

## Paläoökologische Säulenprofile in den Oberjura-Plattenkalken der Südlichen Frankenalb (Oberes Kimmeridgium bis Unteres Tithonium)

von Martin Röper

**Zusammenfassung:** In den Jahren 1985-1992 wurden am Institut für Paläontologie der Universität Bonn paläoökologische Säulenprofile in unterschiedlichen Plattenkalktypen vom Oberkimmeridgium bis Untertithonium aufgenommen und ausgewertet. Bei den in der Südlichen Frankenalb liegenden Profilen können zwei Grundtypen von Plattenkalken festgestellt werden. Zum einen sind es Kieselplattenkalke, die im Oberkimmeridgium durch den Schamhauptener, im Untertithonium durch den Mörsheim/Daitinger Typ untersucht wurden, zum anderen die Solnhofener Plattenkalke, bei denen eine flache "Schiefer"- und eine etwas tiefere "Plattenkalkfazies" unterschieden werden. Die Ergebnisse der Profilaufnahmen werden mit Befunden in den tidal angesehenen Plattenkalken von Cerin (Frankreich) und Brunn (Oberpfalz) verglichen.

Die geologisch unterschiedlich alten Plattenkalke werden in den untersuchten Bereichen verschiedenen Fazieszonen zugeordnet. Die Fazieszonen erscheinen unabhängig von ihren jeweiligen stratigraphischen und abhängig von ihren paläogeographischen Positionen. Entsprechend der Faziesregel von Johannes WALTHER, wonach die in den geologischen Profilen der Oberjurabecken übereinander gelagerten Fazieszonen auch zu jeder der in der Beckenfazies dokumentierten Zeiten nebeneinander im Raum gelegen haben konnten, werden die Fazieszonen auf einer fiktiven, nicht näher bestimmten Zeitebene im Raum nebeneinander gelegt und in ihrer paläogeographischen Position bestimmt. Aus dieser modellhaften Zeit/Raum-Vorstellung heraus ergibt sich ein Ansatz, wonach die Solnhofener Plattenkalke landnäheren Bereichen zum Absatz kamen, die Kieselplattenkalke dagegen landferner in der Nähe aktiv produzierender Riffgürtel. Der Hauptunterschied zwischen beiden Grundtypen besteht wohl darin, daß der Solnhofener Plattenkalk in Totreliefs und auf Schwellenpositionen diskordant über abgestorbenen Riffen entstand, während die Kieselplattenkalke in Gebieten abgelagert wurden, in denen Riffwachstum und Plattenkalksedimentation gleichzeitig stattfanden. Aus der Paläogeographie der Profilvergleiche sowie der gleichzeitigen Berücksichtigung der Riffentwicklung ergibt sich ein weiterer Ansatz, wonach die Entstehung der Plattenkalke im Bereich der Südlichen Frankenalb auf eine Restriktion von Flachbecken zwischen Riffgürtel und Land zurückzuführen ist, in denen möglicherweise auch Gezeiten Einfluß auf die Ökosysteme gehabt haben.

Von Sterbeereignissen, die wiederholt in den Solnhofener Plattenkalken enthalten sind, waren immer nur Ausschnitte aus dem ökologischen Spektrum der marinen Fauna betroffen. Hinweise auf ein Massensterben verschiedenster Tiergruppen zur selben Zeit am gleichen Ort wurden in den Profilen nicht nachgewiesen. Die Sterbeereignisse, von denen vorzugsweise bestimmte marine Organismen wie Saccocomen, Schwärme kleiner Friedfische sowie Krebslarven und kleine Ammoniten erfaßt wurden, können durch Wasserspiegelschankungen erklärt werden.

Für die Bildung von Plattenkalken werden allgemein weder große Wassertiefen noch geschichtete Wasserkörper (Salzschichtung) angenommen. Vielmehr ist davon auszugehen, daß in jeder der Fazieszonen zwischen Riffen und Land Plattenkalk in abgestuften Wassertiefen entstehen konnten, wobei tidale Flachwasserverhältnisse generell nicht auszuschließen sind.

Die Differenzierung von Plattenkalken sowie die Interpretation ihrer Entstehung ist als Zwischenergebnis aufzufassen, wobei der Versuch unternommen wird, sich von statischen Modellvorstellungen zu lösen und einen ersten kleinen Schritt in Richtung auf künftige dynamische Raum/Zeit-Modelle zu wagen.

**Summary:** Between 1985 and 1992 several palaeoecological/stratigraphic sections from different types of plattenkalks have been documented and interpreted by members of the Institute for Palaeontology, University of Bonn. These sections settled in the Southern Franconian Alb reach from the Upper Kimmeridgian to the Lower Tithonian. Two basic types of plattenkalks can be differentiated: the silicified type examined at Schamhaupten (Upper Kimmeridgian) and Mörnshheim/Daiting (Lower Tithonian) and the Solnhofen lithographic plattenkalks. The results are compared with the Fossilagerstätten of Cerin (France) and Brunn (Oberpfalz, Germany). These two Lagerstätten are supposed to be tidal.

In the areas of research the plattenkalks having different geologic ages are assigned to different facies zones. The facies seems to be independent from its stratigraphic position but rather to depend on the palaeogeography. Corresponding with Johannes WALTHER's rule of the facies, the facies zones in the geologic sections from the Upper Jurassic lying vertically one atop another can also ly horizontally next to each other at some time documented in the basin. The facies zones are settled on a fictive, not precisely defined time-horizon and their palaeogeographic positions are determined. So the plattenkalks of the type Solnhofen have been deposited close to the shore and the silicified plattenkalks have been deposited offshore close to actively producing reefs. The main difference between these two basic types is that the plattenkalks of the type Solnhofen have been deposited discordantly on and between dead reefs, while the silicified plattenkalks have been deposited in areas with reefs still growing during sedimentation.

Considering the palaeogeography derived by comparison of the geologic sections and the development of the reefs, another approach follows which assigns the genesis of the Southern Franconian Alb to a restriction of shallow basins between a line of patch reefs and the shore, possibly with a tidal influence on the ecosystems.

The repeated events of extinction in the Solnhofen plattenkalks concerned only parts of the ecological spectrum. Indications to mass extinctions of different groups of animals at the same time and place could not be verified. The events of extinction of distinct marine organisms found - like *Saccocoma*, small fishes, larval crustaceans, small ammonites - can be explained by variations of the sea level.

Generally, the genesis of the plattenkalks can be explained without assuming a greater depth of water, or a (salt-)layering of the water column. By contrast, the plattenkalks could be formed in every facies zone between reefs and shore and in different depths of water. Intertidal or shallow subtidal situations can not be excluded.

The differentiation of the plattenkalks and the interpretation of their genesis should be regarded as interim results. Postponing static reflections approaches to a dynamic model of space and time should be intensified.

- Einführung
- Arbeitsmethodik und Anmerkungen zur Darstellung der Profile
- Für und wider die Entstehungs- und Ablagerungsgeschichte der Solnhofener Plattenkalke
- Definition des Plattenkalkbegriffs
- 1. Überblick über paläoökologische Säulenprofile der Südlichen Frankenalb
- 1.1. Profil Schamhaupten (Stark): Kieselplattenkalke im oberen Kimmeridgium
- 1.2. Profile Schernfeld 1a, 1b, 1c, (Imberg): Solnhofener Plattenkalke im unteren Tithonium  
"Eichstätter Schieferfazies"
- 1.3. Profil Schernfeld 2 (Niefnecker): Vergleichsprofil zu Schernfeld 1 c
- 1.4. Profil Mörsnheim 1 (Hummelberg): Solnhofener Plattenkalke im unteren Tithonium,  
"Solnhofener Plattenkalkfazies"
- 1.5. Profile Mörsnheim 1, 2 und Langenthalheim (Hintere Haardt): Grenze Solnhofener/Kieselplattenkalke im unteren Tithonium
- 1.6. Profil Mörsnheim 2 (Hummelberg/Reserve): Kieselplattenkalke im unteren Tithonium
- 2. Ergebnisse der Profilaufnahmen
- 2.1. Die Frage nach den Wassertiefen
- 2.2. Allochthone oder autochthone Sedimentation
- 2.3. Die Herkunft von Benthosorganismen
- 2.4. Becken und Wannen
- 2.5. Flächendeckende Krumme Lagen
- 2.6. Faziesentwicklung in den untersuchten Becken
- Ausblick
- Danksagung
- Literaturverzeichnis

### **Einführung**

Seitdem Plattenkalke als Naturstein gewonnen werden, treten einzigartige Fossilfunde ans Tageslicht, über die bereits FRISCHMANN (1853) eine erste umfassende Zusammenstellung vorlegte. In der Folgezeit wurden über 500 fossile Pflanzen- und Tierarten (KUHN 1961) aus bayerischen Vorkommen beschrieben, darüber hinaus haben sieben *Archaeopteryx*-Funde die Lagerstätten überregional bekannt gemacht. Im Schatten von Urvögeln und des Reichtums an Reptilien, Fischen, Krebsen, Insekten und anderen paläontologisch begehrenswerten Ausnahmefunden enthalten Plattenkalke eine nicht zu übersehende Menge wissenschaftlich interessanter Fossildokumente, die in Steinbrüchen nur sehr selten geborgen werden. In der Regel beruhen Sammlungen meist auf subjektivem Ausleseprozeß und geben daher nur begrenzt Auskunft über Häufigkeit sowie stratigraphische oder regionale Verbreitung einzelner Tier- oder Pflanzengruppen. Bei früheren Sammeltätigkeiten wurde oft auch nicht unterschieden zwischen eigentlichen Solnhofener Plattenkalken (sensu KEUPP 1977a und BARTHEL 1978) und älteren beziehungsweise jüngeren Plattenkalkausbildungen. Etikettierungen wie "Solnhofen", "Eichstätt" oder "Kelheim" bezeichnen in der Regel weit gespannte Fundgebiete, in denen geologisch unterschiedlich alte Ablagerungen vorkommen. Für paläoökologische Untersuchungen sind horisontiert gewonnene Fossilien mit exakter Dokumentation von Fundlage und

-ort erforderlich, da nur sie mit der Sedimentfazies und anderen gleichzeitig auftretenden Fossilien in einem Zusammenhang betrachtet und dargestellt werden können. Allein an biometrischen Einmessungen von drei *Archaeopteryx* auf der Langenaltheimer Oberen Haardt zeigt sich der Wert horizontalisiert entnommener Plattenkalkfossilien. So ist im Profil der Haardt nach WELLNHOFER (1993) das dritte Exemplar nicht nur eine neue Spezies, sondern gleichzeitig der bislang erdgeschichtlich jüngste Langenaltheimer Fund. Bedingt durch industriellen Abbau bleiben derartig exakte Geländeaufnahmen eine Ausnahme, fehlen bis heute Floren- und Faunenlisten für einzelne Steinbruchreviere ebenso wie für begrenzte stratigraphische Horizonte. Es liegt in der Natur der Sache, daß bei systematischen Arbeiten im Gelände das Verhältnis zwischen seltenen Ausnahmefunden und häufigen, meist weniger beachteten Fossilien ein anderes ist, als bei der Studie an selektiv ausgewählten Sammlungsbeständen. Aufgabe einer Darstellung paläoökologischer Säulenprofile ist es, Makroflora und -fauna im Zusammenhang mit der untersuchten Sedimentfazies so darzustellen, wie sie im geologischen Profil auf den jeweils untersuchten Grabungsflächen in Erscheinung treten. Zusammenhängend betrachtet, und in eine zeitliche Abfolge gestellt, bieten komplexe Datensätze von Profilgrabungen eine sinnvolle Ergänzung zu den bisherigen Darstellungen der Ökologie, Entstehungs- und Ablagerungsgeschichte von Plattenkalkbildungen. In vorliegender Arbeit werden mehrere gut untersuchte Profile aus stratigraphisch unterschiedlichen Positionen der Südlichen Frankenalb zusammengefaßt. Dabei wird auf die jeweiligen Originalarbeiten verwiesen, die aufgrund ihres Umfangs, insbesondere von maßstabsgerechten Profilzeichnungen bis zu 2,9 Meter Länge, nicht vollständig publiziert werden können. Des weiteren werden ältere Studien (RÖPER 1991, GERHARD & MÖRS 1991, GERHARD & RÖPER 1992) dem neueren Kenntnisstand angeglichen. Mit Ausnahme der Grabungen bei Schernfeld war der Verfasser an sämtlichen Profilaufnahmen beteiligt, die von der Universität Bonn unter der Leitung von Prof. Dr. Horst REMY in den Jahren 1985-92 bei Mörsheim, Schernfeld und Schamhaupten erarbeitet wurden. Wir haben in den vergangenen zehn Jahren eine Fülle von Beobachtungen und Befunden erstmals beschreiben können, haben zwischenzeitlich immer wieder neue Erklärungsmodelle für unsere Beobachtungen entworfen und mit fast jeder neuen Grabung verwerfen müssen. Für viele Befunde konnten wir auf keine ausreichenden Grundlagen oder Beschreibungen zurückgreifen. Charakteristisch hierfür sind verschiedenste Typen von Plattenkalkbildungen, aber auch von Koprolithen, Speiballen und Speiseresten, die in allen Profilen wesentlich häufiger waren als die Tiere, von denen sie ausgeschieden wurden. Aber es waren auch Störungen im Schichtlagerungsgefüge, die uns jedesmal neue Anforderungen abverlangt haben. Aufgabe der vorliegenden Arbeit ist es, unseren heutigen Kenntnisstand kritisch zusammenzufassen und damit Anregungen für weitere Untersuchungen der sehr vielseitigen Fazies zu geben.

### **Arbeitsmethodik und Anmerkungen zur Darstellung der Profile**

Für die Dokumentation von Fossilagerstätten in bayerischen Plattenkalken wird das bereits erwähnte Schicht-für-Schicht Verfahren (Erläuterung bei RÖPER & ROTHGAENGER 1996c) angewandt. Ursprünglich vorgenommen wurde es bereits in der bekannten südfranzösischen Lagerstätte bei Cerin (BERNIER, BARALE et al. 1985). In den Solnhofener Plattenkalken wurden erste Studien von Prof. Dr. H. KEUPP (Berlin) und Dr. G. VIOHL (Jura-Museum Eichstätt) durchgeführt. Aber schon JANICKE (1967) beschrieb Fossilien aus Daiting in einem

Zusammenhang mit der lithologischen Sedimentsäule. Seit 1985 wird diese Arbeitsmethodik in den Formationen des bayerischen Oberjura systematisch eingesetzt. Spaltbarkeit des Sediments parallel zu seinem Schichtungsgefüge erlaubt detaillierte Analysen von Einzelschichten schon am Ort der Profilaufnahme in den Aufschlüssen. Gesteinsschichten werden praktisch nacheinander abgehoben und getrennt untersucht. Bei dem Vorgang kommt es zur Anlage von Protokollen, in die Daten zur Lithologie, Sedimentologie und Paläontologie eingetragen werden. Begleitende Probenentnahmen ermöglichen zusätzliche Untersuchungen zur Mikropaläontologie, Mikrofazies sowie Geochemie. Dem Arbeitsaufwand entsprechend langsam schreiten Profilvergrabungen voran. So, wie sie in den vergangenen Jahren von den Bonner Arbeitsgruppen wiederholt angelegt wurden, unterlagen sie in ihrer Ausrichtung einer möglichst genauen Dokumentation einzelner Fundstätten, wobei sich die Arbeitsmethodik mit zunehmender Erfahrung verfeinert hat. Zur Erreichung hier dargelegter Zielsetzung wurden begrenzte Grabungsareale von 4 (Solnhofner Plattenkalke) bis etwa 10 qm Grundfläche (Kieselplattenkalke von Schamhaupten) angelegt, für alle untersuchten Horizonte in einem Profil von möglichst gleichbleibender Größe. Entscheidend für die Protokollführung waren in erster Linie umfangreiche Aufzeichnungen zur Lithologie der Gesteinsschichten sowie über alle häufigen, teilweise in Horizonten angereicherten häufigen Fossilien, ferner Spuren und Marken. Seltene und materiell wertvolle Ausnahmefossilien, von Sammlern und Museen gleichermaßen begehrt, blieben in den Sedimentsäulen zwangsläufig seltene Zufallserscheinungen. Profilarbeiten sind Untersuchungen, die taxonomischen Bearbeitungen einzelner Fossilarten vorangestellt werden. Zu ihrer Darstellung gehören vorläufige Fossilbestimmungen, Arbeitsbezeichnungen sowie Dokumentationen von Fundobjekten, deren taxonische Stellung zunächst unklar bleibt.

Der Profilarbeiter muß alle Fossilgruppen darstellen und beschreiben, sowohl pflanzliche als auch tierische, die terrestrischen oder auch marinen Ursprungs sein können. Er muß Vertebraten sowie Invertebraten gleichermaßen begutachten. Darüber hinaus muß er sich mit Spuren, Marken und detailliert mit der Lithologie und Sedimentologie auseinandersetzen. Durch seine Tätigkeit wird die Sediment- und Fossilfazies einer Lagerstätte zunächst in ihrem Grundwesen erfaßt. Damit wird eine erste Grundlage für spätere Ausdeutungen einzelner Lagerstättentypen gelegt. Bedingt durch stratigraphisch und regional bedingte Faunen- und Florenunterschiede, wie sie bereits von WALTHER (1904) in ihren Grundzügen erkannt worden sind, wird eine Differenzierung einzelner Lagerstätten des vorrangige Ziel derzeitiger Forschungstätigkeiten. Mit Aufnahme und Beschreibung einzelner Fundstätten wird eine breitere Grundlage für den etwas unzulänglichen "Solnhofen"-Begriff, wie er beispielsweise von FRICKHINGER (1994) ausgelegt wurde, geschaffen. Diese Differenzierungen aufzuzeigen, ist ein Hauptanliegen vorliegender Übersicht. Damit wird einer Aufforderung von FREYBERG (1968) gefolgt, nach der Plattenkalkfossilien, Spuren und Marken möglichst mit exakter Herkunft, d.h. mit genauer Orts- und Fundlage im geologischen Profil dokumentiert und bearbeitet werden sollte, um in der erdgeschichtlichen Eingliederung voranzukommen.

Zur Beschreibung von Profilen gehören graphische Darstellungen von Abschnitten, die typisch für die jeweils untersuchten Gesamtprofile erscheinen. Für ein besseres Verständnis der Graphiken wurden für diese Arbeit sämtliche Originalprofile, die teilweise in den unterschiedlichsten Maßstäben gezeichnet und mit verschiedenen Symbolen versehen waren, vereinheitlicht. Angewandt sind nur noch die Maßstäbe 1:1, 1:5 und 1:10. Von links nach rechts angeordnet sind die lithologische Sedimentsäule, Spuren, Marken, Invertebraten nach aufsteigender

Rangfolge, Vertebraten und Pflanzen. Dargestellt sind jeweils nur solche Fossilspalten, deren Vertreter im vorliegenden Profilausschnitt enthalten sind. Bedingt dadurch trägt jede Profilgraphik ihre eigene Legende. Einsichtnahmen in die Originalprofile der Südlichen Frankenalb (Mörnsheim, Schernfeld, Schamhaupten) bestehen im Geologischen Institut der Universität Bonn bzw. im Jura-Museum Eichstätt. Von den Originalarbeiten abweichend werden in vorliegender Zusammenfassung die jeweils gültigen biostratigraphischen Positionen der Einzelprofile auf Basis von Ammoniten-Subzonen angegeben, damit bessere Vergleiche zu den Plattenkalklagerstätten im Schwäbischen und Französischen Oberjura möglich sind. Diese Vorgehensweise erscheint notwendig, weil derzeit nicht gesichert ist, ob die von MEYER & SCHMIDT-KALER (1994) bevorzugte regionale Stratigraphie im Oberjura von Bayern einwandfrei mit gleichnamigen Schichten in Württemberg (Weißer Jura Zeta) zu korrelieren ist (SCHWEIGERT 1993, SCHWEIGERT & ZEISS 1994).

### **Für und wider die Entstehungs- und Ablagerungsgeschichte der Solnhofener Plattenkalke**

Bereits 1853 gelangte FRISCHMANN zu der Überzeugung, daß die Plattenkalke in einem marinen Milieu entstanden sind. Auch wenn wir, zumindest partiell, Süßwassereinfluß heute noch nicht ganz aus der Betrachtung ausklammern können, dürfen wir terrestrisch-äolische Bildungen (ROTHPLETZ 1909, ABEL 1922) ausschließen; ein mariner Charakter der Ablagerungsräume ist nicht in Zweifel zu ziehen. Da ältere Modelle zur Erklärung der Plattenkalkentstehung bereits bei KEUPP (1977a) und BARTHEL (1978) anschaulich dargestellt worden sind, genügen an dieser Stelle einige wenige Grundgedanken.

Ähnlich wie für die Nusplinger Plattenkalke in Baden-Württemberg (TEMMLER 1967) deuten GOLDRING & SEILACHER (1971) wesentliche Bestandteile der Sedimente als Absätze von Trübeströmen oder Turbiditen, hervorgerufen durch Abgleiten von Böschungen. Überwiegend allochthone Zufuhr befürworteten auch von STRAATEN (1971), HEMLEBEN (1977) und insbesondere BARTHEL (1964-1978), der von mehr oder minder starken Suspensionsströmen ausging. Im Gegensatz dazu erachtete KEUPP (1977a,b) den Plattenkalk als eine lagunen-autochthone Bildung, hervorgerufen durch laminares Wachstum von Blaugrünalgen. Vorkommen von Coccolithen veranlaßten GÜMBEL (1896), den Plattenkalk als Coccolithenschlamm anzusprechen; de BUISONJE (1971, 1985) beschrieb Wassertiefen bis zu 230 m Tiefe, in denen nach seiner Auffassung die Sedimente infolge periodisch auftretender Coccolithen-Red-Tides zur Ablagerung kamen. BARTHEL (1978) ging, wie die meisten Autoren, von permanenter Wasserbedeckung der Ablagerungsräume aus. Nach seiner paläogeographischen Rekonstruktion bestand zur Zeit der Plattenkalkbildung in einer breiten, durch Korallenriffbarriere abgeschotteten Küstenlagune ein stark ausgeprägtes, submarines Paläorelief aus Plattenkalkwannen zwischen Schwellenzonen mit abgestorbenen Schwammriffen. In diesen Wannern, so wurde angenommen, sollten tiefere Wasserschichten lebensfeindlich gewesen sein, hervorgerufen durch Wasserschwereschichtung infolge hypersalinaren Milieus. Noch unterhalb der Sturmwellenbasis gelegen, betrug die Wassertiefe nach Darstellung von BARTHEL in den Wannern mindestens 20 m, in der Regel etwa 40-80 m. Daß die Wassersäule zumindest von Fischen, Ammoniten und Saccocomen besiedelt war, kam bereits bei den ersten systematischen Profilaufnahmen zum Vorschein (GERHARD 1990, MÖRS 1990, RÖPER 1990), indes blieb die Frage nach der Wassertiefe kontrovers. Ein wiederholtes Trockenlaufen küstennaher

Lagunen bildete die gemeinsame Grundlage einer älteren Auffassung, für welche in der Vergangenheit biostratigraphische Befunde (WEIGELT 1927, 1989; MAYR 1967) eine Fülle von Argumenten hervorgebracht hatten. Aus heutiger Sicht gibt es keine Nachweise für Überflutungstheorien von WALTHER (1904) oder Vorstellungen eines Trockenlaufens der Lagunen nach MAYR (1967), der keine Anzeichen für normale Gezeiten finden konnte. Dennoch spielten Ebbe und Flut immer wieder eine Rolle bei dem Versuch, Eigentümlichkeiten der Plattenkalkausbildungen mit ihren Fossilien zu erklären (WIMAN 1936, WILFAHRT 1937). SCHWERTSCHLAGER ging 1919 von Wattenmeercharakter, kombiniert mit einer Strandsezone aus. Jüngst wurde dieser Grundgedanke durch neue Befunde im Zuge der Profilaufnahmen in die Diskussion miteinbezogen (GERHARD 1992, RÖPER 1992, GERHARD & RÖPER 1992).

### Definition des Plattenkalkbegriffs

Für den Plattenkalk sind in der Literatur unterschiedlichste Begriffe verwendet worden. Am geläufigsten sind Schiefer, Kalkschiefer, Papierschiefer, Lithographischer Kalk, Platten- und Bankkalk (KEUPP 1977a:12). Da beispielsweise von FREYBERG (1968) Plattenkalke noch entsprechend der unterschiedlichen Mächtigkeiten ihrer Einzellagen in Schiefer, Platten- und Bankkalke gliederte, wurde eine sedimentologische Definition notwendig. KEUPP (1977:13) weist zurecht daraufhin, daß wir seit SEIBOLD (1952) unter dem Begriff Bankkalk eher geschichtete Kalke mit einer welligen Schichtoberfläche verstehen, die durch Fehlen eines internen Laminationgefüges gekennzeichnet sind. Zunächst enthält der Begriff Plattenkalk eine deskriptive äußere Beschreibung eines karbonatischen Sedimentgesteins, mit ebenflächig angeordneten schichtungsparallelen Trennfugen. KEUPP (1977a) bezieht in seiner Definition, begrenzt auf den Solnhofener Plattenkalk, genetische Aspekte des Ablagerungsmilieus mit ein, wonach Lamination auf Ablagerungen im Ruhigwasser hinweist. Wie HÜCKEL (1974:153-154) bezieht RÖPER (1990-92) die Fossiltaphonomie mit ein und begrenzt den Begriff nicht mehr streng auf Solnhofener, sondern stellt feingeschichtete Sedimente der etwas jüngeren Mörnsheimer Schichten zu den echten Plattenkalke. Feinschichtung oder Lamination, die auf weitgehendes Aussetzen von Bioturbation im Meeresboden zurückgeführt werden, ist allen geschichteten Karbonaten gemeinsam, die im Verlauf dieser Arbeit als "Plattenkalke" angesprochen werden. An diese knappe Beschreibung, für eine Definition ausreichend, schließen sich einige weitere Erläuterungen an:

- Solnhofener Plattenkalk: feinstkörnige Mikrite, laminierte oder feingeschichtete Flinzfäulen-Wechselfolgen (= lithographische Plattenkalke),
- Kieselplattenkalke: grobkörniger, feingeschichtet, lokal reich verkieselt, teilweise gradiert
- Bankkalke: Horizonte ohne Laminationsgefüge, die vom Plattenkalk abweichen,
- Fossilhorizonte: Schichtflächen mit Anreicherungen einzelner Tier- oder Pflanzenarten,
- Schichtflächen I.Ordnung: Haupttrennfugen im Plattenkalk,
- Schichtflächen II.Ordnung: Nebentrennfugen,
- Schichtflächen III.Ordnung: Latente Feinschichtung.

Der Begriff "Solnhofener Plattenkalk", der auch als stratigraphischer Terminus in die wissenschaftliche Literatur eingeflossen ist, wird in vorliegender Arbeit auf untertithonische Plattenkalke im Fränkischem Malm Zeta 2 (untere und obere Solnhofener Schichten sensu BARTHEL 1978) in den Gebieten von Langenthalheim über Solnhofen bis nach Eichstätt begrenzt.



Abb.1: Großes Abbaugelände der Solnhofener Plattenkalke in der Langenthaler Haardt

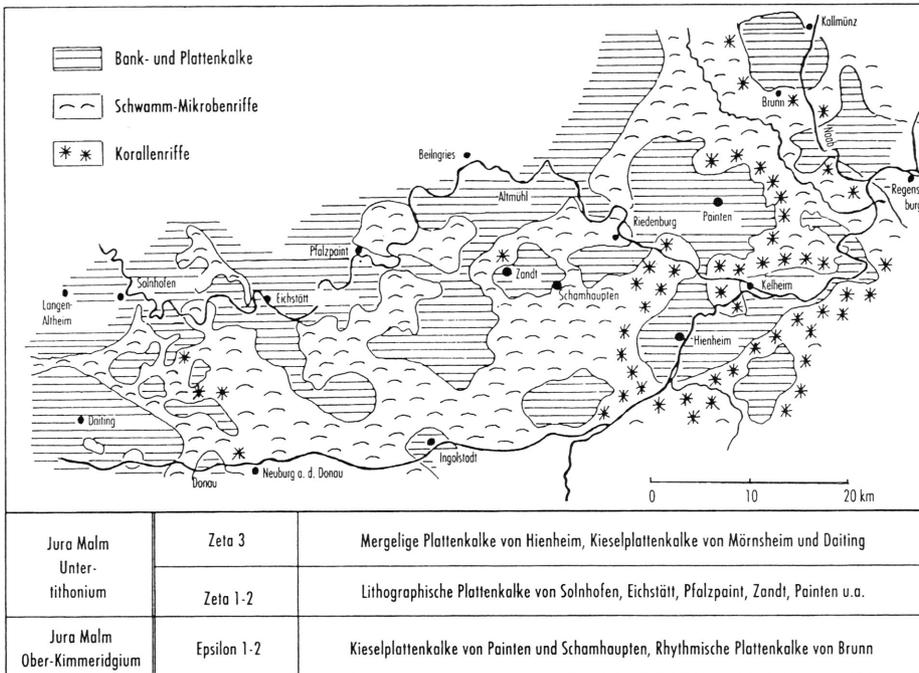


Abb.2: Stark vereinfachte Darstellung der Verteilung von Riffen und Sedimentationsbecken im Oberkimmeridgium und Untertithonium der Frankenalb und Darstellung der stratigraphischen Positionen einiger wichtiger Plattenkalkvorkommen

## 1. Überblick über paläoökologische Säulenprofile der Südlichen Frankenalb

In den Jahren 1985-1992 wurden am Institut für Paläontologie der Universität Bonn 7 Profile aufgenommen, von denen 5 in den klassischen Vorkommen der Solnhofener Plattenkalke liegen. Die übrigen Profile erfassen jüngere und ältere Plattenkalkserien (Abb. 1 und 2):

- Profil Schamhaupten (Stark): oberes Kimmeridgium, ?*subeumela*-Subzone; wenige 100 m W Schamhaupten (Blatt 7035 Schamhaupten, R 4469650, H 5420160),
- Profil Schernfeld 1 (Imberg): höherer Abschnitt der *rueppellianum*-Subzone, unteres Untertithonium; Westgrubenwand des Steinbruchs Imberg 800 m SE Schernfeld (Blatt 7032 Bieswang, R 4435040, H 5418450),
- Profil Schernfeld 2 (Niefnecker): *rueppellianum*-Subzone; 200 m W Schernfeld 1,
- Profil Mörnshiem 1 (Hummelberg): *rueppellianum*-Subzone, unteres Untertithonium; Gemeindesteinbruch Hummelberg auf der Albhochfläche zwischen den Gemeinden Solnhofen und Mörnshiem (Blatt 7131 Monheim, R 4426320, H 5416460),
- Profil Mörnshiem 2 (Hummelberg-Reserve): *moernsheimensis*-Subzone; 100 m E des Profils Hummelberg,
- Grenzprofil Langenaltheim (Hintere Haardt): Grenze *rueppellianum*/*moernsheimensis*-Subzone.

### 1.1. Schamhaupten (Stark): Kieselpplattenkalke im oberen Kimmeridgium

Während Solnhofen allgemein bekannt ist, gibt es einen eher vernachlässigten anderen, weit verbreiteten Typ im Oberjura der Südlichen Frankenalb, dessen Vorkommen an die Kieselpplattenfazies bei von FREYBERG (1968) gebunden ist. Für diese Ausbildungen, die GERHARD (1992) und RÖPER (1992) noch als "feinlaminiert" bezeichnet haben, wird hier der Begriff Kieselpplattenkalke vorgeschlagen. Derartige Schichten sind wesentlich grobkörniger als der Solnhofener Plattenkalk und zeigen lokal reichhaltige Verkieselungen. Schon früheren Bearbeitern fiel bei den geologischen Geländeaufnahmen der immense Fossilreichtum auf (BAUSCH 1963:20; SCHNITZER 1965:10-11; STREIM 1961:22-23; MÄUSER 1984). Im Jahre 1989 ist es in einem kleinen Flurbereinigungssteinbruch des Herrn F. Stark (Schamhaupten) gelungen, in diesen Schichten eine Fossilagerstätte für Ausgrabungen des Jura-Museums Eichstätt zu sichern. Dankenswerterweise hat Herr Dr. G. Viohl (Jura-Museum) der Bonner Arbeitsgruppe die Erstbearbeitung eines repräsentativen Profilabschnitts ermöglicht. Eine abschließende Darstellung von Schamhaupten wird sicherlich in einigen Jahren erfolgen, wenn die Arbeiten abgeschlossen sind. Dennoch ist auf der Grundlage systematischer Grabungen 1989-1991 und der Dünnschliffauswertung eine erste Kurzbeschreibung in Anlehnung an GERHARD (1992) und RÖPER (1992) möglich.

Stratigraphie: Das Schamhauptener Profil erfaßt Schichten im Liegenden der "Oechselberg-Schiefer". Nach BAUSCH (1963) liegen sie im höchsten Abschnitt des Fränkischen Malm Epsilon 2 (*setatum*-Subzone). Da die systematische Bearbeitung der Ammonitenfauna noch aussteht, ist derzeit keine sichere Angabe über die genaue stratigraphische Position möglich. Erste vorläufige Bestimmungen weniger Ammoniten (RÖPER 1992) schienen die Altersdatierung zu bestätigen. Nach freundlicher Mitteilung von Herrn Dr. Schweigert (Stuttgart) ergibt sich möglicherweise aber eine etwas ältere Einstufung, vielleicht sogar in der *subeumela*-Subzone. Sedimente: Verschiedene Schichtfaziestypen, im geologischen Profil übereinandergelagert,



Abb.3: Kieselplattenkalk mit feiner geflasierter Lamination, Oberkimmerdigium, Schamhaupten; Gesteinsdünnschliff, Höhe 24 mm

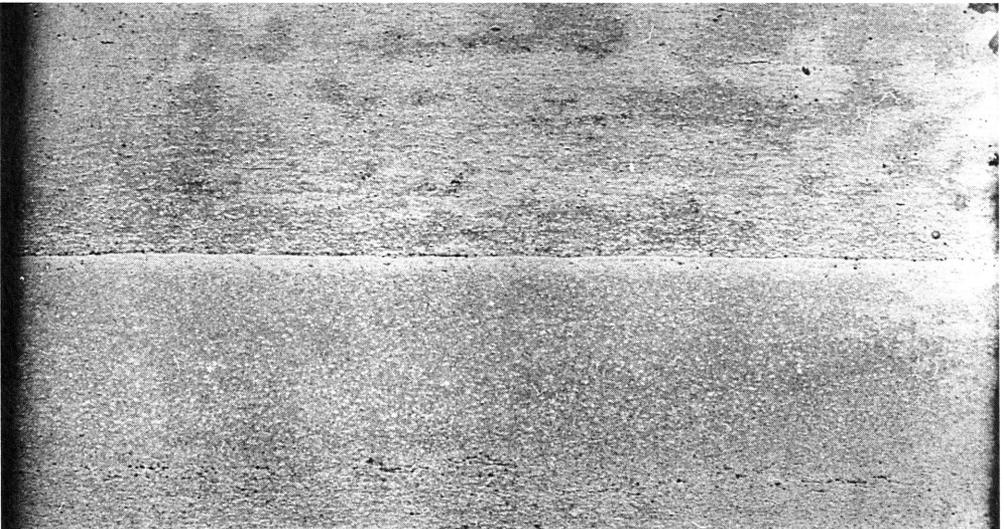


Abb.4: Gradierte Lagen im Kieselplattenkalk-Profil von Schamhaupten; Gesteinsdünnschliff, Höhe 24mm

kennzeichnen einen wiederholten Wechsel in den Ablagerungsbedingungen. Bei weitem überwiegen Kieselplattenkalke, bei denen feinstlaminierte und gröber geschichtete Horizonte unterschieden werden können. Die meisten Lagen sind sehr kieselsäurereich. Feinstgeschichtete Horizonte besitzen eine Lamination, die so eng werden kann, daß nur wenige Korndurchmesser den Abstand zur nächsten Lage darstellen. In polierten Gesteinsanschliffen fällt ein wiederholter Wechsel von dunkleren und helleren Lagen ebenso ins Auge wie das offene oder geschlossene Laminationsgefüge. Nach GERHARD (1992) sind die geflaserten Bänder der offenen Lamination möglicherweise auf Mikrobenmatten zurückzuführen. Hervorzuheben sind sparitische Einschlüsse sowie ein stark bitumenhaltiger Geruch, der beim Anschlagen des porösen Gesteins entweicht. Im untersuchten Profil tritt beschriebene Mikroschichtung immer dann in Erscheinung, wenn geringe Sedimentationsraten vorherrschen und es dadurch zu einer Drängung der Schichtflächen kommt. Assoziiert mit dieser Lamination ist eine Anreicherung von sowohl disartikulierten als auch artikulierten Fischen, Tintenfischen und Landpflanzen. Treten Abstände von Schichtflächen auseinander, entstehen etwas mächtigere, oft gradierte Kieselplattenkalke (u.a. Flinzartige bei RÖPER 1992), die vermutlich auf Suspensionswolken zurückzuführen sind. Derartige Horizonte sind in aller Regel fossilifer. Bedingt durch grobes Korn und Verkieselung besitzen Kieselplattenkalke eine schlechte Spaltbarkeit. Nur wenige Horizonte, die zeitgleiche Linien repräsentieren, können über weitere Strecken verfolgt werden. Ihre Schichtoberflächen sind meist rau und unregelmäßig, zeigen aber in Ausnahmefällen ein Oberflächenrelief, wie wir es von vielen Schichtflächen der Solnhofener Plattenkalke her kennen. Auskolkungen, Rippelmarken und Fluidalgefüge (GERHARD 1992:20) sowie die gradierten Lagen belegen episodisch stärkere Wasserbewegungen. Eingeschaltet in die Plattenkalkfolge sind Bänke, an deren Basis häufig Schill und kleine Skelettreste von Fischen angereichert sind. Typische Erscheinungsbilder dieser Bänke sind heterogene Fossiltaphozöosen. Auf ihrer Oberfläche erscheinen die Bänke glatt, wellig oder mit Auskolkungen im Dezimeterbereich versehen.

Fauna und Flora: Die bei der Profilaufnahme geborgenen Fossilien oder Fossilreste gehören zu den nachfolgenden Taxa, die hier nach ihrer systematischen Stellung aufgelistet sind:

Erläuterung: [a] - Funde aus Plattenkalken

[b] - Funde aus Bankkalken

Plantae

Phaeophyta: *Phyllothallus*, sowie kleine braune Algenfäden [a]

Pteridospermae: *Cycadopteris jurensis* (KURR) [a,b]

Coniferopsida: *Brachyphyllum* [a], *Palaeocyparis* [a], unbestimmte Hölzer [a,b]

Animalia

Protozoa: Foraminifera [a,b]

Porifera: isolierte Skelettelemente von Kieselschwämmen [a,b]

Anthozoa: unbestimmte Korallenbruchstücke [b]

Brachiopoda: *Lacunosella* [a,b], Terebratulidae [a], Brachiopodenschill [b]

Gastropoda: *Ditremaria* [a], *Globularia* [b], kleine unbestimmte Gastropoden [b]

Bivalvia: *Liostrrea* [a], Pectiniden [b], unbestimmter Muschelschill [b]

Ammonoidea: *Neochetoceras cf. acallopistum* [a,b], *Glochiceras* sp. [a], *Lithacoceras* sp. [a], *Hyboniticeras* aff. *beckeri* [b], *Tolvericeras sevogedense* [b], *Aspidoceras* sp. [a,b]

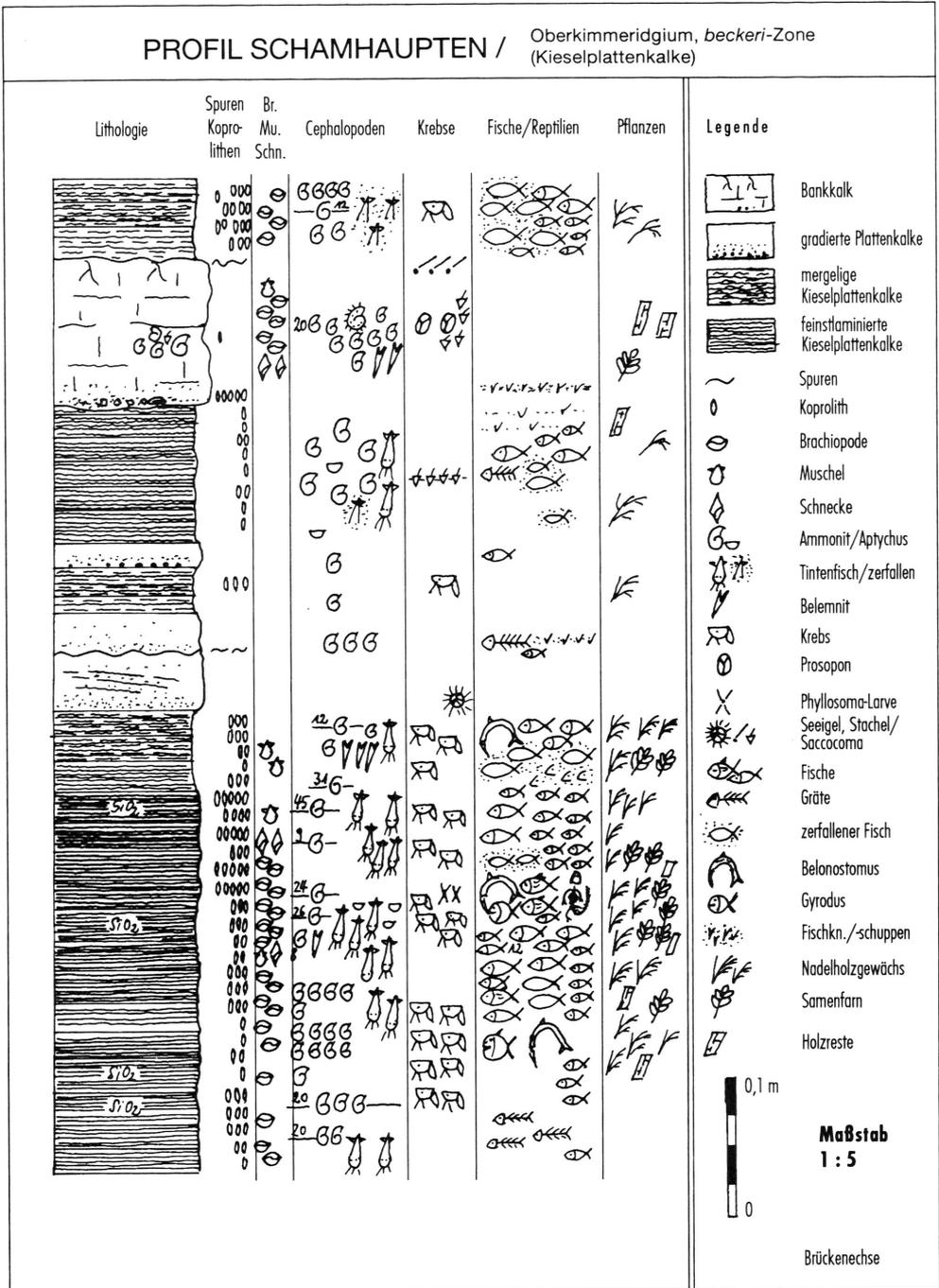


Abb.5: Ausschnitt aus dem paläoökologischen Säulenprofil von Schamhaupten

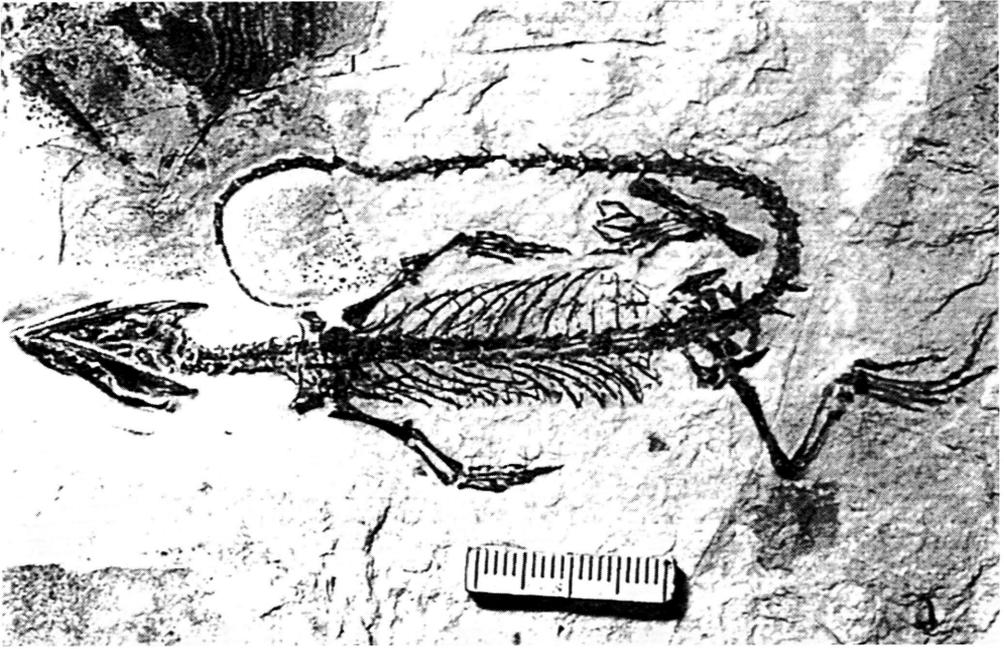


Abb.6: Brückenechse; *Homoeosaurus*, Kieselplattenkalkprofil Schamhaupten; Oberkimmeridgium. Probegrabung der Universität Bonn, Herbst 1992 (leg. R.Höll, M.Röper), Jura-Museum Eichstätt

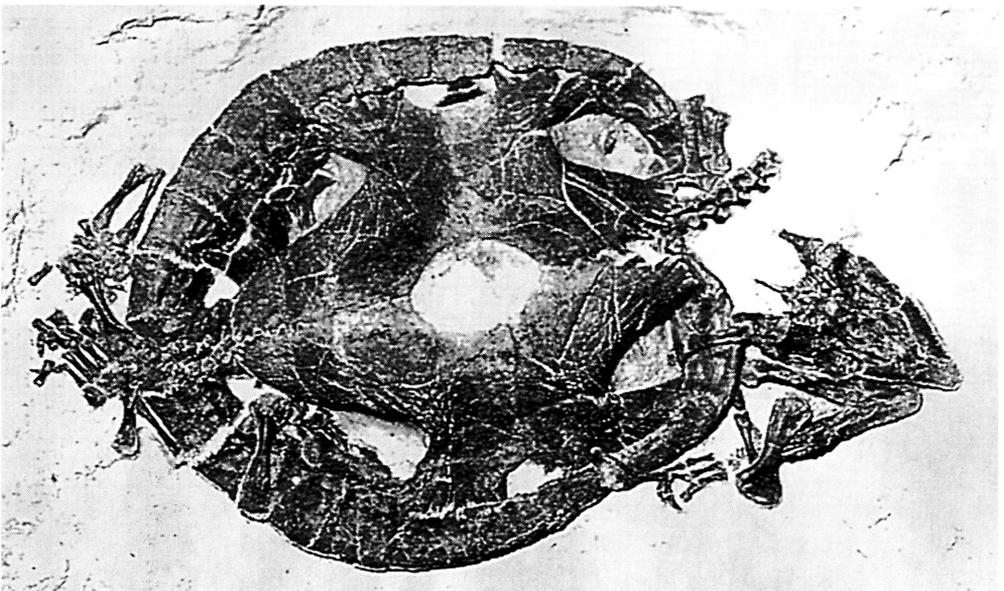


Abb.7: Unbenannte Schildkröte; Kieselplattenkalkprofil Schamhaupten, Oberkimmeridgium. Profilgrabung der Universität Bonn, 1990 (leg. M.Röper, U.Gerhard), Jura-Museum Eichstätt

- Aptychen: *Lamellaptychus* [a,b], *Granulaptychus* [a,b], *Laevaptychus* [a,b]  
 Belemnoidea: *Hibolithes* sp. [ab]  
 Teuthoidea: *Plesioteuthis prisca* (RÜPPEL) [a], *Trachyteuthis hastiformis* (RÜPPEL) [a],  
*Leptoteuthis* sp. [a], *Muensterella scutellaris* [a], *Acanthoteuthis* sp. [a]  
 Ostracoda: unbestimmte Formen  
 Mysidacea: *Francocaris grimmi* (BROILI) [a], *?Elder ungulatus* (MÜNSTER) [a]  
 Isopoda: *Urda rostrata* MÜNSTER  
 Reptania: *Eryma modestiformis* (SCHLOTHEIM) [a], *Phlyctiosoma minuta* (SCHLOTHEIM) [a],  
*Pseudastacus* cf. *pustulosus* (MÜNSTER) [a], *Palaeastacus* sp. [a], *Glyphaea* cf. *pseudo-*  
*scyllaris* [a], *Eryon* sp. [a], *Palaeopentacheles* sp. (MÜNSTER) [a], *Knebelia schuberti* (H.  
 V. MEYER) [a], *Palinurina longipes* (MÜNSTER) [a]  
 Natantia: *Acanthochirana* sp. [a], *Aeger tipularius* (SCHLOTHEIM) [a], *Antrimpos* sp. [a],  
*Bylgia spinosa* (MÜNSTER) [a], *Dusa* sp. [a], *Hefriga* cf. *serrata* (MÜNSTER) [a]  
 Brachyura: *Nodoprosopon* sp. [b]  
 Stomatopoda: *Scalda* aff. *pennata* (MÜNSTER) [a]  
 Crustaceenlarven: *Phyllosoma* sp. [a]  
 Crinoidea: *Saccocoma* sp. GOLDFUSS [a,b]  
 Echinoidea: *Rhabdocidaridaris* sp. [b], *Plegiocidaridaris* sp. [b], *Tetragramma planissima* [a]  
 Holostei: *Lepidotes* sp. [a], *Gyrodus* sp. [a], *Caturus* sp. [a], *Eurycormus* sp. [a], *Aspidorhynchus*  
*acutirostris* (BLAINVILLE) [a], *Belonostomus* sp. [a], *Pholidophorus* sp. [a], *Ophiopsis* [a]  
 Teleostei: *Anaethalion* sp., *Tharsis dubius* (BLAINVILLE) [a], *Leptolepides* sp. [a], *Ascalabos*  
 sp. [a], *Thrissops* sp. [a]  
 Reptilia: unbenannte Schildkröte [a, Abb.7], *Homoeosaurus* sp. [a, Abb.6]  
 Koprolithen: calcitische Lumbricarien [a], phosphatische bohnenförmige Koprolithen [a,b],  
 gesteckt-phosphatische Fischkoprolithen [a], Speiballen [a]  
 Spuren: Grabgänge [b]

Häufigkeit und Verteilung der Fossilien im Plattenkalk: Der Fossilbericht belegt überwiegend Fischschuppen, Fischreste, Knochenfische, Ammoniten, Pflanzenreste und Koprolithen, die dem Profil sein Gepräge geben (Abb.5). Liste aller geborgenen Einzelfunde:

- Plantae: Koniferen (113 sowie 3 Horizonte mit Koniferenresten), *Cycadopteris* (13 Exemplare), Algenfäden (3)  
 Invertebrata: Terebrateln (81), Gastropoden (6), *Liostrea* (19), Ammoniten (612), Aptychen (149), Tintenfische (62), isolierte Belemnitenrostren (25), Crustaceen (76 und 23 Fragmente) *Saccocoma* (1 Horizont mit etwa 50 Exemplaren m<sup>2</sup>), Echiniden (2), davon 1 Exemplar ins Profil eingemessen  
 Vertebrata: Knochenfische/Clupeiden (212 und 250 Reste, davon 66 isoliert liegende Köpfe), Knochenschmelzschupper (18), Reptilien (2), davon 1 Exemplar (*Homeosaurus*) in das Profil eingemessen  
 Koprolithen: gestreckt-phosphatische Koprolithen (sehr häufig), bohnenförmige Koprolithen mit Skelettresten von Fischen (häufig), *Lumbricaria* (selten), Speiballen - bestehend aus Skelettresten von Fischen (häufig)  
 Ichnofauna: fehlend  
 Cephalopoden (848 Einzelexemplare), Knochenfische (462) und Landpflanzen (129) stellen die

Mehrzahl aller Funde, gefolgt von Crustaceen (99) und einer Brachiopodenart. Mit Ausnahme von *Homeosaurus* ist ausschließlich eine marine Fauna überliefert. Von Landseite beschränkt sich der Einfluß mehr oder weniger auf Eintrag von Koniferenzweigen, untergeordnet *Cycadopteris*. Einige Grabungsbefunde bleiben rätselhaft. So zeigte die feinlaminierte Lage E/4 bandförmige Fossilanreicherungen entlang stark verkieselter Bereiche, aus denen eine Reihe seltener Knochenschmelzschupper, Knochenfische, Tintenfischschulpe und Landpflanzen stammen. Auch *Homeosaurus* stammt aus einem derartigen Bereich. Bei allem Bemühen ist es nicht gelungen, Anschwemmungen auf einer Schichtfläche, identisch mit einer Zeitlinie zu verfolgen. Nachgewiesen sind Einsteuerungen von Landpflanzen und Tintenfischschulpen in E/4 (Fundlageplan RÖPER 1991, unpubliziert). Damit ist zumindest ein Beleg für Strömungen erbracht, auch in mikrogeschichteten Horizonten. Nach bisherigen Erkenntnissen bleiben benthische Organismen äußerst selten und beschränken sich auf wenige Vertreter des vagilen Benthos, zu denen einige Krebse, Seeigel und Schnecken gehören. Besondere Bedeutung kommt den Koprolithen zu. Gestreckt-phosphatische Formen wurden von Fischen ausgeschieden, bohnenförmige möglicherweise von Reptilien. Sehr rar bleibt *Lumbricaria*, ebenso *Saccocoma*, aus denen dieser Typ vorzugsweise besteht. Mageninhalte von *Plesioteuthis* enthielten Fischreste, Aptychen und Crustaceenschalen. Es verwundert nicht, daß in Koprolithen und Speiseresten Bestandteile enthalten sind, die zur Fauna gehören, die im Profil dokumentiert ist.

Häufigkeit und Verteilung der Fossilien in den Bankbildungen: Bänke enthalten nur wenige pflanzliche Überreste, die sich anscheinend auf verkieselte Hölzer und Blattreste von *Cycadopteris* beschränken. Bei weitem überwiegen Schalen und Schalenreste wirbelloser Organismen, häufig in Form von Schill an der Basis von Bänken angereichert, zusammen mit Skelettresten von Fischen. Der Grabungsbericht überliefert Rhynchonelliden, Terebrateln, Pectiniden, Gastropoden und Saccocomen. Ein Horizont (E/8) enthielt besonders viele Ammoniten, Seeigelstacheln (*Rhabdocidaris*) und zwei Brachyurenpanzer (*Nodoprosopon*). Dünnschliffbilder zeigten Spicula von Kieselschwämmen, Foraminiferen, Brachiopoden, Bivalven, Gastropoden, Echinodermenreste und Korallen.

Erhaltung und Einbettung der Fossilien: In allen Lagen kommen sowohl sehr vollständige als auch disartikulierte Weichkörperfossilien vor. Dabei sind die Erhaltungsbedingungen in verkieselten und stark bituminösen Horizonten sowie in Geoden offensichtlich am günstigsten. Mergelige Horizonte enthalten sehr viel disartikulierte Organismen und Fischschuppen. Infolge der Kompaktion sind die Fossilkörper, mit Ausnahme von Geodenfunden, zusammengepreßt und liegen parallel zur Schichtung, abgesehen von einigen Belemnitenrostron und einigen Ammoniten. Im untersuchten Profil ist es möglich, bei einzelnen Tiergruppen (Tintenfische, Krebse, Fische) verschiedene Erhaltungs- und Zerfallsstadien gegeneinander abzugrenzen (RÖPER 1992:22-25), besonders bei Knochenfischen, da hier ausreichend Fundmaterial für eine Differenzierung vorgelegen hat. Ergänzend zu Befunden von JANICKE (1967), der Material aus untertithonischen Plattenkalken bei Daiting/Schwaben bearbeitet hat, können mindestens sechs verschiedene Erhaltungsstadien unterschieden werden:

- A) Vollständig erhaltener Knochenfisch, Skelett und Schuppenkleid sind unversehrt, Fischkörper gerade-gestreckt oder dorsal-gekrümmt (64 Exemplare)
- B) Vollständig erhaltener Knochenfisch, Skelett und Schuppenkleid liegen weitgehend im

Verband, einzelne Wirbel aus dem Verband gelöst, indem sie lose aneinandergereiht, aber noch im Fischkörper liegen. Kiefer, Flossen und Schuppenkleid können geringe Mazeration aufweisen. Fischkörper gerade-gestreckt oder dorsal-gekrümmt (130 Exemplare)

C) Vollständig erhaltenes Skelett ohne Schuppenkleid ("Grätenerhaltung"), Skelett meist dorsal gekrümmt (selten, 16 Exemplare)

D) Teilweise zerfallener Knochenfisch, bei dem größere Körperabschnitte noch in situ liegen. Kopf und Rumpf können voneinander abgetrennt sein, die Wirbelsäule ist häufig aufgelöst und liegt dann als regelloser Haufen im Fischkörper, in einzelnen Körperabschnitten kann eine teilweise oder vollständige Mazeration des Schuppenkleides beobachtet werden, Kopf vollständig oder disartikuliert (61 Exemplare)

E) Vom ursprünglichen Fischkörper ist mehr oder weniger ein Haufen disartikulierter Skelettelemente und Schuppen übrig, einzelne Abschnitte (Wirbelsäule, Flossen, Kopf) können im Verband liegen (17 Exemplare)

F) Vom ursprünglichen Fischkörper ist nur noch ein regelloser Haufen disartikulierter und dislozierter Skelettelemente und isolierter Schuppen übrig, einzelne Skelettelemente können fehlen (21 Exemplare)

Über das Zustandekommen einzelner Stadien ist bislang, mit Ausnahme von Fischen in Solnhofener Plattenkalken (MAYR 1967, JANICKE 1967, 1969, BARTHEL 1971, VIOHL 1994) nur wenig bekannt geworden. In Schamhaupten ergab die Auszählung verschiedener Stadien folgendes Ergebnis:

- 194 vollständige Knochenfische (Zustand A und B),
- 16 Knochenfische in Grätenerhaltung (Zustand C),
- 99 disartikulierte Knochenfische (Zustand D-F),
- 30 Fischschuppenhorizonte.

Etwa 50% aller Knochenfische zeigen Auflösungserscheinungen. Einige auffällige Erhaltungszustände, nicht ohne weiteres beschriebenen Gruppen zuzuordnen, sind möglicherweise auf Bißverletzungen zurückzuführen. Direkte Hinweise auf Aasfresser wurden nicht nachgewiesen, jedoch müssen diese deshalb nicht unbedingt fehlen. Bankkalke enthalten überwiegend Invertebraten, Weichkörperfossilien wurden nicht gefunden, artikuliert Vertebrae fehlen. Die Invertebraten sind körperlich erhalten und syndementär eingebettet. Die Bankoberflächen erscheinen mit Ausnahme von Echinodermenstacheln fossilieer.

Aussagen zum Biotop: Im makroskopischen Bereich zeigen Schamhauptener Kieselplattenkalke keine nennenswerte Bioturbation, Grabgänge fehlen. Folglich können wir davon ausgehen, daß kein höheres Lebewesen im Meeresboden lebte. Für eine Konservierung von Weichteilorganismen können mehrere Faktoren eine Rolle gespielt haben. In Frage kommen rasche Sedimentation, Verschüttung, früher  $O_2$ -Abschluß durch Mikrobennatten (Konservierung). Letztendlich kommt dem Sediment beim Vorgang der Fossilisierung, für den das Nichtvorhandensein von  $O_2$  wichtiger ist als das Vorhandensein von  $H_2S$ , selbst ausschlaggebende Bedeutung zu (HECHT 1933:214). Es ist daher schwierig, von Verhältnissen am und im Meeresboden auf solche in der darüberliegenden Wassersäule zu schließen. Häufig anzutreffende Funde von Landpflanzen belegen eine relative Auftauchnähe in der Umrandung des Biotops. In der Wassersäule siedelten überwiegend Knochenfische, Tintenfische, Ammoniten, Crustaceen und Saccocomen. Zu diesen gehören sämtliche tierischen Überreste in Koprolithen und Speiballen,

die gleichermaßen in dem feinlaminieren Sediment erhalten geblieben sind. Einige dieser Organismen waren vermutlich Lebensgrundlage für größere Raubfische und Meeresreptilien. Mit der Zuordnung von Koprolithen und Speiseresten zu der im Profil dokumentierten Tierwelt ist ein Hinweis für den autochthonen Charakter der überwiegend nektonischen und pseudoplanktonischen Fauna erbracht. Der Einfluß von lebenden Riffen auf das Geschehen zeigt sich bislang nur im Vorkommen von Kieselschwammnadeln, Schillanreicherungen und einigen Korallenbruchstücken an der Basis von Bankbildungen. Es ergeben sich aber keine Hinweise auf einen direkten Verzahnungsbereich mit Riffschuttkalken, wie er nach BAUSCH & ZEISS (1966) für sehr riffnahe Ablagerungen im Kelheimer Raum kennzeichnend ist. Als Auslöser für die Verfrachtung von Benthosorganismen aus ihren ursprünglichen Lebensräumen erscheinen Sturmereignisse verantwortlich, die zu einer Unterbrechung der normalen Sedimentation (Lamination) und zur Bildung von Bankbildungen im Plattenkalkprofil führten. Damit verbunden waren offensichtlich kurzzeitigere Phasen, in der sich auch Bodenleben einstellen konnte.

### 1.2 Profile Schernfeld 1a, 1b, 1c (Imberg), Solnhofener Plattenkalke im unteren Tithonium, "Eichstätter Schieferfazies" (siehe PEITZ & PEITZ, in diesem Heft).

Die Profile liegen in einem kleinen, als Bodendenkmal ausgewiesenen Steinbruch auf der Albhochfläche etwa 800 m SE Schernfeld, nur wenige Kilometer entfernt von den klassischen Lokalitäten am Eichstätter Blumenberg. Paläogeographisch gehört der untersuchte Bereich zu einem kleinräumigen flachen Sedimentationsraum von Harthof-Obereichstatt, der im Norden von der Birkhof-Eichstätter Schwelle begrenzt wird. Besonders in den Randgebieten wird das beschriebene Areal von kleinräumigen und lokal eng begrenzten Paläoreliefs am Meeresboden gekennzeichnet. Aus den Profilen Schernfeld 1a bis 1c ergibt sich das umfassendste paläoökologische Säulenprofil, das bislang in der "Eichstätter Schieferfazies" aufgenommen und dokumentiert wurde. Sieben Diplomarbeiten, die unter Leitung vom Prof. Dr. H. Remy in den Jahren 1987-1992 am Institut für Paläontologie der Universität Bonn erstellt wurden, beschreiben größtenteils höhere Abschnitte, aus denen der Fossilinhalt zuvor unbekannt war. Das aus drei Teilen bestehende Gesamtprofil (Abb.8) umfaßt vom Liegenden zum Hangenden:

- Teilprofil Schernfeld 1c : 1,6 m Plattenkalke, PEITZ und STOLZENBURG,
- 3,6 m Krumme Lage: sogenannte "HKL" (Hangende Krumme Lage) und alte lithostratigraphische Grenze Solnhofener/Mörnsheimer Schichten bei von EDLINGER (1964, 1966).
- Teilprofil Schernfeld 1 b : 1,7 m Plattenkalke, GOLASOWSKI und KRÜGER
- 1,15 m mächtige Krumme Lage ohne Gleitfaltenstrukturen
- Teilprofil Schernfeld 1 a : 2,8 m Plattenkalke, GERHARD, MÖRS, WEIERSHÄUSER.

Stratigraphische Stellung: Eine Hauptaufgabe war es, die biostratigraphische Position des Gesamtprofils, das nach von EDLINGER (1964) die Grenze *rueppellianum/moernsheimensis*-Subzone enthalten müßte, zu klären. Im Typusgebiet der Plattenkalke bei Solnhofen und Mörnsheim wird diese Grenze durch vier Ereignisse bestimmt:

- 1) Einsetzen von *Suplanites moernsheimensis* (SCHNEID)
- 2) Vertikale Faziesänderung im Profil von Solnhofener- zu Kieselpaltenkalken
- 3) Lokale Ausbildungen einer HKL (Hangende Krumme Lage) sensu FESEFELDT (1962).
- 4) Lokale hardground-Bildungen (siehe Kap.1.5)

Von EDLINGER (1964) korrelierte die HKL sensu FESEFELDT (1962) aus dem Solnhofener Becken mit der im Imberg-Profil aufgeschlossenen 3,6 m mächtigen Krummen Lage und legte

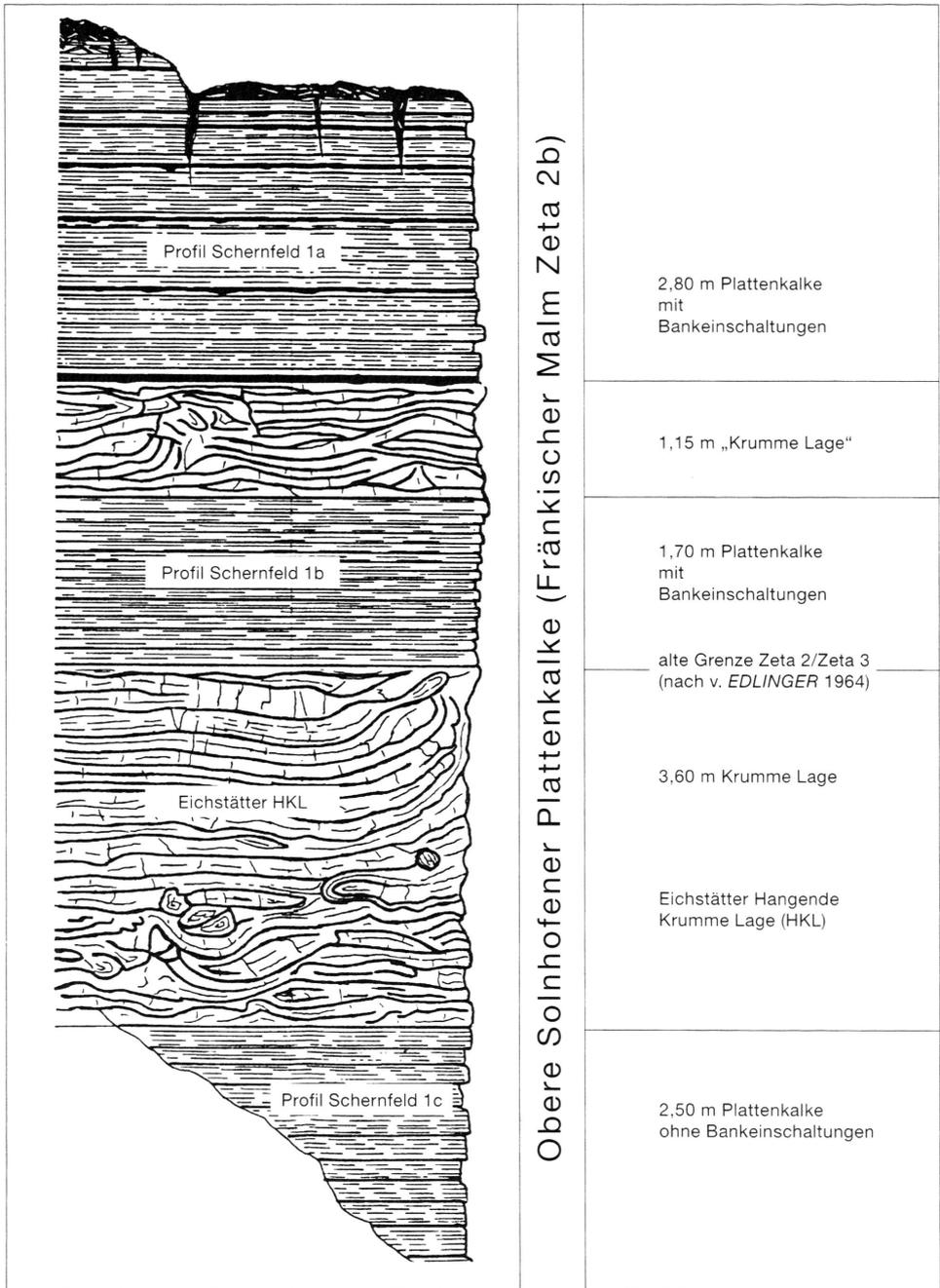


Abb.8: Schematische Darstellung des Gesamtprofils der im Steinbruch Imberg/Schernfeld aufgeschlossenen Oberen Solnhofener Schichten (nach GERHARD 1990)

damit im Schernfelder Raum die Obergrenze der Solnhofener Plattenkalke fest. Grundgedanke dieser, auf ROLL (1933, 1940) zurückgehenden Lithostratigraphie war die Überlegung, die jeweilig mächtigsten Krummen Lagen wären in den benachbarten Becken von Solnhofen und Eichstätt zeitgleiche Bildungen. Im Gegensatz zu dieser Auffassung kommt dem Fazieswechsel, zusammen mit den biostratigraphischen Befunden eine wesentlich größere Bedeutung für die Korrelationen in benachbarten Becken zu (RÖPER 1991). Über der HKL sensu von EDLINGER setzt sich im Profil Schernfeld 1b die Eichstätter Schieferfazies fort. Der von RÖPER (1991) für eine Grenzziehung mitfavorisierte Fazieswechsel bleibt in dieser Position aus. Weder Schernfeld 1a noch 1b lieferte *Subplanites moernsheimensis* (SCHNEID). Nach eigenen Bestimmungen entspricht das Ammonitenspektrum beider Teilprofile weitgehend dem in der gleichnamigen Subzone am Mörsheimer Hummelberg (RÖPER 1990, 1991). Folgerichtig stellen GERHARD & MÖRS (1991) ihr Profil Schernfeld 1c in die gleichnamige Subzone (VIOHL 1992). Erst etwa 6 m über 1a setzen die in Erosionsrelikten nachgewiesenen Kieselplattenkalke ein. Dieser Fazieswechsel markiert bei Schernfeld den Beginn der *moernsheimensis*-Subzone. Die stratigraphischen Ergebnisse haben ergeben:

1. HKL sensu FESEFELDT (1962 bei Solnhofen/Mörsheim) und HKL sensu von EDLINGER (1964 bei Schernfeld/Eichstätt) sind zeitverschiedene Bildungen,
2. der vertikale Fazieswechsel verlief in den Becken von Solnhofen und Eichstätt an der Zeta 2/3-Grenze synchron.

Krumme Lagen sind offensichtlich nur lokale Bildungen, deren Korrelation über einzelne Becken hinweg in Frage gestellt werden muß (STOLZENBURG 1992).

Sedimente: Im Profil befinden sich Solnhofener Plattenkalke, Krumme Lagen und wenige Bankbildungen. Da die Lithologie der feinstkörnigen und detritusarmen Plattenkalke bereits bei HÜCKEL (1974), KEUPP (1977a), BARTHEL (1978) und den Arbeiten der Bonner Gruppen ausführlich dargestellt wurde, ist hier keine weitere Erläuterung notwendig. Im Profil können Flinze, zähe Flinze, Fäulen und zähe Fäulen unterschieden werden. Zähe Flinze und zähe Fäulen besitzen eher unregelmäßige Schichtungsgefüge. Die vertikalen Übergänge Flinze/Fäulen können fließend sein, wobei mit sinkendem Tongehalt zunehmend ein reiner kalkiger Flinz vorliegt. In der Regel bilden mehrere Einzelflinze, die lediglich durch verschiedenartig ausgebildete Schichtflächen getrennt sind, eine Flinzlage. Ein Hauptaugenmerk gilt den Schichtflächen, die Flinze liegend und hangend begrenzen. Schernfeld 1c enthält in seinen Flinzlagen 580 derartige Haupttrennfugen. Entsprechend geringmächtig sind die Einzellagen. Schichtflächen I. Ordnung (Haupttrennfugen) zeigen immer ein Oberflächenrelief und -Struktur, verbunden mit dünnen tonigen Oberflächenhäutchen. In Einzelflinzen befinden sich weitere Schichtflächen, zu denen strukturarme Schichtflächen II. Ordnung ("Klassen" bei MAYR 1967) gehören. Darüberhinaus gibt es latente kaum spaltbare und strukturlose Schichtflächen III. Ordnung. Eine extreme Drängung dieser Flächen kann eine Lamination hervorrufen. Eingeschaltet sind Horizonte, die Parallelen zu Bankbildungen aufweisen. Sie kommen nur in Schernfeld 1b und 1a vor. Während sie von GERHARD & MÖRS (1991) sowie MÖRS (1993) zu den "Wilden Flinzen" von EDLINGERs gestellt wurden, scheint nun eine Abtrennung von Plattenkalkbildungen sinnvoll, da sie an ihrer Basis Ammonitenrollmarken, sowie Strömungskörper (flute casts) mit Gradierungen und aufgearbeitetem, verfestigtem Sediment (Intraklasten) zeigen (GERHARD & MÖRS 1991). Besonders letzte Erscheinung ist für Solnhofener Platten aty-



Abb.9: In Lithoklasten zerbrochene und teilweise abgescherte Sedimentoberfläche in den Oberen Solnhofener Plattenkalken im Profil Imberg/Schernfeld Ib; Original zu GERHARD 1992 und KRÜGER 1992, Institut f. Paläontologie d. Universität Bonn; Größe der Platte etwa 40 x 15 cm



Abb.10: Detailaufnahme aus Abbildung 9

pisch. Von Interesse ist der Top der zweiten Bank im Profil Schernfeld 1b (Lage XXI 1-1/1-2). Über der Bankmitte, die nach den Bearbeitern eine Schrägschichtung in cm-Bereichen aufweisen soll, beschreiben KRÜGER (1992) und GERHARD (1992) eine breite Rinne. Für eine genauere Untersuchung der Sedimentstrukturen wurde die Originalgesteinsplatte (Abb.9,10) von GERHARD (1992) und KRÜGER (1992) aus dem Institut für Paläontologie der Universität Bonn ausgeliehen. Dabei wurden vom Autor folgende Merkmale festgestellt:

- Im ungestört liegenden Bereich ist die Schichtfläche durch eingedrungenes Oberflächenwasser angelöst. Dabei entstanden nadelstichtartige Vertiefungen und vermutlich auch die von KRÜGER beobachtete Polierung einzelner Lithoklasten. Die Erscheinungen sind subrezent.
- Kanten und Querbrüche der Platte zeigen keinerlei Lösungserscheinungen. Demnach ist die Bildung der Sedimentstrukturen primärer Natur.
- Der gestört liegende Bereich liegt etwas tiefer als die Schichtfläche. Der Plattenquerbruch zeigt ein Abscheren der gestört liegenden Zone vom Randbereich. Die zerbrochenen Lithoklasten sind nur auf der Sedimentoberfläche ausgebildet. Ihre Gestalt ist zweidimensional.
- Nach Abscheren sind die Lithoklasten nicht transportiert worden. Sie liegen noch an Ort und Stelle und erscheinen lediglich um einige Millimeter mitgeschleppt. Dadurch sind einzelne Lithoklasten gegeneinander verstellt. Sedimentäre Transporte sind nicht eindeutig nachweisbar. Bei den mosaikhaft angeordneten Lithoklasten handelt es sich um die ehemalige Schichtoberfläche, die bei Sackung in das beschriebene Muster zerbrochen ist. Daher ist ihre Ausbildung auf die Plattenoberseite begrenzt. Das Zerbrechen belegt wahrscheinlich eine frühe Lithifizierung der Sedimentoberfläche. Darunter blieb das Sediment unverfestigt und konnte deshalb möglicherweise durch Porenwasserströmung partiell abwandern. Allerdings bliebe offen, wohin das Material abgewandert sein soll. Aus dem Rahmen fällt die 1,15 m mächtige "Krumme Lage" zwischen Schernfeld 1 b und 1 c. KRÜGER (1992:18-19) gliedert sie in drei Abschnitte:
- 172 mm mächtige Basis mit 12 plattigen Lagen; Schichtmächtigkeiten schwankend; teilweise zerstörte Latentschichtungen,
- mittlerer Hauptbereich, aufgebaut von "Schrägschichtungskörpern" (KRÜGER 1992), deren Größe von unten (200 mm) nach oben (860 mm) zunimmt,
- Top der KL mit einer geringmächtigen latentgeschichteten Lage.

KRÜGER vergleicht den Aufbau des mittleren Bereichs mit Formtypen tafeliger Schrägschichtungslamellen bei HENNINGSSEN (1969). In Schernfeld variiert ihr Neigungswinkel von 14° bis 36°. Die steileren Hänge fallen nach SE ein. Richtungsgleich mit dem Streichen der Lamellen befinden sich auf den Schrägschichtungskörpern Reihen polygoner Hohlraumstrukturen bis zu 200 mm Durchmesser. Sie können Kristalldrusen enthalten und zeigen seitlich fortsetzende Risse. Diese Erscheinungen sind vermutlich auf Entwässerung zurückzuführen und können als Schrumpfrisse gedeutet werden (KRÜGER 1992: Abb.17, 18). Aufgrund der Beschreibung der Schernfelder Krümmen Lagen soll auf die Problematik gleitgefalteter oder gerutschter Schichten eingegangen werden. Unter "Krümmen Lagen" werden heute in aller Regel gerutschte und gleitgefaltete Plattenkalke (KRUMBECK 1928) verstanden. Dabei müssen lokale Rutschungsereignisse wie z.B. in Nusplingen (ALDINGER 1930) von den flächendeckenden Krümmen Lagen im Profil Schernfeld unterschieden werden. Letztere sind horizontbeständig. Sie werden von GERHARD (1992) auf Gleitungen entlang aktiver - sich seitlich verlagernder - Rinnensysteme im Gezeitenbereich zurückgeführt.

Die beschriebene 1,15 m mächtige Krumme Lage beginnt über ihrer ebenflächigen Basis mit schwankenden Schichtmächtigkeiten und einer Auflösung des Laminationsgefüges in den untersten Schichten. Nach von EDLINGER (1964) liegt eine Faziesänderung vor. GERHARD (1992) bringt sie mit Rinnenböden in Verbindung und stützt sich auf REINECK (1978:90, Abb.46), der sich verlagernde Gleithänge ehemaliger Rinnen im Watt der heutigen Nordsee beschreibt. Anschnitte von Prielen zeigen in ihren mittleren Abschnitten longitudinale Schrägschichtung, darunter/darüberliegende Ablagerungen horizontale Schichtung (GERHARD 1992:54, Abb.10; aus REINECK 1978). Eine ähnliche Dreiteilung im Aufbau ist auch im Profil Schernfeld gegeben. Allerdings sind die Korngrößen der Rutschungslamellen einheitlich, Schill oder sonstige Fossilreste fehlen ebenso wie ausgeprägte Intraklasten oder Schlickgerölle an der Basis. Sedimentäre Transporte sind noch nicht sicher nachweisbar, aber auch nicht eindeutig widerlegbar. Als mögliche Erklärung wäre auch eine Ausbildung richtungsorientierter fucoidartiger Rutschungslamellen in einer zuvor homogen ausgebildeten Bank diskutierbar. Solange keine weiteren Untersuchungen vorliegen, bleiben verschiedene Bildungursachen in der Diskussion.

Bei Zusammenfassung des derzeitigen Kenntnisstandes über die Schernfelder Krummen Lagen muß leider gesagt werden, daß alle bisherigen Erklärungsmodelle zur Genese flächendeckender Krummer Lagen Fragen offenlassen. Als gesicherte Teilergebnisse können wir annehmen:

- den autochthonen bzw. parautochthonen Ursprung aufgrund der geringen Transportwege von Rutschungen und Sackungen (nur 8-10 m nach KRUMBECK 1928),
- das Ansteigen des Energieniveaus mit Einsetzen der Krummen Lagen und damit ein vorübergehender Fazieswechsel im Ablagerungsmilieu der Plattenkalke. Tidale Bildungen können bei den bislang vorliegenden Ergebnissen nicht ausgeschlossen werden.

Aufgrund der Beschreibung muß das Gesamtprofil in zwei Abschnitte untergliedert werden:

- a) unterer Abschnitt im Liegenden der alten HKL, das klassische Vorkommen der Eichstätter Schieferfazies im "Malm Zeta 2b"; ohne Einschaltung geringmächtiger Krummer Lagen und Bänke (Teilprofil 1c),
- b) Plattenkalke im Hangenden der alten HKL: ehemalige Mörsheimer Grundschieferserie, mit Einschaltung geringmächtiger Krummer Lagen und Bankbildungen (Profil 1a und 1 b).

Das Profil zeigt eine markante Entwicklung. Im Liegenden der HKL überwiegt ruhige Sedimentation. Nach BAUSCH, VIOHL et al. (1994) können Schichtabschnitte wie der "Obere Hartkleeber" über Distanzen von mehreren Kilometer verfolgt werden. Darüber folgen Schichten mit Zunahme von Störungen im Schichtlagerungsgefüge. Es schalten sich gehäuft Bankbildungen ein, die auf stärkere Sturmereignisse zurückgeführt werden können. Nach von EDLINGER würde der obere Abschnitt bis zur Zeta 2/3-Grenze sieben Krumme Lagen enthalten.

Fauna und Flora: Die Fossilliste gibt die Funde im Gesamtprofil Schernfeld 1/Imberg an. Die Zahlen in eckigen Klammern bezeichnen die Teilabschnitte:

[1]: Profil Schernfeld 1a, nach GERHARD & MÖRS (1991)

[2]: Profil Schernfeld 1b, nach KRÜGER (1992)

[3]: Profil Schernfeld 1c, nach STOLZENBURG (1992) und PEITZ (1992), siehe Abb.11

Plantae

Cyanophyceae: kugelige Hohlräume als Bildung coccaler Blaugrünalgen [1,2,3]

Phytoflagellatae: Coccolithophorida [1,2,3]

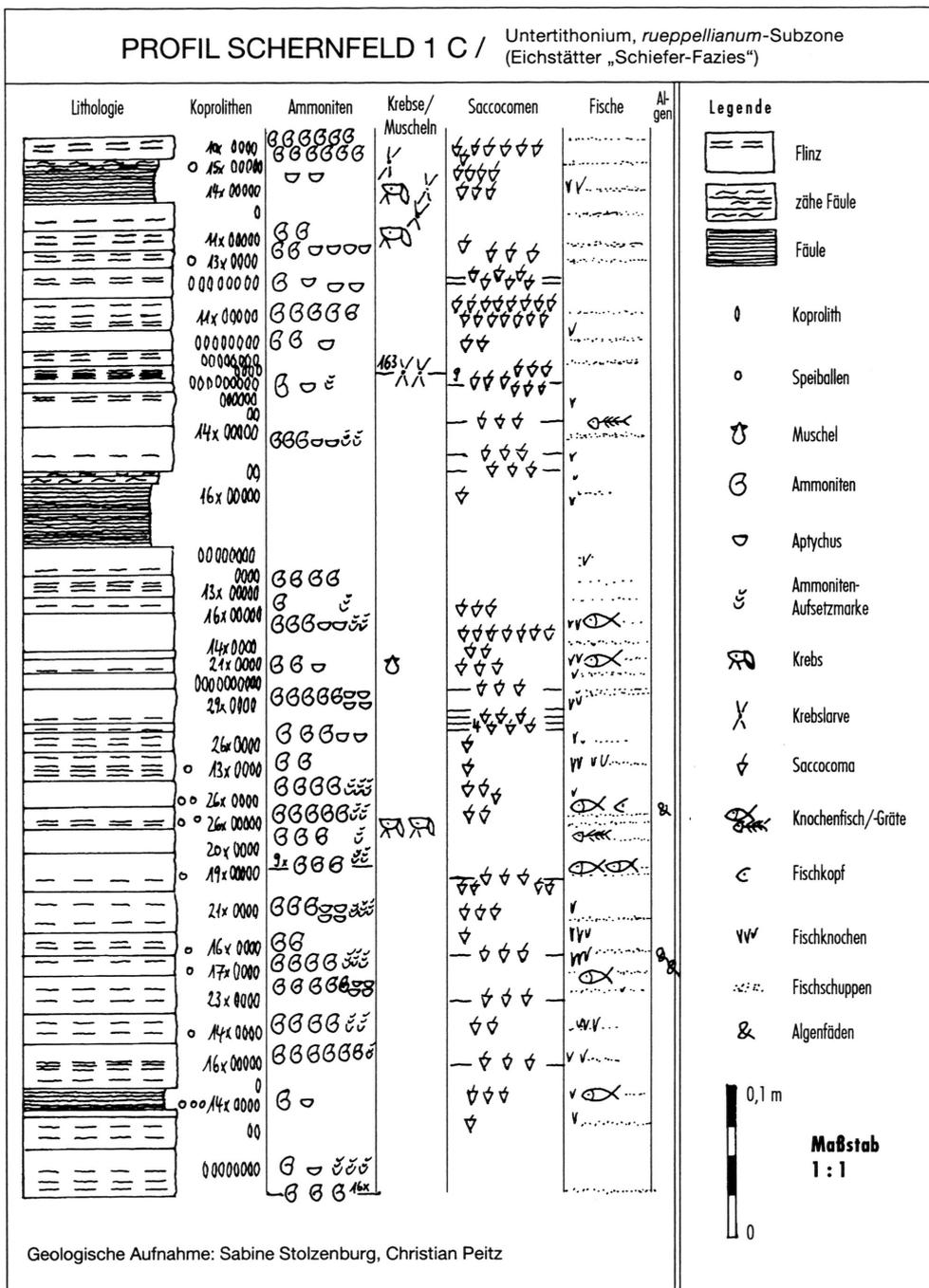


Abb.11: Ausschnitt aus dem paläoökologischen Säulenprofil Imberg/Schernfeld Ic

Phaeophyta: *Phyllothallus* sp. [2]

Coniferopsida: *Brachyphyllum* sp. [1,2]

Algae?: weiße fadenförmige, geknäuelte Gebilde [1,2,3]

Animalia

Protozoa: Foraminifera [1]

Gastropoda: *Rissoa* sp. [1]

Bivalvia: *Liostrea* cf. *rugosa* (MÜNSTER) [1,2,3]

Ammonitina: *Glochiceras* (*Linguliceras*) *solenoides* (QUENSTEDT) [1,2,3], *Neochetoceras steraspis* (OPPEL) [1,2,3], *Lithacoceras* (*Subplanites*) sp. [2,3], "grobrippige Perisphinctiden" [1,2,3], *Sutneria* sp. [1], *Aspidoceras* sp. [1,2]

Aptychen: *Lamellaptychus* [1,2,3], *Laevaptychus* [1,2,3]

Vampyromorpha: *Plesioteuthis prisca* (RUEPPEL) [1,2,3], *Acanthoteuthis* sp. [1], *Muensterella conica* WAGNER [1], *Hibolithes* sp. [1]

Ostracoda (Muschelkrebse): unbestimmte Taxa

Mysidacea (Glaskrebse): *Elder ungulatus* MÜNSTER [1,2,3], *Francocaris grimmi* BROILI [1,2,3]

Natantia (Schwimmkrebse): *Antrimpos speciosus* (MÜNSTER) [1,2,3], *Antrimpos* sp. [2], *Hefriga serrata* (MÜNSTER) [1,2,3], *Hefriga* sp. [2], *Aeger* sp. [3]

Reptantia (Panzerkrebse): *Eryma modestiformis* (SCHLOTHEIM) [1,2,3], *Mecochirus* cf. *tenuimanus* MÜNSTER [1], *Mecochirus longimanatus* (MÜNSTER) [2,3], *Glyphaea* sp. [2], *Magila latimana* (MÜNSTER) [3], *Knebelia schuberti* (MEYER) [2], *Palinurina longipes* MÜNSTER [1,2,3]

Crustaceenlarven: *Anthonema problematicum* WALTHER [1,2,3], *Phyllosoma* sp. [1,2,3]

Insecta: eine unbestimmte Libelle [3]

Crinoidea: *Saccocoma pectinata* GOLDFUSS [1,2,3]

Pisces: *Caturus* cf. *furcatus* [1], *Leptolepides sprattiformis* (BLAINVILLE) [1,2,3], *Tharsis dubius* (BLAINVILLE) [1,2,3], *Thrissops* sp. [1,2,3], *Ascalabos voithi* MÜNSTER [1],

Ganoidschuppen, Teleosteerschuppen

Koprolithen: gestreckte Fischkoprolithen [1,2,3], *Lumbricaria* [1,2,3]

Ichnofauna: fehlend

Häufigkeit und Verteilung der Fossilien: Die Profile sind pflanzenarm. Nur Fäden von Braunalgen wurden hin und wieder angetroffen. Reste einer terrestrischen Flora zeigten sich lediglich mit wenigen Nadelhölzern von *Brachyphyllum* in 1a und 1b. Die ausschließlich marine Fauna wird von Ammoniten, Krebsen, Krebslarven, Saccocomen und Knochenfischen beherrscht. In diesem Zusammenhang weisen die Bearbeiter auf den hohen Anteil juveniler Organismen bei allen Tiergruppen hin. Dieser Umstand hat KRÜGER (1992) veranlaßt, von einer Schernfelder Kinderstubenfauna zu sprechen. In 1a haben 167 von 257 Ammoniten nicht mehr als 15 mm Durchmesser (GERHARD & MÖRS 1991). Es sind Glochiceraten, die in 1b alleine 427 von 450 Ammoniten stellen. 1c zeigt *Glochiceras*-Horizonte, auf denen bis zu 10 Exemplare/m<sup>2</sup> liegen. Bei Crustaceen liegt das Verhältnis von Schwimm- zu Panzerkrebsen 3:1 (1c) bzw. 2:1 (1a und 1b). Mit Ausnahme einiger *Mecochirus* sind sämtliche Exemplare juvenil. Hervorzuheben sind *Francocaris grimmi* und *Elder ungulatus*, die im gesamten Profil nachgewiesen wurden. Früher hat KUHN (1961) Glaskrebse zu den Raritäten gezählt. Zumin-

dest für Schernfeld scheint die Ansicht nun widerlegt. Besondere Bedeutung kommt den Crustaceenlarven zu, da sie einen wesentlichen Anteil am Crustaceenspektrum besitzen. Da bei allen Exemplaren die Kopfschilder fehlen, handelt es sich wahrscheinlich um Exuvien. Eine weitere und für Schernfeld sehr typische Krebslarvenform ist *Anthonema problematicum*. Sie wurde in 1a bis 1c auf insgesamt 10 Horizonten mit besonderen Anreicherungen nachgewiesen. KRÜGER (1992:58) beschreibt Massenvorkommen bis zu 3200 Exemplaren/m<sup>2</sup>, die in leicht konzentrischen Kreisen angeordnet sind.

Häufigstes Fossil ist *Saccocoma pectinata*. Das Datenmaterial zur Verbreitung und Erhaltung dieser kleinen Seelilie ist derartig umfangreich, daß nur wenige Aspekte dargestellt werden können. Sie ist die einzige Tierart, die auf vielen Schichtflächen angereichert ist. 300 Horizonte zeigten über 50 Exemplare/m<sup>2</sup>, bis zu 2600 Exemplare/m<sup>2</sup>. Zur übrigen Invertebratenfauna gehören wenige Austern, Insekten, Tintenfischschulpe und Belemnitenrostren. Die Wirbeltierfauna beschränkt sich im wesentlichen auf kleine Knochenfische wie *Leptolepides*, *Tharsis* und *Thrissops*. Bemerkenswert erscheint die Tatsache, daß isolierte Fischschuppen und -knochen wesentlich häufiger sind als die Fische selbst. In Ausnahmefällen sind einzelne Arten in sogenannten "Fischflinzen" angereichert. Untersuchungen über die Koprolithenzusammensetzung von GERHARD (1990) und PEITZ (1992) haben eine deutliche Dominanz von gestreckten Koprolithen, die von Fischen ausgestoßen wurden, ergeben. Wie Fischkoprolithen können geknäuelte und gewundene Lumbricarien auf einzelnen Schichtflächen gehäuft liegen. Es sind Kotschnüre, die nach GERHARD (1990) vorzugsweise aus *Saccocoma*-Resten bestehen. Die im Profil vorkommenden Fraßreste setzen sich aus Fischresten zusammen. Eine Ausnahme bilden Fraßreste im Profil Schernfeld 1b, die ausschließlich aus kleinen Lamellaptychen sind. Koprolithen und Fraßreste stellen Nachweise für eine Besiedlung der Wassersäule mit einer nektonischen Fauna dar. Allein das Profil Schernfeld 1c hat auf 1,6 m Sedimentsäule nach PEITZ (1992) 4228 Koprolithen freigegeben. KRÜGER (1992) beschreibt aus Schernfeld 1b sogar eine Schichtfläche, auf der bis zu 600 Koprolithen/m<sup>2</sup> gezählt wurden.

Ganz anders als in den Schamhauptener Ablagerungen, in denen es sehr schwer ist, einzelne Schichtflächen zu verfolgen, ließen sich in Schernfeld sehr genaue Schicht-für-Schicht-Analysen durchführen. Folgende Fossilhorizonte wurden nachgewiesen:

- *Glochiceras* (bis zu 10 Exemplaren/m<sup>2</sup>)      - Schnecken (*Rissoa*), 1 Horizont
- *Anthonema*-Larven                                      - kleine Knochenfische
- *Anthonema*-Larven und *Saccocoma*              - Koprolithen
- *Saccocoma*    - Fischschuppenhorizonte

Erhaltung und Einbettung der Fossilien: Die Taphonomie ist ein Untersuchungsbereich, der im Rahmen der Übersicht nur am Rande abgehandelt werden kann. Daher wird für ein detailliertes Studium der Ergebnisse auf die jeweiligen Arbeiten der Bonner Gruppen verwiesen. Es bleiben einige interessante Aspekte, wie sie durch die Profilaufnahmen bei Schernfeld offenkundig geworden sind. Die Mehrzahl der Fossilien und Fossilhorizonte liegen auf Schichtflächen I.Ordnung. Am Beispiel der sehr häufig vorkommenden Seelilie *Saccocoma pectinata* lassen sich einige Einbettungsbefunde knapp wiedergeben: Einbettung liegend (Plattenoberseite) oder hangend (Plattenunterseite); Orientierung der Exemplare dorsal oder ventral; Exemplare mit oder ohne Arme; Armenden ausgestreckt oder eingerollt; Kelche erhalten oder durch grobspätigen Calcit ersetzt. Bei Einregelungen von *Saccocomen*, also seltenen Ausnahmeer-

scheinungen, konnte keine vorherrschende Strömungsrichtung festgestellt werden.

Im Gesamtprofil liegen Fossilanreicherungen ausschließlich auf Schichtflächen, in Flinzlagen etwas häufiger als in Fäulen. Folglich entstanden sie während Sedimentationspausen. Demnach steht weder ihr Leben im Biotop noch ihre Sterbeursache in einem direkten Zusammenhang mit der Sedimentation selbst. Daß diese Aussage richtig ist, wird insbesondere durch eine Gesamtbetrachtung des Profils deutlich. Hier fallen die Änderungen der Fossilhäufigkeit nicht mit den lithologischen Grenzen der Profilabschnitte zusammen. Schernfeld wird im weiteren Sinne der "Eichstätter Schieferfazies" zugerechnet. Fischfossilien haben in der Schieferfazies eine bessere Weichteilerhaltung als im Solnhofener Becken (KEUPP 1977a). Nun besitzt die Regel von der Eichstätter "Weichteilerhaltung" und Solnhofener "Grätenerhaltung" keine Allgemeingültigkeit. Schernfeld lieferte beide Erhaltungszustände. In 1b lagen von insgesamt 29 Knochenfischen 17 Exemplare in Haut- und 12 in Grätenerhaltung vor. Damit ist nachgewiesen, daß die für Solnhofener Reviere typische "Grätenerhaltung" auch bei Schernfeld vorkommt.

Aussagen zum Biotop: Schernfeld 1 zeigt makroskopisch keine Bioturbation, Grabgänge fehlen. Weiteres augenscheinliches Merkmal ist das sterile Sediment, das aus feinstkörnigen Kalkschlämmen von nahezu einheitlichen Korngrößen hervorgegangen ist. Hier zeigt sich im Vergleich mit den Schamhauptener Kieselplattenkalken keinerlei Riffbeeinflussung. Verkieselungen und Korngrößenwechsel mit feinverteiltem Riffdetritus fehlen. Bezeichnenderweise gibt es keine Benthosorganismen (Brachiopoden, Muscheln, Schnecken, Seeigel), die aus Randbiotopen stammen können. Die einzigen vermutlich autochthonen Benthosorganismen, die in 1c nachgewiesen wurden, gehören zu Rissoen, die nach BARTHEL (1978) eher Bewohner von Strandzonen der Meere darstellen. Selbst in Bänken, die sich erst oberhalb der HKL einschalten, fehlen Makrobenthosorganismen. Mit einigen Ausnahmen enthält das ökologische Spektrum von Schernfeld ausschließlich autochthone Bewohner des Biotops. Wie in Schamhaupten bestehen wechselseitige Beziehungen zwischen mariner Fauna und Koprolithenspektrum. Organismen, deren Überreste darin enthalten sind, haben in der Wassersäule des Biotops gelebt. Hierzu gehören Glochiceraten, Saccocomen und kleine Knochenfische. Viele Krebslarven und Häutungshemden juveniler Crustaceen können mit einer autochthonen Krebsfauna in Verbindung gebracht werden. Die zarten Gebilde würden nach MALZ (1970) keinen längeren Transport aus ablagerungsfremden Biotopen überstehen. Vermutlich bevorzugten Larven und juvenile Krebse während ihrer Entwicklung küstennahe Flachwasserzonen. Erst die adulten Exemplare wanderten in tieferes Wasser ab, was die Seltenheit ihrer Funde erklärt (KRÜGER 1992).

### 1.3 Profil Schernfeld 2 (Niefnecker), Vergleichsprofil zu Schernfeld 1

Es liegt etwa 100 m SE der Schernfelder Sportplatzanlage. Aufgeschlossen sind wieder klassische Vorkommen im Malm Zeta 2b im Liegenden der HKL sensu von EDLINGER (1964). Die Profilaufnahme wurde von PEITZ (1992) und STOLZENBURG (1992) durchgeführt. Da eine weitgehende Übereinstimmung der Lithologie und Fossilzusammensetzung mit Schernfeld 1c vorliegt, scheint eine gesonderte Beschreibung des Vergleichsprofils nicht notwendig. Es wird daher auf die Originalarbeiten verwiesen. Dennoch sollen einige Fragestellungen angeschnitten werden, die sich aus dem Vergleich synchron abgelagerter Plattenkalke ergeben. Ein altes Verfahren der von FREYBERG-Schule in Erlangen übertrug die im unteren und mittleren

Oberjura erfolgreiche Bank-für-Bank-Korrelation auf Plattenkalkprofile. Im Ergebnis entstanden Gliederungen von Kalkbänken (Flinzlagen) und zwischengeschalteten Mergellagen (Fäulen). Nach STOLZENBURG (1992) stellt sich dieser Wechsel bei Schernfeld alle 0,1 m bis 0,15 m ein, ohne daß sich dabei eine klar erkennbare Rhythmik nachvollziehen läßt. Der bei FESEFELDT (1962) dargestellte laterale Übergang von Flinz- zu einer Fäulelage konnte nicht nachgewiesen werden. In Flinzlagen gelingen Parallelisierungen über die Haupttrennfugen mit einem Oberflächenrelief und einem dünnen Tonhäutchen (Schichtflächen I.Ordnung). Auf dieser Grundlage können einzelne Plattenkalksequenzen über weitere Strecken wiedererkannt werden (BAUSCH, VIOHL et al. 1994). Jedoch läßt die Feinstkorrelation noch kleinere Fragen offen.

- Gibt es nachweisbare laterale lithologische Änderungen in Einzelschichten?
- Bestehen laterale Änderungen in den Ausbildungen einer Schichtfläche?
- Zeigen direkt benachbarte Profile Unterschiede in der Fossilführung?

Lithologischer Vergleich von Schernfeld 1c und 2: Ähnlich wie in 1a und 1b befinden sich in 1c und 2 in unregelmäßigen Abständen vorkommende Wechsel von sehr ruhigen und unruhigen Sedimentationsphasen. Diese zeichnen sich durch Mächtigkeitsschwankungen schon auf wenigen Metern Distanz aus. Abgesehen von Mächtigkeitsunterschieden ist die Lithologie der beider Profile fast gleich. Die Basis der HKL (sensu von EDLINGER 1964) liegt in Schernfeld 2 etwa 7 cm tiefer. Verglichen mit der Eindringtiefe eines einzelnen Belemnitenrostrums greift die Krumme Lage über die Distanz von 240 m nur unwesentlich in liegende Schichtstapel ein (Abb.12). Ihre Unterfläche zeigt eine schwach ausgeprägte Diskordanz. Unterhalb der Auflagerungsfläche können Schichtflächen korreliert werden (Abb.12). Hilfreich sind Fossilhorizonte mit *Saccocomen*, *Anthonema* und Ammoniten, die synchron vorkommen. Schernfeld 1 und 2 zeigen nach PEITZ (1992) und STOLZENBURG (1992) laterale Übergänge:

Schernfeld 1 (Imberg)	Schernfeld 2 (Niefnecker)
zäher Flinz	mehrere Blätterflinze
zähe Fäule	zäher Flinz
zäher Flinz	zähe Fäule
Fäule	zäher Flinz
zähe Fäule	Fäule
fehlend	zäher Flinz
zähe Fäule	fehlend
fehlend	Blätterflinze

Nachweisbar sind Übergänge von zähen Flinzten und zähen Fäulen. Folglich hatten die Schichten unterschiedliche Zusammensetzungen, je nachdem wie die lokale Tonzufuhr war. Lediglich Einzellagen, die jeweils nur in einem der Profile vorhanden sind, stellen Ausnahmen dar. Beispielsweise enthält die 2. Fäule unterhalb der HKL im Steinbruch Niefenecker Blätterflinze, welche in Imberg fehlen (Abb.12).

Viele Schichtflächen I.Ordnung halten in gleichartiger Oberflächenausbildung über die Distanz von 240 m durch (Abb.12, geschlossene Linien). Gelegentlich verschieden sind Anzahl und Position von Schichtflächen II.Ordnung (Abb.12), gestrichelte und gepunktete Linien. Ähnliches gilt gehäuft für nicht spaltbare latente Schichtflächen III.Ordnung innerhalb von Einzelflinzen. PEITZ (1992) beschreibt über die erwähnte Distanz den lateralen Übergang von

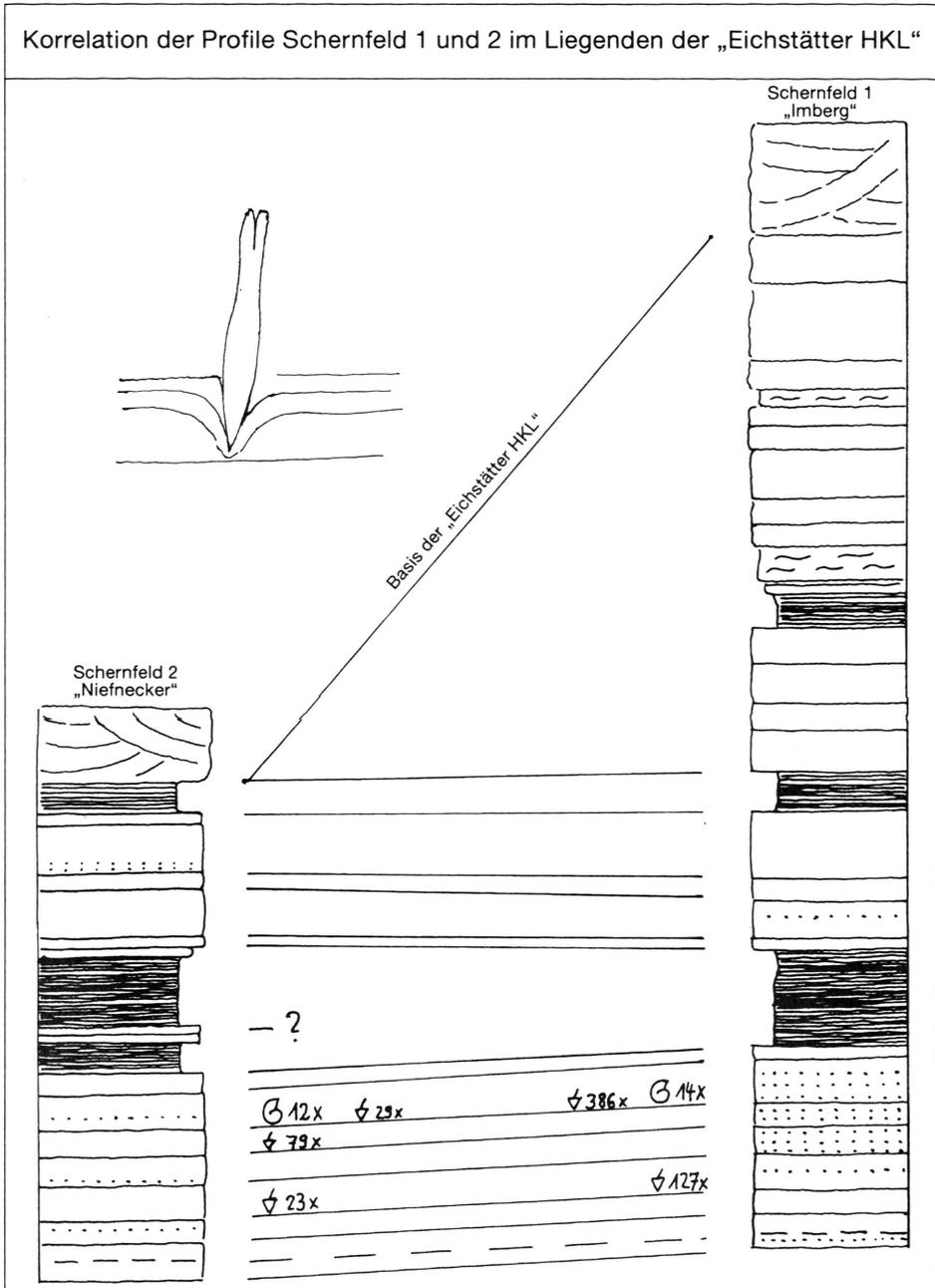


Abb.12: Feinkorrelation der Profile Schernfeld I und II an der Basis der Eichstätter HKL, Darstellung der Profilsäule und des Belemniten im Maßstab 1:1; nach Angaben von GERHARD 1990, PEITZ 1992 und STOLZENBURG 1992

Schichtflächen I. nach II. Ordnung. Nachdem bereits RÖPER (1990) der Nachweis des lateralen Überganges von II. nach III. Ordnung gelungen ist, darf angenommen werden, daß latente nicht spaltbare Flächen in Haupttrennfugen übergehen können. So kann beispielsweise ein einziger Flinz lateral in mehrere Flinze übergehen. Hier liegt vermutlich der Grund, warum nur wenige Schichtflächen korreliert werden können und keine Parallelisierungen über Sedimentationsbecken gelingen. Das Laminationsgefüge III. Ordnung ist insgesamt betrachtet etwas seltener als im nachfolgend beschriebenen Profil Mörsheim 1.

Paläontologischer Vergleich von Schernfeld 1c und 2: Allgemein gilt die Grundregel von sinkender Fossilführung bei unruhigen Sedimentationsphasen. In beiden Profilen wechseln fossilarme und -reiche Abschnitte, unabhängig von der Lithologie ab. Insgesamt überwiegen Gemeinsamkeiten, sowohl in der Faunenzusammensetzung, -verteilung als auch in der Taphonomie. Aber gerade deshalb fallen einige markante Unterschiede ins Auge. So lieferte die Grabung in Schernfeld 2 auf 0,5 m Plattenkalk 3607 Koprolithen, die andere Grabung dagegen auf 1,6 m Sedimentsäule nur 4228. Auch waren Fischknochen, Krebse, kleine Austern und Saccocomen in Schernfeld 2 wesentlich mehr angereichert als in 1c. Interessant erscheint ein Unterschied in der Taphonomie von Saccocomen (STOLZENBURG 1992):

Saccocomen	Schernfeld 1 c	Schernfeld 2
- mit geknäuelten Armen	76 %	48 %
- mit radialgestreckten Armen am Ende eingerollt	14 %	7 %
- ohne Arme, bzw. mazerierte und dislozierte Arme	10 %	45 %

Schernfeld 2 enthält Exemplare, von denen fast 50 % deutliche Zerfallserscheinungen zeigen. Im anderen Profil bilden sie eine vernachlässigende Größe. Offensichtlich gibt es schon auf kleineren Distanzen primär gegebene Unterschiede.

#### 1.4 Profil Mörsheim 1 (Hummelberg): Solnhofener Plattenkalke im unteren Tithonium, "Solnhofener Plattenkalkfazies"

Das Untersuchungsgebiet liegt auf der Albhochfläche zwischen den Gemeinden Solnhofen und Mörsheim (Blatt 7131 Monheim, R 26 320, H 16 460). Paläogeographisch gehört es zum mancherorts etwas tieferen Sedimentationsbecken von Solnhofen/Usseltal. Seine genaue Begrenzung ist für den Zeitabschnitt des Untertithoniums nicht sicher feststellbar, mit Ausnahme von Schwellen im Westen bei Mörsheim und im Süden bei Warching (FESEFELDT 1962). Das lokale Relief im Untergrund wird von der "Solnhofener Wanne" geprägt. Sie enthält die klassische "Plattenkalkfazies", die nach Hinweisen von FREYBERG (1968) an drei Seiten von geringmächtiger "Schieferfazies" auf Schwellenregionen umgeben ist. In diesem Gebiet, das nur unwesentlich entfernt von der Mörsheimer Schwelle liegt, wurde das erste umfassende lithologisch-paläontologische Säulenprofil für die fränkischen Vorkommen erstellt (BARFELD 1988, BRÜLL 1988, PÖSGES 1988, RÖPER 1990). Von den etwa 37 m oberen Solnhofener Plattenkalken liegen die untersten 8-10 m unterhalb der Steinbruchsohle. Von der Profilaufnahme umfaßt wurden die oberen 27-30 m.

Stratigraphie: Bezüglich des Ammonitenspektrums wird auf die ausführliche Darstellung bei



RÖPER (1991) sowie GERHARD & MÖRS (1991) verwiesen. Das untersuchte Profil liegt in der *rueppellianum*-Subzone. Seine Obergrenze reicht bis an die Basis der *moernsheimensis*-Subzone.

Sedimente: Analog zu Schernfeld werden Flinze, zähe Flinze, zähe Fäulen und Fäulen sowie Krumme Lagen unterschieden. Deutlich erkennbare Bankbildungen, flute casts und Ammonitenrollmarken fehlen, jedoch gibt es wiederholt bis zu 0,3 m mächtige Einzelflinze ohne makroskopisch erkennbares Lamitationsgefüge. Sie werden rein deskriptiv mit dem Ausdruck "Bankflinze" umschrieben, ohne dabei auf ihre Genese schließen zu wollen. Ob Bankflinze im genetischen Zusammenhang mit den im Profil Schernfeld 1a und 1b beschriebenen Bankbildungen zu sehen sind, ist derzeit unklar. Tatsache ist, daß sie keinerlei makroskopisch erkennbaren Detritus führen. Auch fehlen Intraklasten. Hervorzuheben ist eine ganze Reihe von Bank- und Dickflinzen, die zerstörte Latentschichtungen enthalten. Andere wiederum zeigen ein sehr ausgeprägtes intaktes Laminationsgefüge, beispielsweise der Gußeiserne (RÖPER 1990). Seine Internschichtung ist nur noch auf polierten Anschnitten senkrecht zur Schichtung erkennbar, wogegen Bruchkanten und Dünnschliffe eine homogene Kalkmatrix zeigen. Aufgrund der Befunde im Profil können drei makroskopisch unterscheidbare Flinztypen gegeneinander abgegrenzt werden.

- Flinze ohne erkennbare Lamination (speziell im unteren Profilabschnitt),
- Flinze mit ausgeprägter Lamination (speziell im mittleren),
- Flinze mit zerstörter Lamination (speziell im oberen).

Wie bereits bei RÖPER (1991) und VIOHL (1992) dargestellt, unterliegt das Profil einer Dreiteilung. Der untere Abschnitt besteht aus einer "Dickflinzfazies" (Abb.13), in der Einzelflinze z.T. erheblichen Mächtigkeitsschwankungen unterliegen. Hervorgerufen durch die geringe Anzahl gut spaltbarer Schichtflächen erscheint der untere Abschnitt fossilarm. Mit Einsetzen des mittleren Abschnitts, dessen Beginn durch das Vorkommen von mächtigen zähen Flinzen ohne erkennbare Fäulelagen gekennzeichnet ist, werden Einzellagen zunehmend geringmächtiger. Bezeichnend für folgende "Dünflinzfazies" sind durchweg gleichmäßige und konstante Lagerungsverhältnisse. Einzelne Horizonte können über den gesamten Aufschlußbereich parallelisiert werden. Verbunden mit der Änderung im lithologischen Geschehen ist eine Drängung von Schichtflächen I.Ordnung (Abb.20). Erwähnenswert ist eine nur wenig breite und 0,5 m hohe Krumme Lage, die im Jahre 1987 in der SW-Ecke des Steinbruchs Hummelberg angeschnitten wurde. Sie liegt in einem ansonsten homogenen Schichtabschnitt. Nur unwesentlich darüber markiert die "Obere Krumme Lage" (RÖPER 1991, MEYER & SCHMIDT-KALER 1994:66, Abb.51) den Abschluß des mittleren Profilverteils. Soweit nach Aussagen von Arbeitern rekonstruiert werden kann, enthält dieser Profilabschnitt fast sämtliche bisherigen Insektenfunde. Beginnend mit dem oberen Abschnitt setzt eine lithologische Umkehr zur "Dickflinzfazies" ein. Unruhige Lagerungsverhältnisse spiegeln sich in erheblichen Mächtigkeitsschwankungen wider. Deutlich erkennbar sind Dick- und Bankflinze mit intern zerstörten Schichtungsgefüge, wie sie in der unteren Dickflinzfazies nicht nachgewiesen werden konnten. Fossilhorizonte sind wieder selten. Den Abschluß des Profils bildet die Solnhofener Hangende Krumme Lage (HKL sensu FESEFELDT 1962), die nur im westlichen Abschnitt des Aufschlusses ausgebildet ist (siehe Kapitel 1.5.). In östlicher Richtung wird sie lateral durch einen ungestört liegenden Plattenkalkstapel ersetzt. Schon aus diesem Grund scheidet ein Abgleiten der Rutschpakete vom östlich gelegenen Beckenrand aus. In diesem Befund ergibt sich eine Übereinstimmung

mit MEYER & SCHMIDT-KALER (1994). Gleichermaßen Übereinstimmung besteht in der Ansicht, daß der untersuchte Bereich nicht, wie von FESEFELDT (1962) irrtümlich angenommen, als "Wannen"- oder Beckenzentrum angesehen werden kann (RÖPER 1992). Aus den Profilschnitten geht eine eindeutige Randlage im Osten der Mörsheimer Schwelle hervor. Nach von FREYBERG (1968) erscheint diese Randposition als langgestreckte Sedimentationswanne im Untergrund, die im Becken NW/SE ausgerichtet ist. In dieser Position kommt es im "Zeta 2b" zu einer klar erkennbaren Wiederholung der "Dickflinzfazies" im Hangenden der "Dünnflinzfazies". Wie die Beschreibung zeigt, gibt es nicht nur Unterschiede zwischen den benachbarten Becken von Eichstätt und Solnhofen. Selbst innerhalb eines einzelnen Beckens ist keine Kontinuität der Fazies gegeben (WALTHER 1904, FESEFELDT 1962, von EDLINGER 1964, 1966; von FREYBERG 1964, 1968; KEUPP 1977a, RÖPER 1992 u.a.). Vielmehr liegen verschieden alte Plattenkalkgenerationen unterschiedlicher Ausprägung im geologischen Profil übereinander. Wie in Schernfeld zeichnet sich der höhere Abschnitt von Mörsheim 1 durch Einschaltung Krummer Lagen und unregelmäßig geschichteter Horizonte aus. Gleichmäßige Lagerungsverhältnisse, wie sie für Schernfeld 1c und die mittlere Dünnflinzfazies gelten, treten sowohl bei Schernfeld als auch bei Mörsheim gegen die Zeta 2/3 Grenze zurück.

Schichtflächen, Vergleich der Becken von Solnhofen und Eichstätt: Im Profil Mörsheim 1 enthält 27 m Solnhofener Plattenkalk in seinen Flinzlagen lediglich 849 Schichtflächen I. Ordnung. Etwa um den Größenfaktor 7 seltener sind derartige Schichtflächen als im Schernfelder Gebiet (vergleiche Abb.8, Darstellung der Sedimentsäule im Maßstab 1:1 und Abb.14, Maßstab 1:10). Schernfeld 1c enthält 560 Schichtflächen I.Ordnung, nur verteilen sich diese auf lediglich 2,8 m Plattenkalk. Folglich besteht der Hauptunterschied zwischen "Schiefer"- und "Plattenkalkfazies" in den verschiedenen Abständen bzw. Intervallen, in denen dieser Schichtflächentyp in Erscheinung tritt. Nur dadurch bedingt erscheinen Einzelflinze bei Mörsheim ungleich mächtiger als bei Schernfeld. Da in beiden untersuchten Becken fast alle Fossilhorizonte mit Organismen der nektonischen und pseudoplanktonischen Lebewelt auf Schichtflächen I.Ordnung liegen, erscheint die "Plattenkalkfazies" gegenüber der "Schieferfazies" etwa 7-fach fossilärmer. Auch ist innerhalb des Profils Mörsheim 1 die "Dickflinz"-erheblich fossilärmer als die "Dünnflinzfazies" (Abb.13, 14). Der allgemein bekannte größere Fossilreichtum von Eichstätt/Schernfeld und die unübersehbare Fossilarmut bei Solnhofen/Mörsheim hängen offensichtlich weniger mit dem Sedimentationsgeschehen an sich zusammen, sondern mit Verhältnissen in der Wassersäule, die sich während der Sedimentationspausen eingestellt haben. Aus diesem Grund wird die im Kapitel 1.2 angerissene Schichtflächenproblematik noch einmal detailliert behandelt, unter Berücksichtigung der Ergebnisse aus dem Profil Mörsheim 1. Hierzu werden die Hauptmerkmale der Schichtflächentypen nach RÖPER (1991, 1992) wiederum zusammengefaßt, einige neuere Vergleiche zu anderen Vorkommen einbezogen:

Schichtflächen I.Ordnung (Haupttrennfugen bei KEUPP 1977a)

Haupttrennfugen im Solnhofener Plattenkalk, immer mit Tonhäutchen und Oberflächenreliefs, teilweise mit Kraterstrukturen ("Synärese" im Sinne von JANICKE 1967, 1969), mit oder ohne Calcitkörner auf der Schichtunterseite, selten mit Polygonstrukturen; Vorkommen von Fossilhorizonten (*Saccocoma*, Ammoniten, Krebslarven, kleine Knochenfische, Koprolithen), häufig Überprägung durch Calcit und daher mangelhafte Fossilerhaltung, schlecht beschaffene



Abb.14: Seelilie (*Pterocoma*, 14 x 13 cm); Malm Zeta 2b, Mörnshheimer Hummelberg; Schichtfläche I. Ordnung, durch Calcitrasen überprägt

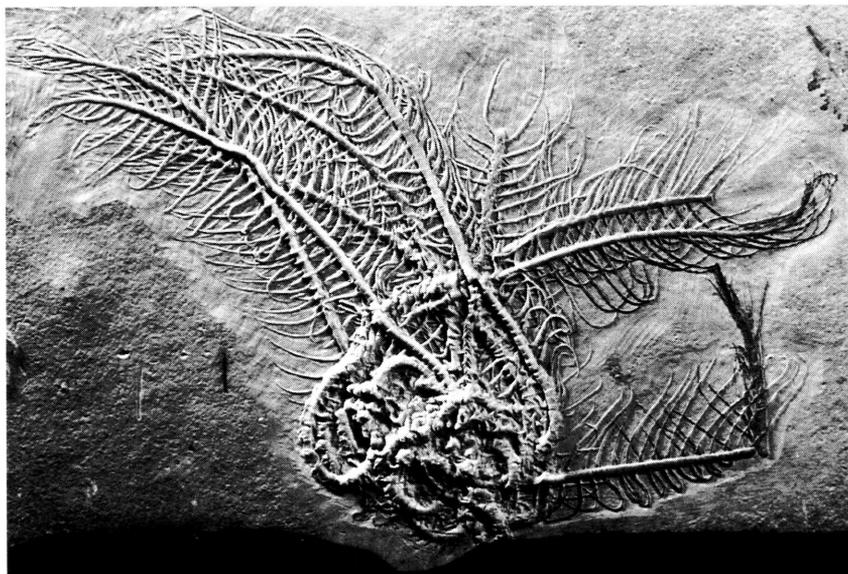


Abb.15: Seelilie (*Pterocoma*, 13 x 8 cm); Malm Zeta 2b, Langenaltheimer Haardt; Schichtfläche II. Ordnung

und häufig zerfallene Insekten und Fische in Grätenerhaltung, Überprägung bzw. Unkenntlichkeit von Spuren und Marken; Fehlen eines klaren Zusammenhangs zwischen Oberflächenstrukturen und Schichtmächtigkeiten, selten mit Strömungsmarken (Langenltheim). Typisches Beispiel: *Pterocoma*, bereits leicht zerfallen (Abb.14).

Schichtflächen II.Ordnung (Nebentrennfugen KEUPP 1977a; Klassen MAYR 1967: 24)

Schwer spaltbare Trennfugen in einem Flinz, immer mit gleichmäßig rauhen bis gekörnelten Schichtflächen ohne nennenswerte Reliefs; Fehlen von Fossilhorizonten, gute Strukturhaltung von Organismen bzw. keine Überprägung durch Calcit (!); nur vollständige und stets gut erhaltene Insekten, offensichtlich fehlendes Tonhäutchen und daher schlecht spaltbar, Spuren und Marken äußerst konturenscharf; fossilarmer Schichtflächentyp, nach eigenen Geländestudien in den Solnhofener Plattenkalken bei Langenltheim, Solnhofen und Eichstätt untergeordnet, im Pfalzpainter Plattenkalk dagegen dominant. Typisches Beispiel: *Pterocoma* in vorzüglicher Erhaltung (Abb.15).

Schichtflächen III.Ordnung (RÖPER 1992: Taf.14)

Latente Laminationsschichtung, spaltet nur in Ausnahmefällen und nach langer Frosteinwirkung, spiegelglatte wie polierte Oberflächen; keine Fossilhorizonte; Einzelfossilien in Ausnahmefällen; keine Insekten.

Die Schichtflächen I.Ordnung enthalten taphonomische Befunde, die sowohl mögliche Belege für Stillwasser (VIOHL 1994) als auch für Wasserrückzug im Auftauchbereich von Gezeitenzonen sind (RÖPER 1992). Würde von einem Wasserrückzug ausgegangen, so hätte sich dieser bei Mörsheim während des "Zeta 2b" nur 850 x eingestellt, in Schernfeld 1a dagegen auf 2,8 m ebenfalls 650 x. Die Diskussion um ein mögliches "Trockenlaufen" in Teilbereichen von Sedimentationsflächen hängt auch damit zusammen, daß bei einer Modellvorstellung der Schichtflächen unter ständiger Wasserbedeckung Widersprüche aufgetaucht sind, die immer noch nicht ganz ausgeräumt werden konnten (RÖPER 1992). Eine beträchtliche Reihe von Schichtflächenausbildungen I.Ordnung enthalten auf der Oberseite der liegenden Gesteinsplatte kleine Krater mit scharfen Rändern, die auf der Oberfläche aufsitzen (Abb.16). Nach JANICKE (1967, 1969) ist ihre Bildung rein subaquatisch. Ebenso plausibel wie die Argumentation von JANICKE (1969) ist die Auffassung bei MAYR (1967) und RÖPER (1992). Beide bringen die Kraterstrukturen mit Einschlägen tropischer Nieselregen in Verbindung. Diese Vorstellung ist keineswegs abwegig, da derartige Strukturen in rezenten Karbonatschlämmen der Auftauchbereiche entstehen können. Nach Mitteilung und bislang unpublizierter Fotodokumentation von Dr. U. Gerhard (Nürnberg) bilden sich derartige Kraterstrukturen rezent im Seychellen-Archipel tatsächlich dann, wenn tropischer Nieselregen auf trockengefallene makrobenthosfreie Karbonatschlämme fällt. Auch liegen in derartigen Bereichen, die ständig durchnäßt bleiben, artikulierte Fischleichen, Landpflanzenreste, Muscheln, Schnecken und Seeigel mit angelegten Stachelkleid. Viele taphonomische Befunde, die aus Plattenkalken bekannt sind, können in rezenten Auftauchbereichen studiert werden (WEIGELT 1934, 1989). Die Diskussion um ein mögliches Trockenfallen hat also ihre Berechtigung. Trotzdem darf ein Gegenargument nicht verschwiegen werden, das sich aus den mittlerweile elfjährigen Profilaufnahmen ergeben hat: es ist bislang keine einzige Schichtfläche I.Ordnung gefunden worden, welche Erscheinungsbilder zeigt, die mit seichten Rinnenstrukturen abfließenden Wassers in Verbindung gebracht werden könnten. Derartige flache Rinnenstrukturen sind aber auf dem von GERHARD 1994



Abb.16: Zehnfache Vergrößerung einer Schichtfläche I. Ordnung, liegende Gesteinsplatte mit aufsitzenden Kraterstrukturen; Malm Zeta 2b, Langenaltheimer Haardt



Abb.17: Schichtfläche I. Ordnung, liegende Gesteinsplatte mit richtungsorientierten Vertiefungen; Malm Zeta 2b, Langenaltheimer Haardt

aufgenommenen Bildmaterial der Seychellen zu erkennen. Tatsache ist aber auch, daß viele Strukturen, die als "Synärese" dargestellt wurden, richtungsorientiert sind (Abb.17). Wie schwierig die Interpretation von taphonomischen Befunden bleibt, beweist nachfolgendes Beispiel (Abb.18,19). Die Platte zeigt ein Stück Treibholz mit einer ausgeprägten Schleifmarke. Sie stammt aus einem Bereich mit Insektenfunden und einer Anreicherung von Saccocomen-Horizonten in der Dünnflinzfazies des Profils Mörsheim 1. Die Schichtoberseite der liegenden Gesteinsplatte zeigt verschiedene Ereignisse, die nacheinander eingetreten sind:

- 1) Es kam zur Unterbrechung der Sedimentation. In einer ersten Phase entstand eine Schichtfläche I.Ordnung mit einem deutlich erkennbaren welligen Oberflächenrelief.
- 2) Über diese Fläche rutschte das Holzfragment und hinterließ eine Schleifmarke. Die Breite der Marke entspricht der Länge des Holzes. Die Ränder der Schleifmarke sind unwesentlich erhaben, die Schleifbahn selbst kaum vertieft. Am Ende der Marke liegt das Holz erhaben auf einem flachen Sockel. Im Bereich der Spur wurde die ursprünglich bereits vorhandene Schichtflächenstruktur zerstört, ohne daß seitlich davon eine Aufwirbelung bzw. ein Wiederabsatz von Sedimentpartikeln erkennbar ist. Die Oberfläche war vermutlich bereits gebunden bzw. lithifiziert. Die Schleifmarke belegt eine kurzzeitige, stärkere Bodenströmung während der Sedimentationspause.
- 3) Nach diesem Ereignis stellten sich Stillwasserbedingungen ein. In der Schleifmarke bildete sich eine andere Schichtflächenstruktur heraus als außerhalb vorher bereits vorhanden war. Die gleichmäßig rauhe strukturarme Fläche innerhalb der Marke zeigt noch Ähnlichkeiten zu Schichtflächen II.Ordnung, nur ist schon ein Relief ausgebildet. Während des fortgesetzten Sedimentationsstillstands sanken einige Saccocomen ab. Auf vorliegender Platte befinden sich 8 Exemplare, durchweg mit einem Kelchdurchmesser von 2 mm. Sie sind sowohl dorsal als auch ventral orientiert. Die Saccocomen liegen nicht nur auf der Schleifmarke, sondern auch auf dem Randbereich und außerhalb davon. Somit sind sie erst nach Entstehung der Marke abgesunken. Später setzte die Sedimentation wieder ein und deckte die Schichtfläche zu. Die Verhältnisse waren während der Unterbrechung der Sedimentation nicht konstant. Bodenströmung und Stillwasser sind gleichermaßen nachgewiesen. Wahrscheinlich konnten sich Stillstände über Wochen hinziehen. Dabei ist nicht gesagt, daß während solcher Zeiten der Wasserspiegel immer konstant gewesen ist. Nachdem widersprüchliche Auffassungen diskutiert wurden, sprechen die Ergebnisse dafür, daß Schichtflächen I.Ordnung (Haupttrennfugen bei KEUPP 1977) länger anhaltende Sedimentationsstillstände repräsentieren (KEUPP 1977a, RÖPER 1991). II.Ordnung markiert nur kurzzeitige Unterbrechungen. Latente Schichtflächen III.Ordnung markieren kaum wahrnehmbare Stillstände, in denen es zu keinerlei Anreicherung der marinen Fauna auf den Schichtflächen gekommen ist. Fossilien, die auf solchen Flächen im Flinz liegen, sind ausnahmslos vollständig und gut erhalten. Wie aus möglichen lateralen Übergängen verschiedener Schichtflächentypen hervorgeht, ist davon auszugehen, daß einzelne Stillstände lokal verschieden lang gewesen sind.

Fauna und Flora: Die Fossilliste enthält sämtliche Funde der Profilaufnahme.

Plantae

Phaeophyta: *Phyllothallus latifrons* ROTHPLETZ; Algenfäden

Coniferopsida: *Palaeocyparis* sp.

Animalia



Abb.18: Treibholz mit Schleifmarke, ca. 60 cm; Malm Zeta 2b, Dünflinzfazies des Mörsheimer Hummelberges; Aufsicht



Abb.19: Gleiches Treibholz wie vorherige Abbildung; Schrägaufnahme

Protozoa: Foraminifera

Bivalvia: *Liostrrea*

Ammonoidea: *Glochiceras (Lingulaticeras) solenoides* (QUENSTEDT), *Glochiceras (Paralingulaticeras) cf. parcevali* (FONTANNES), *Glochiceras (Paralingulaticeras) lithographicum* (OPPEL), *Taramelliceras prolithographicum* FONTANNES *Neochetoceras steraspis* (OPPEL); *Lithacoceras* sp., *Subplanites rueppellianus* (QUENSTEDT), *Sutneria* sp. *Aspidoceeras* sp., *Hybonotella mundulum* (OPPEL), *Hybonotoceras hybonotum* (OPPEL); Aptychen: *Lamellaptychus*, *Granulaptychus*, *Leavaptychus*

Teuthoidea: *Plesioteuthis prisca* (RÜPPEL), *Trachyteuthis hastiformis* RÜPPEL; *Leptoteuthis gigas* MEYER

Ostracoda: verschiedene, unbestimmte Formen

Mysidacea: *Francocaris grimmi* BROILI *Elder ungulatus* (MÜNSTER)

Reptantia: *Mecochirus longimanatus* (SCHLOTHEIM), *Glyphaea* sp. *Palinurina longipes* (MÜNSTER), *Eryma modestiformis* (SCHLOTHEIM), *Eryon arctiformis* (SCHLOTHEIM), *Cycleryon propinquus* (SCHLOTHEIM); *Knebelia schuberti* (H. V. MEYER), *Magila latimana* MÜNSTER

Natantia: *Aeger tipularius* (SCHLOTHEIM), *Hefriga serrata* (MÜNSTER); *Antrimpos speciosus* (MÜNSTER)

Stomatopoda: *Scalda pennata* (GOLDFUSS)

Crustaceenlarven: *Phyllosoma*, Form A, B, C (POLZ)

Thylacocephala: *Clausocaris lithographicum* (OPPENHEIM)

Xiphosura: *Mesolimulus walchi* (DESMAREST)

Insecta: *Stenophlebia* sp., *Pycnophlebia* aff. *robusta* (ZEUNER), *Lithoblatta* sp.

Crinoidea: *Pterocoma pennata* (GOLDFUSS), *Saccocoma pectinata* GOLDFUSS

Holostei: *Gyrodus hexagonus* (BLAINVILLE), *Aspidorhynchus acutirostris* (BLAINVILLE), *Belonostomus* aff. *muensteri* (AGASSIZ)

Teleostei: *Leptolepides sprattiformis* (BLAINVILLE), *Tharsis dubius* (BLAINVILLE), *Thrisops* sp.

Der Steinbruch am Hummelberg befindet sich heute noch im Abbau. Dadurch können Neufunde nachträglich in das vorliegende Profil eingemessen werden. Besonders interessant erscheint dies für seltene Fundstücke wie Reptilien oder Knochenschmelzschupper und Insekten, über deren Verteilung im lithologischen Profil bislang nur wenig bekannt ist.

Häufigkeit und Verteilung der Fossilien: Wie bereits im Kapitel über Schichtflächen beschrieben, unterliegt das Profil einer Dreiteilung.

a) Typische Fossilien aus der fossilarmen unteren "Dickflinzfazies": *Saccocoma pectinata*, juvenile Perisphinctiden, kleine Glochiceraten, *Hybonotella mundulum*, *Mecochirus*, kleine Knochenfische, Fischschuppen-Horizonte, Koprolithen.

Fossilhorizonte (Anzahl): Saccocomen (7), Glochiceraten und isoliert eingebettete Lamellaptychen (1), *Mecochirus* (1), Fischschuppen und -knochen (9), Koprolithen.

b) Typische Organismen der fossilreicheren "Dünflinzfazies": Algenfäden, juvenile Austern, *Saccocoma pectinata*, juvenile Perisphinctiden, Glochiceraten, Lamellaptychen, Glaskrebse, *Mecochirus* Eryoniden, *Palinurina*, *Phyllosoma*-Larven, *Mesolimulus* mit Laufspuren, Kno-

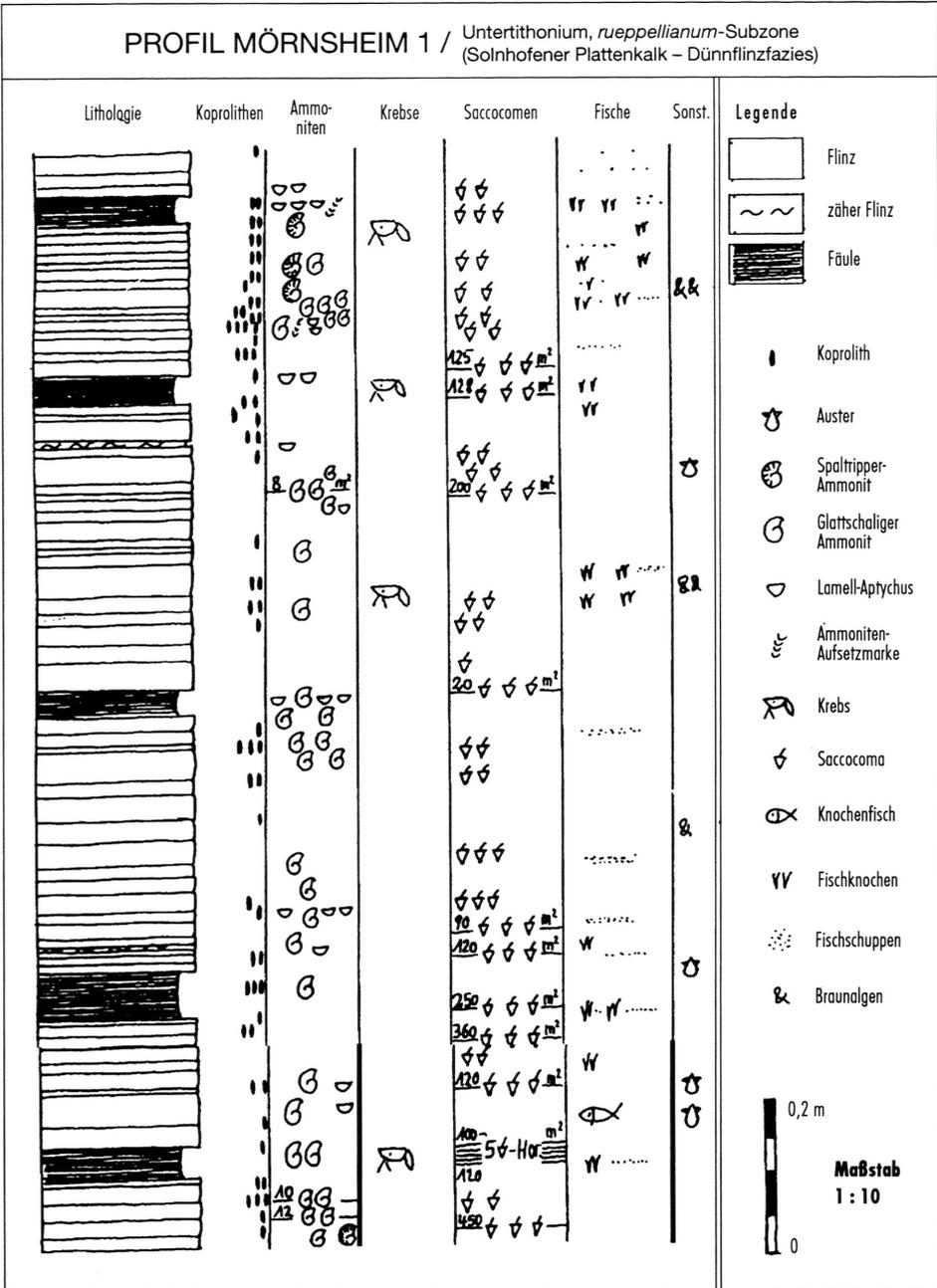


Abb.20: Ausschnitt aus dem paläoökologischen Säulenprofil Mörnsheim 1 am Mörnsheimer Hummelberg; Dünnflinzfazies

chenfische, Koprolithen.

Fossilhorizonte (Anzahl): Saccocomen (48), Saccocomen, Fischknochen und Koprolithen (1), Saccocomen und Koprolithen (2), Aufsetzmarken (1), Perisphinctiden (2), Glochiceraten (2), Glochiceraten und Lamellaptychen (2), kleine Knochenfische (5), Koprolithen (5).

c) Typische Organismen der fossilarmen oberen "Dickflinzfazies": *Saccocoma pectinata*, *Pterocoma pennata*, kleine Glochiceraten, Lamellaptychen, Aufsetzmarken, *Mesolimulus*, gelegentlich größere Knochenschmelzschupper.

Fossilhorizonte: Saccocomen (2), Glochiceraten (2), Fischknochen(2).

Das Profil ist sehr landpflanzenarm, auch Braunalgen sind selten. Analog zu Schernfeld wird die marine Fauna von Saccocomen, Ammoniten mit Lamellaptychen, juvenilen Perisphinctiden, Krebsen, Krebslarven und Knochenfischen beherrscht. Im Gegensatz zur Schernfelder "Kinderstubenfauna" enthält das ökologische Spektrum auch adulte Faunen. Ausgewachsene Crustaceen sind häufiger. Weitere Unterschiede zu Schernfeld sind:

- die durchweg geringe Individuenzahl/m<sup>2</sup> von Saccocomen auf Schichtflächen I.Ordnung
- das Fehlen der für Schernfeld typischen Krebslarven *Anthonema problematicum*
- das Vorkommen des Haarsterns *Pterocoma pennata*, der bis heute im Schernfeld-Eichstätter Bruchrevier nicht nachgewiesen werden konnte (KEUPP 1977a)

Ansonsten besteht weitgehende Übereinstimmung zu Schernfeld, nur sind die Abstände, in denen die häufigen Fossilien im Profil in Erscheinung treten, größer. Mit der inzwischen gesicherten Erkenntnis, daß mit steigender Rangordnung der Schichtfläche vor Ort auch die längste Sedimentationsunterbrechung geherrscht hat, und der Tatsache, daß nach RÖPER (1991) im Profil Mörsheim 1 auf Schichtflächen III.Ordnung keine, auf II.Ordnung nur sehr wenige und auf I.Ordnung fast alle Fossilhorizonte liegen, ergibt sich eine maximale Fossilanreicherung bei länger anhaltenden Sedimentationsstillständen. Statistisch betrachtet besitzt jede 9.Schichtfläche I.Ordnung einen ausgeprägten Fossilhorizont (RÖPER 1991: 12), nur befindet er sich im Profil in unregelmäßigen Abständen, ohne erkennbaren Zusammenhang zum Sedimentationsgeschehen. Fäulen sind weder fossilärmer noch reicher als Flinzlagen. Die allgemein geringe Funddichte drückt sich auch in der kleineren Koprolithenzahl aus. Sie ist wesentlich geringer als bei Schernfeld. Auch dürfte die maximale Zahl an *Saccocoma*-Horizonten im gesamten "Zeta 2b" 100 nicht wesentlich überschreiten, während allein das Schernfelder Imberg-Profil (ein kleines Teilprofil des Zeta 2b im Eichstätter Becken) schon über 300 Saccocomen-Horizonte enthält.

Erhaltung und Einbettung der Fossilien: Mit Ausnahme weniger Beobachtungen bestehen weitgehende Übereinstimmungen zu Schernfeld. Zu den Besonderheiten zählen:

- Saccocomen, die überwiegend auf der Unterseite der hangenden Gesteinsplatte liegen (Liegendplatte mit Abdrücken),
- Grätenfische, die ausnahmslos auf Schichtflächen I.Ordnung lagern; Fische in "Weichteilerhaltung", die auf mergeligen Schichtflächen und auf Schichtflächen II.Ordnung liegen,
- Schichtflächen I.Ordnung mit sehr starker Überprägung, teilweise durch fein verteilten Calcit übersät,
- wiederholt Schleifmarken und Laufspuren.

Die in Kieselplattenkalken bei Schamhaupten typischen Fischerhaltungszustände B, E und F sind offensichtlich sowohl in Schernfeld als auch Mörsheim selten. Bei den Profilaufnahmen

wurden sie nicht nachgewiesen.

Aussagen zum Biotop: In seinem Typusgebiet zeigt der Obere Solnhofener Plattenkalk keine makroskopisch erkennbare Bioturbation; Grabgänge fehlen. Trotz seiner relativen Beckenrandlage ist das Sediment von nahezu einheitlicher Korngröße und äußerst steril. Das Profil enthält nichts, was auf eine Besiedlung der nahen Mörsheimer Schwelle durch Benthosorganismen hindeuten könnte. Einige sehr wenige Brachiopoden, also seltene Ausnahmefunde, stammen durchweg aus der HKL. Auch fehlt jeglicher Hinweis auf eine Riffbeeinflußung. Mit Ausnahme von *Mesolimulus* enthält das ökologische Spektrum nur Organismen, die in der Wassersäule und möglicherweise im Bereich der Schwellenzone gelebt haben. Zumindest kann dadurch das Vorkommen zahlreicher ausgewachsener und bodenlebender Panzerkrebse erklärt werden, da westlich des Profils, unmittelbar im Bereich der Schwellenposition die Haunsfelder Plattenkalke (ZEISS 1964, JANICKE 1967, 1969, RÖPER 1992) zumindest im oberen Abschnitt des "Zeta 2b" eine Grabgang- und Spurenfazies enthalten ist.

### 1.5 Profile Mörsnheim 1,2 und Langenaltheim (Hintere Haardt): Grenze Solnhofener/Kieselplattenkalke im Unteren Tithonium

Auf die Problematik der Grenze *rueppellianum/moernsheimensis*-Subzone wurde schon im Kapitel 1.2 (Profil Schernfeld) eingegangen. Früher bezeichnete ROLL (1933,1940) den markanten Wechsel von lithographischen Solnhofener zu Mörsheimer Plattenkalken als Vorrennertshofener Diskordanz. Tatsächlich sind die Lagerungsverhältnisse an dieser Grenze kompliziert (FESEFELDT 1962). So bildet die FESEFELDTsche HKL den Abschluß des Profils Mörsnheim 1, während sie nur etwa 100 m SE davon im Steinbruch Hummelberg-Reserve bereits vollkommen fehlt. Zwischen beiden Aufschlüssen befinden sich ungestört liegende Plattenkalke. Im Steinbruch Hummelberg-Reserve fehlen über 3 m der höchsten Solnhofener Plattenkalke, an deren Stelle sich eine channle-artige Struktur mit einer basalen, intraklastenführenden Bank zeigt (Abb.21; aus RÖPER 1991). Ihre Oberfläche ist hardground-artig ausgebildet. Anfangs wurde die geologische Situation dadurch erklärt, daß Teile der oberen Solnhofener Plattenkalke durch subaquatische Rutschung in einen tieferen Beckenteil abgeglitten sind (RÖPER 1991, MEYER & SCHMIDT-KALER 1994). Aber schon GERHARD (1992) erhebt erste Zweifel an dieser Deutung und interpretiert die Ausräumung als tidal channel. Für ein abschließendes Urteil über die verschiedenen Erklärungsversuche ist es noch zu früh. Sicher ist aber schon jetzt ein Befund: Lokale Hardgroundbildungen sind an der beschriebenen Grenze kein Einzelfall. So zeigt sich auf der Hinteren Haardt bei Langenaltheim eine weitere Bank, die entsprechend der Situation im Steinbruch Hummelberg-Reserve (= Basis des nachfolgend beschriebenen Profils Mörsnheim 2) sowohl von GERHARD (1992) als auch von RÖPER (1992) als Rinnenboden beschrieben ist.

Auf der Hinteren Haardt bildet - lokal begrenzt - diese etwa 0,4 m mächtige Bank die Basis der Mörsheimer Schichten (Abb.21). Sie besteht überwiegend aus lithographischem Kalk, an der Basis und am Top undeutlich geschichtet. Nur wenige Zentimeter unterhalb der Oberfläche ist der gesamte Aufschlußbereich von Grabgängen durchzogen (Abb.24). Ihr Durchmesser ist mit 6-8 mm gering, und an ihren Innenwänden zeigen sich gerichtete Strukturen (RÖPER 1990, Taf.10). Verfüllt sind die Gänge mit gröberem Material, das reichlich Skelettelemente von Echinodermen führt, vorzugsweise Crinoiden. Die Oberfläche der Bank enthält Crinoidenteile,



Abb.21: Hartgrund an der Grenze Malm Zeta 2b/ Zeta 3 im Bereich der Langenaltheimer Haardt, von Kieselplattenkalken der Mörnshheimer Schichten überlagert

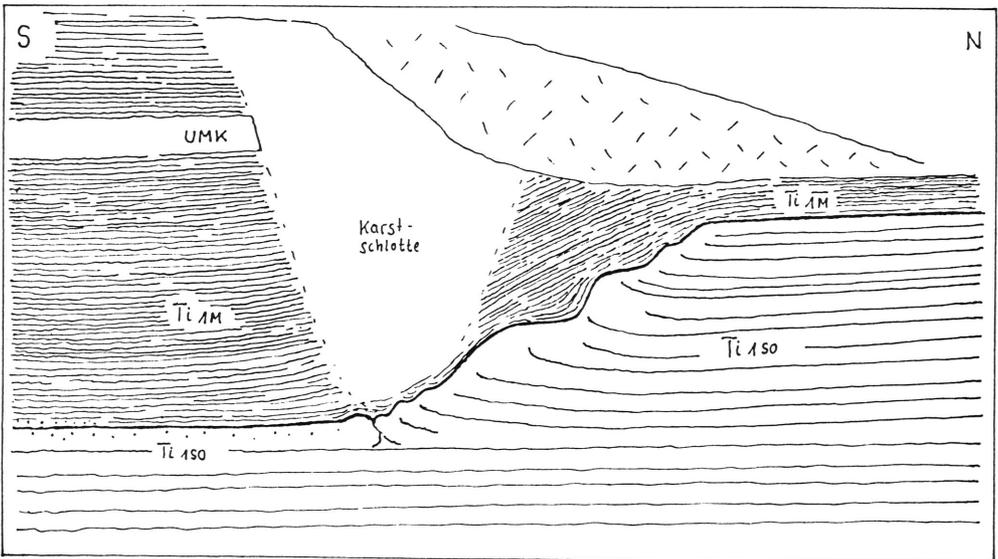


Abb.22: Grenze Malm Zeta 2b (Ti1SO)/ Zeta 3 (Ti1M) im Steinbruch Mörnshheimer Hummelberg-Reserve (aus RÖPER 1991)

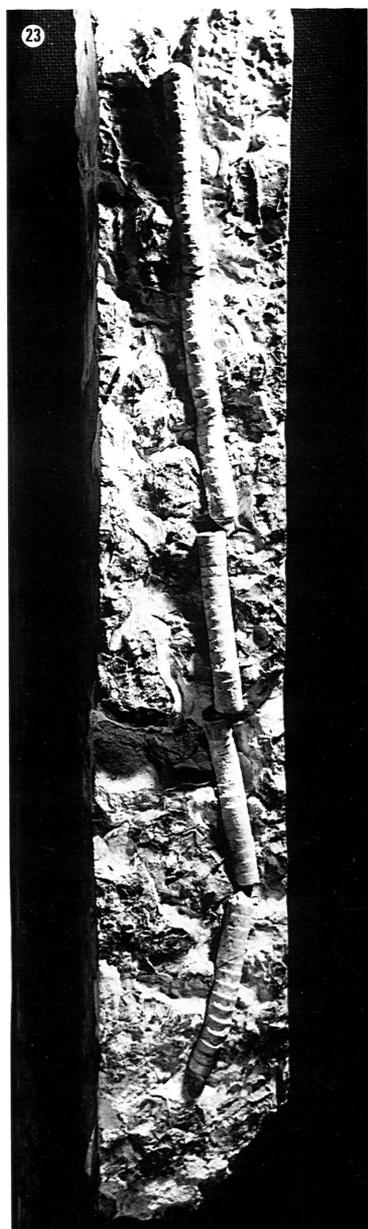


Abb.23 (links): Crinoiden-Stiel *Millericrinus*, Länge 44 cm, auf Hartgrund aufliegend; Grenze Malm Zeta 2b/Zeta 3, Langenaltheimer Haardt (Original im Jura-Museum Eichstätt hinterlegt)

Abb.24 (rechts oben): Querschnitt durch den Hartgrund an der Grenze Zeta 2b/Zeta 3, Langenaltheimer Haardt, mit deutlich erkennbaren Grabgängen; Höhe etwa 10 cm

Abb.25 (rechts unten): Detailfoto aus Abb.26; Muschel *Dimyodon* (1,5 cm)

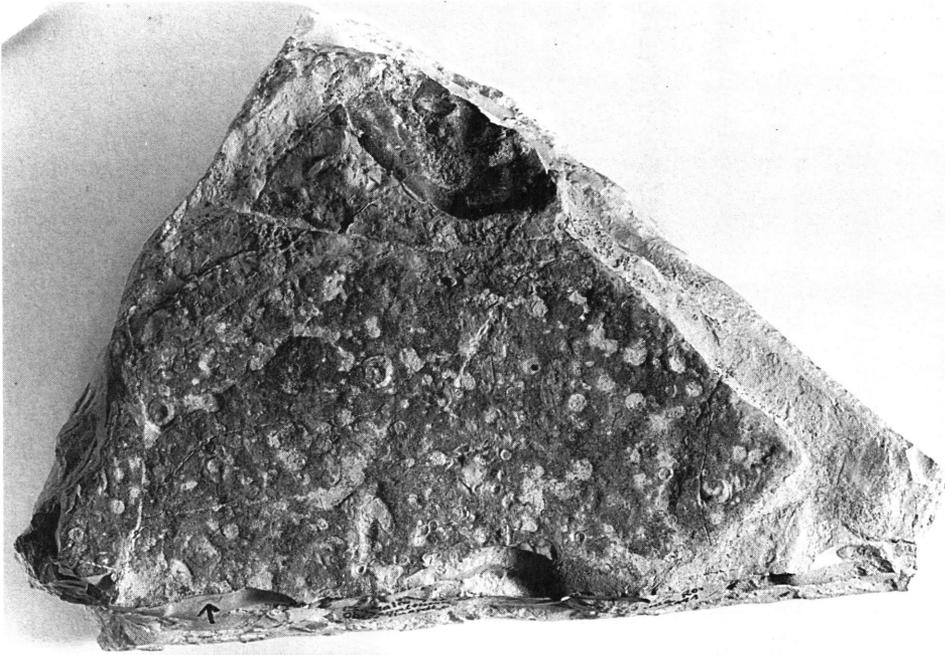


Abb.26: Hartgrund; Aufsicht auf die Oberfläche mit kleinen Muscheln *Dimyodon* (s. Abb.25); Größe der Platte 32 x 20 cm; Grenze Malm Zeta 2b/Zeta 3, Langenaltheimer Haardt

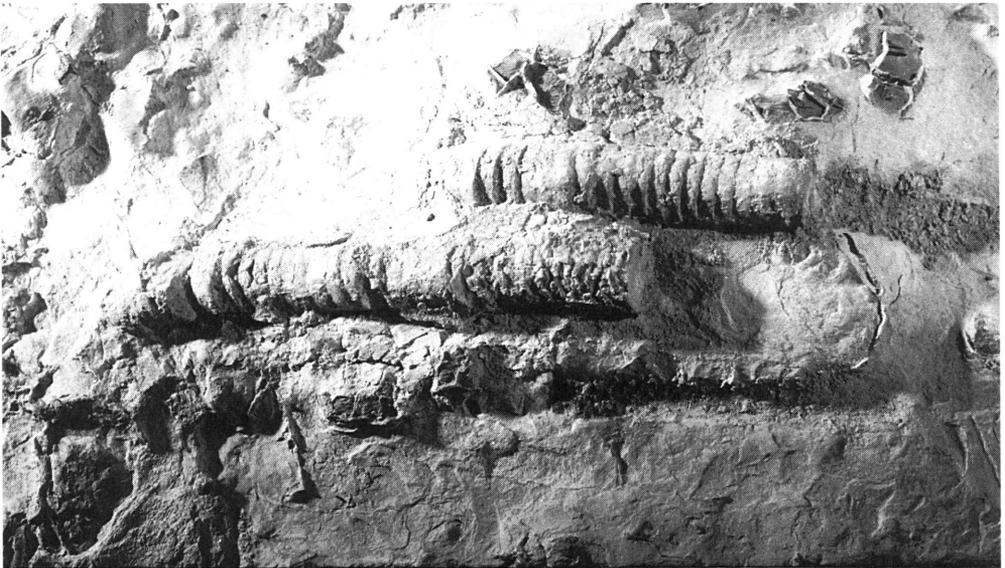


Abb.27: Hartgrund; Aufsicht auf die Oberfläche, mit Crinoiden-Stielen von *Millericrinus*; Grenze Malm Zeta 2b/Zeta 3, Langenaltheimer Haardt

Echinidenreste (RÖPER 1992: 78), sowie Brachiopoden (Rhynchonelliden). Auf dem hardground festgewachsen sind kleine Muscheln (*Dimyodon*, Abb.24,25). Sie zeigen einen längeren Sedimentationsstillstand an. Im Jahre 1994 gelang bei einer Exkursion der VFMG (Stuttgart) Herrn Rolf Stecher (Winnenden) sogar der Nachweis von über 2 m langen Crinoidenstielen (Abb.23,27) sowie Ersthachweise von Wurzelstücken dieser Gattung. Durch diese Funde konnte das bereits bei RÖPER (1992) vermutete autochthone Crinoidenbodenbiotop diskutiert werden. Der Autor vergleicht die Fundsituation auf der Langenaltheimer Haardt mit der von Crinoiden in subtidalen Gezeitenkanälen im Dogger des Hautfrogensteins/Schweizer Jura (MEYER 1989). Ob diese Situation tatsächlich auch für Langenaltheim zutrifft, bedarf einer weiteren Untersuchung. Daher soll an dieser Stelle genügen, auf das Phänomen aufmerksam zu machen. Der weitere Abbau der Plattenkalke durch die Steinindustrie erbrachte 1996 den Nachweis, daß der beschriebene hardground nach Ablagerung Rutschungen unterworfen wurde. Deshalb sind die Crinoiden vermutlich nur parautochthon. Im Liegenden der Bank zeigen die höchsten Solnhofener Plattenkalke eine sehr unregelmäßige Schichtung. Etwa 0,8 m darunter liegen gleitgefaltete Rutschmassen der HKL. Über dem hardground sitzen unvermittelt die fossilreichen Kieselplattenkalke der Mörsheimer Schichten. Folgende Befunde können als Zwischenergebnis festgehalten werden:

1. Der hardground markiert einen Hiatus,
2. Grabgänge, Muschelbewuchs und Brachiopoden belegen Bodenleben. Große Crinoidenstiele mit bis über 2 m Länge deuten auf ein autochthones Biotop in unmittelbarer Umgebung des untersuchten Bereiches hin.

### 1.6 Profil Mörsheim 2 (Hummelberg-Reserve): Kieselplattenkalke im Unteren Tithonium

Das Profil liegt nur etwa 100 m SE des Profils Mörsheim 1 und setzt an der Basis der zuvor beschriebenen channelartigen Struktur ein (Abb.22). Es ist also die unmittelbare Fortsetzung des Profils Mörsheim 1. Korreliert werden beide Profile nicht anhand der Grenze Zeta 2/3, sondern an der ersten mächtigen Bankkalklage (UMK). Sie liegt im Steinbruch Hummelberg-Reserve etwa 4,5 m über der Bank an der Basis der channelartigen Struktur. Weil das Profil Mörsheim 2 bereits bei RÖPER (1991) ausführlich dargestellt ist, genügt hier eine knappe Übersicht. Die Schichtfolge ist heterogen und besteht vom Liegenden zum Hangenden aus folgenden Einheiten:

- 4,5 m homogene Kieselplattenkalke, in 8 Horizonten mit Kieselsäurelaiben,
- 1 m untere Bankkalklage (UMK bei RÖPER 1991),
- 2,4 m wechselhafte Plattenkalke, sowohl Kieselplattenkalke als auch flinzartige (lithographische) Horizonte,
- 0,65-0,7 m mittlere Bankkalklage,
- 2,9 m homogene Kieselplattenkalke,
- 0,3 m obere Bankkalklage - postjurassische Alblehmdecke.

Stratigraphie: Entsprechend den Ergebnissen von SCHMIDT-KALER & ZEISS (1973) sowie RÖPER (1991) liegt das Profil an der Basis der *moersheimensis*-Subzone.

Sedimente: Ähnlich wie in Schamhaupten dominieren Kieselplattenkalke mit eingeschalteten Bankkalken, jedoch sind gradierte Lagen wesentlich seltener und der Verkieselungsgrad der

Schichten erheblich geringer (Abb.28). Die Kieselplattenkalke entsprechen der feinschichtigen Schuttfazies (FESEFELDT 1962) bzw. den Mergeln, Mergelkalken und kieselartigen Mergelkalken bei RÖPER (1991). Davon abzutrennen sind die flinzartigen Plattenkalke (RÖPER 1991) des mittleren Profilabschnitts zwischen UMK und MMK. Sie bestehen vorzugsweise aus feinstkörnigem lithographischem Kalk. Ihre Farbe ist weiß, gelblich oder schmutzig-gelb, und sie haben Ähnlichkeit mit Flinzen der Solnhofener Plattenkalke. Die Bankkalke sind ähnlich ausgebildet wie in Schamhaupten, nur sind sie erheblich mächtiger. Sie enthalten heterogene Fossiltafhozönosen.

Fauna und Flora: Die bei der Profilaufnahme 1986 und Nachuntersuchungen 1987 und 1989 geborgenen Fossilien gehören zu den nachfolgenden Taxa: Erläuterung: [a] - Funde aus Plattenkalken, [b] - Funde aus Bankkalken

Plantae

Phaeophyta: *Phyllohallus*, sowie kleine Algenfäden [a]

Coniferopsida: *Palaeocypris* [a], *Brachyphyllum* [a]

Animalia

Brachiopoda: *Loboidothyris* [b]

Gastropoda: *Nerinea* [b], ? *Spinigera* [b]

Bivalvia: *Liostrea* und *Dimyodon* auf Ammonitenschalen [a,b], *Astarte* [b], *Pholadomya* [b], Pectiniden [b]

Ammonoidea: *Glochiceras (Gl.) politulum* (QUENSTEDT), *Glochiceras (Paralingulaticeras) lithographicum* (OPPEL) [a,b], *Taramelliceras prolithographicum* (FONTANNES) [a,b], *Neochetoceras steraspis* (OPPEL) [a,b], *Lithacoceras* sp. [a,b], *Sutneria* cf. *eugyra* BARTHEL [b], *Subplanites moernsheimensis* (SCHNEID) [a,b], *Subplanites reisi* (SCHNEID) [b], *Aspidoceras* [a,b], *Hybonoticeras hybonotum* (OPPEL) [a]

Aptychen: *Lamellaptychus* [a,b], *Granulaptychus* [a], *Laevaptychus* [a,b]

Nautiloidea: *Pseudonautilus* [b]

Vampyromorpha: *Hibolithes* [a,b], *Leptoteuthis* sp. [a], *Trachyteuthis* sp. [a], *Muensterella conica* (WAGNER) [a]

Mysidacea: *Francocaris grimmi* (BROILI) [b]

Reptantia: *Eryma modestiformis* (SCHLOTHEIM) [a], *Cycleryon* sp. [a], *Knebelia schuberti* (H.von MEYER) [a], *Magila* sp. [b]

Natantia: *Hefriga serrata* (MÜNSTER) [a]

Crustaceenlarven: unbestimmte Formen [a]

Crinoidea: *Saccocoma pectinata* (GOLDFUSS) [a] Echinoidea: Stacheln von *Cidaroida* [b]

Pisces: *Leptolepides* sp. [a], *Tharsis dubius* (BLAINVILLE) [a], *Thrissops* sp. [a], unbekannte kleine Teleosteer [a], *Pholidophorus* sp. [a]

Koprolithen: *Lumbricaria* [a], gestreckte Koprolithen [a], bohnenförmige Koprolithen [a]

Häufigkeit und Verteilung der Fossilien im Plattenkalk: Analog zu Schamhaupten belegt der Fossilbericht vor allem Fischschuppen, Fischreste, Knochenfische, Ammoniten und Koprolithen. Pflanzenreste sind seltener als in Schamhaupten. Bezeichnenderweise enthält auch das Profil Mörnshiem 2 stark verkieselte und bituminöse Horizonte mit einer reichhaltigen marinen

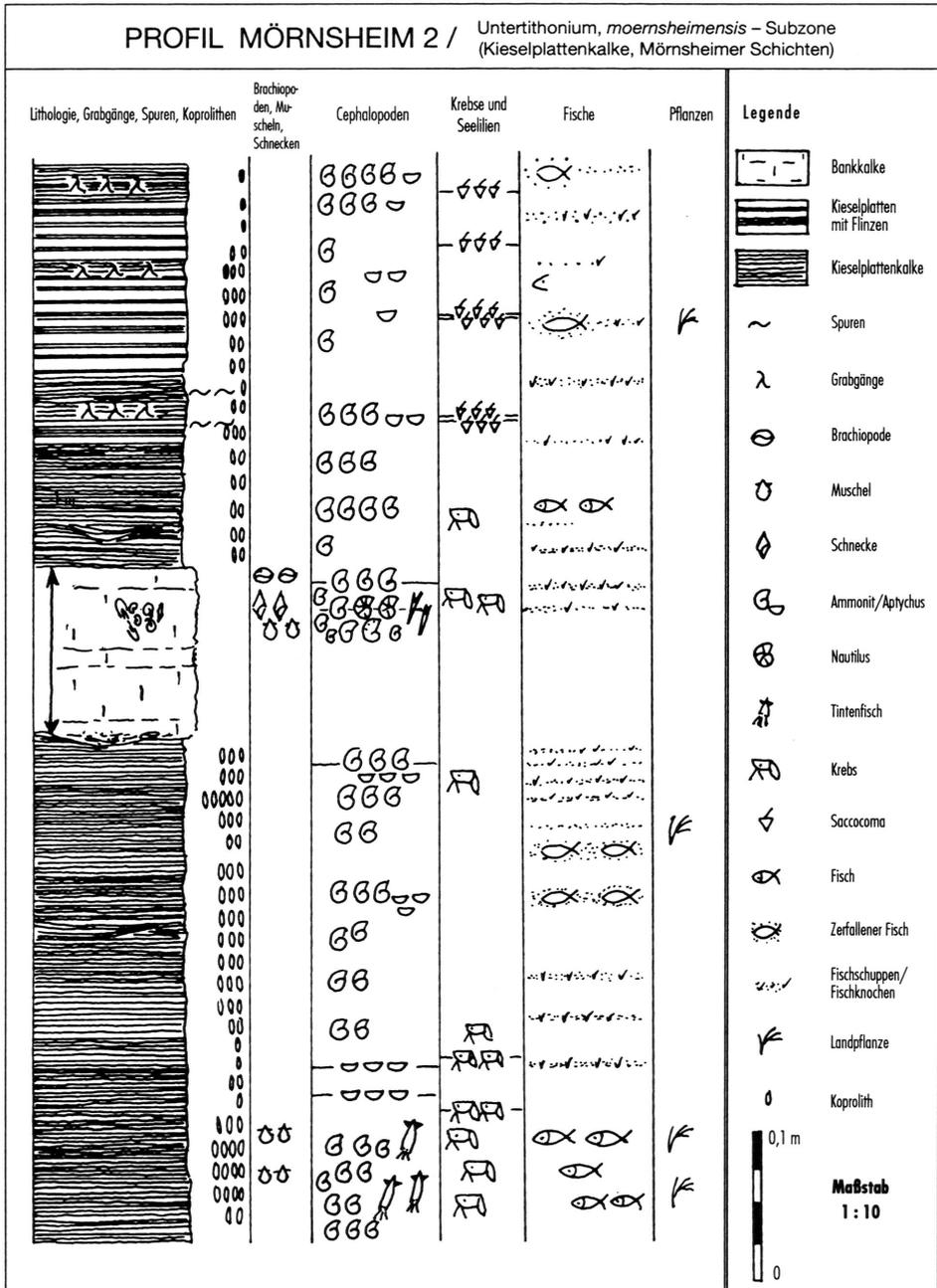


Abb.28: Ausschnitt aus dem paläoökologischen Säulenprofil Mörnsheim 2 im Steinbruch Mörnshheimer Hummelberg-Reserve

Fauna, gekoppelt mit dem gleichzeitigen Auftreten sowohl von Tintenfischen wie auch Landpflanzen (Lage M/25 bei RÖPER 1990).

Häufigkeit und Verteilung der Fossilien im Bankkalk: Der untere mächtige Bankkalk enthält im unteren Drittel Ammonitenpflaster und im oberen Bereich heterogene Fossiltaphozöosen sowie einen Horizont mit endobenthisch lebenden Crustaceen (*Magila*) und Muscheln (*Astarte*). Im mittleren Bankkalk finden sich Hornsteinknollen, Ammoniten-Taphozöosen sowie Brachiopoden (*Loboidothyris*) und ein *Taramelliceras*-Lager. Über den nachfolgenden oberen Bankkalk ist wenig bekannt, jedoch enthält er massenhaft *Glochiceras (P.) lithographicum*.

Die Bankkalkfazies beinhaltet relativ wenig Einschwemmungen aus dem benachbarten Mörsheimer Riff. Derartige Lagen, in denen u.a. Schwämme, Seeigel und verschiedenste Brachiopodenarten vorkommen, finden sich in der Plattenkalkfazies erst etwa 1km südlich des untersuchten Profils am Mörsheimer Horstberg (RÖPER 1990).

Erhaltung und Einbettung der Fossilien : die Ergebnisse gleichen denen im Profil Schamhaupten.

Aussagen zum Biotop: mit Einsetzen der Kieselplattenkalkfazies wird das marine Leben im Solnhofener Gebiet reichhaltiger. Die Öffnung zur Tethys spiegelt sich im Reichtum an Ammoniten, Tintenfischen sowie Nautiliden wider. Bodenleben fehlt, mit Ausnahme der Grabgangschichten im mittleren Abschnitt des Profils. Landpflanzen zeigen Auftauchnähe bzw. nahegelegene Inseln an. Ähnlich wie im Schamhauptener Biotop war die Wassersäule allgemein belebt. In den Bankkalken zeigt sich ein Einfluß von Randbiotopen, die vermutlich schon zum benachbarten Riff zählen. Mit der Rückkehr aktiv produzierender Riffe (jüngere Riffgeneration bei von FREYBERG 1968) kehren Korallenriffe (MEYER & SCHMIDT-KALER 1983, 1990) und allgemein bessere Lebensbedingungen in die zuvor restriktiven Gebiete des Zeta 2 zurück (RÖPER 1990, VIOHL 1992).

## 2. Ergebnisse der Profilaufnahmen

Mit den vorliegenden Profilbeschreibungen wird erstmals ein Überblick über häufige Fossilien und Koprolithen sowie deren Verteilung in den verschiedenen Plattenkalkablagerungen vorgelegt. Erfasst wurden zwei unterschiedliche Grundtypen: Solnhofener- und Kieselplattenkalke. Letztere wurden im Oberkimmeridge durch den Schamhauptener und im Untertithonium mit dem Mörsheimer Typ beschrieben. Nachfolgend werden einige wesentliche Ergebnisse in einer tabellarischen Übersicht zusammengefaßt.

### Profil Schamhaupten

Stratigraphische Position: oberes Kimmeridgium, *subeumela*-Subzone oder jünger (nach Kartierung von BAUSCH (1963) *setatum*-Schichten (fränkischer Malm Epsilon 2)

Paläogeographische Lage: Becken von Schamhaupten/Zandt, mit belebten Randgebieten (? lebende Riffe); Fazieszone B

Plattenkalktyp: Kieselplattenkalke Schamhauptener Ausprägung; Gradierung häufig; Verkieselungen; grobkörnige Plattenkalke

Intervalle/Schichtflächen: in feinlaminierten Lagen sehr engständige Intervalle zwischen Sedimentation und Stillstand; Schichtflächen nur schwer spaltbar

Bankbildungen: Einschalten von bankigen Lagen mit heterogenen Fossiltaphozöosen; an der

Basis teilweise Schill- und Detritusanreicherungen; Grabgänge in Ausnahmefällen  
 Einschaltung flächendeckender Krummer Lagen: nicht festgestellt  
 Lokale Rutschungen: nur im Übergang zur Oechselberg-Schieferfazies (GERHARD 1992)  
 Bodenleben/Bioturbation: in den Plattenkalen nicht festgestellt  
 Autochthones ökologisches Spektrum, häufigste Formen: lamell- und striptychen-tragende Ammoniten, Tintenfische, Schwimm- und Panzerkrebse, Knochenfische, untergeordnet Knochenschmelzschupper  
 Besondere Einzelfunde: Brückenechse, Meeresschildkröte  
 Koprolithen: gestreckte Kotschnüre (von Fischen), bohnenförmige Koprolithen mit Fischknöchelchen (von Reptilien (?), seltener), Lumbricarien aus *Saccocoma*-Resten (selten)  
 Allochthone marine Benthosorganismen: vorzugsweise in Bankkalen; Korallenreste (selten), Brachiopoden, Muscheln, Schnecken, Seeigel, Brachyurenpanzer  
 Marine Flora: Braunalgen (sporadisch)  
 Flora: häufig, vor allem Koniferen und Samenfarne  
 Fossilhorizonte: aufgrund der schlechten Spaltbarkeit schwer feststellbar; Saccocomen (1 Horizont), Ammoniten, Knochenfische, Fossilanreicherungen in feinst laminierten Horizonten  
 Fazieszone: B (Kieselplattenkalke)

Profile Schernfeld 1c und Schernfeld 2

Stratigraphische Position: unteres Untertithonium, *rueppellianus*-Subzone im Liegenden der Eichstätter HKL (fränkischer Malm Zeta 2b)  
 Paläogeographische Lage: Becken von Eichstätt (genaue randliche Begrenzung nicht bekannt), Paläorelief im Untergrund: "Harthof-Obereichstätter Wanne"  
 Plattenkalktyp: Solnhofener Plattenkalk, klassische Eichstätter "Schieferfazies"; steriler homogener und feinstkörniger Mikrit; keine Gradierung, keine Intraklasten; kaum Detritus; keine Verkieselungen; Wechsel von sehr ruhigen und etwas unruhigen Sedimentationsphasen  
 Intervalle/Schichtflächen: enge Intervalle von Flinz- und Fäulelagen, enge Intervalle zwischen Sedimentation und Stillstand; Dominanz von Schichtflächen I.Ordnung; Schichtflächen II.Ordnung häufig; Schichtflächen III.Ordnung (Lamination) etwas untergeordnet  
 Bankbildungen: fehlend  
 Einschaltung flächendeckender Krummer Lagen: fehlend  
 Bodenleben/Bioturbation: fehlend  
 Autochthones ökologisches Spektrum, häufigste Formen: Saccocomen, Ammoniten mit deutlicher Dominanz lamellaptychen-tragender Formen, Glaskrebse, Krebslarven *Anthonema* und *Phyllosoma*, Schwimm- und Panzerkrebse im Verhältnis 3:1, kleine Knochenfische  
 Besondere Einzelfunde: Insektenreste  
 Koprolithen: gestreckte Kotschnüre (von Fischen); Lumbricarien aus Saccocomenresten  
 Allochthone marine Benthosorganismen: fehlend  
 Marine Flora: Braunalgen (sporadisch)  
 Terrestrische Flora: im Profil nicht nachgewiesen  
 Fossilhorizonte: auf Schichtflächen I.Ordnung: Saccocomen, Ammoniten, Krebslarven, kleine Knochenfische, Koprolithen

## Profile Schernfeld 1a und 1b

Stratigraphische Position: unteres Untertithonium, *rueppellianus* - Subzone im Hangenden der Eichstätter HKL (fränkischer Malm Zeta 2b)

Paläogeographische Lage: wie Profil Schernfeld 1c, nur ist das Paläorelief im Untergrund bereits ausgeglichen ("Schwellenposition" bzw. Verflachung des Ablagerungsraumes)

Plattenkalktyp: Solnhofener Plattenkalk, "Schieferfazies"; sehr enge Intervalle; weitere Kennzeichen wie Profil Schernfeld 1c; deutliche Wechsel von ruhigen und unruhigen Sedimentationsphasen

Bankbildungen: wiederholt Einschaltung von Bänkchen; teilweise mit Intraklasten, flute casts, Gradierung, Sedimentsackungen, Ammonitenrollspuren,

Einschaltung flächendeckender Krummer Lagen: ein 1,15m mächtiger Horizont mit Rutschungslamellen (über den Profilen folgen bis zur Grenze Zeta 2/3 sechs weitere KL)

Bodenleben/Bioturbation: fehlend

Autochthones ökologisches Spektrum, häufigste Formen: Saccocomen; Ammoniten mit deutlicher Dominanz lamellaptychen-tragender Form; Krebslarven *Anthonema* und *Phyllosoma*; Schwimm- und Panzerkrebse im Verhältnis 1:1, kleine Knochenfische: Schernfelder Kinderstubenfauna

Besondere Einzelfunde: 2 Tintenfisch-Schulpe, 2 Belemnitenrostron, 1 Horizont mit *Rissoa*-Schnecken

Koprolithen: Assoziation analog der Profile Schernfeld 1c und 2

Allochthone marine Benthosorganismen: fehlend

Marine Flora: Braunalgen (sporadisch)

Terrestische Flora: Koniferen (selten)

Fossilhorizonte: auf Schichtflächen I. Ordnung; Ammoniten, Krebslarven, kleine Knochenfische, Koprolithen

## Profil Mörsnheim 1

Stratigraphische Position: unteres Untertithonium, *rueppellianus*-Subzone (fränkischer Malm Zeta 2b)

Paläogeographische Lage: Becken von Solnhofen/Usseltal; Beckenrandlage in Nähe der Mörszheimer Schwelle; Paläorelief im Untergrund: "Solnhofener Wanne"

Plattenkalktyp: Solnhofener Plattenkalk in "Solnhofener Plattenkalkfazies", unterteilt in Dick- und Düninflinzen; steriler und homogener feinstkörniger Mikrit; keine Gradierung; keine Intraklasten; kaum Detritus; keine Verkieselungen; unruhige Lagerungsverhältnisse in den Dickflinzen, ruhige Lagerungen in den Düninflinzen,

Bankbildungen: fehlend; dafür häufiger mächtige Dickflinze mit interner Zerstörung von Feinschichtungsgefügen, vor allem im oberen Profilabschnitt (Bankflinze)

Einschaltung flächendeckender Krummer Lagen: obere KL an der oberen Grenze der Düninflinze

Lokale Rutschungen: in den Düninflinzen an der Grenze zur oberen Dickflinzfazies

Bodenleben/Bioturbation: fehlend

Autochthones ökologisches Spektrum: Saccocomen; überwiegend lamellaptychen-tragende Ammoniten, untergeordnet *striaptychen*-tragende Formen; Krebslarven *Phyllosoma*, Schwimm- und Panzerkrebse, Knochenfische: juvenile und adulte Formen

Besondere Einzelfunde: *Pterocoma*, *Mesolimulus*, Insekten  
 Allochthone marine Benthosorganismen: fehlend; Ausnahme: 2 kleine Brachiopoden in HKL  
 Marine Flora: Braunalgen  
 Terrestrische Flora: Koniferen (selten)  
 Fossilhorizonte: Schichtflächen I. Ordnung; Saccocomen, Ammoniten, *Mecochirus*, Knochenfische, Koprolithen

#### Profil Mörsnheim 2

Stratigraphische Position: unteres Untertithonium, *moernsheimensis*-Subzone (fränkischer Malm Zeta 3), Mörsheimer Schichten  
 Paläogeographische Lage: neu entstandene Beckenstruktur mit Riffwachstum in der näheren Umgebung (vermutlich in einem Riffgürtel, Fazieszone B-C)  
 Plattenkalktyp: Kieselplattenkalke Mörsheimer Ausprägung, wenig Gradierung, Kieselsäure untergeordnet; wechselhaft mit Einschaltung mikritischer Flinze  
 Intervalle/Schichtflächen: in feinstlaminierten Lagen sehr engständige Intervalle zwischen Sedimentation und Stillstand, Schichtflächen schwer spaltbar  
 Bankbildungen: Einschaltung von bankigen Lagen mit heterogenen Fossiltaphozöosen  
 Einschaltung flächendeckender Krummer Lagen: fehlend  
 Lokale Rutschungen: im Profil nicht beobachtet  
 Bodenleben/Bioturbation: Grabgänge endobentisch lebender Crustaceen im mittleren Abschnitt  
 Autochthones ökologisches Spektrum, häufigste Formen: Saccocomen (vor allem im mittleren Abschnitt) Schwimm- und Panzerkrebse, Knochenfische  
 Besondere Einzelfunde: Reste eines Meereskrokodils (Beschreibung bei BARFELD et al. 1990) aus den Schichten des Profils  
 Koprolithen: Zusammensetzung analog Schamhaupten, nur sind Lumbricerien häufiger  
 Allochthone marine Benthosorganismen: vorzugsweise in den Bankbildungen, Brachiopoden, Muscheln, Schnecken, Seeigelreste  
 Marine Flora: Braunalgen (sporadisch)  
 Terrestrische Flora: relativ häufig Koniferen  
 Fossilhorizonte: aufgrund schlechter Spaltbarkeit schwer feststellbar; Saccocomen, Ammoniten, Knochenfische  
 Fazieszone: B-C, Kieselplattenkalke (B) und Übergangsfazies (C)

### 2.1 Die Frage nach den Wassertiefen

Die Diskussion über mögliche Entstehungstiefen gerade der Solnhofener Plattenkalke ist von gegensätzlichen Auffassungen geprägt (BARTHEL 1964-1978, MAYR 1967, JANICKE 1967, 1969, KEUPP 1977, VIOHL 1983, RÖPER 1992). Wurden über ein halbes Jahrhundert Argumente für ein Flachwassermilieu mit zeitweiligem und partiellem "Trockenlaufen" angeführt, bildete sich zunehmend eine Auffassungsrichtung heraus, die allgemein von mehr als 20 m Wassertiefe ausging. BARTHEL (1978) nahm für die Plattenkalkbildungen im bayerischen Oberjura eine generelle Bildungstiefe unterhalb der Sturmwellenbasis an. Bemerkenswerterweise wurden die neueren Modellvorstellungen zur Entstehungs- und Ablagerungsgeschichte, die von permanenter Wasserbedeckung und größeren Bildungstiefen ausgehen, niemals auf das französische Vorkommen bei Cerin im Departement Ain übertragen.

Für Cerin wird allgemein episodisches "Trockenfallen", also tidale Bildungstiefe im Flachwasser bis in den Auftauchbereich diskutiert (BERNIER et al. 1985). Diese Annahme ist gar nicht so ungewöhnlich, da gegenwärtig auf dem Seychellenarchipel makrobenthosfreie Karbonat-schlämme in den Auftauchbereichen der Inseln entstehen. Auch werden dort artikulierte Wirbeltierorganismen, Wirbellose und Pflanzen eingebettet. Sowohl Cerin als auch Solnhofen sind Fossilagerstätten, die sich durch das Vorkommen von artikulierte Weichkörperfossilien auszeichnen. Stimmt man mit Cerin überein, so muß eine Konservierung von Organismen im Plattenkalk in Wassertiefen oberhalb der Sturmwellenbasis von 20 m grundsätzlich auch für die Plattenkalkvorkommen im Bayerischen Oberjura denkbar sein. Genauso bedeutend wie die Gemeinsamkeiten beider Lagerstätten dürfte ein markanter Unterschied sein: im Gegensatz zu Solnhofen enthält Cerin Dasycladaceen. Sie sind relativ sichere Bathymetrie-Anzeiger. Nach FLÜGEL (1982) leben sie heute durchweg in geringen Wassertiefen von 3-5 m. Zumindest dürften die Plattenkalke in Bayern, in denen ebenfalls Wirbelalgen vorkommen, oberhalb der Sturmwellenbasis gelegen haben. Zu diesen zählen die Lokalitäten am Kapfelberg an der Donau (FLÜGEL et al. 1975) sowie das neuentdeckte Vorkommen von Brunn in der Oberpfalz (RÖPER & ROTHGAENGER 1996). Cerin, Kapfelberg und Brunn enthalten *Clypeina jurassica*. Aufgrund der reichhaltigen Dasycladaceenflora kann für Brunn ein Flachwassermilieu angenommen werden. In dieser Fazies finden sich viele Besonderheiten in der Fossiltafonomie, wie sie aus dem Solnhofener Plattenkalk beschrieben sind. Hierzu gehören Knochenfische, bei denen die Schwanzflosse von der Wirbelsäule abgerissen ist. MAYR (1967) erklärte das Abreißen durch Austrocknungsprozesse unter subaerischen Einflüssen. Demnach blieb der Schwanz im feuchten Schlick kleben, während die Wirbelsäule abriß. VIOHL (1994) führt die eigentümliche Fischerhaltung in Solnhofen auf submarine Prozesse in einer hypersalinen tieferen Wasserschicht zurück. Nur können taphonomische Befunde, die in Brunn und Solnhofen gleichermaßen in Erscheinung treten, nicht ohne weiteres als Nachweise für größere Wassertiefen in Solnhofen gelten, zumal Übersalzungen im Flachwasser möglich sind.

Zieht man allein die Dasycladaceen als Bathymetrie-Anzeiger zum Vergleich der unterschiedlichen Lagerstätten heran, so ergibt sich im Solnhofener Plattenkalk aufgrund ihres Fehlens eine Wassertiefe unterhalb von 5 m, ohne daß eine Untergrenze gesetzt werden kann. Vereinbar damit ist das Fehlen von Ablaufrinnen und ausgeprägten Polygonstrukturen. Polygone, die wahrscheinlich auf zerrissene Mikrobenmatten zurückzuführen sind, sind bislang nur aus Cerin (BERNIER et al. 1985) und Brunn (RÖPER & ROTHGAENGER 1996) bekannt. Allerdings sind derartige Strukturen in Ausnahmefällen anscheinend auch im Solnhofener Plattenkalk möglich. Mit der Annahme, daß in Solnhofen größere Wassertiefen als in Cerin und Brunn wahrscheinlich sind, ist sowohl ein möglicher tidaler Einfluß bzw. eine Ablagerung zumindest von Abschnitten des Solnhofener Plattenkalks auf Schwellenposition in der tidalen Zone oberhalb der Sturmwellenbasis noch lange nicht ausgeschlossen.

Betrachten wir noch einmal die Ergebnisse der Profilaufnahmen bei Schernfeld und Mörsenheim, deren Auswertung nun vollständig erscheint. In den höheren Profilen Schernfeld 1a und 1b überwiegen dünne Einzellagen ("Grundschieferserie" bei von EDLINGER 1964). Vergleichbar mit Brunn enthalten sie eine "Kinderstubenfauna" vornehmlich aus kleinwüchsigen und/oder juvenilen marinen Organismen. Das Ablagerungsmilieu zeigt einen ständigen Wechsel von unruhigen und ruhigen Phasen. Die Intervalle zwischen Sedimentation und Unterbrechungen sind kurz, ebenso wie der Wechsel von Flinz- zu Fäulelagen. Eingeschaltet sind wie-

derholt kleine Bankbildungen mit flute casts und Ammonitenrollmarken. Derartige Lagen sind vermutlich auf stärkere Sturmereignisse bzw. auf ein höheres Energieniveau zurückzuführen. Demnach entstanden während sehr unruhiger Zeiten in den Profilen keine Platten-, sondern Bankkalke und Horizonte mit unregelmäßigen Schichtlagerungsgefügen. Vereinbar mit dieser Ansicht ist das gehäufte Erscheinen von Bänken im Brunner Plattenkalk. Sie sind von starker Aufarbeitung gekennzeichnet (RÖPER & ROTHGAENGER 1996). Einige Eigentümlichkeiten des Brunner Plattenkalks finden sich in Schernfeld 1a und 1b wieder, wenn auch nicht mehr so ausgeprägt. Außerdem sind die Biotope nicht direkt vergleichbar. So fehlt bei Schernfeld bereits jegliches Bodenleben. Dominieren bei Brunn Panzerkrebse, so liegt bei Schernfeld 1a und 1b das Verhältnis von Schwimm- und Panzerkrebsen bei 2:1. Statt der Brunner laevaptychen-tragenden Ammonitenfauna wird das Bild von kleinen lammellaptychen-tragenden Formen beherrscht. Beide Lagerstätten zeigen sowohl lithologische als auch faunistische Unterschiede. Im Vergleich der Bathymetrien ergeben sich aber keine sehr gravierenden Unterschiede. Vermutlich lag das Schernfelder Biotop etwas tiefer als das Brunner. Im Profil Schernfeld 1c gibt es keine Bankbildungen. Wie bereits ausgeführt, ist hier das Verhältnis von Schwimm- zu Panzerkrebsen bei 3:1. Das Profil erscheint gleichmäßiger und unter ruhigeren Bedingungen entstanden. Ereignisse, die auf einen wiederholten krassen Wechsel im Energieniveau hindeuten, spiegeln sich im Sedimentationsgeschehen nicht mehr wider. Möglicherweise waren die bathymetrischen Verhältnisse im Profil 1c etwas tiefer als in 1a und 1b. Im Typusgebiet des Solnhofener Plattenkalks zeigen sich im Profil Mörsheim 1 vollkommen abweichende Sedimentationsintervalle. Bei konsequentem Vergleich der Profile ergäben sich über Schernfeld 1a und 1b nach Schernfeld 1c und Mörsheim 1 Bathymetrieunterschiede, ohne daß absolute Tiefenangaben anhand der vorliegenden Untersuchungen möglich wären. Würde man mit KEUPP (1977a) übereinstimmen, daß Mörsheim in der Bathymetrie etwas tiefer lag als Schernfeld, dürften die chemophysikalischen Verhältnisse im Typusgebiet bei Solnhofen länger konstant gewesen sein. Nur zeigen die Profiluntersuchungen auch, daß keine allgemeinen Angaben für den Solnhofener Plattenkalk möglich sind. Die Verhältnisse waren nicht nur in den benachbarten Becken unterschiedlich, sondern auch innerhalb dieser. Weder das Gesamtprofil Mörsheim noch Schernfeld zeigen eine kontinuierliche gleichmäßige Entwicklung. Demzufolge ist eine stärkere Differenzierung in vergleichbare Abschnitte notwendig, aus denen horizontierte lithologische und faunistische Datensätze vorliegen.

In neuerer Zeit geht VIOHL (1992, 1994) von Bildungstiefen in einer vermutlich hypersalinaren Bodenzone aus, während die oberen Wasserschichten normal marin gewesen sein sollen.

Nach BARTHEL (1978) darf von Wassertiefen von mehr als 20 m, also unterhalb der Sturmwellenbasis ausgegangen werden. Mit dieser Auffassung scheint nicht nur Trockenfallen, sondern eigentlich auch eine tidale Bildungstiefe bis 20 m unwahrscheinlich. Bei einem geschichteten Wasserkörper muß eine Sprungschicht angenommen werden, bei der zunächst unklar bleibt, wie absinkende tote Insekten und Fische diese Grenze am Top der vermuteten hypersalinaren Bodenzone überwunden haben sollen.

Da in den bislang untersuchten Solnhofener Plattenkalken bei Schönau nach SALGER (1985) die für Übersalzung typischen Karbonatminerale Palygorskit und Corrensit fehlen, ist die Annahme einer hypersalinaren Bodenzone keineswegs gesichert. Die Ablagerungen in den gut dokumentierten Teilprofilen Schernfeld 1a und 1b (Kinderstubenfauna, Störungen im Schichtlagerungsgefüge, Krebslarvenhorizonte) können auch mit tidalen Bildungstiefen oberhalb der

Sturmwellenbasis in Einklang gebracht werden, vermutlich auch Teile der "Schieferfazies" in tieferen Abschnitten des Zeta 2b. Falls man wie BARTHEL (1978) davon ausgeht, daß sich in dem heute durch die postjurassische Abtragung nicht mehr zugänglichen Bereich eine ausgedehnte Wattenzone anschloß, dürfte in Abschnitten des Plattenkalks bis 10 m Wassertiefe noch von Watablagerungen gesprochen werden, bis 20 m noch von tidalen Bildungen. Vermutlich muß der Wattbegriff von SCHWERTSCHLAGER (1919) und GERHARD & RÖPER (1992) dahingehend korrigiert werden, daß mit der Befürwortung von tidalen Bildungstiefen im Solnhofener Plattenkalk überwiegend Wassertiefen zwischen 10-20 m, in einigen Teilen der Plattenkalkfazies vielleicht auch zeitweise darüber und darunter dokumentiert sind.

Die hohen Schichtmächtigkeiten der Solnhofener Plattenkalke können bei angenommenen, relativ konstanten Wassertiefen durch zwei Faktoren ausreichend erklärt werden:

- 1) allgemeiner Meeresspiegelanstieg oder
- 2) Subsidenz des Untergrundes.

Aufgrund der von VIOHL (1992) angeführten Fischtaphonomie müssen zeitweilige Stillwasserbedingungen gefordert werden. Derartige Verhältnisse, bei denen Fischleichen am Meeresboden vollständig zerfallen konnten, sind inzwischen im Brunner Plattenkalk nachgewiesen (RÖPER & ROTHGAENGER 1995, Taf.4). Die zerfallenen Fische von Brunn liegen in einem Schichtstapel, in dem Spuren, Grabgänge und Dasycladaceen vorkommen. Da auch Cerin Wirtelalgen enthält und nach VIOHL (1992) dort von tidalen Verhältnissen ausgegangen werden kann, könnten nun auch für Brunn tidale Bildungstiefen angenommen werden. Demzufolge konnten sich Stillwassermilieus im Plattenkalk auch oberhalb der Sturmwellenbasis ausgebildet haben, in denen sich keine stabilen geschichteten Wasserkörper ausbilden konnten. Stillwasserverhältnisse konnten sich in tidalen Bereichen vielleicht durch wechselnde Wasserstände ausbilden, bei denen einzelne Abschnitte der Biotope über Wochen hinweg durch Niedrigwasser abgeschnitten wurden. Denkbar wäre z.B., daß die in den Profilen nachgewiesenen Anreicherungen kleiner Schwarmfische auf solche Ereignisse zurückzuführen wären (RÖPER 1992). Vermutlich sind Fischschwärme zu Lebzeiten aus Schutz vor Räubern in flache Bereiche vorgestoßen und in Senken oder Tümpeln bei Niedrigwasser von ihren Fluchtwegen abgeschnitten worden. Tropische bis subtropische Sonneneinstrahlung konnte im Flachwasser vermutlich eine Sauerstoffarmut herbeiführen, wodurch der plötzliche Tod der Fische erklärt werden könnte.

Waren Saccocomen während der Niedrigwasserstände im Biotop, konnten sie absterben und sich zu tausenden Individuen auf den Schichtflächen anreichern. Im Gegensatz zu hochmarinen Sedimenten wie etwa den Röglinger Bankkalken, in denen die Saccocomen eine fast gesteinsbildende Komponente darstellen (KEUPP 1994), erfolgte das Sterben der Saccocomen im Solnhofener Biotop wiederholt in Phasen zwischen den Sedimentationsereignissen, und zwar häufiger in Flinz- als in Fäulelagen. Auf der Grundlage der bisherigen Ergebnisse ergeben sich für die Sedimentationsstillstände, auf denen sämtliche Fossilhorizonte liegen, vermutlich auch zeitweilig andauernde Niedrigwasserstände.

Die Profile Schernfeld und Mörsheim zeigen eine unregelmäßige "Großrhythmik". Sie spiegelt sich wider im Wechsel von Flinz- und Fäulelagen, der in Schiefer- und Dünnflinzfazies häufiger erfolgt als in der Dickflinzfazies. Das Profil Mörsheim 1 zeigt in seinem Übergang von unteren Dick- zu mittleren Dünnflinzen einen 3 m mächtigen Schichtstapel, in dem weder reine Fäule- noch reine Flinzlagen vorkommen (RÖPER 1990). Im gesamten Teilabschnitt

herrschen tonige zähe Flinze vor. Hier hat es den Anschein, als verwischten die krassen Unterschiede zwischen beiden Komponenten.

Die im Solnhofener Plattenkalk scheinbare Großrhythmik zeigt sich in der höher energetischen Kieselplattenfazies in dieser Form nicht. Auch fehlt sie in dem bislang untersuchten Abschnitt des Brunner Plattenkalks (RÖPER 1996b, ausführliche Darstellung in diesem Band; RÖPER & ROTHGAENGER 1996c). Im unteren Abschnitt der Brunner Lagerstätte zeigt der Plattenkalk eine einfache Rhythmik. Jeder einzelne Flinz ist durch eine Mergelzwischenlage getrennt. Ähnlich einfach scheint die Rhythmik im Plattenkalk von Cerin (BAUSCH et al. 1994). Beide Ablagerungen können als lagunäre Flachwasserbildungen mit Gezeiteneinfluß in der Nähe von Korallenriffen angesehen werden. Im Gegensatz zu Cerin ist der Plattenkalk im Eichstätter Becken von Undulationen (BAUSCH et al. 1994) gekennzeichnet. Da in den Kalklagen Flinz auf Flinz ohne Einschaltung von Mergeln folgt, erscheint hier eine Kleinrhythmik zunächst nicht erkennbar.

Bodenleben (Spuren), Fossilhorizonte sowie Mikrobenmatten befinden sich in den Brunner Schichten immer in den Mergeln zwischen den Flinzen. Nun liegen auch im Solnhofener Plattenkalk sämtliche Fossilhorizonte in den Intervallen zwischen zwei Flinzen (seltener zwischen zwei Fäulenblättern). Innerhalb der Flinzlagen erscheint statt einer Mergelzwischenlage eine "Nullsedimentation". Sie spiegelt sich lediglich im Vorhandensein eines hauchdünnen Tonhäutchens (JANICKE 1969, RÖPER 1992, BAUSCH et al. 1994) wider.

Bringt man also die Mergelzwischenlagen im Brunner Sediment mit der Nullsedimentation während der Stillstände im Solnhofener Plattenkalk in Verbindung, so ergäben sich auch aus diesem Blickwinkel für die Intervalle zwischen den Flinzen Niedrigwasserstände. Diese Ableitung läßt sich mit der Deutung von Saccocomen-Horizonten und dem Vorkommen von Fischschwärmen und Krebslarvenhorizonten in Deckung bringen.

Mit einer Deutung der Fossilhorizonte im Flachwasser erscheinen nun auch die Unterschiede zwischen Schiefer- und Plattenkalkfazies, wie eingangs des Kapitels bereits ausgeführt, plausibel. Die Schieferfazies war insgesamt flacher und zeigt deshalb um ein vielfaches häufiger Sterbeevents der autochthonen marinen Fauna. Je flacher ein Biotop war, desto häufiger zeigen sich heute im Sediment und in der Verteilung der Fauna Schwankungen des Ökosystems. Damit vereinbar wäre die bereits von KEUPP (1977a) nachgewiesenen Schichtflächen III. Ordnung bei Solnhofen bzw. die Dominanz I. Ordnung bei Eichstätt.

Aus den Nachweisen der Fossilverteilung in den Profilen Schernfeld und Mörsheim sowie dem Vergleich mit der einfachen Rhythmik von Brunn geht hervor: der Solnhofener Plattenkalk enthält ebenfalls eine latent vorhandene einfache Rhythmik, die in ihrer Deutlichkeit von Schiefer- zu Plattenkalkfazies abnimmt. Im Grunde genommen können deshalb auch Teile der Solnhofener Plattenkalke als Flachwasserablagerungen mit Gezeiteneinfluß interpretiert werden. Sie entstanden aber wahrscheinlich nicht, wie von GERHARD & RÖPER noch 1992 angenommen, im Intertidal, sondern vornehmlich im flachen von Gezeitenrhythmen beeinflussten Subtidal. Eine Interpretation von zeitweiligen Niedrigwasserständen kann auch das Vorkommen von Insekten auf den Schichtflächen erklären. Nach RÖPER (1992) können zwei Grunderhaltungszustände unterschieden werden:

- unvollständige Insekten, wie etwa isolierte Libellenflügel, Libellen mit nur einem Flügelpaar, unvollständige Wasserläufer (*Cresmoda*); immer auf Schichtflächen I. Ordnung,
- vollständige, nicht zerfallene Insekten, seitlich oder in Lebendstellung eingebettet, z.B.

Libellen mit ausgebreiteten Flügeln (u.a. auf der Liegendseite einer Gesteinsplatte), *Cresmoda* mit ausgestreckten Beinen.

Die erste Erhaltungsform kann durch Absinken toter, länger treibender Insekten ausreichend erklärt werden. Dies scheint auch in tidalen Ablagerungen möglich, in denen einzelne Lagunenabschnitte eventuell, wie bereits dargelegt, über Wochen vom offenen Meer abgeschnitten wurden. Für die zweite Erhaltungsform, die sich etwa bei Libellen, Wasserläufern, Heuschrecken, Holzwespen und Fliegen zeigt, sind gewisse Voraussetzungen notwendig, um ihr Vorkommen auf den Schichtflächen zu erklären. In Frage kommt kurzzeitiges Trockenlaufen von Schichtflächen (RÖPER 1992) sowie Einbettung im flachen Wasser, in dem möglicherweise eine milchig-trübe Suspension treibende, tote Insekten beschwert hat. Da im Solnhofener Biotop vornehmlich kleine Friedfische vorkommen, erscheint es denkbar, daß zeitweilig keine Räuber für die Verwertung der Insekten vorhanden waren.

Leider ist über die Verteilung von Insekten in den Profilen von Solnhofen und Eichstätt so gut wie nichts bekannt. Bislang wurden sämtliche Untersuchungen an unhorizontiertem Sammlungsmaterial vorgenommen. Somit bleiben nur einige ganz wenige Erkenntnisse:

- nach Angaben der Steinbrucharbeiter stammen die wenigen Insekten des Mörsheimer Hummelsberges aus der Dünnflinzfazies;
- die Schieferfazies von Eichstätt ist ungleich insektenreicher als die Plattenkalkfazies.

Demnach sind Insekten dort häufiger, wo sich entsprechend vielen anderen Befunden eher geringe Bildungstiefen ergeben.

Über die Bildungstiefen von Kieselplattenkalken ist bislang nur wenig bekannt. Ähnlich wie der Brunner und Schernfelder Plattenkalk enthalten sie Bankbildungen. Ihre Besonderheit besteht sowohl in Schamhaupten als auch im Profil Mörsheim in den Fossiltafeln mit reichhaltigen Invertebratenfaunen. Zwischen den Bänken dominieren feinstlaminierte Einzellaugen mit sehr engständigen Intervallen von Sedimentation und Stillstand. Kieselplattenkalk vom Typ Schamhaupten erscheinen - wie viele Lagen im Brunner Plattenkalk - gradiert. Solche vom Typ Mörsheim enthalten dagegen kaum Gradierung. Während Sediment und Fauna ein offenes marines Milieu anzeigen, deuten die vielen Landpflanzen zumindest auf Inseln in der Umgebung der Kieselplattenkalkbiotope hin. Festlandsnähe ist nicht feststellbar. Klarheit über die Bildungstiefe dieser Plattenkalkfazies-Typen kann erst gewonnen werden, wenn die laufenden Grabungen in Schamhaupten abgeschlossen sind.

## 2.2 Allochthone oder autochthone Sedimentation

Ebenso strittig wie die Wassertiefen ist die Frage nach der Herkunft des Sediments, insbesondere des feinen Kalkschlammes, aus dem die Flinze des Solnhofener Plattenkalks gebildet wurden. Zunächst standen sich mit KEUPP (1977a, b) und BARTHEL (1978) sehr gegensätzliche Auffassungen gegenüber (VIOHL 1983). KEUPP beschränkte sein Modell eines autochthonen Blaugrünalgenlaminits im wesentlichen auf den Solnhofener Plattenkalk sensu strictu. Dagegen flossen bei BARTHEL viele Beobachtungen, die für einen allochthonen Wiederabsatz von Sedimentpartikeln sprechen, aus den sogenannten Randgebieten um Kelheim und Painten in die Überlegungen mit ein, in denen gradierte Lagen Anteil am Sedimentationsgeschehen haben. Gradierte Lagen sowie grobe Sedimentpartikel sind vornehmlich in den Kieselplattenkalken (vor allem Schamhaupten, GERHARD 1992) und in dem neu untersuchten Brunner Vorkommen enthalten. Beide Profile gehören zu Oberkimmeridge-Plattenkalken, die zeitlich in

keiner Verbindung mit Solnhofen stehen. Ein direkter Vergleich ist daher nicht möglich. Der eigentliche Solnhofener Plattenkalk enthält keine Gradierungen und besteht in den Schichten zwischen den Krümmen Lagen zumindest in den untersuchten Profilen aus einem sehr homogenen äußerst detritusarmen Mikrit. Mit Ausnahme von Bänken und Krümmen Lagen enthält er keinerlei Intraklasten. Soweit beobachtet werden konnte, fehlen eben jene Merkmale, die in anderen Vorkommen für allochthone Wiederabsätze sprechen. Offensichtlich nehmen Randgebiete des Solnhofener Plattenkalks kaum Einfluß auf das Sedimentationsgeschehen. Vereinerbar damit zeigen die benachbarten Becken von Solnhofen und Eichstätt jeweils eine eigene beckeninterne Sedimentationsrhythmik. Diese kann durch überregionale Steuerungsfaktoren, wie klimatisch bedingte länger anhaltende Monsunwinde (VIOHL 1994) derzeit noch nicht einwandfrei erklärt werden. Zwar muß im Vergleich der synchron abgelagerten Profilabschnitte Schernfeld 1c und Schernfeld 2 von einer allochthonen Zufuhr von tonigen Sedimentpartikeln ausgegangen werden, aber für die Entstehung des Kalkschlammes darf aus Gründen der unterschiedlichen Rhythmik eine autochthone Karbonatproduktion mitgefordert werden. Eine Kombination allochthoner und autochthoner Bestandteile (KEUPP 1994) scheint am wahrscheinlichsten, ohne daß derzeit endgültige Aussagen über die autochthone Komponente möglich sind. Unabhängig davon, ob eine bodenbezogene Karbonatproduktion, eine solche in der Wassersäule oder Kombinationen beider Vorstellungen in Erwägung gezogen werden, bietet diese Auffassungsrichtung derzeit eine plausible Erklärung für die in den Profilen von Schernfeld und Mörsheim bestätigten Unterschiede in den Sedimentationsintervallen bei Eichstätt und Solnhofen.

### 2.3 Die Herkunft von Benthosorganismen

Früher waren einige Autoren davon ausgegangen, daß die marine Solnhofener Fauna durch Sturmereignisse in eine lebensfeindliche Lagune geriet (BARTHEL 1978). Auch bei dieser Betrachtung spielen die östlichen Plattenkalke eine erheblich größere Rolle als der Solnhofener Plattenkalk selbst. Bei einer allochthonen Zufuhr der marinen Fauna dürften auch im Solnhofener Plattenkalk zumindest auf einigen Schichtflächen, mit Sicherheit aber in den Bänken der Profile Schernfeld 1a und 1b Benthosorganismen aus den Umrandungen der Plattenkalkbiotope zu erwarten sein. VIOHL (1992, 1994) hält eine derartige Einschwemmung von Benthosorganismen aus der belebten Umräumung abgestorbener Riffhügel (Muscheln, Brachiopoden, Seeigel u.a.) in den Solnhofener Plattenkalken für möglich. Tatsächlich aber enthalten die untersuchten Profile Schernfeld und Mörsheim bevorzugt eine nektonische und pseudoplanktonische Lebewelt. Sie geben keinerlei Hinweise auf belebte Randbiotop nahe bei abgestorbenen Riffhügeln. Die Annahme, wonach eine Einspülung allochthoner bodenlebender Faunen von riffnahen Hartgrundbiotopen sich im Sedimentationsgeschehen widerspiegelt, ist vielmehr für die Kieselpaltenkalke der jüngeren Mörsheimer Schichten wahrscheinlich (RÖPER 1990). Denn im Gegensatz zum Solnhofener enthält er lagenweise Anreicherungen von Benthosorganismen, und zwar bevorzugt in den Bänken. Ähnliche Bedingungen wie für das Profil Mörsheim 2 können für Schamhaupten geltend gemacht werden.

### 2.4 Becken und Wannen

Heute liegen die Plattenkalke vornehmlich in Senken zwischen Riffkomplexen oder auf Schwellen (von EDLINGER 1964, FESEFELDT 1962, von FREYBERG 1968 u.a.). Die

Senken konnten eine randliche Umrahmung aus Riffstotzen gehabt haben. Vermutlich gab es zwei unterschiedliche Relieftypen.

a) Die Umrandung war aktiv. Bei steigendem Meeresspiegel oder bei sinkendem Untergrund konnten die randlich gelegenen Riffe wachsen, während im Becken gleichzeitig Kalkschlämme entstanden. Bei diesem Relieftyp ist davon auszugehen, daß sich das Randgeschehen in der Plattenkalksedimentation und im Faunenspektrum widerspiegelt. Hier wäre zu prüfen, ob die Situation für die beschriebene Kieselplattenfazies zutrifft. Soweit die Übersicht von FREYBERGs (1968) zeigt, wurden derartige Plattenkalkablagerungen im Oberkimmeridgium niemals in einer Schwellenposition über Riffkörpern nachgewiesen. Ähnlich wie der Brunner Plattenkalk liegen die ältesten Kieselplattenkalke meist über normalmarinen bioturbaten Beckensedimenten, den liegenden Bankkalkserien.

b) Die Ränder waren tot. In diesem Falle ist ihr Wachstum ausgeschlossen, es liegt ein echtes Paläorelief vor, das sukzessive mit Kalkschlamm verfüllt wurde (FESEFELDTscher Wannengebrieff, 1962). Bei diesem Relieftyp dürfte sich das Randgeschehen weder im Sedimentationsablauf noch im Faunenspektrum widerspiegeln. Zutreffend wäre die Situation für den Solnhofener Plattenkalk. Bezeichnenderweise wird er von den Erlanger Kartierungen (von FREYBERG) nicht nur aus Senken zwischen Riffkörpern, sondern auch aus Schwellenpositionen diskordant über einer älteren abgestorbenen Riffgeneration beschrieben. Demzufolge dehnte sich mit Einsetzen der Solnhofener Plattenkalke die Sedimentation von den alten Beckenzentren seitlich diskordant über die tote Riff-Fazies aus, wobei alte angestammte Sedimentationsräume verlassen wurden (von FREYBERG 1968). Der Wannengebrieff von FESEFELDT (1962) darf deshalb eigentlich nur auf submarine Sedimentationsflächen angewandt werden. Denn Wannengebrieff im Sinne von FREYBERGs (1968) sind Paläoreliefs am Meeresboden, unabhängig von der Verteilung alter Beckenränder und unter Ausschluß aktiv produzierender Riffe. Bezeichnenderweise sind für viele Plattenkalkvorkommen bei Solnhofen und Eichstätt mit Ausnahme weniger Schwellen die seitlichen Ränder nicht nachgewiesen. Auf diese Problematik haben bereits MAYR (1967) und RÖPER (1992) hingewiesen. Der Wannengebrieff sollte nicht auf die alten Beckenstrukturen übertragen werden, da in den Becken von Solnhofen und Eichstätt wie auch anderswo die Sedimentation des Oberjura-Kimmeridgium allerorts mit bioturbaten marinen Bankkalken einsetzte (RÖPER 1992).

## 2.5 Krumme Lagen als flächendeckende Bildungen

Über ihre mögliche Bildungsursache wurde bereits bei der Beschreibung der Profile Schernfeld 1a und 1b diskutiert. Sie unterscheiden sich deutlich von lokalen Rutschungen, wie sie im Nusplinger Plattenkalk von ALDINGER (1930) beschrieben wurden. Mit ihrem Einsetzen zeigt sich zumindest ein vorübergehender Fazieswechsel, verbunden mit einem sehr deutlich angestiegenen Energieniveau. Bislang wurden die insbesondere von GERHARD (1992) dargestellten Erosionsdiskordanzen und möglicherweise channelartige Strukturen wenig beachtet. Ob derartige Abschnitte in den Plattenkalken wie von uns vermutet bis in eine Wattzone hinaufreichen (GERHARD & RÖPER 1992) oder möglicherweise in etwas anderem Milieu küstenerer Positionen entstanden, kann nur durch eine systematische Bearbeitung dieser eigentümlichen Schichtabschnitte geklärt werden. Ein Abgleiten deckender Krummer Lagen von entfernt liegenden Beckenrändern scheidet aus der Diskussion aus (GERHARD 1992). Dazu wären die Transportwege der Rutschmassen mit wenigen Metern zu gering. Also sind sie

autochthonen bis parautochthonen Ursprungs. In diesem Falle scheint nur ein höheres Energieniveau Diskordanzen sowie Rutschungen und Sackungen erklären zu können. Sowohl von EDLINGER (1964) als auch GERHARD (1992) beschreiben lokal verschieden alte Gleitfalten-generationen übereinander. Selbst diese Beobachtungen sprechen für einen länger anhaltenden Fazieswechsel. Bezeichnenderweise enthält der Solnhofener Plattenkalk bei Schernfeld zwischen Eichstätter HKL und der Zeta 2b/Zeta 3-Grenze eine auffallende Drängung von Krumpfen Lagen in einem Plattenkalk, der mit seiner Kinderstubenfauna flachmarine Verhältnisse nahelegt. Nicht wesentlich anders ist die Situation im Solnhofener Becken trotz primär vorgegebener Mächtigkeitsunterschiede. Auch hier enthält der höhere Abschnitt der Oberen Solnhofener Plattenkalke eine Reihe von Krumpfen Lagen (RÖPER 1991). Diese Phase im ausgehenden Zeta 2b korrespondiert mit einem vermutlich allgemein regressiven Trend, der unter anderem im hardground am Top der Plattenkalke dokumentiert ist. Einhergehend mit diesem Meeresspiegeltiefstand bildeten sich wahrscheinlich kleinere und größere channelartige Strukturen, an deren Rändern es nachfolgend zu Sackungen und Rutschungen kommen konnte.

## 2.6. Faziesentwicklung in den untersuchten Becken

Da es in der paläogeographischen Positionsbestimmung einzelner, verschieden alter Plattenkalklagerstätten immer wieder zu Gegensätzen gekommen ist, soll noch einmal auf die grundlegenden Arbeiten von MAYR (1967) und JANICKE (1967) eingegangen werden. Ersterer bearbeitete die Zeta 2-Vorkommen von Solnhofen/Eichstätt. Er interpretierte die Ablagerungen als küstennahe Sedimente mit Flachwasserbedingungen, episodisches Trockenlaufen von Sedimentflächen nicht ausgeschlossen (= Solnhofener Plattenkalke in einer Hochposition). JANICKE untersuchte vor allem sogenannte Randgebiete, insbesondere die etwas jüngeren Zeta 3-Plattenkalke von Daiting. Nach ihm entstand Daiting in einer küstennahen Position, in der vorgelegte Riffe und Inseln nicht allzu fern lagen (= Kieselplattenkalke des Zeta 3 in einer Hochposition). Er ging davon aus, daß mit Einsetzen der Mörsheimer Schichten durch das Heranrücken der mitteldeutschen Inseln vom Norden gleichzeitig Riffe und Inseln auftauchten. Wohl deshalb führte JANICKE den Feinschuttgehalt der Daitinger Plattenkalke auf Festlandnähe zurück, was allerdings bis heute in den Mörsheimer Schichten nicht bestätigt werden konnte. Die Interpretation von Daiting in einer verhältnismäßig flachen küstennahen Position wäre also auf eine Verflachung der zuvor im Zeta 2b tiefer gelegenen riff-fernen Gebiete von Solnhofen und Eichstätt zurückzuführen (= Solnhofener Plattenkalke in einer Tiefposition). Die Vorstellung einer allgemeinen Tiefposition der klassischen Ablagerungsräume von Solnhofen/Eichstätt steht eigentlich schon im Widerspruch zu JANICKEs eigener Interpretation der Zeta 2-Plattenkalke von Pfalzpaint. Auch sie müßten in einer Tiefposition unter größerer Wasserbedeckung gelegen sein, nur räumt er selbst aufgrund der sauberen und klaren Quallenabdrücke für Pfalzpaint mögliches Trockenlaufen ein (1967:166). So ist der Pfalzpainter Plattenkalk mit einer Tiefposition des westlichen Abschnitts der Altmühlalb im Zeta 2 kaum vereinbar. Aber erst in neuerer Zeit werden für Pfalzpaint wieder tidale Bedingungen (RÖPER 1992), zumindest aber flachmarine Verhältnisse (KEUPP & MEHL 1994) eingeräumt. Faßt man die Interpretationen von Daiting bei JANICKE zusammen, ergäbe sich nach seiner Darstellung mit Beginn des Zeta 3 folgende Entwicklung: Heranrücken des Festlandes von Norden, damit verbunden das Auftauchen von Riffen entsprechend einer regressiven Tendenz. Betrachtet man dagegen die paläogeographischen Baueinheiten im Zeta 2 bei BARTHEL

(1978), so zeigt sich für die Bildungszeit der Solnhofener Plattenkalke folgende Gliederung: Land (N) - Wattenzone - Küstenlagune in einer relativen Tiefposition mit Solnhofen, Eichstätt, Pfalzpaint - Korallenriffgürtel in einer Hochposition - offene Tethys (S). Der Riffgürtel liegt auf der landabgewandten Seite im Süden der Küstenlagune. Aus dieser Landschaftsrekonstruktion heraus ergeben sich für die nachfolgende Zeta 3-Zeit zwei Entwicklungsmöglichkeiten: a) Vorrücken des Wattengürtels auf die Küstenlagune bei Solnhofen/Eichstätt von N nach S, b) Vorrücken des Riffgürtels auf die Küstenlagune von S nach N in Richtung auf das zurückweichende Festland. JANICKEs Interpretation von Daiting steht im Widerspruch zur Zeta 2-Paläogeographie bei BARTHEL. Weil die Riffe im Zeta 2 nach BARTHEL (1978) nicht - wie von JANICKE (1969:174) impliziert - im Norden, sondern wohl eher im Süden gelegen sind, konnten im Zeta 3 die Riffe bestenfalls von der offenen Seeseite, also vom Süden an das Gebiet heranrücken, vorausgesetzt, es gab zu dieser Zeit Riffwachstum. Sicher ist bislang, daß mit Einsetzen der jüngeren Riffgeneration im Zeta 3 die Kieselplattenkalke und offen marine Verhältnisse in das zuvor restriktive Solnhofen-Eichstätt Gebiet zurückkehrten.

#### Faziesmodell (Zeit/Raum-Vorstellung, Abb. 29)

Wie die untersuchten riffnahen Profile Schamhaupten und Mörsheim 2 deutlich machen, entstanden Kieselplattenkalke zu verschiedenen Zeiten im höheren Oberjura (von FREYBERG 1968). Da die unterschiedlich alten Kieselplattenserien in ähnlichen Naturräumen entstanden sind, ist gleiches auch von anderen Plattenkalken anzunehmen. Deshalb können die verschiedenen Ablagerungstypen a) unabhängig von ihrer jeweiligen stratigraphischen Position und b) abhängig von ihrem ähnlich ausgebildeten paläogeographischen Entstehungsort betrachtet werden. Dabei sind Plattenkalk- und Riffentwicklung im Zusammenhang zu sehen. Zum derzeitigen Zeitpunkt können unter Berücksichtigung der Profilergebnisse fünf vorläufige Fazieszonen unterschieden werden.

- Zone A: Beckenfazies der offenen Tethys mit bioturbaten Bankkalken, laterale Verzahnung mit Riff-Fazies möglich (Schwamm-/Mikrobenriffe),
- Zone B: Riffgürtel mit Korallenriffen, untergeordnet vielleicht auch noch Schwamm-Biokonstruktionen; Beckenfazies mit Kieselplattenkalken,
- Zone C: vorläufige Zusammenfassung verschiedenster Plattenkalktypen (Mischfazies), in denen sich in Richtung auf D eine Abnahme der Riffbeeinflussung zeigt,
- Zone D: Totriffe, keine direkte Riffbeeinflussung, Beckenfazies mit lithographischen Plattenkalken vom Typ Solnhofen mit Übergängen zu tidal flats,
- Zone E: landnahe Gezeitebenen (tidal flats), und möglicherweise Wattenzone im seichten Übergang zur flachen Küste.

- Zone A: landfern wuchsen in der Tethys Schwamm-Mikrobenriffe, durch deren Wachstum in den riff-freien Zwischenräumen beckenartige Strukturen entstanden. Außerhalb von möglichen Schuttauerolen kamen vornehmlich bioturbate Bankkalke zum Absatz. Riff- und Beckenfazies konnten möglicherweise lateral ineinander übergehen. Die Bankkalke repräsentieren eine küstenfernere niedrigerenergetische Fazies mit sehr feinkörnigen Kalkschlämmen.

- Zone B: an die Zone A schließt sich ein Riffgürtel in einer Hochposition an, wobei neben den Schwämmen zunehmend auch Korallen im Flachwasser am Riffwachstum beteiligt waren. Inseln mit zum Teil üppiger, aber relativ artenarmer Vegetation überragten den Meeresspiegel.

Bedingt durch lokale Riffbarrieren und Reliefunterschiede am Meeresboden konnten die Becken von der offenen See teilabgeschottet werden. Verbunden mit dieser Teilrestriktion wurde das Bodenleben eingeschränkt (Umschlag von Bank- zur Plattenkalkfazies). Zu den Plattenkalke, die in dieser Zone liegen, gehören die untersuchten Kieselpplattenkalke von Schamhaupten (in Nähe eines Riffgürtels im Oberkimmeridge, ?*subeumela*-Subzone) sowie die basalen Mörsheimer Schichten der Typlokalität (in Nähe eines Riffgürtels im Untertithonium, *moernsheimensis*-Subzone). Die Landpflanzenfunde aus beiden Lagerstätten werden auf Inselnähe zurückgeführt. Darüberhinaus belegt der Reichtum an Tintenfischen/Ammoniten eine direkte Verbindung zur offenen Tethys. Aufgrund der direkten Nähe zum offenen Meer ist das System hochenergetisch. Lokal sehr stark gradierte Lagen sind die Folge.

- Zone C: Dieser Bereich ist bislang durch keine Untersuchungen näher gefaßt. Sein Vorkommen ist aber in allen bearbeiteten Beckenprofilen (RÖPER 1992) dokumentiert. Manche Lagerstätten zeigen noch biogene Riffbeeinflussung (Oechselberg - Schiefer im Hangenden der Schamhauptener Kieselpplattenkalke, belegt unter anderem durch eine reichhaltige Invertebratenfauna, geborgen von Sammlern in den letzten Jahren). Andere wie die basalen Solnhofener Plattenkalke (Spurenschiefer im Malm Zeta 2a) stehen in strömungsbeeinflussten Bereichen, die tonig mergelige Lagen enthalten. So zeigen beispielsweise die unteren Solnhofener Plattenkalke vom Ziegelhofer Berg bei Eichstätt (VIOHL 1992, RÖPER 1992) sowohl Spurenhorizonte (Abb.32) als auch Horizonte, in denen Saccocomen durch Bodenströmungen eingeregelt sind (Abb.33). Die Zone C (sie müßte eigentlich untergliedert werden) enthält verschiedenste Lagerstättentypen, in denen sich von Zone B nach D allgemein eine biogene Abnahme der Riffbeeinflussung widerspiegeln könnte.

- Zone D: Fern von Riffgürteln nimmt die Strömungsenergie des offenen Meeres in den lagunären Systemen ab. Die Becken sind von einer stärkeren Restriktion gekennzeichnet, lebende Riffe gibt es nicht. Weil nur noch lokale Totreliefs vorliegen und an den Beckenrändern kein seitliches Riffwachstum möglich ist, werden Senken und mancherorts auch Schwellen mit lithographischen Plattenkalke zugedeckt. Terrigene Einflüsse mit Ausnahme der Tonzufuhr fehlen. In Zone D entstehen die reinsten, homogensten lithographischen Plattenkalke, von denen der Solnhofener am bekanntesten sein dürfte. Ähnlich wie in Zone C und B dürften die lithographischen Plattenkalke in Abhängigkeit von Reliefunterschieden in der Beckenfazies sowie an deren Rändern in abgestuften Wassertiefen entstanden sein. Der Nachweis des Riffgürtels gelingt nur noch durch Funde von Korallenfischen (z.B. Pycnodontier, Macrosemiidae), die hin und wieder in das landnahe lagunenartige System der Zone D gelangt sind. In dieser Zone spielen juvenile und/oder kleinwüchsige marine Organismen eine große Rolle. Verschiedentlich ist eine reine Kinderstubenfauna nachgewiesen. Mit dem Nachweisen von Landinsekten, Flugsauriern und Urvögeln erscheinen deutlich die biogenen Anzeiger für Landnähe. Bezeichnenderweise stammen fast alle bisherigen Urvögel aus dem Solnhofener Plattenkalk *sensu strictu* (Becken von Solnhofen und Eichstätt) aus der flachen Schieferfazies bei Langenaltheim und Eichstätt/Workerszell. Aus der Solnhofen-Mörsheimer Plattenkalkfazies ist bislang kein Exemplar bekannt (siehe Verbreitung von *Archaeopteryx* bei WELLNHOFER 1993).

- Zone E: nach wie vor darf davon ausgegangen werden, daß im Übergang zur mitteldeutschen Insel ein Gebiet mit tidal flats oder einer Wattenzone vorhanden gewesen ist. Sie hat sich vermutlich mit Zone D verzahnt, was durch die Befunde im Profil Schernfeld 1a und 1b

nahegelegt wird. Die relative Landpflanzenarmut und vor allem die Eintönigkeit der terrestrischen Flora (vorzugsweise bestimmte Koniferen) sprechen eindeutig gegen eine artenreiche Küstenvegetation. Bei weitem dominiert *Brachyphyllum*, nach BARTHEL (1978) vielleicht sogar ein Anzeiger für eine ausgedehnte buschartige Vegetation am Rande des Lagunensystems.

Das Faziesmodell beruht auf Ergebnissen von Untersuchungen in unterschiedlich alten Ablagerungen. Es ist sozusagen ein vorläufiges hypothetisches Grundmuster, das vermutlich in den verschiedenen geologischen Zeiten entsprechend lokaler Gegebenheiten sehr differenziert betrachtet werden muß. Im Faziesmodell liegt sowohl eine Raumachse (Betrachtung der Zonen, wie zuvor beschrieben, im Raum nebeneinander) als auch eine Zeitschiene, auf der in jedem der untersuchten Oberjura-Becken geologisch verschieden alte Fazieszonen im Raum übereinander gelagert sind. In diesem Zusammenhang muß betont werden, daß zu jedem definierten Zeitraum im Oberkimmeridgium/Untertithonium immer nur Ausschnitte aus dem Gesamtgeschehen am Nordrand der Tethys zugänglich sind. Nach von FREYBERG (1968) setzt die Plattenkalksedimentation in der westlichen Altmühlalb etwas später ein als im Osten. Vermutlich hängen diese Unterschiede mit dem unterschiedlichen Verlauf der Küsten im Osten (Böhmische Küste) und derjenigen im W/NW (Fränkische Küste) zusammen. Aufgrund der unterschiedlichen Küstenlage kann die Paläogeographie der Altmühlalb westlich von Schamhaupten, die in dieser Arbeit behandelt wird, nicht ohne weiteres auf die Ostgebiete vor der Böhmischen Insel übertragen werden.

Im folgenden wird das Faziesmodell nur für die Südliche Frankenalb westlich von Schamhaupten bis Langenaltheim diskutiert. Betrachtet man in diesem Gebiet die Fazieszonen auf der Raumachse nebeneinander und legt sie nun auf die Zeitebene der Solnhofen-Zeit (fränkischer Malm Zeta 2b), korrespondiert das Modell automatisch in einigen Grundzügen mit der von BARTHEL (1978) entworfenen Paläogeographie, nur sind in dem Faziesmodell bereits Plattenkalktypen differenziert und in ihrer paläogeographischen Position und der Lage zu den aktiven Riffen bestimmt. Bedingt dadurch sind theoretische Ableitungen möglich, die über die Ergebnisse von BARTHEL (1978) und damit über die nachfolgenden, ähnlichen paläogeographischen Modellvorstellungen (VIOHL 1992-94) hinausgehen, z.B.: während die Solnhofener Plattenkalke in einem riff-fernen niedrigerenergetischen System (KEUPP 1994) entstanden, kamen möglicherweise gleichzeitig landferner in einem hochenergetischen Bereich Kieselplattenkalke des Zeta 2b zum Absatz. Nach dem Faziesmodell stünden sie sowohl mit einem Riffgürtel als auch mit der offenen Tethys in Verbindung. Da Kieselplattenkalke und Riffgürtel faziell zusammenhängen, wird durch die Ableitung der von BARTHEL (1978) für die Solnhofen-Zeit postulierte Riffgürtel durch das Faziesmodell erneut gefordert. Will man Kieselplattenkalke im Zeta 2b annehmen und sie in das BARTHEL-Modell von 1978 einfügen wollen (Abb.29), lägen sie vielleicht in den Beckenbereichen hinter dem Riffgürtel, über deren Sedimente BARTHEL noch keine Auskünfte geben konnte. Wird das Faziesmodell in die Schamhaupten-Zeit gelegt, ergibt sich folgende Ableitung: Während die Kieselplattenkalke des Oberkimmeridgium/*?subeumela*-Subzone nahe eines Riffgürtels des fränkischen Malm Epsilon 1 entstanden, wurden möglicherweise landnäher, vielleicht in einem heute nicht mehr zugänglichen Bereich, gleichzeitig feinstkörnige lithographische Plattenkalke abgelagert, die faziell Ähnlichkeiten zum Typ Solnhofen zeigen könnten. Schon von FREYBERG (1968) hat darauf hingewiesen, daß im Oberkimmeridgium/Untertithonium im Prinzip zu jeder Zeit jede Fazies

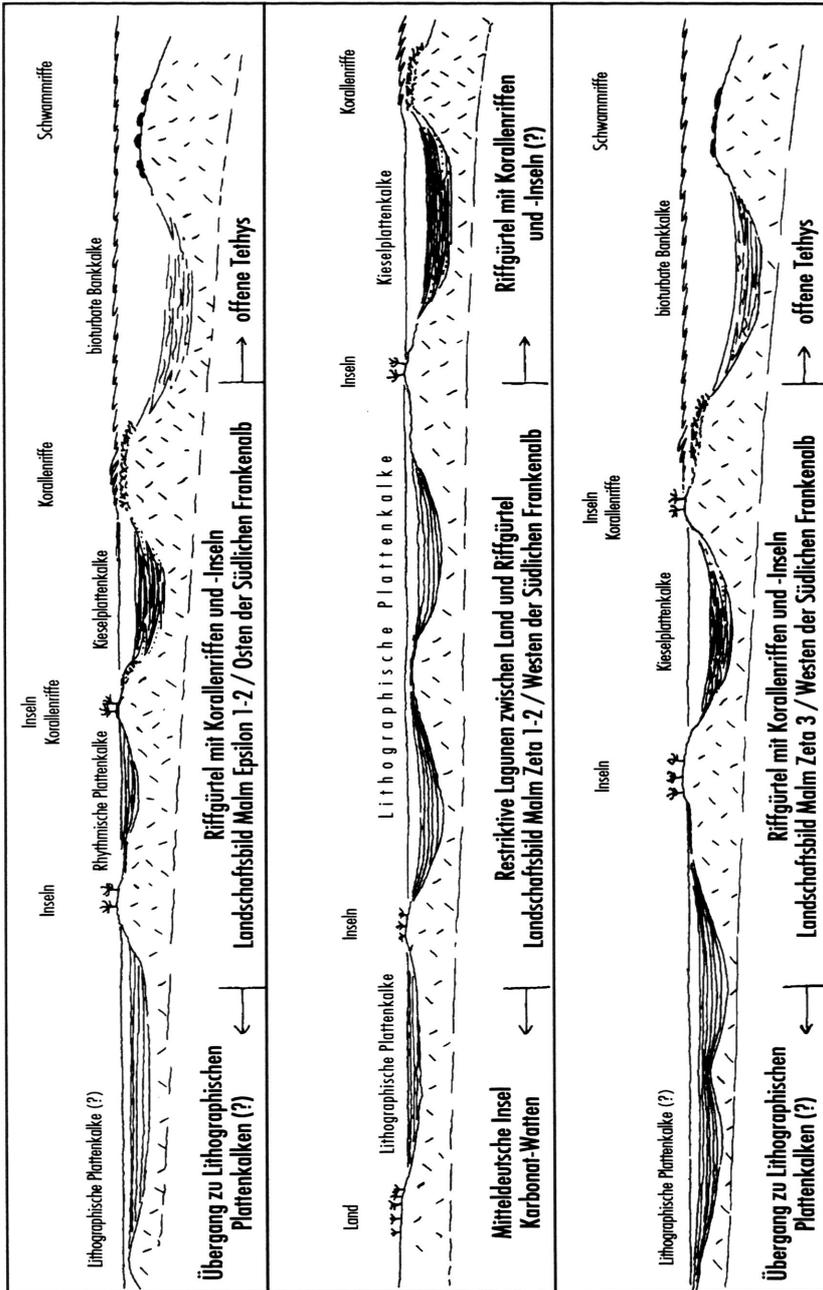


Abb.29: Modelle für eine schematische Rekonstruktion von Lagunenlandschaften im Oberjura der Südlichen Frankenalb

jede andere Fazies lateral ersetzen konnte, wobei unter Berücksichtigung der Faziesregel von Johannes WALTHER Fazieszonen illegitime Zeitgrenzen sind. Wie und ob alle Fazieszonen lokal entwickelt waren, hängt letztlich von lokalen Gegebenheiten ab, die in den langen Zeiträumen im Oberkimmeridgium/Untertithonium verschieden gewesen sein können ("Großfaziesräume") und lokal bedingte Tendenzen bei von FREYBERG (1968) und RÖPER (1992). Es wäre aber auch denkbar, daß der paläogeographische Grundbauplan (offene Tethys, Riffgürtel, restriktive Gebiete zwischen Land und Meer, Wattenzone, Land) ebenso durchgehend bestanden hat, wie es weitere landschaftliche Baueinheiten gegeben haben könnte. Letztendlich werden zukünftig für jede geologische Zeit getrennte Faziesmodelle zu erstellen sein, um die Entwicklungstendenz im Obermalm der Südlichen Frankenalb besser erkennen zu können. Für die Mittlere Frankenalb ergeben sich Hinweise auf eine Plattenkalkentstehung auch in sehr kleinen, landschaftlich mit Atoll-Lagunen vergleichbaren Positionen (RÖPER & ROTH-GAENGER 1996b, c). Sollten solche Positionen auch auf der südlichen Frankenalb vorkommen, wird das Bild der flachen Karbonatplattform vielgestaltig. Solange die biostratigraphischen Datierungen einzelner Fazieszonen in den verschiedenen Becken noch nicht geklärt sind, werden weiterhin Hypothesen bleiben müssen, allerdings gibt das Faziesmodell vielleicht eine mögliche Anregung für eine weitergehende Diskussion. Denn im Faziesmodell wird davon ausgegangen, daß sich die Zonen A-E in Zeit und Raum gegeneinander verschieben konnten, so daß heute landnähere und landferne Zonen in den Beckenprofilen übereinanderliegen. Nachfolgend wird der Versuch unternommen, das Faziesmodell in seinen Grundzügen in einer festgelegten räumlichen Position auf der Zeitschiene vom Oberkimmeridgium (*subeumela*-Subzone) bis zum Untertithonium (*moernsheimensis*-Subzone) zu betrachten. Ausgewählt wird die Typusregion der Solnhofener und Mörnshheimer Schichten (Abb.30), das untersuchte Profil des Solnhofener Beckens (MEYER & SCHMIDT-KALER 1990, RÖPER 1992, KEUPP 1994). Auf der Zeitschiene liegen verschiedene Fazieszonen im Raum übereinandergeschichtet.

1. Torleite-Formation (Oberkimmeridgium bis *setatum*-Subzone): Zone A, Bankkalke und aktives Riffwachstum, offene marine Bedingungen,
2. deutlicher Hiatus im Oberkimmeridgium (SCHWEIGERT & ZEISS 1994); danach "Rote Mergel-Lage" (MEYER & SCHMIDT-KALER 1983:133, RÖPER 1992:45, Abb.31): Fazieszone B, geringmächtige Kieselplattenkalke; verbunden mit einer ersten Teilrestriktion des Beckens,
3. Röglinger Bankkalke (Untertithonium, fränkischer Malm Zeta 1): Fazieszone A: Wiederaufhebung der Abschottung des Beckens; fortschreitende Riffentwicklung, offen-marine Bedingungen,
4. Dachsteinhorizont am Top der Röglinger Bankkalke: kurzzeitiger Umschlag in die Fazieszone B, Kieselplattenkalke (ähnlich wie in der Roten Mergel-Lage kaum entwickelt, völlig im Gegensatz zum Becken von Schamhaupten/Zandt); Absterben der Riffe,
5. mergelig-kalkige untere Solnhofener Plattenkalke (fränkischer Malm Zeta 2a): abrupter Umschlag in die Fazieszone C, die hier schon deutliche Anklänge an Zone D zeigt, vermutlich deshalb im Solnhofener Becken ein Totrelief. Spurenschiefer belegen Bodenleben, vielleicht in einer strömungsaktiven Zone mit erhöhter Tonzufuhr von Land,
6. kalkige, homogene makrobenthosarme bis freie obere Solnhofener Plattenkalke (fränkischer Malm Zeta 2b, *rueppellianus*-Subzone, untersuchtes Profil Mörnshheim 1): stärkste Restriktion des Beckens, Verfüllung verbliebener Totreliefs, Übergreifen der Sedimentation auf Schwel-

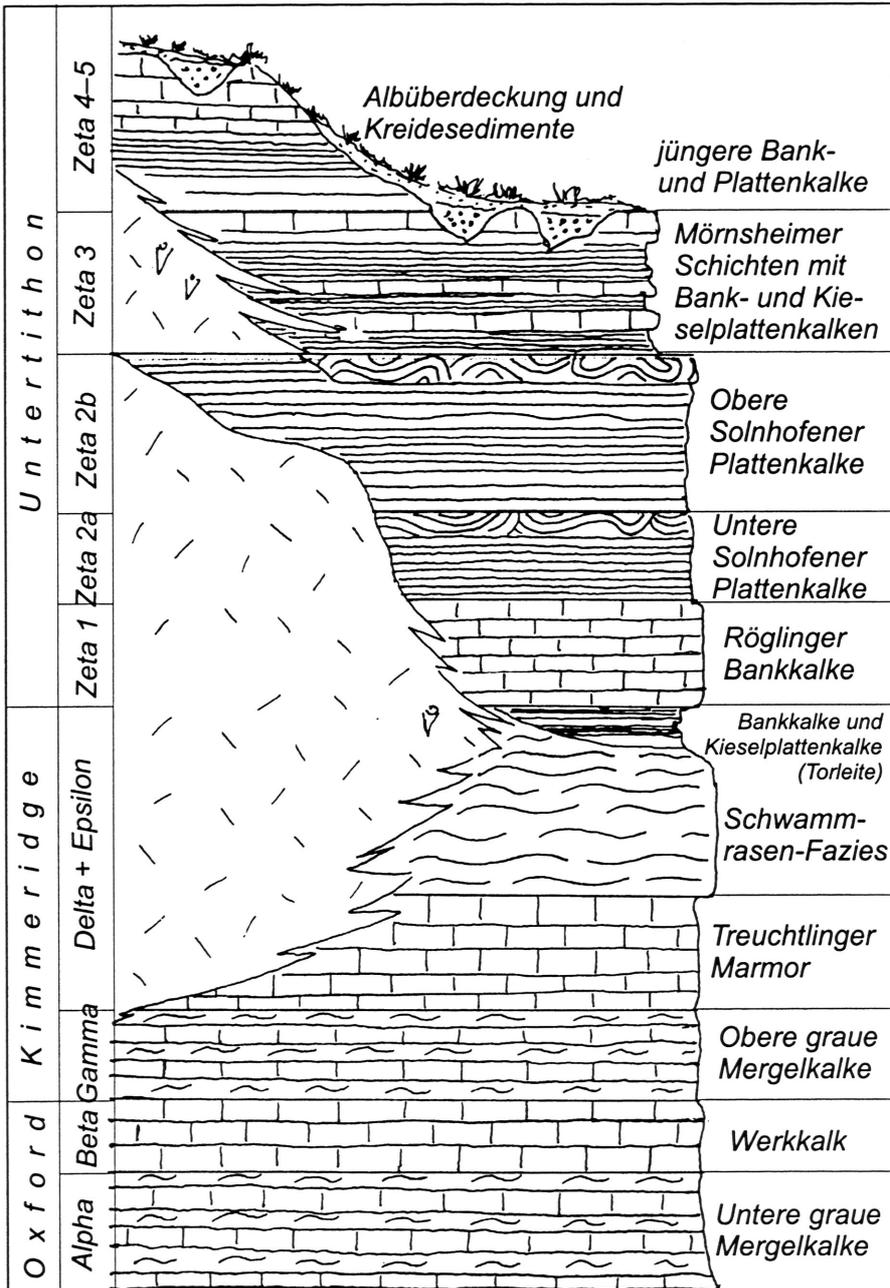


Abb.30: Geologisches Profil der Ablagerungen vom Malm Alpha bis zum Malm Zeta bei Solnhofen

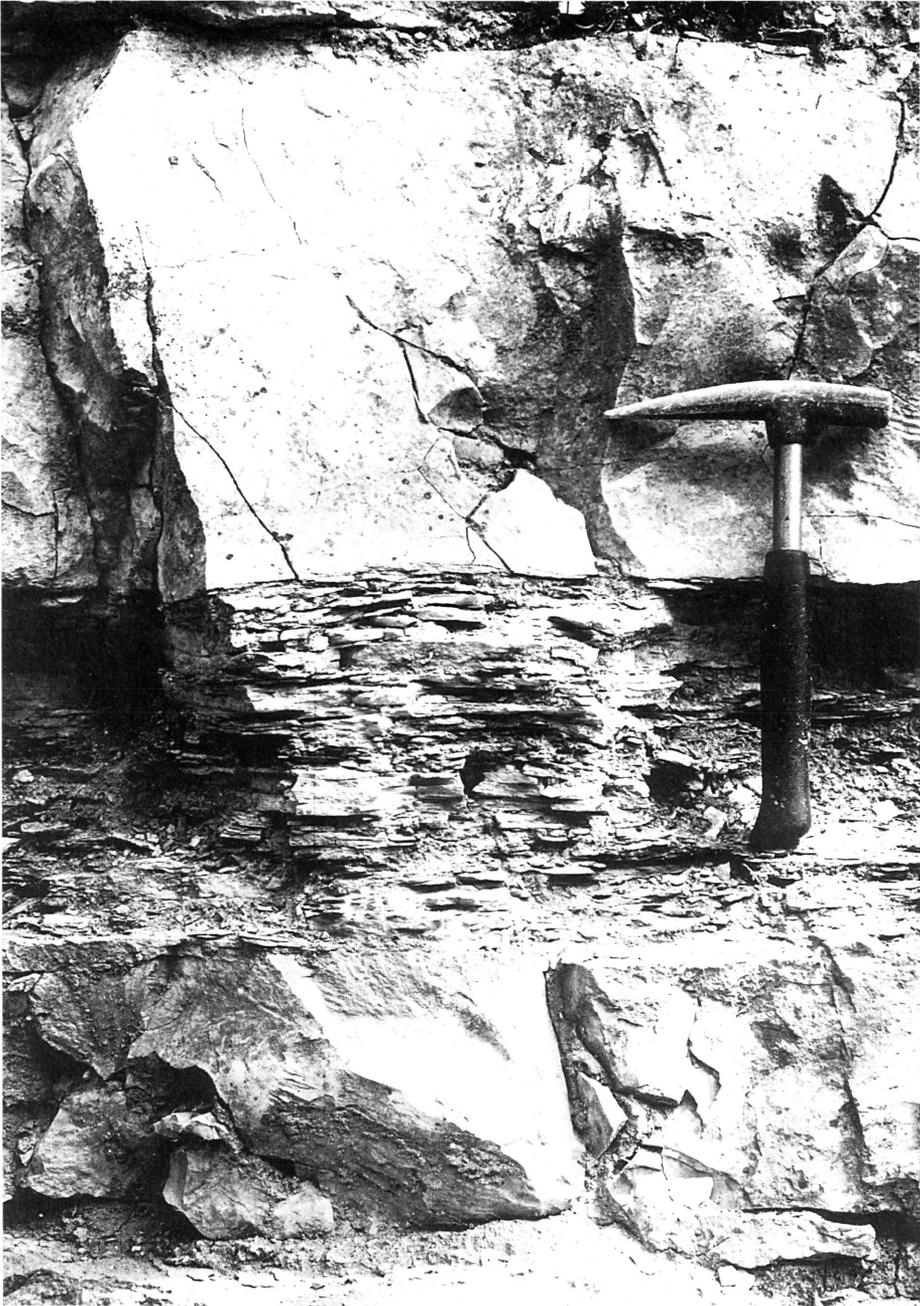


Abb.31: Dünnes Band von Kieselplattenkalken inmitten von bioturbaten Bankkalken; Oberkimmeridgium, Malm Epsilon, Torleite an der Straße von Altendorf nach Hagenacker im Altmühltal

lenbereiche, Reliefausgleich und zumindest partielle Zudeckung von abgestorbenen Riffen im Randgeschehen. Bodenleben in Beckenrandlage (Haunsfelder Plattenkalk, JANICKE 1967, 1969, RÖPER 1992). Am Top der Solnhofener Plattenkalke ausgedehnte Sedimentationsflächen lokal mit hardgrounds (regressiver Einschnitt). Mit dem Top der Oberen Solnhofener Plattenkalke ist praktisch das Ende der alten Beckenentwicklung erreicht. Die Grenze Zeta 2/3 ist vermutlich mit einem erneuten Hiatus verbunden ("Vorrennertshofener Diskordanz"). Gleiches dürfte für das Eichstätter Becken gelten, das zuvor eine ähnliche Faziesentwicklung durchlaufen hat (von EDLINGER 1964, MEYER & SCHMIDT-KALER 1991, RÖPER 1992 u.a.). Mit Einsetzen der Mörsheimer Schichten beginnt die Sedimentation mit der beckenübergreifenden Ablagerung der jüngeren Kieselplattenfazies (FESEFELDT 1962), und damit ein sich veränderndes paläogeographisches Bild,

7. Mörsheimer Schichten, tiefer Teil (fränkischer Malm Zeta 3, *moernheimensis*-Subzone), Fazieszone C-B nach B. Kieselplattenkalke, lokal noch mit Einschaltung homogener Flinze sowie tonig-fäuligen Partien. Einsetzen eines erneuten Korallenriffwachstums (Aufleben der jüngeren Riffgeneratoin, von FREYBERG 1968), dadurch Neuentstehung von Beckenreliefs (post-Solnhofener Beckenentwicklung),

8. Mörsheimer Schichten, höherer Teil: Zone A, weitere Bankkalkserien und fortschreitende Riffentwicklung.

In der Fazieszonierung des Solnhofener Beckens zeigt sich beim Nanoplankton eine Entwicklung, der zufolge sich im Zeta 2 ein transgressiver Zyklus mit einem Meeresspiegelmäßigstand (KEUPP 1994) ergeben würde. In diesem Befund zeigt sich die ganze Komplexität des Solnhofener Plattenkalks, der im Typusegebiet als mächtigstes Paket zwischen einer älteren und jüngeren Riffgeneration bzw. Kieselplattenfazies erscheint. Zunächst wird im Zeta 2b die Annäherung der Mitteldeutschen Insel nicht erreicht, das Festland rückt nicht bis nach Solnhofen vor, mit Ausnahme der Tongehalte fehlen terrestrische Einflüsse. Statt dessen stagniert die Faziesentwicklung über einen Zeitraum hinweg, wodurch im Solnhofener Becken die Fazieszone D z.T. abnorme Schichtmächtigkeiten erreicht. So enthält das Solnhofener Typusegebiet in der etwas tieferen Plattenkalkfazies bis zu etwa 60 m mächtige relative Flachwasserablagerungen. Wenn KEUPP (1994) zugestimmt wird, müßte bei steigendem Meeresspiegel die Karbonatproduktion und der Karbonatabsatz den Anstieg ausgeglichen oder überholt haben. Demnach müßte innerhalb des Zeta 2b eine leichte transgressive Entwicklung eingesetzt haben, die jedoch schon gegen Ende des Zeta 2b zunächst wieder abgeklungen war. Möglicherweise konnte sich durch den hohen Karbonatabsatz über längere Zeit hinweg ein lagunäres Flachwassermilieu etablieren (denkbar wäre diese Entwicklung prinzipiell auch bei Subsidenz des Untergrundes, RÖPER 1992). GERHARD & RÖPER (1992) gingen noch davon aus, daß in den Beckenprofilen ausschließlich verschieden alte Wattenmeere übereinander gelagert sind. In dieser Vorstellung gibt es zwischen Riffen und Land kein breites lagunenartiges System, sondern hinter den Riffen vornehmlich tidal flats. Sind bei BARTHEL (1978) und VIOHL (1994) die Plattenkalke in Schwellenposition zu wenig berücksichtigt, so erscheinen bei RÖPER & GERHARD (1992) solcher in Schlüsselpositionen zu wenig betrachtet. Die Problematik in diesem Modell, das sowohl die Fazieszonierung von RÖPER (1992) als auch die Wattenvorstellung von GERHARD (1992) berücksichtigt, liegt vermutlich darin, daß die Zonen B und D räumlich zu eng gefaßt wurden. Eine wesentliche Rolle spielte dabei die Daitinger Lagerstätte, für die damals noch Landnähe vermutet wurde. Nach GERHARD &

RÖPER (1992) war der Landpflanzenreichtum von Daiting auch auf Einschwemmung vom Festland zurückgeführt worden. Nun haben aber gerade die Untersuchungen der nachfolgenden Jahre in dem sehr landpflanzenreichen Brunner Plattenkalk Indizien für eine Ablagerung von Brunn in einer von Koralleninseln umsäumten Lagune in einem Riffgürtel ergeben (RÖPER & ROTHGAENGER 1996 b, c). Brunn zeigt, daß Landpflanzenreichtum im Plattenkalk kein Indiz für Festlandnähe ist. Ähnliches ist daher auch für Daiting und Schamhaupten diskutierbar. Aus diesen und den schon zuvor dargelegten Ergebnissen wird die Paläogeographie von GERHARD & RÖPER (1992) dahingehend korrigiert, daß vielleicht a) nur die Zone D in Verbindung mit einem möglichen Wattengürtel steht, während b) die Zone B in Verbindung mit Riffgürteln gestanden hat. Tidale Bildungen konnten wahrscheinlich in den Zonen B-E vorkommen, je nach Reliefunterschieden in den Becken.

Früher war allgemein von einer "Lebensfeindlichkeit" der Plattenkalk-Ablagerungsräume ausgegangen worden. Geprägt wurde diese Meinung offensichtlich von Auswahlmmlungen, in denen Kopolithen echte Raritäten sind. Die Profilaufnahmen haben in allen Biotopen Hinweise auf intakte Nahrungsketten zumindest zeitweise ergeben. Begründet wurde die Lebensfeindlichkeit vor allem aber auch durch fehlendes Bodenleben und nicht vorhandene Aasfresser (BARTHEL 1978, VIOHL 1994). Jedoch kann schon eine breiige Konsistenz des Lagunenbodens bzw. mangelnde Standfestigkeit des Sedimentes zu einem Ausbleiben von Bodenleben führen. Im Plattenkalk zeigt sich dieses immer dann, wenn stärkere Strömungen (damit verbunden Nahrungszufuhr) vorhanden waren, sehr mergelige Komponenten vorlagen oder wenn die entsprechenden Schichtabschnitte wechselhafte lithologische Gefüge enthielten. Einige Beispiele:

- a) Spurenhorizonte in mergeligen Intervallen zwischen den Flinzen, Brunner Plattenkalk (RÖPER & ROTHGAENGER 1996b,c),
- b) Spurenhorizonte mit Kriechspuren von Mollusken im Unteren Solnhofener Plattenkalk, in Schichtabschnitten mit Bodenströmung (Abb.32),
- c) ausgeprägte Spuren- und Grabhorizonte in tonig-mergeligen Plattenkalken bei Hienheim (KUTSCHER & RÖPER 1995),
- d) Spuren und Grabhorizonte in einer Beckenrandlage, Haunsfelder Plattenkalk (JANICKE 1967, RÖPER 1992),
- e) Grabganghorizonte in einer Mischfazies mit Rippelmarken, Profil Mörsheim 2,
- f) Schneckenhorizonte im Bereich stark strömungsbeeinflusster Lagen, Profil Schernfeld 1a,
- g) lokale hardgrounds.

Gemieden wurden von den benthischen und endobenthischen Spezialisten offensichtlich homogene zentrale Beckenbereiche (in denen die Steinbrüche liegen, aus denen wohl über 90% des Sammlungsmaterials stammen) sowie vermutlich etwas tiefere Lagen, in denen aufgrund der Restriktion von der offenen See die Frischwasserzufuhr eingeschränkt war. Leider ist die Ichnofauna der südfränkischen Oberjuravorkommen unbearbeitet, wodurch Regelmäßigkeiten in der Verbreitung von Grabgängen und Spurentypen erst schemenhaft erkannt werden können (RÖPER & ROTHGAENGER 1996c). Das Vorkommen von Bodenleben im Unteren Solnhofener Plattenkalk deutet aber zum jetzigen Zeitpunkt gegen eine Ablagerung der Solnhofener Plattenkalke in einer Stagnatlagerstätte. Denn in einer solchen dürften in ihrem tieferen Abschnitt reine Stagnatsedimente ohne jegliches Bodenleben erwartet werden. Erst mit Verfüll-



Abb.32: Lithographischer Plattenkalk mit Kriechspuren von Mollusken, vermutlich Muscheln (20 x 10 cm); Malm Zeta 2a, Ziegelhofer Berg bei Eichstätt



Abb.33: Tonig mergelige Schichtfläche mit *Saccocoma pectinata*, durch wechselnde Strömungsrichtungen seitlich eingebettet und eingeregelt (12 x 10 cm); Malm Zeta 2a, Ziegelhofer Berg bei Eichstätt

lung der Lagerstätten und der damit verbundenen Verflachung könnte sich bei besserer Durchlüftung im oberen Abschnitt erstes Bodenleben einstellen. So verlief im Eichstätter Becken die Entwicklung entgegengesetzt zu dieser Schilderung. In Zeta 2a erschienen zuerst die Spurenschiefer und danach entstanden im Zeta 2b die makrobenthosfreien Schichten, zu denen auch die untersuchten Schernfelder Profile gehören. Das nach oben hin aussetzende Bodenleben hängt vermutlich auch mit der Faziesänderung und dem Umschlag von mergelig-kalkigen zu rein kalkigen Plattenkalken zusammen, die wahrscheinlich in einem tieferen Ablagerungsraum als im Zeta 2a entstanden sind und für die aufgrund der Parallelen zu den Brunner Spurensassoziationen sehr flache Bildungsbereiche angenommen werden können. Der obere Solnhofener Plattenkalk zeigt eine deutliche Zunahme der Karbonatproduktion, verglichen mit den unteren "Schiefern". Die Sedimentation wäre allochthon in bezug auf das lokale beckeninterne Wannenerelief. Soweit besteht Übereinstimmung mit der Geochemie der Kalksteine (BAUSCH; VIOHL, BERNIER et al. 1994). Aber aufgrund der dargelegten Unterschiede zwischen den Profilen Schernfeld und Mörsheim dürfte es in der Zone D einen autochthonen Karbonatproduzenten gegeben haben. Zwar wäre er auch in allen anderen Plattenkalktypen mitvertreten, aber in Zone D wäre er dominant. Vermutlich liefert er die Hauptmasse des sterilen Sediments. Vielleicht entstanden in Zone D auf dem feinstkörnigen, homogenen Lagunenboden ausgedehnte Karbonatwüsten, die mit der Restriktion des Gebiets und der relativen Entfernung zum Riffgeschehen und der offenen See zusammenhängen. Fehlendes Benthos und Endobenthos ist generell kein sicherer Hinweis auf größere Wassertiefen oder geschichtete Wasserkörper mit einer lebensfeindlichen, vermutlich hypersalinen Bodenzone. Inwiefern sich Teile der Zone D in ihren flachen Schwellenpositionen mit einer Wattzone verzahnen konnten, kann nur durch weitere Bearbeitung von solchen Schichtabschnitten im Solnhofener Plattenkalk geklärt werden, die von der Steinindustrie aufgrund ihrer "qualitätsmindernden Eigenschaften" wie Störungen im Schichtlagerungsgefüge, dünnplattige Schichten, Bankeinschlaltungen, Ammonitenrollmarken bislang kaum erfaßt wurden. Hierfür ist mit den Teilprofilen Schernfeld 1a und 1b ein erster Ansatz gelegt. Früher wurden diese in die Mörsheimer Schichten gestellt. Die Revision der Stratigraphie und ihre jetzige Lage im Malm Zeta 2b (= obere Solnhofener Plattenkalke) führte bereits zu einem sich etwas wandelndem Bild über die Solnhofener Lagerstätten. Die systematischen Profilaufnahmen widerlegen die Ansicht einer generellen Lebensfeindlichkeit. Tatsache ist, daß der Solnhofener Plattenkalk zumindest in einigen Schichtabschnitten - ähnlich wie der Brunner Plattenkalk - Kinderstubenfaunen enthält, also nahe Aufzuchtplätze sowohl für Krebstiere als auch für Fische gefordert werden müssen. In allen Plattenkalktypen zeichnen sich durch ein jeweils signifikantes Spektrum von Koprolithen und Fraßresten intakte Nahrungsketten ab. Dies zieht die abschließende Forderung nach einem physikalischen Motor für eine Wassererneuerung mit sich. Hierfür kommen nach wie vor auch Tiden in Frage, die in den lagunären Systemen mit sinkenden und steigenden Wasserständen die Ökosysteme zwischen Riffgürteln und Land möglicherweise mitgestaltet haben. Demnach könnte eine mögliche Ursache für die diskutierten Niedrigwasserstände auch mit Nipptiden in Verbindung gebracht werden.

### Ausblick

Die Profilbearbeitungen erfaßten vornehmlich Schichtabschnitte außerhalb der "klassischen Solnhofener Fazies"; letztere beschreibt im Prinzip nur den mittleren Abschnitt des fränkischen Malm Zeta 2b bei Solnhofen/Langenaltheim und Eichstätt. Nur er zeigt durchgehend ruhige Lagerungsverhältnisse mit ungestörter Feinschichtung. Daher wird er von der Steinindustrie bevorzugt erfaßt. Tiefere und besonders höhere Abschnitte werden gerne ausgespart. Kieselplattenkalke sind für die Industrie sogar Abraum. Die klassischen Schichten wurden in den Profilen Schernfeld 1b und 2 sowie Mörsheim 1 (unterer und mittlerer Abschnitt) bearbeitet. Der zweite Schwerpunkt lag in der Untersuchung von Schichten in der unruhigen Sedimentationsphase der höchsten Solnhofener Plattenkalke. Sie wurden mit den Profilen Schernfeld 1a und 1b sowie Mörsheim 1 (oberer Abschnitt) erstmals detailliert untersucht. Dritter Schwerpunkt waren Kieselplattenkalke unterschiedlichen Alters, von denen zuvor ebenfalls, mit Ausnahme der Darstellung von Daiting (JANICKE 1969), keine systematischen Beschreibungen vorlagen.

Insgesamt betrachtet überwogen Untersuchungen im Liegenden und Hangenden der Zeta 2/3-Grenze, die vermutlich mit einem Hiatus verbunden ist. All jene Abschnitte wiesen Charakterzüge auf, die im Verlauf des Gesamtprojekts mit den allgemeinen Vorstellungen von Stillwassermilieus mit größeren Wassertiefen kaum in Einklang gebracht werden konnten. Zwangsläufig orientierte man sich zunächst noch an älteren Modellvorstellungen zur Entstehungs- und Ablagerungsgeschichte der Solnhofener Vorkommen (GERHARD & RÖPER 1992). Schließlich wurden eine ganze Reihe von Profilabschnitten wie Krumme Lagen mitbearbeitet, die alles andere als ungestörte Feinschichtung zeigten. Die Profilbearbeiter R. Barfeld, H. Brüll, G. Pösges, M. Röper (Arbeitsgruppe Mörsheim 1 und 2), U. Gerhard, T. Mörs, S. Weiershäuser (AG Schernfeld 1a), A. Golasowski, J. Krüger (AG Schernfeld 1b), C. Peitz, S. Stolzenburg (AG Schernfeld 1c und 2), U. Gerhard & M. Röper (AG Schamhaupten u. Langenaltheim) haben eine Fülle horizontierter Datensätze erhoben. Inzwischen sind die Profilbearbeitungen am Naturkundemuseum Ostbayern in Regensburg fortgesetzt worden. Da die hier beschriebenen Profile in Ablagerungen ohne nennenswertes Bodenleben lagen, wurden in neuerer Zeit Vorkommen mit Bodenleben untersucht (Hienheimer Plattenkalk, KUTSCHER & RÖPER 1995, Brunner Plattenkalk, RÖPER & ROTHGAENGER 1995, 1996a,b,c). Durch neuere Arbeiten, die regionalgeologisch auch die Mittlere Frankenalb in der Oberpfalz berücksichtigen, ergeben sich erste Ansätze für eine Differenzierung verschiedener Plattenkalaktypen auf der Grundlage lithologisch-makropaläontologisch kombinierter Säulenprofile (RÖPER & ROTHGAENGER 1996c). Die Schwierigkeit der Interpretation besteht im enormen Bildungszeitraum, in dem Plattenkalke unterschiedlicher paläogeographischer Positionen nahe und fern vom aktiven Riffgeschehen und Inseln entstehen konnten. Offene Fragestellungen enthalten möglicherweise Anregungen für weitere Untersuchungen in den reichhaltigen Aufschlüssen der Fränkischen Alb. Je mehr Profile aus unterschiedlichen Ablagerungen vorliegen, desto bessere Vergleiche ergeben sich zwischen den einzelnen Lagerstätten. Zumindest scheint nachgewiesen zu sein, daß Plattenkalke in unterschiedlichen Milieus und Wassertiefen entstehen konnten. Schon aus diesem Grund ist die paläoökologische Bearbeitung einzelner Plattenkalklagerstätten, auch auf Grundlage von Säulenprofilen, eine sinnvolle Ergänzung zu bisherigen Untersuchungen von Makrofossilien, die aus Sammlungsbeständen stammen.

### Danksagung

Für die Betreuung meiner Arbeiten bei Mörsheim und Schamhaupten danke ich Herrn Prof. Dr. Horst Remy (Institut f. Paläontologie der Universität Bonn). Mein besonderer Dank gilt den Diplom-Geologen Irene Krüger, Sabine Stolzenburg und Christian Peitz (Universität Bonn). Durch Bereitstellung ihrer Schernfelder Ergebnisse wurde mir die vollständige Zusammenfassung der Profile ermöglicht. Herr Dr. Uwe Gerhard (Stein bei Nürnberg) stellte dankenswerterweise sein Bildmaterial von den Seychellen zur Verfügung. Danken möchte ich Herrn Prof. Dr. Helmut Keupp (FU Berlin), Dr. Gerd Dietl und Dr. Günter Schweigert (Staatliches Museum für Naturkunde Stuttgart) für hilfreiche Diskussionen über Sedimentsackungen, Wirtelalgen und stratigraphische Fragestellungen. Herr Dr. Günter Viohl (Jura-Museum Eichstätt) ermöglichte die Bearbeitung von Schamhaupten, Klaus Rothgaenger (Kallmünz) und Franz Höck (München) erledigten die Fotoarbeiten in gewohnt guter Qualität. Frau Monika Rothgaenger (Kallmünz) hat mir durch ihre detaillierten und äußerst genauen Profilaufnahmen im Brunner Plattenkalk sehr kostbare Vergleichsmöglichkeiten zu den Profilen auf der Südlichen Frankenalb geschaffen, so daß ich ihr zu großem Dank verpflichtet bin.

### Literaturverzeichnis

- ABEL, O. (1922): Lebensbilder aus der Tierwelt der Vorzeit. - 643 S., 1 Farbtaf.; Jena (Fischer)
- ALDINGER, A. (1930): Über die Entstehung der Kalkschiefer des oberen Weißen Jura von Nusplingen in Württemberg. - Cbl.Min.Geol.Paläont., 8, 257-267; Stuttgart
- BARTHEL, K.W. (1964): Zur Entstehung der Solnhofener Plattenkalke (unteres Untertithon). - Mitt.Bayer.Staatsslg.Paläont.hist.Geol., 4, 37-69, Taf.8-11, 1 Abb.; München
- (1966): Concentric marks: current indicators. - J.Sed.Petrol., 36, 1156-1162; Tulsa
- (1970): On the deposition of the Solnhofen lithographic limestone (Lower Tithonian Bavaria, Germany). - N.Jb.Geol.Paläontol,Abh., 135, 1-18; Stuttgart
- (1972): The genesis of the Solnhofen lithographic limestone (Low.Tithonian): further data and comments. - N.Jb.Geol.Paläontol,Abh., 135, 1-18; Stuttgart
- (1974): Limulus: a living Fossil. Horeshoe Crabs and Interpretation of an Upper Jurassic Environment (Solnhofen). - Naturwissenschaften 61, 428-433, 6 Abb.; Heidelberg
- (1976): Coccolithen, Flugstaub und Gehalt an organischen Substanzen in Oberjura-Plattenkalken Bayerns und SE-Frankreichs. - Eclogae geol.Helv., 69, 627-639; Basel
- (1978): Solnhofen - Ein Blick in die Erdgeschichte. - 393 S., 16 Farbtaf., 64 Taf., 50 Textabb.; Thun (Ott)
- BARTHEL, K.W., N.H.M. SWINEBURNE & S. CONWAY MORRIS (1990): Solnhofen. A study in Mesozoic palaeontology. - 236 pp., 144 figs.; Cambridge, New York a.o. (Cambridge University Press)
- BAUSCH, W.M. (1963): Der Obere Malm an der unteren Altmühl - Nebst einer Studie über das Riff-Problem. - Erlanger Geol.Abh., 49, 38 S, 7 Taf., 22 Abb.; Erlangen
- BAUSCH, M., G. VIOHL et al. (1994): Eichstätt and Cerin: Geochemical comparison and definition of two different plattenkalk types. - GEOBIOS, M.S.16, 107-125; Lyon
- BAUSCH, W.M. & A. ZEISS (1966): Zur Zusammensetzung des Kelheimer Riffkalkes. - Geol.Bl. NO-Bayern, 16, 240-242, 1 Tab.; Erlangen

- BERNIER P. & G. BARALE et al. (1985): Cerin - Une lagune Tropicale au Temps des Dinosaures. - 136 S., zahlr. Abb.; Lyon
- BRÜLL, H.J. (1988): Zur Lithologie und Fauna der Oberen Solnhofener Schichten im Steinbruch "Hummelberg", Mörsheim, Fränkische Alb, und Erläuterungen zur geologischen Karte des Rebdorfer Waldes (Fränkische Alb), Blatt 7132 Dollstein. - 113 S., Diplomarbeit Univ. Bonn
- BUISONJÉ, P.H. de (1972): Recurrent red tides, a possible origin of the Solnhofen Limestone (I/II). - Proc.K.Nederl.Akad.Wetensch. (B), 75, 2, 152-177, 2 Abb.; Amsterdam
- (1985): Climatological Conditions During Deposition of the Solnhofen Limestones, in: M.K. Hecht, J.H. OSTROM et al.: The Beginnings of Birds. - Proceedings of the International Archaeopteryx Conference Eichstätt 1984, 45-65, 8 Abb.; Eichstätt
- EDLINGER, G. von (1964): Faziesverhältnisse und Tektonik der Malmtafel nördlich Eichstätt/Mfr. Mit feinstratigraphischer und paläogeographischer Bearbeitung der Eichstätter Schiefer-Vorkommen. - Erlanger Geol.Abh. 56, 75 S., 2 Taf., 37 Abb.; Erlangen
- (1966): Zur Geologie des Weißen Jura zwischen Solnhofen und Eichstätt. - Erlanger Geol.Abh., 61; Erlangen
- FESEFELDT, K. (1962): Schichtenfolge und Lagerung des oberen Weißjura zwischen Solnhofen und der Donau (Südliche Frankenalb). - Erlanger Geol.Abh., 46, 80 S., 2 Taf., 2 Tab., 30 Abb.; Erlangen
- FLÜGEL, E. (1982): Microfacies Analysis of Limestones. - 633 S.; Berlin, Heidelberg u.a. (Springer)
- FLÜGEL, E. et al. (1975): Kapfelberg, in: International Symposium on Fossil Algae, Guide Book; Erlangen
- FREYBERG, B. von (1964): Geologie des Weißen Jura zwischen Eichstätt und Neuburg/Donau (Südliche Frankenalb). - Erlanger Geol.Abh., 54, mit 6 Abb., 11 Taf.; Erlangen
- (1968): Übersicht über den Malm der Altmühlalb. - Erlanger Geol.Abh., 70, 40 S., 5 Abb., 4 Taf.; Erlangen
- FRICKHINGER, K.A. (1994): Die Fossilien von Solnhofen. - Eine Dokumentation der bekannten Fossilarten; Korb (Weidert)
- FRISCHMANN, L. (1853): Versuch einer Zusammenfassung der bis jetzt bekannten Thier- und Pflanzen-Überreste des lithographischen Kalkschiefers in Bayern. - 46 S.; Eichstätt (Lyceumsprogramm)
- GAILLARD, C., P. BERNIER & Y. GRUET (1994): Le lagon d'Aldabra (Seychelles, Océan Indien), une modèle pour le paléoenvironnement de Cerin (Kimmeridgien supérieur, Jura meridional, France). - GEOBIOS, M.S.16, 331-348, 12 Fig.; Lyon
- GERHARD, U. (1990): Beitrag zur Kenntnis des höheren Malm Zeta 2 b in der Obereichstätter Wanne/Profil Imberg/Schernfeld (Südliche Frankenalb) und Erläuterung zur Geologischen Karte im Raum NE von Altenstetten (Südliche Frankenalb). - 103 S., Diplomarbeit, Univ. Bonn
- (1992): Beitrag zur Deutung des Ablagerungsraumes der Plattenkalke der Altmühlalb. - Dis.Univ. Bonn
- GERHARD U. & T. MÖRS (1991): Ergebnisse einer feinstratigraphischen Profilaufnahme in den Plattenkalken von Schernfeld (Unteres Untertithon, Südliche Frankenalb). - Archaeopteryx 9, 21-34, 7 Abb.; Eichstätt
- GERHARD, U. & M. RÖPER (1992): Die Plattenkalke der Altmühlalb. Ein Beitrag zur Deutung des Lebens- und Ablagerungsraumes. - Fossilien, 4/92, 243-245; Korb
- GOLDRING, R. & A. SEILACHER (1971): Limulid undertracks and their sedimentological implications. - N.Jb.Geol.Paläont.,Abh., 137, 422-442; 9 Abb.; Stuttgart

- GÜMBEL, C.W. von (1896): 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
- HECHT, F. (1933): Der Verbleib der organischen Substanz der Tiere bei meerischer Einbettung. - *Senckenbergiana* 15, 165-249, 19 Abb.; Frankfurt/Main
- HEMLEBEN, Ch. (1977): Autochthone und allochthone Sedimentanteile in den Solnhofener Plattenkalken. - *N.Jb.Geol.Paläont.,Abh.*, 1977, 5, 257-271, 9 Abb.; Stuttgart
- HENNINGSEN, D. (1969): Paläogeographische Ausdeutung vorzeitlicher Ablagerungen. - Mannheim, Wien, Zürich (Bibliographisches Institut, Hochschultaschenbücher-Verlag)
- HÜCKEL, U. (1974): Vergleich des Mineralbestandes der Plattenkalke Solnhofens und des Libanon mit anderen Kalken. - *N.Jb.Geol.Paläont.,Abh.*, 145, 153-182; Stuttgart
- JANICKE, V (1967): Fossil-Sediment-Strukturen in untertithonischen Plattenkalken der südlichen Frankenalb. - 116 S., Diss., Univ. München
- (1969): Untersuchungen über den Biotop der Solnhofener Plattenkalke. - *Mitt.Bayer.Staatsslg.Paläont.hist.Geol.*, 9, 117-181, 5 Taf., 21 Abb.; München
- JÜNGST, H. (1934): Zur geologischen Bedeutung der Synärese. Ein Beitrag zur Entwässerung der Kolloide im werdenden Gestein. - *Geol.Rdsch.*, 25, 312-325, 6 Abb.; Berlin
- KEUPP, H. (1977a): Ultrafazies und Genese der Solnhofener Plattenkalke (Oberer Malm, Südliche Frankenalb). - *Abh.Naturhist.Ges.Nürnberg*, 37, 128 S., 30 Taf., 19 Abb.; Nürnberg
- (1977b): Der Solnhofener Plattenkalk - ein Blaugrünalgen-Laminit. - *Paläont.Z.*, 51, 102-116, 4 Abb., 8 Taf.; Stuttgart
- (1994): Aspects of the origin of the Solnhofen lithographic limestone facies based on a new core drilling in the Maxberg quarry. - *GEOBIOS*, M.S.16, 71-80; Lyon
- KRÜGER, I. (1992): Beitrag zur Kenntnis der Plattenkalke der höheren Malm Zeta 2b/Profil Imberg/Schernfeld I b (Südliche Frankenalb). - 110 S.; Diplomarbeit Univ. Bonn
- KRUMBECK, L. (1928): Faltung, untermeerische Gleitfaltung und Gleitstauchung im Tithon der Altmühlalb. - *N.Jb.Min.etc.*, Beil., Bd 60, Abt.B, 113-166; Stuttgart
- KUHN O. (1961): Die Tier- und Pflanzenwelt des Solnhofener Schiefers. Mit vollständigem Arten- und Schriftenverzeichnis. - *Geologica Bavarica*, 48, 68 S., 1 Abb.; München
- KUTSCHER, M. & M. RÖPER (1995): Die Ophiuren des "Papierschiefers" von Hienheim (Malm Zeta 3). - *Archaeopteryx*, 13; S.-, 1 Abb., 5 Taf.; Eichstätt
- MÄUSER, M. (1984): Geologie des Gebietes von Jachenhausen bei Riedenburg (Südliche Frankenalb). - *Weltenburger Akad., Gr.Geschichte*, 1-26, 6 Abb., 1 geol.Karte; Kelheim/Weltenburg
- MAYR, F.X. (1967): Paläobiologie und Stratinomie der Plattenkalke der Altmühlalb. - *Erlanger Geol.Abh.*, 67, 40 S., 16 Taf., 8 Abb.; Erlangen
- MEYER R. & H. SCHMIDT-KALER (1983): Erdgeschichte sichtbar gemacht. Ein Geologischer Führer durch die Altmühlalb. - 260 S., zahlr.Abb., 2 farb.Beil.; München (Bayer.Geol.Landesamt)
- MÖRS, T. (1990): Erläuterung zur Geologischen Karte im Gebiet Konstein-Wellheim-Gammersfeld (Südliche Frankenalb) - Postjurassische Albüberdeckung und Feinstratigraphische Profilaufnahme in den Plattenkalken von Schernfeld bei Eichstätt (Südliche Frankenalb). - 152 S., Diplomarbeit Univ. Bonn
- PEITZ, C. (1992): Beitrag zur Kenntnis des Malm Zeta 2b in der Obereichstätter Wanne - Profile "Imberg" und "Am Sportplatz", Schernfeld/Südliche Frankenalb. - 63 S.; Diplomarbeit Univ.Bonn

- PEITZ, C. und S. PEITZ (1997): Paläoökologische Säulenprofile in den lithographischen Plattenkalken von Schernfeld bei Eichstätt. - Acta Albertina Ratisbonensia, 50/2 (dieses Heft)
- REINECK, H.E. (1978): Das Watt, Ablagerungs- und Lebensraum (2. Aufl.) - Senckenberg-Buch 50, 185 S., 88 Abb.; Frankfurt am Main
- ROLL, A. (1933): Über den Oberen Malm der südwestlichen Frankenalb, Vorläufige Mitteilung. - Cbl.Min.etc., 1933, 553-564, 3 Abb.; Stuttgart
- (1940): Tektonische Bemerkungen zu einer geologischen Karte der südlichen Frankenalb. - Z.Dt.Geol.Ges., 92, 205-252, 7 Abb., Taf.7-8; Berlin
- RÖPER, M. (1990): I. Zur sedimentologischen und faunistischen Entwicklung des Malm Zeta 2b und Zeta 3 im Wannenzentrum der Solnhofener Wanne/Südliche Frankenalb (Profile Hummelberg und Hummelberg-Reserve Mörsheim. - II. Erläuterung zur geologischen Karte im Raum NE von Altstetten (Südliche Frankenalb). - 132 S.; 30 S., Diplomarbeit, Univ. Bonn
- (1991): Zur Kenntnis des Malm Zeta 2b und Zeta 3 im Steinbruchgebiet "Mörsheimer Hummelberg" (Unteres Untertithon, Südliche Frankenalb). - Archaeopteryx, 9, 1-19, 7 Abb.; Eichstätt
- (1992): Beitrag zur Deutung des Lebensraumes der Plattenkalke der Altmühlalb (Malm Epsilon 2 bis Malm Zeta 3).- 96 S., 10 Abb., 5 Tab., 14 Taf., 1 Profil-Zeichn. und Grabungs-Ber. Schamhaupten, Diss. Univ. Bonn
- RÖPER, M. & M. ROTHGAENGER (1995): Eine neue Fossilagerstätte in den ostbayerischen Oberjura-Plattenkalken bei Brunn/Oberpfalz - Erster Forschungsbericht. -Jber.Mitt.Freunde Bayer.Staatsslg Paläont.hist.Geol., 23, 32-46, 1 Abb., 4 Taf.; München
- (1996a): Grabungen in den ostbayerischen Plattenkalken von Brunn bei Regensburg/Oberpfalz. - Fossilien 1/96; Korb
- RÖPER, M., M. & K. ROTHGAENGER (1996b): Die Plattenkalke von Brunn (Landkreis Regensburg). Sensationelle Fossilien aus dem Oberpfälzer Jura. - 102 S., 136 Abb.; Eichendorf (Eichendorf Verlag)
- ROTHPLETZ, A. (1909): Über die Einbettung der Ammoniten in die Solnhofener Schichten. - Abh. Kgl.Bayer.Akad.Wiss., 2.Kl., 24, 2. Abt., 313-337, 2 Taf.; München
- SALGER, M. (1985): Tonmineraluntersuchungen an Oberjura-Plattenkalken Süddeutschlands, insbesondere der Südlichen Frankenalb. - Archaeopteryx 1985, 1-6; Eichstätt
- SCHNEID, TH. (1915): Die Geologie der fränkischen Alb zwischen Eichstätt und Neuburg an der Donau. - Geogn.Jh., 27/28, 1914/15, 59-229; München
- SCHNITZER, W. (1965): Geologie des Weißen Jura auf den Blättern Kipfenberg und Gaimersheim (Südliche Frankenalb). - Erlanger Geol.Abh., 57, 45 S., 1 geol.Spezialkarte 1 : 25.000, 15 Abb.; Erlangen
- SCHWEIGERT, G. (1993): Subboreale Faunenelemente (Ammonoidea) im oberen Weißjura (Oberkimmeridgium) der Schwäbischen Alb. - Profil 5, 141-155; Stuttgart
- SCHWEIGERT, G. & A. ZEISS (1994): Ammonite biostratigraphy of the Upper Kimmeridgian to Tithonian of southern Germany.- In R. LEINFELDER, et al.: The Origin of Jurassic Reefs: Current Research Developments and Results. - Facies, 31, 38-39, fig 26; Erlangen
- SCHWERTSCHLAGER, J. (1919): Die Plattenkalke des obersten Weißjura in Bayern. - Natur und Kultur, 1919, 1-36, 20 Abb.; München
- SEIBOLD, E. (1952): Chemische Untersuchungen zur Bankung im unteren Malm Schwabens. - N.Jb.Geol.Paläont.,Abh., 95, 337-370; Stuttgart

- STRAATEN, L.M.J.K. van (1971): Origin of Solnhofen Limestone. - *Geol.Mijnbouw*, 50, 3-8, 3 Abb.; Mijnbouw
- STREIM, W. (1961): Stratigraphie, Fazies und Lagerungsverhältnisse des Malm bei Dietfurt und Hemau (Südliche Frankenalb). - *Erlanger Geol.Abh.*, 38, 49 S., mit einer geologischen Spezialkarte 1 : 25.000, 25 Abh.; Erlangen
- TEMLER, H. (1964): Über die Schiefer und Plattenkalke des Weißen Jura der Schwäbischen Alb (Württemberg). - *Arb.Geol.Paläont.Inst.Univ.Stuttgart, N. G.*, 43; Stuttgart
- (1967): Zur Entstehung der oberjurassischen Kalkschiefer der Schwäbischen Alb (Württemberg). - *N.Jb.Geol.Paläont.,Abh.*, 129, 2, 185-206; Stuttgart
- VIOHL, G. (1983): Forschungsobjekt "Solnhofener Plattenkalke". - *Archaeopteryx* 1: 3-23, 1 Tab., 12 Abb.; Eichstätt
- (1992): The Solnhofen lithographic limestone. - *GEOBIOS*,3, M.S.16, 1-48; Lyon
- (1994): Fish taphonomy of the Solnhofen plattenkalk - An approach to the reconstruction of the palaeoenvironment. - *GEOBIOS*, M.S.n.16, 81-100; Lyon
- WALTHER, J. (1904): Die Fauna der Solnhofener Plattenkalke bionomisch betrachtet. - *Festschrift Med.Naturw.Ges.Jena*, 11, 135-214; Jena
- WEIGELT, J. (1927): Rezenten Wirbeltierleichen und ihre paläobiologische Bedeutung. - 227 S., 38 Taf., 28 Abb.; Leipzig (Weg)
- (1989): Recent Vertebrate Carcasses and their Palaeobiological Implications (translated by Judith SCHAEFER). - 188 S.; Chicago (University Press)
- WELLNHOFER, P. (1983): Solnhofener Plattenkalk: Urvögel und Flugsaurier. - 64 S., 70 Abb; Maxberg (Leipold)
- WILFARTH, M. (1937): Die Gezeiten im Meere des Malm Zeta bei Solnhofen. - *Z.Dt.Geol.Ges.*, 88, 57-61; Berlin
- WIMAN, C. (1936): Beobachtungen an Solnhofener Fossilien. - *Publ.Labor.Palaeont.Moscow Univ. Problems of Palaeont.*, Vol.1, 217-221; Moscow

Verfasser: Dr. Martin Röper, Naturkundemuseum Ostbayern, Am Prebrunnort 4, 93047 Regensburg