 1971).
- Das Fehlen einer Einregelung bei Saccocoma (JANICKE, 1967, S. 37, 95).

Die sich z.T. widersprechenden Argumente zusammenfassend, lassen sich die Strömungsverhältnisse in Bodennähe des Ablagerungsraumes folgendermaßen angeben:

Den überwiegenden Zeiten nahezu völligen Wasserstillstandes stehen Phasen gegenüber, in denen (lokal ?) eine offensichtlich gerichtete Strömung auftritt, die aber nicht so

### Gezeitenbewegungen

Gezeiten-Bewegungen wurden durch die Vertreter der Trockenlegungs-Theorie (s.u.) in die Solnhofen-Diskussion eingebracht.

WILFARTH (1937) postuliert sogar sturmflutartige Großgezeiten. Das Fehlen aller für einen Intertidal-Bereich typischen Merkmale im Sediment veranlaßten FESEFELDT (1962), BARTHEL (1964, 1970) und STRAATEN (1971) von der Möglichkeit einer Beeinflussung durch periodischen Tidenhub Abstand zu nehmen. Der Aufbau einer Dichteschichtung, die sich aufgrund der offensichtlich lebensfeindlichen Bodenverhältnisse, dem Massenvorkommen von coccalen Blaügrün-Algen und der guten Fossilerhaltung wohl kaum mehr ernsthaft leugnen lassen kann, wäre zudem nicht möglich. Ebenfalls gegen das Fehlen von Gezeiten-Bewegungen spricht die paläogeographische Rekon-

struktion, die nur eine mangelhafte Verbindung der Lagune zur offenen Tethys vermuten läßt. Trotz des Einwandes von FREYBERG (1968), Gezeitenbewegungen müßten sich nicht unbedingt im Sediment abzeichnen, ist ein Watt-Milieu zu negieren.

stark ist, daß die Feinschichtung des durch die Algen stabilisierten Untergrundes beeinträchtigt wird. In das hier entwickelte Modell der Plattenkalk-Genese fügt sich dieses Ergebnis gut ein: Die Ruhezeiten entsprechen dem bestehenden oder sich wieder aufbauenden hypersalinen Zyklus, während die wenigen, strömungszeitigen Indizien die Zeit des turn over markieren. Diese Interpretation wird durch die Beschränkung der Strömungsindikatoren auf die Schichtflächen unterstützt (vergl. z.B. MAYR, 1953).

Folgende Vorgänge, die eine Umschichtung des Wassers hervorrufen könnten, teilweise auch im Zusammenhang mit Solnhofen in die Literatur eingegangen sind, sollen kurz auf ihre Brauchbarkeit an Hand der faziellen und sedimentologischen Aspekte geprüft werden:

1. Gezeitenbewegungen
2. Konvektionsströmungen durch Dichteunterschiede
3. Turbidit-Schüttungen
4. Jahreszeitliche Schwankungen
  - a. Temperatur-Unterschiede
  - b. Süßwasser-Überschichtung
  - c. Konstante bzw. episodische Windwirkung

Das von E nach W gerichtete Gefälle des Untergrundes kann nicht in Anlehnung an die Berechnungen von KEULEGAN & KRUMBEIN (1949), die für einen küstenparallelen Flachwasser-Bereich ein Abschnüren von den Wellen des offenen Meeres und den Küstenströmungen ergeben haben, für die Stillwasser-Verhältnisse in Solnhofen verantwortlich gemacht werden. Das interne Bodenrelief der Solnhofener Lagune läßt sich nicht mit dem dort postulierten, sehr flach und gleichmäßig geneigten Meeresboden gleichsetzen.

### **Konvektionsströmungen durch Dichteunterschiede**

Die Annahme einer Dichte-Schichtung im Wasser veranlaßte BARTHEL (1964, S. 52-53) im Zusammenhang mit den indirekt bestimmten mehr oder weniger tropischen Klimabedingungen während des Malm Konvektionsströmungen als Motor der Wasser-Erneuerung nicht für wahrscheinlich zu halten. Er stützt sich dabei auf die Aussagen

von FLEMING & REVELLE (1939), daß eine sehr stabile Wasserschichtung unter solchen Bedingungen Konvektionsströmungen verhinderte.

Auf weitere Möglichkeiten auftretender Konvektionsströmungen sei bei Punkt 4 eingegangen.

### **Turbidit-Schüttungen**

Der allodapische Charakter der Nusplinger und z.T. auch der Kelheimer Plattenkalke ist weitgehend gesichert (TEMMLER, 1967; SCHAIRER, 1968). GOLDRING & SEILACHER (1971) und vor allem STRAATEN (1971) nehmen auch für die Solnhofener Plattenkalke eine Entstehung aus Turbiditen an. BARTHEL (1972) sieht in dieser allochthonen Sedimentinterpretation eine Möglichkeit, den Wasseraustausch in den Wannern zu erklären: Die schwere Suspension könne danach das

bodennahe Stagnatwasser über die Riffschwelle hinauspressen. Die Darstellung BARTHELs ist gegenüber den bei STRAATEN (1971) postulierten Verhältnissen durch die Einbeziehung einer wahrscheinlicheren Paläogeographie modifiziert. Da aber die Ultrafazies des Sediments für eine autochthone Bildung spricht, muß auch diese Möglichkeit der Wasser-Erneuerung verworfen werden.

### **Jahreszeitliche Schwankungen**

Die durchschnittliche Mächtigkeit einer Schichtlage kann unter Berücksichtigung aller noch erkennbaren ss-Gefüge (deutliche Trennflächen bis schwach angedeutete Latentschichten) und der für jedes Profil unterschiedlichen Flinz-Fäulen-Anteile im Schernfelder Raum mit etwa 0,5 mm, im Profil Horstberg mit 0,7-1 mm geschätzt werden. Die enge Sequenz der Schichtflächen legt eine durch jahreszeitliche Schwankungen bedingte Sedimentationsrhythmik nahe. Die Gleichsetzung der im Malm zeta 2b zwischen ca. 20 000 (Schernfeld) und 30 000 (Horstberg) Schichten mit einer Bildungsdauer zwischen 20 000 und 30 000 Jahren erscheint jedoch problematisch. Unterschiedliche Schichtstärken, Trennflächen-Ausbildung und wechselnde Konzentration von Nannoplankton auf den ss-Flächen weisen auf schwankende Dauer und Intensität der Holomixis bzw. der Übersalzung. BARTHEL (1964) schätzt aufgrund der Ammoniten-Phylogenie für die Ablagerung der Plattenkalke eine Dauer von ca. 250 000 Jahren. Zeitangaben mancher

früheren Autoren, wie z.B. ROTHPLETZ (1909: 250 Jahre) und ABEL (1922: 3 Jahre für das Profil Pfalzpaint) bedürfen aufgrund der heute nicht mehr vertretbaren Argumentation keiner weiteren Diskussion. BUISSONJE (1972) schließt, ausgehend von seiner ebenfalls nicht mehr haltbaren red-tide-Theorie, auf eine Bildungszeit zwischen 10 000 und 50 000 Jahren.

Unter den möglichen durch jahreszeitliche Wechsel ausgelösten Rhythmen wären zunächst Temperatur-Unterschiede zu nennen.

Starke Temperatur-Differenzen zwischen Sommer und Winter, die beispielsweise in gemäßigten Breiten intensive Konvektionsströmungen hervorrufen, können aus klimatischen Gründen für Solnhofen ausgeschlossen werden. Um eine Dichteschichtung umzuwälzen, bedarf es eines hohen Temperaturgefälles zwischen zwei sich überlagernden Wasserkörpern.

Ein rezentes Beispiel der thermischen Holomixis beschreiben KRUMBEIN & COHEN (1974) an einem Ufersee am Golf von Aqaba.

In dem nur maximal 5 m tiefen, hypersalinen See baut sich durch Sonneneinstrahlung im Sommer ein inverses Temperaturrelief auf. Die maximale Erwärmung erreicht in 2,5 m Tiefe 56,6° C. Eine überlagernde, als Brennglas wirkende Süßwasserlinse führt im Bereich der Sprungschicht zu einem Temperaturgefälle um ca. 20° C innerhalb von 50 cm. Die extreme Aufheizung der tieferen Wasserschichten überwindet schließlich die Dichte-Differenzen und bewirkt die Umwälzung.

In Solnhofen, wo mit Wassertiefen mindestens zwischen 30 und 60 m zu rechnen ist, müssen beträchtliche Kaltwassermengen angenommen werden, welche das durch Sonneneinstrahlung aufgeheizte, hypersaline Lagunenwasser als große Linse periodisch überschichten konnten. Meines Erachtens muß eine ähnliche Ausgangssituation gefordert werden, um durch die dadurch eingeleitete Konvektionsströmung das dichte Bodenwasser aus dem Wannentief zu entfernen (vergl. BARTHEL, 1972). Als Gründe für die Überschichtung bieten sich grundsätzlich zwei Möglichkeiten an:

- Süßwasser
- frisches Tethys-Wasser.

Über den Umfang einer Süßwasser-Zufuhr, wie sie erstmals von NEUMAYR (1887) angenommen wird, sind kaum detaillierte Aussagen möglich. Als Mechanismus einer primär kalzitischen Sedimentbildung habe ich, solange der Zusammenhang mit den coccalen Blaugrünalgen nicht erkannt war, eine periodische Süßwasser-Überschichtung postuliert (KEUPP, 1976c). Als Indizien für einen vielleicht durch Regenzeiten bedingten Süßwasser-Einfluß in der Solnhofener Lagune den auch BARTHEL (1970) nicht ausschließt, können die terrestrischen Organismen (z.B. Wasserwanzen, Landechsen und Landpflanzen) angesehen werden. Das Nebeneinander von Geobios und Halobios auf denselben Schichtflächen läßt vielleicht sogar einen zeitlichen Zusammenhang zwischen Holomixis und dem Süßwasser-Einfluß vermuten. Vergleichbare Süßwasser-Zuflüsse, die sich jedoch meist nur in den oberflächennahen Wasserschichten auswirken, beschrei-

ben SCHOLLE & KLING (1972) von der großen Schelf-Lagune vor der Küste von Britisch-Honduras.

Nimmt man an, daß ein inverses Temperaturgefälle durch eine relativ kalte Süßwasser-Überschichtung der auslösende Faktor für die Holomixis war, so bleibt die Schwierigkeit bestehen, wiederum ein normalmarines Milieu zu entwickeln. Hierzu und zur vorübergehenden Besiedlung der Lagune durch stenohaline Organismen ist ein Austausch mit der offenen See erforderlich.

Ein einfacherer und deshalb wohl auch wahrscheinlicherer Mechanismus für eine Wasser-Umschichtung wäre ein periodischer Wasser-Austausch über die Riffschwellen bzw. -kanäle. Die bei FRIEDRICH (1965, S.38, Abb. 17) schematisch dargestellte Wasserzirkulation in Nebenmeeren mit erhöhter Verdunstung, die durch ein oberflächliches Nachziehen von frischem Wasser und einem gegenläufigen Unterstrom mit erhöhter Salzkonzentration gekennzeichnet ist, kann wegen der sehr unterschiedlichen Dimensionen nicht unmittelbar auf Solnhofen übertragen werden. Das Schema geht zudem von einem permanenten Wasseraustausch mit der offenen See aus. In Solnhofen kann man zur Zeit des hypersalinen Zyklus wohl nur ein einseitiges Nachziehen von Wasser annehmen.

Als Urheber des nur periodisch auftretenden Wasseraustausches mit der Tethys können Windeinwirkungen gesehen werden. So bieten sich episodische Wirbelstürme (vergl. STRAATEN, 1971; BARTHEL, 1972), permanente, monsunartige (BUISSONJE, 1972) oder periodisch auftretende bzw. wechselnde Winde (WALTHER, 1904; u.a.) an. Welche der aufgezählten Möglichkeiten realisiert waren, ist heute kaum mehr feststellbar.

Kurzzeitige Wirbelstürme erscheinen als Mechanismus nicht geeignet, da besonders die Foraminiferen-Besiedlung der Lagune auch für die Zeit der Holomixis und des bestehenden Wasseraustausches eine längere Dauer wahrscheinlich macht.

Zusammenfassend kann folgendes Schema postuliert werden:

Das Einpressen größerer Wassermassen durch monsunartige, auflandige Winde bzw. ein Einströmen durch die Aufhebung eines länger anhaltenden, seewärtigen Windes, der einen Austausch verhindert haben konnte, beeinflußt zunächst nur den Oberflächenbereich. Durch die Dichteschichten bleiben

die tieferen Lagunenwässer unversehrt (BARTHEL, 1972). Die Temperatur-Differenzen beider Wasserkörper leiten schließlich eine Durchmischung ein. Die Dichteschichtung wird vorübergehend mehr oder weniger vollständig aufgehoben.

## Die Genese des Solnhofener Plattenkalkes im Wandel der Forschungsgeschichte

Die ultrafaziellen Untersuchungen des Sediments haben in Verbindung mit paläogeographischen, sedimentologischen und biologischen Aspekten ein neues Modell der Plattenkalk-Genese ergeben. Auf eine ausführliche Diskussion der zahlreichen bisher in der Literatur beschriebenen Vorstellungen kann hier verzichtet werden. Die Zahl aller Literaturangaben, die sich mit Organismen, sedimentologischen Parametern, technischen Eigenschaften oder genetischen Aspekten der Solnhofener Plattenkalke befassen, ist heute kaum überschaubar. KUHN hat in einer bei weitem nicht vollständigen Zusammensetzung bereits 1961, vor der intensiven Wiederbelebung der Solnhofen-Forschung anläßlich der Neukartierung des Gebietes, 560 Zitate erfaßt.

Im Folgenden werden die wichtigsten Arbeiten und Genese-Konzepte kurz besprochen. Es zeigt sich, daß für die Deutung des Sedimentationsgeschehens nahezu alle bei Schelfablagerungen denkbaren Möglichkeiten in Betracht gezogen worden sind. Die Abb. 19 zeigt eine kombinierte Darstellung der wichtigsten Genese-Theorien.

### Abriß der Forschungsgeschichte:

**1730:** BAIER gibt, befangen im Weltbild des ausgehenden Mittelalters, eine der ersten Deutungen des Ablagerungsraumes von Solnhofen. Die Verbiegung vieler Fisch-Fossilien, deren Charakter als Überlieferung ehemals lebender Organismen er nicht mehr anzweifelt (vergl. BAIER, 1708, S. 56), führt er auf einen unnatürlichen, gewaltsamen Tod zurück. Die Ursache sucht er in den plötzlich hereinbrechenden Schlamm-Massen während der Sintflut.

**1853:** FRISCHMANN versucht erstmals eine Zusammenstellung der bis dahin bekannten Fossilien des Solnhofener Plattenkalkes. Eine Analyse der Tier- und Pflanzenarten läßt ihn zur Überzeugung gelangen, daß ein marines Milieu vorliegt, das nahe einem süßwasserführenden Festland gelegen war. Die hervorragende Fossilierhaltung führt er auf einen raschen Kalkniederschlag im Stillwasser zurück. Mit der Annahme, daß viele Fossilien vor der Einbettung bereits tot waren, bzw. schnell und unverhofft verendet seien, deutet er die Lebensfeindlichkeit des Arealen an.

**1887:** NEUMAYR vergleicht Solnhofen mit rezenten Lagunen des Barrierriffs von Australien. Die gute Erhaltung besonders der Insekten und die enge Lamination veranlassen ihn, eine bioklastische Sedimentbildung abzulehnen und einen Niederschlag aus der Trübung kalkiger Süßwasserzuflüsse zu postulieren. Infolge des unterlagernden Bodenreliefs, dem die Plattenkalke diskordant aufliegen (vergl. „Wannen“-Definition bei FESEFELDT, 1962), fordert er einzelne Buchten ohne freie Kommunikation mit dem offenen Meer. Die Fehlinterpretation der *Kouphichnium*-Spuren als „Fußfährten von Landtieren“ (vergl. OPPEL, 1862; FIGUIER, 1866; ABEL, 1911; NOPCSA, 1923) sieht er als Indiz für ein überaus flaches Wasser, in dem ein reges Leben herrschte.

**1891:** GÜMBEL tendiert zu einer mehr marinen Entwicklung. Die stillen, gelegentlich trockenfallenden Seichtwasser-Buchten, die ihre Morphologie dem liegenden Frankendolomit verdanken, waren zwar reich besiedelt, doch infolge des „stets trüben Wassers“ nicht eigentliche Wohnstätte. Die Lage

der Lagunen zwischen dem nahen Land und dem offenen Meer hatte zur Folge, daß sowohl Kalkschlamm von den erodierten Jurakalk-Küsten eingeschwemmt wurde, als auch reichlich marine Coccolithen zur Ablagerung gelangten. Als Mechanismus für das Eindringen des Meerwassers macht er „außergewöhnliche Springfluten“ verantwortlich.

**1904:** Mit WALTHER beginnt eine neue Periode der Solnhofen-Forschung. Er erkannte, daß sich die einzelnen Abbaugelände in Fazies und Fossilführung z.T. erheblich unterscheiden. Um den Wechsel zwischen Flinz und Fäule zu erklären, entwickelt er das Modell des rhythmischen Wechsels von Meeresüberflutung und Trockenfallen in der von Korallenriffen begrenzten Lagune. Die Flinz deutet er als Absatz aus einer Suspension während der Überflutung, die Fäulen als äolisches Sediment zur Zeit der Trockenperiode. Der Einfluß von Regenwasser soll zu einer raschen, oberflächlichen Kalzit-Zementation geführt haben, welche die hervorragende Erhaltung der am feuchten Schlamm „klebengebliebenen“ Insekten ermöglichte.

**1909:** Eine Massenbilanz der maximal im Wasser löslichen Kalkmenge läßt für ROTHPLETZ – bei einer geforderten Ablagerungszeit von ca. 250 Jahren für das gesamte Plattenkalk-Profil – die Sedimententstehung aufgrund einer chemischen Fällung unmöglich erscheinen. Wegen des Fehlens einer Mächtigkeitzunahme der einzelnen Schichten zu den Riffen hin schließt er auch eine Ablagerung des Kalkes als „Korallen-Schlick“ aus. Er kommt zur Überzeugung, daß die Flinz der äolische Anteil des Sediments seien.

**1919:** SCHWERTSCHLAGER spricht sich entschieden gegen die „herkömmliche Theorie“ der Plattenkalk-Bildung innerhalb von Zwischenriff-Becken aus. Er vergleicht den Solnhofener Ablagerungsraum mit dem Watt der Nordsee, schließt aber Faulschlamm-Bedingungen aus. Den Kalk bezieht er überwiegend aus Fällungsprozessen infolge zunehmender Evaporation des brackischen Seichtwassers. Für die tonreichen Fäulen vermutet er eine terrigene Einschüttung durch Flüsse. Suspensionsschüttungen glaubt er im Bereich von Zandt erkennen zu können, für den er eine permanente Wasserbedeckung fordert.

**1922:** ABEL formuliert erneut die seit WALTHER und ROTHPLETZ diskutierte Dünen-Theorie. Er geht von einem in der Umgebung der Lagunen sehr seichten Wasser aus, in das einzelne, größere Wellen (keine Springfluten!) die Organismen vom

Meer eingeschwemmt hätten. Das sich rasch wieder verlaufende Wasser habe eine die Verwesung verzögernde Mumifizierung der Organismen ermöglicht. Feiner Staub, der aus den benachbarten Kalkdünen ausgeweht wurde, hätte die Leichen schließlich bedeckt und konserviert. Die Frage, ob die Fäulen marine oder festländische Einschwemmungen repräsentieren, läßt er offen.

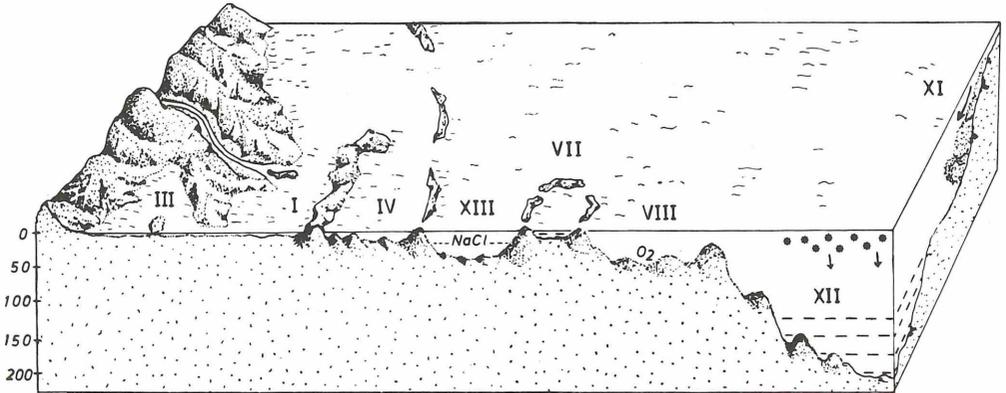
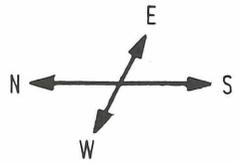
**1924:** Durch die Ausführungen von ROTHPLETZ und ABEL beeinflusst, glaubt SCHWERTSCHLAGER nun ebenfalls, daß zur raschen Überdeckung der angestrandeten Organismen nur Kalkstaub-Stürme in Frage kommen. So modifiziert er sein 1919 entwickeltes Modell des seichten, ebenen Wattenmeeres ohne deutliche Gezeiten mit Riff-Abschluß im Süden durch den äolischen Faktor. Das Festland vermutet er im Nordwesten.

**1928a:** KRUMBECK vertritt in Anlehnung an SCHNEID (1914) die Meinung, daß z.Z. der Plattenkalkbildung nur bei Kelheim eine südliche Riff-Begrenzung vorgelegen hätte, während die typischen Plattenkalke bei einer offenen Verbindung mit der Tethys ohne irgendwelche Restriktion entstanden seien. Für die Ablagerungsbedingungen geht er von gleichmäßig anhaltenden Flachwasser-Verhältnissen aus, in denen Windeinflüsse vernachlässigbar sind (keine Rippelmarken!). Aufgrund seiner paläogeographischen Vorstellung vergleicht er die Plattenkalke mit den Bankkalken des Oxford und Kimmeridge und schließt sich mit Vorbehalt der Coccolithen-Theorie GÜMBELs an.

**1928b:** Deutet KRUMBECK die „Krummen Lagen“, angeregt durch die Untersuchungen von REIS (1909) in der Trias, als submarine Gleitungen, die wohl durch Erdbeben ausgelöst wurden. Er löst damit die Theorie der diagenetischen Entstehung (GÜMBEL, 1891; WALTHER, 1904) und die Theorie der tektonischen Genese (SCHNEID, 1914) ab.

**1933:** ROLL plädiert aufgrund der deutlichen Mächtigkeits-Differenzen und dem Auftreten der Krummen Lagen erneut für eine Ablagerung der Plattenkalke in einem „Schüssel“-Relief. Er modifiziert die paläogeographische Rekonstruktion durch die Annahme, daß neben der Mitteldeutschen Schwelle im NW eine zusammenhängende Landbrücke von der Böhmisches Masse im E bis zur Vindelizischen Schwelle im S vorhanden gewesen sei. Die Solnhofener Seichtwasser-Fazies wäre danach auf drei Seiten vom Festland umschlossen gewesen.

**Einige Modelle für die Entstehung  
der Solnhofener Plattenkalke**



I NEUMAYR 1887

VII BARTHEL 1964

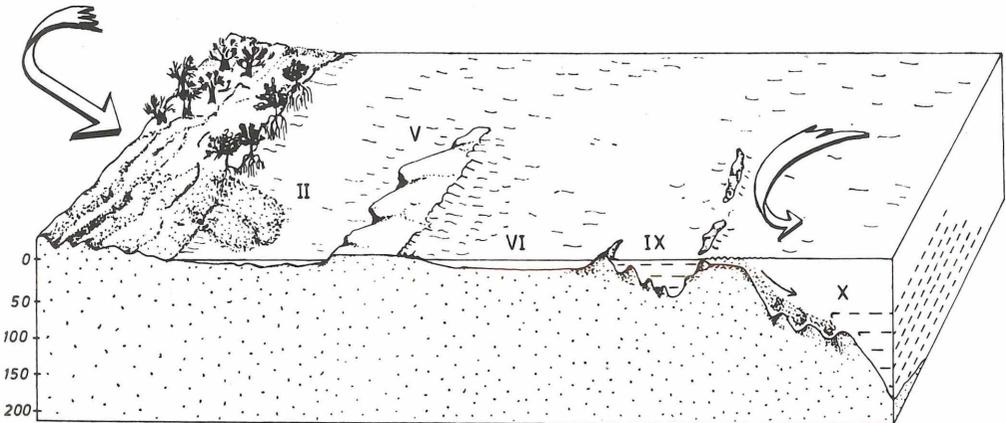
XII BUISSONJE 1972

III SCHWERTSCHLAGER 1919

VIII GROISS 1967, BANTZ 1969

XIII JORDAN 1974

IV GÜMBEL 1891, v. FREYBERG '68 XI GOLDRING & SEILACHER 1971 ●●● phytoplankton



II WALTHER 1904, ABEL 192?

VI FESEFELDT 1962

X v. STRAATEN 1971

V WILFARTH 1937

IX BARTHEL 1970

— H<sub>2</sub>S-water

H. Keupp 1975

**1937:** WILFARTH entwirft das Modell der „Großzeiten“. Die Feinschichtung des Sediments ist für ihn der Beleg für ein häufiges Wechselspiel zwischen Überflutung und Trockenlegung des ebenflächigen Ablagerungsraumes. Jede Überflutung, die durch Gezeiten ausgelöst worden sei, deren Fluthöhe und Periodendauer den heutigen Tidenhub bei weitem übertroffen hätten, habe detritisches Sediment von einer zwischen Meer und Plattenkalkgebiet gelegenen Abrasionsfläche mitgebracht.

**1940:** CASTER gelingt es, eines der Hauptargumente für extremes Flachwasser, und damit fehlendem Bodenrelief, zu entkräften, indem er zeigt, daß die vermeintlichen Wirbeltier-Fährten (s.o.) mühelos auf *Mesolimulus* zurückgeführt werden können.

**1957:** DEHM skizziert aufgrund des mehr oder weniger zeitgleichen, weltweiten Auftretens von Plattenkalken während des Oberjura das Modell der zeitgebundenen Plattenkalk-Fazies, wie sie für organogene Sedimente typisch ist. So glaubt er, daß – erdgeschichtlich gesehen – kurzlebige, tierische oder pflanzliche Mikro-Organismen, die selbst nicht fossilisierbar sind, für die spezifische Art der Kalkausscheidung verantwortlich seien.

**1958:** HADDING vergleicht silurische, liassische und Solnhofener Plattenkalke. Er kommt zu der Überzeugung, daß alle in flachen, lagunenähnlichen Becken der Litoralzone abgelagert worden seien. Für die Kalkproduktion sucht er die Erklärung in einer biochemischen Fällung aufgrund des Zusammenwirkens von skelettlosen Algen und dem bakteriellen Abbau ihrer organischen Substanz.

**1961:** Versucht KUHN eine erneute Zusammenstellung aller bis dahin bekannten Tier- und Pflanzenfossilien der Solnhofener Plattenkalke. Auf genetische Fragen geht er nur am Rande ein, wobei er sich für die Watt-Theorie SCHWERTSCHLAGERS ausspricht.

**1962:** Im Zuge der geologischen Kartierung der Südlichen Frankenalb durch v. FREYBERG und seine Mitarbeiter definiert FESEFELDT für die durch die abgestorbenen Algen-Schwamm-Riffe des Untergrundes begrenzten Ablagerungsbecken den Begriff „Wannen“. Für Solnhofen nimmt er ruhiges, marines Flachwasser an. Lokales, randliches Trockenfallen hält er für möglich.

**1964:** EDLINGER glaubt aufgrund der geologischen Bearbeitung des Eichstätter Raumes, daß das Innenrelief doch so ausgeprägt war, daß ein völliges Trockenfallen der Lagune kaum anzunehmen ist. Seine intensive Auseinandersetzung

mit der Genese der Krümmen Lagen läßt ihn an einen Zusammenhang ihrer Bildung mit epirogenetischen Krustenbewegungen denken, die eine erhöhte Sedimentation und infolgedessen eine stärkere Setzung bedingten.

**1964:** Eine Wende in der Betrachtungsweise des Solnhofener Ablagerungsraumes leitet BARTHEL ein. Er entwickelt das Modell einer überwiegend subaquatischen Atoll-Lagune, in der eine erhöhte Evaporation zu einer Dichteschichtung des Wassers und schließlich zu Faulschlamm-Bedingungen in Bodennähe führte. Ein oberflächlicher Wasseraustausch verhindert die Ablagerung von Evaporiten.

**1967:** GROISS findet eine reiche Foraminiferen-Fauna im Eichstätter Plattenkalk. Die spezifische taxonomische Zusammensetzung der benthonisch lebenden Formen spricht für ihre Autochthonie. GROISS leitet daraus einen durch Riffe geschützten Ablagerungsraum mit Wassertiefen von mindestens 50 m ab, der einen kaum eingeschränkten Wasser- und Faunenaustausch mit der offenen See hatte. Ein euxinisches Milieu wäre danach nicht wahrscheinlich.

**1967:** FLÜGEL & FRANZ liefern fast gleichzeitig mit LAFITTE und NOEL den elektronenmikroskopischen Nachweis von Coccolithen im Solnhofener Plattenkalk. Sie sprechen das Sediment in Anlehnung an GÜMBEL, 1891 mit Einschränkungen als Coccolithenschlamm an, wobei sie an eine episodische Einschwemmung des Planktons glauben.

**1967:** MAYR verteidigt durch eine Zusammenstellung vieler Fossilisations- und Sedimentationsphänomene die Trockenlegungstheorie. In Abhängigkeit der jeweiligen Windart und -stärke unterscheidet er kurzzeitige Überflutungen, welche die Organismen, und langsam ablaufende, welche den detritischen Anteil des Sediments brachten.

**1967:** Ebenfalls im gleichen Jahr schließt JANICKE seine Dissertation über Fossilienbettung und Sedimentstrukturen in den Plattenkalk-Randgebieten ab. Er macht die letzten „Beweise“ für zumindest gelegentliches Trockenfallen zunichte, indem er die vermeintlichen Trockenrisse als Synärese-Strukturen erkennt.

**1968:** FREYBERG faßt die Ergebnisse der Südalb-Kartierung zusammen und gibt eine hervorragende paläogeographische Darstellung des oberen Malm. Er postuliert für die große Solnhofener Lagune backreef-Stellung. Mögliche Spiegelschwankungen, ausgelöst durch ein

ungleichmäßiges Vordringen der Mitteldeutschen Schwelle nach SE, lassen ihn noch an gelegentliches Trockenfallen der Sedimentationsflächen denken.

**1968:** ZEISS liest aus dem überwiegenden Vorkommen der Oppeliden im westlichen Teil des Plattenkalkgebietes eine unabhängig vom ausgeprägten Internrelief – generelle Tiefenzunahme des Ablagerungsraumes von E nach W ab. Die Grenze zwischen äußerem und innerem Sublitoral (40 m) legt er östlich von Eichstätt.

Da er die Lagune als Lebensraum der Cephalopoden ansieht, ist eine stärkere Übersalzung nach dieser Interpretation nicht wahrscheinlich.

**1969:** JANICKE faßt die wesentlichen Ergebnisse seiner Dissertation zusammen. Er weist auf den durch Unterbrechungen gekennzeichneten Sedimentationsverlauf trotz permanenter Wasserbedeckung. In Bodennähe fordert er  $H_2S$ -Bedingungen.

**1969:** BANTZ spricht sich aufgrund des Untergrundreliefs bzw. der Faunenführung für ein tieferes, normalmarines,  $O_2$ -führendes Milieu aus. Die Erhaltung von Seeigeln mit Stachelkleid legen für ihn eine rasche Sedimentation nahe, etwa analog dem von TEMMLER (1964) für Nusplingen erkannten Mechanismus, bei dem eine stetige physikochemische Kalkfällung von einer periodischen Suspensionsschüttung überlagert wird.

**1970:** Unter anderem veranlassen Experimente zur Einbettung von Fossilien BARTHEL, sein Modell von 1964 zu modifizieren, indem er eine einheitliche Sedimentation bei Wassertiefen zwischen 30 und 60 m annimmt. Die Annahme einer bis zu  $H_2S$ -Bildung führenden Stagnation hält er weiterhin aufrecht.

**1971:** Die Überlieferung der *Limulus*-Fährten als „undertracks“ sind für GOLDRING & SEILACHER an Hand von Vergleichen mit anderen Lokalitäten Beweis, dem Solnhofener Plattenkalk insgesamt eine turbiditische Genese zuzuschreiben.

**1971:** STRAATEN vervollkommt das Turbidit-Modell. Er stellt sich vor, daß Hurrikane oder ähnliche Stürme das feine Sediment in der nördlich gelegenen, flachen Schelfsee aufgewühlt hätten. Die Suspension sei dann, der Schwerkraft folgend, in die tiefer gelegenen Plattenkalk-Wannen abgeglitten. Er fordert Wassertiefen zwischen 100 und 150 m. Die Benthosarmut erklärt er mit einer durch das Fehlen einer südlich begrenzenden Riffschwelle möglichen Kommunikation des Bodengewässers mit sauerstoff-freiem Wasser der Tethys.

**1972:** BARTHEL sieht in der Annahme einer Suspensionsschüttung eine Möglichkeit, den schon 1964 geforderten Wasseraustausch in den Wannen zu erklären, da die schwere Suspension im Stande ist, die stagnierenden Bodenwässer über die Riffschwellen in die Tethys zu pressen.

Versuche über die Sinkfähigkeit und -geschwindigkeit rezenter Insekten zeigten, daß die hervorragende Erhaltung auch großer Insekten im Plattenkalk ein Trockenfallen nicht notwendig macht.

**1972:** BUISONJE geht bei der Entwicklung seines Modells periodisch auftretender Coccolithen-„red tides“ von der Sedimentansprache als Coccolithenschlamm aus. Die durch Einstürmen nährstoffreicher Tiefenwässer ermöglichten Plankton-Blüten hatten danach zwei Folgen:

1. Die massenhaft auftretenden Coccolithen bilden den Hauptanteil des Sediments.
2. Die rasch und reichlich anfallende organische Substanz führt in Verbindung mit der Untergrundmorphologie zu permanentem Faulschlamm in Bodennähe.

Zur Erreichung der geforderten Nährstoff-Mengen benötigt BUISONJE nach rezenten Vergleichen Wassertiefen um 200 m.

**1972:** SCHOLLE & KLING vergleichen den Solnhofener Ablagerungsraum mit der Schefflagune entlang der Küste von British Honduras. Diese wird kontinuierlich von N nach S tiefer (maximal 58 m) und enthält einzelne patch-reefs. Die relative Coccolithenführung im Sediment nimmt mit zunehmender Verflachung ab. Im Flachwasser übertrifft die zunehmende Aragonit-Produktion die planktonische Zufuhr.

**1974:** Im Zusammenhang mit einer Fazies-Deutung der Posidonien-schiefer (Oberer Lias) vermutet JORDAN für die Solnhofener Lagune hypersaline Bedingungen.

**1974:** ERDTMANN & PREZBINDOWSKI schließen aus einer ähnlichen Position in Zwischenriffbecken einer vergleichbaren Fossilierhaltung und Diagenese auf eine Analogie zwischen dem Solnhofener Plattenkalk und dem mittelsilurischen Mississinewa-Schiefer. Bei  $O_2$  armen Bodenverhältnissen wird ein turbiditischer Sedimentationsmechanismus angenommen (nach frdl. Mitt. von Prof. Dr. ERDTMANN, Indiana denkt er heute eher an eine autochthone Sedimentgenese der silurischen Plattenkalke).

**1975:** EDER verweist anlässlich einer Bearbeitung riffnaher Devon-Sedimente auch für die süddeutschen Jura-Plattenkalke auf die Möglichkeit, daß die Flinz-Fäulen-Wechselagerung auf früh-

diagenetische Lösungs- bzw. Zementationsprozesse infolge einer pH-Ernieidrigung zurückgehen könne.

**1975:** GROISS spricht sich für eine Ablagerung der Plattenkalke in lagunenartigen Becken aus, die vom offenen Meer durch eine Riffschwelle im S getrennt war. Breite Kanäle in der Barriere ermöglichen aber normalmarine, O<sub>2</sub>-führende Bedingungen. Für die relative Lebensfeindlichkeit sucht er die Erklärung in einer erhöhten Wassertemperatur und der weichen Konsistenz des Sediments.

**1976:** Ultrafazies-Untersuchungen des Solnhofener Plattenkalkes durch KEUPP zeigen, daß ein primär kalzitisches Sediment ohne nennenswerte Beteiligung von Coccolithen vorliegt (vergl. auch

BARTHEL, 1976). Da der Zusammenhang mit coccalen Blaugrünalgen noch nicht erkannt war, wird eine (? bio-)physikochemische Kalkfällung durch rhythmische Süßwasser-Überschichtungen angenommen.

**1976:** HEMLEBEN sieht in der Solnhofener Lagune keine wesentlichen Unterschiede zu rezent beobachtbaren Verhältnissen. So spricht er sich für eine wechselhafte Sedimentation aus, die sich aus episodischen und langfristigen, allochthonen und autochthonen Anteilen zusammensetzt. Zur „Solnhofener Fossilhaltung“ kommt es danach nur beim Zusammentreffen mehrerer Faktoren, wie etwa Stagnation und Obrution (= Verschüttung).

## Literaturverzeichnis

**ABEL, O.** (1911): Die Vorfahren der Vögel und ihre Lebensweise. – Verh.Zool.Bot.Ges.Wien, **61** 144-191 Wien

\_\_\_\_ (1922): Lebensbilder aus der Tierwelt der Vorzeit. – 643 S., Jena

\_\_\_\_ (1927): Lebensbilder aus der Tierwelt der Vorzeit. – 714 S., Jena

**ALDINGER, A.** (1930): Über die Entstehung der Kalkschiefer des oberen weißen Jura von Nusplingen in Württemberg. – Cbl.Min.Geol.Paläont., **8**, Jg. **1930**, 257-267, Stuttgart

**AUBRY, M.-P.** (1974): Etude de la craie au microscope électronique à balayage. Les nanofaciès. – Trav.Labrat. Micropal., **3**, 225-296, Paris

**BAIER, J.J.** (1708): Oryctographica Norica. – Nürnberg; Übersetzung: **H.HÖRNING**; Herausg. **FREYBERG**, B.v., Erlanger geol. Abh., **29**, Erlangen, 1958

\_\_\_\_ (1730): Sciagraphia Musei Sui accedunt supplementa Oryctographiae Noricae. – Nürnberg; Übersetzung: **H.HÖRNING**; Erlanger geol. Abh., **29**, Erlangen 1958

**BANTZ, U.** (1969): Echinoidea aus Plattenkalken der Altmühlalb und ihre Biostratonomie. – Erlanger geol. Abh., **78**, 35 S., Erlangen

**BARNARD, T. & HAY, W.W.** (1974): On Jurassic Coccoliths: A tentative zonation of the Jurassic of Southern England and North France. – Eclog.geol.Helv., **67**, 3, 563-585, Basel

**BARTHEL, K.W.** (1957): Geologische Untersuchungen im Ries. Das Gebiet des Blattes Fremdingen. – Geologica Bav., **32**, München

\_\_\_\_ (1964): Zur Entstehung der Solnhofener Plattenkalke (unteres Unterthion). – Mitt.Bayer.Staatssamml.Paläont.hist. Geol., **4**, 37-69, München

\_\_\_\_ (1966): Concentric marks: current indicators. – J.Sed. Petrol., **36**, 1156-1162, Tulsa

\_\_\_\_ (1970): On the deposition of the Solnhofen lithographic limestone (Lower Tithonian); further data and comments. – N.Jb.Geol. Paläontol. Abh., **135**, 1, 1-18, Stuttgart

\_\_\_\_ (1972): The genesis of the Solnhofen lithographic limestone (Low.Tithonian); further data and comments. – N.Jb.Geol. Paläontol. Mh., Jg. **1972**, 3, 133-145, Stuttgart

\_\_\_\_ (1976): Coccolithen, Flugstaub und Gehalt an organischen Substanzen in Oberjura-Plattenkalken Bayerns und SE-Frankreichs. – Eclogae geol.Helv., **69**, 3, 627-639, Basel

**BATHURST, R.G.C.** (1967): Subtidal gelatinous mat, sand stabilizer and food, Great Bahama Bank. – J.Geology, **75**, 6, 736-738, Chicago

\_\_\_\_ (1971): Carbonate sediments and their diagenesis. – Develop.Sedimentology, **12**, Amsterdam (Elsevier)

**BAUSCH, W.** (1963): Geologisches Erscheinungsbild eines Dolomitierungsprozesses. – Geol.BI.NO-Bayern, **13**, 2, 89-92, Erlangen

\_\_\_\_ (1969): Tonmineralprovinzen in Malmkalken. – Habil.-Schrift (unveröffentlicht), 114 S., Erlangen

**BAUSCH, W.M. & ZEISS, A.** (1966): Zur Zusammensetzung des Kelheimer Riffkalkes. – Geol.BI.NO-Bayern, **16**, 240-242, Erlangen

**BAVENDAMM, W.** (1932): Die mikrobiologische Kalkfällung in der tropischen See. – Arch.Mikrobiol., **3**, 205-276, Berlin

**BEHR, K. & BEHR, H.-J.** (1976): Cyanophyten aus oberjurassischen Algen-Schwamm-Riffen. – Lethaia, **9**, 283-292, Oslo

**BÖLSCHKE, W.** (1938): Das Leben der Urwelt. – 348 S., Leipzig

**BOLTOVSKOY, E. & WRIGHT, R.** (1976): Recent Foraminifera. – 515 S., The Hague (Dr.W.Junck b.v.)

**BUISSON, P. H. de** (1972): Recurrent red tides, a possible origin of the Solnhofen limestone, I + II. – Koninkl.Nederl.Akad. Wet.Amsterdam, Ser.B, **75**, 2, 152-177, Amsterdam

**CASTER, K. E.** (1940): Die sogenannten „Wirbeltierspuren“ und die Limulus-Fährten der Solnhofener Plattenkalke. – Paläont.Z., **22**, 1, 12-29, Berlin

**DALRYMPLE, D. W.** (1965): Calcium carbonate deposition associated with blue-green algal mats, Baffin Bay, Texas. – Publ. Inst.Marine Sci., Texas, **10**, 187-200

**DEHM, R.** (1957): Zeitgebundene Gesteine und organische Entwicklung. – Geol.Rdsch., **45**, 52-56, Stuttgart

**DUNHAM, R. J.** (1962): Classification of carbonate rocks according to depositional texture. – Mem.Amer.Ass.Petrol.Geol., **1**, 108-121, Tulsa

**EBHARDT, G.** (1968): Experimentelle Untersuchungen zur Kompaktion karbonatischer Sedimente. – 99 S., Diss.Würzburg

**EDER, F. W.** (1975): Riffe und Riff-detritogene Plattenkalke. – Ber.SFB 48: Entwicklung, Bestand und Eigenschaften der Erdkruste, insbesondere der Geosynklinalräume, Projektber. A, 117-143, Göttingen

- EDLINGER, G. v.** (1964): Faziesverhältnisse und Tektonik der Malmtafel nördlich Eichstätt/Mfr.–Erlanger geol.Abh., **56**, 75 S., Erlangen
- \_\_\_\_ (1966): Zur Geologie des Weißen Jura zwischen Solnhofen und Eichstätt (Mfr.).–Erlanger geol.Abh., **61**, 20 S., Erlangen
- ENGELHARDT, W. v.** (1973): Die Bildung von Sedimenten und Sedimentgesteinen, Sedimentpetrologie III.–378 S., Stuttgart
- ERDTMANN, B.-D. & PREZBINDOWSKI, D. R.** (1974): Niagara (Middle Silurian) Interreef Fossil Burial Environments in Indiana. – N.Jb.Geol.Paläont.Abh., **144**, 3, 342-372, Stuttgart
- FAY, M.** (1976): Riffnahe Resedimente im Raum Kelheim: Lithologie, Genese und stratigraphische Bemerkungen.–N.Jb. Geol.Paläont.Abh., **152**, 1, 51-74, Stuttgart
- FESEFELDT, K.** (1962): Schichtenfolge und Lagerung des oberen Weißjura zwischen Solnhofen und der Donau (Südliche Frankenalb).–Erlanger geol.Abh., **46**, 80 S., Erlangen
- FIGUIER, L.** (1866): La terre avant Deluge. – Paris
- FLAJS, G.** (1976): Die Ultrastrukturen des Kalkalgenskeletts.– Habilitationsschrift (unveröffentlicht.), Bonn
- FLEMING, R. H. & REVELLE, R.** (1955): Physical processes in the ocean. In: Recent marine sediments. A symposium.–Herausg. TRASK, P.D., 48-141, Tulsa (SEPM), 1939 und 1955
- FLÜGEL, E.** (1976): Mikrofazielle Untersuchungsmethoden von Karbonatgesteinen.–Skriptum zum interuniversit. Kompaktkurs, 235 S., Erlangen
- FLÜGEL, E. & FRANZ, H. E.** (1967): Elektronenmikroskopischer Nachweis von Coccolithen im Solnhofener Plattenkalk (Ober-Jura).–N.Jb.Geol.Paläont.Abh., **127**, 3, 245-265, Stuttgart
- FLÜGEL, E. et al.** (1975): Guide book. – 1.Intern.Symp.on fossil algae, 228 S., Erlangen
- FÖRSTER, R.** (1966): Über die Erymiden, eine alte, konservative Familie der mesozoischen Dekapoden. – Paläontographica **125**, Abt. A, 61-175, Stuttgart
- FOLK, R. L.** (1959): Practical petrographic classification of limestones.–Amer.Ass.Petrol.Geol.Bull., **43**, 1, 1-38, Tulsa
- \_\_\_\_ (1962): Spectral subdivision of limestones types.–Amer. Ass.Petrol.Geol.Mem., **1**, 62-84, Tulsa
- \_\_\_\_ (1965): Some aspects of recrystallization in ancient limestones. – In PRAY, L.C. & MURRAY, R.C.: Dolomitization and limestone diagenesis. – SEPM Spec.Publ., **13**, 14-18, Tulsa
- FOLK, R. L. & WARD, W. C.** (1957): Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters.–J.Sed.Petrol., **27**, 3-26, Tulsa
- FOTT, B.** (1971): Algenkunde.–581 S., Stuttgart (Gustav Fischer)
- FREYBERG, B. v.** (1964): Geologie des Weißen Jura zwischen Eichstätt und Neuburg/Donau (Südliche Frankenalb).–Erlanger geol.Abh., **54**, 97 S., Erlangen
- \_\_\_\_ (1968): Übersicht über den Malm der Altmühl-Alb.–Erlanger geol.Abh., **70**, 40 S., Erlangen
- FRIEDMANN, G. M.** (1962): On sorting, sorting coefficients, and the lognormality of the grain-size distribution of sandstones.–J.Geology, **70**, 737-753, Chicago
- \_\_\_\_ (1964): Early diagenesis and lithification in carbonate sediments.–J.Sed.Petrol., **34**, 777-813, Tulsa
- \_\_\_\_ (1965): Terminology of crystallization textures and fabrics in sedimentary rocks.–J.Sed.Petrol., **35**, 3, 643-655, Tulsa
- FRIEDMANN, G. M., AMIEL, A. J., BRAUN, M. & MILLER, D. S.** (1973): Generation of carbonate particles and laminites in algal mats-Example from sea-marginal hypersaline pool, Gulf of Aqaba, Red Sea.–Amerk.Ass.Petrol.Geol.Bull., **57**, 3, 541-557, Tulsa
- FRIEDRICH, H.** (1965): Meeresbiologie. – 436 S., Berlin (Borntraeger)
- FRISCHMANN, L.** (1853): Versuch einer Zusammenstellung der bis jetzt bekannten fossilen Thier- und Pflanzen-Überreste des lithographischen Kalkschiefers in Bayern.–Lyceumsprogramm, 46 S., Eichstätt
- FRITZ, P.** (1965):  $\delta^{18}O/\delta^{16}O$ -Isotopenanalysen und Paleotemperaturbestimmungen an Belemniten aus dem Schwäb.Jura.–Geol.Rdsch., **54**, 261-269, Stuttgart
- FÜCHTBAUER, H.** (1974): Sediments and sedimentary rocks 1-Sedimentary petrology, Part II.–464 S., Stuttgart (Schweizerbart)
- FÜCHTBAUER, H. & MÜLLER, G.** (1970): Sedimente und Sedimentgesteine – Sediment-Petrologie III. – 378 S., Stuttgart (Schweizerbart)
- GEBELEIN, C. D.** (1969): Distribution, morphology, and accretion rate of recent subtidal algal stromatolites, Bermuda.–J.Sed.Petrol., **38**, 1, 49-69, Tulsa
- \_\_\_\_ (1974): Biologic control of stromatolite microstructure: implications for Precambrian time stratigraphy.–Amer.J.Sci., **274**, 575-598
- GERTHOFFEROVA, H. & MIŠIK, M.** (1971): Electron Microscope Study of Some Limestones and Dolomites of the Carpathian Mountains. – Ac.geol.et.geograph.Univ.Comen., Geologica **21**, 163-186, Bratislava
- GINSBURG, R. N.** (1957): Early diagenesis and lithification of shallow-water carbonate sediments in South Florida.–in **LeBLANC, R. J. & BREEDING, J. G.**: Regional aspects of carbonate deposition.–Soc.Econ.Paleont.Mineralog., Spec.Publ. **5**, 80-99, Tulsa
- GOCHT, H.** (1973): Einbettungslage und Erhaltung von Ostracoden-Gehäusen im Solnhofener Plattenkalk (Unter-Tithon, SW-Deutschland). – N.Jb.Geol.Paläont.Mh., **1973**, 4 189-206, Stuttgart
- GOLDRING, R. & SEILACHER, A.** (1971): Limulid undertracks and their sedimentological implications.–N.Jb.Geol.Paläontol., Abh., **137**, 3, 422-442, Stuttgart
- GOLUBIC, S.** (1973): The relationship between blue-green algae and carbonate deposits. – in **CARR, N. G. & WHITTON, B. A.**: The biology of Blue-green algae, 434-472, Bot.Monogr., **9**, Oxford
- GRESSLY, A.** (1838): Observations géologiques sur le Jura solenois.–N.Denkschr.Allgem.Schweiz.Ges.gesamt.Naturwiss., **2**, Neuchâtel
- GRODT, K. de** (1969): The chemistry of submarine cement formation at Dohat Hussain in the Persian Gulf.–Sedimentology, **12**, 63-68, Oxford
- GROISS, J. TH.** (1967): Mikropaläontologische Untersuchungen der Solnhofener Schichten im Gebiet um Eichstätt (Südliche Frankenalb).–Erlanger geol.Abh., **66**, 75-93, Erlangen
- \_\_\_\_ (1967a): Foraminiferen-Faunen aus den Neuburger Bankkalken (Mittel-Tithon).–Erlanger geol. Abh., **66**, 1-74, Erlangen
- \_\_\_\_ (1975): Eine Spurenplatte mit Kouphichnium (Mesolimulium) walchi (Desmarest, 1822) aus Solnhofen.–Geol.Bl.NO-Bayern, **25**, 2/3, 80-95, Erlangen
- GROSS, G.** (1964): Variations in the  $\delta^{18}O/\delta^{16}O$  and  $C^{13}/C^{12}$  ratios of diagenetically altered limestones in the Bermuda Islands.–J.Geology, **72**, 170-194, Chicago
- GÜMBEL, C. W. v.** (1891): Geognostische Beschreibung des Königreiches Bayern-IV Geognostische Beschreibung der Fränkischen Alb (Frankenjura).– 763 S., Kassel
- HADDING, A.** (1958): Origin of the lithographic limestones.–Kungl.Fysiogr.Sällsk. I Lund Förhand., **28**, 4, 21-32, Lund
- HATHAWAY, J. C. & ROBERTSON, E. C.** (1961): Microtexture of artificially consolidated argonitic mud.–Geol.Surv.Prof.Paper, **424-C**, 301-304, Washington
- HEMLEBEN, CH.** (1976): Fossil-Lagerstätten in plattigen Kalken. – Zentralbl.Geol.Paläont.Teil II, 5/6 (Ber.SFB 53: Paläologie), 214-222, Stuttgart

- HILL, M. E.** (1975): Selective dissolution of mid-Cretaceous (Cenomanian) calcareous nannofossil.—*Micropaleontology*, **21**, 2, 227-235, New York
- HONIGMANN, B.** (1958): Gleichgewichts- und Wachstumsformen von Kristallen.—161 S., Darmstadt (Steinkopf)
- HONJO, S.** (1969): Study of fine grained carbonate matrix: Sedimentation and diagenesis of „Micrite“.—*Palaeont. Sec. Japan, Spec. Paper*, **14**, 67-82, Tokyo
- HORODYSKI, R. J. & HAAR, S. P. v.** (1975): Recent calcareous stromatolites from Laguna Mormona (Baja California) Mexico.—*J. Sed. Petrol.*, **45**, 4, 894-906, Tulsa
- HÜCKEL, U.** (1974a): Vergleich des Mineralbestandes der Plattenkalke Solnhofens und des Libanon mit anderen Kalken.—*N. Jb. Geol. Paläont. Abh.*, **145**, 2, 153-182, Stuttgart
- \_\_\_\_\_ (1974b): Geochemischer Vergleich der Plattenkalke Solnhofens und des Libanon mit anderen Kalken.—*N. Jb. Geol. Paläont. Abh.*, **145**, 3, 279-305, Stuttgart
- JANICKE, V.** (1967): Fossil-Sediment-Strukturen in untertithonischen Plattenkalken der südlichen Frankenalb.—116 S., Diss. München
- \_\_\_\_\_ (1969): Untersuchungen über den Biotop der Solnhofener Plattenkalke.—*Mitt. Bayer. Staatssamm. Paläontol. hist. Geol.*, **9**, 117-181, München
- JOHNSON, J. H.** (1937): Algae and algal limestone from the Oligocene of South Park, Colorado. — *Bull. Geol. Soc. Amer.*, **48**, 1227-1236
- JORDAN, R.** (1974): Salz- und Erdöl/Erdgas-Austritt als Faziesbestimmende Faktoren im Mesozoikum Nordwest-Deutschlands.—*Geol. Jb.*, **A**, **13**, 1-64, Hannover
- JÜNGST, H.** (1934): Zur geologischen Bedeutung der Synärese. Ein Beitrag zur Entwässerung der Kolloide im werdenden Gestein.—*Geol. Rdsch.*, **25**, 312-325, Berlin
- KEULEGAN, G. H. & KRUMBEIN, W. H.** (1949): Stable configuration off bottom slope in a shallow see and its bearing on geological processes.—*Trans. Amer. Geophys. Union*, **30**, 6, 855-861, Washington
- KEUPP, H.** (1976c): Der Solnhofener Plattenkalk — Ein neues Modell seiner Entstehung.—*Jahresmitt. Naturhist. Ges. Nürnberg*, **1975**, 19-36, Nürnberg
- \_\_\_\_\_ (1976d): Ausgewähltes Beispiel einer Probenverunreinigung in der paläontologischen Raster-Elektronenmikroskopie.—*Geol. Bl. NO-Bayern*, **26**, 3/4, 227-234, Erlangen
- KINNE, O. & KINNE, E. M.** (1962): Rates of development in embryos of a Cyprinodont fish exposed to different temperature-salinity-oxygen-combinations.—*Canad. J. Zool.*, **40**, 231-253
- KINNE, O.** (1963): Über den Einfluß des Salzgehaltes auf verschiedene Lebensprozesse des Knochenfisches Cyprinodon macularius.—*Veröff. Inst. f. Meeresforsch. Bremerhaven, Sonderbd.* 49-66
- KLING, S. A.** (1975): A lagoonal coccolithophore flora from Belize (British Honduras).—*Micropaleont.* **21**, 1, 1-13, New York
- KÜHL, H.** (1952): Über die Hydrographie von Wattenpfützen.—*Helgol. Wiss. Meeresunters.*, **4**, 101-106
- KUHN, O.** (1961): Die Tier- und Pflanzenwelt des Solnhofener Schiefers.—*Geol. Bavarica*, **48**, 68 S., München
- KRUMBECK, L.** (1928a): Bemerkungen zur Entstehung der Solnhofener Schichten.—*Cbl. Min. etc.*, **Abt. B**, **1928**, 428-434, Stuttgart
- \_\_\_\_\_ (1928b): Faltung, untermeerische Gleitfaltung und Gleitstauchung im Tithon der Altmühlalb.—*N. Jb. Min. Geol. Paläont., Beil.—Bd.* **60**, **Abt. B**, 113-166, Stuttgart
- KRUMBEIN, W. E.** (1974): On the precipitation of aragonite on the surface of marine bacteria.—*Naturwissenschaften*, **61**, 167,
- KRUMBEIN, W. E. & COHEN, Y.** (1974): Biogene, klastische und evaporitische Sedimentation in einem mesothermen monomiktischen ufernahen See (Golf von Aqaba).—*Geol. Rdsch.* **63**, 3, 1035-1065, Stuttgart
- LAFITTE, R. & NOEL, D.** (1967): Sur la formation des calcaires lithographiques.—*C.R. Acad. Sci.*, **264**, 1379-1382, Paris
- LEICH, H.** (1968): Nach Millionen Jahren ans Licht.—164 S., Thun (Ott-Verlag)
- LEIGHTON, M. W. & PENDEXTER, C.** (1962): Carbonate rock types.—*Mem. Amer. Ass. Petrol. Geol.*, **1**, 33-61, Tulsa
- LIPPERT, H.** (1937): Gleitfaltung in subaquatischem und subaerischem Gestein.—*Senckenbergiana*, **19**, 5/6, 355-375, Frankfurt/M.
- MAPSTONE, N. B.** (1975): Diagenetic history of a North Sea chalk.—*Sedimentology*, **22**, 601-614, Oxford
- MATTER, A.** (1974): 9. Burial diagenesis of peletic and carbonate Deep-Sea sediments from the Arabian Sea.—*Init. Rep. DSDP*, **23**, 421-469, Washington
- MAURIN, A. F. & NOEL, D.** (1977): A possible bacterial origin for Famennian micrites.—in **FLÜGEL, E.** (Ed.): *Fossil Algae*, 136-142; Berlin-Heidelberg-New York (Springer)
- MAYR, F. X.** (1953): Durch Tange verfrachtete Gerölle bei Solnhofen und anderwärts.—*Geol. Bl. NO-Bayern*, **3**, 4, 113-121, Erlangen
- \_\_\_\_\_ (1964): Die naturwissenschaftlichen Sammlungen der philosophisch-theologischen Hochschule Eichstätt. — *Festschr. 400 Jahre Coll. Willib. Eichstätt*, 302-334, Eichstätt
- \_\_\_\_\_ (1966): Zur Frage des „Auftriebes“ und der Einbettung bei Fossilien der Solnhofener Schichten.—*Geol. Bl. NO-Bayern*, **16**, 2/3, 102-107, Erlangen
- \_\_\_\_\_ (1967): Paläobiologie und Stratonomie der Plattenkalke der Altmühlalb.—*Erlanger geol. Abh.*, **67**, 40 S., Erlangen
- MEISCHNER, K.-D.** (1964): Alloodapische Kalke, Turbidite in riffnahen Sedimentations-Becken. — in: **BOUMA, A. H. & BROUWER, A.**: *Turbidites*. — *Developm. in Sediment.*, **3**, 156-191, Amsterdam
- MEYER, R. K. F.** (1974): Ammoniten aus den Kelheimer Riffkalken und der Kelheimer Wanne. — *Geol. Bl. NO-Bayern*, **24**, 92-100, Erlangen
- \_\_\_\_\_ (1974): Landpflanzen aus den Plattenkalken von Kelheim.—*Geol. Bl. NO-Bayern*, **24**, 200-210, Erlangen
- \_\_\_\_\_ (1975a): *General Review of Carbonate Rocks*. — in: **FLÜGEL, E.**, (Ed.) *Guide book*, 1. Intern. Symp. Foss. Algae, 169-178, Erlangen
- \_\_\_\_\_ (1975b): Mikrofazielle Untersuchungen in Schwamm-Biohermen und -Biotrophen des Malm Epsilon (Ober-Kimmeridge) und obersten Malm Delta der Frankenalb.—*Geol. Bl. NO-Bayern*, **25**, 4, 149-177, Erlangen
- MILLIMAN, J. D.** (1974): *Marine carbonates*.—375 S., Berlin (Springer)
- MONTY, C. L. V.** (1963): Bases d'une nomenclature des roches calcaires marines.—*Ann. Soc. Géol. Belgique*, **86**, Mem, 2, 87-122, Bruxelles
- \_\_\_\_\_ (1967): Distribution and structure of recent stromatolitic algal mats, Eastern Andros Island, Bahamas.—*Ann. Soc. Géol. Belgique*, **90**, bull. 3, 55-100, Liege
- MORKHOVEN, F. P. C. M. v.** (1962): *Post-Palaeozoic Ostracoda*.—*Vol. 1*, 204 s., Amsterdam (Elsevier)
- MÜNCH, W.** (1955): *Beitrag zur Kenntnis der Solnhofener Plattenkalke*. — *Diplomarbeit* (unveröffentl.) München (Inst. Petrograph.)
- NEUGEBAUER, J.** (1973): The diagenetic problem of chalk—the rule of pressure solution and pore fluid.—*N. Jb. Geol. Paläontol. Abh.*, **143**, 223-245, Stuttgart
- \_\_\_\_\_ (1975): *Fossil-Diagenese in der Schreibkreide: Coccolithen*.—*N. Jb. Geol. Paläontol. Mh.*, **1975**, 8, 489-502, Stuttgart
- NEUMAYR, M.** (1887): *Erdgeschichte*.—*Bd. II*, 879 S., Leipzig
- NOEL, D. & LAFITTE, R.** (1967): Sur la formation des calcaires lithographiques.—*C.R. Acad. Sci.*, **264**, 1379-1382, Paris

- NOPCSA, F. v.** (1923): Die Familien der Reptilien.– Fortschr. Geol.Paläont., **2**, 1-210, Berlin
- OPPEL, A.** (1863): Über jurassische Cephalopoden. – Paläont. Mitt.Mus.Kgl.Bayer.Staates, **3**, 127-266, München
- PARHAM, W. E.** (1966): Lateral variations of clay minerals from carbonate rocks using acid.–J.Sed.Petrol., **31**, 123-129, Tulsa
- PLAAS, L. v. d.** (1962): Preliminary note on the granulometric analysis of sedimentary rocks.–Sedimentology, **1**, 145-157, Amsterdam
- PLUMLEY, W. J., RISLEY, G. A., GRAVES, R. W. Jr. & KALEY, M.E.** (1962): Energy index for limestone interpretation and classification.–Mem.Amer.Ass.Petrol.Geol., **1**, 85-107, Tulsa
- REIS, O.** (1909): Beobachtungen über Schichtenfolge und Gesteinsausbildung in der fränkischen Unteren und Mittleren Trias.–Geogn.Jh., **22**, 1-285, München
- ROLL, A.** (1932): Stratigraphischer Vergleich zwischen nord-westeuropäischem und süddeutschem Oberem Malm.–N.Jb. Min.Geol.Paläont., Beil.–Bd. **68**, B. 179-198, Stuttgart
- \_\_\_\_ (1933): Über den Oberen Malm der südwestlichen Frankenalb.–N.Jb.Min.Geol.Paläont., **B**, **1933**, 553-564, Stuttgart
- \_\_\_\_ (1934): Form, Bau und Entstehung der Schwammstolzen im süddeutschen Malm.–Paläont.Z., **16**, 197-246, Berlin
- \_\_\_\_ (1940): Tektonische Bemerkungen zu einer geologischen Karte der südlichen Frankenalb.–Z.dt.geol.Ges., **92**, 205-252, Berlin
- ROTH, P. H. & THIERSTEIN, H.** (1972): Calcareous nannoplankton: leg. 14 of the Deep Sea Drilling Projekt.– in: **HAYES, D. E. et al.**, Initial Reports of the Deep Sea Drilling Projekt, **14**, 787-954, Washington
- ROTHPLETZ, A.** (1909): Über die Einbettung der Ammoniten in die Solnhofener Schichten.–Abh.Bayer.Akad.Wiss., 2.Kl., **24**, 2, 313-337, München
- RUTTE, E.** (1962): Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:25000, Bl. 7037 Kelheim.–München (Bayer.Geol.LA)
- SCHAIRER, G.** (1968): Sedimentstrukturen und Fossilienbettung in unterithonischen Kalken von Kelheim in Bayern.– Mitt.Bayer.Staatsamml.Paläont.hist.Geol., **8**, 291-304, München
- \_\_\_\_ (1971): Mikrofossilien aus Plattenkalken Süddeutschlands.–Mitt.Bayer.Staatsamml.Paläont.hist.Geol., **11**, 33-68, München
- SCHAIRER, G. & LUPU, M.** (1969): Mikrofazielle Untersuchungen in unterithonischen, geschichteten Kalken von Kapfelberg bei Kelheim in Bayern.–Mitt.Bayer.Staatsamml.Paläont.hist.Geol., **9**, 183-199, München
- SCHNEID, TH.** (1914): Die Geologie der fränkischen Alb zwischen Eichstätt und Neuburg a.D. (Erste Hälfte).–Geogn.Jh., **27**, 59-172, München
- SCHOLL, D. W. & TAFT, W. H.** (1964): Algae, contributors of the formation of calcareous tufa, Mono Lake, California.–J.Sed. Petrol., **34**, 2, 309-319, Tulsa
- SCHOLLE, P. A.** (1974): Diagenesis of Upper Cretaceous chalks from England, Northern Ireland, and the North Sea.–in: **HSÜ, K. J. & JENKINS, H. C.**, Pelagic sediments: on land and under the sea.–Spec.Publ.intern.Ass.Sediment., **1**, 177-210, Oxford
- SCHOLLE, P. A. & KLING, S. A.** (1972): Southern British Honduras: lagoonal coccolith ooze.–J.Sed.Petrol., **42**, 1, 195-204, Tulsa
- SCHWERTSCHLAGER, J. J.** (1919): Die lithographischen Plattenkalke des obersten Weißjura in Bayern.–36 S., München (Verl.Natur und Kultur)
- \_\_\_\_ (1924): Beiträge zur Kenntnis der Bildung und Fauna der lithographischen Schiefer.–(Vortrag Tag.Pal.Ges.Eichstätt 1924) Paläont.Z., **7**, 147-160, Stuttgart 1926
- SEIBOLD, E.** (1952): Chemische Untersuchungen zur Bankung im unteren Malm Schwabens.–N.Jb.Geol.Paläont.Abh., **95**, 3, 337-370, Stuttgart
- SEILACHER, A.** (1963): Umlagerung und Rolltransport von Cephalopoden-Gehäusen.–N.Jb.Geol.Paläont.Mh., **1963**, 11, 593-615, Stuttgart
- SEILACHER, A., ANDALIB, F., DIETL, G. & GOCHT, H.** (1976): Preservation history of compressed Jurassic ammonites from Southern Germany.–N.Jb.Geol.Paläont.Abh., **152**, 3, 307-356, Stuttgart
- SHINN, E. A.** (1969): Submarine lithification of holocene carbonate sediments in the Persian Gulf.–Sedimentology, **12**, 109-144, Oxford
- STRAATEN, L. M. J. U. v.** (1971): Origin of Solnhofen limestone.–Geol.Mijnbouw, **50**, 1, 3-8, Mijnbow
- STREIM, W.** (1961): Stratigraphie, Fazies und Lagerungsverhältnisse des Malm bei Dietfurt und Hemau (Südliche Frankenalb).–Erlanger geol.Abh., **38**, 49 S., Erlangen
- TAYLOR, J.C.M. & ILLING, L.V.** (1969): Holocene intertidal calcium carbonate cementation, Quartar, Persia Gulf. – Sedimentology, **12**, 69-107, Oxford
- TEMMLER, H.** (1964): Über die Schiefer und Plattenkalke des Weißen Jura der Schwäbischen Alb (Württemberg).–Arb.Geol. Paläont.Inst.Univ.Stuttgart (TH), N.G., **43**, Stuttgart
- \_\_\_\_ (1967): Zur Entstehung der oberjurassischen Kalkschiefer der Schwäbischen Alb (Württemberg).–N.Jb.Geol. Paläont.Abh., **129**, 2, 185-206, Stuttgart
- TODD, T. W.** (1966): Petrogenetic classification of carbonate rocks.–J.Sed.Petrol., **36**, 2, 317-340, Tulsa
- TRURNIT, P.** (1967): Morphologie und Entstehung diagenetischer Drucklösungserscheinungen. – Geol.Mitt.Aachen, **1**, 173-204, Aachen
- VIOHL, G.** (1972): Die Fossilfundstätten von Eichstätt und Solnhofen.–in: GRZIMEKS TIERLEBEN, Erg.-Bd. Entwicklungsgeschichte der Lebewesen. -361-371, Zürich (Kindler)
- \_\_\_\_ (1976): Jura-Museum Eichstätt, Abt.F: Solnhofener Plattenkalke.–Museumsführer, Eichstätt
- WALTHER, J.** (1904): Die Fauna der Solnhofener Plattenkalke. Bionomisch betrachtet.–Festschr.Med.Naturw.Ges.Jena, **11**, 135-214, Jena
- WEBER, E.** (1941): Geologische Untersuchungen im Ries. Das Gebiet des Blattes Wemding.– Augsburg (Schwaberverlag)
- WEIGELT, J.** (1927): Rezente Wirbeltierleichen und ihre Bedeutung.– Leipzig
- \_\_\_\_ (1928): Ganoidfischleichen im Kupferschiefer und in der Gegenwart.– Palaeobiologica, **1**, 323-356, Wien & Leipzig
- WILFARTH, M.** (1937): Die Zezeiten im Meere des Malm zeta bei Solnhofen.–Z.dt.geol.Ges., **88**, 57-61, Berlin
- WILSON, J. L.** (1975): Carbonate facies in geologic history.– 471 S., Berlin (Springer)
- WIMAN, C.** (1936): Beobachtungen an Solnhofener Fossilien.– Probl.Palaeont., **1**, 217-221, Moskau
- WISE, S.W.Jr. & HSÜ, K.J.** (1971): Genesis an lithification of a deep sea chalk. – Eclog.geol.Helv., **64**, 2, 273-278, Basel
- ZEISS, A.** (1964a): Geologie des Malm auf Gradabteilungsblatt Dollnstein (Südliche Frankenalb). – Erlanger geol.Abh., **55**, 43 S. Erlangen
- \_\_\_\_ (1964b): Zur Verbreitung der Gattung Gravesia im Malm zeta der Südlichen Frankenalb.–Geol.Bav., **53**, 96-101, München
- \_\_\_\_ (1964c): Zur Stratigraphie des Unterithon der südlichen Frankenalb. – Coll.Jurass., Luxembourg 1962, Compt.Rend. Mem., 619-627, Luxembourg
- \_\_\_\_ (1968a): Untersuchungen zur Paläontologie der Cephalopoden des Unter-Tithon der Südlichen Frankenalb.–Bayer.Akad. Wiss.Math.–naturw.Kl., Abh., N.F., **132**, 1-191, München
- \_\_\_\_ (1968b): Über Stratigraphie und Faziesräume des Malm der Frankenalb.–Iber.Mitt.Oberrh.geol.Ver., N.F., **50**, 101-114, Stuttgart
- \_\_\_\_ (1975): Stratigraphy.–in: FLÜGEL, E. (Ed.), Guide book, 1.Intern.Symp.Foss.Algae, 153-168, Erlangen

## **Helmut Keupp**

7.9.1949

1955 – 1960

1960 – 1970

20.6.1970

WS 1970/71

SS 1972 – 1974

6.12.1974

1.1.1975 – 30.6.1975

1.7.1975 – 31.12.1976

ab 1.1.1977

## **Lebenslauf**

Geboren in Augsburg,  
Staatsangehörigkeit: deutsch

Eltern:

Reinhard Keupp, Angestellter des Landeskirchlichen  
Gemeinschaftsverbandes  
und Ruth Keupp, geb. Meyer

Volksschule in Nürnberg

Humanistisches Gymnasium in Nürnberg

Abitur

Geologie-Studium an der Friedrich-Alexander-Universität, Erlangen

Lehrer: Prof. Dr. W. Schwan, Prof. Dr. F. Birzer, Prof. Dr. E. Flügel,  
Prof. Dr. Th. Ernst, Prof. Dr. A. Zeiß, Prof. Dr. J. Th. Groß,  
Prof. Dr. K. Poll, Dr. W. Bausch, Dr. G. Nollau u.a.

DFG-geförderte Diplomarbeit in Mittelgriechenland bei  
Prof. Dr. W. Schwan

Geologie-Diplom

Wissenschaftlicher Mitarbeiter im DFG-Programm:  
Malm-Projekt Franken bei Prof. Dr. E. Flügel

Stipendiat nach dem Graduierten-Förderungsgesetz

Wissenschaftlicher Assistent am Paläontologischen Institut,  
Erlangen

Manuskript-Abschluß: 10.03.1977