# In welchen Meerestiefen entstand der süddeutsche Jura?

von Oskar KUHN, München

mit 15 Abbildungen

## Zusammenfassung

Die Frage nach der Tiefe des süddeutschen Jurameeres kann man nur mit geschätzten Zahlen beantworten. Da es sich um ein Epikontinentalmeer, um die neritische Randzone der Tethys handelt, sind maximale Werte weit über 200 m auszuschließen. Große Schwierigkeit machen die eintönigen, sehr mächtigen Tone des Lias und Dogger, nicht minder die mehrere hundert Meter mächtigen Bankkalke des Malm. Auch hier sind nur Schätzwerte möglich. Die Solnhofener Plattenkalke des Malm zeta entstanden in etwa 40 m Tiefe. Die Schwammfazies des höheren Malm überragte den Meeresboden bis mehr als 50 m, doch ist weder der Abstand der Riffe von der Wasseroberfläche, noch die Tiefe des Meeresgrundes bekannt. Von den Korallenriffen darf man annehmen, daß sie, wie in der Gegenwart, bis zu 30 m herabreichten. Im Lias alpha sowie im Dogger beta bis gamma war das Meer sehr flach, wohl um 20 m, es kann mit gelegentlichen Trockenlegungen gerechnet werden. Nicht sehr viel tiefer war das Meer im Lias gamma und zeta, auch im Dogger delta, an der Dogger - Malm - Grenze und im tiefen Malm gamma.

Als mir zufällig vor einigen Monaten die kleine, aus einem Vortrag entstandene Schrift über die Meerestiefen des schwäbischen Jurameeres von E. FISCHER (Tübingen) aus dem Jahre 1912 zu Gesicht kam, stellte ich fest, daß hier ein sehr guter Ansatz zur bathymetrischen Erforschung unseres Jura vorliegt. Heute, nach über 70 Jahren, hat sich die Geologie rasch weiter entwickelt, die WEGENER'sche Theorie läßt die Probleme in einem völlig neuen Rahmen sehen. Dazu kommt, daß die detaillierte Erforschung des süddeutschen Jura seit zudem vielen Erkenntnissen führte, die für eine bathymetrische Auswertung sehr geeignet sind. Dazu kommt ferner die Tatsache, daß Aktuo - Geologie und Paläontologie, wie sie vor allem vom Senckenberg - Institut in Frankfurt (vgl. W. SCHÄFER 1962) betrieben wurden, für die Deutung der Schelfablagerungen des süddeutschen Jura von größter Bedeutung sind.

Das Aufsuchen der in Frage kommenden Arbeiten war oft recht mühsam, hat sich aber gelohnt. Dabei kam mir sehr zustatten, daß in vielen neueren Arbeiten über den süddeutschen Jura auf Fragen nach der Meerestiefe eine Antwort zu geben versucht wurde.

Aber man muß große Vorsicht walten lassen, man kann nicht einfach Beobachtungen aus der Jetztzeit auf den Jura übertragen. Ich will hier nicht von hypothetischen Weltphasen sprechen. Es ist sicher, daß die Tageslänge, die Entfernung des Mondes von der Erde und vieles andere mehr in der früheren Erdgeschichte mit den heutigen Werten nicht übereinstimmten. Das mußte sich wesentlich vor allem auf die exogenen Kräfte, Verwitterung und Sedimentbildung auswirken. Nur so ist es zu verstehen, daß sich so viele geologische Befunde immer wieder einer aktualistischen Deutung entziehen. Es wird immer schwieriger, die Dauer der Sedimentbildung festzustellen, aber soweit wir Werte gewinnen, stehen die im Widerspruch zu den erwarteten. Das kommt daher, daß wir die den heutigen Zustand der Erde und die Relation der exogenen zu den endogenen von heute auf die Vorzeit übertragen wollen. Die Paläogeographie der Jurazeit zeigt, daß wir es hier mit Vorgängen zu tun haben, zu denen wir heute kein Gegenstück antreffen, die sich heute nicht mehr wiederholen.

Der Geologe kann nicht mit dem Senkblei oder dem Echolot arbeiten, er

muß aus dem G e s t e i n s c h a r a k t e r bei ständiger Berücksichtigung der Paläogeographie auf die Tiefe der Meere von einst schließen. Hat er einmal erkannt, daß ein bestimmtes Gestein im Flachwasser entstand, dann darf er aber nicht alle derartigen Gesteine als Ablagerung des Flachwassers einstufen. Denn es spielen da sehr viele Faktoren mit herein. Es ist klar, daß die endogenen Kräfte Niveauunterschiede in der Erdkruste schaffen, es sind e p i r o g e n e t i s c h e B e w e g u n g e n, die für ein Auf und Ab der Erdkruste verantwortlich sind. Damit allein ist aber noch lange nicht der Sedimentcharakter festgelegt. Wenn sich zugleich das Klima ändert, wenn somit die Verwitterung am Festland eine andere wird und dort,noch dazu andersartige Gesteine anstehen, wenn sich weiterhin die Transportkraft der Flüsse ändert usw., dann erhalten wir sehr kontrastreiche Bilder.

Von der Fazies auf die Meerestiefe zu schließen ist eine mit größter Vorsicht zu handhabende Methode, bei der es sehr viel zu berücksichtigen gilt. Natürlich ist hierbei die Aktuo - Geologie von großer Bedeutung. Die Sedimente sind eine "Folge", eine Folge, zu der es den Grund zu suchen gilt. Am bekanntesten ist das Beispiel einer nassen Straße, sie kann naß sein, weil es geregnet hat, oder der Schnee ist geschmolzen, oder der Sprengwagen fuhr vorbei, es hat jemand Wasser ausgeschüttet, ein Rohr ist geplatzt, usw. Man kann n i c h t e i n d e u t i g v o n d e r F o l g e a u f d e n G r u n d schließen, von der Wirkung auf die Ursache. Das gilt ganz besonders in unserem Fall. Natürlich ist man geneigt, grobklastisches Material in die Küstennähe zu verlegen, doch liegen die Verhältnisse nicht immer einfach.

Trockenrisse, Fährten, Wellenfurchen, Kreuzschichtung, Geröllhorizonte, Treibholz (nur bedingt), eingeschwemmte Landtiere usw. zeigen Ufernähe und geringe Tiefe, wohl sogar mit vorrübergehender Trockenlegung, an. Geröllhorizonte bedeuten Aufarbeitung des Meeresgrundes. Muschelschill (Monotisbank), desgleichen zertrümmerte Fossilien, Bonebeds, rasches Auskeilen, Kreuzschichten sowie sehr rascher Fazieswechsel kommen nur in randnahen, flachen Meeren vor.

L e b e n s s p u r e n v o n T i e r e n sind nur im Lias alpha 2 und Dogger beta häufiger anzutreffen. Die Grabspuren im Lias alpha, gamma und epsilon sind noch zu klären; sehr selten sind Lebensspuren im

Lias epsilon, sie sind auf die "Seegrasschiefer" beschränkt. Wieder häufiger sind Spuren im Dogger beta, nur eine Lebensspur kennt man aus dem Malm beta, hingegen sind diese wieder zahlreich im Solnhofener Plattenkalk. Neuere Untersuchungen von BLOOS haben gezeigt, daß im oberfränkischen Rhätolias Lebensspuren vielfältig sind, doch ist noch deren Beschreibung abzuwarten. Alle im süddeutschen Jura nachgewiesenen Lebensspuren deuten auf flaches Wasser, höchstens bis zu 50 m Tiefe. Exakte Aussagen über die bathymetrischen Verhältnisse machen sie nicht.

R i p p e l m a r k e n sind selten im Lias alpha 2, im Lias epsilon habe ich solche nur einmal nachgewiesen, im Dogger beta sind sie häufiger. Aber auch sie lassen sich nicht einer bestimmten Tiefe zuordnen. Bei der Seltenheit größerer Aufschlüsse sind Priele und Abflußrinnen selten zu beobachten, Umlagerungen und Geröllhorizonte sind häufig in verschiedenen Stufen. Auch Kreuzschichtung ist selten beobachtet.

G l a u k o n i t kommt in Arietenkalk (Gryphaeenkalk), an der Dogger-Malm- Wende sowie im tiefen Malm gamma vor. Er bildet sich noch heute im Meer, nach C. DIENER vor allem da, wo, wo kalte Meeresströmungen mit warmen zusammenstoßen.

O o l i t h e gibt es aus verschiedenem Material, am häufigsten sind die aus Brauneisen bestehenden, nur im Malm kommen solche aus Kalk vor. Ich werde an den entsprechenden Stellen darauf zu sprechen kommen, sie sind stets Gebilde der Flachsee. Das gleiche gilt für die Phosphorite des Lias und Dogger.

Die m ä c h t i g e n T o n e d e s L i a s u n d D o g g e r (Amaltheenton, Opalinuston, Ornatenton) sind sicher nicht in tieferem Wasser entstanden, sie enthalten außer Fossilien mannigfache Einschaltungen, Kalk- und Sandbänke, Konglomeratbänke, dann viele, zuweilen sehr große Toneisensteingeoden, Pyrit, Phosphorite, usw. Doch hängen diese Bildungen nicht mit gewissen Meerestiefen zusammen, sondern mit dem Chemismus des Meeres, mit der Lage des betreffenden Meeresteiles, ob es sich um ein ruhiges Becken handelt oder nicht.

Früher sprach man von Opalinuston, Ornatenton, Amaltheenton usw., das sind sachlich nicht richtige, aber weithin eingebürgerte Begriffe, auf

die man aber nicht verzichten braucht. Es gibt eine K a l k - T o n - R e i h e i m J u r a und auch sonst in allen Formationen. Sie entsteht durch Mischung des im Meeresbecken entstandenen Kalkes (Herkunft usw. sehr verschieden) und des durch Trübströme am Meeresboden antransportierten, aus Flüssen hereingeschwemmten Tones. Je nach Mischungsverhältnis unterscheidet man Kalk - leicht mergeliger Kalk (milder Kalk) Mergelkalk- Mergel- Mergelton - Ton. Durch Verwitterung treten die Unterschiede im Tongehalt im Profil durch Härteunterschiede deutlich hervor.

Bathymetrische Versuche müssen in einem paläogeographischen Rahmen untersucht werden. Aber hier sieht es noch recht trübe aus, wenn man von der großen Konfiguration absieht (Abb. 1 - 3). Im letzten dieser Berichte habe ich eine große Zahl von paläogeographischen Karten des Jura zusammengestellt. Nun brachten R. MEYER & SCHMIDT - KALER (1983) in einem ganz ausgezeichneten Buch über den Jura der Altmühlalb, das zahllose Abbildungen und ein riesiges Literaturverzeichnis bringt, so daß man diesem Buch nur größte Verbreitung wünschen kann, wieder einige Karten aus der Jurazeit (Lias alpha, Dogger epsilon - zeta, mittl. und oberster Malm), die von anderen z. T. stark abweichen. Am meisten fiel mir auf, daß man im mittleren Malm eine Sächsische Straße westlich der Böhmischen Insel annimmt.

Schon über den Ablauf der Juratransgression an der Rhät- Lias- Wende wird noch debattiert, viele Einzelheiten sind völlig ungeklärt. Aber trotzdem sehen wir heute sehr vieles genauer als vor 40 Jahren.

Die heute gültige G l i e d e r u n g d e r M e e r e nach ihrer Tiefe und einem Teil der marinen Sedimente in der Jetztzeit entnehme man der Abb. 8. Von 200 bis 800 (1000) m Tiefe tritt die W a s s e r - b e w e g u n g sehr zurück. Der Kontinentalsockel (Schelfbereich) ist durch mannigfache Ablagerungen gekennzeichnet, die man neritisch nennt (neritische Randzone, in dieser entstand der süddeutsche Jura). Hier kann sich das Wasser noch bis zum Grunde bewegen. Auch der Einfluß des Lichtes wirkt sich bis dahin noch aus(cf. P. DORN, Schlüsse über die Tiefe, in der Eryoniden im Lias epsilon lebten).

Mit den Fossilien steht es nun leider nicht gerade glänzend, bei Ermittlung der Tiefe, wo sie lebten, denn die Tiere blieben nicht immer

in der gleichen Meerestiefe, so wanderten seit dem Jura viele damals im Flachwasser sehr häufige Gruppen in die Tiefsee ab oder starben ganz oder weitgehend aus, wie fast alle Ectocochlia unter den Cephalopoden. Die Ammoniten und Belemniten starben aus, die Trigonien sind heute höchst selten, Pholadomya ging in sehr tiefes Wasser, ebenso die Schnecke Pleurotomaria, die Kieselschwämme wanderten aus dem Flachwasser in die Tiefsee ab, ebenso die im Lias epsilon so häufigen Seelilien. Viel wurde darüber nachgedacht und geschrieben, wissen können wir darüber gar nichts. Wir müssen uns mit der Feststellung begnügen: es ist eben so

Alle Schwämme sind sessil und leben im Wasser, nur die Spongilliden kommen im Süßwasser vor. Die rezenten Kalkschwämme bevorzugen das Flachwasser, bis in 10 m Tiefe, auch die fossilen Kalkschwämme sind im Infralitoral am häufigsten. Im süddeutschen Jura sind Kalkschwämme gegenüber den Kieselschwämmen selten, sie bedürfen noch der Bearbeitung.

Kieselschwämme leben heute von der Gezeitenzone bis in die Tiefsee. Die Hexactinelliden sind zwischen 500 und 1000 m Tiefe am häufigsten, die fossilen Kieselschwämme scheinen allgemein flacheres Wasser bevorzugt zu haben. Man weiß, daß die lebenden Schwämme gegenüber Strömungen sehr empfindlich reagieren, rasche Sedimentation und Wassertrübung beeinträchtigen die Lebensfähigkeit der Schwämme, über deren jährliches Höhenwachstum man nur wenig weiß.

Kieselschwämme bilden fast ausschließlich die fränkischen Schwammriffe. SCHRAMMEN (1936) hat in einer Monographie im süddeutschen Malm 141 Arten nachgewiesen, viele davon gerade im Bamberger Umland (Würgau, Streitberg, Staffelberg - Gebiet); 89 Arten dieser Kieselschwämme sind Triaxonia, hingegen sind die Tetraxonia, Monaxonia und Cryptaxonia viel seltener. Schwammkuppeln haben einen Böschungswinkel bis zu 25$^{o}$, im allgemeinen ist er aber niedriger. Innig ist mit den Schwammriffen die aufbauende Tätigkeit von Algen verknüpft (Schwamm-Algen- Bioherme, vgl. Abb. 7).Doch ist die Beteiligung der Algen kein zuverlässiger Hinweis auf die Bildungstiefe der Riffe, am ehesten noch wenn es sich um Grünalgen handelt. Es ist anzunehmen, daß die fränkischen Schwammriffe, die an Schwellen und deren Hänge gebunden sind, pro

Jahr kaum mehr als 6 - 8 mm in die Höhe gewachsen sind.

Die Beziehungen der Schwammfazies zur Normalfazies (Bankfazies) im süddeutschen Malm wurde erst spät erkannt. QUENSTEDT glaubte noch zwei altersverschiedene Bildungen vor sich zu haben. FISCHER, ein Schüler E. KOKENS (Tübingen), hat hier einen Wandel geschaffen, P. DORN (1932) hat für Franken weitere Fortschritte erzielt, aber erst A. ROLL (1934) hat die Frage Riff- Normalfazies zu klären versucht, allerdings hat er dabei Algen und andere krustenbildende und lückenfüllende Organismen, die hier eine Rolle spielen, nur wenig beachtet.

B. ZIEGLER (1983) nimmt an, daß die fossilen Kieselschwämme insgesamt flacheres Wasser bevorzugt haben (ZIEGLER 1983, S. 93). Durch Beteiligung weiterer Organismen, vor allem von Algen, können die Schwammrasen rascher emporwachsen als der nicht kolonisierte Meeresboden. Auf diese Weise bilden sich Riffe im Malm von Süddeutschland (hier allein kommen Schwammriffe vor, sonst nur noch in Polen), ihr Relief reicht bis ca. 60 m. Richtig aktive Riffbauer, wie die Korallen, waren sie nie, nur durch Mithilfe anderer Organismen.

Die H e x a k o r a l l e n sind normalerweise sessile, marine Tiere, diese sessilen Tiere sind meist auf hartem Substrat aufgewachsen, nur selten leben sie auf weichen Böden, wie die vielen kleinen solitären Korallen aus dem Opalinuston Frankens.

Ahermatypische Hexakorallen und viele Actinien kommen in fast allen Meerestiefen vor, für die hermatypischen Hexakorallen gelten ganz andere Bedingungen, sie sind, bedingt durch die Ansprüche der Zooxanthellen, an lichtumflutetes flaches Wasser gebunden. Ihr Optimum liegt oberhalb 20 m.

Uns interessieren hier nur die Hexakorallen, GEYER (1954) hat im schwäbischen Malm rund 150 Korallenarten festgestellt. Heute gedeihen Korallen am üppigsten in 4 - 10 m Tiefe, reichen aber in der Regel bis 30 m hinab, ausnahmsweise bis 60 m. Das Wachstum der Riffe ist innerhalb gewisser Grenzen schwankend, abhängig von Wasserwärme, Strömungen, Nahrungszufuhr, usw. Gg. WAGNER (1960, S. 199) gibt in seinem bekannten Geologielehrbuch 2 - 5 cm an. B. ZIEGLER (1983, S. 147) gibt an, daß die Wachstumsgeschwindigkeit am raschesten bei den ästigen Formen erfolgt,

für die ein jährlicher Zuwachs von ü b e r 2 0 c m möglich ist. Für massige Formen wird ein jährlicher Zuwachs von höchstens wenigen cm angegeben. Massige Kolonien mit einem Durchmesser von einigen m können ein Alter von über 100 Jahren erreichen.

Das Leben in flachem und bewegtem Wasser hat zur Folge, daß die Korallenriffe einer starken mechanischen Beanspruchung, Zertrümmerung, Abrollung usw. unterliegen. Als Endprodukt bleibt Riffschutt.

Hinsichtlich der Meerestiefe sind S c h n e c k e n von sehr unterschiedlichen Ansprüchen. In größerer Tiefe, bis ca. 30 m, dominieren größere Pflanzenfresser, so die Trochiden, Strombaceen usw. Auch die Mehrzahl der Pleurotomariaceen, der Loxonemataceen und der Cerithiaceen haben wohl hier ihren Schwerpunkt. In Tiefen von ca. 30 70 m überwiegen heute die Fleischfresser, unter 70 m werden die Schnecken selten. Im Tiefwasser kommen heute nur wenige Schnecken vor, so die Monoplacophoren und die Pleurotomarien. Im süddeutschen Jura sind die Schnecken fast immer seltener als die Muscheln, aber in Sandsteinen sehr selten, am artenreichsten in Mergeln.

Über die A m m o n i t e n wissen wir nicht viel Sicheres, sie sind wie ZIEGLER gezeigt hat, Faziestiere. Daraus könnte man Schlüsse auf die Wassertiefe, wo sie lebten, ableiten. In den Schwammriffen Frankens leben viele Ammoniten, die demnach 40 m Tiefe nach unten kaum überschritten haben. Der heutige N a u t i l u s lebt normalerweise in 200 - 500 m Tiefe, man kennt 6 Arten in Reliktvorkommen. Durch die Strömung werden die leeren Gehäuse passiv um mehrere 1000 m verfrachtet, was zu großer Vorsicht veranlaßt, wenn man an die normale Verbreitung der noch lebenden Tiere denkt. Wie Experimente und Berechnungen zeigten, werden Nautilusschalen bei einer Meerestiefe von 700 - 800 m Tiefe eingedrückt (Druck von 70 - 80 atü). Daraus Rückschlüsse auf die Ammoniten zu ziehen ist naheliegend, ihre m e i s t s e h r z a r t e n S c h a l e n hielten sicher nicht den genannten Druck aus.

Die B e l e m n i t e n sind Verwandte der heutigen Tintenfische, sind also Coleoidea (Dibranchiata). Letztere sind ausnahmslos marin, die Belemniten sicher auch. Sie sind am häufigsten in ausgesprochenen Seichtwasserbildungen. In Jura und Kreide kann man Wasserbewohner der wärmeren

und kühleren Meeresbezirke (boreales Gebiet) unterscheiden, wie auch bei den Ammoniten. Belemniten fehlen in Sedimenten aus größerer Tiefe ganz, man findet sie vor allem in Sedimenten des offenen Schelfs. In strandnahen Gebieten, z. B. in Riffen fehlen sie oft, in pelagischen Sedimenten sind sie nur selten anzutreffen. Sie werden daher als neritische Schwimmer gedeutet (B. ZIEGLER 1983, S. 307). Rezente Dibranchiata kommen in verschiedenen Tiefen vor, bis zu 5000 m Tiefe. Die Gattung Spirula hält einen Schalendruck von 150 Atmosphären aus, entsprechend einer Wassertiefe von 1500 m. Daß die Belemniten das flache Wasser bevorzugten zeigt die Tatsache, daß die häufig eingeregelt sind.

Die M u s c h e l n sind im Jura noch viel seltener als die Brachiopoden, heute ist es umgekehrt. Ihr Vorkommen im einzelnen hängt in erster Linie vom Substrat ab, erst in zweiter Linie von der Wassertiefe, der Temperatur und Salinität. Auf Hartböden siedeln die meisten Pteriomorphen und viele Pachyodonta. Da die Beschaffenheit des Substrats auch von Bodenströmungen abhängt, lassen viele Muscheln Präferenzen für bestimmte Strömungsgeschwindigkeiten erkennen. Viele Muscheln sind gute Tiefenanzeiger. Doch spielt hier die Abhängigkeit von der Temperatur usw. eine Rolle. Nahe Verwandte können unterschiedliche Meerestiefen bevorzugen, so gewisse Cardiiden und Austern (Gryphaea, Liostrea). Im Laufe der Evolution kann sich die Tiefenabhängigkeit stark ändern. Die im Flachwasser des Jura häufige Muschel Pholadomya ist heute ein Tiefseerelikt. In einer Meerestiefe von 1 bis 50 - 70 m haben die Muscheln heute ihre größte Mannigfaltigkeit. Die Mytiliden, die grob berippten Austern und die Pachyodonten, wie Diceras, leben im flachsten Wasser, tiefer folgen viele Trigonien, Modiola, Pinna und viele Pteriaceen. Unterhalb von etwa 25 m herrschen die Limiden, Pectiniden und viele Heterodonta. Auch freiliegende oder vagile Gattungen wie Gryphaea sind hier zu finden. Tiefseemuscheln sind selten.

Über das Vorkommen der M u s c h e l n im Jura und ihre Verteilung auf die Tiefenverbreitung verdanken wir B. ZIEGLER (1983) wichtige Mitteilungen. Sein Schema (Abb. 10) ist höchst instruktiv. So möchte ich darauf hinweisen, daß ich in der Transgressionsbank des Lias alpha 3 (Arietensandstein) im Sendelbach - Graben des Hauptsmoorwaldes östlich Bamberg in unmittelbarer Nähe von Geröllen und Geschieben des vorher

aufgearbeiteten Angulatensandsteins Exemplare von Gryphaea arcuata fand, dieselbe Bank enthielt auch Arietites bucklandi, ein Leitfossil des unteren Lias alpha 3. Diese Gryphaeen können kaum in mehr als 3 m Tiefe gelebt haben.

STAESCHE und SCHAEFLE, zwei HENNIG- Schüler (Tübingen), haben in den zwanziger Jahren die Pectiniden des süddeutschen Jura bzw. die Lias- und Dogger- Austern bearbeitet. Sie konnten sich nicht auf bestimmte Tiefen des Lebensraumes der untersuchten Muscheln festlegen.

## Lias alpha

Im Hettangium finden wir eine an der Westküste der Böhmischen Masse entlang ziehende, bis 50 km breite sandige Küstenzone, die zum Beckeninneren hin langsam abfiel. Jedoch wurden damals noch keine größeren Tiefen erreicht, sicher nicht die Maxima des Amaltheentons, die bei höchstens 100 m liegen.

Die Mächtigkeit des Lias alpha schwankt in Franken und Schwaben sehr, es lassen sich wohl Leitbänke verfolgen, doch die wiederholte Aufarbeitung war zu stark. Es gibt zwei Transgressionsbänke, so die im wesentlichen in den Lias alpha 2 zu stellende basale Transgressionsbank (Oolithbank M. FRANKS), die basal grobe Gerölle führt, dann die an der Basis von alpha 3.

In Württemberg ist Lias alpha mächtiger als in Franken, normal 20 - 25 m, gegen SW und NO nimmt die Mächtigkeit rasch ab, im Aargau sind es nur noch 3 m, ebenso gegen Franken hin. Hier ist die Transgression klar zu verfolgen.

"Betrachten wir nun die Schichten des Lias alpha der Reihe nach, so finden wir zunächst in den P s i l o n o t e n s c h i c h t e n einen ganz ähnlichen unregelmäßigen Fazieswechsel, wie wir ihn vorhin beim Rhät gefunden. Nur wechselt hier Ton mit Kalk, während der Sand mehr zurücktritt. Auch Aufarbeitungen älterer Schichten, tatsächliche Jurabonebeds haben sich an einigen Stellen gefunden. Ich möchte hier nur an das Vorkommen auf der Pfrondorfer Höhe, das schon QUENSTEDT erwähnt, und auf der Eberhardshöhe bei Tübingen erinnern. Die Psilonoten-

schicht erscheint hier auf ein ganz gering mächtiges Lager abgerollter Versteinerungen, besonders Psilonoten und Cardinien, reduziert. Möglicherweise ist auch das Fehlen des Rhäts an manchen Stellen auf derartige spätere Aufarbeitung zurückzuführen. Wir haben also auch hier noch ein recht flaches Meer vor uns, dessen Wellenschlag an manchen Stellen tief genug reichte und noch stark genug war, die eben gebildeten Sedimente wieder aufzureißen und umzulagern. Dem entspricht auch die Fauna dieser Schichten, in der die dickschaligen Cardinien eine große Rolle spielen, zwei Austern, Mytilus, Modiola, Pinna und andere Muscheln des seichten Wassers auftreten. Entsprechend der geringen Meerestiefe zeigt sich auch die Nähe des Festlands im östlichen Teil unseres Jura durch Zufuhr sandigen Materials angedeutet.

Dieser Sand gewinnt in dem folgenden Angulatenhorizont weite Verbreitung, wir sehen ihn, wenn auch nur recht feinkörnig, fast über ganz Schwaben ausgedehnt. Dieses Übergreifen des Sandes weit über sein bisheriges Verbreitungsgebiet muß nicht notwendig durch eine Senkung des Meeresspiegels, einen negativen Meereswandel bedingt gewesen sein, starke Belebung der Erosion auf dem Festland und Vermehrung der Transportkraft der Flüsse kann auch auf andere Ursachen zurückzuführen sein, z. B.durch selbständige Hebung des Landes allein, überhaupt auf Änderungen in seinen Abflußverhältnissen, auf stärkere Niederschläge usw. Dennoch wird man ja wohl zunächst immer an diese einfachste Ursache denken, daß der Meeresspiegel sich gesenkt, und die Wellenschläge, die Fährten, die Zöpfe und Wülste, die sich vielerorts beobachten lassen, deuten recht bestimmt auf sehr geringe Tiefen hin. Auch die Tierwelt zeigt deutlich genug die Charaktere des seichten Wassers, die Cardinien herrschen noch vor, Austern, Anomien, Pinna, Modiola, Perna, Mytilus, Pleurotomarien, Litorina, alles Tiere, aus deren Vorkommen wir wohl auf geringe Tiefen schließen dürfen, dazu die hier zuerst erscheinenden, den Austern zugehörigen Gryphäen. Von den Brachiopoden möchte ich hier nur auf das Auftreten von Lingula hinweisen, einer Form, die seit den ältesten kambrischen Zeiten bis in die Gegenwart für flache strandnahe Bildungen bezeichnend scheint. An manchen Stellen treten hier auch die allerersten Eisenoolithe auf, denen wir später im Braunen Jura noch reich-

lich begegnen werden.

In den nun folgenden, im mittleren und südlichen Schwaben kalkig ausgebildeten A r k u a t e n s c h i c h t e n gewinnen die Gryphäen die unbedingte Herrschaft. Sie müssen geradezu ideale Lebensbedingungen gefunden haben, daß sie sich in solcher Masse ausbreiten und die Schichten fast ganz mit ihren Schalen erfüllen konnten. Ihre Dickschaligkeit, ihre ganze Lebensweise, ihre nahe Verwandtschaft mit den Austern, alles weist sie auf ganz ähnliche Lebensbedingungen hin wie diese und so dürften sie auch wie diese die Bewohner des flachen Meeres gewesen sein. Dasselbe beweisen auch die anderen Versteinerungen, meist kräftige, dickschalige Gehäuse. Wenn man aus dem Zurücktreten des Sandes in manchen Gegenden auf eine gewisse Vertiefung des Meeres gegenüber der vorhergehenden Schicht schließen möchte, so kann diese doch nur ganz minimal gewesen sein, ja einiges scheint sogar gegen eine solche zu sprechen. Eher dürfte man wohl an einen Wechsel in den Strömungen denken. Im Osten jedenfalls, in der Ellwanger und Aalener Gegend, sind diese Schichten in einer recht grobkörnig sandigen Ausbildung vertreten, die in dieser Beziehung etwa an den Stubensandstein des mittleren Württemberg erinnert, aber die Fossilien des Meeres enthält. Daß die Tiefe auch anderswo eine recht geringe war, das erhellt aus dem recht häufigen Auftreten angebohrter Gerölle, wie sie ähnlich auch schon in der vorhergehenden Schicht vorkamen. Diese G e r ö l l e sind durch die Gewalt der Wellen dem Untergrund entrissen, am Boden der Flachsee gerollt und allseitig von den Bohrmuscheln angebohrt worden. Für die Feststellung einer geringen Tiefe genügt schon die Tatsache, daß sie angebohrt sind, denn die Bohrmuscheln leben eben im flachen Wasser. So stimmen die Befunde aus den verschiedenen Gegenden zusammen in den Anzeichen einer geringen Meerestiefe dieser Schichten.

Den Abschluß von alpha bildet vielfach, doch nicht überall, der Ölschiefer, eine eigentümliche Bildung, die in mannigfacher Beziehung mit den späteren Posidonienschiefern des Lias epsilon übereinstimmt. Soweit die Frage nach seinen sicher sehr eigenartigen Bildungsbedingungen hier im Zusammenhang mit der Frage nach der Tiefe des Meeres besprochen werden muß, möchte ich auf das später, beim Lias epsilon zu sagende verweisen und für jetzt nur bemerken, daß diese Schicht im allgemeinen wohl einer gewissen Vertiefung des Meeresbeckens entsprechen mag." (FISCHER 1912).

Eine Spezialuntersuchung der Gryphaeen des württembergischen Lias ergab, daß die aus einem sehr flachen rechten Deckel und einer sehr viel größeren und kräftigen linken Klappe bestehende Schale (Abb. 11) zunächst sessil war, dann aber drehte sich die Muschel um ihre eigene Achse, um Platz zu gewinnen. Der Deckel fehlt oft, dann handelt es sich um zusammengeschwemmte Schalen. Diese können direkt gesteinsbildend auftreten. Dies und die Aufarbeitung des Untergrunds, das Auftreten von Bohrlöchern und Glaukonit beweisen sehr geringe Meerestiefe (vgl. Abb. 10, 11).

In Franken ist Lias alpha 3 viel weniger entwickelt als in Schwaben, man hat hier fast ausschließlich sandige Fazies, daher Arietensandstein gegenüber schwäbischen Arietenkalk (Abb. Profil. 11).

Auch große Gehäuse von Arietetites (das Genus ist längst aufgeteilt) kommen zuweilen in dunklem Kalk massenhaft vor (schöne Funde im Tübinger Paläontolog. Museum), sie sind zusammengeschwemmt.

Östlich Bamberg kommen Gryphaeen in der basalen Sandsteinbank des Lias alpha 3 vor, ein typisches Transgressionssediment, basal mit größeren Geröllen und Geschieben von aufgearbeitetem Angulatensandstein vor. Man muß also geringe Tiefe annehmen, zum mindesten vorübergehend nur einige m Tiefe. Die Gryphaeen sind hier selten und sehr klein gegenüber den viel dickeren Funden in der schwäbischen Arcuatenbank.

Hier noch einige Bemerkungen zum fränkischen Lias alpha, der gegenüber Schwaben eine küstennähere Bildung darstellt. So findet man in Franken kaum die Kalkfazies in Lias alpha 3. Lias alpha 2 beginnt mit einer typischen Transgressionsbank (Oolithbank FRANKS). Der "Angulatensandstein" ist faziell recht verschieden, diese Bezeichnung für alpha 2 ist irreführend insofern, als die tonigen Schichten gegenüber dem Sandstein überwiegen. Im Sandstein selbst, der lokal vom Doggersandstein (beta) kaum zu unterscheiden ist, findet man wie dort weder Belemniten noch Brachiopoden, Ammoniten sind sehr selten. Doch das beruht sicher mehr auf faziellen Bedingungen, die mit der Meerestiefe wenig zu tun haben. Die Anhäufungen von Schlangensternen bei Sassendorf sind einmalig. Ausgesprochene Muschelpflaster sind häufig. Doch liegen die Klappen von Cardinien nie übereinandergeschoben. Nur selten fand

ich bei Sassendorf massenhaft zusammengeschwemmte Schnecken von geringer Größe, meist nicht über 6 mm, die man lange als Turritella (Mesalia) zinkeni und Actaeonina fragilis bezeichnete (cf. KUHN 1934, Fauna des Angulatensandsteins bei Bamberg). Merkwürdige Lebensspuren, sog. Perlschnurfährten kommen ebenfalls bei Sassendorf vor, dieselben wie im Dogger beta (vgl. SEILACHER Geol. Rundschau 1960). Die Zöpfe und Wülste sind mit den analogen Bildungen Schwabens identisch, eine Bearbeitung (durch BLOOS) dieser vielen neuen Funde aus dem fränkischen Rhätolias wird erfolgen. Einer Untersuchung bedürfen auch die mit Seesternen (Asterias lumbricalis) in Zusammenhang gebrachten Fährten.

## Nachtrag

Erst nach Abschluß dieser Arbeit wurde mir eine Arbeit von R. HESS (Neues Jahrb. Geol. Paläont., Mh., Stuttgart 1983) über das Spurenfossil Asteriacites (früher Asterias) lumbricalis bekannt. Er beschreibt dieses schon seit über 150 Jahren aus dem nordfränkischen Lias alpha 2 bekannte Fossil aus dem Permoskyth. Es handelt sich um ein sehr feinkörniges Gestein, ähnlich dem fränkischen Angulatensandstein. HESS rechnet mit einer Meerestiefe von 40 - 60 m Tiefe. Ich nehme für das Lias alpha 2 - Meer Frankens nur gegen 20 m Tiefe an. Wie aus der Arbeit von HESS und der von ihm zitierten Literatur hervorgeht, stehen wir vor einer neuen Methodik, die uns bald in die Lage versetzen wird, aus dem Korn des Sediments und dem Feinrelief der Schichtoberflächen exakte Schlüsse auf die Bildungstiefe ziehen zu können.

## Lias beta

"Einen schroffen Gegensatz zu alpha bietet nun in petrographischer Beziehung das folgende b e t a , das sich zunächst aus dunklen Tonen aufbaut. Solche Tone bieten nun leider für eine Bestimmung der Tiefe recht geringe Handhaben. Sie sind ja wohl meist landfernere Ablagerungen als die groben Sande, können sich aber auch in fast jeder Tiefe finden. Auch die Fauna wird deutlich beeinflußt durch diesen Wechsel. Im Hinblick auf die Mächtigkeit der Schicht erscheint sie recht ärmlich, immerhin zeigt eine dennoch auftretende Ostrea, eine Gryphaea,

die freilich nicht die Dickschaligkeit der früheren arcuata erreichen konnte, daß wir noch nicht ganz in die Abgründe der Tiefsee versunken sind. Die nun unmittelbar folgende beta Kalkbank bringt uns neben dieser Gryphaea auch einen Teil der alten Versteinerungen von alpha wieder, Pinna ist da, Cardinia und das dickschalige Unicardium, die auf geringe Tiefen hinweisen. Dazu kommen aber noch, um die Wahrscheinlichkeit voll zu machen, die massenhaft auftretenden angebohrten Gerölle und so können wir kaum zweifeln, daß die Meerestiefe wieder die gleiche geringe geworden ist, wie sie es zuvor in alpha war. Die nun folgenden oberen beta - Tone zeigen sich bei weitem fossilreicher als die unteren. Es sind zum Teil die gleichen Formen, wie sie in der beta - Kalkbank vorkamen und so dürfte die Tiefe ihrer Ablagerung auch nicht sehr von jener verschieden gewesen sein.

So können wir wohl annehmen, daß auch die Versenkung, die in Unterbeta eintrat, kein sehr großes Ausmaß besessen habe. Vorübergehend kehrten die Verhältnisse, wie sie in den Arietenschichten geherrscht hatten, zurück, worauf wohl aufs neue eine gewisse Vertiefung eintrat, die wir uns gleichfalls nicht allzu bedeutend vorstellen mögen." (FISCHER 1912).

Franken kann nur wenig zur Bestimmung der Meerestiefe zur Zeit des Lias beta beitragen. L. KRUMBECK (1932) hat diese Ablagerungen untersucht und verschiedene Faziesbereiche erkannt, aber weder den Verlauf der Ostküste noch die Meerestiefe konnte er bestimmen. Wenn östlich Bamberg Lias beta im Bereich des Hauptsmoorwaldes nur 5 m Mächtigkeit erreicht und wenige km weiter im Norden bei Merkendorf 30 m, dann hat man an s t a r k e R e l i e f ä n d e r u n g des Meeresgrundes zu denken.

## Lias gamma

FISCHER meint, daß gamma im Hinblick auf die Meerestiefe sich ähnlich wie beta verhalten habe. Deutliche Anzeichen für größte Flachheit wie in alpha haben sich verloren, das Meer hat sich wohl vertieft, die Fauna aber (Gryphaea, Ostrea, Modiola, zwei Cypricardien und ähnliche andere Muscheln deuten immer noch auf nicht sehr große Tiefe hin. FISCHER will und kann sich nicht auf bestimmte Werte festlegen.

Zweifellos haben wir in gamma anhaltende epirogenetische Bewegungen vor uns, bald tieferes, bald wieder etwas flacheres Wasser. Strömungen beeinflußten die Verteilung der Fossilien, gerade in Franken sind lokal starke Anhäufungen von Belemniten zu beobachten, auch Seelilienstielglieder sind in einigen Horizonten in großer Menge vorhanden, also Hinweise auf starke Strömungen.

Die bläulichen Flecken in den gelblichen Mergelkalkbänken des höheren gamma werden als G r a b s p u r e n gedeutet, es liegen auch andere Deutungen vor, gesichert ist noch keine. Bedeutungsvoll ist aber, daß man diese Fazies in der alpinen Trias, den sogenannten Fleckenmergeln und - Kalken wiederfindet. Auch im Lias epsilon greift die Ölschiefer - Fazies auf das alpine Gebiet über. Die Unterschiede in der Meerestiefe können also nicht groß gewesen sein. Die typische Fazies des Posidonienschiefers findet man z. B. in den bayerischen Kalkalpen bei Hohenaschau (Chiemseegebiet). Eine Gesamtdarstellung von Lias gamma in Franken verdanken wir KRUMBECK (1936).

Abb. 4 zeigt ein Belemniten "Schlachtfeld" (der Ausdruck stammt von F.A. QUENSTEDT), nach G. AUMANN aus dem Lias gamma von Scheßlitz bei Bamberg stammend (vielleicht liegt Lias epsilon vor). Die Belemniten wurden völlig unregelmäßig durcheinander gewirbelt beisammen, was sehr starke Wasserbewegung bezeugt.

## Lias delta

"Auch im delta halten sich noch eine Anzahl solcher Muscheln des seichten Wassers. Auch hier, wie aus gamma, beschreibt QUENSTEDT abgerollte Belemniten, die auf eine gewisse, vielleicht vorübergehende Bewegung des Wassers am Grunde hindeuten, wie denn die ganze Anhäufung der Belemnitenschlachtfelder eher auf ein länger andauerndes Fernhalten des tonigen Detritus durch bewegtes Wasser als auf ein plötzliches Massensterben zurückzuführen sein dürfte. Im ganzen verliert sich aber doch gerade hier am deutlichsten im Lias der faunistische Charakter des sehr flachen Wassers. So möchte ich denn gerade für diese Schicht die größte Meerestiefe innerhalb der Liaszeit annehmen. An eine Tiefsee aber zu denken scheint auch hier nicht begründet, und wir werden

mit r u n d 2 0 0 m wohl vollkommen ausreichen." FISCHERS Ausführungen sind zutreffend, aber an 200 m Tiefe zu denken ist wohl kaum angebracht. In Franken ist delta eine sehr mächtige Partie von Tonen (Amaltheenton), der 50 m Mächtigkeit erreicht, lokal aber auch sehr stark zurückgeht, z. B. in der Oberpfalz bis unter 1 m.

Im Gegensatz zu FISCHER nahm ALDINGER (1960) an, daß das süddeutsche Lias- und Doggermeer maximal kaum über 100 m Tiefe erreicht haben dürfte. Die große Mächtigkeit des delta ist sowohl durch Absinken des Beckens als auch durch geringe Strömung in diesem bedingt. Weithin haben wir es mit einem ruhigen Meeresbecken bzw. - Bucht zu tun, in der eine im allgemeinen arten- und individuenarme Fauna lebte. Man versuche es nur einmal an einem größeren Aufschluß von delta Fossilien zu sammeln! Die reiche Fauna, die ich (KUHN 1936) aus delta Frankens beschreiben konnte (Mikroorganismen gegen 130 Arten), wurde im Laufe von über 100 Jahren besonders bei Banz zusammengetragen. Lokal finden sich reichere Faunen, doch sind das Ausnahmen (Gibbosus - Zone im Sendelbachgraben östlich Bamberg, KUHN 1935). Auch die schönen Funde aus der Umgebung von Banz wurden im Laufe vieler Jahre von C. von THEODORI und seinen Mitarbeitern durch ständiges Aufsammeln zusammengetragen. Im oberen delta sind Anhäufungen von Amaltheen vorhanden, meist sind diese in Kalkknollen eingeschlossen, d. h., die Verwesungsgase haben den Kalk bei fortwährender Entmischung des Sediments ausgefällt. Pyrit ist in delta nur in den tieferen Partien häufiger, höher seltener. Aber das sind alles Dinge, die die Fazies betreffen, aber über die Meerestiefe wenig aussagen.

## Lias epsilon

Wie Abb. 2 zeigt, hatte das Meer des Lias epsilon eine große Erstreckung durch ganz Europa hindurch. Die Zusammenhänge dieses Archipels mit der weiteren Umgebung, im Sinne der WEGENER'schen Theorie, zeigt Abb. 3. Man darf sich heute kein Binnenmeer mehr vorstellen, das, ähnlich dem Schwarzen Meer, mit dem man es immer verglich, ringsum geschlossen gewesen wäre, wobei jede Wasserbewegung am Boden fehlte. Das S c h w a r z e M e e r ist viel größer als das Lias epsilon Meer Süddeutschlands, es hat nur eine schmale Verbindung mit dem Mittelmeer und hat

eine wenig gegliederte Küste. Es ist 2240 m tief, eine etwa 200 m starke Oberschicht, darunter salzreiches Mittelmeer - Wasser, in dem sich infolge Luftabschluß Schwefelwasserstoff anreichert. Es ist also eine stagnierende, vergiftete Wassermasse unter einer Oberschicht vorhanden, was man auf das epsilon - Meer übertragen wollte. Das ist unmöglich, wenn auch eine stagnierende, bewegungslose, vergiftete Unterschicht gelegentlich im epsilon - Meer vorhanden war.

In Franken hat epsilon die größte Mächtigkeit bei Banz, rund 10 m. Das ist verschwindend wenig gegenüber 300 m epsilon in Ölschieferfazies bei Etzel unweit Bremen. Diese Ölschieferfazies reicht von hier durch Deutschland hindurch bis in die Bayerischen Kalkalpen, wo man im Chiemgau typische Posidonienschieferfazies gefunden hat.

Die einmalig gut erhaltenen S a u r i e r f u n d e von Holzmaden, die im süddeutschen Jura einmalige Fazies, der hohe Bitumengehalt, usw., haben von jeher zum Nachdenken über die Entstehungsgeschichte des Lias epsilon angeregt. Auch die Tiefe des Lias epsilon - Meeres wurde viel diskutiert, die Frage, ob die damaligen Tiefenverhältnisse von entscheidendem Einfluß und ob Strömungen und Durchlüftung am Grunde des Beckens vorhanden waren.

Die fazielle Gliederung des Gesteins, das mit keinem anderen des süddeutschen Jura verwechselt werden kann (außer dem gewissen, aber nicht überall vorkommenden Ölschiefer des Lias alpha 3), zeigt, daß man immer nur für eine kurze Zeitspanne die Entstehungsbedingungen ausmachen kann; diese dürfen aber nicht auf das ganze epsilon übertragen werden.

FISCHER (1912) schrieb, man könnte an "gewaltige Meerestiefen" denken, wo die Saurierleichen jedem Wellenschlag entrückt, den Angriffen der Fäulnisbakterien entzogen, in stiller Ruhe eingebettet wurden. "Die Pentakrinen könnten, wie ein Teil ihrer lebenden Verwandten, als Tiefseeformen und Beweise dieser Ansicht gelten, die Ichtyosaurier als die Bewohner jener tiefen Gewässer. Doch die Sedimentation der Tiefsee ist eine sehr langsame und die wunderbare Erhaltung jener Reste spricht für rasche Einbettung. Die Charaktere der Saurier verlangen keine Tiefsee und die Pentakrinen haben vielfach auch im seichten Wasser gelebt.

Übrigens gehörte mindestens ein Teil von ihnen nachweislich dem Pseudoplankton an. Für die ganze Änderung der Fauna aber dürften doch wohl andere Gründe heranzuziehen sein, die wohl zugleich die treffliche Erhaltung jener großen Reste bedingten und so läßt sich bezüglich der Tiefe annehmen, daß jene Schichten wohl unterhalb der Grenze stärkerer Wellenbewegung in ruhigem Wasser sich gebildet haben, eine abyssale Tiefe erscheint durchaus nicht notwendig." (FISCHER 1912).

Heute, 70 Jahre nach dem Erscheinen von FISCHERS Arbeit, müssen wir annehmen, daß sicher Bodenströmungen vorhanden waren, doch dürften nur zeitweise solche gefehlt haben. BROCKAMP hat sich eingehend mit diesen Fragen beschäftigt. Aber wie gesagt, was für eine bestimmte Zeit der Ölschieferbildung galt, hat nicht allgemein gegolten, sicher nicht bei Entstehung der Monotisplatte. Auch der Fund eines Eryoniden im dünnsten Papierschiefer östlich Bamberg (der 1947 Prof. SDZUY, damals noch Student in Bamberg, gelang), sollte beachtet werden; man nahm an, es handle sich um ein e i n g e s p ü l t e s Exemplar, wollte man doch unbedingt daran festhalten, daß jede Bodenströmung und Durchlüftung fehlte. Aber ich habe auch Rippelmarken im Ölschiefer bei Kremmeldorf östlich Bamberg gefunden.

P. DORN (Tübing. Naturwiss. Abh. 15, Stuttgart 1936) hat aus der Tatsache, daß Reste bodenbewohnender Eryoniden im Mageninhalt von Haien gefunden wurden (Funde von Holzmaden in Sammlung HAUFF, Holzmaden in Württemberg), den Schluß gezogen, daß das Meer n i c h t t i e f e r a l s 7 0 m gewesen sein könne, sonst hätten die Raubfische den bodenbewohnenden Krebs nicht sehen können. (Vgl. Nachtrag Seite 110!)

E c h t e B o d e n b e w o h n e r im Lias epsilon sind selten. Die häufigste Muschel ist Posidonia (= Steinmannia), sie erfüllt stellenweise ganze Schichtflächen; sie ist kein aktiver Schwimmer, dazu ist die Schale zu dick und schwer, sie ist also ein Bodenbewohner; grabende Muscheln sind sehr selten, es sind nur zwei Gattungen mit je einem Fund bekannt, Goniomya und wohl auch Solenomya (KAUFMANN 1978, ZIEGLER et al. 1979). Die ebenfalls ganze Schichtflächen bedeckende Muschel "Inoceramus" (= Pseudomytiloides) war durch Haftfäden (Byssusfäden) an einer Unterlage fixiert oder auch an einer Unterlage festgewachsen. "Inoceramus" findet sich oft als dichter Saum um Treibholz angewachsen,

die am Boden eingebetteten Schalen waren also zu Boden gesunken, sobald die nach dem Tod der Muschel abgefallen waren. Zusammenschwemmung ist dabei kaum im Spiele. An Schalen großer Ammoniten sind oft Klappen von Ostrea festgewachsen.

Pseudomonotis ist ein Fall für sich. F. BIRZER (1936) hat festgestellt, daß in der Monotisplatte eine Anhäufung nur g e w ö l b t e r Klappen von Pseudomonotis substriata vorliegt. Es handelt sich nur um die g e w ö l b t e n K l a p p e n die andere, flache Klappe fehlt! Die Schalen dieser Muscheln lagen ursprünglich zerstreut im Sediment (Muttergestein), bei dessen Aufarbeitung wurden die Schalen getrennt, die gewölbte Platte wurde in einem breiten, dem Ufer parallelen Saum angehäuft, die andere wurde meereinwärts getrieben, doch entsprechende Lagen wurden noch nicht gefunden. Diese Monotisplatte, besonders bei Forchheim durch die Communis - Platte (Abb. 5) ersetzt, zieht als 50 km breiter Streifen von der nördlichen Frankenalb bis in die Schweiz, über Schömberg hinaus.

BIRZER (1936) unterschied eine schalenreiche von einer schalenarmen Fazies, die küstennäher entstand. Direkt an der Küste lag eine Zone ohne Anreicherung von Schalen bzw. Klappen (eine Muschelschale besteht aus zwei, linker und rechter Klappe, die keineswegs immer in der Wölbung übereinstimmen). Der Innenrand der schalenreichen Fazies verläuft von Bamberg über Nürnberg und Göppingen.

Zur Frage der B o d e n b e w o h n e r im schwäbischen Lias epsilon haben sich URLICHS, M., WILD, R. & ZIEGLER, B. (1979) geäußert. Sie betonen, daß es damals e c h t e B o d e n b e w o h n e r gab. Die Muscheln wurden bereits genannt, weitere echte Bodenbewohner sind sehr selten und treten nur auf ganz bestimmte Schichten beschränkt auf. Die F r a ß g ä n g e von Chondrites bollensis und Ch. granulatus gehören hierher (vgl. Abb. 11). Früher deutete man diese Funde (an den sog. Seegrasschiefer gebunden) als Reste von Algen und sprach von Seegras. Doch liegen Fraßgänge unbekannter Tiere vor, die keine oder nur sehr zarte, nicht erhaltungsfähige Hartteile hatten. Auch an den Meeresboden waren die in wenigen Lagen massenhaft vorkommenden Cidariden (Seeigel, vgl. beim Ölschiefer des Lias alpha) gebunden. Auch Eryoniden

und die kleine Schnecke Coelodiscus gehören hierher. Sicher läßt sich sagen, daß es am Boden des Lias epsilon - Meeres an Aasfressern fehlte, zum mindesten in der Zeit, als die großen Saurier- und Fischleichen am Meeresboden lagen, die als Hautexemplare überliefert sind. Bei einem Flugsaurier (Dorygnathus) aus Holzmaden wurden sogar Reste von Haaren nachgewiesen; man hatte es hier weniger mit sehr rascher Einbettung zu tun, wie bei den Solnhofener Funden, sondern mit völligem Abschluß von Sauerstoff.

Wie schon beim Lias gamma muß auch hier darauf hingewiesen werden, daß die typische Ölschieferfazies in den Bereich der Tethys reicht (Chiemgauer Alpen, bei Hohenaschau). Schließlich sei noch ganz ufernahe Fazies aus der Gegend von Regensburg erwähnt, wo s a n d i g e A u s - b i l d u n g von epsilon bekannt wurde (mit Insekten- und Pflanzenresten).

## Lias zeta

Die Fazies von Lias epsilon reicht in Franken nicht selten noch ins untere zeta. An manchen Punkten in Schwaben kommen nach FISCHER deutliche Spuren einer Aufarbeitung des Gesteins vor. Die Mächtigkeit ändert sich hier sehr rasch und wenig regelmäßig, also sicher kein ruhiges Meer. In der sog. B o l l e r B r e k z i e sind nach FISCHER Leitfossilien verschiedener Zonen des zeta vermischt. "Zerbrochene und abgeriebene Steinkerne von Ammoniten, zerbrochene Belemniten lassen sich beobachten, Serpeln und Bryozoen bedecken die Versteinerungen; kurz, wir haben an manchen Stellen eine Ausbildung dieser Schichten, die sie aufs deutlichste als Ablagerungen eines sehr flachen Wassers erweist. Im oberen Teil von zeta, in der Zone des A. Aalensis, scheint sich indes das Meer wieder etwas zu vertiefen.

Fassen wir unsere Beobachtungen über den Lias zusammen, so finden wir im allgemeinen recht geringe Meerestiefen. Nach einigen Schwankungen senkt sich das Meer, besonders in der zweiten Hälfte des mittleren Lias, etwas tiefer, verflacht sich aber schon gegen Ende des Oberlias vorübergehend recht beträchtlich." (FISCHER 1912).

Nicht viel anders ist die Situation im fränkischen Beckenanteil. L. KRUMBECK (1943 - 44, Z. deutsch. geol. Ges., 95 - 96) hat Lias zeta in Franken gründlich untersucht, der fränkische Teil ist beckenferner als der schwäbische.

Lias zeta, in Franken meist deutlich unter 10 m mächtig, hat lagenweise Phosphoritknollen aufzuweisen, die aber zur Tiefenbestimmung nichts beitragen. Stellenweise gibt es auch in Franken B e l e m n i t e n - L a g e r, aber nur selten aus zerbrochenen Stücken bestehend. Pentacrinitenlager (nur Stiele) wurden lokal beobachtet, ganz wie im Dogger gamma.

## Dogger alpha

Fazies und Fauna stimmen in ganz Süddeutschland weitgehend überein, mächtige (bei Schloß Banz und am Leyerberg nahe Erlangen 100 m), versteinerungsarme, dunkle Schiefertone. Nur ganz unten in alpha (Torulosus - Zone) ist die Fauna lokal reicher bis sehr reich, sehr kleinwüchsig, besonders auch bei Kremmeldorf östl. Bamberg. Diese Zone hat L. KRUMBECK vom Leyerberg (Z. deutsch. geol. Ges., 77, 1925 26) untersucht. Es liegt eine fossile Tonschlammablagerung vor, mit vielen kleinen Schnecken, Muscheln und Foraminiferen (über 100 Arten), die in sehr ruhigem Wasser bei etwa 60 m Tiefe entstand.
Zu Dogger alpha in Schwaben schreibt FISCHER (1912), hier "finden wir in den mächtigen, versteinerungsarmen dunklen Tonen der Opalinusschichten die Tone des liasischen Unterbeta wieder. Auch hier gibt die petrographische Ausbildung nur ganz geringe Anhaltspunkte zur Bestimmung der Tiefe. Dafür ist die Fauna etwas reicher und aus ihr entnehmen wir, daß auch diesmal nur von einer relativ flachen See die Rede sein kann. Wohl ist z. B. die Muschelwelt eine andere als in den Kalken von Lias alpha, sie ist den Bedingungen des schlammigen Untergrunds angepaßt und erinnert zum Teil selbst an Lias epsilon, aber das Vorkommen von Lingula deutet doch auf geringe Tiefe hin, Pinna und Perna, eine Ostrea und verschiedene Astarten weisen eben dahin und von den Trigonien sind nicht allein die lebenden Verwandten und eine ganze Menge von fossilen als typische Flachwasserbewohner bekannt, sondern auch ihre Dickschaligkeit und ihre reiche Skulptur lassen auf dieselben Lebensbedingungen schließen."

Gegenüber Schwaben ist die fränkische Fauna (KUHN, Paläont. Z., 17, 1935) nicht artenärmer, aber die großen Exemplare von Trigonia navis, die in Schwaben vorkommen, gibt es in Franken nicht. Hier kommen nur verkümmerte kleine Klappen vor. Trigonia ist aus Südamerika im Dogger nach Europa eingewandert, sie tritt hier im Dogger alpha 1 auf, sie geht weit nach oben, im Tertiär hat sich die Gattung schon fast ganz in die See um Australien zurückgezogen (hier Neotrigonia).

Verkieste Fossilien in Opalinuston fand ich bei Bamberg nie, aber große, tonige, flach gedrückte Exemplare von Lioceras opalinum (bis zu 18 cm d). Kleine Einzelkorallen sind im tiefsten alpha nicht selten. Bei Drügendorf fand sich der Abdruck einer Qualle, wohl ein Hinweis auf seichtes Meer (KUHN 1937).

## Dogger beta

In Württemberg zeigt Dogger beta nach FISCHER nun vollends die geringe Tiefe des Meeres deutlich genug: "Der Sand hat wieder auf weite Erstreckung die Herrschaft gewonnen. Wellenschläge, Kriechspuren, Zöpfe, Wedel (vgl. hier Abb. 11) zeugen wie schon früher im Angulatensandstein, von geringer Tiefe. Aufarbeitung einzelner, eben abgelagerter Schichten, wie wir sie in den Geschiebebänken mehrfach übereinander wiederholt finden, und wie sie besonders noch einmal in der Aufhäufung zusammengeschwemmter Fossilien in den sogenannten Trümmeroolithen mit reichlich abgerollten Muschel-, Belemniten-, Ammoniten- und Wirbeltierresten zum Ausdruck kommt, ferner der Wechsel der Fazies in Sandsteinen, Mergeln, Geröllbänken, Eisensteinen und Oolithen zeigen den Charakter des ganz außerordentlich flachen Wassers. Dem entspricht auch die Fauna mit Lingula, Austern, Gryphäen, Modiola, Pinna und den dickschaligen Astarten und Trigonien."

In Franken, wo Dogger beta meist um 50 m Mächtigkeit erreicht, war der Sedimentationsraum sicher weniger tief als in Schwaben. Man hat hier verschiedene parallel streichende Rücken festgestellt, die sich an Hand von Mächtigkeiten und Fazies nachweisen ließen. Die zahlreichen Untersuchungen, vor allem von SCHMIDTILL, B. v. FREYBERG und seiner Schule, haben viele Einzelheiten erkennen lassen, man hat mit sehr

wechselvollen Sedimentationsbedingungen eines Wattenmeeres zu rechnen, es fanden starke Aufarbeitungen in dem flachen Meeresgebiet statt, die Flöze entstanden nach Aufarbeitung des tonigen Muttergesteins durch anschließende Konzentration der Ooide. Sehr beachtenswert sind in unserem Zusammenhang auch die vielen Muschelpflaster, besonders "Pecten personatus", nach der man früher auch von "Personatensandstein" sprach. Die Muschelfauna ist nach SCHMIDTILL sehr reich, sie umfaßt 143 Arten, dem gegenüber nur 11 Schnecken, Ammoniten sind sehr selten. Das alles erinnert an den Angulatensandstein, der zuweilen von gewissen Partien des Doggersandsteins kaum zu unterscheiden ist. Wellenfurchen sind zu beobachten, oft großer Abstand der Wellenberge, um 15 cm und mehr. Kreuzschichtung fand ich nur selten (vgl. bei Lias alpha 2).

Die Muschelfauna deutet auf sehr flaches Meer, es gibt verschiedene Horizonte, wo sich Muschelschalen anreichern, etwa im Austernhorizont. Die kleinen Peciniden (P. personatus) und die "Pleuromyen" sind, soweit ich das feststellen konnte, stets einklappig auf den Schichtflächen angereichert, niemals schuppenförmig übereinander geschoben wie bei der Monotisplatte.

Aufschlüsse größeren Umfangs lassen vermuten, daß die Sandmassen k ü s t e n p a r a l l e l transportiert wurden, (vgl. MEYER & SCHMIDT - KALER 1983, Abb. 5, Lebensbild des Dogger beta - Meeres, nach SELLWOOD 1981).

Die A u s t e r n b a n k geht nicht durch ganz Franken, auch die Schillbänke bevorzugen nur Teile Frankens; charakteristisch enge Kreuzschichtung ist zuweilen sichtbar, seltener Muschelgrabgänge, dazu solche von Würmern oder Krebsen (?). Die Lebensspuren sind schwer deutbar, neuerdings ist auch R h i z o c o r a l l i u m nachgewiesen, dazu Freßbauten von Würmern, meist zu C h o n d r i t e s , (ähnlich denen aus Lias epsilon) gestellt. An die seltenen Perlschnurfährten sei erinnert (SEILACHER 1960).

Eine zusammenfassende Darstellung der Erdgeschichte des Doggersandsteins hat B. v. FREYBERG (Erlanger geol. Abh., 108, 1980) gegeben, auf Meerestiefen konnte er sich auch nicht festlegen. G. DIETL (Stuttgart. Beitr. Naturkd., B 25, 1977) gab eine zusammenfassende Darstellung des Dogger in SW - Deutschland.

Endlich wäre noch zu erwähnen, daß Quallen im Dogger beta Schwabens gelegentlich nachgewiesen wurden, doch verlangt ihr Vorkommen keineswegs einen trockengelaufenen Ufersaum, wo sie gestrandet wären. Das war auch bei den Solnhofener Funden im Ob. Malm nicht der Fall.

## Dogger gamma

"Braun Jura gamma schließt sich mit der Sowerbyibank würdig Dogger beta an. Aufarbeitung des Untergrundes wird aus Franken beschrieben und dürfte sich ähnlich wohl auch in Schwaben noch nachweisen lassen. Bei Gingen z. B. ist die Oberfläche einer Bank, die sonst durch ein paar Meter dunkler Tone von der Sowerbyibank getrennt wird, unmittelbar von dieser bedeckt und von oben her durch Pholaden angebohrt. Auch sonst ist die Grenzbank recht reich an Geröllen, die allseitig von den Muscheln angebohrt wurden. Selbst wenn diese "Gerölle" nicht, oder nur zum kleinen Teil dem Untergrund entstammen, sondern, wie F. GAUB angibt, an Ort und Stelle als Konkretionen auf dem Meeresgrund entstanden sind, so wird doch schon durch ihre Anbohrung, ähnlich wie im Lias alpha und beta, die Flachheit der See bewiesen. Hier an der Wende von Braun Jura beta zu gamma tritt auch zum zweiten Male im schwäbischen Jura der Fall ein, daß sich die große allgemeine paläontologische Zonengliederung nicht durch verfolgen läßt: die Zone des Leioceras concavum, die in Frankreich, England und Norddeutschland zwischen der des A. Murchisonae und des A. Sowerbyi sich einschiebt, scheint zu fehlen und es erscheint als recht bezeichnend, daß beidemal, im Lias zeta und eben jetzt, eine solche Unregelmäßigkeit zusammenfällt mit allen Merkmalen außergewöhnlich verringerter Meerestiefe.

Nach oben hin wird gamma sandiger, toniger, dann mehr und mehr kalkig: das Meer mag sich um ein geringes vertieft haben. Aber die Fauna mit ihren verschiedenen Korallenhorizonten, mit Lingula, mehreren Austern und Gryphäen, Pleurotomarien, Trigonien, Perna, Trichites, Modiola und Lithophaga, mit vielen Serpeln und Bryozoen, bietet Hinweise genug auf seichtes Wasser und auch noch im obersten gamma, in den Blauen Kalken, finden sich diese Versteinerungen geringer Tiefe häufig genug."

Dogger gamma ist in Franken selten bis 5 m mächtig und sehr arm an Ammoniten, ein Hinweis auf ungünstigere Lebensbedingungen. Außer dem Basalkonglomerat sind zuweilen bis zu drei Gröllhorizonte in einem Profil festzustellen. Kalksandsteinbänke, meist mit Brauneisenooiden, kommen in fast allen Profilen vor, Austern und glatte Pectiniden (P. demissus) können Pflaster bilden. Auch an der gamma - delta - Grenze ist meist eine Geröllbank vorhanden. Auf das von E. SCHMIDTILL (1951) aufgefundene rasenförmige Korallenvorkommen im Dogger gamma Frankens bei Thalmaessing sei hingewiesen.

Auf die sehr unruhigen Sedimentationsverhältnisse an der süddeutschen Dogger beta - gamma Grenze in Schwaben hat auch RIEBER (1963) hingewiesen, er spricht von einem Sowerbyi - Discites - Konglomerat in Schwaben.

## Dogger delta

Dogger delta hat sich nach FISCHER in Schwaben in ähnlicher Tiefe wie gamma abgelagert. "In der Tat, Serpeln und Bryozoen, die Masse der Austern, die Pinnen, Modiola, Bohrmuscheln, Trigonien und Astarten sprechen deutlich genug. Gehen wir zum petrographischen Charakter dieses Schichtenglieds über, so finden wir hier zuerst eine Ausbildung vorherrschen, die sich schon früher da und dort vorübergehend eingestellt hatte, die aber von nun an für den Rest des Braunen Jura in hohem Grade bezeichnend bleibt, diejenige der Oolithe, speziell der Eisenoolithe. So muß es uns wohl interessieren, in was für Tiefen sie noch heute entstehen und in was für Sedimenten der geologischen Vergangenheit sie sonst noch angetroffen werden. Es sind echte Bildungen der Seichtwasserzone, die nicht nur heute noch in ganz geringer Tiefe entstehen, z. B. auf der Rhede von Sues und bei Barbados, sondern auch stets in ihrem Auftreten an die Ablagerungen des seichten Wassers geknüpft erscheinen. Daß sie nicht noch mehr in unseren Juraschichten auftreten, z. B. im Lias, mag wohl an anderen Umständen liegen als an der Tiefe, diese war wohl eine, aber sicher nicht die einzige Bedingung für ihr Entstehen.

Die Oolithbildung zieht sich noch weiter in epsilon hinein, überhaupt erscheint der obere Braune Jura im Osten des Landes eng zusammengepreßt und in der Ausbildung kaum wesentlich verschieden. Es dürfte sich also auch die Tiefe nur wenig geändert haben. Anders ist die Fazies im Südwesten, wo sich stärkere Tonzufuhr einstellt. Aber auch in den Tonen finden sich deutliche Anzeichen der geringen Tiefe in den verschiedenen Höhenlagen auftretenden allseitig angebohrten Geröllen, z. B. der Balinger Gegend und oben stellt sich ganz allgemein wieder ein Oolith ein, das berühmte Lager der Makrocephalen."

Seitdem ist im klassischen Land des Jura nichts Wesentliches mehr hinzu gekommen. Genannt sei eine Arbeit von P. DORN (Cbl. Mineral., B, 1937, S. 295 - 304), der fossile Perlen aus dem Dogger delta Schwabens beschreibt und daran paläogeographische Bemerkungen anknüpft.

Gegenüber Schwaben ist in F r a n k e n delta nur sehr wenig ausgebildet, an dem sehr fossilreichen Fundort Lohndorf östlich Bamberg entfallen auf delta etwas über 1 m, Mergel mit einigen gelblichen Mergelkalkbänken, zwischen denen man die Riesenbelemniten findet. Sie kommen aber auch noch in den Parkinsonienschichten vor. Oolithführung ist spärlich bis nesterhaftes Vorkommen. Die berühmte Hahnenkammauster (Ostrea cristagalli = O. marshi, Abb. 11) ist nur lokal häufiger, eigentliche Riffe traf ich nicht an, es fehlt direktes Ansiedeln der jüngeren Generation auf der älteren, also niemals Schale auf Schale. Doch ist vielfach noch das Substrat von Austern zu sehen. Auf den Riesenbelemniten sind vielfach kleine Austern zu finden, darüber noch weitere Tierformen, zuweilen bis zu d r e i L a g e n übereinander, vor allem Serpeln, viel weniger Austern, auch Bryozoen. Die Belemniten weisen oft B o h r l ö c h e r auf und da sie allseits von Epöken bedeckt sind, ist auf starke Wasserbewegung zu schließen, welche die Rostren auf dem Meeresboden hin und her rollte.

In Württemberg fand man eine Austernklappe, auf der die Form eines Ammoniten plastisch die normale Oberflächenskulptur der Auster unterbrach. Die untere Klappe dieser Auster hatte sich einst auf einem Ammonitengehäuse festgesetzt, dessen Skulptur das Wachstum der Auster bestimmte. Da die Oberklappe sich nach der Form der Unterklappe richten mußte, um das Schließen der Schale zu ermöglichen, entstand das Bild des als Unterlage dienenden Ammoniten.

Wenn man bedenkt, daß die Zonen des Dogger delta in NW - Deutschland oft 50 mal mächtiger sind als delta in Franken, so ist das auf s t a r k e W a s s e r b e w e g u n g i n e i n e m F l a c h m e e r zurückzuführen. Was an Sediment zugeführt wurde, führten Meeresströmungen wieder weg. Es liegt in delta, aber auch noch im Dogger epsilon 1 - 2, eine extrem schwach ausgebildete, an Ooiden meist recht reiche Fazies, ohne sandige Komponente, vor, die viele dickschalige Muscheln enthält. Doch ist die Hahnenkammauster (Ostrea cristagalli) meist klein und wirkt kümmerlich. Direkte Austernriffe, wo eine Schale fest auf der anderen liegt, fand ich in Franken nicht.

## Dogger epsilon

In Schwaben tritt nach FISCHER, besonders was die Tone betrifft, ein gewisser Wechsel gegenüber delta ein.: "Die reiche Tierwelt, die sich noch an dessen oberer Grenze in den Bifurkatenoolithen fand, konnte sich nur teilweise auch in epsilon noch erhalten. Die kleine Ostrea Knorrii tritt an die Stelle der dicken eduliformis, aber wenn man die Liste der Zweischaler und der Schnecken betrachtet, die Brachiopoden sind ohnehin fast dieselben, so daß sie QUENSTEDT nicht auseinanderzuhalten vermochte, so gewinnt man doch auch hier einen Eindruck von der Tiefe, der mit dem petrographischen Befunde recht wohl übereinstimmt. Eine ganz geringe Vertiefung mag stattgehabt haben, der Gesamtcharakter des Meeres hat sich nicht geändert."

Im Dogger epsilon Frankens handelt es sich, soweit es um das Bathonien (Dogger epsilon 1 - 2) geht, um eine höchst reduzierte Serie, zuweilen kaum über 1 m. P. DORN (Jb. Preuß. Geol. LA. 48, 1928), hat die Parkinsonienschichten von Thalmässing (Mittelfranken) untersucht, später haben sich SCHMIDTILL und KRUMBECK (1931) eingehend mit dieser Zone in Franken beschäftigt. Sie haben sich natürlich auf jene Gebiete beschränkt, wo die Zone etwas mächtiger und fossilreicher ist. Auch ihre Befunde sprechen für ein seichtes Meer. Jedenfalls waren damals die Ablagerungsbedingungen sehr variabel, die Meerestiefe dürfte kaum 20 m erreicht haben.

## Dogger zeta

"Der nun folgende Ornatenton, ist durch seine schönen verkiesten Ammoniten bekannt. Ihr toniger Charakter läßt zunächst keine näheren Schlüsse über die Ablagerungstiefe zu. Im Südwesten der Alb, vom Eyachtal bis zur Wutach, treten auch hier noch Oolithe auf. Im fränkischen Gebiete tritt eine bedeutende Regression des Meeres ein mit zum Teil sehr bedeutender Aufarbeitung bereits gebildeter Schichten verbunden. Ähnliches ist bei uns nicht nachgewiesen, obgleich POMPECKJ gelegentlich auch aus Württemberg deutlich abgerollte Konkretionen angibt. Dagegen kommt die dort im Osten an der Grenze zwischen Braunem und Weißem Jura auftretende Anhäufung von Glaukonit auch im östlichen Württemberg vor, sie scheint auch im mittleren Teile des Albrands hin und wieder angedeutet zu sein und in der Wutachgegend ganz ähnlich wiederzukehren. Auch dies würde wiederum relativ geringe Meerestiefe beweisen, denn Glaukonit ist ein Mineral, das sich auch heute noch auf dem Meeresgrunde bildet und zwar nach allen bisherigen Untersuchungen wesentlich in geringeren Tiefen." (FISCHER 1912).

Der G l a u k o n i t kommt in gewissen Horizonten des süddeutschen Jura häufig vor. Es ist zu nennen der Arcuatenkalk des Lias alpha 3, die Grenzregion von Dogger zum Malm und die untere Partie der Platynota - Zone (Malm gamma 1). Hier handelt es sich durchwegs um Sedimente der Flachsee, die bei starker Wasserbewegung entstanden sind. Ob hier, wie vermutet wurde, kalte und warme Wasserströmungen aufeinander stießen, ist nicht zu entscheiden.

Dogger zeta und mit ihm das ganze fränkische Callovium, das maximal um 30 m Mächtigkeit erreichen kann, wurde zwar wiederholt bearbeitet, doch die Frage nach der Meerestiefe bleibt offen. L. REUTER (1908) hat drei Faziesbereiche, die Kalk-, Pyrit- und Phosphatfazies unterschieden, die sich immer wieder verschoben. Zudem sind sie nicht so scharf abzugrenzen, wie REUTER annahm. In der Pyritfazies fanden sich 2 Riesenammoniten bei Tiefenellern (WANNENWETSCH, Macrocephalites im süddeutschen Callovium, Diss. Tübingen 1962, ungedruckt), zuweilen wechselten bei der Fossilisation eines Ammoniten phosphoritische und pyritische Phasen ab. Neuerdings hat CH. MUNK eine Stillwasserfazies ausgeschieden.

Etwas weiter kommen wir mit den Geröll - Lagen gegen die Malm Grenze hin. Doch nicht alles sind Gerölle, es liegen vielfach Phosphoritkonkretionen vor. Einer der beiden Riesenammoniten von Tiefenellern (Originale im Naturkundemuseum Bamberg) lag mit der Oberseite lange unbedeckt am Meeresboden, die obere Partie wurde aufgelöst und es setzten sich zahlreiche Exemplare von Belemnites calloviensis auf der Lösungsfläche fest. Möglicherweise spricht das im Verein mit den Phosphoritgeröllen und dem Glaukonitreichtum dieser Zone für flaches Wasser.

## Malm

Nach dem Ornatenton beginnt im Malm ein völlig neuer Charakter der Sedimentation. Alpha ist zunächst noch stark tonig, die Kalke nehmen aber rasch zu. Auf den mit alpha beginnenden Z y k l u s mit seinen R h y t h m e n komme ich noch zurück. Die im Dogger noch so häufigen Sandsteine, oder doch Sandbeimengungen, haben schon im Dogger gamma aufgehört, ganz und gar fehlen auch Toneisensteingeoden, Pyritkonkretionen und Eisenoolithe, hingegen treten Hornsteinknollen (Kieselknollen) öfters auf, sogar in Lagen. War schon die Frage nach der Meerestiefe im Lias und Dogger, wo die mächtigen Tone im Lias beta, delta, Dogger alpha und epsilon - zeta entstanden, unlösbar, so ist das nun bei den mächtigen Kalken des Malm auch nicht einfach, denn wenn man die Sache überdenkt, dann treten doch immer neue Zweifel auf. Man kann die Tiefe, in der sich Schwamm- oder Korallenriffe bildeten, keineswegs sicher erfassen, was heute stimmt, braucht für damals nicht richtig zu sein. B. ZIEGLER (1983) gibt zu, daß seine Werte auf Schätzungen beruhen; es ist aus den vielen Einschaltungen von Schutt im Malm delta bis zeta zwar auf zeitenweise sehr starke Wasserbewegung bis hinab zum Meeresboden zu rechnen, aber bekanntlich kann diese sehr tief reichen. Dazu kommen noch die O o i d e , die scheinbar gar nicht recht in das Bild von einer damals tiefen See (vgl. Gg. WAGNER) passen.

Dazu kommt die Tatsache, daß der Malm nicht in einheitlichem Becken, sondern vielen größeren Mulden abgelagert wurde, die schwäbische Fazies ist mergelreicher als die fränkische, was aber über die Meerestiefe wenig aussagt. Dazu kommt sehr schwankende Mächtigkeit oder gar Auskeilen

der Kalkbänke, die man mit Hilfe der von B. v. FREYBERG eingeführten S t r o m a t o m e t r i e gleichsam individuell erfassen, durchnumerieren und oft weithin verfolgen kann.

Auch die Frage nach der Herkunft des im Malm sedimentierten Materials ist noch keineswegs gelöst, die epirogenetischen Krustenschwankungen und die Klimaperiodizität, die POMPECKJ für den Malm beta in Anspruch nahm, geben noch viele Rätsel auf.

Man ist bei der von A. ROLL (1934) entwickelten Lehre über das Wachstum der Schwammriffe im Malm nicht stehen geblieben und hat die anderen biogenen Bestandteile stärker berücksichtigt. Die B i o s t r o m - o d e r S c h w a m m r a s e n - F a z i e s vermittelt zwischen Schicht- und Riff- Fazies. Hier ist der biogene Anteil geringer als in den Riffen, insbesondere fehlt ein durchgehendes Schwammgerüst (R. MEYER & SCHMIDT - KALER 1983). Schwämme und Algenkrusten sind locker verteilt, so im Treuchtlinger Marmor (Malm delta). Nimmt der Rasen flächenhaft zu, dann bilden sich undeutlich - dickbankige, aber ebenflächige Kalke (tafelbankiger Kalk und Dolomit des höheren Malm delta und epsilon). Neben den Schwämmen mit nur dünnen Algenkrusten kommen vor allem Brachiopoden, Echinodermen, Bryozoen und Serpeln vor. Mikroskopische Untersuchungen von R. MEYER & SCHMIDT - KALER (1983) zeigen, daß die Schwammrasen in ausgedehnten Kleinpartikel - Kalken aus Pellets, Onkoiden, Intraklasten und Ooiden siedeln. Dazu kommen nach den beiden genannten Autoren noch die schon im Treuchtlinger Marmor häufigen Tubiphyten und weitere sessile Foraminiferen. Bezeichnend für die tafelbankige Biostrom - Fazies sind zahlreiche, oft horizontal angeordnete K i e s e l k n o l l e n und sekundär verkieselte Schwämme. Kieselknollen sind im allgemeinen im Malm nicht häufig, doch kommen sie in allen Horizonten vor. In der B i o h e r m - o d e r S c h w a m m r i f f F a z i e s (Abb. 7) bilden die Schwämme und dicke Algenkrusten ein durchgehendes Riffgerüst, dadurch erhebt sich das Riff deutlich hügelförmig über die Schicht- oder Biostrom- Fazies. Diese Zusammenhänge hat ROLL zwar prinzipiell erkannt, dabei aber die Rolle der Algen übersehen. Bei Verfestigung dieser Riffe werden aus kleinen Riffen Stotzen, aus großen die strukturlosen Massenkalke, GÜMBELS P l u m p e r F e l s e n - k a l k."

Eine Sonderstellung nehmen die W ü r g a u e r S c h i c h t e n GÜMBELS ein, in diesen glaukonitischen Mergeln liegen zahlreiche einzelne Schwämme und viele andere Fossilien, vor allem sehr viel Sutneria platynota.

## Malm alpha

Mit Malm alpha beginnt zwar ein neuer Gesteinscharakter, aber noch nicht sofort die typischen "Unteren grauen Mergelkalke" GÜMBELS oder gar die wie im Werkkalk (beta) ausgebildeten hellen Bankkalke. In Franken ist das tiefste alpha durch knollige Mergelkalke sowie die Marmorkalkbank ausgezeichnet, erstere sind reich an Glaukonit. ZEISS betont die bioturbaten Zonen, die im tiefen Malm alpha auftreten. Wir haben hier sicher mit starker Wasserbewegung zu rechnen. Man hat hier den Eindruck, daß nach Bildung des Ornatentons das Meer nicht tiefer, sondern flacher wurde. (FISCHER (1912) stellte die Frage "werden wir jetzt vielleicht die Ablagerungen der Tiefsee finden?". Und G. WAGNER (1960) meinte, von Malm alpha an müsse "ziemlich große Tiefe" geherrscht haben. Dabei ging er von der Landferne des süddeutschen Beckens aus. Aber auch hier ist noch manches unklar; zwar war die Böhmische Insel nach und nach abgesunken, aber die Mitteldeutsche Masse hob sich aus den Fluten!

FISCHER weist darauf hin, daß wir ganz basal im Malm Schwabens im Osten und Westen viel Glaukonit finden, also Fortsetzung der vorhergehenden Sedimentations- und Tiefenverhältnisse. In der Mitte Schwabens scheint dieser zu fehlen. Sonst findet FISCHER im "glatten alpha" wenig Anhaltspunkte und er geht gleich zu beta über.

Daß an der Dogger- Malm- Grenze ein offenbar sehr rascher Faunenwechsel erfolgte, besonders was die Ammoniten angeht, ist allgemein bekannt, läßt aber über etwaige Änderung der Meerestiefe gar nichts aussagen.

## Malm beta

In Schwaben "glatte" Kalkbänke (Werkkalk wie in Franken), nach FISCHER eine spärliche Muschelfauna mit Pinna, Perna, Hinnites und Ostrea. Auch in Franken ist beta fossilarm, öfters Pholadomya clathrata, kleine Brachiopoden, auch Nautiliden; auffallend sind die großen Perisphincten, die bei Beaufsichtigung der Steinbrucharbeiten im Laufe der Jahre zum Vorschein kamen, darunter Riesen mit bis zu 80 cm Durchmesser. Leider sind diese Formen, meist von Tiefenellern, noch nicht bearbeitet. Die Schwammfazies ist gegenüber alpha und gamma kompakter, es fehlt der Mergel. Die Fossilien wittern daher schwer aus. Nach FISCHER scheint der Schluß gerechtfertigt, daß wir hier endlich Ablagerungen eines tieferen Meeres vor uns haben: "Allein erinnern wir uns, daß diese ganze Tiergesellschaft, wie wir sie z. B. am Lochengründle vor uns haben, die nächste Beziehung zeigt zu der fossilen Fauna der Birmensdorfer Schichten, die zum Teil sehr glaukonitisch ausgebildet sind, so mahnt dies doch sehr zur Vorsicht; weder die mitkommenden Kalkschwämme, noch überhaupt diese ganze Tiereswelt, die mit den Schwämmen verknüpft erscheint, macht eigentlich den Eindruck einer Tiefseefauna, die Menge der Echinodermen, Serpeln, Bryozoen, Cranien, das Heer der Zweischaler und der dickschaligen Brachiopoden, das alles weist doch wohl mit größerer Wahrscheinlichkeit auf ein relativ flaches Meer hin. Die Flachsee ist das Gebiet derartiger Tieransammlungen und wenn wir heute ein Analogon suchen zu den Schwammbildungen der Jurazeit, so finden wir es am ehesten in den Bauten der Korallen. Auch eine Reihe geologisch - petrographischer Gründe scheint dahin zu zielen, daß die Tiefe keine allzugroße war: die starke Grusbildung, die gestörte und oft völlig umgekehrte Einbettung der Schwämme im Gestein und noch eine Reihe anderer Beobachtungen scheinen mir darauf hinzudeuten, daß die Schwammbauten, wenigstens vorübergehend, sich bis in das Gebiet der Wellenbewegung erhoben. Als weiteren Beweis für diese Anschauung möchte ich den Nachweis von Glaukonit in Unterbeta und an der beta- gamma- Grenze im Lochengebiet anführen. Auch Bohrmuschellöcher konnten dort in demselben Niveau nachgewiesen werden. War also auch immerhin die Tiefe im untern Weißen Jura dem Braunen gegenüber größer geworden - die gleich-

mäßig ruhige Ablagerung der beta - Bänke deutet dies gleichfalls an - so erreichte sie doch noch immer keinen Betrag, der diese Schichten zu Sedimenten der Tiefsee stempelte, und ich möchte wohl eher einen späteren Rückzug der Hexaktinelliden in die Tiefe annehmen, als aus ihrer Lebensweise allein Schlüsse ziehen, die sich mit so viel anderen Beobachtungen nur schwer vereinigen lassen."

Auch nicht weiter kommen wir mit dem Versuch, die Tiefe des damaligen Meeres zu bestimmen mit den Ergebnissen B. v. FREYBERGS und seiner Erlanger Geologenschule. Es hat sich gezeigt, daß beta eine rhythmische Ablagerung innerhalb eines größeren Zyklus ist (alpha tonig, ebenso gamma, beta und delta kalkig!). Die einzelnen Bänke, deren Zahl konstant ist und die durch mehr oder weniger gleichbleibende Dicke über größere Entfernung hin verfolgt und identifiziert (Numerierung der Bänke!) werden können, werden durch dünne, graue, tonreiche Fäulen getrennt. Hier konnte ich nun an mehreren Stellen, vor allem bei Zeegendorf östl. Bamberg eingeregelte Rostren von Belemniten (B. hastatus) antreffen. Das deutet wohl auf geringe Wassertiefe hin, vielleicht nur 50 m. Weiterhin beschrieb ich (KUHN 1949) einen Schildkrötenpanzer (Plesiochelys sp.) aus dem Malm beta von Drügendorf südöstlich Bamberg. Der Panzer lag mit dem Carapax nach unten im Gestein, das Plastron kam in eine Fuge zu liegen und wurde beim Auffinden mitsamt der schiefrig brechenden Fäule abgesprengt. Auch das spricht für geringe Wassertiefe.

Noch ein weiterer Fund soll erwähnt werden. Es handelt sich um eine sehr große Grabspur von Daemonhelix (SCHNEID 1938) aus dem Werkkalk bei Bamberg. Beim ersten Anblick erinnerte sie an den Steinkern einer riesengroßen Schnecke (Nerinea),denn der spiralige Bau ist sehr auffallend. Aber auch hier können über die Meerestiefe keine näheren Angaben gemacht werden. Nur gelegentlich, seltener als in gamma, trifft man in beta Spuren von Riffzerstörung an.

Die Fossilarmut in Malm beta ist bekannt, doch sind immerhin gelegentliche Anreicherungen bestimmter Formen, besonders von Oppelien (Taramelliceras) zu verzeichnen; stets handelt es sich dabei um kleine Individuen (meist unter 3 cm d), die durch Bodenströmungen zusammengeschwemmt wurden. Denkt man das über beta Gesagte noch einmal durch,

dann spricht alles eher für geringe, als für größere Tiefe. Sind es, wobei Verzahnung mit Schwammriffen in Rechnung zu stellen ist, 80, 100, 150 oder noch mehr m Tiefe, ich kann es nicht entscheiden.

## Malm gamma

An der Grenze zu beta vollzieht sich in Schwaben ein rascher Fazieswechsel, nichts deutet in der nun wesentlich reicheren Fauna auf Zunahme der Meerestiefe hin, eher auf geringere. Die Schwammfazies nimmt in gamma zu, in delta erreicht sie den Höhepunkt. Wie FISCHER betont, nimmt mit den Schwammbauten die Reliefbildung am Meeresboden zu, auf kurze Entfernung hin ist sie schon außerordentlich verschieden.

Malm gamma beginnt in Franken mit den "Oberen grauen Mergelkalken", daneben die W ü r g a u e r S c h i c h t e n , die schon GÜMBEL in ihrer Eigenart erkannt hat, sie enthalten viel Glaukonit. Der Reichtum an Fossilien ist hier enorm; in Tiefenellern habe ich im Laufe vieler Jahre eine reiche Fauna (incl. Foraminiferen über 100 Arten), alles ausgewittert und lose, vor allem viele Schwämme, Brachiopoden, Muscheln, Echinodermen, auch massenhaft Sutneria platynota gesammelt. Hier wurden zweifellos die Schalen zusammengespült, es finden sich auch kleinere Kalkbrocken die an die Bestandteile von Brekzien erinnern. Also Aufarbeitung von Malm beta! Aber die Funde großer Exemplare des Seeigels Rhabdocidaris (bis zu 10 cm d der Corona) oder um 20 m hohe Stücke von Pleurotomaria babeauana, sagen kaum etwas über die Meerestiefe aus. Hingegen sind Riffzerstörungen, deren Effekt sich in der gebankten Normalfazies des höheren gamma an verschiedenen Stellen (besonders deutlich in dem Hölleinschen Steinbruch an der Würgauer Steige) beobachten läßt, schon eindeutiger. Auch bei Ludwag sind Riffzerstörungen zu beobachten.

Wie R. MEYER & SCHMIDT - KALER (1983) an Hand eines ausgezeichneten Abbildungsmaterials zeigen, kann man in der Altmühlalb an der Grenze Malm beta - gamma weit reichende Diskordanzen und Aufarbeitungen ("Ammonitenseife") feststellen. Interessant ist dabei, daß die Bank 233 (1) nach Osten einfällt und im Gebiet Beilngries - Greding nicht mehr auftritt. Sehr auffällig ist im mergeligen Profil des unteren Malm gamma

die dicke Bank Kalkbank 242, die einen ausgezeichneten und leicht erkennbaren Leithorizont bildet. Sie kann in der ganzen Südalb und darüberhinaus bis in die Nordalb wieder aufgefunden werden. Schon in den Profilen Weissenburg und Zimmern zeigte sich in den obersten Banken des Malm beta, besonders in Malm Bank 228 und 229, ein auffallender Reichtum an Fossilien, besonders die Ammonitengattung Taramelliceras und Sutneria galar. Darüber liegen die Ammoniten z. T. so dick gepackt neben und übereinander, daß man diese Bänke als A m m o n i t e n s e i f e bezeichnet. Die nur selten zerbrochenen Schalen sind häufig einseitig von Serpeln und Austern bewachsen. Diese in der ganzen südlichen Frankenalb vorhandene Ausbildung ist auch in Schwaben bekannt.

## Malm delta

Auch hier kann man kaum nähere Angaben über die Meerestiefe machen, sie dürfte mit der von beta übereingestimmt haben. Die Treuchtlinger Kalke, in denen BANTZ (1970) über 100 Arten nachgewiesen hat, enthalten keine Anhaltspunkte dafür, daß das Meer damals flacher war, eher tiefer. In delta erreicht die Schwammfazies ihr Maximum, die Korallen hingegen aber erst in zeta. Die Schwammriffe bedeckten fast den ganzen Meeresboden, nur kleine Lücken blieben übrig und in den Schüsseln innerhalb der Schwammfazies bildete sich Normalfazies.

Soweit ich sehe, nimmt man heute im allgemeinen an (vgl. auch ALDINGER 1960), daß sich die Schwammriffe in kaum mehr als 150 m Tiefe gebildet haben (Abb. 12). Wieweit sie an den Meeresspiegel heranreichten, ist unbekannt; jedenfalls wurden sie lokal das Opfer der Brandung und der Meeresströmungen. ALDINGER nahm an, daß bis delta die Schwammriffe unterhalb der Wellenbasis lagen, in zeta fand nach ihm starke Meeresverflachung statt und die Riffe wurden weithin von der Brandung bearbeitet.

R. MEYER (1977) erwähnte O o i d e aus dem Malm delta und epsilon der südlichen Frankenalb, BAUSCH (1963) beschrieb diese für Ooide gehaltenen Gebilde als Bildungen von Algen. VIOHL (1983) nimmt diese Umdeutung von BAUSCH (1963) an, denn sonst müßte man den Schluß ziehen, daß das Malm delta - Meer zur Zeit der Bildung solcher Ooide fast bis

zur Meeresoberfläche auftauchte, da sich Kalkooide nur bis zu 2 m Tiefe, maximal bis zu 15 m Tiefe des Meeres bilden.

Da mir die Angelegenheit sehr wichtig erschien, rief ich Herrn Dr. R. MEYER (Bayerisches Geologisches Landesamt, München) an, der mir sagte, daß er an Hand von Dünnschliffen den Beweis erbracht habe, daß es sich bei den fraglichen Gebilden um echte Ooide handle. Er gab allerdings zu, daß diese im vorliegenden Fall verschwemmt sein könnten. Außerdem machte er mich darauf aufmerksam, daß sich Korallen- und Schwammriffe in Franken keineswegs ausschließen, sie sind vielfach miteinander verzahnt.

In der südlichen Frankenalb ist im Malm eine bis über 500 m mächtige Kalkserie vorhanden, mit mannigfachen faziellen Differenzierungen, mit massigen Riffkalken und Riffdolomiten ohne Mergel und Schichtkalke, oder Kalke mit wechselnden Mergellagen.
Der Malm alpha bis delta zeigt einen deutlichen Sedimentationzyklus mit Rhythmen auf. In welchen Tiefen hat sich nun diese Serie gebildet? Eine sehr schwere Frage, zumal man nicht sicher von den so vielgestaltigen Schwämmen auf die Tiefe schließen kann. Auch B. ZIEGLER sagt, daß er von Schätzungen ausgeht.

Wenn man die vielen Angaben, besonders von R. MEYER bedenkt, muß man erkennen, daß durch die intensive Forschung der letzten 40 Jahre, das Bild immer komplizierter wurde, eine Einheitstiefe gibt es nicht. Aber es gibt viele Hinweise, daß die Tiefe nicht so groß war, wie man meist annahm. Die immerhin zahlreichen, aber meist nicht sehr umfangreichen Korallenvorkommen, weisen auf Tiefen von höchstens 40 m hin, sie gehen sogar im Westen der Südalb im Malm zeta noch weiter. Diese Korallenriffe bestehen hier aber nicht aus festen Korallengerüsten, sondern vorwiegend aus ausgedehnten Riff schuttmassen. Diese Riffschutt - bzw. Riff- Fazies erstreckt sich noch nach Süden unter die Molasse Oberbayerns. Im Malm zeta 3, den Mörnsheimer Schichten schieben sich häufig gröbere Schillbänke von den Korallenriffen her in die Wannen vor. Lokal sind hier Anhäufungen von Brachiopoden, Crinoidenresten und Landpflanzen bekannt.

F l a c h w a s s e r s c h u t t k a l k e sind auch im Malm delta und epsilon von R. MEYER beobachtet worden. Bei Etterzhausen (Naab) wurde in ungegliedertem weißen Kalk sehr viel Echinodermen Feinschutt und Muschelfeinschill nachgewiesen. Es handelt sich hier um hohes delta und tiefes epsilon. Auch am Prunner Berg (epsilon) findet sich immer wieder feiner Fossilschutt und Fossilschutt - Nester mit Echinodermen und Bryozoen. Das alles spricht für g e r i n g e T i e f e Im tieferen zeta bei Hennhüll ist durchgehende Schuttführung festgestellt (R. MEYER). Die unruhigen Ablagerungsbedingungen in flachem, bewegtem Wasser zeigen sich durch raschen Mächtigkeitswechsel der einzelnen Bänke bis hin zum Auskeilen, auch an den Schillbänken mit Schutt von Korallen, Hydrozoen, Schwämmen, Crinoideen, Seeigeln, Muscheln, Schnecken und Algenknöllchen. Antransport durch Schlammströme ist lokal angezeigt.

Für die Beurteilung der Meerestiefe im Malm delta - epsilon - Bereich ist weiterhin sehr bezeichnend der von R. MEYER & SCHMIDT - KALER (1983, S. 155) erbrachte Nachweis, daß am Burgfelsen oberhalb Meihern mit scharfer Grenze über einer gekappten Dolomitkuppe des Malm delta horizontal liegende, dünnbankige Kalke des Malm epsilon hinweggreifen. An der Basis finden sich D o l o m i t - G e r ö l l e. Das Meer kann also hier kaum über 60 m tief gewesen sein. Die delta - Riffkomplexe sind meist nur eine Fortsetzung und Weiterentwicklung der tieferen Komplexe aus Malm alpha bis gamma, deshalb erzielen sie z. T. b e a c h t l i c h e R e l i e f u n t e r s c h i e d e Zum Malm epsilon hin kommt es zu einer V e r f l a c h u n g des Meeres und daher teilweisem Ausgleich des submarinen Reliefs. Auf Verflachung des Meeres weisen auch O o i d e und Stromatolithen in den strukturlosen Massenkalken des höheren delta hin. Im Raum Kelheim, wo in delta e r s t e K o r a l l e n auftreten, beginnt sich sogar schon eine F l a c h w a s s e r s c h u t t f a z i e s zu entwickeln, lokal mit Echinodermen - Schutt.

Nach heutigem Wissensstand ist festzustellen, daß in Südfranken gegen Ende von delta die Kieselschwämme sich so sehr ausbreiten, daß sie praktisch den ganzen Raum des damaligen Meeresbodens bedecken. Zusammen mit kalkbindenden B l a u g r ü n a l g e n bauen sie kuppel-

förmige Riffe (Biohermfazies) auf, die den Meeresboden bis über 50 m überragen Nun weiß man aber leider nicht wie tief dieser Meeresboden war, wie weit die Riffe unter die Meeresoberfläche reichten und manches andere mehr. Die vielen Lagen von Grobschutt, die man in solchem Umfang gar nie erwartet hätte, lassen mich aber annehmen, daß man eine maximale Tiefe des Meeres (unbesiedelt, ohne Riffe) von etwa 100 m annehmen kann. Für die Solnhofener Plattenkalke nahm VIOHL um 40 - 50 m an.

Über Schwammstotzen, Tuberolithe und Schuttbreccien im Malm Schwabens machte G. K. FRITZ (Stuttgart 1958) Mitteilungen, die zu ähnlichen Resultaten führen.

## Malm epsilon

Hier (siehe bei delta) dominiert immer noch die bis weit über 100 m Mächtigkeit erreichende Massenfazies, in Franken der "Frankendolomit", über den so lange Unklarheit stammt herrschte, auch bei GÜMBEL, der in ihm noch ein zeitgebundenes Gestein sah. R. MEYER verdanken wir ausgezeichnete Arbeiten über den Frankendolomit, die uns ein großes Stück weitergebracht haben. In Franken ist in der zoogenen Massenfazies nur selten die Bankfazies nachgewiesen, so bei Kasendorf, hier mit Sutneria subeumela (KUHN 1937). Etwas jünger sind die Krebsscherenkalke, vor allem bei Wattendorf nachgewiesen, Bankkalke in flachen Schüsseln, ohne Funde, die ein sicheres Alter angeben könnten, aber höchst wahrscheinlich schon zeta.

R. MEYER (1977) hat sehr interessante Einzelheiten über die Mikrofazies im Übergangsbereich von der Schwammfazies zur Korallen - Spongiomorphiden - Fazies im Kimmeridge bis Tithon des Gebietes von Regensburg bis Kelheim mitgeteilt (MEYER 1977 1983). Daß er nicht mit exakten Zahlen aufwarten konnte, versteht sich. Doch legt er viele wichtige Einzelbeobachtungen vor. Auch in der Gegend von Hollfeld hat er im Dolomit, wo KUHN (1937) erstmals Diceras nachwies, eine umfangreiche Fauna gefunden, die weitgehend mit der von Kelheim (erstmals von M. SCHLOSSER, Paläontographica, 28, 1881 1882 beschrieben, auch von

G. BOEHM) übereinstimmt. Die großen, dickschaligen Muscheln und Rhynchonellen sprechen für etwa 40 m Tiefe.

## Malm zeta

Damals stieg die Mitteldeutsche Schwelle immer mehr auf, das Meer zog sich nach Süden zurück, das Vindelizische Land sank unter den Meeresspiegel. BARTHEL hat den Meeresrückzug im Obertithon (Neuburger Flachwasser - Phase) genau beschrieben.

VIOHL (1983) hat die Situation zur Zeit der Solnhofener Plattenkalke, soweit man das heute schon kann, genau geschildert. Er schreibt, hauptsächlich in Anlehnung an BARTHEL:"Danach war der Raum der Südlichen Frankenalb im Malm Zeta 2, also zur Zeit der Solnhofener Plattenkalke, Teil einer küstenfernen Lagunenzone. Der Lagunenboden war durch A l g e n - S c h w a m m - R i f f e in Wannen und Schwellen gegliedert. Diese hatten ihre Blütezeit bereits im höheren Kimmeridgium gehabt und starben zur Zeit der Solnhofener Plattenkalke ab, bedingt durch eine von Norden nach Süden fortschreitende V e r f l a c h u n g Im Nordwesten tauchte die Mitteldeutsche Schwelle auf, im Nordosten die Böhmische Masse. Die Küste war von einem breiten Wattstreifen umsäumt, der heute nicht mehr der Beobachtung zugänglich ist, da er der postjurassischen Abtragung zum Opfer fiel. Im Süden war die Lagune durch einen Korallenriffgürtel entlang dem jetzigen Südrand der Südlichen Frankenalb begrenzt. Die K o r a l l e n siedelten sich m i t a b n e h m e n d e r W a s s e r t i e f e auf den K u p p e n t o t e r S c h w a m m s t o t z e n an und breiteten sich von E nach W aus (siehe BARTHEL & SCHAIRER 1978). Durch die Korallen - Barriere war der Wasseraustausch zwischen den Lagunenwannen und dem offenen Meer eingeschränkt, und es konnten sich die speziellen Bedingungen (übersalzenes, sauerstoffarmes Wasser) herausbilden, unter denen die Solnhofener Plattenkalke entstanden. Südlich der Korallenriffzone wuchsen in tieferem Wasser weiter Algen - Schwamm - Riffe.

Ein abweichendes Bild von der paläogeographischen Situation im Malm Zeta 2 entwirft MEYER (in SCHMIDT - KALER 1979, 1981) aufgrund der Auswertung von Tiefbohrungen im Molassegebiet. Danach erstreckte sich

von der Donau bis südlich von München eine breite, nur durch kleine Wannenzüge unterbrochene und im Süden zum Helvetischen Becken abfallende Flachwasserplattform, auf der noch Kieselschwämme wuchsen. Auf bewegtes Flachwasser schließt MEYER aus dem Vorkommen von Ooiden und Stromatolithen. Eine Korallenriff - Barriere am Südrand der Frankenalb existierte in MEYER'S Modell nicht. Die Korallenfazies blieb im wesentlichen auf die Kelheim - Landshuter Riffschwelle beschränkt. Nur an steilen Wannenrändern und am Südrand der Ooidplattform wuchsen vereinzelt Korallenstöcke.

Das Gebiet der Plattenkalk - Wannen der Südlichen Frankenalb wurde im Norden von der Mitteldeutschen Schwelle, im Osten von Korallenriffen auf der Parsberg - Landshuter Schwelle und im Süden zumindest zwischen Kelheim und Neuburg ebenfalls von Korallenriffen begrenzt. Eine weitere Fortsetzung der südlichen Korallenriffzone nach NW, wie sie BARTHEL (1978, Textabb. 27) annahm, oder W ließ sich bisher nicht nachweisen und ist nicht sehr wahrscheinlich. Am ehesten könnten Korallenriffe im nordwestlichen Riesgebiet vermutet werden, wo infolge der Riesschwelle und des generellen Anstiegs des Meeresbodens nach N mit Flachwasser zu rechnen ist, andererseits auch die Frischwasserzufuhr durch das angrenzende tiefere Zementmergel - Meer gewährleistet war. Ein Nachweis fehlt aber bisher, da die fraglichen Gesteine der Rieskatastrophe zum Opfer gefallen sind. Vereinzelte Korallenfunde aus dem westlichen Vorries (GALL, HÜTTNER & MÜLLER 1977) könnten darauf hindeuten. Größere Korallenvorkommen sind erst wieder aus der Umgebung von Nattheim westlich der Zementmergel - Bucht bekannt.

Nach SW waren die Plattenkalkvorkommen, die sich nach FESEFELDT (1963) bis ins östliche Riesgebiet erstreckten, lediglich von Algen - Schwamm - Riffen begrenzt ("Ooid - Plattform" MEYER'S und Riesschwelle). Die Wassertiefe dürfte kaum weniger als 40 m betragen haben. Wahrscheinlich bestand über diese Algen - Schwamm - Riffe im SW die wichtigste Verbindung der Plattenkalk - Wannen mit dem tieferen Ozean".
MEYER & SCHMIDT - KALER (1983) haben angenommen, daß im Wannenzentrum fast nie Bodenbewohner vorkommen, da infolge Übersalzung und Sauerstoffmangel die Lebensbedingungen sehr ungünstig waren. Nur selten, bei der Fäulnisbildung, kam es am Boden zu Wassererneuerung bis zum Boden und

damit kurzfristig zur Lebensmöglichkeit von bodenbewohnenden Foraminiferen und Ostracoden. Besonders im Steinbruch Imberg fanden sich häufig Rippelmarken, vor allem Erosionsrippeln, seltener Strömungsrippeln. Sie sind das Ergebnis stärkerer Grund berührender Wasserbewegung in nicht zu großer Wassertiefe. Daher waren die Lebensbedingungen besser und man findet häufig Kriechspuren von Muscheln, Schnecken und Krebsen.

Solange man an periodische Überflutungen der Plattenkalk - Wannen dachte, also extreme Flachwasserbedingungen annahm, mußte man nach Spuren, die auf Ablaufen des Wassers, auf Störungen der normalen Schichtung (Rippeln und Erosionsrinnen) hinweisen, suchen, aber man fand sie nicht. Aber man fand, daß Fossilien, etwa die Leptolepis - Schwärme, eingeregelt sind, man fand die seltsamen, von SEILACHER gedeuteten Rollmarken von Ammoniten, deren Schalen über den Meeresboden hinweg getrieben wurden bzw. torkelten, man fand Fischreste mit Marken der Schwanzflosse. MAYR (1967) glaubte, daß sie beim Zappeln des Fisches auf trockengelaufenem Schlamm durch Schwanzeindrücke erzeugt wurden. BARTHEL (1966, 1978) gab die bessere Erklärung: Der Schwanzteil war nur noch durch einige Gewebestränge mit dem übrigen Körper verbunden und wurde durch wechselnde Strömung im Kreise herumgeführt, wobei die Marken entstanden.

Eine vom Leiter des Juramuseums in Eichstätt, Herrn Dr. G. VIOHL initiierte Grabung soll nun systematisch auf alle Einzelheiten achten, die zur Frage nach der Entstehung der Solnhofener Plattenkalke beitragen könnten. Man achtet auf Strömungsrichtungen, also Messen von Strömungsmarken und Rippeln, besonders aber setzt man auf die Einregelung der Fossilien. Dabei spielt die Frage nach der Tiefe des Beckens eine große Rolle. G. VIOHL (1983) lehnt die Theorie von van STRAATEN (1971) ab, wonach die Tiefe unter 100 m lag. Die Suspensionsstrom - Theorie geht nämlich von völlig falschen paläogeographischen Voraussetzungen aus. Bildungstiefen von mehr als 100 m sind für die Plattenkalke undenkbar.

Nach Meinung VIOHL'S besitzt die KEUPP'sche Theorie für den Eichstätter und Solnhofener Ablagerungsraum ein hohes Maß von Wahrscheinlichkeit.

Sie ist jedoch nicht anwendbar auf die Wanne von Pfalzpaint und die weiter östlich gelegenen Plattenkalk Vorkommen, die vor allem aus Detritus bestehen und Anzeichen stärkerer Wasserbewegung aufweisen. Selbst für den Solnhofener Raum scheint sie nicht generell zu gelten. Die Befunde HEMLEBEN'S (1977) lassen sich jedenfalls schwer damit vereinbaren.

Das Vorkommen von Korallenriffen von Laisacker zeigt, daß damals in unmittelbarer Nähe der Becken am Südrand der südlichen Frankenalb Korallenriffe existierten. Die reiche Fauna der Plattenkalke (über 600 Arten) deutet auf vielfältige ökologische Nischen hin, die keine starke räumliche Gliederung aufwiesen. Viele Fische besitzen eine Gestalt, die zeigt, daß diese keine guten Schwimmer waren, aber gute Manövrierfähigkeit auf engerem Raum besaßen.

Eine wichtige Rolle spielen die Ooide (MILLIMAN 1974, FLÜGEL 1982), die sich vorzugsweise in Wassertiefen bis zu 2 m bilden, maximal in Tiefen bis zu 15 m. R. MEYER (1977) erwähnt Ooide auch aus Malm delta und epsilon der südlichen fränkischen Alb. BAUSCH (1963) hielt diese "Ooide" jedoch für Bildungen von Algen, anderenfalls müßte man ein Auftauchen des Plattenkalkbeckens bis knapp unter den Meeresspiegel im oberen Malm delta annehmen. Damit läßt sich aber das üppige Wachstum der Kieselschwämme, die eher Indikatoren tieferen Wassers (jedenfalls auf tiefere See als die Korallenriffe hinweisend) sind, kaum in Einklang bringen. Dasselbe gilt für die Ooid - Plattform MEYERS. Man wird mit einer Wassertiefe von 40 - 50 m rechnen dürfen, denn in seichterem Wasser hätten Korallen wachsen müssen.

Die Algen- Schwamm- Riffe starben im Plattenkalk Gebiet größten Teils im Malm zeta 2 ab. Als Ursache hierfür nimmt VIOHL erhöhte Sedimentationsraten, Übersalzung des Wassers und schlechte Wasserzirkulation in den rückwärtigen Wannen infolge Verflachung an. Die von O. C. MARSH (Z. deutsch. geol. Ges. 17, 1865) beschriebenen "Trockenrisse" von Eichstätt wären nachzuprüfen.

Das Meer war noch nicht unmittelbar nördlich der Plattenkalk - Zone zu Ende, es erstreckte sich weit nach Norden, etwa bis Coburg, doch

ist hier nichts mehr erhalten. Die Krebsscherenkalke von Wattendorf halte ich für zeta. Sie bieten nichts, was zur näheren Bestimmung der Bildungstiefe beitragen könnte.

Die jüngsten süddeutschen Malmsedimente kennt man aus dem südlichen Frankenjura, vor allem von Neuburg/Donau. BARTHEL (1969) hat diese regressive obertithonische Flachwasser - Phase der Neuburger Folge genau beschrieben.
Den Abschluß der schuttreichen Flachwasserkalke von Neuburg (Donau) mit Schill- und Onkoidbänken, konnte BARTHEL mit Hilfe von Grabungen untersuchen. Ammoniten werden hier sehr selten, hingegen nehmen Muscheln und Schnecken zu, am eindrucksvollsten ist Bank 213 mit eng beisammen liegenden, eingeregelten Exemplaren der Muschelgattung Pinna (Steckmuschel). Zuletzt kam sogar Unio hinzu.

In seiner letzten Übersicht über die Solnhofener Plattenkalke hat VIOHL (1983) nicht den Zeitfaktor erörtert. In welchem Verhältnis stehen die feingeschichteten Lagen, die er abbildet, zu den Plattenkalken, haben diese eine durchgehende Entwicklung über größere Flächen hinweg, d. h. bleibt ihre Zahl konstant, und in welchen Zeiträumen könnte unter Berücksichtigung der Tatsache, daß die Sedimentation sehr rasch erfolgt sein muß (fossile Insekten, Aufwölbung der Sedimentdecke über verwesenden Fischen, Spratzgänge, usw.), ein Flinz entstanden sein? Gibt es jahreszeitliche Einflüsse (vgl. W. DEECKE 1930, S. 335 ff.) entspricht jeder Flinz etwa einer Klimaperiode, wie sie POMPECKJ für Malm beta annahm? Ich habe kurz diese Frage erörtert (KUHN, diese Berichte 57, 1982, S. 188).

In Württemberg besiedelten Korallen seit dem Malm zeta 1 die höheren Teile der Schwammriffe, nachdem deren Wachstum ein Ende gefunden hatte. Schon vorher war lokal ein Absterben von Schwammriffen auch in Franken zu erkennen. Gründe dafür kennt man nicht, nur Vermutungen können geäußert werden. Es ist nicht selten der Fall, daß Korallenriffe und Schwammriffe laterale Kontakte haben. Man kann jedenfalls nicht sagen, daß sie sich gegenseitig ausschließen und streng verschiedene Niveaus einhalten. Daß aber die Spongien sehr viel tiefer reichen als die Korallen, ist unbestritten (vgl. R. MEYER).

Daß diese Korallenriffe da und dort der Zerstörung durch Wellenschlag usw. unterlagen, wurde vielfach beobachtet. Solche Riffschuttbänke sind besonders gut erhalten bei Arnegg im Blautal, diese Schuttbänke fallen deutlich vom Riffkern nach außen ein.

Erwähnt sei hier noch die Tatsache, daß mit dem norddeutschen übereinstimmender Serpulit, vorzüglich aus Röhren von Würmern (Serpeln) aufgebaut, unmittelbar auf dem Vindelizischen Rücken aufsitzend, in Oberbayern erbohrt wurde.

Der Brenztal-Oolith (zeta) ist reich an Ooiden (15 - 70 %), an Trümmern von Echinodermen, meist Crinoideen, an Brachiopoden, Kalkschwämmen, Serpeln und Foraminiferen. Es liegt also eine aus stark bewegtem, flachem Meer, nahe der Küste entstandene Bildung, vor. Ihm entspricht etwa der Hattinger Oolith der Westalb. Der Wittlinger Trümmerkalk im zeta der Mittleren Schwabenalb ist ein oolithisches Trümmergestein (bei Sirchingen und Wittlingen).

In Schwaben hört die Juratradition viel früher auf als in Franken, wo sich noch gegen Ende des Malm zeta die mächtigen Bankkalke von Neuburg/Donau gebildet haben.

Zum Schluß noch ein Wort zu der bathymetrischen Kurve (Abb. 15). Die Werte sind Durchschnittswerte; die Nordsee hat bei ähnlichen Größenverhältnissen eine mittlere Tiefe von 94 m, sie senkt sich gegen N allmählich auf 200 m ab, die viel kleinere Ostsee hat eine mittlere Tiefe von 55 m, die größte Tiefe beträgt 463 m. Im süddeutschen Jurabecken rechne ich mit höchstens 200 m (gelegentlicher) Maximaltiefe.

Nachtrag: K. BANDEL & H. KNITTER (Geol. Blätter NO - Bayern, 32, 1982) haben das Profil im tiefen Lias epsilon von Unterstürmig nahe Forchheim bearbeitet und festgestellt, daß das eigentliche Posidonienschiefermeer nicht tief war (leider wurde nicht einmal ein geschätzter Wert genannt), es entstand in einer Transgressionphase im mittleren Lias epsilon, am Ende dieser Zeit stellte sich eine Regression ein.

## Literatur


ALDINGER, H. 1968: Die Paläogeographie des schwäbischen Jurabeckens. - Eclogae Geol. Helvet. 61, 167 182, Basel.

BARTHEL, K.W. 1964: Zur Entstehung der Solnhofener Plattenkalke (unteres Untertithon). - Mitt. Bayer. Staatsslg. Paläont. hist. Geol., 4: 37 - 69, 4 Taf., 1 Abb.; München.

1969: Die obertithonische, regressive Flachwasser-Phase der Neuburger Folge in Bayern. - Abh. Bayer. Akad. Wiss., math.-naturwiss. Kl., NF, 142: 174 S., 14 Taf., 39 Abb.; München.

1978: Solnhofen. Ein Blick in die Erdgeschichte. 393 S., 80 Taf., 50 Abb.; Thun/Schweiz (Ott).

BIRZER, F. 1936: Die Monotisbank in den Posidonienschiefern, besonders Franken. - Abh. Geol. Landesunters. Bayer. Oberbergamt, 26, 3 32, München.

DACQUÉ, E. 1915: Grundlagen und Methoden der Paläogeographie. Jena 1915.

DIENER, C. 1926: Grundzüge der Biostratigraphie. Wien 1926.

DORN, P. 1936: Paläogeographische Studien über das jurassische Posidonienschiefermeer Deutschlands. Tübinger Naturwiss. Abh., 15, 1 - 60, Stuttg.

FISCHER, E. 1912: In welchen Meerestiefen haben sich unsere Juraschichten gebildet? Jh. Ver. vaterld. Naturkd. Württemberg, 68, 102 - 117.

FLÜGEL, E. 1982: Microfacies Analysis of Limestones. 633 S., 53 Taf., 78 Abb., 58 Tab., Berlin Heidelberg - New York (Springer Verlag).

GAUB, F. 1910: Die jurassischen Oolithe der schwäbischen Alb. Geol. Paläontol. Abh. (Koken), N.F. 9 (4), Jena 1910.

GIERLOFF-EMDEN, H.G. 1980: Lehrbuch der Allgemeinen Geographie. 2 Bände, Berlin - Washington.

GOCHT, H. 1973: Einbettungslage und Erhaltung von Ostracoden - Gehäusen im Solnhofener Plattenkalk (Unter-Tithon, SW-Deutschland). - N. Jb. Geol. Paläont., Mh., 1973, 4: 189 - 206, 28 Abb., Stuttgart.

HILLEBRANDT, A. v. 1981: Kontinentalverschiebung und die paläogeographischen Beziehungen des südamerikanischen Lias. - Geol. Rundschau, 70, 570 - 582, 7 Abb., Stuttgart.

KUHN, O. 1978: Probleme der Paläogeographie, Sedimentologie und Stratigraphie des Jura in Franken. Ber. Naturf. Ges. Bamberg, 52 (für 1977), 64 - 185, 32 Abb.

1983: Absolute Zeitrechnung und Dauer der Sedimentbildung. Mit Anhang: Paläogeographie des Jura. Ibid, 57 (1982), 155 - 269, 27 Abb., Bamberg.

MAYR, F. X. 1967: Paläobiologie und Stratinomie der Plattenkalke der Altmühlalb. - Erlanger geol. Abh., 67, 40 S., 16 Taf., 8 Abb., Erlangen.

MEYER, R. K. F. 1977 a: Stratigraphie und Fazies des Frankendolomits und der Massenkalke (Malm). - Erlanger geol. Abh., 104, 40 S., 5 Taf., 10 Abb., Erlangen.

1977 b: Mikrofazies im Übergangsbereich von der Schwammfazies zur Korallen-Spongiomorphiden-Fazies im Malm (Kimmeridge - Tithon) von Regensburg bis Kelheim. - Geol. Jb., A 37: 33 - 69, 1 Abb., 2 Tab., 5 Taf., Hannover.

1981: Malm (Weißer oder Oberer Jura). In: Erläuterungen zur Geologischen Karte von Bayern 1:500 000. 168 S., 29 Abb., 21 Tab., 6 Taf., 1 Beil., München.

MEYER, R. & SCHMIDT-KALER, H. 1983: Erdgeschichte sichtbar gemacht. Ein geologischer Führer durch die Altmühlalb. 260 S., 260 Abb., 2 Beil., München (Bayerisches Geologisches Landesamt).

MILLIMAN, J. D. 1974: Recent Sedimentary Carbonates. Part 1: Marine Carbonates. - 375 S., 94 Abb., 39 Taf., Berlin - Heidelberg - New York (Springer-Verl.).

ROLL, A. 1934: Form, Bau und Entstehung der Schwammstotzen im süddeutschen Malm. - Paläont. Z., 16, 197 - 246, Stuttgart.

SCHÄFER, W. 1962: Aktuo-Paläontologie nach Studien in der Nordsee. - 666 S., 277 Abb., 36 Taf., Frankfurt a. M. (Verlag Waldemar Kramer).

SCHMIDTILL, E. 1925 - 26: Zur Stratigraphie und Faunenfunde des Doggersandsteins im nördlichen Frankenjura. - Paläontographica, 67 - 68, 1 - 82, 1 110, 16 Taf., Stuttgart.

1934: Die Dogger-Phosphorite der Auerbacher Bucht. - Jb. Hallens. Verband, 13, 3 - 56, Halle, 1934.

1935: Zur Stratigraphie und Paäogeographie der Eisenerze im Doggersandstein in der Frankenalb. - Z. deutsch. geol. Ges., 87, 541 - 582, Berlin 1935.

TEMMLER, H. 1966: Über die Nusplinger Fazies des Weißen Jura der Schwäbischen Alb (Württemberg). - Z. dt. geol. Ges., 1964, 116: 891 - 907, 4 Abb. 2 Tab., 5 Taf., Hannover 1966.

VIOHL, G. 1983: "Forschungsobjekt Solnhofener Plattenkalke". - Archaeopteryx, Jahreszeitschrift der Freunde des Jura - Museums Eichstätt, 1, S. 3 - 23, 12 Abb.

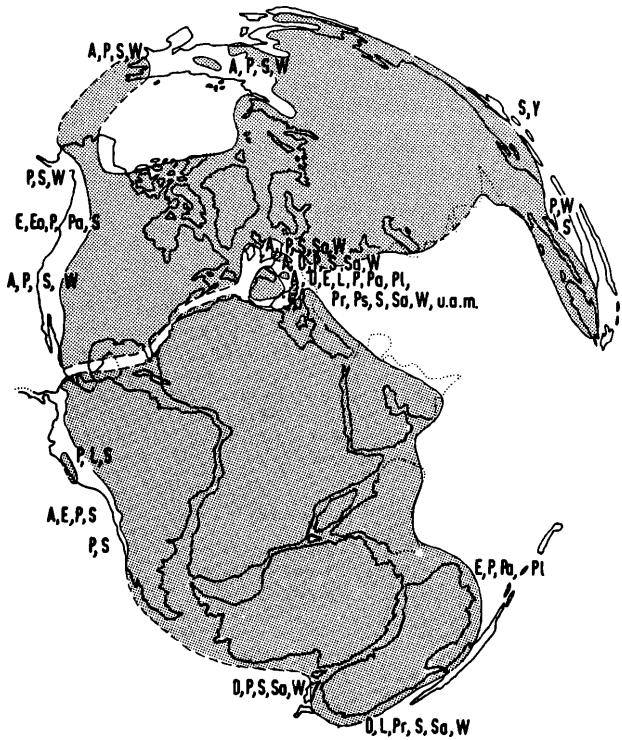
WAGNER, G. 1960: Einführung in die Erd- und Landschaftsgeschichte. 3. Aufl., 1 - 694.

ZIEGLER, B. 1983: Einführung in die Paläobiologie. Teil 2. 1 - 409, 410 Abb., Stuttgart (Schweizerbart).

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. Oskar Kuhn
Winthirstraße 31

8000 München 19




| | | | |
|---|---|---|---|
| A | Alsatites | Pl | Pleuracanthites |
| D | Discamphiceras | Pr | Paradasyceras |
| E | Ectocentrites | Ps | Parapsiloceras |
| Eo | Eolytoceras | S | Schlotheimia |
| L | Laqueoceras | Sa | Saxoceras |
| P | Psiloceras | W | Waehneroceras |
| Pa | Paracaloceras | Y | Yabesites (Alsatites ?) |

Abb. 1 Paläobiogeographie von Ammoniten - Gattungen des Hettangium. Landgebiete gerastert. Lage der Paläokontinente nach SHMITH & BRIDEN (1977). Nach von HILLEBRANDT 1981.

Abb. 2 Mitteleuropa zur Ölschieferzeit. Schräg schraffiert = Abtragungsgebiet. Punktiert = Sand, in Ostdeutschland zum Teil festländisch. Waagrechte Schraffur = Ölschieferausbildung. Senkrechte Schraffur = Kalk.
Nach G. WAGNER 1960.

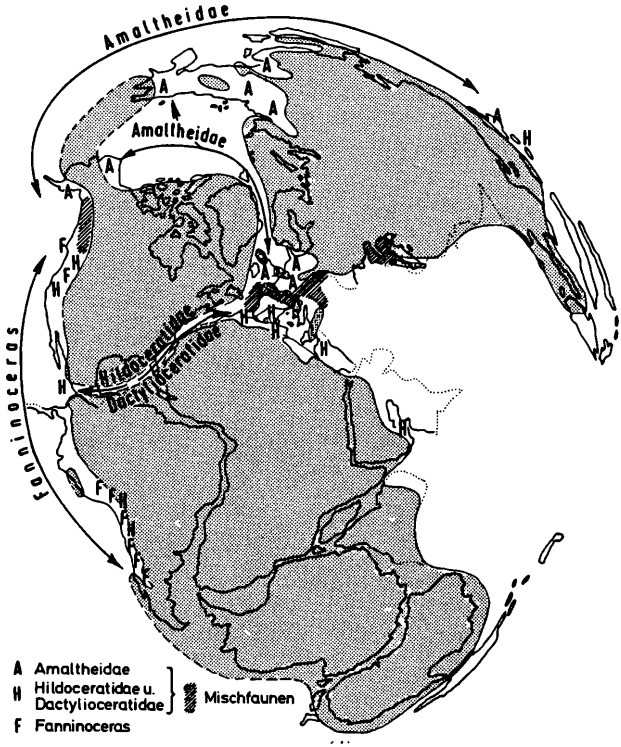



Abb. 3 Paläobiogeographie von Ammoniten-Familien und der Gattung Fanninoceras im oberen Pliensbachium. Landgebiete gerastert. Lage der Paläokontinente nach SMITH & BRIDEN (1977). Nach A. von HILLEBRANDT 1981.

Abb. 4 Angeschliffenes Belemnitenschlachtfeld (mit Passalotheutis paxillosus und P. digitalis) aus dem Lias epsilon (oder gamma) von Scheßlitz bei Bamberg. Die verschiedenen Schnitte durch die einzelnen Rostren (längs, quer und schräg) lassen ihren schichtartigen Aufbau deutlich erkennen. - Natürliche Größe des Ausschnitts 14 cm. Nach G. AUMANN 1983.

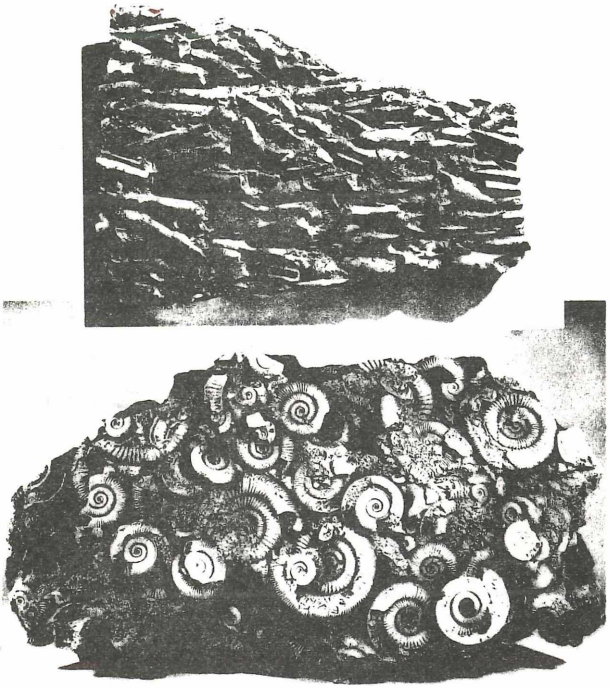


Abb. 5 oben: Ansammlung von Belemniten, sog. Belemnitenschlachtfeld aus dem Lias epsilon von Mörre bei Fallersleben. - Natürliche Größe 32 cm. - Die Rostren sind durch die zur Zeit der Einbettung vorherrschenden Strömung alle in gleicher Richtung eingeregelt worden. Nach G. AUMANN 1983.

unten: Schillbank aus dem Lias epsilon von Schlaifhausen (Fränkischer Jura) mit D a c t y l i o c e r a s c o m m u n e. - Schillbänke (Lumachellen) entstehen im Flachwasser bzw. im Küstenbereich (z.B. als Spülsaum) aus einer Anhäufung von Schalen oder Gehäusen von Organismen. Schillbänke sind meist allochthone Taphozönosen, d.h. Gemeinschaften abgestorbener Organismen, die aus andersgearteten Lebensbereichen stammen. Natürliche Größe 43 x 24 cm. Nach G. AUMANN 1983.

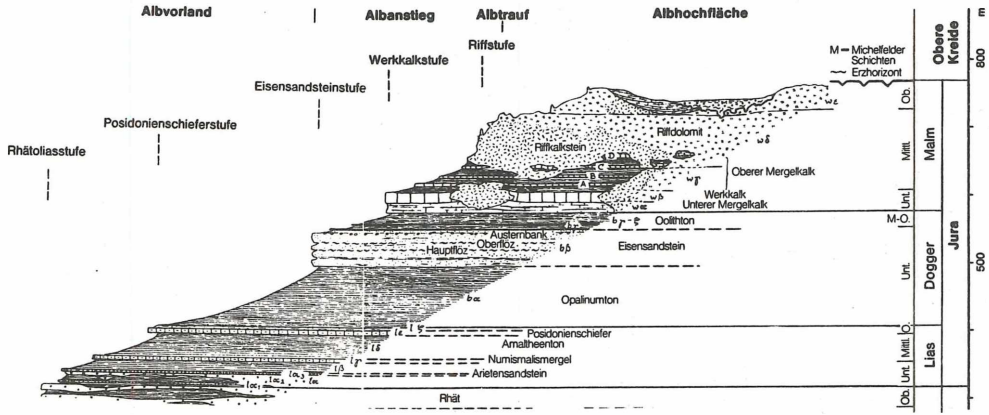



Abb. 6 Profil durch den Jura in der Gegend von Staffelstein. Der Jura hat hier eine Gesamtmächtigkeit von rund 500 m. Am mächtigsten ist der Malm, am wenigsten mächtig der Lias entwickelt. Nach W. SCHIRMER.

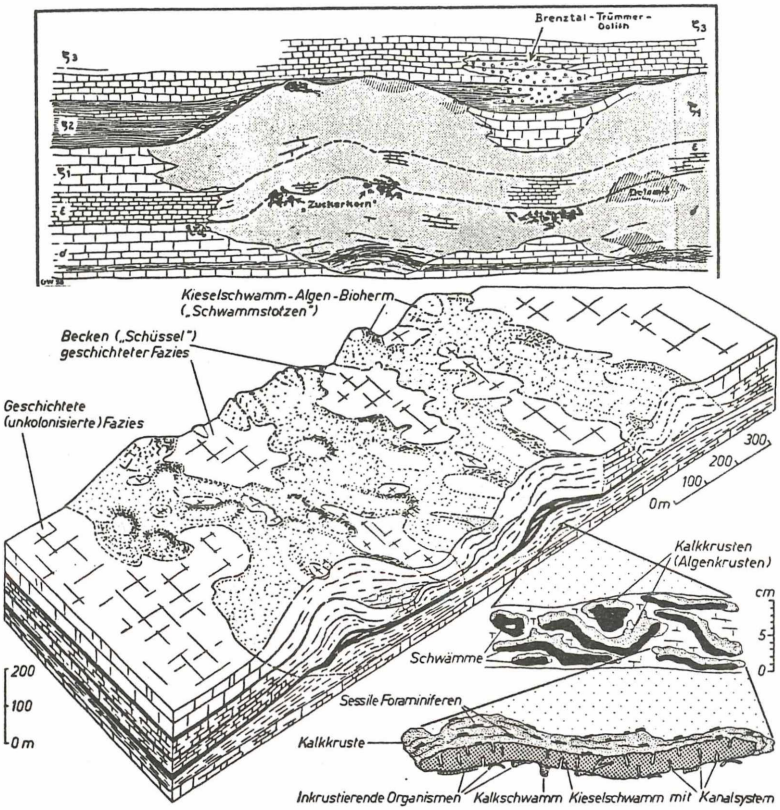
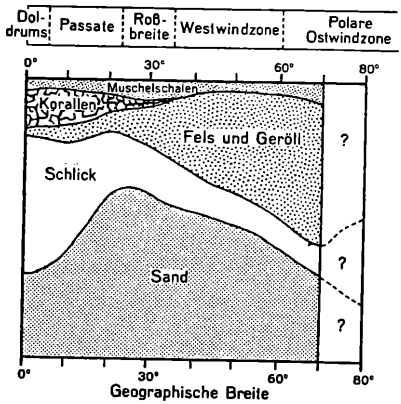



Abb. 7 oben: Lagerungsbeziehungen zwischen geschichteten Sedimenten und Massenkalk im Oberen Weißjura der Schwäbischen Alb. Nach GWINNER.

unten: Die Architektur der Schwamm-Algen-Bioherme im Oberjura Süddeutschlands. Nach K. SCHÄDEL.




*Klassifikation von Meeressedimenten nach der Lage: Formenwandel*

| Tiefenstufen der Meeressedimente | | |
|---|---|---|
| litoral | Uferzone (im Gezeitenbereich) | um 0 m |
| sublitoral | im Schelfbereich | 0– 200 m |
| bathyal | am Kontinentalabhang | 200–4000 m |
| abyssal | in der Tiefsee | 4000–5500 m |
| hadal | in den Tiefseegräben | unter 5500 m |

| Lage der Meeressedimente nach horizontaler Distanz | | | |
|---|---|---|---|
| litoral | nahe der Küste | pelagisch | küstenfernes Meer |

Abb. 8 oben: Globale, zonale Verteilung von Sedimenten auf den Schelfen. Anordnung und Breitenlage, Einteilung des Substrats nach organischem und anorganischem Material und nach der Korngröße. Schema stark generalisiert.
Nach McMANUS und J.D. HAYES 1967.

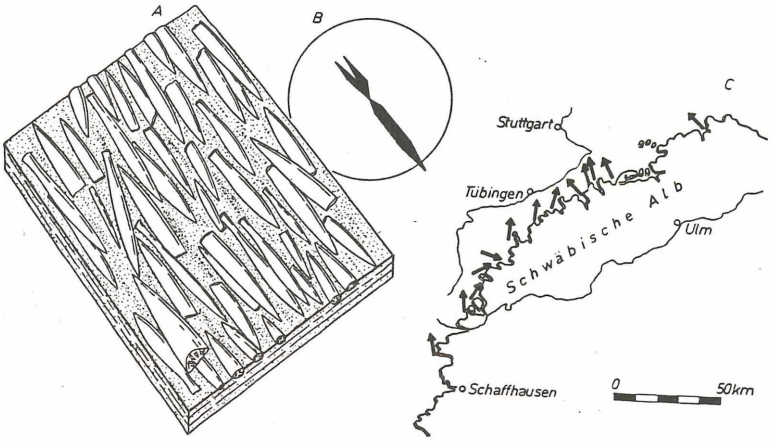



Abb. 9 Einsteuerung von Belemniten und ihre Auswertung zur Rekonstruktion von Strömungsrichtungen. A: eingeregelte Belemniten ("Belemnitenschlachtfeld") im unteren Jura Südwestdeutschlands; B: Richtungsrose hierzu; C: Strömungsrichtungen, rekonstruiert nach der Einregelung von Belemniten, im Unterjura (oberes Unter-Toarcien) des Vorlandes der Schwäbischen Alb. Nach B. ZIEGLER 1983.

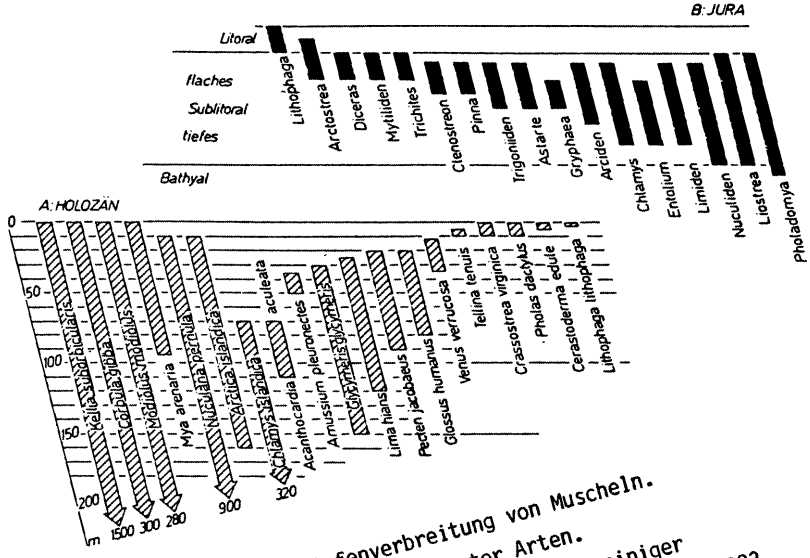



Abb. 10 Die Tiefenverbreitung von Muscheln.
A: Vorkommen rezenter Arten.
B: Hauptsächliches Vorkommen einiger Gattungen im Jura. Nach B. ZIEGLER 1983.

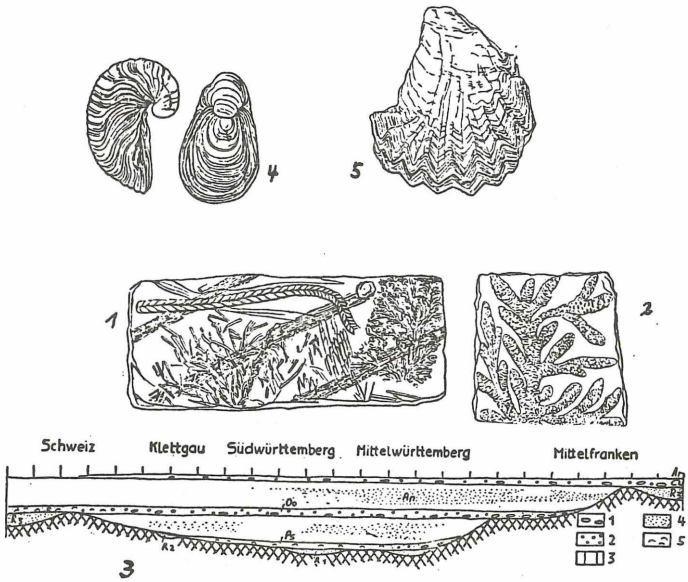



Abb. 11 1 "Zopfplatte" mit Kriechspuren und Bauten von Würmern, Braunjura beta.

2 Chondrites granulatus, sogenannte Fukoiden, Wurmbauten, Lias epsilon. Nach G. WAGNER 1960.

3 Schnitt durch den unteren Lias in Süddeutschland, die Ausweitung des Beckens zeigend. Ar = Arietenkalk, Cu = Kupferfelsbank, An = Angulatensandstein, Oo = Oolithenbank, PS = Psilonotenbank, R1 = Schwäbisches Rhät, R2 = jüngeres Hallauer Rhät, R3 ≙ Schweizer und Oberfränkisches Rhät. 1 = Gerölle, 2 = Ooide, 3 = Kalk, 4 = Sand, 5 = Schillkalk. Abgeändert nach M.FRANK, aus G. WAGNER 1960.

4 - 5 Typische, dickschalige Muscheln aus dem süddeutschen Jura, 4 Gryphaea arcuata, Lias alpha 3, 5 Ostrea cristagalli (O.marshi), die Hahnenkammauster, Dogger delta. Nach G. WAGNER 1960.

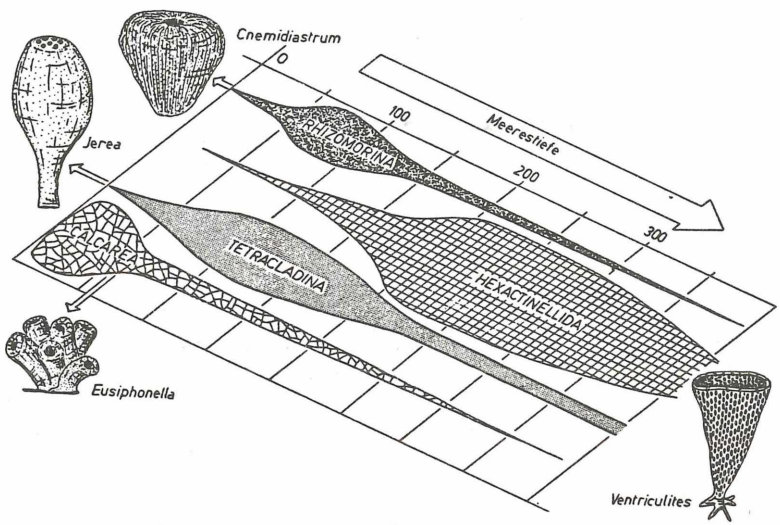



Abb. 12 Bathymetrische Verbreitung der wichtigsten Gruppen der Schwämme (Spongia, Porifera) von der Trias bis jetzt. Es handelt sich um Schätzwerte, die im Jura zu hoch sein dürften. Nach B. ZIEGLER 1983.

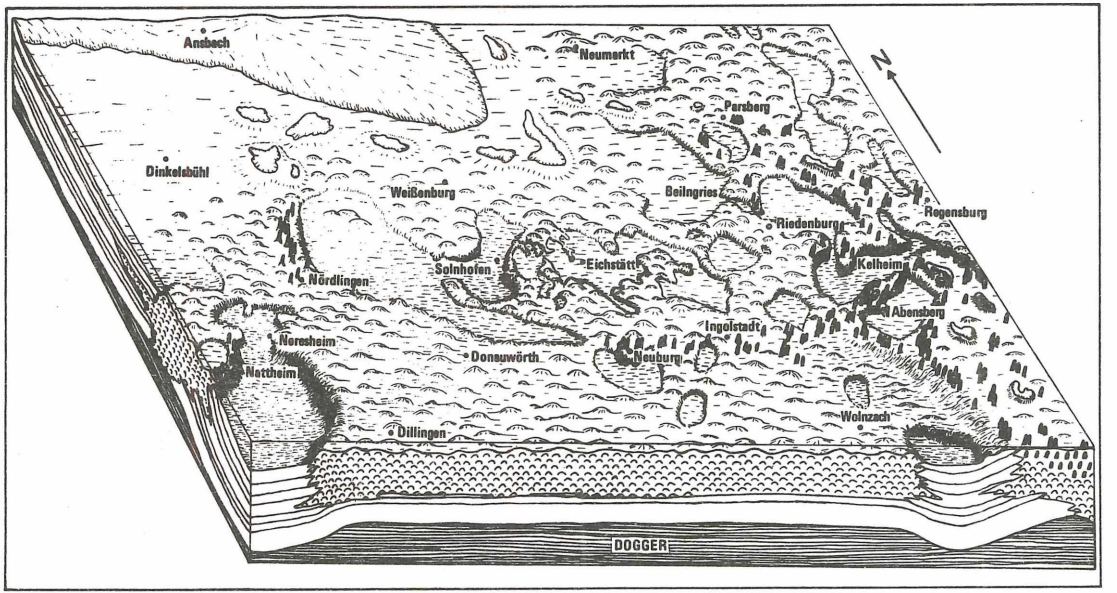



Abb. 13 Noch hypothetische paläogeographische Rekonstruktion der Südlichen Frankenalb und ihrer Nachbargebiete zur Zeit der Solnhofener Plattenkalke (unteres Untertithon). Kuppelstrukturen: Algen-Schwamm-Riffe. Schwarze Erhebungen: Korallenriffe. Nach VIOHL 1983.

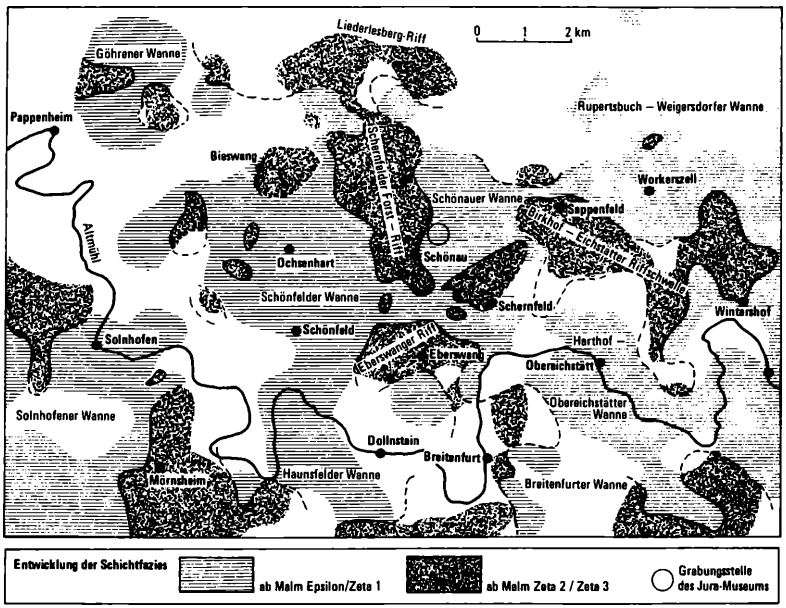



Abb. 14 Ablagerungsraum der Solnhofener Plattenkalke zwischen Solnhofen und Eichstätt. Die dunklen Riffgebiete werden erst im Verlauf des Malm delta 2 oder zeta 3 von der Schichtfazies zugedeckt. Die Grabungsstelle des Jura-Museums liegt am Rande der Eichstätter Wanne. Nach v. EDLINGER 1966.

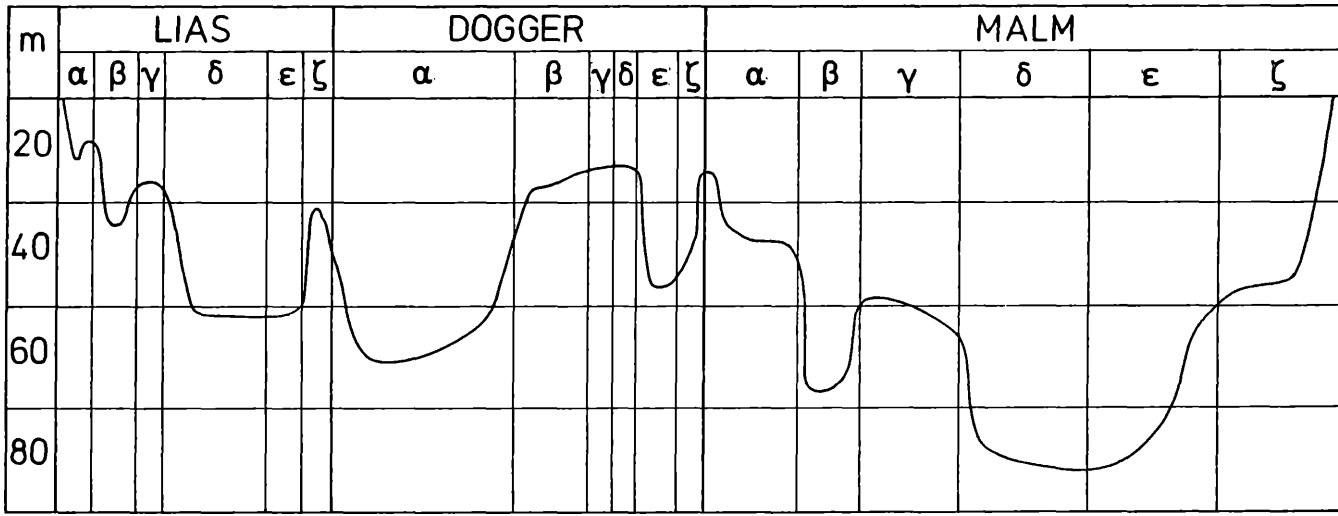



Abb. 15 Bathymetrische Kurve des fränkischen Jurameeres, es handelt sich um Durchschnittswerte (Schätzwerte).