

Absolute Zeitrechnung und Dauer der Sedimentbildung.
Mit Anhang: Paläogeographie des Jura

von Oskar KUHN, München

Zusammenfassung

Die geologische Zeit steckt nach weit verbreiteter Ansicht vorwiegend in den Schichtlücken, nicht in den Sedimenten selbst. Nach der radiometrischen Altersbestimmungsmethode entstand der Jura in 55 Mio Jahren, in Franken bildeten sich in dieser Zeit rund 1000 m, also 0,018 mm pro Jahr. Hingegen machte ROTHPLETZ wahrscheinlich, daß die um 25 m mächtigen Solnhofener Schichten in 250 - 500 Jahren entstanden, also pro Jahr 5 cm Sediment. POMPECKJ zeigte, daß eine Bank von 35 cm Dicke im Malm beta innerhalb von 35 Jahren, einer BRÜCKNERSchen Klimaperiode entsprechend, gebildet wurde, demnach 1 cm Kalk pro Jahr. Zur gleichen Zeit vorhandene Riffkorallen hatten sogar etwas größeres Höhenwachstum (rezente Riffe 2 - 5 cm pro Jahr). Es besteht kein Grund zu zweifeln, daß bei diesen Werten zum mindesten die Größenordnung stimmt. Wir stehen demnach vor einem einstweilen unlösbaren Problem: mit geologischen Methoden ermittelte sehr geringe Bildungsdauer gegenüber den astronomischen Zahlen der radiometrischen Altersbestimmungsmethode!

"Exakte" Werte der Bildungsdauer der Sedimente festzustellen ist nur bei den quartären Warven möglich, die Jahresringe der Salzlager sind noch nicht ganz gesichert; sie bleiben jedenfalls auch insofern relativ, als das Jahr keine konstante Größe ist. Viele biogene Sedimente, vor allem Riffe, lassen in der Größenordnung stimmende Werte der Bildungsdauer gewinnen. Zyklen entzogen sich bisher allen Versuchen, sich eine Vorstellung von der Bildungsdauer zu bilden; nur ausnahmsweise konnte man die ungefähre Bildungsdauer rhythmisch gebildeter Sedimente berechnen. Doch glaube ich, daß hier noch große Fortschritte zu erzielen sind. Die radiometrische Altersbestimmungsmethode geht von unbewiesenen Prämissen aus, von nicht einmal 100 Jahren Beobachtungszeit kann man nicht auf die Dauer der ganzen Erdgeschichte schließen.

Inhalt

Vorwort

1. Der Ablauf der Erdgeschichte als einmaliges Geschehen
2. Absolute Zeitrechnung (Geochronologie)
3. Gliederung der Sedimentgesteine und Entstehung der Schichtung
4. Bio- und Lithostratigraphie
5. Herkunft der vorzeitlichen Sedimente, besonders im deutschen Jura
6. Meeresströmungen der Vorzeit
7. Rhythmen, Zyklen und Großzyklen
8. Schichtlücken im Sediment und Dauer der Hiaten
9. Kohlebildung
10. Riffbildungen (Korallen, Spongien, Muscheln)
11. Salzbildungen und meteorologischer Jahresrhythmus
12. Warvenbildung und andere Jahresrhythmen

Anhang: Zur Paläogeographie des Jura

13. Zoogeographische Provinzen und Wanderwege der Faunen im Jura
14. Das Klima des Jura
15. Lias
16. Dogger
17. Malm
18. Literatur

Vorwort

Keine Frage wird dem Geologen öfter gestellt, als die nach dem Alter. Man möchte wissen, wann die großen Dinosaurier lebten, oder wie lange es her ist, daß Süddeutschland vom Jurameer bedeckt war. Das alles sind Fragen, die auch die Wissenschaft lebhaft beschäftigen. Schon immer hat mich gerade die Altersfrage interessiert, ich stand vor dem für mich unauflösbaren Widerspruch zwischen den hohen Werten der radiometrischen Altersbestimmungsmethode und den ungleich kleineren Werten, wie sie bei Anwendung geologischer Methoden gewonnen werden. Ich denke vor allem an die von ROTHPLETZ und POMPECKJ im süddeutschen Jura erzielten, geradezu minimal erscheinenden Resultate.

Ich habe hier bewußt noch einmal dieses "Heiße Eisen" angefaßt. Ich konnte die Widersprüche nicht klären, es blieben Fragen über, aber doch Fragen, die wohl eines Tages lösbar sind.

Diese Arbeit habe ich in einen sehr weiten Rahmen gestellt und vieles, was auf den ersten Blick nicht hierher zu gehören scheint, erörtert, vor allem die Jura-Paläogeographie und ihre Grundlagen. Die heute allgemein anerkannte Drifttheorie WEGENER's und die Plattentektonik machen es notwendig, hier weit auszuholen.

Ich habe mich ganz vorwiegend auf den Jura gestützt; den vielen, schon vorliegenden paläogeographischen Karten habe ich keine neuen hinzugefügt, obwohl ich das zunächst beabsichtigte. Die vielen hier gegebenen Karten mögen eine willkommene Dokumentation sein, die den aufmerksamen Leser auf manche Unklarheiten und Widersprüche aufmerksam machen kann.

1. Der Ablauf der Erdgeschichte als einmaliges Geschehen

Erd- und Lebensgeschichte sind eingebettet in den individuell gegliederten, aber dennoch einheitlichen Strom des Weltprozesses. Viele Denker, von den reinen Materialisten abgesehen, fassen den Weltprozeß als finalen auf, der, wenn er das ist, weder nach vorwärts, noch nach rückwärts zeitlich unendlich sein kann. Soweit wir das heute überschauen können, nimmt unser Grüner Planet eine Sonderstellung im Universum ein. Das könnte aber eines Tages anders werden

und fortschrittliche Theologen sagen, sie würden keineswegs fassungslos werden, wenn einmal Leben auf anderen Planeten entdeckt würde. Von den Ufos und den Besuchen der "grünen Männlein" auf der Erde wollen wir hier aber lieber nicht reden.

Die Geschichte, von der hier die Rede ist, ist sinnerfüllte Zeit, im Laufe der Geschichte nimmt der Sinngehalt zu, die ganze, hier betrachtete Geschichte ist einmalig und nicht umkehrbar. Die experimentellen Wissenschaften, Chemie, Physik und Biologie, greifen aus dem Geschehensfluß Teile heraus, isolieren sie gewissermaßen, nur so erkennt man die Naturgesetze. Viele dieser Experimente sind umkehrbar, nicht aber das Biologische.

Die Natur ist die Gesamtheit des Materiellen in dem einen Raum und in der einen Zeit. Die leere Zeit als Ordnungsform abstrahiert von realen Geschehnissen und tatsächlichem Beharren. Wir haben es mit geschehenserfüllter Zeit zu tun, die finale Züge an sich trägt und für den natürlich denkenden Menschen sinnerfüllt ist. Vorerst ist der menschliche Geist das höchste Produkt dieser Geschichte, wie es weiter geht weiß keiner. Den Sinn an sich zu leugnen halte ich für unmöglich, aber was der Sinn ist kann der Mensch nicht erkennen. ALBERT SCHWEITZER sagte, daß wir den Sinn der Welt nicht erkennen können. GOETHE glaubte, daß hinter der Natur ein "großes, hervorbringendes, leitendes und ordnendes Wesen" sich verberge, um sich uns kenntlich zu machen. Wozu, das wußte er auch nicht, aber er hörte auf die Stimme seines Gewissens und glaubte an eine Aufgabe des Menschen, die er auf der Erde beginnt und er glaubte an unsere Unsterblichkeit später zu vollenden habe.

Erd- und Lebensgeschichte sind prinzipiell von verschiedener Art, das hat schon DREISCH zum Ausdruck gebracht in seiner Aufsehen erregenden Leipziger Rede über "Das Ganze und die Summe". Ganzheitliches und Summenhaftes sind in der Erd- und Lebensgeschichte miteinander verwoben. Die Lebensgeschichte ist aufs engste an die Erdgeschichte gebunden, letzters bot erst die Voraussetzung für die Evolution des Lebens, aber nur die notwendige Voraussetzung, nicht den zureichenden Grund. Das Leben hat seinerseits die Erdgeschichte stark beeinflußt, viele Sedimente sind biogen, so die meisten Kalke; die hohen Gipfel der Dolomiten wären heute nicht vorhanden ohne kalkausscheidende Lebewesen.

Nach der Anerkennung von WEGENER's Drifttheorie und der Plattentektonik steht die Erdgeschichte heute in einem ganz neuen Gewand vor uns. Enorme Veränderungen haben sich ergeben, gänzlich neue Erkenntnisse wurden gewonnen, die, wie E. THENIUS mit Recht hervorhebt, sich mit so spektakulären Fortschritten, wie der Landung von Menschen auf dem Mond, durchaus messen lassen.

Die Sinnfrage ist es, die uns nicht losläßt. Ganzheitliches und Ganzheitsbezogenes tritt uns entgegen, in der Phylogenie erkennen wir Überpersönliches, irreversible, einmalige Geschichte. Ganzheit ist echte Kategorie, Ganzheit und Ganzheitsbezogenes muß geistig gedacht werden. Da handelt es sich um Wissen und Wollen, wie das ja der Begriff des **Teleologischen** im eigentlichen Sinne einschließt. Doch auch hier muß, wie DRIESCH sagt, vor allzumenschlichem gewarnt werden. Dieser große Denker sagte einmal: "Wer weiß denn, ob nicht im Wirklichen Dinge am Werk sind, für welche unsere Worte "geistig" oder "seelisch" nicht einmal in ihrem allgemeinsten und allerunbestimmtesten Sinne ein adäquater Ausdruck sind? Den Menschen ohne weiteres als "Ziel" der überpersönlichen Entwicklung zu setzen, würde jedenfalls grobe Vermenschlichung des Absoluten sein".

Die Naturwissenschaft hat die Rätsel der Welt nicht lösen können, aber sie hat unseren Horizont ungeheuer erweitert. GOETHE, dem man ganz bestimmt nicht vorwerfen kann, die Erkenntnisse der Naturwissenschaften überbewertet zu haben, hat die ungeheuere Horizonterweiterung durch die Naturforschung stets aufrichtig bewundert. "Die Bewegung der Erde um die Sonne - was kann dem Augenschein nach absurder sein? Und doch ist es die größte, erhabenste, folgreichste Entdeckung, die je der Mensch gemacht hat, in meinen Augen wichtiger als die ganze Bibel so sprach GOETHE zu dem großherzoglich-weimarischem Staatskanzler F. v. MÜLLER am 27.2.1831 (MÜLLER wurde am 13.4.1779 auf Burg Kunreuth in Oberfranken, einem Fideikommißgut der Familie von und zu EGLOFFSTEIN geboren!).

Es ist für den modernen Menschen ganz und gar unverständlich, daß man sich noch zur Zeit GOETHE's unseren Planeten als fixe Größe und von Anfang an so vorstellte, wie er uns heute entgegentritt. Plötzlich sollen sich auf der Erde aus einem zurückströmenden

Urmee r die Gesteine ausgeschieden haben. Das feste Gerüst der Erde wurde also im Anschluß an den Mosaischen Schöpfungsbericht als gegeben hingenommen, es soll eine unveränderliche, feste Bühne gewesen sein, den das Urmeer bedeckte, um sich einmal zurückzuziehen. Hier haben wir die Sintflutmythos vor uns. Woher die großen Wassermassen auf einmal kamen und wohin sie sich zurückzogen, blieb ungeklärt. Heute nimmt man mit guten Gründen an, daß die Wassermassen der Erde im Laufe der Lebensentwicklung konstant blieben.

Zu GOETHE's Zeit war der Streit zwischen Neptunisten und Vulkanisten noch nicht entschieden. Erstere sahen vor allem im Wasser die große gestaltende Kraft; ihr schloß sich GOETHE an, da ihm die andere Lehre zu revolutionär war. Den Neptunismus vertrat G.A. WERNER, sein Gegenspieler war A. v. HUMBOLDT, wegen seiner Haltung von GOETHE wiederholt angegriffen. Heute mutet uns dieser Streit geradezu kindlich an, man hat erkannt, daß die Erdkruste keine feste Bühne ist, vielmehr auf einem mobilen Untergrund schwimmt und dauernd Bewegungen unterliegt.

Diese Niveaushiftungen bestimmen die Verteilung von Land und Meer, sie sind die Aktion, denen die äußeren Kräfte der Zerstörung und Abtragung entgegenwirken. Das ist die Reaktion. Doch werfen wir noch einen Blick auf die damaligen Lehren über die Entstehung der Erde. Sie waren von den heutigen weit entfernt. Einen glühend flüssigen Erdkern, auf dem die dünne Erdkruste schwimmt, konnte man sich damals noch nicht vorstellen. KANT vertrat 1755 die Staubhypothese, die Planeten sollen durch Zusammenballung einer rotierenden Staubwolke mit frei beweglichen Teilen entstanden sein. LAPLACE kam 1796 der Wirklichkeit schon näher, er glaubte, die Planeten hätten sich aus einem rotierenden und sich durch Rotation zunehmend abplattenden heißen Gasball gebildet; es gab zentrale Verdichtung und Ablösung der Materie in Ringform und Zerfall der Gasringe in Körper.

Wie ist die Erde, wie ist das Universum entstanden? W. HEITLER (1976, S. 102) sagt dazu, über die Entwicklung des Universums wissen wir ziemlich viel. Aus großen Gasnebeln haben sich durch Verdichtung sehr heiße Sterne gebildet, die allmählich ihre Wärme ausstrahlen und wieder abkühlen. Es gibt ein Gesetz, wonach sich Wärme ständig ausgleicht. Im Blick nach der Vergangenheit werden die Temperaturdifferenzen größer, denn

Wärme hat sich inzwischen ausgeglichen. Auf das Universum übertragen käme man zu einem Zustand von höchster explosiver Potenz: riesige Temperaturdifferenzen, die Materie auf engem Raum konzentriert, dazu ungeheuerere Druckdifferenzen, kurz ein Zustand, der nur explodieren könnte. Wir dürfen natürlich nicht behaupten, sagt HEITLER, daß dieser Zustand einmal existierte, es heißt nur, daß dies eine Konsequenz ist, wenn man die Gültigkeit der jetzigen Physik beliebig lang in die Vergangenheit fortsetzt. Der heute von vielen vertretene, am Anfang stehende Urknall (big bang) ist nach HEITLER das ganz unvorstellbare, unendlich mächtige Ereignis der Entstehung des Universums. Damit ist nicht so sehr die Materie gemeint, als vielmehr die Gesetze, nach denen die Welt gebaut ist. Aller Wahrscheinlichkeit nach ist die Welt also einmal so entstanden. Astronomen nehmen an, vor zwischen 10 und 100 Mrd. Jahren. Und HEITLER führt fort, die Gesetze der Welt waren nicht immer so, sie sind einmal entstanden, plötzlich oder allmählich.

Vor einer Vorstellung muß sich die Naturforschung vor allem hüten, sie darf die Welt und die Naturgesetze nicht als so sein müssend betrachten. Die physikalischen Gesetze müssen nicht so sein, wie wir sie formulieren, sie könnten auch anders sein. Als so sein müssend können wir nur die Sätze der formalen Logik und Mathematik verstehen, sonst nichts. Unsere ganze Wissenschaft ist im Grund überhaupt nur ein Beschreiben, das Anerkennen eines großartigen Weltprozesses, der vor unseren Augen abläuft, in den wir zugleich selbst eingegliedert sind. Dabei werden wir vor immer neue Probleme gestellt, die wir lösen möchten. Aber lösen wir sie auch? Ein Problem lösen heißt aber, den in Rede stehenden Sachverhalt aus seiner Isolierung befreien und ihn dem gesamten Inhalt des Gewußten an bestimmter Stelle einzureihen. Eine solche Lösung wird voll erreicht, wenn man zeigen kann, daß der zur Untersuchung stehende Sachverhalt letztthin nichts anderes ist, als eine gewisse Modifikation schon bekannter Sachverhalte, ein neuer "Fall" also in einer bekannten "Klasse" von Fällen. Der Sachverhalt heißt alsdann erklärt man denke nur an die Zurückführung des Lichtes auf elektromagnetische Schwingungen. Aber was sind diese? Hier muß GOETHE wieder unser großes Vorbild werden. Er drang bis zu den Urphänomenen vor und begnügte sich damit, diese erkannt zu haben. Die Urphänomene selbst hat er still ver-

ehrt. GOETHE's tiefe Religiosität, seine Ehrfurcht vor dem Geschaffenen war die Grundlage seines Wesens. GOETHE glaubte nicht, das höchste Wesen seiner Natur nach erkennen zu können, es blieb für ihn ein "Unerforschliches", dem er "Anbetung" nicht versagt hat.

2. Absolute Zeitrechnung (Geochronologie)

Ein Blick auf die Formationstabellen zeigt, wie weit wir schon in die Einzelheiten der Erdgeschichte eingedrungen sind. Die drei großen Erdzeitalter umfassen 11 Formationen, die in ca. 500 "Zonen" untergegliedert wurden. Aber die historische Geologie befindet sich in einer mißlichen Lage, in der gleichen, in der sich ein Historiker befände, der zwar die Kaiser eines Herrscherhauses in ihrer Reihenfolge kennt, nicht aber deren Regierungszeit. Zwar kennt man schon lange die Werte der radiometrischen Altersbestimmungsmethode, aber man konnte bisher nicht beweisen, daß diese Werte auch stimmen. Schon lange fällt mir auf, daß die astronomisch hohen Werte in Widerspruch zu den sehr viel niedrigeren Werten stehen, die man auf Grund anderer Überlegungen der Geologie erhält. Ich verweise hier auf die Resultate von POMPECKJ und ROTHPLETZ, die für mächtige Kalke von 25 und mehr m Mächtigkeit nur mit einigen hundert oder tausend Jahren auskamen. Hier stimmt doch offenbar etwas nicht! Ich bin überzeugt, daß die geologische Zeit sehr weitgehend in den Hiaten, nicht in der Mächtigkeit der Sedimente selbst steckt. Aber man darf den Bogen nicht überspannen. Ein Beispiel! Der Jura in Franken hat eine Durchschnittsmächtigkeit von 1000 m (man könnte, je nach regionalem Ausgangspunkt der Schätzung auch weniger oder mehr annehmen), man kann hier alle Oppel'schen Zonen und darüber hinaus die neu hinzugekommenen "Zonen" nachweisen, keine fällt völlig aus; die Mächtigkeit und Möglichkeit der lokalen Untergliederung schwankt stark, doch gibt es keine Gründe dafür, anzunehmen, daß das fränkische Jurabecken einmal völlig trocken lag. Die allgemeine Meerestiefe lag unter 100 m. Nun soll dieser fränkische Jura in einem Zeitraum von 55 Mio Jahren entstanden sein. Auf ein Jahr kämen also nur ca. 0,02 mm Sediment. Nach ROTHPLETZ haben sich die Solnhofener Schichten sehr rasch gebildet, er nahm nur 5 cm Sedimentbildung pro Jahr an. Wir

stehen hier vor einer schwierigen Entscheidung!

Es muß ernsthaft die Frage geprüft werden, ob die Methodik der radio-metrischen Altersbestimmung wirklich gesicherte Grundlagen hat. Ich fragte bei dem bekannten Ordinarius für physikalische Chemie, Prof.Dr. Max THÜRKAUF in Basel an, der mir am 10.10.1981 schrieb: "Die radio-metrischen Altersbestimmungen sind, was die Erkenntnistheorie im Bereich der modernen Naturwissenschaften anbelangt, sehr problematisch und keineswegs gesichert (es wird nur so getan als ob).

Über die Möglichkeit einer Evolution der physikalisch-chemischen Gesetze finden Sie in meinem Buch über den Marxismus ein paar Gedanken. Besonders die ^{14}C -Altersbestimmung hängt deshalb in der Luft oder besser im Weltraum, weil vorausgesetzt werden muß, daß der Neutronenfluß aus dem Weltall, der heute auf der Erde gemessen wird, seit Jahrtausenden konstant sei. Alle radiometrischen Altersbestimmungen stehen und fallen mit dem Postulat von der unbedingten Konstanz der Halbwertszeiten. Das aber ist wie vieles in der modernen Naturwissenschaft eine Glaubensfrage".

Im Jahre 1980 erschien im Novalis Verlag (Schaffhausen) ein Buch von Prof. THÜRKAUF mit dem Titel "Die moderne Naturwissenschaft und ihre soziale Heilslehre - der Marxismus". Ich möchte dieses ganz ausgezeichnete Buch von 196 Seiten Umfang dringend empfehlen. Die Konstanz der chemisch-physikalischen Gesetze wird abgelehnt, eine Auffassung, die heute immer mehr unter den Naturforschern zunimmt. Es ist ganz und gar unmöglich, von Beobachtungen, die sich noch nicht einmal auf 100 Jahre erstrecken, auf Mrd. Jahre zu schließen. THÜRKAUF schreibt den höchst bemerkenswerten Satz: "Je intensiver die unveränderlichen Naturgesetze erforscht werden um so schneller verändern sich die Naturwissenschaften".

Von religiösen Vorstellungen ausgehende Schätzungen des Alters der Erde (hier interessiert natürlich nur der Zeitraum der historischen Geologie oder Formationskunde, also ab Präkambrium bzw. Ediacara-Fauna, für den man heute meist um 600 Millionen Jahre annimmt) kommen zu sehr verschiedenen Werten. Eine heute stark werbende Sekte setzt für jeden der 6 Schöpfungstage je 1000 Jahre ein, eine absurde Vorstellung. BUFFON, der große französische Naturforscher (1707 - 1788) machte aus den 6 Tagen 75000 Jahre, ein minimaler und unzureichender Wert. Der jüdische Kalen-

der zählt noch heute 5700 Jahre seit der Schöpfung. 1654 gab der irische Bischof USSHER den 26. Oktober 1654 v.Z. als Schöpfungstag an. Viel größere Werte finden wir bei den alten Ägyptern, Persern und Griechen. Die alten Chinesen kamen auf einige 100 000 Jahre und die Hindus auf mehrere Millionen Jahre. LYELL (1797 - 1875), der die Katastrophenlehre CUVIERS widerlegte und an ihre Stelle seinen Aktualismus setzte, nahm nur für den Sedimentmantel der Erde 1830 schon 230 Millionen Jahre an.

E. DACQUÉ (1930) nahm folgende Werte an:

Erdneuzeit	5 Millionen Jahre
Erdmittelalter	25
Erdaltertum	60

also im ganzen 90 Millionen Jahre, im Gegensatz zu den 520 Millionen Jahre der radiometrischen Bestimmungsmethode.

Sehr naheliegend war es, aus der Masse der Abtragung des Festlands oder aus der Tätigkeit fließenden Wassers (Niagara-Fall, und andere) auf die Dauer der Denudation und Erosion zu schließen. Verschiedene Geologen und Geographen haben hier beachtenswerte Erkenntnisse gewonnen, die aber nicht verallgemeinert werden dürfen, da sie stark von Tektonik und Klimawechsel abhängig sind. Gg. WAGNER hat sich besonders mit der Flußarbeit beschäftigt. Er schreibt, wenn wir von Sonderfällen absehen (Flußablenkung, Hebungsgebiete), haben wir seit der letzten diluvialen Aufschüttung (Niederterrasse) eine Eintiefung um 10 m, bei den ältesten Diluvialterrassen von rund 100 m. Wir kämen somit für die Zeit der diluvialen Eintiefung auf etwa 200 000 Jahre. Nun liegen aber dazwischen längere Zeiten der Aufschotterung, und die Aufschüttungen mußten ja nachher wieder zerschnitten werden. So kommen wir wieder auf die alte Größenordnung von $1/2$ - 1 Mio Jahre.

Auf ähnliche Werte wies auch A. PENCK hin, als er die stärkste Abtragung durch Alpenflüsse (1 m in 2000 - 4000 Jahren) mit der diluvialen Aufschüttung der Poebene verglich, die ja nicht bloß von Hochgebirgsflüssen aufgefüllt wurde. Nun sind aber die Ablagerungen des Pliozäns 3- bis 4mal größer (nach neueren Bohrungen bis 4 km), die des Miozäns noch mächtiger, so daß er für das Jungtertiär auf etwa 5 - 12 Mio Jahre als Mindestwert kam.

Aus der Mächtigkeit der Sedimente berechnete DANA das Verhältnis der Dauer von Neozoikum : Mesozoikum : Paläozoikum 1 3 12. Die Mächtigkeiten von Eozoikum und Archaikum stehen hinter denen des Paläozoikums nicht zurück, trotz der großen Gebirgsbildungen und langen Abtragungszeiten, die sich in den großen Diskordanzen zeigen. Nehmen wir das Neozoikum nur mit 60 Mio Jahren an, so ergeben sich für die ganze Erdgeschichte über 2 Mrd. Jahre.

Als Höchstmächtigkeiten fand man für das Neozoikum 22 km, und zwar:

Quartär	über 1 km
Tertiär	bis 21 km
davon: Pliozän (Kalifornien)	4 km
Miozän (Kalifornien)	6 km
Oligozän (Italien)	4 km
Eozän (Wyoming)	7 km

Jedenfalls geht aus allen Überlegungen hervor, daß die nebulösen astronomischen Zahlen keine Berechtigung haben. Vielfach liegt derartigen Vorstellungen die Einsicht zugrunde, daß man für die Evolution enorme Zeiträume braucht, wenn man dieses Geschehen mit dem Zufall erklären will. Zufall ist aber unmöglich, das beweisen die vielen Unwahrscheinlichkeitsrechnungen, die immer wieder von Biologen vorgelegt wurden. Die nichtmechanistische Biologie ist auf die hohen Werte des Alters der Erde nicht angewiesen, für sie sind die astronomisch hohen Zahlen sozusagen "wertneutral".

3. Gliederung der Sedimentgesteine und Entstehung der Schichtung

Eine gute Übersicht gibt Gg. WAGNER (1960), die hier wiedergegeben wird. Danach kann man die Sedimente (sedimentum, lat. Bodensatz) einteilen nach der Art ihrer Entstehung oder nach dem Ort derselben bzw. nach dem Erzeuger, außerdem nach der Zeit der Entstehung. Nach der Art der Entstehung unterscheidet Gg. WAGNER:

1. Mechanische (klastische) Sedimente, Trümmergesteine liefernd.
 - a) Psephite (psephos = Steinchen), grobkörnig, mehr als 2 mm Durchmesser: Schutt (eckig), Geröll (rund), verbacken zu Bresche

(Breccie) und Nagelfluh oder Konglomerat.

b) Psammite (psammos Sand), 0,02 – 2 mm Korngröße: Grus und Sand, verfestigt zu Grauwacke (aus kleinen Gesteinstrümmern und Mineralkörnern), Arkose (aus verschiedenen Mineralkörnern, vor allem Feldspat), Sandstein (vorwiegend aus einem Mineral, meist Quarzsand).

c) Pelite (pelos Schlamm), Korngröße 0,02 – 0,002 mm Schluff, weniger als 0,002 mm Ton, verfestigt zu Schieferen und Ton-schiefer.

2. Chemische Sedimente, aus Lösungen durch Übersättigung oder Ausfällung (durch chemische Reaktionen) ausgeschieden: Edelsalze (Kali- und Magnesiasalze), Steinsalz, Anhydrit, Gips, Kalk, Dolomit, Kieselsäure (Horn- oder Feuersteine), Eisenerze (Oolith) in ariden Gebieten besonders Soda, Glaubersalz, Borax, Natronsalpeter.

3. Organische Sedimente, von Organismen erzeugt.

a) Phytogene Sedimente: Torf, Braunkohle, Steinkohle, Bernstein, Algenkalke, Kieselgut.

b) Zoogene Sedimente.

Nach dem Bildungsort gliedert Gg. WAGNER die Sedimente in

1. marine
2. brackische
3. lakustre
4. fluviatile
5. glaziale
6. äolische
7. vulkanische.

Die Mächtigkeit einer Ablagerung kann nur mit großer Vorsicht als Maß der Hebung oder Senkung eines Meeresteiles verwendet werden, es gibt zuviele Möglichkeiten der späteren Veränderungen. So kann auf hochliegenden Schwellen durch Wellengang das feinere Material ausgeschlemmt werden und das gröbere angereichert liegen bleiben. Hinzu kommt, daß der marine Einfluß durch eine Reihe von Regressionen und Transgressionen in seiner Stärke wechselt.

Die Mächtigkeiten der Sedimente, die man etwa im deutschen Jura heute mißt, ist natürlich nicht die ursprüngliche. A. BERSIER (1936) gibt an Faktoren für Ablagerungszeit je Mächtigkeit an: Toniger Kalk 3, Ton und Mergel 2, Fein- bis Mittelsandstein 1, Mittel- bis Grobsandstein 0,5, Grobsandstein bis konglomeratischer Grobsandstein 0,3. Ursprünglich schlammiges Material erfuhr stärkere Setzung als gröber klastisches durch Wasserverluste sowie infolge verschieden großer Belastung und Kompression durch das jüngere Deckgebirge. Senkungen kann man annehmen, wenn feine Sedimentgesteine relativ größere Mächtigkeit zeigen als gröbere in deren Umgebung. Andernfalls muß man, wie H. KÖLBEL (1967) gezeigt hat, sorgfältig einschätzen, ob geringere Mächtigkeit der feineren Sedimentgesteine nur auf Setzung oder Kompression zurückzuführen ist, oder ob die geringere Dicke zum Teil primär und durch Ablagerung auf einer Schwelle bedingt ist. Diese Komplikationen sind der Grund dafür, daß die Zusammenhänge zwischen Mächtigkeiten und Lithologie (Sedimentologie) im allgemeinen wenig deutlich sind.

Was die Setzung eines Sediments angeht, so hat man an Fossilien des süddeutschen Lias epsilon interessante Beobachtungen gemacht. Im Posidonien-schiefer Frankens und Schwabens sind viele Tiere, besonders die Ammonitenschalen oft völlig zusammengedrückt, geradezu in eine Ebene projiziert. Man kann aus der Dicke einer Ammonitenschale auf den Grad der Kompression schließen, zuweilen bleibt nur 1/15 der ursprünglichen Schalendicke erhalten. Ebenfalls aus dem Lias epsilon kennt man völlig unverdrückt erhaltene Ammonitenschalen, so z.B. *Phylloceras* von fast 50 cm d, der allerdings aus dem Stinkkalk, nicht aus dem Schiefer selbst, stammt. Hier drängt sich der Gedanke auf, daß die Sedimentation doch sehr rasch erfolgt ist, denn eine so riesige Schale lag wohl kaum Jahrtausende auf dem Meeresgrund. Auch bei Ichthyosauriern findet man zweierlei Erhaltung, fast plastische Überlieferung im süddeutschen Lias epsilon, die allerdings selten ist, oder starke Kompression, was für die meisten Funde aus Holzmaden zutrifft.

Auf die Mächtigkeit eines Sediments, die nur ausnahmsweise die ursprüngliche ist, etwa bei groben Geröllagen und Konglomeraten, und ihre paläogeographische Bedeutung wurde schon hingewiesen. Ich will hier Angaben aus jüngster Zeit geben:

Lias in Franken um 90 m im Durchschnitt, N Berching ca. 24 m; hier mißt der Lias delta sogar nur 0,4 m (SCHMIDT-Kal Geol. Blätter NO-Bayern, 1981)

Lias in NO-Deutschland 140 400 m, gelegentlich bis 800 m

Lias in Polen etwa 100 - 400 m, lokal über 1000 m

Hettangium in NO-Deutschland 30 280 m

in Polen zwischen 55 und etwa 280 m

Sinemurium in NO-Deutschland zwischen 15 und 160 m

Pliensbach in NO-Deutschland 55 190 m

Toarc in NO-Deutschland 45 180 m

in Polen 70 330 m

Dogger in NO-Deutschland 50 450 m, lokal bis 800 m

Aalenium in NO-Deutschland 60 295 m

in Polen 20 115 m

Bajocium in NO-Deutschland 0 290 m

in Polen 5 - 310 m

Callovium in NO-Deutschland 0 500 m

Dogger in Franken im Durchschnitt 160 m

Dogger gamma in Franken 0,15 7,80 m (SCHMIDTILL 1953)

Dogger gamma zeta bei Staffelstein 27 31 m

Dogger gamma zeta Blatt Buttenheim 7,6 16 m

Die paläogeographische Interpretation der Sedimente ist neuerdings durch komplizierte chemische und physikalische Methoden gefördert worden. Aber mir scheint, daß ausschlaggebend doch immer die Einschaltung eines Sediments in einem größeren Rahmen, einen Zyklus oder Rhythmus, ausschlaggebend bleibt; vor allem aber hat das letzte Wort der ökologische Befund, die vorgefundene Fauna oder Flora. Hier will ich nur auf die Verhältnisse im süddeutschen Jura eingehen. Wir haben es hier nur mit Gesteinen des Flachschelfs zu tun, selten mit Gesteinen aus größerer Tiefe (vgl. Fischer 1912). Die mächtigen dunklen

Tone, die wir immer wieder antreffen, in Lias beta, delta, zeta, Dogger alpha, epsilon - zeta, sind typische Flachseebildungen. Es ist KÖLBEL kaum zuzustimmen, wenn er für ähnliche Bildungen in der DDR Annäherung an Tiefschelf-Bedingungen annimmt. Die Herkunft aller genannten Tone aus den genannten Jurahorizonten ist in ganz Deutschland wohl die gleiche, Meeresströmungen sorgten für gleichmäßige weite Verbreitung. Wo Sand zunimmt oder Sandsteinüberlagerung vorkommt, kann man keine Tiefschelfbedingungen mehr annehmen. Flachschelf und Tiefschelf-Ablagerungen sind natürlich oft schwer zu trennen, sie gehen ineinander über. Für Flachschelf sprechen Sandreichtum, die Häufigkeit der Reste von Bodenbewohnern, von Grabs Spuren, aber auch von vielen Kriechspuren, das überwiegende Fehlen der Feinschichtung infolge Durchwühlens der Sedimente, das Vorkommen von Muschelschill bis hin zu Lumachellen, von Austern und anderen dickschaligen Mollusken, von Schrägschichtung in Sandsteinen und Eisenooidföhrung verschiedener Sedimente.

Viele dieser dunklen Tone föhren nur lagenweise eine meist artenarme, aber dann individuenreiche Fauna, sie ist oft verkiest.

Bituminöse Sedimente, vor allem Schiefer, daneben "Stinkkalke" finden sich in Süddeutschland weit verbreitet, weniger in Norddeutschland. Hier der Posidonienschiefer und Dörntener Schiefer des Toarcium in NW-Deutschland, Thüringen, im Subherzynyen Becken, Altmark, Mecklenburg. In Mecklenburg grenzen sie an die Fazies der "grünen Serie", die man sonst auch als Estherien-Schichten bezeichnet. Auch im Oxford der sächsischen Elbtalzone kommt bituminöser Schiefer vor. Vor allem ist hier der Lias epsilon Süddeutschlands von großem Interesse wegen der vielen großen Wirbeltiere (Abb. 14 b).

4. Bio- und Lithostratigraphie

Beide Formen der Stratigraphie basieren auf mühevoller langer Arbeit im Gelände, auf Erfahrung. Am Anfang steht die Lithostratigraphie, die von Deutschland ausgeht. Ich gebe die wichtigsten Daten:

1756 Rotliegendes und Zechstein, LEHMANN

1761 Muschelkalk und Buntsandstein (Sandgebirge), FÜCHSEL

1795 Jura, A. v. HUMBOLDT

1822 Keuper, L. v. BUCH

1834 Trias, v. ALBERTI.

Vor allem K. BEURLIN hat mit Nachdruck darauf hingewiesen, daß die Stratigraphie von Mitteldeutschland ausging, hier gelangen die ersten großen Würfe. FÜCHSEL, der Buntsandstein und Muschelkalk 1761 als stratigraphische Einheiten erkannte, führte auch den Begriff Formation ein. Hier liegen geistige Leistungen vorn größter Tragweite vor, die in keiner Weise hinter den Leistungen der großen Historiker wie L. v. RANKE zurückstehen. Unsere zu lange auf den Werten des Altertums und Mittelalters stehengebliebene Kultur hat sich erst allmählich daran gewöhnen müssen, daß es auch noch eine Naturgeschichte gibt. Der Geologe J.F. POMPECKJ, dessen Namen uns noch öfter im 7. Abschnitt begegnen wird, hat vor 60 Jahren in einer Rede bei der Übernahme des Rektorats der Universität Berlin, diesen Mißstand bedauert. Seiner Ansicht nach ist es unberechtigt, die Geschichte des israelitischen Volkes oder von Duodezfürsten zu lernen, dabei aber die Geschichte der Erde, die uns trägt und nährt, zu ignorieren.

A. v. HUMBOLDT war es, der 1795 zum erstenmal von einer Juraformation sprach. Sein Werk führte LEOPOLD VON BUCH (1774 1852), der führende Geologe seiner Zeit, fort. Er hat vor allem sein Interesse dem Jura zugewandt, GOETHE hat seinen Arbeiten großes Interesse entgegengebracht. BUCH's Schüler war F.A. v. QUENSTEDT (1809 1889), dessen geniale Untersuchungen eine noch heute gültige Stratigraphie des Jura ermöglichten. 1837 wurde der in Eisenleben geborene an die Universität Tübingen berufen, er wanderte von Berlin nach Tübingen zu Fuß, um die Landschaft kennen zu lernen; das waren noch andere Zeiten als heute, wo meist der nötige Idealismus fehlt. Der 28jährige begann sofort mit der Arbeit und vollbrachte eine einzigartige Leistung.

FÜCHSEL hat 1761 den Begriff Formation geschaffen, zur gleichen Zeit, als er Buntsandstein und Muschelkalk als selbständige Zeitabschnitte erkannte. Die ältere Geologie verstand unter Formation gleiche, unter gleichen Verhältnissen und unmittelbar nacheinander abgelagerte Schichtserien. Der Hauptwert wurde auf die Petrogenese gelegt und demzufolge wären Buntsandstein, Muschelkalk oder Weißjura im Sinne von FÜCHSEL als Formationen zu bezeichnen.

Ähnlich dachte auch noch WERNER gegen Ende des 18. Jahrhunderts. Er ergänzte die Definition FÜCHSEL's dahin, daß gleiche Gesteine unter gleichen Bedingungen entstanden seien (vgl. DACQUÉ, Paläogeographie, 1915, S. 186 ff., 181 ff.). Hier wird auch auf die alten, sehr treffenden Bezeichnungen Steinkohlenformation, Buntsandsteinformation, Grauwackenformation, Kreideformation, usw., hingewiesen. DACQUÉ hat betont, daß jede Formation ihre Leitgesteine habe, eine Art "Zeitgeist", der in seinem eigentlichen Wesen schwer zu fassen und schwer zu analysieren ist. Dieser Charakter der Sedimente kommt fast ausnahmslos von der Tätigkeit der Organismen, deren Zeitgebundenheit über jeden Zweifel erhaben ist. Die Stratigraphie konnte bei dem ursprünglichen Konzept nicht stehen bleiben, von der Steinkohlenformation ging man unter weitgehender Abstraktion des für die Formationen Wesentlichen zum Karbon, vom Jurakalk zum Jura, von Muschelkalk und Buntsandstein zur Trias. Das war aber erst möglich, als CONYBEARE und PHILIPS um 1820 den Formationen jenen auch paläontologischen Inhalt gaben, den wir schon lange nicht mehr missen können und der erst den petrographisch und regional begrenzten, ursprünglich eingeengten Begriff der Formation erweitert. Formation ist ein streng zeitlicher Begriff, der von vielem individuellen Zügen absehen muß und alles umfaßt, was innerhalb des zeitlich festgelegten Rahmens geschah. Darüber hinaus dürfen wir aber die Einmaligkeit der Geschehnisse, den "Zeitgeist" und die Zeitsignaturen DACQUÉ's, nicht übersehen.

Zeitgebundene Gesteine, die vorwiegend biogenen Ursprungs sind, sind neben der Pteridophyten-Kohle des Karbon die Spermatophyten-Kohle des Tertiär; ihr zoologisches Äquivalent ist der Fusulinenkalk aus Oberkarbon und Perm bzw. der Nummulithenkalk des Alttertiär. Weiter sind zu nennen die Archaeocyathinenkalke des Kambrium, der Serpulit des Ob. Jura, die Schwammkalke des süddeutschen Ob. Jura (weitere Vorkommen nur in Polen!), der Kupferschiefer, und nicht so typisch zeitgebunden der Posidonienschiefer des Lias epsilon, ferner der Graptolithenschiefer des Silur. Auch die Terebratelbänke des Muschelkalks, der Vaginatenkalk und viele andere sind zeitgebunden und einmalig. Hervorzuheben sind die Plattenkalke, oft auch Lithographieschiefer genannt, helle, dünnplattige, durch Fäulen getrennte Kalke von Solnhofen-Eichstätt (Franken), aber auch in Schwaben (Nusplingen); sie sind fossilarm, nur stellenweise viel

Leptolepis, Saccocoma oder Ophiuroideen.

Analoge plattige, aber mehr kreidig aussehende Kalke, die Fische führen, kennt man sonst nur noch aus der Ob. Kreide des Libanon. Aus dem Ob. Jura hingegen sind äquivalente Bildungen beschrieben von Cerin (Frankreich), Montsech (Spanien), Neusüdwales (hier von Tambragar, wo Leptolepis häufig ist), Argentinien (gleichartige Kalke in der Provinz Jujuy). Es wäre wünschenswert, sich an den genannten Stellen einmal mit der Bildungsgeschichte zu beschäftigen, vielleicht ergeben sich Parallelen zu Solnhofen und den Vorstellungen von ROTHPLETZ. Fast alle Kalke entstanden wie schon (J. WALTHER, Einleitung in die Geologie, 3, 1894) hervorhob, durch die Tätigkeit gewisser Tiere- und Pflanzenarten, unter ihrem Einfluß gebildete Gesteine so ihren spezifischen Charakter. Die Lebewesen spielen in der Lithogenese eine enorme Rolle, kohlsaurer Kalk würde sich sonst im Meer niemals in dem nachgewiesenen Umfang gebildet haben, denn der Gehalt an kohlsauerm Kalk ist im Meer sehr gering und entspricht nicht im geringsten den im Sediment zum Absatz gekommenen Massen.

Ich stimme E. DACQUÉ (1915, S. 285) zu, wenn er sagt, daß die Biostratigraphie auf dem Satz beruht, daß gleiche Tier- und Pflanzengattungen Gleichaltrigkeit ihrer Lager bedeuten. Er betont, daß man in keinem einzigen Fall Klarheit darüber habe, wo die neue Art entstanden ist und wie sie an den Ort kam, wo man sie heute findet. Man kann heute sogar soweit gehen und sagen, daß wir über das Erlöschen einer Art noch viel weniger wissen, als über ihre Entstehung; auch bei Bildung einer neuen Art oder gar eines neuen Typus braucht der vorhergehende Typus bzw. Art keineswegs in die neue aufgegangen zu sein. Oft ist das Gegenteil richtig, Altes und Neues leben oft noch lange nebeneinander weiter. DACQUÉ nennt Beispiele für das lokal nachweisbare frühere Auftreten von Arten oder Gattungen. Er spricht von einem Circulus vitiosus, wenn man von dem Auftreten von Formen in verschiedenen Faunen auf Wanderungen schließt und daraus wieder Nuancen in der Altersbestimmung feststellen will. Hier wird das frühere Auftreten von Macrocephalites im Dogger Südamerikas genannt, wo dieses Ammonitengeschlecht in typischem Bathonium auftritt. In Süddeutschland kommt die genannte Gattung erst im Unt. Callovium vor (wenigstens läßt man dieses meist mit dem Auftreten der genannten Gattung beginnen). DACQUÉ hält in diesem Zusammenhang auch Konvergenzbildung für

möglich, wie bei den Oxford-Macrocephalen des indo-afrikanischen Faunengebiets, die man in unserem Zusammenhang über Zonentreue nicht verwerten kann, um zu beweisen, daß sich die Gattung Macrocephalites dort länger hielt, als sonstwo im Jura. Das lokale Persistieren ist ein Thema, das erneut gründlich untersucht werden sollte. Es ist sicher, daß das Aussterben von Gattungen und Arten nicht universell erfolgte. So lebt Cardioceras (heute in viele Gattungen aufgeteilt) noch im Kimmeridge Rußlands, bei uns nur im Oxford. Schließlich lebt Nautilus heute nur noch regional begrenzt im südlichen Pazifik und teilweise im Indik, während das Genus früher weltweit verbreitet war. Es mag sein, daß eine Revision der Gattung Macrocephalites, die heute in verschiedene Gattungen aufgegliedert ist (eine Tübinger Diss. über das Genus ist nicht erschienen), zu etwas anderen Deutungen als DACQUE kommt, ein Problem liegt hier immerhin vor.

Daß es gerade auch unter den Ammoniten nicht selten ausgesprochene "Zonenbrecher" gibt, hat der hervorragende Kenner des fränkischen Dogger, E. SCHNIDTILL (Geol. Bavar. 16, 1953, S. 115, 124) gezeigt. Er schreibt, daß die Natur uns nicht den Gefallen tut, mit der von uns gezogenen Horizontgrenze auch die zu Leitfossilien erklärten Gattungen bzw. Arten restlos aussterben zu lassen. Dann sagt er, unsere Leitfossilien des Dogger beginnen leider nicht ausschließlich erst an der von uns gezogenen Horizont-Untergrenze, noch sterben sie restlos mit der Obergrenze aus. Auf derartige Fälle wurde schon oft genug hingewiesen, vor allem auch von C. DIENER (Biostratigraphie).

Man ist heute viel zu optimistisch in Sachen Evolution, Artumbildung, Aussterben, Entstehung von Leitfossilien usw. Man gibt sich zumeist mit dem Zauberwort Mutation zufrieden, aber hier handelt es sich um eine Sachverhaltsfixierung, der Sachverhalt bedarf selbst erst noch der Klärung: "Denn eben wo Begriffe fehlen, da stellt ein Wort zur rechten Zeit sich ein" (GOETHE's Faust). Geht man von der Mutation aus, nimmt man also den Zufall zuhilfe, dann muß man wohl oder übel die Entstehung der neuen Art (Mutation) lokal sehr begrenzen, andernfalls nicht. Soweit ich sehe, fand die Neuentstehung von Arten meist nicht in einem sehr kleinen Areal statt; von hier aus erfolgte Ausbreitung soweit sie möglich war. B. ZIEGLER hat das neuerdings sehr eindrucksvoll belegt.

Was wir diesem Autor aber besonders verdanken ist sein Nachweis, daß die Ammoniten nicht, wie so lange geglaubt wurde (C. DIENER, E. DACQUÉ), frei schwimmende, nektonische Tiere waren, sondern stark faziesgebunden, oft auf sehr enge Bezirke begrenzt. Mithin waren sie benthonisch, sehr fazies- und temperaturabhängig, nicht gleichzeitig auf Riffen und in der Normalfazies vorkommend. Was hier im kleinen gilt, gilt auch im großen, in den tiergeographischen Provinzen des Jura, wo ja schon sehr früh auf-
fiel, daß es hier "zoogeographische Leitformen" gibt.

5. Herkunft der vorzeitlichen Sedimente, besonders im deutschen Jura

In diesen Zusammenhang interessiert besonders, was W. DEECKE (1920) vor über 60 Jahren gedacht hat. Er schreibt einer von der Nordsee nach Schwaben reichenden Straße (Abb. 13) große Bedeutung zu, die die Verteilung der Sedimente lange beherrscht haben soll. Woher stammen die bisweilen sehr mächtigen Lias- und Dogger-Tone und Mergel? Etwa wieder aus dem Norden, aus Graptolithenschiefen, Untersilur und Kambrium des Kaledonischen Gebirges oder aus gehobenem Keuper des Rheinischen Schiefergebirges? Das war DEECKE "eine völlig dunkle Phase in der westdeutschen Sedimentation". An der Basis des Lias erkennt man oft genug Einlagerungen auf- und umgearbeiteten Keupers, DEECKE hält auch den eischüssigen Angulaten-sandstein Schwabens, des Harzvorlandes und Westfalens für aufgearbeiteten Keuper. Die damaligen Meeresbewegungen belegten die Abtragung und den Transport der Schuttmassen, der aber doch nur von den wenigen Inseln und Landstücken aus dem Keuper stammen konnte. Woher dann? Der Lias in Deutschland, Ostfrankreich und England ist zu gleichartig, als daß nur lokale Einflüsse ihn hätten erzeugen können. Wie bei den Triasabteilungen muß eine einheitliche Bildungsweise vermutet werden, diese hätte dann bis Ende des Opalinustons gereicht, denn mit dem Doggersandstein macht sich die Ardennen-Vogesenachse als eine herzynische Untiefe bemerkbar, die das Doggermeer von da an in eine westliche Kalk (Oolith)- und östliche Tonfacies trennt.

Zur Tonfazies gehören Westfalen, Hannover, Schwaben, wie ja die Hauptoolithgrenze über den Kamm des Schwarzwalds verläuft. Schwankungen beruhen auf Bewegungen des Meeresbodens als Vorläufern der kimmerischen

Faltung und Hebung Mitteldeutschlands vom Malmbeginn an. Es ist auffallend, wie einheitlich die tonigen Sedimente vom Bodensee bis nach Westfalen im ganzen Dogger wiederkehren, sobald die Schichten irgendwo erhalten sind. Der Eisenschuß oder Sand in den Doggerlagen, welche dem Ardennen- und Böhmer-Massiv benachbart sind oder an den Untiefen resp. Inseln von Vogesen, Odenwald, Schwarzwald abgelagert wurden, sind ebenfalls recht bezeichnend, ebenso wie die darin lokal auftretenden Reste von Landpflanzen. Es ließe sich an abgetragenes Oberkarbon der Rheinischen Masse bei den dunklen Lias- und Doggertonen denken, woher nicht das Bitumen, sondern nur der Tongehalt stammen könnte. Aber das ist auch unsicher. Nach DEECKE zeigt der Opalinuston mit seinen vielen feinschuppigen hellen Glimmerblättchen eine Umlagerung an. Woher der Glimmer eingeschwemmt wurde, diese Frage läßt DEECKE offen. Die im Opalinuston vorgefundene Fauna, ist nur im ältesten Dogger alpha und gegen Ende etwas reichlicher, die Mitte ist fast fossilleer, ist kleinwüchsig, ärmlich, nur lokal etwa reichhaltiger, seltsam ist das häufige Vorkommen kleiner Einzelkorallen. DEECKE nimmt als Herkunftsgebiet des Glimmers den oberen Sandstein der Oberrheinischen Masse an, auch die Tone des Oberkarbons. Lias- und Doggertone müssen zugeführt sein, da, wie DEECKE sagt, Ton ja nicht chemisch ausgeschieden wird. Im Lias gamma bis zeta fehlten im Meere Mitteleuropas entsprechend große Inseln, die soviel feines Sediment hätten liefern können. Folgt man aber nach Norden der Tonfazies, gelangt man bis in das nördliche England. Die Oolith- und Korallenfazies, welche im unteren, mittleren und oberen Dogger von England über die Normandie am Ardennenrande sich langsam immer weiter nach Süden schiebt, grenzt später das Tongebiet fortschreitend ein und gibt ihm den im Lias noch fehlenden, Deutschland schräg durchziehenden Charakter. Aus dieser Erscheinung und dem Auftreten eines gleichartigen Lias und Unterdoggers in Norddeutschland bis Rüdersdorf und Pommern-Mecklenburg ergibt sich eine dem Buntsandstein ähnliche Verbreitung der unteren Juraformation, so daß ich deswegen geneigt bin auch ihr Material aus den gleichen Gebieten abzuleiten. Der so lockenden Versuchung die daraus sich ergebenden Meeresströmungen zu ermitteln, möchte ich noch widerstehen. Sie sollen einer besonderen Abhandlung vorbehalten sein; ich halte die deutschen tonigen Jurasedimente für ein Produkt einer atlantischen Kreisdraft (DEECKE).

Über die Beschaffenheit und die Höhen des Festlands im Jura der DDR und Polens hat KÖLBEL interessante Aussagen gemacht. Sedimentpetrographische Untersuchungen wie Schwer- und Leichtmineralanalysen liegen noch kaum vor. Sie würden auch nur ganz grobe Vorstellungen geben, man könnte nicht mehr eruieren, wo diese Mineralien einst entstanden sind.

Das Variszische Land war, nachdem die variszische Faltung doch schon lange zurücklag, höchstens ein Mittelgebirge, dies umsomehr, als stärkere saxonische Bewegungen wohl erst mit der jungkimmerischen Orogenese, seit dem späten Jura einsetzten. Die altkimmerische Unruhe, die sich in den Steinmergelkonglomeraten (Seitzsche Konglomerate) andeutete, war wohl schon längst abgeklungen. Das Überwiegen der nördlichen Schüttung gegenüber der südlichen und die dadurch erkennbare südliche Lage der Beckenachse läßt erkennen, daß der Hauptteil des heutigen Tieflandes vom Baltischen Schild, wenigstens zunächst, ausging.

6. Meeresströmungen der Vorzeit

Die Frage nach vorzeitlichen Meeresströmungen drängt sich vor allem bei biogeographischen Arbeiten, aber auch bei Fazies-Studien auf. V. UHLIG (1911), ein hervorragender Juraforscher aus der Wiener Schule (M. NEUMAYR, E. SUESS, MOJSISOVICS, W. WAAGEN, V. UHLIG, C. DIENER, O. ABEL, L. KOBER, E. THENIUS seien hier aus der großen Zahl bedeutender Geowissenschaftler genannt) hat im Anschluß an NEUMAYR einmal geäußert, daß man Meeresströmungen da annehmen müsse, wo sich an einheitlicher Küste ein auffallender Wechsel der Fauna vollzieht. E. DACQUÉ (1915) erklärte, der Nachweis der Herkunft der Sedimente ist zuweilen eng verknüpft oder identisch mit der Frage nach dem Verlauf der damaligen Meeresströmungen. Ähnlich dachte W. DEECKE, dem wir gerade über den Jura ausgezeichnete Darlegungen in Verbindung mit der Biogeographie verdanken. Schon der große Juraklassiker NEUMAYR hat zu erklären versucht, woher die mächtigen Lias- und Dogger-tone in Süddeutschland stammen. Er nahm eine Ardenneninsel an (Abb. 10), an deren Ostküste eine von N nach S verlaufende Meeresströmung vorbeilief, nach S, Franken und Schwaben eindrang und hier den feinen Ton-schlamm verteilte (NEUMAYR 1885). Von W konnte der Ton nicht stammen, da in Frankreich die Tone weniger mächtig sind, ebensowenig von der Böhmisches Masse. Auch von der Ardenneninsel konnte der Ton nicht stam-

men, da deren Areal zu klein ist, um solche Tonmassen zu liefern. Der Ton muß also von N stammen. POMPECKJ (1901) erklärte die Fazies des fränkischen Arietensandsteins, der recht grobkörnig ist (sehr zum Unterschied vom darunter liegenden feinkörnigen Anglatensandstein), daß sich mit Beginn des Lias die Böhmisches Masse mit dem skandinavisch-russischen Festland verband, wobei Hebungen stattfanden, so daß Flüsse mit starkem Gefälle das grobkörnige Material in das fränkische Randmeer führten.

Zwei Möglichkeiten bestehen, die Meeresströmungen der Vorzeit zu rekonstruieren, Beschaffenheit und Anordnung der Sedimente und die Faunen mit ihren zoogeographischen Unterschieden. Beide Gesichtspunkte hat W. DEECKE in seinen Studien über den Jura in geistvoller Weise berücksichtigt. Im Lias und Dogger Europa war Mitteleuropa ein von Inseln und Halbinseln oder Tiefen durchsetztes Schelfmeer (Abb. 16), das vorhandene Strömungen durchlaufen ließ. Damit erklärte DEECKE die frappante Ähnlichkeit der Mollusken, Echinodermen, Brachiopoden und Korallen in Süddeutschland, N-Frankreich und England. Formbestimmend waren damals zwei Inselbrücken von NW-Richtung, die Böhmisches Masse - Thüringer Wald - Rheinisches Schiefergebirge, und zweitens das Zentralplateau in Frankreich - Cotentin - Cornwall - Wales, das den Tieren Zwischensiedlung erlaubte. DEECKE nennt die Formen, die aus dem Rhätmeer stammen und vermutet, daß diese Fauna zwei Formenelemente umfasst, eine ostasiatische und eine nordatlantische. DEECKE nennt seine "nordatlantische Fauna" auch amerikanische, weil sie in Südamerika genau so wie bei uns vorkommt. Ich übernehme die nächsten 5 Seiten aus DEECKE's Arbeit fast wörtlich, weil sie mir von großer Bedeutung auch in methodischer Hinsicht erscheinen. Bei der ostasiatischen Gruppe führt DEECKE aus:

"Höchst interessant ist die Übereinstimmung der Astarten des Doggers von Misol mit unseren Unterdoggerformen, zweitens die dortige Blüte der Inoceramen, welche bei uns in den Polyplocus-Schichten vorübergehend Platz finden, dann aber wieder auf lange Zeit zurücktreten, bis die Cenomantransgression die großen konzentrisch gerippten Formen abermals bringt. Merkwürdig ist drittens das Auftreten der Durgafauna in den Molukken, im Vicentin und zentralen Frankreich, die auf weite und ziemlich rasche Verschleppung der Keime in dem Tethysstromen hindeutet, wobei

geeignete Stellen kolonieartige Gebilde aufkommen ließen. Eine in der Thetys und Zentraleuropa dem oberen Lias gleichmäßig angehörende Ammonitenform stellt *Hildoceras bifrons* dar, welche als Leitfossil für die Stufe gelten muß, im Gegensatz zu so vielen anderen Juraammoniten, welche in ihrer Variabilität ausgesprochenen Lokaltypus tragen. Auch die *Aspidoceraten* des Malm (*A. acanthicum*) wären hier zu nennen und, wie lang bekannt, die *Phylloceraten* und *Lytoceraten*, welche mit ihrem Auftreten im Lias und Dogger Mitteleuropas deutlich den Charakter von gelegentlichen Einwanderern zeigen. Von Ihnen sind nur vorübergehend an der Lias-Dogger-Grenze *Lytoceraten* mit mehreren Arten wirklich dort heimisch geworden, ein Vorgang, der sich nach der Callovientransgression im unteren Malm mit den *Phylloceraten* (*P. tortisulcatum*) wiederholt. Der zweiten Gruppe teile ich die meisten *Myiden* (*Pholadomya*, *Goniomya*), die *Trigonien*, die *Nerineen*, die irregulären Typen der Seeigel zu. Bloß die *Myen* stellen sich im Unterlias sofort ein, jedoch mit nur wenig entwickelten, d.h. glatten Arten; alle anderen Familien kommen später, reichlicher sogar erst im Dogger, gerade so, als hätten sie während des Lias in den neu entstandenen Straßen erst eine lange Wanderung zurücklegen müssen, ehe sie zu uns gelangten. Dabei erscheint mir von Bedeutung, daß diese zweite Gruppe im alpinen Lias ganz fehlt, also nicht aus der Tethys durch Pforten in Süddeutschland und im Alpenbereich in das westeuropäische Jurameer gelangt sein kann. Sie wird von Westen durch jenen Küstenstrom herbeigebracht sein; denn im mittleren Lias Englands kommt die erste kleine *Trigonia* vor, welche darauf mit *Trigonia pulchella* unserer *Torulosustone* die weite Verbreitung dieser Gattung einleitet. Ebenso haben wir in England mit *Pygaster* des oberen Lias einen der ältesten irregulären Seeigel und ferner die ersten Korallenriffe, die Vorläufer der Dogger- und Malmformen; im englischen Unteroolith erlangen die *Nerineen* ihre erste Blüte und werden von dort nach Südosten verteilt, so daß sie im Bathonien des Breisgau und des Schweizer Juragebirges sowie lokal am Fläscher Berg im Alpenrheintal und in den Klauschichten Südtirols erscheinen, bis sie endlich mit den Riffen des Unterimalms gleichmäßig auf dem Bogen England - Genf heimisch werden. Die *Echinobrissus* wiederholen denselben Gang, ebenso *Collyrites*. Nehmen wir dazu die an den Ufersaum gebundenen Meeressaurier und Crocodilier des englischen und deutschen Lias, welche ebenfalls früher in England reich-

licher und mannigfaltiger erschienen als bei uns, so bekommen wir tatsächlich eine Reihe von Tieren, welche sich von Nordwesten her nacheinander in das mitteleuropäische Schelfmeer einschieben.

Solche Tatsachen ließen mich überhaupt die Frage stellen: Woher unsere mitteleuropäische Liasfauna stammen mag. Mit der Tiergesellschaft der oberen alpinen Trias besteht doch herzlich wenig Gemeinschaft, und ist solche vorhanden, so reicht sie sicher nicht über das Rhät oder die Grenzbildungen der Transgressionszone hinauf. Deshalb war mir ungemein wertvoll die Arbeit von JOH. BÖHM über die Trias der Bäreninsel, wo in dem Fossilmaterial der karnischen Stufe unzweifelhaft Typen unseres Unterlias stecken. Da bisher niemand auf diese Beziehung hingewiesen hat, sei etwas ausführlicher darauf eingegangen. Der Seestern, der *Pentacrinus*, die *Terebrateln*, *Spitiferina lundgreni* tragen liasischen Charakter, vor allem aber gilt dies von den *Zweischalern*. Wir haben darunter eine *Gryphaea*, welche direkt Vorfahr der unterliasischen kleinen *Arcuaten* sein kann, ferner *Limen* vom Habitus der *Lima Hermannii* und *L. pectinoides*, drittens in *Pecten Oebergi* die Form des *P. glaber*; *Avicula Bittneri* kann als Vorläufer der *A. contorta* angesehen werden und für *A. Torelli* gibt es in dem *Psilonotenkalk Analoga*; *Paläoneilo Tobieseni* ist eigentlich eine *Nucula Hammeri*, gerade so wie manche der *Myophorien* den *Trigonien* des Unterdoggers gleichen. Die wenigen Schnecken könnten ebenso, wie hier aus der karnischen Stufe, aus den *Hettinger Sandsteinen* des Lothringer Lias stammen. Die *Ammoniten* sind dagegen echte Triasformen. Es liegt also in dieser Fauna eine vorläufig wenig klare, aber trotzdem wichtige Andeutung vor über die Herkunft unserer mitteleuropäischen Jurafaunen. Wir wissen ferner, daß Skandinavien im oberen Keuper absank, und es ist daher eine Verbindung nördlicher triadischer Meeresprovinzen mit dem südlichen Rhätmeere denkbar oder mit einem in seinen Sedimenten jetzt unzugänglichen Abschnitt des mittleren Atlantischen Ozeans. Leider bieten die *Schonenschen Rhätschichten* keinerlei Anhaltspunkte, weil sie sich nach den neuesten Forschungen als reine Süßwasser-, höchstens Brackwasserabsätze herausgestellt haben, in denen eine spezialisierte Gruppe von Schlamm bewohnenden Muscheln üppig gedieh. Wie sich im nördlichen Atlantik die Verteilung von Meer und Land gestaltete, läßt sich heute gar nicht sagen. Reichte eine Meeresbucht zeitweilig von Süden bis zur Bäreninsel? Öffnete sich im Rhät vorübergehend eine Straße nach Art der Behringstraße vom triadischen Polarmeere

bis zum mitteleuropäischen Ozean, welche mit der Hebung Skandinaviens im Dogger wieder verschwand? Hierüber enthalte ich mich jeder bestimmten Ansicht; aber folgender Meinung bin ich ganz bestimmt: man hat bei uns immer zu starr auf die schwäbischen Rhät-Liaspforten geschaut und deren Gangbarkeit nach meiner Ansicht überschätzt. Der süddeutsche Unterlias deutet auf ganz flaches Wasser; man erinnere sich nur der eisenschüssigen Angulatensandsteine, der "Schweichel" mit ihren vielen Kriechspuren, der Aargauinsel mit den Insekten. Auch die Cardinien sind keine Tethysbewohner gewesen. Überhaupt fehlt in den Nordalpen der direkte Zusammenhang des germanischen Lias mit dem mediterranen; denn der Lias der Schweizer Alpen ist durchaus mitteleuropäisch, wo er fossilführend wird. Die Faunenverbindungen sind eher um den Westrand von Europa herum zu suchen, als etwa über die Reste des vindelizischen Gebirges hinweg nach Norden. War nun zwischen Plateauzentral und Böhmer Masse eine Kette von Untiefen vorhanden, so wurde jene amerikanische Nordost-Strömung eine Kreisbewegung, welche in diesen Buchten anschwemmend wirkte. Die Massen von Ammoniten, Belemniten (Schlachtfelder), die Lagen mit flottierenden Pentacrinen erklären sich dadurch ebenso leicht, wie die mächtige Serietoniger Gesteine im Lias.

Schon NEUMAYR (1885) hat eine von den Ardennen herkommende nach Osten gerichtete Strömung erschlossen, weil die Tonfacies im Lias Süddeutschlands vorherrscht und, je mehr jenem Massiv genähert, Sanden Platz macht. DACQUE hat wieder darauf hingewiesen mit der NEUMAYR'schen Bemerkung, daß die Ardenneninsel selbst zu klein sei, um das Tonmaterial alles geliefert zu haben. Ich bin der Ansicht, daß die Faunen im Lias und Dogger auf eine von England nach Südosten laufende Drift hinweisen, stimme also mit NEUMAYR somit überein; den feinen Schlick leite ich aber viel weiter west- und nordwärts her.

Im Opalinustone erreicht diese Facies ihre größte Ausdehnung und gleichmäßigste Entwicklung. Im unteren Dogger ändert sich das Bild und zwar durch eine Nordwest-Südost gerichtete, schwache Aufwölbung, welche schon HAUG auf einer Karte angibt. Im Bajocien entsteht bekanntlich von England her nach der Normandie übergreifend und an die Ardennen sich ansetzend die Oolithfacies. Mit ihren Korallen, Echinodermenbreccien, Serpulidenatolls, Mumienkalken breitet sie sich im Schutze der Ardenneninsel immer

weiter nach Südosten über die alten Untiefen des Schwarzwaldes, der Vogesen und des Schweizer Juragebirges bis zum französischen Zentralplateau aus, so daß das Doggermeer Zentraleuropas durch diese Riffzone in zwei Teile zerfällt. In den östlichen wird, wie während des Lias, aller Tonschlick hineingetragen und bildet die mächtigen einheitlichen Doggertone. Deren Absatz ist verständlich, wenn eine von Nordengland (Yorkshire) und aus der Nordsee kommende Drift den Schlamm dort hineintrief und ablagerte, weil ihre Geschwindigkeit durch Hindernisse im Süden, seien es submarine Barren, sei es die Haupttethysströmung am Ablauf gehindert war. Den petrographischen Unterschied im deutschen Dogger haben schon lange die verschiedensten Autoren hervorgehoben, neuerdings hat POMPECKJ (1908) darauf hingewiesen im Zusammenhang mit den zoogeographischen Beziehungen zwischen Jurameeren Nordwest- und Süddeutschlands. Er betont vor allem die zentraldeutsche Schwelle und den stärkeren Einschlag englischer und nordfranzösischer Formen unter den norddeutschen Doggerammoniten als unter den süddeutschen.

Die Sache wird anders im Malm, weil sich damals Mitteldeutschland hob, Norddeutschland mit Pommern-Preußen sank und die berühmte baltische Straße NEUMAYRS eine Verbindung des westeuropäischen Jurameeres mit dem Moskauer Becken bewirkte. Die norddeutsche mit dem russischen Jura in Verbindung stehende Ammonitenfauna des Callovien hat über Popiläni und die Ostseegebiete viele Arten nach Westen (erst Hannover, dann England) vordringen lassen. Die im Callovien Süddeutschlands auftretenden kleinen Aucellen könnten auch aus dem Molukkengebiet allmählich zugewandert sein; die im pommerschen Mittelmalm vorkommenden Auc. Pallasi werden aber besser aus dem russischen Meere hergeleitet und passen durchaus dazu, daß einzelne Moskauer Ammoniten, vor allem Virgatiten, im Malm Englands eine Gastrolle geben. Nicht ausgeschlossen ist daher, daß ebenfalls die Jason- und Ornatusgruppe sowie die Cardioceraten, welche seit Eröffnung der baltischen Straße auch in Süddeutschland erscheinen, von Osten stammen. Man könnte an eine Unterströmung in der baltischen Straße denken, welche die benthonischen Ammoniten westwärts wandern ließ, während die Uferfauna der westeuropäischen Sedimente ostwärts mit der Oberströmung sich ausdehnte. Es wäre dabei das mit dem Polargebiet verbundene Wasser des Russischen Beckens als eine kalte, deshalb schwere Unterströmung, die

von Westen kommende als warme Oberströmung anzunehmen. Die verschiedenen Ammonitenfamilien wandern nach SALFELD aus der Tethys auf vorläufig unbekannten Wegen in deren Randzone, entwickeln sich mit Ausnahme der Perisphincten aber nicht; das muß doch einen Grund haben. Als solcher liegt immer noch Temperaturdifferenz des Wassers am nächsten. HAUG hat die Wanderung der russischen Malmfaunen kartographisch mit Pfeilen dargestellt. Ich bin der Ansicht, daß wir in dieser Skizze statt der Pfeile zum Teil einfach Meeresströmungen setzen dürfen. Umgekehrt ist die Übereinstimmung der pommerschen Kimmeridgearten mit denen von England und Boulogne, in der Normandie und bei Porrentruy im Berner Jura zu betonen, wobei der Nordrand des Harzes bei Hannover und der Südrand der Skandinavischen Masse in der Kattegatgegend die erforderlichen Zwischenglieder liefern. Als typisches Beispiel mag *Pygurus Blumenbachi* dienen, da dieser an die Oolithfacies gebundene Seeigel bei Boulogne, in Hannover und bei Bartin unweit Kolberg in Pommern auftritt. Ebenso wandert die seßhafte *Goniolina* vom Pariser Becken und dem Juragebirge im Kimmeridge zusammen mit den kleinen Austern bis zu den Odermündungen, ebenso der an die Oolithe und Riffe gebundene westeuropäische *Trichites*. Am merkwürdigsten ist die Verbreitung der *Pseudomonotis echinata*, welche im englischen Unteroolith beginnt, im süddeutschen Hauptoolith bankweise erscheint, dann im oberen Dogger (Odermündungen) und Callovien der baltischen Straße ein wichtiges Leitfossil wird, bei Popiläni vorhanden ist und schließlich sogar die östlich von Spitzbergen gelegenen Inseln Karlsvorland erreicht. Es ließe sich zwanglos an eine Wanderung längs der Süd- und Ostseite der skandinavisch-finnischen Masse bis ins Nordmeer denken, begünstigt durch die so laufende Drift. Keine dieser Formen verbreitet sich im Moskauer Becken, wo auch unsere typische *Pterocërien*-Fauna absolut fehlt. Lag dies etwa an einer von Norden kommenden Gegenströmung innerhalb dieses Beckens, welche ein Aussäen von Keimen in das Innere verhinderte, oder an kälterem Wasser? Die baltische Straße muß im Malm den während des Dogger scharf ausgeprägten Kreisstrom zeitweilig nach Osten abgebogen haben, um so mehr, als sich erstens im schwäbisch-bayerischen Gebiet die Riffbarre entfaltete und zweitens schließlich die Maingegend aufwölbte und über Wasser stieg" (Ende des Zitats).

7. Rhythmen, Zyklen und Großzyklen

Dieses Thema wurde schon mehrmals bearbeitet, vor allem von S. v. BUBNOFF (Geol. Rundschau, 1956). Er unterschied vier große Zyklen: präkaledonisch, prävariszisch, präkimmerisch und präalpidisch, er fügte dann im Anschluß an H. STILLE noch den jung- und altalgonkischen Zyklus an. Auf die Frage wie weit Zusammenhänge zwischen diesen Zyklen und der Evolution bestehen (Abb. 1 b) gehe ich hier nicht näher ein; sicher besteht kein unmittelbar-kausaler Zusammenhang, aber ein regulativer, der in das autonom verlaufende Lebensgeschehen regelnd eingreift.

BUBNOFF zeigte, daß neben den Großzyklen auch kürzere, wahrscheinlich den Pulsationen GRABAUS entsprechende kürzere Zyklen bestehen, deren Interferenz mit den Großzyklen zu Phasendivergenzen führen kann. Die großen Transgressionen des Ordoviz, Mittl. Oberdevon, Callov, Cenoman und Oligozän, die faziell und faunistisch auffallende Wiederholungen zeigen und auch in ihrem schnellen Ablauf, in der Überflutung riesiger Räume und im Verlauf von nur einer einzigen (?), biostratigraphischen Zone bemerkenswerte Vergleiche liefern, findet BUBNOFF sehr bemerkenswert, doch gelang es bisher noch nicht die Dauer dieser Periodizitäten zu ermitteln. Auch die Dauer kleinerer Zyklen und Rhythmen konnte bisher nicht ermittelt werden, doch könnte sich später einmal die Möglichkeit ergeben, hier weiter zu kommen. Gewisse Formationen oder Stufen beginnen mit Transgressionsablagerungen, meist recht grobkörnige Gesteine oder gar Gerölle. Darüber stellen sich allmählich feinkörnigere Sedimente mit zunehmender Meeres-tiefe und Küstenferne ein, ja sie können pelagischen Charakter annehmen oder sogar zu Tiefseeablagerungen werden. Dann erfolgt durch tektonische Vorgänge Rückkehr zum Ausgangsstadium. Diesen Kreislauf nannten EATON, NEWBERRY, HULL und andere Autoren Sedimentationszyklen (DACQUÉ 1915, S.240). Auf die vielen Vorgänge, die hier hereinspielen, machte schon DACQUÉ aufmerksam, meist sind diese Zyklen gestört, selten liegen vollständige Zyklen vor, wie der eingangs geschilderte. Ursachen und Entstehung solcher Zyklen und ihrer Einzelglieder sind sehr verschiedenartig und daher hat das Wort Sedimentationszyklen fast in jedem Falle seine eigene genetische Bedeutung. Es ist denkbar, daß der Kosmos insgesamt einen rhythmischen Ablauf unterliegt, daß hier Periodizitäten später einmal zu erkennen sind, die zugleich die Dauer angeben.

Groß ist die Zahl kleinerer Zyklen und Rhythmen, die man kennt, doch stehen sie noch kausal unverbunden nebeneinander. Aus allen Formationen werden Rhythmen und Zyklen beschrieben, hier interessieren besonders solche, wo man die Dauer festzustellen versucht hat. Das gilt vor allem für die Arbeiten von Korn. Die sehr interessanten Arbeiten von KLÜPFEL über den Lothringer Jura, von H. FREBOLD über den Lias, von B. v. FREYBERG (1965) über den Keuper Frankens und von SCHNEIDER (1964) über die Kreide NW-Deutschlands bringen noch keine Einsichten in die Dauer des Geschehens.

Die in den erwähnten Arbeiten zum Ausdruck gebrachten Rhythmen oder Kleinzyklen können später einmal große Bedeutung erlangen. Das legt eine Untersuchung von U. ROSENFELD (1960) zur Bildung des Schilfsandsteins (Mittl. Keuper) nahe. Der Name erklärt sich aus zahlreichen Resten von Schachtelhalme, die man für Schilf hielt. Schöne Aufschlüsse liegen bei Zeil am Main und dem nahen Sand, wo ich früher große Schachtelhalm-Stengel von über 1 m Länge von den Arbeitern bekam.

Der Schilfsandstein wird gemeinhin als "kontinentales" Sediment bezeichnet, wobei bisher offen bzw. strittig blieb, welches seine eigentlichen Bildungsbedingungen sind. Erst die großräumigen Untersuchungen von WURSTERS (1964) haben gezeigt, daß der nord- und der süddeutsche Schilfsandstein Bildungen eines einheitlichen Sedimentationsraumes sind, eines großen Deltas, das sich vom Baltischen Schild durch Nord- und Süddeutschland vorbaute und im Westalpen-Bereich seine Mündung in die alpine Geosynklinale hatte. In den Strömungsrinnen dieses Deltas lagerten sich die vorwiegend sandigen Sedimente der Flutfazies ("Strömungsbänder") ab, in den Stillwasser-Bereichen die Normalfazies ("Stillwasser-Fazies"). Nach WURSTERS Ergebnissen dürften die Faziesbereiche KÜHLS besonders in Südost-Lippe durchweg der Flutfazies zuzurechnen sein, die tonig-sandigen nur relativ stilleren Bereichen. Äquivalente der Normalfazies können höchstens in den wenig verbreiteten sandig-tonigen Faziesbereichen KÜHLS gesehen werden.

ROSENFELD zeigte, daß der Schilfsandstein in Ost-Lippe rhythmisch aufgebaut ist. Die Abfolge ist so konstant, daß sie als stratigraphische Gliederung verwendbar ist. Einzelne Schichtglieder lassen sich bis maximal 2500 m Erstreckung verfolgen und als Leithorizonte benutzen. Das gilt

auch beim Übergang in andere Faziesbereiche. Die Sandsteine selbst sind ebenfalls (z.T. undeutlich) rhythmisch entwickelt; die Zuordnung von Rhythmen ist in einigen Fällen möglich. Modalbestands-Analysen, Korngrößen- und Karbonat-Bestimmungen ergeben keine feinere Untergliederungsmöglichkeit der Schichtfolge. Sie vermögen die makroskopische Schichtgliederung teilweise zu stützen bzw. zu ergänzen. Ausblick auf Sedimentationsverhältnisse im Untersuchungsgebiet und arbeitsmethodische Fragen.

Im Oberdevon und Unterkarbon Thüringens hat H. KORN (1938) in gut geschichteten Tonschiefern und Grauwacken nachgewiesen, daß sich hier Bänder finden, die deutlich etwa 11-fach untergeschichtet sind, daneben einfache Warven, deren Mächtigkeiten diagrammatisch aufgetragen einen Rhythmus von etwas über 11 Einheiten erkennen lassen. Daneben glaubte KORN auch noch andere Rhythmen von 23 und 56,5 Einheiten zu erkennen. Für einen Hauptzyklus errechnete er einen Wert von ca. 11,42. Er stimmt mit dem heutigen Sonnenfleckenrhythmus (etwas über 11 Jahre) so auffallend überein, daß KORN (Neues Jahrb. Min. Geol. Paläont., BB, A, 74) an Identität beider Rhythmen dachte. Ich verweise hier auf die Ausführungen von M. SCHWARZBACH (1950, S. 83).

Im thüringischen Unterkarbon glaubte H. KORN (1938) ferner einen Viererrhythmus innerhalb der Jahresschichten zu erkennen, er schloß daraus auf doppelte Regen- und Trockenzeit, was M. SCHWARZBACH jedoch ablehnt. Dieser hervorragende Paläoklimatologe hat gezeigt, daß 1 m toniges Zwischenmaterial im Karbon in 1700 Jahren entstanden sein könnte.

Gehen wir über zum Weißen Jura (Malm) von Süddeutschland. Hier hat ROTHPLETZ (1909) versucht, die Bildungsdauer des durch 6 Urvogelfunde weltbekannten Solnhofener Schiefers zu bestimmen. Wenige Jahre danach hat J.F. POMPECKJ (1914) die Bildungsdauer des Werkkalks (Malm beta, früher fälschlich Bimammaten-Schichten genannt, der in Rede stehende Ammonit ist auf Malm alpha beschränkt) zu ermitteln versucht. Der Malm beta ist in Franken eine geschlossene Serie von 70, jeweils um 30 cm mächtiger Kalkbänke, die durch dünne, dunkle Fäulen getrennt werden. Die Gesamtmächtigkeit von Malm beta wechselt sehr. Nach K. BEURLEN mißt beta rund 10 m im Osten der Schwabenalb (hier macht sich die Riesbarre bemerkbar, vgl. P. DORN), im Westen der Schwabenalb er-

reicht beta 80 und mehr m. In Franken schwankt die Mächtigkeit betas ebenfalls stark, in der Oberpfalz 20–28 m, auf Blatt Buttenheim 16–21 m. Es ist das Verdienst B. von FREYBERG's, daß er zusammen mit der Erlanger Geologenschule seit 1950 den Malm beta systematisch untersuchte und eine Zählung der Bänke vornahm. Es war möglich, diese Bänke durchzunummerieren und über weite Strecken hin zu verfolgen. SCHMIDT-KALER hat gezeigt, daß auf Malm beta in Franken die Bänke No. 165–233, also insgesamt 68 Bänke fallen. MEYER hat auf Blatt Buttenheim, wo der Werkkalk 16–21 m Gesamtmächtigkeit erreicht, gleiche Feststellungen gemacht. Durch diese sehr präzisen Angaben befinden wir uns heute gegenüber POMPECKJ natürlich in einer wesentlich günstigeren Ausgangslage, die aber am grundsätzlichen von POMPECKJ's Gedankengang nichts ändert.

Ich will hier keine Einzelheiten bringen, aber es ist von größtem Wert zu erkennen, daß Malm beta Teil eines großen Zyklus ist, der folgendermaßen aussieht:

Malm delta,	Kalkbänke (Treuchtlinger Marmor)
Malm gamma,	Obere graue Mergelkalke
Malm beta,	Kalkbänke (Werkkalk)
Malm alpha,	Untere graue Mergelkalke (Impressatone Schwabens).

Streng nach Schema F verläuft natürlich die Entwicklung nicht, die 4 Stufen sind nicht sehr scharf voneinander abgesetzt, am deutlichsten ist der fazielle und faunistische Wechsel an der beta-gamma Grenze; die Platynota-Zone (Unt. Malm gamma) umfaßt nur wenige m, sie ist vor allem wegen der typischen Form von *Sutneria platynota* und deren lokal sehr großen Häufigkeit, von großer Bedeutung.

Im Malm alpha bahnte sich die Bildung der Kalkbänke, wie POMPECKJ schreibt, erst an. Sie bilden hier zunächst nur Lagen in mächtigen Tonnen und Mergeln (cf. Impressatone Schwabens), dann folgen die Kalkbänke immer rascher, sie werden zugleich dicker und die Tonlagen nehmen an Stärke ab. In beta sind dann die "wohlgebankten" Kalkbänke vorhanden, durch dünne Tonlagen (Fäulen) getrennt. Der Werkkalk ist meist sehr fossilarm, zuweilen gibt es sehr große Perisphincten (bis zu 80 cm d), in den Fäulen treten Belemniten (*H. hastatus*) zuweilen massenhaft auf. Der Übergang zu gamma erfolgt, wie gesagt, sehr rasch.

Die früher ausschließlich beschreibende, stratigraphische Geologie war zumeist zufrieden, wenn sie derartige Serien feststellen und beschreiben konnte. Gedanken über deren Genesis hat man sich selten gemacht. Es ist das große Verdienst von J.F. POMPECKJ*, als erster hier eine noch dazu geniale Lösung angeboten zu haben.

POMPECKJ ging von Schwaben aus, ich halte mich an den Malm beta Frankens, der z.Z. besser erforscht ist. Hier haben wir es mit rund 70 Kalkbänken zu tun, jede 30 - 35 cm mächtig, ganz beta ist bei Bamberg um 20 m mächtig, sonst meist mehr. Eine rhythmische Bildung also, der Gedanke, daß jedem Glied ein bestimmter Zeitabschnitt entspricht, drängt sich geradezu auf. POMPECKJ konnte natürlich nicht annehmen, daß sich eine Kalkbank nur in einem Jahr gebildet hätte, daher nahm er die 35 Jahre umfassenden Brücknerschen Klimaschwankungen zu Hilfe. Also in 35 Jahren eine Bank 35 cm Kalk, in einem Jahr nur 1 cm Kalk! Das wäre durchaus akzeptabel, zumal wenn man erwägt, daß gleichzeitig mit dem Werkkalk mächtige Korallenriffe im Ob. Jura entstanden, die wohl, wie die heutigen Riffe, einen Höhenzuwachs von 3 - 5 cm pro Jahr hatten. Das paßt auch insoferne, als Korallenriffe im Jura der Normalfazies vorauswuchsen, wodurch es zu Übergußschichtung kommt. Die Schwammriffe hatten ein wesentlich langsames Wachstum, rezente Werte sind aber kaum bekannt.

Abhängig von einem klimatischen Rhythmus ist demnach die Entstehung des Werkkalks, ergo auch die synchronen Ablagerungen! Die wechselnde Sedimentzufuhr in Malm beta - lange Kalk, nur sehr kurz toniges, gröberes Material ist klimatisch bedingt. Dem Sedimentwechsel entspricht wechselnde Materialzufuhr durch die vom Mitteldeutschen Land kommenden Flüsse, die Wassermenge der Flüsse entspricht der Wassermenge des Festlands, diese den Niederschlägen und diese sind klimatisch (jahreszeitlich oder durch landfristige Klimaschwankungen) bedingt.

Anm.: *J.F. POMPECKJ (1867 - 1930) war einer der bedeutendsten Vertreter der Geowissenschaften in den zwanziger Jahren. Er war ein sehr eindrucksvoller Redner, eine höchst imposante Gelehrten-gestalt. Als ich ihn 1929 zum erstenmal auf der Paläontologentagung in Tübingen neben anderen damaligen Größen (ABEL, HUENE und viele andere) der deutschen Paläontologie sah, war er, der wenige Jahre zuvor das Amt des Rektors der Universität bekleidet hatte, der deutsche Geheimrat in persona. Ich glaubte ihn Euer Exzellenz ansprechen zu müssen, abends legte er den Geheimrat ab und war in bester Weinlaune.

Im Zusammenhang mit der Frage nach der Bildungsdauer des Werkkalks kann ich hier über zwei sehr interessante Funde aus dem Werkkalk von Drügendorf (Blatt Buttenheim, südlich Bamberg) berichten. Von dort beschrieb ich (KUHN 1936 und 1949) einen riesigen, unverdrückten Nautilus, (*N. schattenbergi*), ein einmaliger Fund hinsichtlich Größe und Erhaltung; seine Dicke (unverdrückt!) beträgt 19 cm, sein Durchmesser 36 cm. Leider ging das Original in München 1944 durch einem Luftangriff verloren. Das andere Stück ist der Ausguß eines Panzers der Schildkrötengattung *Plesiochelys*, die etwa die Gesamtlänge von 75 cm hatte (Original im Nat.-Mus. Bamberg). Der Schildkrötenpanzer lag mit dem Carapax nach unten im Gestein, das Plastron lag oben; es kam in eine Fäule zu liegen und so wurde beim Brechen des Gesteins diese Fäulenlage mitsamt dem Panzerunterteil abgesprengt. Man darf wohl annehmen, daß der Nautilus nicht 1000 und mehr Jahre am Meeresboden lag, sonst wäre er in dem flachen Meer nicht so lange intakt geblieben. Krebse hätten wohl an der Schale genagt, wahrscheinlich auch Haie. Jedenfalls war das Original von Drügendorf in keiner Weise beschädigt oder verdrückt. An chemische Auflösung der Schale ist natürlich nicht zu denken, denn im Meer kommt es heute erst ab etwa 4500 m Tiefe zur Auflösung von Kalkschalen. Diese Karbonat-kompensationstiefe hatte sicher auch für die Jurazeit Gültigkeit.

Daß der Werkkalk im allgemeinen sehr fossilarm ist, weiß man schon lange. Auffallend sind jedenfalls die relativ zahlreichen riesigen Gehäuse von Perisphincten, bei Tiefenellern wurden solche von 70 cm Durchmesser gefunden.

Die Solnhofener Schichten (Malm zeta 2)

sind ein Musterbeispiel dafür, wie man aus dem Rhythmus der Schichten und den Begleiterscheinungen der Fossileinbettung auf die Bildungsdauer schließen kann. A. ROTHPLETZ (1909) hat wenige Jahre vor POMPECKJ sehr bemerkenswerte Resultate erzielt, die im Prinzip auch heute noch Gültigkeit besitzen, wenn auch seine Voraussetzungen z.T. als unrichtig erkannt wurden. ROTHPLETZ nahm noch äolische Kalkzufuhr an und zeitenweise Überflutung der "Lagune" an. BARTHEL hat einwandfreie Beweise dafür geliefert, daß der Ablagerungsraum der Solnhofener Schichten stets vom Meer bedeckt war.

Die Solnhofener Schichten (Malm zeta 2) sind nach umfassenden Untersuchungen vor allem durch die Geologenschule B. v. FREYBERG's, eine 15 - 90 m mächtige Serie von Bankkalken, die sich in 3 Zonen gliedern lassen: Supremum-, Steraspis- und Rueppelianum-Zone. Zugleich kann man eine Vierteilung vornehmen: jeweils unten eine Plattenkalkserie und darüber eine Krumme Lage. ROTHPLETZ ging bei dem Versuch, die Bildungsdauer der Solnhofener Schichten zu berechnen, von einer Durchschnittsmächtigkeit von 25 m aus, entscheidend ist aber nicht diese, sondern die Zahl der Flinze, die offenbar, wie beim Werkkalk (Malm beta), konstant ist. Ich kann hier nicht auf Einzelheiten eingehen, sondern nur auf das prinzipielle. BARTHEL, GROISS, u.a., haben sich eingehend mit dem Problem der Entstehung beschäftigt, ich sehe noch viele Fragen offen. Doch stimme ich R. DEHM zu, der eine Ausscheidung des Kalks durch Organismen annahm. Eine Fällung aus übersättigten Lösungen halte ich für ganz ausgeschlossen.

Höchst auffallend ist, daß die Fossilien, wie als erster J. WALTHER festgestellt hat, fast immer auf der Unterseite der Flinze liegen, nur ausnahmsweise in den Kalkplatten selbst. Kann das bedeuten, daß durch die Toneinspülung, die zur Fäulenbildung führte, die Tiere der Lagune abgestorben und zu Boden gesunken sind, und daß dann von der Tethys her eine neue Besiedlung erfolgte, die nur bis zur nächsten Flinzbildung am Leben war? Das wären nach ROTHPLETZ nur wenige Jahre gewesen.

Der Kalk kam hauptsächlich aus dem Norden, wo die sich aufwölbende Mitteldeutsche Masse genügend Kalk lieferte. Dort wurden ja die erst kurz zuvor gebildeten Malm Kalke abgetragen. Hier ist auch zu bedenken, daß das Meer des Malm zeta 2 keineswegs schon in Mittelfranken zu Ende war, es reichte weit nach Norden, bis Coburg oder noch weiter. Denn im nördlichen Frankenjura ist tiefer Malm zeta noch heute nachzuweisen, seitdem wurden dort mindestens 30 m Malm zeta abgetragen. Wie dieses weit nach Norden sich erstreckende Meer gebliebert war, ob es hier umfangreiche Schwammriffe gab, das sind alles ungelöste Fragen. DACQUÉ (1915) gibt in diesem Zusammenhang an, daß im Lithographieschiefer oft rot grünlich graue Lagen zu finden sind, die man geradezu mit den alpinen Aptychenkalken verwechseln kann. Das Malm zeta 2-Meer war frei mit der Tethys verbunden. Faziesübereinstimmungen ähnlicher Art

gab es schon früher, so ist der Posidonienschiefer des Lias epsilon und die Fleckenkalke des Ob. Lias gamma in Franken oft nicht von derartigen Gesteinen der Bayerischen Alpen zu unterscheiden.

Ein Problem ist noch zu berücksichtigen, wie groß war die Setzung des Kalkschlammes; man darf wohl annehmen, daß von der ursprünglichen Sedimentmächtigkeit nur 1/10 übergeblieben ist. Sicher war das Sediment lange von Anfang an **sehr plastisch**, wie viele Beobachtungen annehmen lassen. Die Tiefe des Meeres betrug kaum 30 m.

Der Ausgangspunkt für ROTHPLETZ war die Erhaltung der Fossilien der Solnhofener Schichten. Die ausgezeichnete Erhaltung war schon immer aufgefallen, ich erinnere an das alle Details aufweisende Geäder vieler Insektenflügel, die langen Antennen der Krebse, die petrifizierte Muskulatur von Fischen und Tintenfischen, die schönen Quallen usw. Es ist klar, daß die sehr zerbrechlichen langen Krebsantennen unmöglich lange am Meeresboden gelegen haben können, ohne zerstört zu werden. Besonders wichtig war aber für ROTHPLETZ die Einbettung der Ammoniten, vor allem Perisphinctes und Aspidoceras.

ROTHPLETZ wies auf Fälle hin, wo die Schalen von Ammoniten senkrecht im Sediment stehen, auch in MÜLLER's Lehrbuch der Paläozoologie findet sich ein Hinweis. Meist sind die Schalen 5 cm hoch (5 cm d). Diese Schalen sanken nach dem Tod, falls man sie nicht als rein vagiles Benthos auffaßt (cf. B. ZIEGLER), auf den Meeresboden und drangen senkrecht in das Sediment ein. Bei Perisphinctes hat man einmal den Abdruck der Externseite festgestellt; schließlich fiel die Schale um auf die Seite. Aspidoceras konnte sich mit den Schalenstacheln verankern. Dieses Verankern dürfte aber nur selten vorgekommen sein, dazu waren die Stacheln meist zu kurz. Die senkrechte Lage bis zur völligen Einhüllung durch Sediment kann sehr lange gedauert haben; jedenfalls sind, nachdem die äolische und Fluttheorie nicht mehr in Frage kommen, von außen kommende Beschädigungen kaum anzunehmen. A. ROLL beschrieb zwar aus den Malm Ammoniten, deren Schalen von Krebsen zerknackt wurden, doch sind m.W. aus den Solnhofener Schichten solche Fälle nicht bekannt. Auch chemische Auflösung kommt nicht in Frage, aber eventuell Zerstörung durch Haie, Rochen oder Chimären, die man in Solnhofener Schichten nachgewiesen hat. ROTHPLETZ weist darauf hin, daß Schalen der Ammoniten

abgebrochen waren, nachdem sie erst wenige mm tief im Sediment eingebettet wurden. Alle Schalen sind aber nicht abgebrochen. Wie der Kalkbrei in das Innere der Gaskammern gelangte, ist auch erörtert worden. Der Kalkbrei stieß auf "stark komprimierte Luft", es blieben Resthöhlen, die später mit Calcitkristallen ausgekleidet wurden, wohl aber erst nach Zusammenpressung der Gehäuse, die zunächst einem "hydrostatischem Druck" ausgesetzt waren. Der Schlamm konnte nur ins Schaleninnere eindringen, solange er noch "flüssig" war, dabei galt es bedeutende Schwierigkeiten zu überwinden; fehlte äußere Beschädigung der Schale, dann mußte er sich durch die Siphonaldurchbrüche nach Innen vorarbeiten. Wie groß die Schalen, zumal die senkrecht stehenden, auch waren, sicher ist, daß beim Eindringen des Kalkschlammes nicht Jahrhunderte vergehen konnten. Es ist also anzunehmen, daß der ganze Prozeß nur kurze Zeit, vielleicht nur Tage oder Wochen dauerte. Wenn man von der äolischen und Fluttheorie ausgeht, dann wird der Betrag natürlich kleiner, als bei der heute gesicherten Annahme, daß die Ammonitengehäuse dauernd im Meerwasser lagen oder standen, wobei man kaum 30 m Wassertiefe anzunehmen braucht. ROTHPLETZ meint, daß bei einer mindestens 5 cm mächtigen Sedimentbildung pro Jahr nicht einmal die kleinen Ammoniten (bei äolischer Bildung) eingebettet werden konnten. Tatsächlich bleiben zuweilen nur die unteren Teile der Gehäuse mit der Wohnkammer erhalten. Von Schalen mit 1 dm und mehr Durchmesser wurden stets nur die Wohnkammern überliefert. Einen besonderen Schutz für die noch nicht eingebetteten Schalen braucht man natürlich nicht mehr anzunehmen, da die äolische und Fluttheorie durch BARTHEL widerlegt wurden. Auch hat ROTHPLETZ nur bedingt recht, wenn er bei größeren Ammoniten und Wirbeltieren, die mehrere m Länge erreichten, mit sehr langsamer Sedimentation nicht auskommen wollte. Entscheidend ist aber das nicht, ich komme noch darauf zurück. ROTHPLETZ nahm mindestens 5 cm Sedimentbildung (bei frischem Kalkbrei handelt es sich natürlich um höhere Werte als bei dem Sediment nach seiner Setzung!) pro Jahr an, er kam zu einer Gesamtdauer der Solnhofener Schichten von 250 Jahren. Dieser Wert kann aber schon deswegen nicht richtig sein, weil ROTHPLETZ die genaue Zahl der Flinze nicht bekannt war; die Gesamtmächtigkeit von 25 m kann man gelten lassen, lokal stimmt sie.

Nun darf man annehmen, daß die Erhaltung des Geäders von Insektenflügeln, von langen Krebsantennen und gallertigen Quallen (die aber niemals ge-

strandet sein können, wie man lange glaubte) eine sehr rasche Sedimentation erforderte. ROTHPLETZ rechnete mit einer sich sehr rasch bildenden Kalkhaut von einigen mm Dicke. Luft brauchte diese Kalkhaut nicht abzuschließen, wie ROTHPLETZ noch annahm, eher das salzige hochtemperierte Meerwasser.

Für mich sind die Spratzgänge von ausschlaggebender Bedeutung, die in Verbindung mit den Fossilien beobachtet wurden. Zunächst haben die Verwesungsgase (Abb. 22) den über den Tierleichen sehr rasch abgelagerten Sedimentbrei aufgewölbt, und anschließend sogar durchschlagen. Die Verwesungsgase sind, ähnlich wie in vulkanischen Durchschlagröhren (Pipes), durch das Sediment nach oben entwichen. Es ist wohl erst nach entsprechenden Experimenten im Laboratorium möglich, hier genauere Zahlen zu gewinnen. Doch ist klar, daß bei der anzunehmenden Dauer des Verwesungsvorgangs, der hier kaum einige Wochen gedauert haben kann (warmes Meeressser von über 25 Grad in einem seichten, um 25 m tiefen, sonnendurchfluteten Meer bei hocharidem Klima), sich in wenigen Wochen eine um 5 cm dicke Schicht von zähem, plastischem Kalkbrei über einer Leiche gebildet haben muß. VIOHL (1977) zeigte, daß zunächst die Verwesungsgase zu einem natürlichen Auftrieb führten; die kleinen Pfeile weisen auf den allseitigen Druck und das Eigengewicht der Tierleiche hin. Das über der Leiche sich sammelnde Sediment war ein mobiler, wenn auch zäher, für Gase undurchlässiger Kalkbrei, er wölbte das Sediment auf und ahmte dabei die Form der Leiche nach. Im 3. Stadium erkennt man die nachträgliche Zusammenpressung.

Durchschlagröhren, wie bei einem von O. ABEL beschriebenen Tintenfisch, wurden scheinbar nur selten gebildet. Wie dem auch sei, es müßte festgestellt werden, wie lange der Verwesungsprozeß dauerte und wie lange der plastische Kalkbrei soweit beweglich blieb, daß er sich in die Höhe wölben und die Tierumrisse nachbilden, oder Gasen Durchlaß gewähren, oder gar durch die Siphonalöffnungen in die gaserfüllten Kammern der Ammoniten eindringen konnte. Wenn ROTHPLETZ annahm, daß die Solnhofener Schichten in 250 Jahren entstanden, so muß man diesen Wert nicht wörtlich nehmen, man kennt ja auch die Zahl der Flinze nicht so genau, wie beim Werkkalk. Doch gilt für die Bildungsdauer der Solnhofener Schichten prinzipiell dasselbe, wie für den Werkkalk. Schließlich könnte man noch

einwenden, die Kalksedimentation sei im Laufe der Flinzbildung nicht mehr so rasch erfolgt, wie am Anfang, als der Kalkbrei noch die Fähigkeit besaß, sich über einer Tierleiche aufzuwölben und deren Umriß nachzubilden.

Die von ROTHPLETZ und POMPECKJ errechnete Bildungsdauer sind für mich keineswegs tabu, aber sie kommen doch der Wirklichkeit nahe. Man darf diese kleinen Werte nicht verallgemeinern und auf den ganzen Jura übertragen! Man darf nicht die Bildungsdauer einer Zone, die man hier gewonnen hat, mit der Zahl der Zonen multiplizieren, um dann nur einige 100 000 Jahre Gesamtdauer für den Jura zu gewinnen. Doch bleibt mir die Überzeugung, daß die beiden Werte in der Größenordnung stimmen und wir von den astronomischen Werten der radiometrischen Methode Abstand gewinnen sollten.

Schließlich erinnere ich daran, daß die Solnhofener Schichten eine zeitgebundene Bildung darstellen, die weltweite Verbreitung hat (siehe im Kapitel 4).

8. Schichtlücken im Sediment und Dauer der Hiaten

Es mag übertrieben klingen, wenn man sagt, daß die geologische Zeit mehr in den Hiaten, d.h. zwischen den Zeiten der Sedimentation, also in den Bankfugen steckt, als in den Sedimenten selbst. Wir stehen hier vor einem entscheidenden, sehr schwierigen Problem.

Man hat im Laufe der Forschung zahllose Schichtlücken festgestellt, die teils vom Gesteinscharakter ohne weiteres abgelesen werden können, teils aber erst bei genauer Untersuchung der biostratigraphischen Verhältnisse erkannt werden. Besonders im Jura ist häufig Zonenausfall festgestellt, mit dem Ausfall der Leitammoniten verbindet sich oft auch eine scharfe fazielle Grenze. So können über einer oberflächlich etwas unebenen Dachschicht, die etwa dickschalige Muscheln und Belemniten in größerer Zahl enthält, konkordant und in scharfem lithologischem Kontrast andersfarbige Mergel mit der neuen Fauna liegen. Hiaten dieser Art sind innerer Zeit von H. MENSINK (Geol. Rd. 1960) aus dem Jura Spaniens beschrieben worden. Im Unt. Dogger ist dort die Schichtenfolge Mitteleuropas zweimal auf wenige Meter infolge Kondensation zusammengeschrunpft und im Unt. Toarcien

liegt eine Lücke, ohne Anzeichen einer Regression und nachfolgenden Transgression des Meeres, vor. Das spanische Jurabecken gehört zum NW-europäischen Juragebiet, die Faunenfolge ist sehr ähnlich und doch entdeckt man Abweichungen von der Zonenfolge in Mitteleuropa, die von OPPEL ihre heute noch gültige Fassung erhielt.

Schichtlücken werden, wie MENSINK hervorhebt, oft als Zeugen für Meeres-Regressionen und -Transgressionen gewertet, oder für Emersionszeiten und orogene Bewegungen, ohne daß die Vieldeutigkeit der Lücke bedacht wird. Besonders örtlich begrenzte Lücken, auch wenn darüber Aufarbeitungs- und Konglomerathorizonte liegen, beweisen noch keineswegs größere regressive oder transgressive Meeresbewegungen, wie bisher oft angenommen wurde. Im Falle des spanischen Toarcien besagt die stratigraphische Konstanz der Lücke, daß keine Abtragung stattgefunden hat, es fehlen Anzeichen eines Trockenfallens und einer Transgression. Die Feststellung, daß in einer Schichtenfolge Leitformen, die normalerweise übereinander folgen, nebeneinander liegen, wird oft durch Umlagerung erklärt. Ich erinnere hier an die Verhältnisse im Callov der westlichen Frankenalb und den angeblichen "Geröllhorizont" L. REUTER's zwischen Callov und Malm, der aber keiner ist.

Über Kondensation wurde viel gearbeitet, vor allem zog man Fälle aus dem Jura heran. H. MENSINK (1960) hat das erörtert, er sagt im Anschluß an verschiedene Autoren, daß diese unter Kondensation eine stark verlangsamte, stagnierende Sedimentation während eines längeren, mehrere Zonen umfassenden Zeitraums verstehen. Dabei entsteht ein Horizont mit

1. reduzierter Schichtfolge
2. großer regionaler Verbreitung
3. Fossilreichtum und guter Fossilerhaltung
4. Faunenmischung, altersverschiedener Fossilien, besonders Ammoniten
5. ? Anzeichen geringer Aufarbeitung und Umlagerung.

Die Autoren waren sich uneinig darüber, ob Aufarbeitung und Umlagerung einen Anteil an der Kondensation haben können.

Einen Fall eindrucksvoller Hiaten stellte ich 1954 im Dogger (Parkinsonien-schichten) von Lohndorf (am Stammberghang, Flur Eichig) fest. Hier grub

ich aus den fetten Tonen zwischen dickeren Mergelkalkbänken zahlreiche Riesenbelemniten aus, die lange unbedeckt am Meeresgrund lagen. Die meisten Rostren sind stark angebohrt, die Spitzen oft wie aufgelöst stark "korrodiert", angebohrt und abgebrochen. An einigen Rostren, die über 40 cm Länge erreichen können, stellte ich bis zu drei Tiergenerationen übereinander fest, unten Ostreen, dann Serpeln, darüber Bryozoen, auch in umgekehrter Folge. Manche der Rostren sind ringsum von Epöken bedeckt, wurden also am Boden gerollt und boten so immer neue Möglichkeiten für die Ansiedlung von Tieren. Daß diese Rostren nicht völlig in den Schlamm eingesunken waren, ist klar; man muß also annehmen, daß das den Meeresboden bedeckende Sediment ziemlich zäh war. Der Mittl. Dogger Frankens ist eine zuweilen nur wenig Meter mächtige Bildung, die sonst einige 100 m messen kann. Wir stehen hier also einem Zeitabschnitt gegenüber, der in Franken durch minimale Sedimentation charakterisiert ist. Der Grund hierfür ist nicht in mangelnder Sedimentzufuhr, sondern in epirogenetischer Unruhe, in Strömungen und nachträglicher Sedimententfernung durch Gezeitenströme zu suchen. Kondensationen stellte ich hier allerdings nicht fest. Es sind sowohl Stephanoceraten, Strenoceraten, Garantianen, Parkinsonien und Oppelien aufgefunden worden, mithin Vertreter aller Zonen. Trockenlegung hat hier nicht stattgefunden.

Eine beachtliche Lücke stellen wir an der Obergrenze des fränkischen Calloviums fest. Am Westrand der Alb fehlen an den meisten Orten, wo genauere Beobachtungen möglich waren, die Zonen über der Jasonzone. Wieweit höheres Callovium primär fehlt, ist kaum sicher festzustellen. An manchen Punkten, wie bei Tiefenellern, wurden stark abgerollte Fossilien aus der Phosphoritknollenlage des untersten Malm nachgewiesen. Andere Ammonitenfunde beweisen, daß hier noch Mergel des Malm zeta vorhanden waren. An der Wende Dogger-Malm findet sich auch da und dort (z.B. Würgau) eine bioturbate Zone. Am Ostrand der Alb findet man viele Profile, wo Ob. Callovium (SCHMIDTILL 1953) nachgewiesen ist, selten sogar seine beiden Horizonte. Im obersten kann sogar schon *Cardioceras cordatum* auftreten (hier ein Zonenbrecher).

Neuerdings hat SCHMIDT-KALER bei Bearbeitung von Bohrproben aus der Umgebung von Berching (Opf.) nachgewiesen, daß der sonst 40 und mehr m mächtige Lias delta (Amaltheenton) hier nur 0,24 m mächtig ist. Anzeichen

für eine Trockenlegung gab es hier offenbar nicht. Man hätte so exakte Werte, wie sie bei Berching ermittelt wurden, niemals erzielen können, wenn die Zonengliederung im Jura nicht so eingehend wäre. Ich glaube, daß im Jura, wo man besonders häufig Sedimentationslücken festgestellt hat, derartige Nachweise vor allem darauf zurückzuführen sind, daß hier die Biostratigraphie ein Maximum an Vollständigkeit und Genauigkeit erreicht hat.

Gehen wir zur Gegenwart, zur Aktuogeologie über, dann erhalten wir sehr wertvolle Resultate, viele sind höchst überraschend. So erfährt der Geologe, daß heute am Boden des Schwarzen Meeres eine feine Bänderung der Schlickabsätze festzustellen ist, wobei 10 Schichten auf einen mm kommen; man will dies mit dem herbstlichen Planktonsterben erklären. Weitere interessante Werte lese man nach in der Klimatologie von SCHWARZ-BACH. Wenn man die Sedimentationsgeschwindigkeit in Jahreszahlen zum Ausdruck bringen will, darf man das nur an einer Sediment-Abfolge versuchen, deren kontinuierliche Deponierung außer Frage steht (RICHTER-BERNBURG 1960). Davon gibt es aber nicht viele. Die Sedimentationsgeschwindigkeit einer Gesteinsfolge darf also nicht zur Entstehungsgeschwindigkeit einer Formation einfach abgerundet werden. Die geologische Zeit steckt nach RICHTER-BERNBURG viel mehr in den Hiaten zwischen den Sedimentationszeiten, d.h. in den Bankfugen.

H.E. REINECK (1960) hat zum Begriff Sedimentationsgeschwindigkeit zwei Unterbegriffe vorgeschlagen: Mächtigkeit szunahme und Schichtungs-Geschwindigkeit. Erstere errechnet sich aus der Mächtigkeit eines Sedimentkörpers, geteilt durch die Bildungszeit. Die Sedimentations-Geschwindigkeit errechnet sich aus der Mächtigkeit einer Einzelschicht, geteilt durch die Zeit der pausenlosen Bildung dieser Schicht. Beide Werte miteinander verglichen ergeben, daß die Schichten in Flachseesedimenten vom Gezeitenmeer nur den $1/10000$ bis $1/100000$ der Gesamtbildungszeit dokumentieren. Zur Bestimmung der Mächtigkeit szunahme rezenter Sedimente datiert man einen Horizont im Liegenden und mißt, wieviel Sediment bis zum Zeitpunkt der Untersuchung oder bis zu einem zweiten datierbaren Horizont darüber lagern. Die Bildungszeit sollte möglichst mehrere Jahrtausende umfassen. Die Mächtigkeit

keitszunahme errechnet sich dann aus der Mächtigkeit des Sedimentkörpers, geteilt durch die Bildungszeit:

$$\text{Mächtigkeitszunahme} \quad \frac{\text{Mächtigkeit}}{\text{Bildungszeit}} \quad (\text{cm/Jh}).$$

Der Divident "Mächtigkeit" wird verringert durch Setzungs- und Abtragsverluste. Der Divisor "Bildungszeit" wird vergrößert, weil in die Rechnung nicht nur Zeiten der Sedimentation, sondern auch Sedimentations-Pausen, Zeiten der Umlagerung und der Abtragung, eingehen. Die Verringerung des Dividenten und die Vergrößerung des Divisors haben zur Folge, daß das Ergebnis kleiner wird als die wahre Bildungsgeschwindigkeit, die wir im Untenstehenden als "Schichtungs-Geschwindigkeit" bezeichnen werden. Da das Watt über die Hälfte der Zeit trocken liegt, nehmen die Sedimentations-Pausen auch innerhalb der 4,5 Jahre über 50 % ein. Die restliche Zeit wird von Umlagerungen (Sedimentation und Abtragung) ausgefüllt, und nur das Werk von 5 Std. (= 0,01 % der Zeit) bleibt aus diesem Geschehen des Auf und Ab erhalten.

Gebiete unter Wattenniveau haben geringere Sedimentations-Pausen; dort fehlt die Trockenliege-Zeit. Dafür steigt die Umlagerungszeit an. Die Rolle der Umlagerungen in bezug auf die letztlich erhaltene Sediment-Säule hat R. RICHTER (1936, S. 225) hervorgehoben. Er sei zum Abschluß zitiert: "Dieselbe Stoff-Menge ist dann also nacheinander in vielen Generationen von 'Sedimenten' und 'Schichten' erschienen, deren jede genau so 'dagewesen' ist wie die heutige Schicht auf dem Meeresgrund oder wie die fossile im Gestein... Hier ist das Sichtbare der Schein, der uns nicht trügen darf; und das Unsichtbare enthält die Wirklichkeit, die wir wieder herstellen müssen". (REINECK 1960).

9. Kohlebildung

Karbon und Tertiär sind Formationen mit umfassender Kohlebildung. Während im Tertiär Braunkohlenwälder den Rohstoff für die Kohlebildung lieferten, taten dies im Karbon die Steinkohlenwälder. Erstere bestanden aus Angiospermen, letztere aus Pteridophyten, es gibt auch sonst noch Unterschiede. Die Braunkohlen entstanden nach POTONIE in periodisch überfluteten Taxodien-

wäldern, nach GOTHAN in trockenen Sequoienwäldern. Heute weiß man, daß sowohl die Swamp- als auch die Trockenwaldtheorie von Fall zu Fall paßt. Jedenfalls muß man den Ausgang in offenen Seen, im Verlandungsstadium des Riedmoores suchen. Die Tierwelt der Braunkohle (vor allem im Geiseltal bei Halle, auch bei Messel nahe Frankfurt) ist sehr vielgestaltig und entstammt den verschiedensten Biotopen. Stubbenhorizonte sind in der Braunkohle häufig nachgewiesen, sie entstanden immer bei neuerlicher Überflutung, die zum Absterben der Bäume und Abfaulen über der Wasserfläche führten.

Die Steinkohlenwälder weisen eine ganz andere Flora und Fauna auf. Damals entstanden erst die Reptilien, an die Stelle der Laub- und Nadelbäume traten die Pteridophyten, vorwiegend baumförmige Bärlappgewächse. Die Pteridophyten (Gefäßsporenpflanzen) waren vor allem durch Farne, Bärlappe und Schachtelhalmgewächse vertreten. Die Siegel- und Schuppenbäume erreichten Stammhöhen von 30 m bei einem Stammdurchmesser von 2 m.

Die Dendrochronologie soll nur kurz erwähnt werden, wichtige Ergebnisse kann sie nicht bringen, außer für die allerjüngste, kaum bis zum ältesten Alluvium reichende Zeitspanne. Hier wurden allerdings höchst bedeutsame Wege für die Geschichtsforschung erzielt. Die Zuwachsringe der Bäume sind ein auffallendes Beispiel für jahreszeitlich bedingtes Wachstum. Im Tertiär konnte man an Hand der Jahresringe feststellen, daß Sequoia und Taxodium, zwei Nadelbäume, in der Niederlausitz über 3000 Jahre alt wurden (TREUMER 1929). Im Karbon findet man an oft riesige Ausmaße erreichenden Bäumen aus der Gruppe der Bärlappgewächse fast nie Jahresringe; Bäume aus dem permischen Gondwanaland zeigen sie häufiger, das gibt wichtige klimatische Hinweise, aber keine Einsicht in die absolute Bildungsdauer eines Sediments.

Es sei, ohne Einzelheiten nennen zu wollen, zwecks Bildung einer Vorstellung der Steinkohlenflöze gesagt, daß das 7000 m mächtige flözführende Oberkarbon im westlichen Oberschlesien 477 Flöze mit 272 m Kohle enthält. Von diesen sind 124 bauwürdig, mit 172 m Kohle. Im Osten beträgt die Mächtigkeit des Gesteins 2700 m, mit 105 m Kohle. Die Braunkohlenflöze sind im allgemeinen viel mächtiger als die Steinkohlenflöze, wo man in den USA Maxima von 13 m bei einem Anthrazitflöz festgestellt hat. Die Schätzungen der Bildungsdauer eines Flözes schwanken natürlich, SCHWARZ-

BACH nimmt für 5000 10 000 Jahre Bildungsdauer für 1 m Steinkohle an, für 1 m Braunkohle nur etwa die Hälfte. Das Tempo des Baumwachses ist natürlich nicht mit Sicherheit zu ermitteln und es hilft wenig weiter, wenn man weiß, daß heute ein Hochmoor im Jahr etwa 1 mm wächst.

Sind im Karbon viele geringmächtige Steinkohlenflöze in gewaltige Schichtstöße eingeschaltet, so sind in der "Braunkohlenformation" des Tertiärs nur wenige, aber sehr mächtige Flöze (bis zu 104 m) vorhanden. Das hängt, wie vor allem H. STILLE sehr eindrucksvoll nachgewiesen hat, mit dem Tempo der epirogenetischen Absenkung zusammen. Ruckhaftes Absinken führte zu Bildung von Zwischenmitteln; am günstigsten waren die Vorbedingungen zur Kohlebildung, wenn das Tempo der Bodenabsenkung ebenso rasch wie das Pflanzenwachstumerfolgte. Die Epirogenese im Tertiär und Karbon war also von höchst verschiedener Art. Im Tertiär meist wenige, sehr mächtige Flöze, im Karbon wenige schwache Flöze. Wie rasch sich die Flöze bildeten ist nicht exakt anzugeben. Nach K. v. BÜLOW (1929) beträgt das Wachstum in einem Hochmoor jährlich 1 2, auch 3 - 4 cm. Werte aus Sumpfmoores sind besonders schwierig zu ermitteln. J. WEIGELT hat (1936) für das mächtige Geiseltaflöz bei Halle aus dessen Bänderung eine Dauer von 100 000 Jahren ermittelt, wobei es sich um 60 m Braunkohle handelt. SCHWARZBACH hat diesen Wert berichtigt, d.h. verdoppelt, da WEIGELT (kaum zu Recht) eine vierfache Bänderung einer Jahresschicht annahm. Für ein 1 m mächtiges toniges Zwischenmittel im Karbon berechnete SCHWARZBACH 1700 m Bildungsdauer.

10. Riffbildungen (Korallen, Spongien, Muscheln)

In den verschiedensten Formationen und Gebieten der Erde treffen wir Riffbildungen an, die sicher die Entstehungsdauer dieser Bildungen sowie des sie umgebenden Sediments, als Normalfazies bezeichnet, beurteilen lassen. Man weiß, daß heute Korallenriffe jährlich 2-5 cm in die Höhe wachsen. Am üppigsten wachsen sie in 4 10 m Tiefe, ausnahmsweise reichen sie bis 60 m Tiefe. Auf Wasserbeschaffenheit, Temperatur u.a. wird hier nicht eingegangen, obwohl es sich hier um paläogeographisch bedeutsame Dinge handelt (vor allem für die Klimatologie). Vor allem ist hier zu bedenken, daß auch das individuelle Wachstum der

Korallen klimatisch beeinflusst ist. A. KREMPF (1935) will einen $18 \frac{2}{3}$ - Jahresrhythmus bei rezenten Korallen erkannt haben. T.Y.H. MA (1934) wandte neozoologische Erkenntnisse auf die Vorzeit an, doch sind seine sehr interessanten Beobachtungen und Schlüsse nach M. SCHWARZBACH nur wenig gesichert.

Bryozoenriffe kennt man nur selten, am bekanntesten sind die aus dem Zechstein von Thüringen. Man weiß zu wenig über das Wachstum dieser Tiere, so daß man keine Schlußfolgerungen über die Bildungsdauer dieser Riffe ziehen könnte.

Die Archaeocyathinen, wohl ein Seitenast der Spongien, sind im älteres Paläozoikum weit verbreitet. Man findet ihre Riffe schon im Unterkambrium von Australien. Diese Tiere bauten an zahlreichen Stellen der Erde im Kambrium gewaltige, klotzige Kalke auf. Das größte paläozoische Riff liegt in Australien, solche Bildungen erstrecken sich über ein Areal von 600 km, ein eigenartiges Gegenstück zum größten rezenten Riff, dem Großen Barriere-Riff an der Ostküste Australiens.

Im Gotlandium (Silur s. str.) finden sich klotzige Riffe von ca. 30 m Höhe und 20 m Durchmesser. Zu erwähnen sind auch die Kalkdome aus Korallen und Stromatoporen von der Hudsonbucht, die bis über 30 m Durchmesser haben. Schließlich sind die Korallenriffe der Insel Gotland die schönsten, die überhaupt fossil überliefert sind. Korallenriffe des Devon sind weiterhin nachgewiesen, vor allem in der Eifel.

Bei devonischen Tetrakorallen wurden jahresringähnliche Zuwachszonen beobachtet, an einem Fund, einem 5 cm hohen Kelch sind ca. 12 ungleiche Zonen vorhanden. Hieraus verbindliche Schlüsse für das allgemeine Höhenwachstum der Tetrakorallen zu ziehen, ist natürlich nicht möglich. Jedenfalls wäre, wollte man die Zuwachsraten als Jahresraten auffassen, das Jahreswachstum viel geringer als bei den rezenten Steinkorallen, wo 2 bis 5 cm Höhenwachstum pro Jahr innerhalb der Riffe festgestellt wurden.

Maxima der Bildung von Korallenriffen weist die Trias auf, die imposanten Kalkklötze der Dolomiten (Schlern, Rosengarten usw.) erreichen bis 1000 m Mächtigkeit. Gewaltige Klötze des Hauptdolomits und Dachsteinkalks, vor allem aber die rhätischen Riffe der nördlichen Kalkalpen, dürften trotz ihrer enormen Mächtigkeiten wohl in kurzer

Zeit entstanden sein. Ein rhätisches Korallenriff aus der Osterhorngruppe bei Salzburg hat 2 - 3 qkm Ausdehnung und mindestens 160 m Mächtigkeit.

Es wäre, wie das vielfach geschah, sehr einfach, das von heutigen Korallenriffen bekannte Wachstumstempo auf diese Triasriffe anzuwenden; man könnte dann annehmen, daß ein 1 km hohes Korallenriff der Trias in ca. 40 000 Jahren entstanden ist. Ich bin fest überzeugt, daß dieser Wert ungefähr richtig ist, er deckt sich mit anderen Werten ähnlicher Art. Übrigens kann man aus diesen Werten auch Rückschlüsse über das Tempo der Epirogenese ziehen. Die Bildung derartiger Korallenriffe setzt natürlich, genau so wie bei Kohlenflözen, ein stetiges langsames Absinken des Meeresbodens voraus. Erst im Ob. Jura finden wir umfangreiche Riffbildung, in Mähren (Stramberg) bilden tithonische Riffe gewaltige Kalkklötze in der Landschaft. Etwas jünger ist der Korallenoolith von Hannover. In Süddeutschland wurden vor allem die Korallenriffe von Nattheim und Kelheim bekannt. Korallenriffe sind von den Algen- und Spongienriffen, die wir im Jura antreffen, faziell sehr abweichend. Sie haben ungemein festere Konsistenz und konnten dem Einfluß der Gezeiten und Meeresströmungen ungleich größeren Widerstand entgegensetzen als Schwammriffe, die derartigen Einflüssen, wenn sie stärker waren, bald erliegen sind.

Schwammriffe sind sehr selten, man kennt sie fossil nur aus dem süddeutschen Malm, sonst nur noch aus Polen. Sie sind also eine einmalige, zeitlich engbegrenzte Bildung. Im Gegensatz zu den Korallen sind sie keine aktiven Riffbildner, die von ihnen gebildeten Riffe bilden nur schwach gewölbte Buckel oder nur Rasen. Nur soweit sie vom Sediment eingedeckt werden sind sie überhaupt erhaltungsfähig, wie A. ROLL wiederholt betont hat. Man darf annehmen, daß sich diese Riffe und Rasen in kaum mehr als 50 m Tiefe gebildet haben. Wieweit sie an den Meeresspiegel heraufreichten ist nicht bekannt, jedenfalls wurden sie oft Opfer der Brandung und Meeresströmungen. Im Malm delta erreichten die süddeutschen Schwammriffe, die meist sehr deutlich von den Fugen der Normalfazies bogenförmig durchzogen werden, das Optimum ihrer Ausdehnung. ALDINGER gibt an, daß bis delta die Schwammriffe unterhalb der Wellenbasis lagen, in zeta fand starke Meeresverflachung statt und die

Riffe wurden weithin von der Brandung bearbeitet. Die bekannten Solnhofener Plattenkalke (Lithographieschiefer) entstanden wohl in abgeschnürten lagunenartigen Senken zwischen den Riffzonen.

Das Wachstum der Riffe hielt mit der Sedimentbildung weitgehend Schritt, die jährliche Wachstumsrate der Schwämme beträgt heute nach Angabe eines Spezialisten ca. 3 mm. Ein Schwammriff von 30 m Höhe wäre demnach, falls es keine Wachstumsunterbrechungen gab (die Fäulenbildung führte offenbar nicht zum Absterben der Riffe) in ca. 10 000 Jahren entstanden.

Austernriffe erreichten im Muschelkalk Schwabens bis 2 m Höhe. Diese Riffe bestehen aus fest aufeinander liegenden Muschelschalen. Gg. WAGNER hat sich eingehend mit dem Wachstum dieser Riffe beschäftigt.

Diese "Muschelriffe" sind natürlich nicht mit den Massenanhäufungen von Brachiopoden zu verwechseln, die in den Terebratelbänken in ungeheueren Massen angehäuft sind. Da man über das Wachstum dieser Tiere nichts sicheres weiß, kann man keine exakten Schlüsse über die Dauer der Entstehung solcher Terebratelbänke ziehen.

Gg. WAGNER, hat an "Muschelriffen" der süddeutschen Muschelkalks (Mittl. Trias) sehr interessante Beobachtungen gemacht, die es ihm ermöglichten, die Bildungsdauer dieser Riffe zu ermitteln. Sie sind aus den Schalen einer Muschelart aufgebaut. Eine Muschelgeneration lebte etwa 5 Jahre und jede bildet eine Schicht von etwa 0,5 mm. Somit sind pro cm 20 Muschelgenerationen oder 100 Jahre nötig. Berücksichtigt man, daß ein Muschelriff doppelt so schnell emporwächst wie die umliegenden Sedimente, dann lassen sich aus der Mächtigkeit der Muschelkalklage die Wachstumszeit und damit die Dauer der dazugehörigen Periode ausrechnen. WAGNER kam zu einer Bildungsdauer von 6 Millionen Jahren (vgl. Abb. 1a). Ich habe bereits im 52. dieser Berichte (Bamberg 1978, S. 112) auf diese Riffe hingewiesen und gab an, daß ein solches Muschelriff 2 m hoch werden konnte, dazu waren 10 000 Jahre Zeit nötig. Ringsum bildete sich im gleichen Zeitraum Sediment von 1 m Dicke. Demnach bildete sich der ganze Muschelkalk in 1,2 Millionen Jahren. Ich wollte die Quellen nachlesen, fand aber auch bei FRANKE (1969) keine. Nun konnte ich dem ausgezeichneten Lehrbuch der Geologie von Gg. WAGNER einen kurzen Hinweis auf diese Riffe finden. Er schrieb, daß es auch

richtige Muschelriffe im süddeutschen Muschelkalk gebe. Die kleine Muschel *Placunopsis ostracina*, 1–2 cm groß, wächst mit einer Schale auf der Unterlage fest, während die andere nach dem Tode weggeschwemmt wird. Dann siedelt sich die nächste Muschel an. So entstehen aus den aufeinander angesiedelten Schalen einige Meter breite Riffe, die nur aus konzentrisch angewachsenen Schalen bestehen. 25 Schalen kommen auf 1 cm Schichtdicke. Dabei entspricht $\frac{1}{24}$ – $\frac{1}{25}$ cm Gestein dem Zeitraum eines Muschellebens vom ersten Festsetzen bis zur Verwesung und zur Neuansiedlung der nächsten Muschel. Hier haben wir einen Wert, der von dem oben angegebenen stark abweicht.

11. Salzbildungen und meteorologischer Jahresrhythmus

SCHWARZBACH hat ausgeführt, daß die geologische Zeitrechnung, die Geochronologie, in doppelter Weise vom Klima abhängt. Der vorzeitliche Klimawechsel liefert bedeutsame stratigraphische Zeitmarken und die jahreszeitlich geschichteten Sedimente erlauben die Berechnung ihrer Ablagerungsdauer. Letzteres trifft vor allem für die Warven zu. Die Jahresringe in Salzen sind wohl noch etwas dubiös.* Im Quartär zeigt sich sehr eindringlich, wie sehr die Stratigraphie vom Klima abhängig ist, ohne daß man hier einfach zu absoluten Zahlen gelangen könnte, etwa mit Strahlungskurven usw.

Versuche die absolute Zeitdauer einer Serie mit Hilfe jahreszeitlich oder jahresgeschichteter Sedimente zu bestimmen, gibt es viele, auf die hier auftretenden Schwierigkeiten haben viele Autoren hingewiesen. Allzuleicht kann hier die Phantasie einem Geologen üble Streiche spielen, voreilige sensationelle "Resultate" gingen zuweilen sogar durch die Presse.

Anm.: *Ich will hier Fragen nach der Konstanz der Jahres- und Tageslänge nicht diskutieren. Eben so wenig die Frage der Polverlagerungen. Daß solche anzunehmen sind, zeigt vor allem die Polnähe vieler fossiler Floren. Vielleicht entspringen die häufig sich so widersprechenden Zahlenwerte für die absolute Bildungsdauer astronomischen und geophysikalischen Bedingungen und Einwirkungen auf die Sedimentation, die wir heute noch gar nicht ahnen können.

Wir beschränken uns hier auf die Zechsteinsalze des Oberperm, die im mittleren Deutschland große Verbreitung haben. Das Zechsteinmeer bedeckte damals weite Teile Deutschlands. Seine Südgrenze lag etwa an der Linie Bonn-Dresden, ein breiter Arm reichte bis Freiburg B. und Ulm. Es ist auch heute noch ein nicht völlig gelöstes Problem, wie die vielen dicken, fast reinen Gipslager und die z.T. mehrere 100 m dicken Steinsalzlager gebildet wurden. Nach E. SEIBOLD ergeben 1000 m Meerwasser heute nur 0,75 m Gips und 13,7 m Steinsalz. Die Abscheidung von Salzen aus konzentrierten Lösungen erfolgt in der Reihe der abnehmenden Löslichkeit: Karbonate (Kalk, Dolomit) - Gips (bzw. Anhydrit) - Steinsalz Kalium- und Magnesiumsalze. Diese Abfolge liegt in den zentralen Lagerstätten von Niedersachsen und Thüringen vor. Jedenfalls kann man in den Lagerstätten feststellen, daß Anhydrit und Steinsalz verschiedentlich eine Feinschichtung aufweisen, man spricht von Linienanhydrit und Liniensalz. RICHTER-BERNBURG hat die Warwenschichtung vertreten und ausgiebig begründet und schon 1955 bei den Sulfatgesteinen der Werra-Serie neben der planparallelen Linienschichtung (Ebenschichtung) eine Flaserschichtung unterschieden. Es soll sich hierbei nicht um Erscheinungen sekundärer Art handeln.

Es ist zu bedenken, daß der Zechstein aus 4 Abfolgen besteht, von denen jede bis zum Heranreifen der Voraussetzungen für eine zügige progressive Sedimentation ein bedeutender Zeitraum nötig war. Es konnten auch sehr tiefgreifende Rücklösungen schon ausgefällte Salzlösungen wieder wegfressen. Man kennt auch ausgesprochene Hiaten, die in Hinblick auf ihre geologische Zeitdauer das Mehrfache der Sedimentation einer salinaren Serie bedeuten können.

So einleuchtend es uns auch erscheinen mag, jeden Jahresring im mitteldeutschen Zechsteinsalz in einem Jahr entstanden zu denken, so ohne weiteres geht das nicht. Man muß bedenken, daß es bei der Schichtung des Salzes durchschnittlich um einige bis 10 cm handelt, der normale Zyklus besteht aus einer deutlichen Tonlage, einer Anhydrit- und einer Steinsalzsicht (FIEGE 1939, LOTZE 1938, ff.). Der Ton wurde wohl sehr abrupt als feiner Schlamm ins Zechsteinmeer gespült. Regengüsse mögen die Ursache dieses Vorganges sein. Gegen die Deutung als Jahresringe hat vor allem LOTZE eingewendet, daß wir bei der Annahme, daß eine

Jahresschichtung einem Jahr entspricht, eine viel zu kleine Sedimentationsdauer erhalten, nämlich nur 3000 5000 Jahre für das Ältere Steinsalz des Ob. Zechsteins; die Oligozänsalze am Oberrhein hätten sich nach M. ROZSA in 1700 Jahren gebildet. FIEGE (1939) schätzte, daß die ins deutsche Zechstein eingeschwemmte Tontrübe an Menge der jährlich in das vom Mississippi ins Meer getragene Tontrübe entspricht. Doch muß man bedenken, daß im Zechstein hocharides Klima, an der Einmündungsstelle des genannten Stromes in den Atlantik jedoch feucht-gemäßigtes Klima herrscht. In einem ariden Gebiet ist Wasser- und Schlammmenge viel geringer. Das spricht also dagegen, daß diese mm-dicken Tonbänder in einem Jahr entstanden. Ein mm Anhydrit entspricht einer Wassersäule von 2,5 m, 10 cm Steinsalz einer von 6 7 m. Die Verdunstung müßte also enorm hoch gewesen sein. M. SCHWARZBACH weist in seiner ausgezeichneten Paläoklimatologie darauf hin, daß im Somaliland tägliche Vedunstungshöhen von 18 mm beobachtet wurden (FULDA 1938), das gäbe jährlich immerhin 6,5 m.

Um große Sedimentationslücken im deutschen Zechsteinmeer kommen wir nicht herum, oder aber wir müssen annehmen, daß sich die Jahresringe des Salzes in einem viel länger als ein Jahr dauernden Zeitabschnitt gebildet haben. Ob dafür nun regelmäßige langfristige Klimaschwankungen in Frage kommen, läßt sich noch nicht sagen. Man denke an die Brücknerschen Perioden, die POMPECKJ für den Werkkalk des Malm beta forderte. FIEGE kam auf deduktivem Weg zu 70 Jahren Sedimentationsdauer (Ob. Zechstein 7 Mio. Jahre, etwa 100 000 Jahresringe).

Bei der großen prinzipiellen Bedeutung der Frage nach der Entstehung der Jahresringe in Salzlagern bringe ich hier auf den nächsten 5 Seiten die Ausführungen von F. LOTZE (1957), wobei wenige Kürzungen vorgenommen wurden.

"Zu denselben Ergebnissen wie der Wechsel der Vedunstung bei gleichbleibendem Zustrom wird der Wechsel des klimatisch bedingten bzw. geregelten Zustroms bei gleichbleibender Verdunstung führen. Das wird insbesondere für solche Salzbecken gelten, die eine große Zufuhr von Flußwässern aus einem weiten kontinentalen Hinterland mit teilweise humiden Bedingungen erhalten. Dann würden Schwankungen der klimatischen Faktoren in diesem Hinterland sich un-

mittelbar im Salzabsatz äußern. Diese Einflüsse werden um so stärker sein, je kleiner die Salzbecken, je geringer damit die Lösungsmenge, je größer aber auf der anderen Seite die zeitweiligen Zuflüsse sind, also in kleineren intramontanen Becken mit beträchtlicher terrigener Sedimentation, wie ein solches etwa das früh-oligozäne Salzbecken im Oberrheintal war.

In der Tat scheint die Feinschichtung der Salzgesteine in der Großzahl der Fälle durch ein solches rhythmisches Schwanken der Zufuhr kontinentaler Wässer oder durch Schwankungen der Aridität des Klimas im Salzbeckenbereich verursacht zu sein; dafür spricht die scharfe Untergrenze* vieler Jahresringe und ihr im Sinne einer Abscheidungsfolge struierter chemischer Feinaufbau, wie auch das Vorkommen rein toniger Jahresringe in den randlichen Teilen eines Salzbeckens (so im Mittelzecheinsalz des Werragebietes) nur durch zeitweilig verstärkte Einströmung vom Festland her zu erklären ist. W. VORTISCH mißt überhaupt dem durch solche äußeren Einflüsse erzeugten Strömungswechsel im Absatzraum die Hauptrolle für das Zustandekommen jeglicher Repetitionsschichtung, und so auch der Salzsichtung, bei.

Im einzelnen sind hierbei für die Entstehung der Anhydritlagen verschiedene Möglichkeiten gegeben; die Anhydritschicht kann das Ergebnis einer chemischen Ausfällung durch Wechselwirkung zwischen bestimmten Ionen des zuströmenden Wassers und solchen der Beckenlauge, also ein chemisches Präzipitat, sein (KAUFMANN & SLAWSON, 1950) oder sie kann durch regulären Neuabsatz im Sinne eines Klein-Abscheidungszyklus infolge der Eindampfung der eingeströmten Lösung entstanden, also ein Evaporat, sein, oder beide Momente können zusammentreffen.

Anm.: *BRUNHÖVER (1916) sieht in der Ausbildung der Grenzen der Anhydritschüre ein Kriterium, um zu entscheiden, ob in den Jahresringen eine Temperaturschichtung im Sinne PRECHTS vorläge oder ob sie durch zeitweilige Verdünnungen verursacht seien. Eine ebene Unterfläche mache das letztere wahrscheinlich, ein allmählicher Übergang zum liegenden Steinsalz weise auf Temperaturschwankungen hin. - Beim Älteren Steinsalz von Krügershall bei Teutschenthal schien ihm makroskopisch die Unterfläche manchmal schärfer, mikroskopisch aber fand er keinen großen Unterschied. Jahresringe im Jüngeren Steinsalz, die ich untersuchte, hatten vorherrschend schärfere Unterseiten. Auch die breiteren Anhydritbänder der Schwadensalzzone sind meist schärfer nach unten begrenzt.

Welche Periode in dem rhythmischen Wechsel zum Ausdruck kommt, ist eine Frage für sich. Bei den rezenten Salzbildungen entspricht sie vielfach unmittelbar dem meteorologischen Jahresrhythmus. So zeichnen sich beim Elton-See, bei den Salinen an der Küste des Schwarzen Meeres, bei amerikanischen Salzseen usw. in den dem Steinsalz zwischengeschalteten Tonbändern die feuchten Jahreszeiten ab, je nach den örtlichen Verhältnissen der Frühling, Winter oder Herbst. Bei rein mariner Herkunft der Lösungen kann ein jahreszeitlicher Wechsel der Zuführung z.B. durch monsunalen Wechsel der Windverhältnisse bedingt sein, wie das beim Rann von Cutch oder bei den Salinen von Mex der Fall ist (WALTHER).

Daß die "Jahresringe" der fossilen Salzlagerstätten ebenfalls durchweg einen solchen jahreszeitlichen Rhythmus zum Ausdruck brächten, wie das vielfach angenommen worden ist und noch wird, darf darum aber keineswegs a priori als Tatsache hingenommen werden. Man hat zu bedenken, daß man es bei ihnen mit ganz anderen Größenordnungen zu tun hat; so übertrifft z.B. das deutsche Zechsteinbecken nach Umfang und Inhalt etwa die Salinen von Mex oder einen innerkontinentalen rezenten Salzsee in so ungeheurem Maße, daß eine quantitative Übertragung der Abscheidungsbedingungen von dem einen Objekt auf das andere nicht angängig ist.

Auch das Zeit- und das Mengenproblem sind hier zu beachten. So führt eine Auszählung der Jahresringe fossiler Salzlagerstätten meist zu überraschend kleinen Zeitspannen. In vielen Fällen erhält man für ganze Steinsalzfolgen von mehreren 100 m Mächtigkeit Zeitdauern von nur wenigen Jahrtausenden*, eine gegenüber den Dimensionen geologischer Epochen außer-

*) So meint FULDA (1935), das Ältere Steinsalz der deutschen Zechsteinlagerstätte könne in nur 400 Jahren entstanden sein. RICHTER-BERNBURG (1955) gibt die Sedimentationsdauer von 1 m Liniensalz (Jüngere Salzfolge des deutschen Zechsteins) mit 20 Jahren an. - Zu sehr kurzen Zeiten gelangt auch RÖZSA durch Annahme jahreszeitlicher Rhythmen für die Schichtungsverhältnisse der oligozänen Kalisalzlager des Oberrheintales. Im trockenen kurzen Winter sollen nach ihm die fast reinen Sylvinschichten gebildet sein; das Oszillieren der Lufttemperatur im Vorfrühling soll in den abwechselnd mehr steinsalz- und mehr sylvinhaltigen Schichten im Hangenden der Sylvinlagen zum Ausdruck kommen. Die Erhöhung der Lufttemperatur im fortschreitenden Frühjahr bringe die Ausscheidung zumeist feinkörnigen Steinsalzes. Die Frühsommerregen führten feingeschichteten Tonschlamm herbei und verdünnten die Lösung. In der heißen Sommersonne trocknete diese aber wieder ein, und nach Absatz von etwas Dolomit und Anhydrit schlug sich Steinsalz nieder. Ende des Sommers bilde sich bei schwankender Lufttemperatur ein Sylvin-Halitgestein, an das sich der reine

ordentlich niedrige Zahl; eine mächtige Sedimentansammlung verlangt ja epirogene Senkung, die das Ausmaß vieler 100 m in so kurzer Zeit nicht erreichen könnte. So käme man also in Schwierigkeiten, wenigstens dann, wenn mit der Präexistenz entsprechender morphologischer Hohlräume durch vorausgegangene tiefe Beckenbildung nicht gerechnet werden kann.

Nur in den Fällen ganz besonderer Gleichmäßigkeit und geringer Dicke der Einzelschichten lieferte der Jahresrhythmus noch die wahrscheinlichste Erklärung. In den übrigen Fällen, besonders wenn die Abstände der "Jahresringe" beträchtlicher und wechselvoller sind, hat man größere Klimaperioden oder längere Zeiten abweichender Verhältnisse anzunehmen.

RICHTER-BERNBURG (1950, 1955), der die Feinschichtung im Stinkschiefer und Anhydrit und die "Jahresring"-Schichtung im Steinsalz des deutschen Zechsteins gleichermaßen als echte Warwenschichtung auffaßt, d.h. auf den Jahresrhythmus zurückführt, will in gewissen Warwen-Anomalien die elfjährige Solarperiode wiedererkennen. Sollte sich ein solcher Zusammenhang wirklich beweisen lassen, so würde das tatsächlich die Deutung der "Jahresring"-Schichtung als einer echten Jahresschichtung bestätigen. Aber das bisher vorgelegte Material scheint mir zu einem solchen Beweis noch nicht auszureichen; so hat TEICHMÜLLER in den Anhydriten und Salzen des Niederrheingebietes eine elfjährige Periode nicht erkennen können. Zudem ist die Ausprägung der Sonnenfleckperiode im heutigen Klima noch eine umstrittene Frage; erst recht gilt das für ihre Ausprägung in

Fußnote *) Fortsetzung von Seite 207

Sylvinit des Winters wieder anschlosse. - Diese Ausdeutung des Feinaufbaus des Kalilagers halte ich für verfehlt. Ganz abgesehen davon, daß man in ariden Gebieten mit einem klaren Jahresrhythmus der angegebenen Art nicht rechnen darf, können wir die hier vorliegenden Salzgesteine mit ihren abnormen chemischen Verhältnissen nicht als primär-sedimentär ansehen. Meines Erachtens haben die Kalisalzschichten und besonders die reinen Sylvinitlagen eine mehrfache Umlagerung erfahren. Und dann die zeitliche Dauer, die sich für die Salzablagerung ergibt! Das untere Kalilager (1,5 m) hätte 160 Jahre, das zweite 10 Jahre, das dritte 5, das vierte 30 Jahre zu seiner Bildung gebraucht. Die gesamten Kalisalze seien in 205 Jahren entstanden, und die Lagerregion mit den Steinsalz- und Tonschichten umfasse 1700 Jahre. - Mit dem bekannten Ausmaß heutiger epirogener Bewegungen (Größenordnung: höchstens wenige Millimeter pro Jahr) sind eher die Werte zu vergleichen, zu denen THOMPSON hinsichtlich der Zeitdauer der Bildung der englischen Keupersalze in Cheshire gelangte. Nach ihm soll die Abscheidung eines Zolls Salz (= 2,5 cm) 10 Jahre verlangt haben, so daß sich das gesamte dortige Steinsalzlager in 21 000 Jahren abgesetzt hätte (CALVERT).

rezenten oder sogar vorzeitlichen Sedimenten.

FIVEG (1954) geht zur Bestimmung der Sedimentationsgeschwindigkeit der permischen Salzlagerstätte an der oberen Kama im europäischen Rußland von Halitschichten mit "federartigen" Kristallskeletten aus. Solche bilden sich in Form kleiner schwimmender Boote an der Oberfläche von Salzseen während des Sommers und sinken später zu Boden. Die Anzahl solcher Lagen mit skeletthaftem Halit innerhalb eines Salzhorizontes soll nach FIVEG unmittelbar die Bildungsdauer des Horizonts in Jahren angeben. Für die salzführende Schichtfolge an der oberen Kama kommt er so zu einer Gesamtdauer von 120 000 Jahren; die Ablagerung der eigentlichen Salzserie (bis 440 m mächtig) soll davon nur 13 000 Jahre in Anspruch genommen haben. - Auch diese Methode scheint mir mit zu großen Unsicherheiten belastet zu sein. Denn die Bildung und Sedimentation der "Salzboote" ist, wie die rezenten Salzseen zeigen, ein zu unregelmäßiger Prozeß, um als Zeitmaßstab verwandt werden zu können.

Alles in allem ist zweifellos zu der Frage der "Jahresringe" und im Zusammenhang damit zur Frage der Geschwindigkeit der salinaren Sedimentation bei weitem noch nicht das letzte Wort gesprochen.

2. Der Wechsel der Konzentration im Becken durch Wechsel des Zuflusses kann auch auf indirektem Wege eine Schichtung erzeugen. Wäre das primäre Ausscheidungsprodukt einer ruhenden Lösung eine durch feinverteilten Anhydrit und Ton verunreinigte massige Steinsalzbank, so würde eine zeitweilige Verdünnung der Mutterlauge durch verstärkte Zuflüsse oder Niederschläge die Auflösung eines Teiles des Bodenkörpers nach sich ziehen. Die schwer- oder unlöslichen Beimengungen würden dann zurückbleiben und sich zu einer dünnen Schicht ansammeln, bis die Auflösung des Bodenkörpers zum Stillstand käme: wir hätten den Fall der sekundären Umsetzungs-schichtung. Sie liegt besonders dann vor, wenn der Anhydrit- oder Tonjahresring eine völlig glatte Unterfläche aufweist; man darf dann annehmen, daß die darunter befindliche Salzlage, die entsprechend dem Wachstum der Einzelkristalle zunächst eine höckerig-rauhe Oberfläche gehabt haben muß, durch die auflösende Wirkung der verdünnten Lösungen geradezu abgehobelt wurde.

Auch derartige Vorgänge könnten eine "Jahresring"-Schichtung erzeugen; sie könnten auch in der Tat in jahreszeitlichem Rhythmus ablaufen,

brauchten es aber nicht, und so dürfte man auch hier nicht unbedingt aus der Existenz derartiger Jahresringformen auf echte Warwennatur schließen.

Eine völlig andere Erklärung für die Wechsellagerung sulfatischer und chloridischer Präzipitate in der "Jahresring"-Schichtung haben E. FULDA und H. RÖHLER gegeben. Nach ihnen kommt darin eine "rhythmische Fällung" als Folge der Trägheit, mit der sich das chemische Gleichgewicht zwischen Chlorid und Sulfat herstelle, zum Ausdruck. Das Sulfat reichere sich bis über den Sättigungspunkt hinaus in der Lösung an, bis ein bestimmter Schwellwert erreicht wäre, und dann erst erfolge spontan eine plötzliche Abscheidung des überschüssigen Sulfats, worauf erst in rhythmischem Wechsel die Chloridbildung einträte.

Dem widerspricht aber schon, daß gewöhnlich doch auch die Steinsalzbänken zwischen den einzelnen Anhydritlagen so bei unserem Älteren Steinsalz - bis mehrere Prozent Anhydrit enthalten. Eine Sulfatausfällung ist also auch ohne beträchtliche Übersättigung möglich, ja, sie wird vielfach schon so stark, wie sie nach dem Anhydritgehalt des Meerwassers zu erwarten wäre; darum ist nicht recht verständlich, wie daneben noch eine rhythmische Übersättigungsausscheidung eintreten sollte. Auch ließen sich durch eine solche nicht die oft über sehr große Räume hin feststellbare Gleichförmigkeit der Jahresringschichtung und die Mächtigkeit der Anhydritlagen erklären. Überhaupt scheint uns die Langsamkeit, mit der der Niederschlag in der Natur erfolgt, weitgehende Übersättigungen auszuschließen, so daß die Erfahrungen des Salzchemikers, auf die sich E. FULDA und H. RÖHLER berufen, nicht ohne weiteres anwendbar sind, zumal die Strömungen in den großen Laugenbecken, der thermische Wechsel der Oberflächenschichten zwischen Tag und Nacht, ihre Durchrüttelung durch den Wind eine längere Aufrechterhaltung der instabilen Übersättigungsgleichgewichte nicht gestatten. Der Tongehalt der Anhydritschnüre fände, wie R. BRINKMANN schon betont, ebenfalls keine Erklärung.

Als eine "ebenso unsichere Sache" wie die rhythmische Fällung bezeichnet VORTISCH die von FULDA (1924) zur Erklärung des Schichtungsphänomens mit herabgezogene Laugenentmischung durch Viskositätsanpassung an die Strömungen. "Es ist noch gar nicht sichergestellt, daß diese theoretisch geforderte Entmischung überhaupt Unterschiede in der Zusammensetzung der Laugen hervorrufen kann, bzw. ob diese Entmischung gegen die Vermischung, z.B. durch Wirbelbildung, aufkommen kann" (VORTISCH)."

Soweit die Ausführungen von LOTZE, die zeigen, wie kompliziert die Lage ist, ganz und gar nicht so einfach, wie vielfach angenommen wird. Ob nicht auch hier daran zu denken ist, daß im Perm eben doch in vieler Hinsicht, astronomisch und geophysikalisch, vieles anders war, als heute!

Wie ich sehe, ist auch in der neuesten Literatur die Bildungsdauer der Evaporite (Salinarbildungen) immer noch mehr oder weniger umstritten. Derartige Bildungen sind weltweit verbreitet, besonders in der DDR, Salzkammergut, Rheintalgraben, Großbritannien, Spanien, Elsaß, Polen, Rumänien, Rußland, USA, Kanada, Iran, Indien, China, Japan, Nordafrika und Australien, sie stammen aus verschiedenen Formationen, nicht nur aus dem Perm. Meist sind es Steinsalzlagerstätten, Kalisalze sind viel seltener. Oft liegen mehrere hundert Meter mächtige Lagerstätten vor. Das spezifisch leichtere Salz kann dem Gebirgsdruck ausweichen, so kommt es zum Fließen des Salzes und zur Entstehung von Salzstöcken oder Diapiren, von steilen Flanken begrenzte Salzkörper. Wie kam es nun zu der Entstehung so mächtiger Salzlagerstätten? Hier scheiden sich nun die Meinungen. Salzlager bilden sich vor allem durch Abscheidung aus dem Meerwasser, sofern die Verdunstung den Zufluß und die Niederschläge mengenmäßig übertrifft. Es kommt hierfür nur arides Klima in Frage. E. SEIBOLD hat berechnet, daß 1000 m Meerwasser nur 0,75 m Gips und 13,7 m Steinsalz ergeben. Gegenwärtig bietet der etwa 150 km breite und nicht über 15 m tiefe Karabugas an der Ostseite des Kaspischen Meeres ein klassisches Beispiel dafür, wie Salzlager entstehen können. Diese Salzlagune ist vom Kaspischen Meer durch Landzungen getrennt und nur durch einen 5 km langen und 100 - 500 m breiten Kanal mit dem Kaspischen Meer verbunden. Der Wasserspiegel liegt etwa 3 m tiefer als der des Kaspischen Meeres, wodurch ein ständiger Zufluß stattfindet. Er reicht aber nicht aus, um das verdunstende Wasser im Nebenbecken völlig zu ersetzen. Der Salzgehalt des Wassers wird dabei von etwa 13 ‰ auf weit über 200 ‰ erhöht. Wegen Übersättigung scheidet sich bereits reichlich Gips ab, während der Salzgehalt ursprünglich noch in Lösung verblieb. Über der Gipsschicht lagert sich in der Beckenmitte Glaubersalz (Mirabilit) ab, und seit 1939 kommt es auch zur Abscheidung von Steinsalz in steigender Menge. Die Abscheidung der Salze aus konzentrierten Lösungen erfolgt in der Reihe ihrer zunehmenden Löslichkeit, erst scheiden sich Karbonate (Kalk,

Dolomit) aus, dann Gips oder Anhydrit, dann Steinsalz und zuletzt die Kalium- und Magnesiumsalze. Diese Folge gibt es aber nicht in allen Steinsalzlagerstätten.

So fehlen im Thüringer Becken die Kalisalze, im Norddeutschen Becken auch das Steinsalz. Interessant ist nun, und das führt zum eigentlichen Thema der Bildungsdauer, daß Anhydrit und Steinsalz zuweilen eine Feinschichtung zeigen, man spricht dann von Linienanhydrit oder -Salz, die nach RICHTER-BERNBURG einer jahreszeitlichen oder Warwenschichtung entsprechen. Neuerdings gibt die Geochemie wertvolle Anhaltspunkte, je nach dem Bromgehalt der Salze, welcher der Tiefe der überstehenden Mutterlauge umgekehrt proportional ist, lassen sich Annäherungswerte über die Tiefe des Zechsteinmeeres geben. Neuerdings geben Schwefelisotope Hinweise zur Altersbestimmung der Evaporite.

12. Warvenbildung und andere Jahresrhythmen

Während das salzige Meerwasser den Schlamm sofort ausflockt, bleibt der Schweb in den Seen lange kolloidal und daher schwebend, verteilt sich daher auf größere Flächen und senkt sich langsam zu Boden. Im Sommer breiten die Schmelzwässer viel Schlamm und groben Sand aus, im Winter gehen sie stark zurück, es kommt nur feinsten Schlamm zum Absatz, der sich in stillem Wasser, meist dunkel gefärbt, als dünne Lage absetzt. So entstanden die jahreszeitliche Schichtung der Bändertone, die wir aus Schweden und Finnland, aber auch aus Oberschwaben usw. kennen. Eine solche Doppellage, eine Warve von 1 1,5 cm Dicke, ist bei Konstanz des Geschehens, die Arbeit eines Jahres. 25 m Bändertone entstanden also in 2500 Jahren. DE GEER hat diese Warven in Schweden gezählt und festgestellt, wie lange der Rückzug des Eises dauerte. Bei mächtigen eisrandnahen Warven kann man manchmal in den hellen Sommerwarven noch 70 150 Doppelschichten erkennen, die Tageswarven, gebildet durch wechselnde Schüttung der Schmelzwässer bei Tag und Nacht. Man konnte sehr interessante Beobachtungen machen, die Zahl der Sommertage feststellen usw.; es gibt dunkle, pollenreiche Sommerlagen und helle, pollenarme Winterlagen, 2 mm entsprechen einem Jahresabsatz. Auf die Frage, wie weit es solche Warven auch im deutschen Zechsteinsalz gibt, wurde schon eingegangen. RICHTER-BERNBURG konnte

hier 15 000 Jahreswarven Anhydrit-Steinsalz auf größeren Flächen erfassen. Warven meldeten die Geologen aus verschiedenen Zeiten, ich habe solche im Lias alpha von Sassendorf festgestellt.

DE GEER ging von den Bändertonen mit ihrem regelmäßigem Wechsel von hellen und dunklen Lagen aus. Solche Warven, d.h., periodische Wiederkehr von Schichten, beginnt mit einer hellen, stark sandigen Lage; dann nimmt der Ton zu, während die Farbe in hell- und dunkelbraun übergeht, mit einer tiefschwarzen, rein tonigen Lage schneidet die Warve oben haarscharf ab; die nächste folgt unvermittelt mit hellem Sand. Im Frühjahr und Hochsommer wurden von den Schmelzwässern Sande weit in den Stausee oder in Meer verfrachtet. Im Salzwasser wird die Gletschertrübe sofort ausgeflockt; daher kommt es hier zu keiner Bänderung, ebensowenig in geringer Wassertiefe bei bewegtem Wasser. Im Süßwasser aber bleibt die feinste Trübe lange schwebend; erst im Herbst und Winter fällt sie im stillen Wasser aus, auch das meiste Organische, das sie dunkel färbt. Im Frühjahr aber setzt unvermittelt grober Sand ein. Damit haben wir richtige Jahresringe. Bis 50 km weit kann eine solche Warve reichen, nach außen langsam abnehmend. Beim Stillstand des Eisrandes legt sich so Warve auf Warve; man braucht sie nur zu zählen, um die Dauer der Ablagerung des Bändertons zu bestimmen. So fand SCHMIDLE für 25 m Bändertons bei Konstanz bei einer Dicke der Warven von 1 1,5 mm eine Bildungsdauer von 2000 - 2500 Jahren. Wollen wir größere Zeiträume erfassen, so müßten wir bestimmte gleichaltrige Warven in mehreren Aufschlüssen in der Rückzugslinie des Eises wieder erkennen. Das ist möglich, weil die Mächtigkeit der Warven nicht nur vom Eis weg langsam abnimmt, sondern auch sonst bestimmte Schwankungen aufweist. Ein warmer Sommer brachte viel Schmelzwasser und daher im ganzen Gebiet eine dicke Warve; ein kalter Sommer läßt sich an einer dünnen Warve ablesen. Man darf also nur die Mächtigkeiten der Warven in den verschiedenen Aufschlüssen aufnehmen und vergleichen. "Die fetten und die mageren Jahre" gestatten dann die genaue zeitliche Vergleichung.

Eine Riesenwarve (bis 1 m) fällt nun besonders auf. Beim Abschmelzen des Inlandeises hatte sich zwischen der Wasserscheide und der Eisscheide ein dauernd wachsender Stausee gebildet. Als der trennende Eistrücken zu dünn wurde und daher durchbrach, entleerte sich der Stausee auf einmal

in das Meer und brachte weithin große Mengen Sand und Schlamm. So gibt diese Riesenwarve das Ende der geschlossenen Eisdecke den Beginn des Postglazials. Mit ihr beginnt DE GEER seine Zählung (Warve 0). 1905/1906 konnte er auf einer 800 km langen Leitlinie ein vollständiges Warvenprofil aufstellen und damit die Dauer des Eistrückzuges durch einen großen Teil Schwedens festlegen. Er dauerte von Stockholm bis zur Eisscheide (Warve 0) 1073 Jahre. PENCK hat versucht, aus dem Abstand des letzten Eishaltes am Alpenrand (rund 20 000 Jahre) die Dauer der ganzen Eiszeit zu schätzen. Der größte Zeitraum kommt dem Mindel-Riß-Interglazial, dem "Großen Interglazial", zu. Die Taleintiefung betrug hier in der Schweiz 100 - 600 m (HEIM), am Rhein bei Eglisau mindestens 210 m!

Die Schotter der Mindel-Eiszeit waren schon zu Beginn der Riß-Eiszeit, wo sie überlagert wurden, tiefgründig zersetzt; bis 6 - 8 m tief reichen die geologischen Orgeln bei München in die Nagelfluh der Mindel-Eiszeit hinab, kaum fußtief in die der Würm-Eiszeit. Die Lößkindel des älteren Lösses sind bis 1 m groß (Mauer), die des jüngeren meist nur faustgroß. So schätzt PENCK das Verhältnis der Nacheiszeit zum letzten und vorletzten Interglazial wie 1 : 3 : 12. Damit fielen auf das große Mindel-Riß-Interglazial mindestens 240 000 Jahre. Auch war die Riß-Eiszeit wesentlich länger als die Würm-Eiszeit; denn ihre Ablagerungen sind viel gewaltiger. So gibt PENCK als rohe Schätzung der Eiszeitdauer $1\frac{1}{2}$ - 1 Million Jahre. Zu ähnlichen Werten kam C.F. KAY in den USA, der aus der Verwitterung der verschiedenen glazialen Ablagerungen auf etwa 700 000 Jahre schloß.

So war es auch verständlich, daß eine Strahlungskurve mit einer Dauer des Quartärs von 600 000 - 800 000 Jahren als "exakte Grundlage" an Stelle der rohen Schätzungen begrüßt wurde, wenn wir auch schon vor 10 Jahren ein Alter von über 100 000 Jahren für die Äußeren Jungendmoränen Oberschwabens ablehnten. Die "berichtigten" Kurven von EMILIANI, welche die Gesamtdauer auf 300 000 Jahre herabsetzen, stoßen auf mehr Ablehnung. Denn die Zeiträume reichen nicht aus, um das gewaltige geologische Geschehen unterzubringen. Das Eis legte ja wiederholt Wege von 1000 - 2000 km zurück (bis Stalingrad und zum Ohio 2400 km). Rund 40 Mio qkm mehr Eis mußten wiederholt angesammelt und abgeschmolzen werden.

Ungeheure Schuttmassen wurden abgetragen und befördert. Konnten zwar die Tierwanderungen verhältnismäßig rasch erfolgen, so dauerte es doch sehr lange, bis die Pflanzen, vor allem die Bäume, die riesigen verlorenen Gebiete wieder erobert hatten. Dazu fällt noch in diese Zeit die Hauptentwicklung des Menschengeschlechts, die wir nach EMILIANI nun auf 10 000 Generationen verkürzen müßten. Daher empfehlen wir dieser neuen "Exaktheit" gegenüber größte Zurückhaltung.

Im tiefsten Lias alpha, unmittelbar unter der ältesten marinen Bank, konnte ich bei Sassendorf, einen sehr bekannten Fundort (hier wurde das älteste Dicotylenblatt gefunden (KUHN 1955) sowie eine aus 30 Arten bestehende, von KRÄUSEL beschriebene Flora) eine ca. 2,9 m mächtige Linse von Pflanzenschiefern (Schiefertonen) feststellen, die deutliche Warven aufwies. Jedes Doppelband, durch Färbung verschieden, mißt 4 - 7 mm. Demnach entstand diese fast 3 m mächtige Tonlinse in etwa 600 Jahren. SCHWARZBACH konnte zeigen, daß 1 m toniges Zwischenmittel im Karbon in 1700 Jahren entstand, zu seiner Entstehung wurde also wesentlich mehr Zeit benötigt als bei Bildung der Schiefertone von Sassendorf.

Anhang: Zur Paläogeographie des Jura

Im Hauptteil dieses Aufsatzes wurden viele Beispiele aus dem Jura besprochen, darunter die interessantesten, die sich auf den süddeutschen Malm beziehen. Daher habe ich hier versucht, die Hauptprobleme der Jura-Paläogeographie zu besprechen. Die zahlreichen Karten aus der älteren bis neuesten Literatur sind eine Dokumentation, die zeigen wie gänzlich neu die Lage nach der allgemeinen Anerkennung der

Drifttheorie von ALFRED WEGENER

geworden ist. Es entfallen nun die langen Wanderwege und die Konstruktion von Zwischenkontinenten und Landbücken. Insoferne hat sich vieles vereinfacht. Doch tauchen zugleich neue Probleme auf. Abb. 1 zeigt, wie zu Beginn des Jura (vor etwa 170 Jahrmillionen) die Erdoberfläche aussah; ein einheitlicher Kontinent, eine Pangaea, darum ein riesiger Ozean, die Panthalassa.

Es hat lange gedauert, bis WEGENER's Theorie allgemein anerkannt wurde. Als WEGENER (1880 - 1930) seine Theorie erstmals 1912 der Fachwelt vorlegte, stieß sie auf Ablehnung. Es ist ein Zeichen für den Weitblick von E. DACQUÉ, daß er schon 1915 in seiner klassischen Paläogeographie für WEGENER eintrat. Erst viel später, etwa ab 1970 setzte sich WEGENER's Lehre allgemein durch. Es ist eigenartig, daß in den Naturwissenschaften bedeutende und umwälzende Lehren oft lange in ihrer Bedeutung nicht erkannt wurden. Eine große Ausnahme ist DARWIN, der sofort nach dem Erscheinen seines Buches über den Ursprung der Arten im Jahre 1859 allgemeine Zustimmung fand. Hingegen fand G. MENDEL, (1822 - 1884), der 1865 die Resultate seiner Vererbungsexperimente vorlegte, keine Beachtung. Im Jahre 1900 haben dann endlich drei bekannte Biologen gleichzeitig die Bedeutung der MENDEL'schen Regeln erkannt, heute gilt er als Vater der Genetik. Auch andere große Entdeckungen wurden nicht sofort in ihrer Bedeutung bekannt, ich erinnere an ROBERT MAYER, ROBERT KOCH und SIGMUND FREUD.

In den letzten Jahren sind in der Geologie große Fortschritte erzielt worden. Ich denke vor allem an die Platten t e k t o n i k, die ab 1967/68 entwickelt wurde. Danach besteht die Lithosphäre aus mehreren Platten, die sowohl Kontinente als auch Ozeane umfassen können. Durch gegenseitige Verschiebung der Platten kommt es zu Orogenesen, zu Vulkanismus und Entstehung vulkanischer Inselbögen. Gebirgsbildung entsteht, wenn eine ozeanische Platte unter eine Kontinentalplatte abtaucht (K o r d i l l e r e n - T y p), oder wenn zwei kontinentale Platten unter Subduktion der Ozeanplatte zusammenstoßen (H i m a l a y a - T y p). H. HESS betonte, daß die Ozeanböden vergänglichere Erscheinungen sind, die Kontinente hingegen sind sehr permanente Krustenbildungen, mögen sie auch mannigfach zerrissen oder zusammengeschweißt worden sein. Die Kontinente sind meist wesentlich älter als die Ozeane. Abbildung 1 zeigt, wie zu Beginn des Jura die Loslösung von Schollen aus der Pangaea erfolgte.

Kein Ozeanboden ist älter als Jura, erst in dieser Formation und der anschließenden Kreide begannen sich die heutigen Ozeane zu bilden. Nach Ergebnissen der M a g n e t o s t r a t i g r a p h i e des Ozeanbodens und der Biostratigraphie der Meeresbodensedimente (es sei an die heute in

größeren Umfang ausgeführten Tiefseeb Bohrungen erinnert!) begann die Entstehung des mittleren Atlantik im Lias zwischen Nordamerika und Westafrika. Östlich der Bahamas und bei den Kapverdischen Inseln ist Oberjura die bisher älteste Ablagerung am Meeresboden. Der Atlantik verbreiterte sich im Gegensatz zum Pazifik nach beiden Seiten hin gleichmäßig, der Nordatlantik hat wohl schon im Jura sich langsam zu bilden begonnen. Jedenfalls erfolgte die Bildung des Atlantik keineswegs überall gleichzeitig. Der zentrale Teil des Atlantik begann sich im Jura zu öffnen, der Südatlantik entstand erst durch eine durchgreifende Ozeanverbindung zwischen Südamerika und Afrika in der Mittl. Kreide. Auf diesem Gebiete sind wir aber noch im Anfangsstadium des Wissens, so weiß man, daß Grönland und NW-Europa erst ab Eozän, vor etwa 50 Millionen Jahren, sich zu trennen begannen.

Die Drift des indischen Subkontinents begann zwischen Dogger und Mittl. Kreide. Die ältesten Meeressedimente nahe der vorderindischen Küste stammen aus der Kreide. Der genannte Subkontinent erreichte im älteren Tertiär den asiatischen Kontinent, wobei die Driftgeschwindigkeit temporär 16 cm pro Jahr erreichte. Heute liegen exakte Daten über die Ausdehnungsraten der Ozeane vor, sie betragen 2-18 cm pro Jahr und Rücken. Die größten Werte wurden für den Pazifik, die geringsten für die Erweiterung des Atlantik festgestellt. Der Abstand von Recife an der Ostküste Brasiliens von Kamerun in Westafrika beträgt quer über den Äquator gemessen rund 5 000 km, die Loslösung begann vor etwa 150 Mio Jahren, dann entfallen auf das Jahr rund 3,3 cm Driftgeschwindigkeit, wobei natürlich zu bedenken ist, daß Eurasien nicht still lag.

Die Tethys

ist ein sehr wichtiges Dauerelement der Paläogeographie, das fast ununterbrochen durch das ganze Erdmittelalter reichte. Gegenüber den Schelfmeeren im mitteleuropäischen Jura war es ein überraschend stabiles Meer. Die alpine Gebirgsbildungsphase beginnt im Oberjura mit einer geosynklinalen Phase besonders großer Meerestiefen. Pelagische Fazies ist im alpinen Jura weit verbreitet, vor allem im Ob. Jura. Die Radio-

larite sind vielleicht echte Tiefseebildungen, nicht die Aptychen- und Calpionellenkalke. Die epirogene Beweglichkeit war besonders lebhaft, die Gliederung in Tröge und Schwellen war sehr ausgeprägt, mit steilen Böschungen (Gegensatz Trias). Es ist festgestellt, daß Brekzien in bathyale Sedimente eingeschaltet sind, und dünne, lückenhafte, kondensierte Schichtfolgen stehen mächtigen klastischen und Riffbildungen gegenüber. Offenbar haben Meeresströmungen den Meeresboden zeitweise frei von Sediment gehalten. Jedoch blieb der Jura, wie die Trias der Alpen, fast ohne orogene Ereignisse. Die wenigen vulkanischen Ergüsse beschränkten sich auf die tiefsten geosynklinalen Furchen. Erst im Jura wurden die Westalpen, die bis dahin der germanischen Fazies zuzurechnen sind, in die Geosynklinale einbezogen. Der Südrand des Kettenjura wurde erst verspätet von der Transgression, in den Arietenschichten erreicht.

Die Vindelizische Schwelle, zunächst ein Ostausläufer des großen böhmischen Festlands bzw. des großen Ostkontinents, reichte weit nach SW über Augsburg hinaus (vgl. ROLL 1952). Zu Jurabeginn dürfte diese Vindelizische Schwelle über eine Landbrücke zu einer größeren Insel des Aarmassivs (sog. Alemannisches Festland) gereicht haben. Erst im Toarcium tauchte diese Landbrücke unter, dadurch waren das schwäbische und helvetische Becken offen verbunden (gleiche Fazies im Lias gamma und epsilon in Franken und den bayerischen Alpen deutet auf noch frühere breite Verbindung hin).

Es war C.W. von GÜMBEL*, der die Vindelizische Insel (Schwelle) annahm, um die großen faziellen Unterschiede zwischen Trias und Jura der Alpen und Süddeutschlands zu erklären. Im Lias muß diese Schwelle schon durchlässig gewesen sein, durch eine solche Lücke wanderte *Psiloceras* nach Süddeutschland und Frankreich ein. Im Tithon war diese Schwelle völlig unter den Meeresspiegel gesunken.

Als Pendant dazu stieg die Mitteldeutsche Schwelle in die Höhe. Die im Lias allmählich abgesunkene Riesbarre, machte sich im Tithon

Anm.: *C.W. von GÜMBEL (1823 1898), vom König geadelt, ist der bedeutendste Geologe aller Zeiten. Gleichzeitig mit ihm wirkte in München K.A. von ZITTEL (1839 1904), der größte Paläontologe seiner Zeit. So war München lange, neben Wien die Hochburg der Geowissenschaften. Das waren noch Zeiten!

wieder bemerkbar. Man lese das bei P. DORN (1937) in seiner Paläogeographie der Riesbarre nach. Sollte das eine Bedeutung für die Genese der Solnhofener Schichten haben, die übrigens, worauf DACQUÉ (1915) hinweist, gelegentlich an die rötliche Fazies der Aptychenkalke erinnern.

Die Regensburger Straße

hat schon POMPECKJ (Geognost. Jh. 14, 1901) behandelt, nach ihm gab DACQUÉ (1915, S. 327 ff.) eine ausgezeichnete Übersicht. Schon im Lias alpha bestand eine seichte, den Keilberg umfassende Bucht, die in OSO-Richtung in das Böhmisches-Vindelizische Land (Teil des großen Ostkontinents) eingeschnitten war. Den Nordrand bildete die Regens-taufer Halbinsel, DACQUÉ nennt von hier sehr grobkörnige Sandsteine, in Lias alpha 3, beta und gamma fehlen Ablagerungen. Lias delta ist ausgebildet, ebenso der obere Lias. Nach TROLL (1960) ist die Regens-burger Straße erst ab Dogger alpha nachweisbar, vorher gab es nur eine Regensburger Bucht. In Dogger beta reichte die Straße schon bis Passau. Im Callov erweiterte sich die Straße S Straubing und O Passau über Linz nach SO, noch im Callov oder schon im Bath war die Verbindung mit dem polnisch-mährischen Jura hergestellt. Von Krakau ist eine reiche Dogger-fauna beschrieben, sie ist jedoch keine Mischfauna, wie anfänglich geglaubt wurde.

Die Regensburger Straße, optimal im Callov entwickelt, in die Mährische Straße verlängert, löste die Böhmisches Masse vom Vindelizischen Land, damit leitete sich eine Kippung der süddeutschen Scholle ein. Das Mitteldeutsche Festland tauchte gegen Ende des Malm auf und gewann nach S immer mehr an Breite, während im S die Vindelizische Barre gegen die Tethys unter Wasser sank.

13. Zoogeographische Provinzen und Wanderwege der Faunen im Jura

Das Mitteleuropäische Jurabecken umfaßt große Teile von Deutschland, ferner Teile von Dänemark und Polen, weiter im Süden vor allem Frankreich.

Dieses Mitteleuropäische Becken gehört der neritischen Randzone des Mediterran-kaukasischen Reiches von V. UHLIG (1911) an. Innerhalb dieser Randzone ist das Becken ein Teil der Mitteleuropäischen Juraprovinz M. NEUMAYR's, die außerdem noch Frankreich und England umfaßte. Diese Faunenreiche zeigen in sich viele gemeinsame Züge, doch darf man die faunistischen Unterschiede nicht übersehen. Die Mitteleuropäische Provinz als Teil des Mediterran-kaukasischen Reiches hat für die Erforschung des Jura grundlegende Bedeutung, ich erinnere nur an die Namen A. v. HUMBOLDT, L. v. BUCH, QUENSTEDT, OPPEL, NEUMAYR, UHLIG usw. Die Mitteleuropäische Provinz lieferte den Namen für das Jura-Gebirge (A. v. HUMBOLDT 1795) und die Namen für die Stufen und Teilstufen des Jura-Systems (Juraformation), nur die Namen Domerium und Tithon wurden dem Tethysbereich entnommen, und das "Wolga" dem osteuropäischen Teil des Borealen Beckens von V. UHLIG.

Der fränkische Jura, auf den mein Blick in dieser Abhandlung ganz besonders gerichtet ist, gehört der neritischen Randzone des Mediterran-kaukasischen Reiches (UHLIG) an. Dieses Reich umfaßt in erster Linie einen Teil der Tethys, des damaligen äquatorial verlaufenden, pelagischen, tieferen Meeres, aus der die Alpen emporgefaltet wurden. Ein letzter Rest ist das heutige Mittelmeer. Die Mitteleuropäische Provinz ist davon nur der flachere, neritische Teil, eine Randzone. Allmähliche Übergänge finden wir in der Schweiz, in Südfrankreich, Portugal und nach Tiefbohrungen auch in Oberbayern. Die Kimmerokaukasische Provinz ist durch pflanzen- und kohleführende Sedimente (nach Art der Grestener Schichten der Ostalpen und Karpathen) ausgezeichnet und trägt den Charakter eines Seichtwassergebietes. Nach S. v. BUBNOFF (1956) besitzt die Kimmerokaukasische Provinz als breit entwickelter Vorschelfgürtel am Nordsaum der Tethys mehr Ähnlichkeit mit Mitteleuropa, als mit dem Borealen Reich. Der Lias ist im Krim-Kaukasus-Trog, im Kaspigebiet und Donezbecken klastisch, mit pflanzenführenden Sandsteinen, bunten Tonen und Kohle, entwickelt. Dies erinnert an die Ausbildung des Hettangiums in Polen und Nordostdeutschland, so daß der Gedanke kommt, den Grenzbereich zwischen Mitteleuropäischer und Kimmerokaukasischer Provinz im Bereich NO-Deutschlands anzunehmen (KÖLBEL 1964).

KÖLBEL betonte die Beziehungen zwischen Mitteleuropäischer Juraprovinz und Tethys, vor allem über die Schweiz, Südfrankreich (im Hettangium die Rhone-

Straße) und Portugal. Verbindung über SO-Polen ist kurzzeitig für das Hettangium möglich und bestand seit dem Toarcium oder Aalenium, mit Höhepunkt im Oxford, bis zum Kimmeridge. Nach KÖLBEL bestand keine Verbindung anscheinend zunächst zu arktischen Gebieten, da das Boreale Reich erst durch die Ob. Dogger-Transgression seinen weiten marinen Raum erhielt. Boreale Faunenelemente zeigen sich in Deutschland erst im Callovium, so *Cardioceras*, *Quenstedtoceras*, die Muschel *Aucella* (*Buchia*) erst im Kimmeridge, nachdem sich von Ostpolen eine Verbindung zum russischen Meer aufgetan hatte.

Paläontologie läßt sich heute gar nicht mehr treiben ohne Beachtung der biogeographischen und genetischen Momente. Viele Arbeiten erörtern im Anschluß an ihre beschreibenden Teile die Tiergeographie. Viele der aus der Tethys eingewanderten Tiere sind bald erloschen, das läßt sich an den Ammoniten sehr gut zeigen. Bei der Einwanderung neuer Gattungen aus der Tethys entstanden, wie man allgemein glaubt, neue Arten, aber nur selten neue Gattungen. Der Übergang vom wärmeren Meer der Tethys, also aus pelagischem Bereich in die kühlere neritische Randzone Süddeutschlands erforderte gewisse Umstellungen. Es sind daher zwischen den Faunen der Tethys und ihrer nördlichen Randzone manche Gattungen, aber nur wenige Arten gemeinsam.

Aus der Tethys, und zwar z.T. schon im Rhät, kamen zu uns viele Gattungen, die im Lias häufig sind, die Spiriferen und Austern (schon häufig in der Basalbank des Lias alpha), die Pleuromyen, Aviculiden, Gervilliiden, Pectiniden, Limiden, Nuculiden usw., wie schon DEECKE konstatierte. Später wanderten die Pholadomyiden und Trigoniiden, Inoceramen, Astarten, Cardien, sehr viel später, erst im Malm die Nerineen ein. Einige Gattungen, wie die Leptaenen, treten nur ganz sporadisch, in sog. Beds auf.

Im Oberjura Westeuropas nimmt die Formenmannigfaltigkeit gegen Norden allmählich ab. Dies sowie die Nordgrenze des Vorkommens von Riffkorallen, Diceraten, Nerineen und Oppelien* weisen auf Unterschiede in der Meeres-

Anm.: *Die Oppelien, im Ob. Dogger und Malm verbreitete Ammoniten, hat übrigens der bedeutende W. WAAGEN (1841 - 1900, geb. in München, Schüler von OPPEL, als Prof. in Wien gestorben) die Oppelien dazu benutzt, die damals von DARWIN (1859) aufgestellte Entwicklungslehre an Hand von Entwicklungslehre an Hand von Entwicklungsreihen zu beweisen. Er nannte 1869

temperatur. Einer südlichen tropischen Zone steht eine gemäßigte boreale Zone im Norden gegenüber. Nach B. ZIEGLER (1965) lag NW-Europa im Übergangsbereich.

Während des Oberjura ist keine allgemeine Änderung der Meeres-Temperaturen nachweisbar. Die faziellen und faunistischen Besonderheiten im Mittel- und Obermalm Nordwesteuropas lassen sich am besten durch eine Verlagerung von Meeres-Strömungen erklären (B. ZIEGLER 1965).

Der russische Jura ist auch faziell stark vom deutschen Jura verschieden. Er besteht fast ganz aus Tonen und Glaukonitsanden mit Lagen von Phosphoritknollen. Die Sedimentation ist lückenhaft. In der Kreide setzt sich die schon im Jura vorhandene tiergeographische Sonderstellung fort; im Jura sind die Virgatiten mit Bündelrippen vorhanden, zu nennen sind sodann *Buchia*, *Craspedites*, *Pachyteuthys* und *Microbelus*. Riffkalk gibt es in Rußland nur im Donezgebiet an der Pforte zum Westmeer.

14. Das Klima des Jura

Man nimmt allgemein an, daß im Lias das Klima wärmer als heute war, im ganzen aber kühler als in ausgesprochenen Warmzeiten der Erdgeschichte. Das Klima im Lias dürfte man in unserer Region als warm-humid bezeichnen. Die reichen Floren in beiden Polargebieten zeigen, daß größere klimatische Gegensätze im Lias auf der Erde fehlten. Doch muß man auch hier sehr vorsichtig sein, man weiß noch nichts sicheres über die Pollage im Lias und der Paläomagnetismus kann noch Überraschungen bringen.

Für kühleres Klima im Lias spricht das Fehlen von Kalken in Mitteleuropa, auch noch weitgehend im Dogger Mitteleuropas, mit Ausnahme der Alpen. Doch braucht das nicht klimatisch bedingt zu sein. Riffkorallen gab es bis Schottland und Wales (ARKELL 1933, STAESCHE & TEICHMÜLLER 1944).

Fußnote *) Fortsetzung von Seite 221

die einzelnen Glieder der Entwicklungsreihe der *Oppelia subradiata* Mutationen. Erst später beschlagnahmte die Genetik den Namen für sich. Die Gattung *Oppelia* ist heute in viele Gattungen aufgeteilt, die vielen im Malm vorkommenden flexuosen Opelien bilden jetzt die Gattung *Taramelliceras*.

Man versuchte, eine boreale korallenarme Fazies (Gebiet der heutigen Arktis) und eine mediterrane korallenreiche Ausbildung der Liassedimente auszuscheiden.

In Dobbertin (Mecklenburg) wurde eine Insektenfauna im Lias gefunden, mit auffallend vielen kleinen Arten; die Flügellänge beträgt bei den Insekten im Lias nach HANDLIRSCH nur 11 mm gegenüber 22 mm im Malm. Das soll auf klimatische Unterschiede zurückzuführen sein. Doch auch im Lias gab es üppige Floren in den Polargebieten und große Reptilien N Jakutst, nur nicht so reichlich wie bei Holzmaden und Banz. Also ist Vorsicht geboten bei Auswertung der Flügellänge der Insekten. Das Klima im Lias war erheblich wärmer als heute, aber vor allem gleichförmiger.

In der Arktis wurden im Jameson-Land (Grönland) im Rät und Lias 200 Pflanzenarten gefunden (bei Sassendorf nur um 30 Arten). Auch das Graham-Land lieferte eine reiche Flora. Das polnächste Vorkommen von Lias-Pflanzen kennt man vom Mt. Weaver, unter 87° südlicher Breite. Von keinem Holzfund des Lias kennt man Jahresringe, außer den Funden von Holzmaden, wo ausgeprägte Zuwachszonen von GOTHAN (1908, auch aus England) nachgewiesen wurden. Also ist bei Beurteilung des Klimas Vorsicht geboten! Wichtiger ist der Nachweis von Salzlagern im tieferen Lias von Nordafrika. Das deutet aber nicht auf humides Klima, das sonstige Fehlen nennenswerter Salzlager im Lias deutet verbreitet-humides Klima an. Humides Klima bezeugen auch die mächtigen Kohlen-Vorkommen im Lias, z.T. in den Dogger reichend. Solche Lias-Kohlen kennt man aus der Umrandung des skandinavischen Blockes, in Westpolen, Donezbecken, Kaukasus, Grestener Schichten der Alpen usw. Sehr reich an Lias- und Dogger-Kohlen ist das Angara-Land Asiens (Ostural, Turkestan, Irkutsk, Korea, Mandschurei). Erwähnen will ich hier auch die Warvenbildung im tiefsten Lias von Sassendorf. Weitere Hinweise finden sich bei H. KÖLBEL (1967). Er nimmt an, daß das Toarc noch warm-humid war, die Flora subtropisch, Holothurien und große Reptilien deuten auf wärmere Winter, Treibholz im Posidonienschiefer mit deutlichen Jahresringen deuten auf gemäßigteres Klima. Auf die kalkigen korallenreichen Korallenvorkommen in Südfrankreich wird ebenfalls hingewiesen. Das Aalen war nach KÖLBEL noch relativ humid, das Bajoc schon warm-arid, Eisenoolithbildung sind hier verstärkt. Im Callov konstatiert KÖLBEL warm-arid bis warm-humides (Eisenoolithbildung hier

schwächer, Kohlen in NO-Mecklenburg) Klima.

Schon 1883 machte M. NEUMAYR den Versuch einer Unterscheidung von Tierprovinzen im Jura. Bezeichnend galten gewisse Ammonitengattungen, die Muschel Aucella, Riffkorallen usw. Die boreale Provinz, wie alle übrigen Zonen klimatisch bedingt, ist am klarsten definiert, es fehlen ihr Korallen. Doch fehlt dazu ein antarktisches Gegenstück.

Die nichtborealen Jurameere weisen auf warmes Klima, vor allem fehlen hier die Riffkorallen ganz (SPEYER 1912). Schwammriffe sind offenbar nicht so klimaempfindlich wie Korallen, wenn sie auch auf Franken, Schwaben und Polen beschränkt sind. Klimazeugen sind vor allem die großen Dinosaurier des Ob. Jura, die weltweit verbreitet waren. Anders als im Lias gibt es im höheren Jura viele Salz- und Gipslager. Zusammenfassend kann man sagen, daß das Klima im ganzen im höheren Jura wärmer und trockener als im Lias und tieferen Dogger war, das boreale Reich hebt sich im Ob. Jura deutlich ab. Zu den vielen Hinweisen auf arides Klima im Malm gehört das bei Berlin erbohrte Vorkommen von Bohnerztonen auf verkarstetem Malm.

Die genannten Floren aus Polnähe haben schon früh das Interesse der Paläoklimatologen auf sich gelenkt. Sie galten als Beweismittel für Polverschiebungen, wobei der Pol allerdings sehr verschiedene Positionen erhielt. Dabei verbindet sich mit dem Problem der polaren Temperaturen das nicht minder schwierige der Polarnacht. Heute ist man davon überzeugt, daß es tatsächliche Verlagerungen der Polarachse nicht gegeben hat, mindestens nicht in nachkambrischer Zeit. Hingegen nimmt man relative Polverlagerungen an, d.h., ein Ort hat seinen Abstand vom festen Rotationspol und damit seine Lage im festen Gradnetz der Erde geändert. Seit WEGENER's Theorie allgemein anerkannt ist machen derartige Vorstellungen keine Schwierigkeit mehr. Man hat Karten entworfen, die den vermuteten Verlauf von Polverlagerungen darstellen (vgl. SCHWARZBACH: Klima der Vorzeit).

15. Lias

Das Germanische Triasbecken (Abb. 2, 3) war, von kleineren Meeresvorstößen abgesehen, nur im Muschelkalk (Mittl. Trias) von einem Meer von der Größe der heutigen Ostsee bedeckt. In der Unt. und Ob. Trias war das

Becken vorwiegend trocken, doch zeigen zahlreiche Fossilien, daß ausgesprochene Wüsten keinen großen Raum einnehmen; die Ablagerungsbedingungen kann man als "amphibisch" bezeichnen. Im Muschelkalk dehnte sich das Germanische Triasbecken nach SO-Frankreich aus. Abb. 3 (unten) zeigt, wie man sich das Rhätmeer vorzustellen hat. Die Mitteldeutsche Straße ist aber hier zu breit angenommen. Fossilien weisen aber auf marines Rhät nur in den Haßbergen, ferner in Schwaben (wo *Avicula contorta* ebenfalls auftritt) hin, sonst sind die Dokumente noch sehr spärlich und weitgehende Abtragung in Unterfranken, Hessen, Thüringen, Ost- und Nordwürttemberg lassen dort nur Vermutungen über die Ausdehnung des Rhätmeeres zu. Jedenfalls war in Oberfranken das Rhät bestenfalls im nördlichsten Teil marin, im untersten Lias stand das Meer bei Coburg und drang allmählich nach S über Lichtenfels, Bamberg, Erlangen nach S vor, wo eine Vereinigung mit dem aus Schwaben vorstoßenden Meer stattfand. Wo das Meer durch die Vindelizische Schwelle nach Süddeutschland eindrang, ist nicht genau feststellbar, man kann der Abb. 3 entnehmen, wo der Durchbruch erfolgt sein kann. Ich bin eher für einen Durchbruch weiter östlich. Jedenfalls erweiterte sich das Meer westlich des Oberrheins sehr stark, wurde aber im W von einer umfangreichen westeuropäischen Masse begrenzt, um die herum *Psiloceras* nach England und NW-Deutschland eingewandert ist. Von dort muß dieser Ammonit durch die Hessische Straße nach Franken eingewandert sein. Ob es wirklich so war, oder ob das Meer im Rhät der Hassberge und des Lias alpha 1 bei Coburg nach SW breit mit dem aus der Tethys vordringenden Meer in Verbindung stand, kann ich nicht entscheiden.

Ein Vordringen der Tethys nach N war an verschiedenen Stellen möglich. Übrigens glaubte schon KÖLBEL, daß im Rhät Mikrofaunen direkt aus der Tethys kamen. Wie schwer Einzelheiten festzustellen sind, zeigt HÖLDER (1964, S. 15 ff., 19) in seiner Stratigraphie des Jura. Lokale, geringmächtige klastische, vielleicht liasische Sedimente bei Liplas SO Krakau und anderen polnischen Orten (Lubaczow, Rachow) könnten Reste einer sonst abgetragenen Verbindung zur Tethys sein. Ab Toarcium bis Kimmeridge bestanden solche Verbindungen mit Sicherheit. Doch ist nach KÖLBEL unsicher, ob die im Lias bestehende Dänische Straße auch im Dogger und Malm geöffnet war.

ZIEGLER (1964) zeigte, daß Ob. Rhät nur bei Coburg entwickelt ist, am Großen Haßberg fehlt es. Hier ist eine kleine Fauna nachgewiesen, neuerdings auch Foraminiferen (ZIEGLER). Hier noch ein Wort zu den *Praeplanorbis*-Schichten von England und NW-Deutschland; bisher sind sie in Süddeutschland nicht nachgewiesen. Daraus könnten Folgerungen über die Zeit der Transgression und die Wanderwege gezogen werden, doch halte ich hier noch große Zurückhaltung für nötig. HÖLDER wies nach, daß sich eine allmähliche Transgression des Liasmeeres in Ostwürttemberg gut verfolgen läßt, er wies aber andererseits auch in seinem Werk über die Jurastratigraphie (HÖLDER 1964) darauf hin, wie schwierig die Parallelisierung der Leitbänke des tiefen Lias alpha ist.

Auf die Herkunft der vorwiegend blaugrauen, mächtigen Tone des süddeutschen Lias wurde schon hingewiesen. Ihre Mächtigkeit ist viel geringer als in NW-Deutschland, doch scheint die Herkunft dieselbe zu sein.

Das Lias- und Doggermeer Süddeutschlands war nach DEECKE Teil eines inselreichen Nebenmeers zwischen Vindelizischem Rücken, Mitteldeutscher Masse, Böhmisches Masse und Ardenneninsel. In seinem zentralen Teil betrug die größte Tiefe maximal kaum über 100 m (ALDINGER). Der Wasseraustausch und die Strömungen änderten sich mehrmals, im Lias epsilon war diese sehr stark reduziert, zeitenweise muß es sich hier um ein stagnierendes Becken gehandelt haben. ALDINGER sah in der Sandsteinzone des Hettangium eine bis 50 km breite küstennahe Zone, mit Gezeitschichten und Prielbildung eine Art Watt mit Muschelpflastern (Cardinienbänke) an. ALDINGER (1968) nahm an, daß dieser Streifen sogar zeitweise trocken fiel. Gegen das offene Wasser folgt eine Zone mit wanderndem Sand und grobem Schalenmaterial in Pflastern, beckenwärts schließt sich ein Gebiet mit langsamer Sedimentation an, in dem grabende Muscheln und Rhizocorallien das ursprüngliche Sedimentgefüge völlig zerstörten. Die relativ größten Sedimente kommen im Gebiet der wandernden Sande zur Ablagerung. Sowohl küstenwärts, wie beckenwärts nimmt der mittlere Durchmesser und Sortierungsgrad der Sedimente ab. Nun ist das Gebiet mit dem größten Sediment gleichzeitig auch durch Massenvorkommen von Cardinien und Gastropoden gekennzeichnet. Die Faziesverteilung in den Psiloceraten- und Schlotheimien-Schichten unterscheidet sich daher grundsätzlich von den Verhältnissen zur Arietenzeit. Während im Sinemur die Milieuenergie von der Küste zum Beckeninnern entweder gleichmäßig

oder während der Stagnationsperioden sprunghaft abnahm, wie in der heutigen Ostsee, ist in der Psiloceraten- und Schlotheimienzeit das Gebiet mit höchstem Energiespiegel zeitweilig durch einen breiten Gürtel mit kurzperiodisch wechselnder Energie, eine Art Watt, von der Küste getrennt, ähnlich wie in der heutigen Nordsee. Im Westen enden die Sandsteinhorizonte an einer N-S verlaufenden Grenze, die von Schleswig-Holstein bis Südwürttemberg verfolgt werden kann. Vielleicht handelt es sich dabei um durch Strömungen begradigte Deltafronten.

Obwohl hier nur die großen Züge des Geschehens im tiefen Lias dargestellt werden sollen, muß ich doch auf die wertvollen Beobachtungen von G. BLOOS hinweisen, da sie vor allem die Gegend um Bamberg betreffen. Wer die neuen Arbeiten von BLOOS liest und zum Vergleich die Monographien über tiefliasische Ammonitengattungen heranzieht (W. LANGE über *Psiloceras* und *Schlotheimia*, W. BLIND über *Arietites*, 1963), erkennt, wie ungemein schwierig hier die Lage ist, immer wieder treten neue Probleme auf. In früheren Arbeiten (ab 1933) habe ich mich mit dem Lias alpha bei Bamberg eingehend beschäftigt und erstmals *Psilophyllites* am Rothof nachgewiesen, weitere Funde kamen beim Kartieren der Blätter N Bamberg zutage. Ich wies auch *Arietites* in Sassendorf nach und beschrieb *Schlotheimia stenorhyncha* von Sassendorf, ein Leitfossil, das W. LANGE selbst vorgelegen hat und von ihm auf meinen Wunsch hin bestimmt wurde. BLOOS kam zu anderen Ansichten; wie dem auch sei, von großer Bedeutung sind die vielen von ihm gegebenen Profile, die er, wie zu gleicher Zeit KRISL (Profil bei Pöfeldorf, Geolog. Blätter NO-Bayern) zu parallelisieren sucht. Wie ich erfahre, setzt Herr Dr. BLOOS seine Untersuchungen fort und man kann auf weitere Klärung sehr gespannt sein.

Übrigens nennt BLIND in seiner Studie über *Arietes*, in der er einen Stammbaum der Ammoniten des Lias alpha gibt (hier Abb. 8), *Neophyllites* nicht. Am Ende der Trias sind alle Ammoniten bis auf die Gruppen um *Lythoceras* und *Phylloceras* ausgestorben. Sie sind die konservativsten Stämme, aus denen alle Juraammoniten nach H. SALLFELD hervorgehen (vgl. den Stammbaum von ARKELL in MOORE, Treatise 1957, von mir in diesen Berichten, Bd. 52, S. 170 abgebildet).

16. Dogger

Der Opalinuston führt die Sedimentation des Lias zunächst noch fort. Im Ob. Dogger beta begann der große Umschwung, es bildeten sich mächtige Sandablagerungen. Es ist noch völlig ungeklärt, woher diese riesigen Sandmassen kamen. Jedenfalls verflachte sich das Dogger beta-Meer und der ganze Mittl. Dogger ist in Franken eine ausgesprochene Seichtwasserbildung, die lokal nur wenige m Mächtigkeit erreicht (GÜMBEL's Eisenoolithkalke). Im Callov (Abb. 9) bilden sich wieder mächtige Tone, der Ornamenton.

Der Schweizer Tafel- und Faltenjura liegt auf der NW-Flanke des Vindelizischen Rückens, während des ganzen Jura wurde hier Schelffazies abgelagert. In den bayerischen Alpen finden wir noch viel weniger Annäherung an die Sedimentation in Franken als gelegentlich im Lias. Sande sind in den bayerischen Alpen aus dem Jura unbekannt. Die eigentliche Oolithfazies des Dogger hat in Franken nur geringe Bedeutung, erst im Westen nimmt sie stark zu (Schweizer Jura mit lichten Oolithkalcken, Hauptrogenstein in unteren Elsaß und Breisgau).

Im Norden tauchte das Kimbrische Land auf, das in Verbindung mit Fennoskandia stand. An seiner Südküste kamen die mit Eisenoolithen verknüpften Sande des Cornbrash und des Portasandsteins zur Ablagerung. Die aus der Baltischen Senke hervorgegangene Baltische Straße endete im Lias noch an der Oder, im Dogger, besonders im Callov, stieß hier das Meer weit nach Osten vor. Erst im Kimmeridge wurde diese Straße wieder auf die Polnisch-Dänische Furche eingeeengt. Im Callov erreichte die Regensburger Straße ihre größte Ausdehnung. Tethys und Boreale Provinz standen quer durch NW-Europa mit dem russischen Becken in Verbindung, boreale Typen wanderten bei uns ein.

Woher der feinkörnige Sandstein unseres Dogger beta stammt, ist eine ungelöste Frage. Aus dem NW-deutschen Becken stammt der Sand nicht, dort herrschte eine andere Fazies. Doch aus dem N kommt er bestimmt, ich nehme an, aus feinkörnigem Keupersandstein, der damals in Hessen und Nordbayern abgetragen wurde (Schilfsandstein, Semionotensandstein usw., sind ähnlich feinkörnig).

17. Malm

Mit Beginn des Malm erfolgte in Europa weithin ein großer fazieller Umschwung von dunklen Schiefertönen (Ornatenton usw.) und braunen, eisenhaltigen Sandsteinen und Oolithkalken zu den hellen Jurakalken, die in einem weiten Bogen von Lichtenfels über Kelheim, das Ries und den Schwäbischen Jura in den Schweizer Jura übergehen. Diese hellen Jurakalke veranlaßten 1795 A. v. HUMBOLDT, die Juraformation aufzustellen. Wie die weite Verbreitung von Korallenriffen zeigt, war das Klima damals wesentlich wärmer als im Lias, sogar arid. In Süddeutschland beginnt der Malm mit einem großen Sedimentationszyklus, in alpha und gamma dunkle, mergelige Kalke, in beta und delta helle Bankkalke. Anders in NW-Deutschland, hier treffen wir den Korallenoolith und die Gigas-Schichten, Oolithe und Bruchschillkalke, im Kimmeridge knollige Mergelkalke.

Höchst bedeutsam ist, daß Schwammriffe im norddeutschen Jura nie entstanden sind, das mag faziell, kaum klimatisch bedingt sein. Korallen sind im süddeutschen Jura hingegen erst ab Tithon von Bedeutung, auch hier nicht klimatisch bedingt.

Im NW-deutschen Malm kam eine Reihe schon im Lias angelegter rheinisch streichender Schwellen und Tröge in epirogenetische Bewegung, was zu größeren Fazies- und Mächtigkeitsunterschieden als vorher führt, spätestens zu Beginn des Malm vereinigte sich die Ardennisch-Rheinische Insel über die Mitteldeutsche Landbrücke hinweg mit der Böhmisches Masse. Auf diese Weise wurden süddeutsches und NW-deutsches Jurameer deutlich geschieden. Nur noch einmal, im Oligozän, erfolgte eine Transgression über diese Schwelle hinweg.

NO- und N-Deutschland bildeten bis Ende des Kimmeridge einen Teil der Baltischen Straße, wo sich süd- und nordwestdeutsche Faunen begegneten. Die Baltische Straße wurde noch im Tithon geschlossen und das NW-deutsche Becken stark eingeengt, dennoch erfolgte kontinuierliche Sedimentation bis in die Kreide hinein (hier z.T. brackisch-salinare Fazies). Die Eingengung war die Folge der jungkimmerischen Orogenese, diese betraf besonders das Niedersächsische Becken, damals nur eine schmale, tiefe, der Rheinischen Masse nördlich vorgelagerte Senke. Das Meer wurde hier all-

mählich eingedampft. Der Mündener Mergel schließt einige 100 m Steinsalz ein.

Während des Malm bildete sich in Osteuropa eine zweite, die Tethys mit dem dem Arktischen Ozean verbindende Meeresstraße, die im Lias schon angelegt war, aber blind endete. Der aus der Kaukasus-Geosynklinale kommende Meeresvorstoß, der im Oberlias erfolgte, gelangte aber damals noch wenig über die Küste der Untertrias hinaus.

W. DEECKE hielt es für zweifelhaft, ob der Malm im Odenwald, im Spessart und in Hessen* noch zur Ablagerung gelangt ist. Er gewann den Eindruck, daß im Unt. Malm die variszische Rinne südlich der Skandinavischen Masse voll ausgebildet wurde und zugleich die Hebung Mitteldeutschlands eintrat, so daß sich die Litoralfazies der Kalkriffe und Oolithe von Westfalen bis nach Pommern (Kolberg) allmählich entfalten konnte. Durch die gegen Juraende einsetzende kommerische Faltung blieb nur die vom Wealden erfüllte Rinne von Posen über Bornholm, Hannover, Niederlande nach Südengland und Frankreich übrig, während zugleich Süddeutschland aufstieg; am Südrand dieses neuen Festlands entstand die große in der Kreide so wichtig werdende Senke.

Im tieferen Malm erreichte das Meer in Deutschland seine größte Verbreitung, es dehnte sich noch mehr aus als im Callovium. Die Regression wurde gegen Malm-Ende immer deutlicher, sie reichte weit in die Unterkreide. In NW-Deutschland hinterließ das Meer große Areale brackisch-limnischer Sedimente, in Süddeutschland erfolgte völlige Verladung. Das Meer aus der Zeit der Solnhofener Schichten reichte noch bis Coburg-Hollfeld, zog sich dann aber rasch nach der Tethys zurück. Zugleich schloß sich das süddeutsche Randmeer der Tethys enger an den Schweizer-südeuropäischen Malm an.

Die genannte große Regression des süddeutschen Malmmeeres im Tithon war Resultat der kimmerischen Heraushebung der Mitteldeutschen

Anm.: * Derartige alte Massive, vor allem Fennoskandia und die Böhmisches Masse, stellen an den Geologen schwierige Fragen. Vielfach schließt man allzu rasch vom heutigen Fehlen des Jura auf solchem Kristallin auf ein Fehlen von Jura. Daß die Böhmisches Masse im Weißjura Meeresgebiet war, zum mindesten überwiegend, daran ist heute nicht mehr zu zweifeln (L. REUTER, Mittl. Oberrhein. Geol. Ver. 1935).

Schwelle, der im S ein Absinken des Vindelizischen Landes entsprach. Diese tithonische Regression erfaßte fast ganz Mitteleuropa, ganz Süddeutschland wurde trocken gelegt und große Teile wurden seither nicht mehr vom Meer erreicht. Bereits im Bathonium kam es im Pariser Becken zu einer ersten Regression, gegen Ende des Jura lag ganz Frankreich trocken, zuerst im W, dann im Osten. Nur die Rhonesenke, im Vorfeld der westalpinen Geosynklinale, zeigt dauernde Meeresbedeckung über die Jura-Kreide-Grenze hinaus.

Mit dem Absinken des Vindelizischen Lands wanderte die argovisch-schwäbische Fazies, bestehend aus hellen verschwammten Mergeln und Kalken gegen S und wurde von NW her durch die Korallen- und Oolithkalke der raurakischen Fazies verdrängt. Am Ende des Malm war das Meer ganz auf die alpine Geosynklinale (Tethys) zurückgezogen, von einem brackischen Küstensaum, dem Purbeck, begleitet.

18. Literatur

- ALDINGER, H.: Die Paläogeographie des schwäbischen Jurabeckens. Eclog. Geol. Helvet. 61, S. 167-182; Basel 1968
- ARKELL, W.J.: The jurassic System in Great Britain. 681 S., 41 Taf., 97 Abb.; London 1933
- Jurassic Geology of the World. 806 S.; Edinburgh 1967
- ARLDT, Th.: Handbuch der Paläogeographie. 2. Bd.; Berlin 1919
- BEURLIN, K.: Erd- und Lebensgeschichte. 462 S., 227 Abb.; Leipzig 1939
- BUBNOFF, S.v.: Großzyklen und Evolution. Geol. Rd. 45, S. 17-28; Stuttgart 1956
- Einführung in die Erdgeschichte. 807 S., 65 Taf., 241 Abb.; Berlin 1956
- DACQUÉ, E.: Grundlagen und Methoden der Paläogeographie. 499 S., 79 Abb.; Jena 1915
- Die Erdzeitalter. 565 S.; München 1930

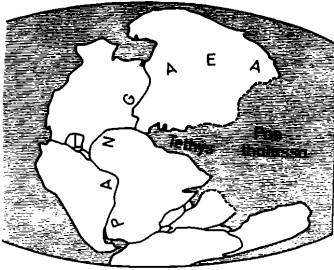
- BLOOS, G.: Über den Jura am Großen Haßberg. Stuttgarter Beitr. Naturkunde, B, 44, 53 S.; Stuttgart 1979
- Zur Stratigraphie und Ammonitenfauna des marinen Helvetangiums in Oberfranken. Stuttgarter Beitr. Naturkunde, Ser. B, 78, 59 S., 3 Taf.; Stuttgart 1981a
- Faziesentwicklung im tieferen Lias zwischen Coburg und Bayreuth (marin-litoral-terrestrisch). Jber. Mitt. Oberrhein. Geol. Ver., N.F. 63, S. 139-150, 4 Abb.; Stuttgart 1981b
- Shell beds in the lower Lias of South Germany. In: G. EINSELE & A. SEILACHER: Cyclic and event Stratification. 180 Abb.; Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York 1982
- BRINKMANN, R.: Jura. In: Abriß Hist. Geol. 12. Aufl.; Stuttgart (Enke) 1977
- DEECKE, W.: Die Herkunft der west- und süddeutschen Sedimente. S.B. Heidelberg. Akad. Wiss.; math. naturw. Kl., Abt. A, S. 1-17; Heidelberg 1920
- Mitteleuropäische Meeresströmungen der Vorzeit. Ibid., 1923, 1, 1-33; Heidelberg 1923
- DEHM, R.: Zeitgebundene Gesteine und organische Entwicklung. Geolog. Rundschau 45, S. 52-56; Stuttgart 1956
- DIENER, C.: Die Bedeutung der Zonengliederung für die Frage der Zeitmessung in der Erdgeschichte. Neues Jb. Miner. Geol. Paläont., Beil. Bd. 42, S. 65-172; 1918
- Grundzüge der Biostratigraphie. Leipzig 1925
- DONOVAN, D.T.: The geographical distribution of Lower Jurassic ammonites in Europe and adjacent areas. Publ. Syst. Ass. 7, S. 111-134; 1967
- EINSELE, G. & SEILACHER, A.: Cyclic and event Stratification. Springer-Verlag, Berlin etc. 1982

- ENAY, R.: Upper Jurassic (Tithonian) Ammonites. In "Atlas of Palaeobiogeography" (A. HALLAM, ed.), S. 297 307; Elsevier, Amsterdam, 1973
- FIEGE, K.: Sedimentationszyklen als Zeitmarken. Z. deutsch. geol. Ges. 118, S. 260 265; 1969
- FISCHER, E.: In welchen Meerestiefen haben sich unsere Juraschichten gebildet. Jahresb. Ver. vaterl. Naturkd. Württemberg; 1912
- FRANKE, H.W.: Methoden der Geochronologie. Verständl. Wissenschaft, 98, 132 S., 73 Abb.; Berlin (Springer), 1969
- FREBOLD, H.: Über zyklische Meeressedimentation im Lias beta. Leipzig 1923
- FREYBERG, B.v.: Zyklen und stratigraphische Einheiten im Mittleren Keuper Nordbayerns. Geol. Bavar. 55, S. 130 145; 1965
- GEYER, O.F. & GWINNER: Die schwäbische Alb und ihr Vorland. Stuttgart (Schweizerbart) 1979
- HALLAM, A. (ed): Atlas of Paleobiogeography. (Elsevier) Amsterdam, 1973
- Jurassic environments. 269 S., 71 Abb.; Cambridge 1975
- HILLEBRANDT, A.v.: Kontinentalverschiebung und die paläogeographischen Beziehungen des südamerikanischen Lias. - Geol. Rundschau 70, S. 570 581, 7 Abb.; Stuttgart 1981
- HÖLDER, H.: Jura. - 603 S.; 15 Abb.; Stuttgart (Enke) 1964
- Jurassic. In "Treatise on Invertebrate Paleontology, Part A, Introduction" (R.A. ROBINSON and C. TEICHERT, eds.), pp.A 390 - A 417. Geol. Soc. America and Univ. Kansas, 1979
- HOFFMANN, B.: Der Oberrheingraben zwischen Heidelberg und Offenburg während der Liaszeit. Z. deutsch. geol. Ges. 188, S. 236; 1966

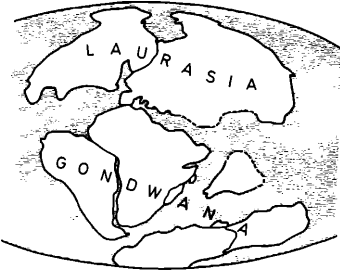
- HUBER, B.: Dendrochronologie. - Geol. Rd. 49, S. 120 131, 9 Abb.; 1960
- JÜNGST, H.: Die Meeresverbindung Nord-Süd-Deutschland in der Pylonotenzeit. Neues Jb. Miner. Geol. Paläont. B, BB 58; Stuttgart 1927
- Der Pfälzer Lias und seine paläogeographische Bedeutung. - Mitt. Pollichiana, N.F., 7, S. 145 168, 5 Abb.; Neustadt/W. 1938
- KLÜPFEL, W.: Der Lothringer Jura. - Jb. preuss. Geol. LA. 39; Berlin 1919
- KÖLBEL, H.: Die Paläogeographie des Jura im Nordteil der DDR. Ber. deutsch. Ges. Geol. Wiss. A, 12, S. 259 288, 14 Abb.; Berlin 1967
- KRUMBEIN, W.C. & SLOSS, L.L.: Stratigraphy and sedimentation. 2. ed., 660 S.; 1963
- KRYMGOLZ, G.Y.: Juraskaja sistema. 524 S.; Moskau 1972
- KUHN, O.: Paläogeographie des deutschen Jura, 74 S., 34 Abb.; Jena (G. Fischer VEB), 1953
- Probleme der Paläogeographie, Sedimentologie und Stratigraphie des Jura in Franken. - Diese Ber. 52 (für 1977), S. 64-185, 32 Abb.; Bamberg 1978
- LOTZE, F.: Steinsalz und Kalisalz. Teil 1, 465 S.; Berlin (Bornträger), 1957
- MENSINCK, H.: Beispiele für die stratigraphische Kondensation, Schichtlücke und den Leitwert von Ammoniten aus dem Jura Spaniens im Vergleich zu NW-Europa. Geol. Rdsch. 49, S. 70 82; Stuttgart 1960
- NEUMAYR, M.: Die geographische Verbreitung der Juraformation. Denkschriften math. naturw. Klasse Akad. Wissensch. Wien, 1; 1885
- POMPECKJ, J.F.: Die Bedeutung des schwäbischen Jura für die Erdschichte, 80 S.; Stuttgart (Schweizerbart) 1914

- REINECK, H.E.: Über Zeitlücken in rezenten Flachseesedimenten.
Geol. Rd. 49, S. 149 161; 1960
- RICHTER-BERNBURG, G.: Zur Frage der absoluten Geschwindigkeit geologischer Vorgänge. Z. Naturwiss. 37; Berlin 1950
- Über saline Sedimentation. Z. deutsch. geol. Ges. 105; Hannover 1955
- Isochrone Warven im Anhydrit des Zechsteins. 2. Geol. Jb. 74; Hannover 1957
- Zeitmessung geologischer Vorgänge nach Warven.
Korrelationen im Zechstein. - Geol. Rd., 49,
S. 132 148, 8 Abb.; Stuttgart 1960
- ROTHPLETZ, A.: Über die Einbettung der Ammoniten in die Solnhofener Schichten. Abh. Bayer. Akad. Wiss. II. Kl., 24; München 1909
- SCHLOZ, W.: Zur Bildungsgeschichte der Oolithenbank (Hettangium) in Baden-Württemberg. - Arb. Inst. Geol. Paläont. Univ. Stuttgart, N.F. 67, S. 101 212; 1972
- SCHMIDT, H.: Bionomische Probleme des deutschen Lias-Meeres.
Geol. der Meere und Binnengewässer, 3, S. 238 256;
1939
- SCHINDEWOLF, O.H.: Der Zeitfaktor in der Geologie und Paläontologie.
Stuttgart 1950
- SCHLEGELMILCH: Die Ammoniten des süddeutschen Lias. 212 S.,
52 Taf.; Stuttgart (G. Fischer), 1976
- SCHNEIDER, F.K.: Rhythmische Bankung altkretazischer Tongesteine.
Fortschritte Geol. Rheinld. Westfal. 7, S. 353
372, 13 Abb.; Krefeld 1964
- SCHOTT, G.: Geographie des Atlantischen Ozeans. - Hamburg
(Boysen), 1944
- SCHUCHERT, Ch.: Atlas of paleogeographic maps of North America.
177 S.; New York 1955

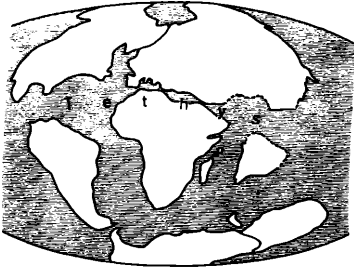
- SCHWARZBACH, M.: Berühmte Stätten geologischer Forschung. 322 S.; Stuttgart (Wiss. Verlagsges.) 1970
Das Klima der Vorzeit. 330 S.; Stuttgart (Enke) 1974
- SMITH, A.G.: Phanerozoic Equal - Area maps. Geol. Rundschau, 70, S. 90 127, 30 Abb.; Stuttgart 1981
- SMITH, A.G. & BRIDEN: Mesozoic and cenozoic palaeocontinental maps. Cambridge 1977
- THENIUS, E.: Meere und Länder im Wechsel der Zeiten. 200 S., 73 Abb.; Berlin (Springer) 1977
Verständl. Wissenschaft, 81; Berlin 1972
Alfred WEGENER (1880 1930) der Begründer der Kontinentalverschiebungstheorie. Universum, 35, S. 369 377, 8 Abb.; Wien 1980
- UHLIG, W.: Die marinen Reiche des Jura und der Unterkreide. Mittl. Geol. Ges., Wien, 3, S. 329 448; Wien 1911
- VOLLRATH, P.: Die Transgression des Jurameeres zwischen Schwäbischem und Schweizer Jura. Cbl. Mineral. Geol. Paläont.; Stuttgart 1924
- WAGNER, G.: Einführung in die Erd- und Landschaftsgeschichte. 3. Aufl., 694 S.; 591 Abb.; Öhringen 1960
- WALTHER, J.: Geschichte der Erde und des Lebens. Leipzig 1908
- ZIEGLER, B.: Boreale Einflüsse im Oberjura Westeuropas ? Geol. Rundschau 54, S. 250 261; 1965
Ammonite biostratigraphy und provincialism: Jurassic-Old World. The Ammonoides, Systemat. Assoc. Special Vol. 18, Ed. House Sen.; S. 433 - 457; Acad. Press London, New York 1980.
- N a c h t r a g
- DEECKE, W.: Jahreszeitliche Spuren in der geologischen Stratigraphie. - Ber. Naturforsch. Ges. Freiburg i.Br., 30, S. 335 352; 1930.



Trias
ca. 200 Mill. J.



O. Jura
ca. 140 Mill. J.



O. Kreide
ca. 70 Mill. J.

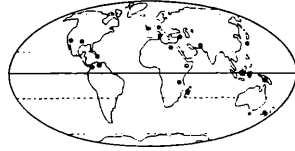
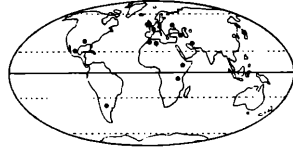
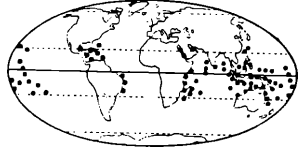


Abb. 1 links: Rekonstruktion der Kontinente und Ozeane nach R.S. DIETZ & J.C. HOLDEN (Scientific American 223, New York 1970) für die Trias- (ca. 200 Mio. Jahre), Ober-Jura- (ca. 140 Mio. Jahre) und Ober-Kreide-Zeit (ca. 95 Mio. Jahre). Vereinfacht umgezeichnet. Pangaea als Ausgangsbasis. Laurasia = einstiger Nord-, Gondwana = einstiger Südkontinent, Tethys einstiges "Mittelmeer", Panthalassa einstiger Ozean. - Aus THENIUS 1980

rechts: Verschiebung des äquatorialen Korallenriffgürtels seit Jura. Aus SCHWARZBACH 1949

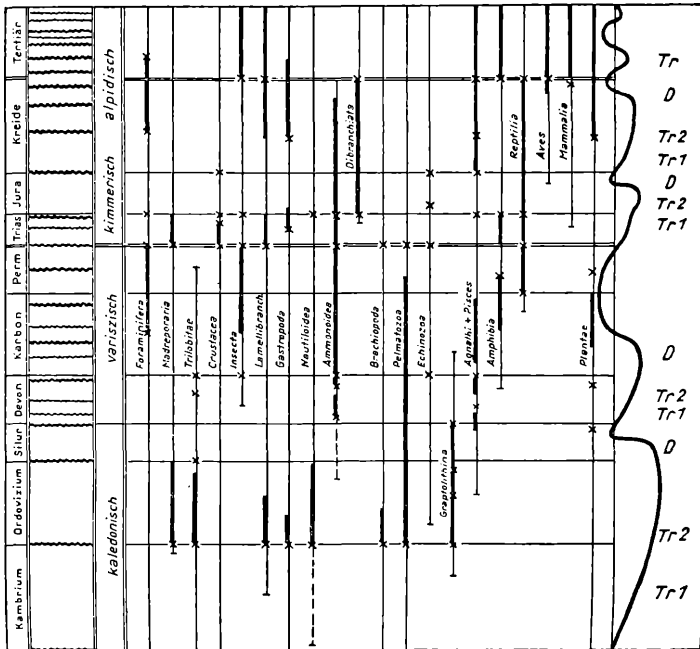


Abb. 1b Biologische Entwicklung nach O.H. SCHINDEWOLF mit Beifügung des epirogenetischen Oszillogramms.

Kreuze: Erscheinen und Verschwinden von Tierstämmen.

Dicke Striche: Blütezeiten. Nach S.v. BUBNOFF 1956

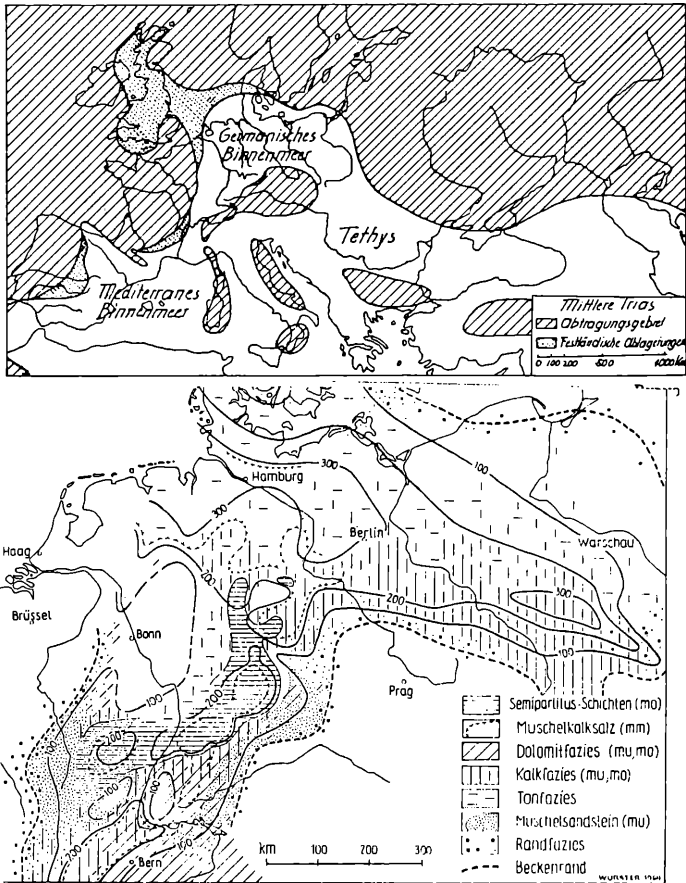


Abb. 2 Oben: Paläogeographie des Muschelkalks. Nach Gg. WAGNER 1960

Unten: Paläogeographie des Muschelkalks. Nach WURSTER 1968

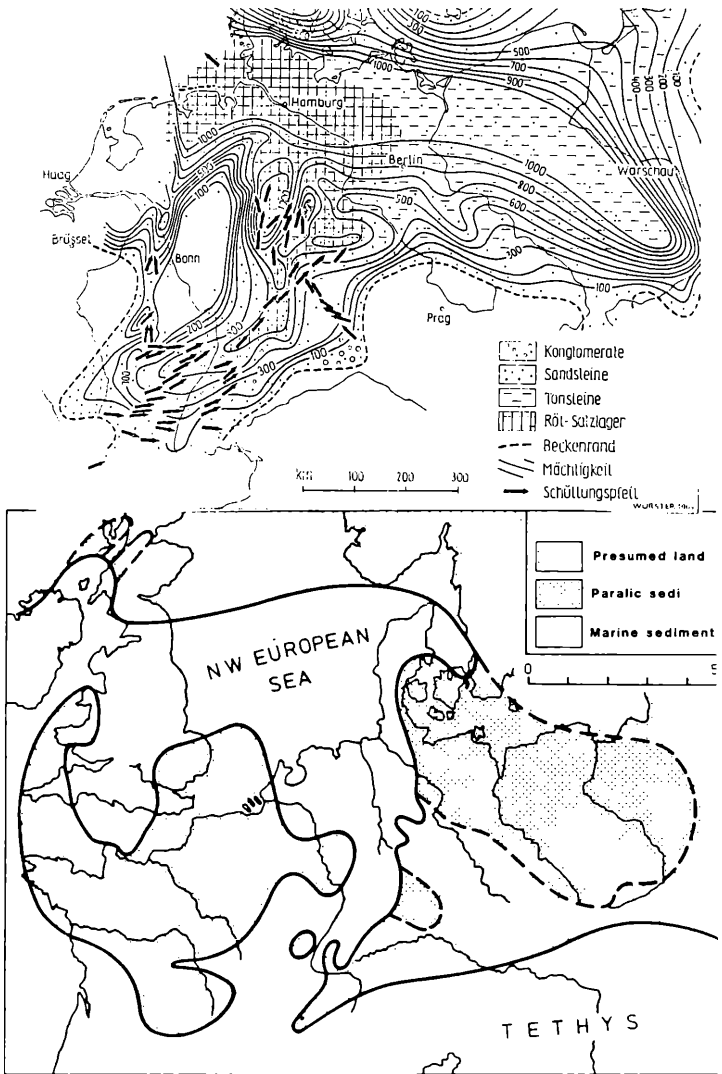
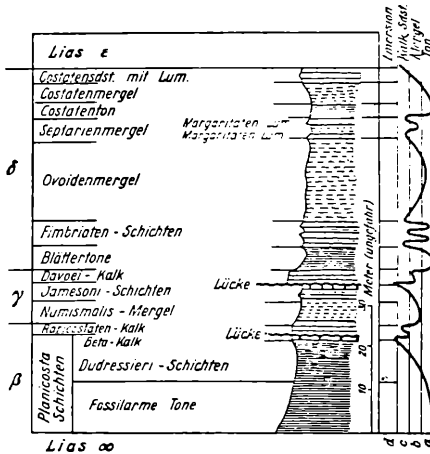


Abb. 3 Unten: Paläogeographie der ausgehenden Keuperzeit (Rhät) in Mitteleuropa. Nach WILL (1969) und A. HALLAM & Z.EI. SHAARAWAY 1982 (Lethaea 15).

Oben: Buntsandstein in Deutschland. Nach WURSTER 1968



	Unterstufen	Zonen	NW-Deutschland	BRAND 1949
Malm	Ober-Oxfordien	Dec. decipiens	Mittl Korallen-oolith	
		Per. cautisnigrae	Unt Korallen-oolith	
	Mittel-Oxfordien	Per. plicatilis	Heersumer Sch.	
Dogger	Unter-Oxfordien	Card. cordatum		reduziert!
	Ober-Callovien	Quenst. mariae		
		Quenst. lamberti		
	Mittel-Callovien	Kosmoc. spinosum od. Pelt. athleta	Ornatenton oder Dogger f	
		Kosm. castor & pollux oder Erymn. coronatum		
		Kosm. jason		
	Unter-Callovien	Sigal. calloviense		
		Propl. koenigi		
	Ober-Bathonien	Clyd. discus	Aspid-Sch.	6
		Oxyn. aspidoi	Corn-brash	

Abb. 3a Oben: Rhythmische Gliederung des lothringer Mittellias mit gelegentlicher Verflachung (Kälke, Bruchschill) und Emersionslücken. Rechts das zugehörige Oszillogramm. Nach H. FREBOLD

Unten: Stratigraphie (Zonenfolge) und fazielle Ausbildung (Schichtenfolge) des Callovium und Oxford in NW-Deutschland. Nach LUTZE 1960

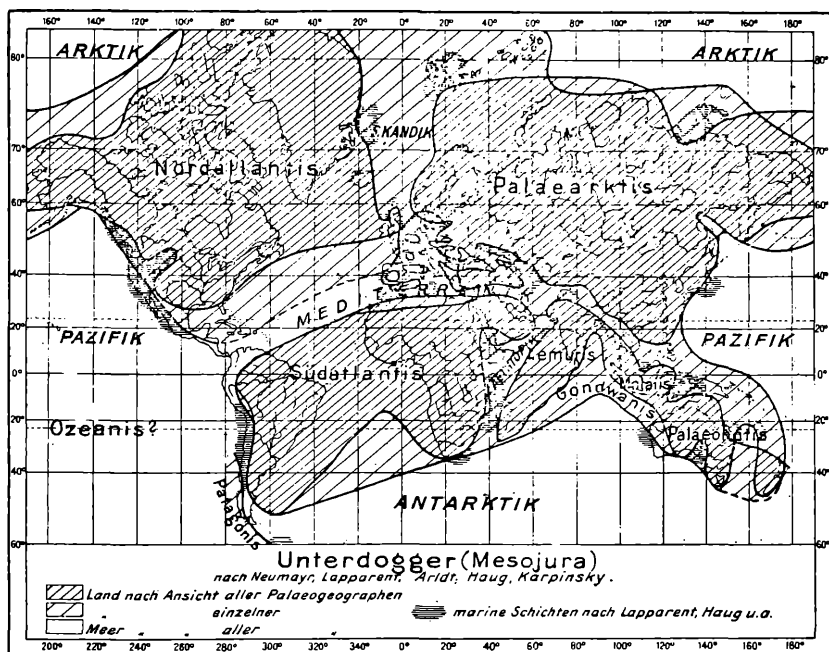


Abb. 5 Paläogeographie des Unterdogger; nach Th. ARLDT
1919

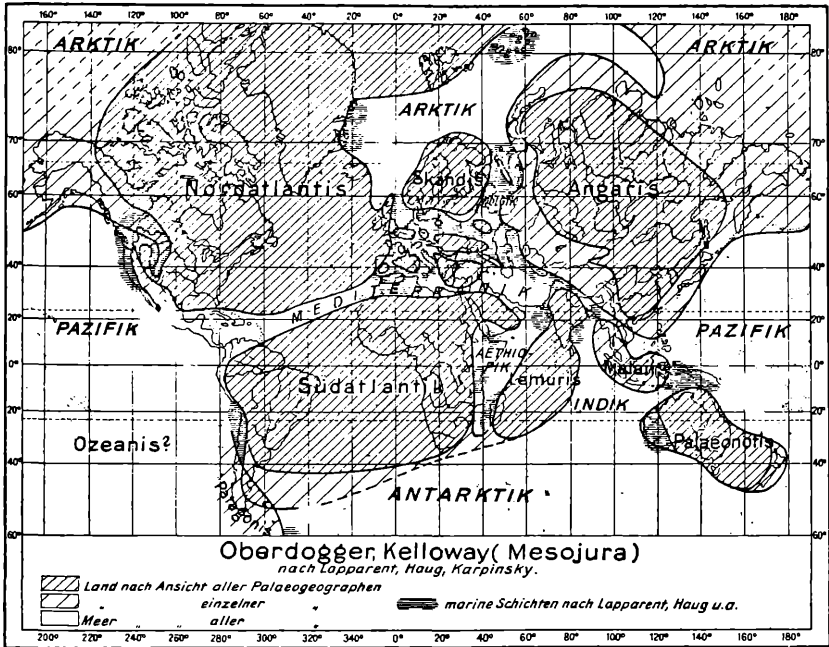


Abb. 6 Paläogeographie des Oberdogger; nach Th. ARLDT
1919

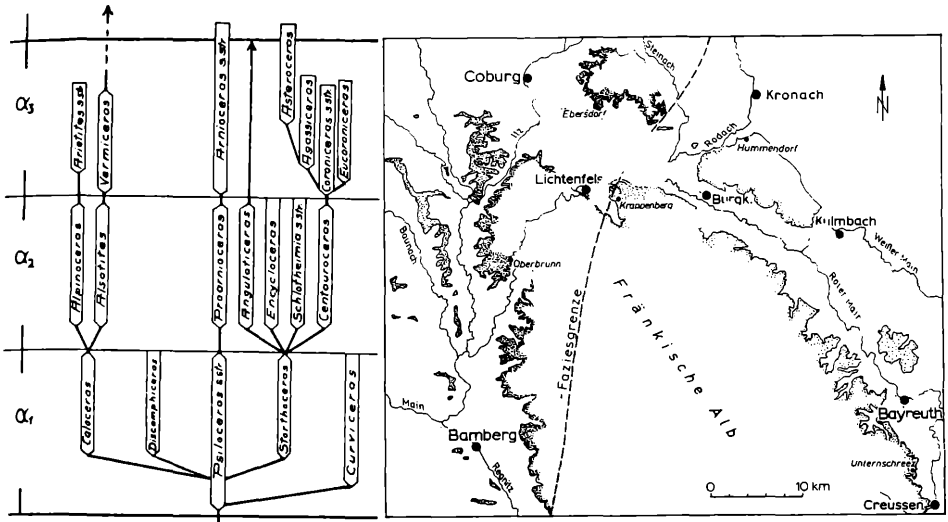


Abb. 8 links: Der Stammbaum der Ammonitengattungen
des Lias alpha nach W. BLIND 1963

rechts: Fazies des Lias alpha 1 2, punktiert
ist der Ausstrich des Un. Lias N und
0 Bamberg; nach G. BLOOS 1981

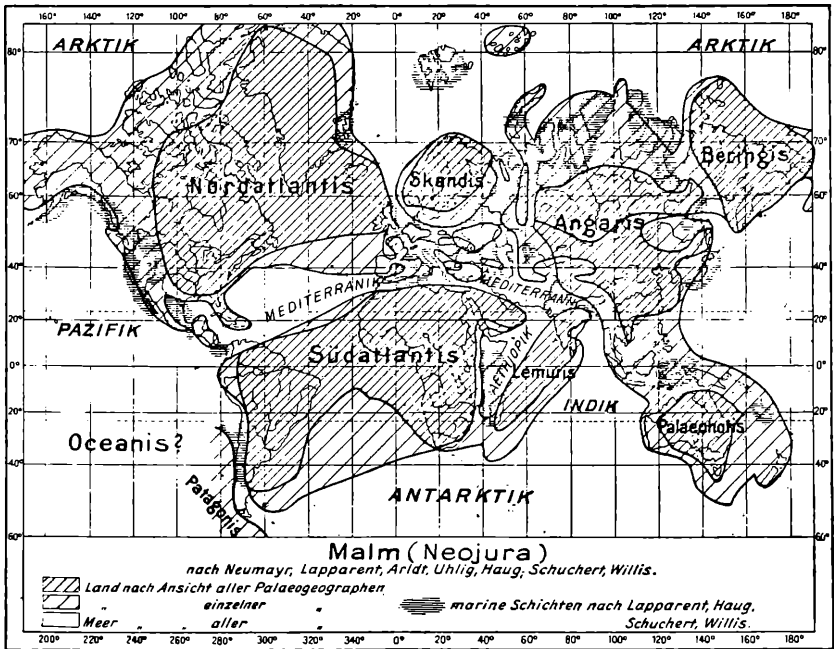


Abb. 7 Paläogeographie des Malm; nach Th. ARLDT 1919

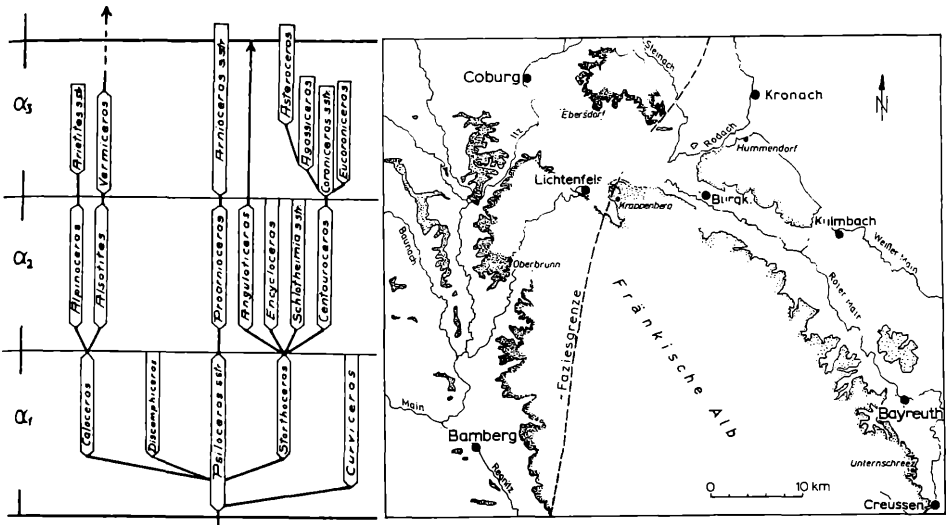


Abb. 8 links: Der Stammbaum der Ammonitengattungen
des Lias alpha nach W. BLIND 1963

rechts: Fazies des Lias alpha 1 2, punktiert
ist der Ausstrich des Un. Lias N und
O Bamberg; nach G. BLÖSS 1981

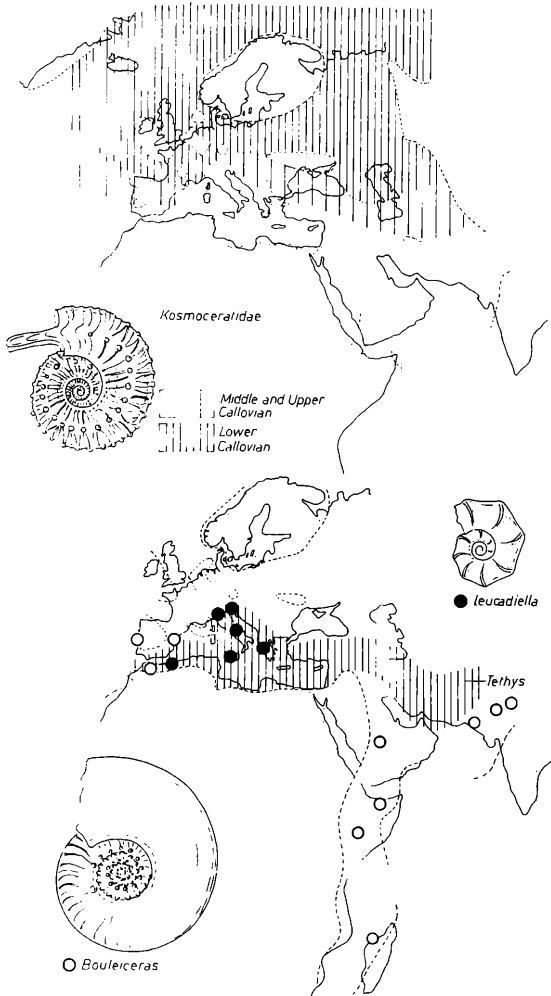


Abb. 9 oben: Paläogeographie des Callovium in Europa und Verbreitung der Kosmoceratidae; nach CARIOU 1973 und B. ZIEGLER 1980

unten: Paläogeographie des Toarcium (Ob. Lias) und Verbreitung zweier Ammoniten in Europa; nach HOWARTH 1973 und ZIEGLER 1980

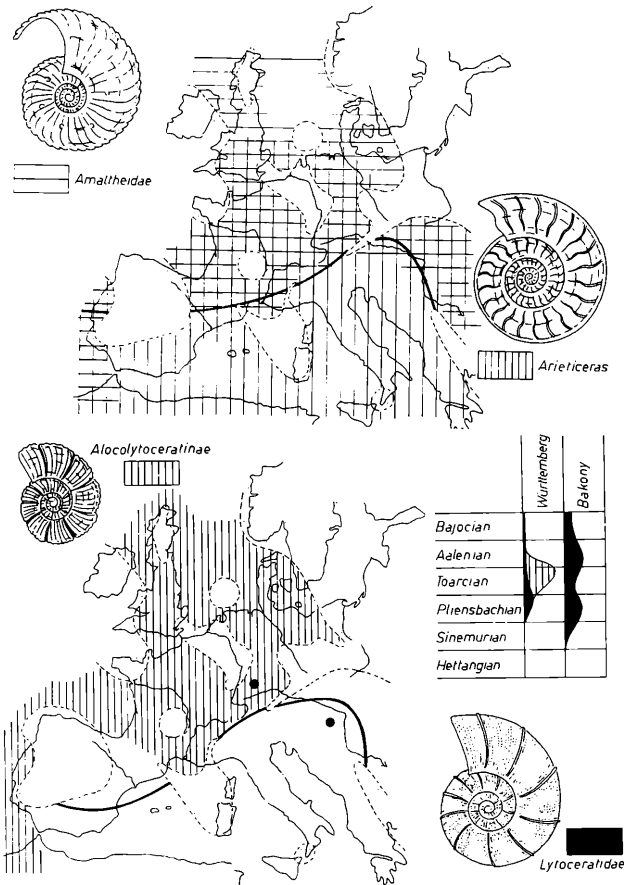


Abb. 10 oben: Paläogeographie des Ob. Pliensbachtium (Lias delta), in Europa und Verbreitung der Amaltheidae und von Arieticeras (Hildoceratide), punktiert angenommene Landregionen, die dicke Linie zeigt den Nordrand der Tethys; nach ZIEGLER 1980

unten: Paläogeographie des Toarc und Unt. Aalen in Europa. Dargestellt wird die Verbreitung der von zwei Ammonitengruppen. (Festland fein punktiert); nach GECZY, GUEX; aus ZIEGLER 1980



Abb. 11 Paläobiogeographie der dickschaligen Warmwasser-Muscheln *Plicatostylus*, *Lithiotis* und *Opisoma* im Lias, Meeresverbreitung im Toarcium, Landgebiete gerastert, Lage der Paläokontinente nach SMITH & BRIDEN 1977. Es handelt sich um die Zeit des Lias epsilon bis zeta; nach HILLEBRANDT 1981

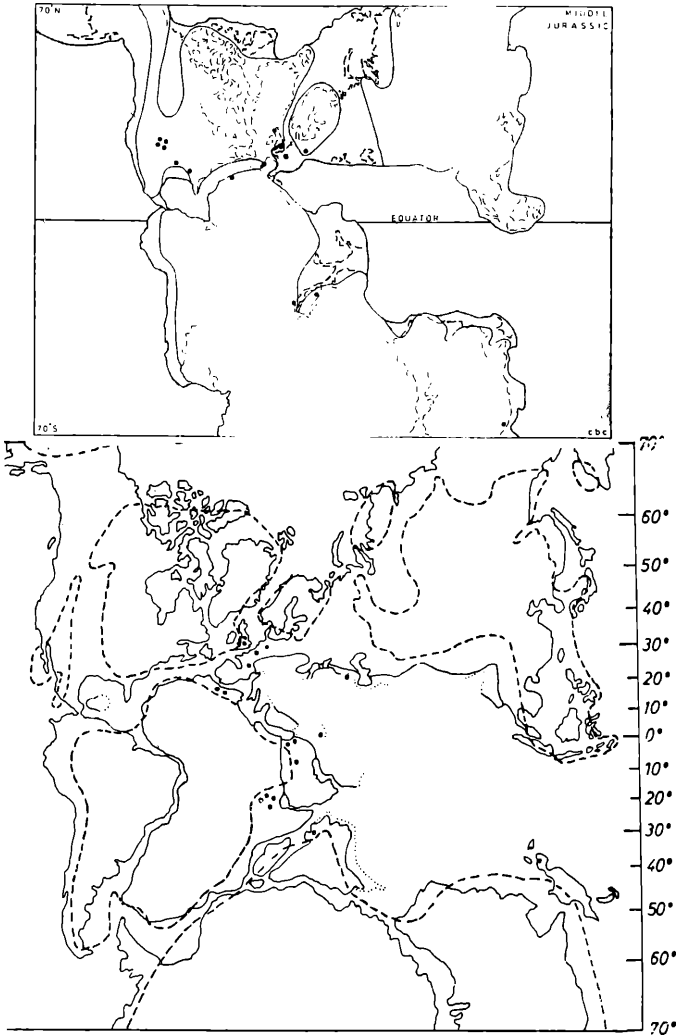


Abb. 12

oben: Paläogeographie des mittleren Jura (Dogger). Die Kontinente (punktiert) waren damals noch nicht getrennt, sondern bildeten eine Einheit. Die großen Punkte bedeuten jurasische Wirbeltiervorkommen terrestrischer Herkunft. EA Euramerika, T Turgai-See. Nach COX 1974, in Anlehnung an SMITH, BRIDEN & DREWRY 1973

unten: Die Lage der Fundpunkte von *Pachyerymnoceras* und *Pachyceras*, aber dargestellt in einer mobilistischen paläogeographischen Rekonstruktion nach A.G. SMITH et al. 1973, abgeändert; Verteilung von Land und Meer stark vereinfacht. Nach ZEISS (Paläont. Z. 48) 1974

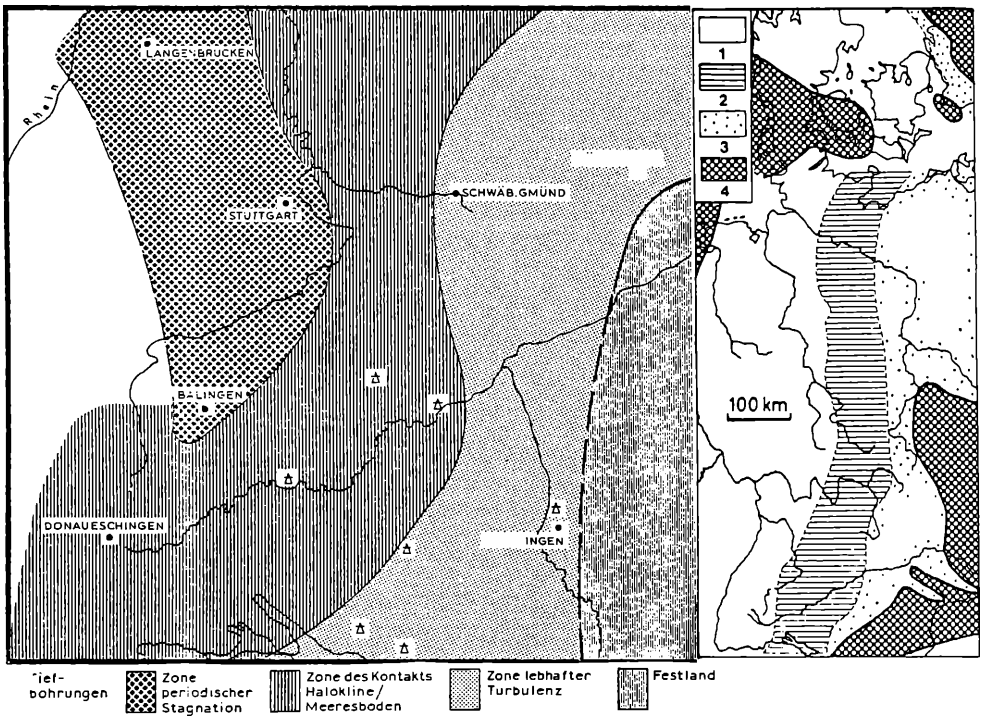


Abb. 13 rechts: Paläogeographie des Hettangium und frühen Sinemurium in Mitteleuropa.

- 1 Schiefertone mit Kalksteinbänken
- 2 Schelfgürtel aus Sandstein
- 3 Ästuarine und fluviatile Zone
- 4 Festland; nach BLOOS in EINSELE & SEILACHER 1982

links: Fazieszonen des Sinemurium (Lias alpha 3 beta) in Baden-Württemberg; nach H. ALDINGER 1968

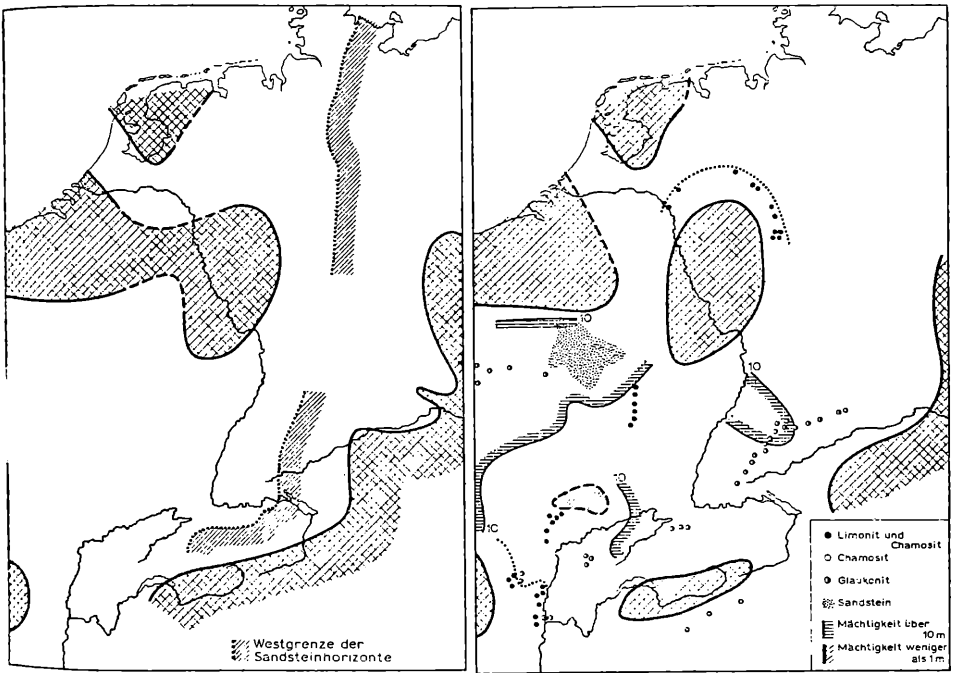


Abb. 14 rechts: Vermutete Verteilung von Land und Meer und wichtige Eisenmineralien im Lias gamma (Unt. Pliesbachium), nach verschiedenen Autoren zusammengestellt; nach H. ALDINGER 1968

links: Land und Meer im Unt. Lias und Westgrenze der Verbreitung von kompakten Sandsteinhorizonten vor der Ostküste; nach H. ALDINGER 1968 (vgl. Abb. 13, links)

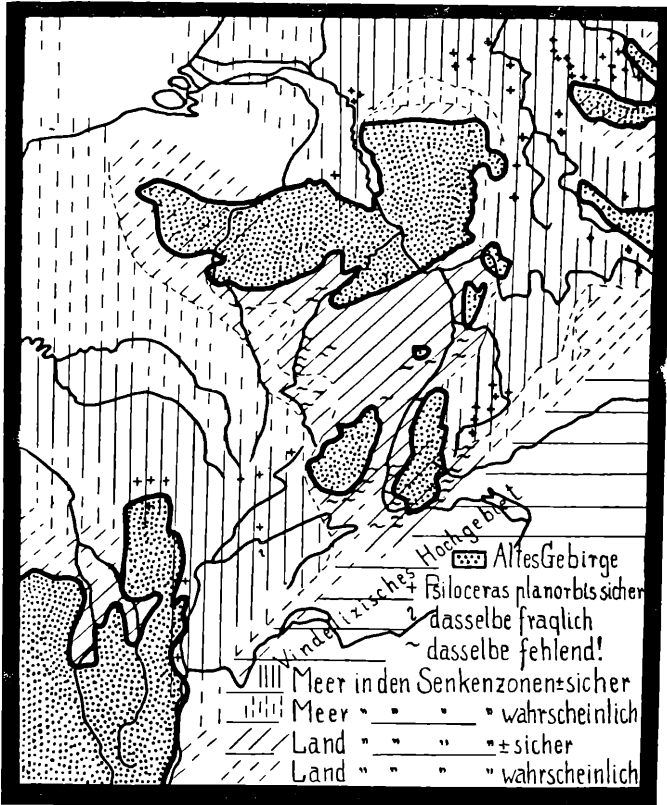


Abb. 14a Paläogeographie des tiefen Lias alpha (Planorbis-Zeit) von SW-Deutschland; nach H. JÜNGST 1938

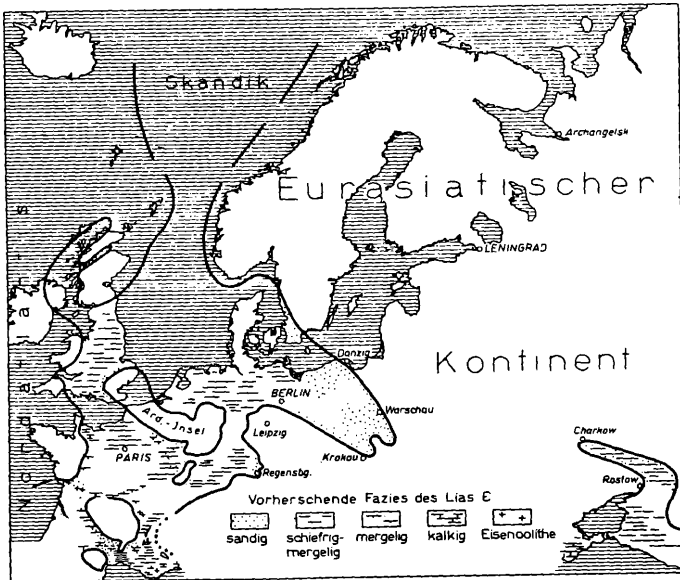


Abb. 14b Paläogeographie des außeralpinen Europa im Lias epsilon. Südlich der Ardenneninsel trennt die Alsatische Straße die Vogesenschwelle ab. Links unten die große Masse des Zentralplateau mit einer südlich davon gelegenen kleineren Insel; nach B. BROCKAMP 1944

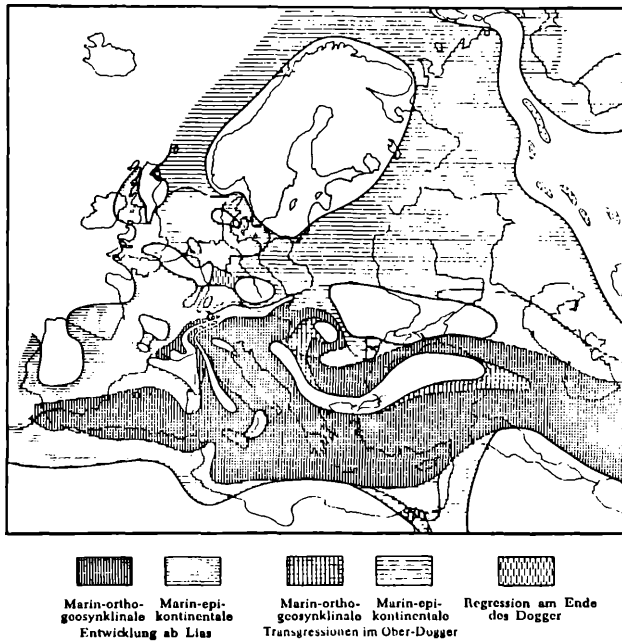


Abb. 15 Paläogeographie des Jura in Europa; nach
R. BRINKMANN 1977

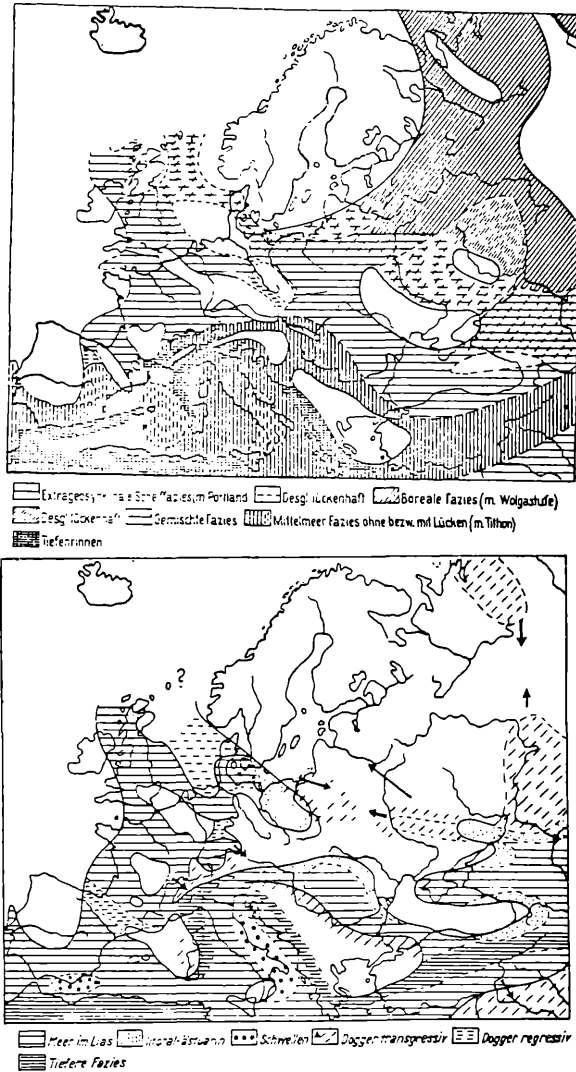


Abb. 16 oben: Der Oberjura in Europa; nach S. v. BUBNOFF 1956
 unten: Der tiefere Jura in Europa; nach S. v. BUBNOFF 1956

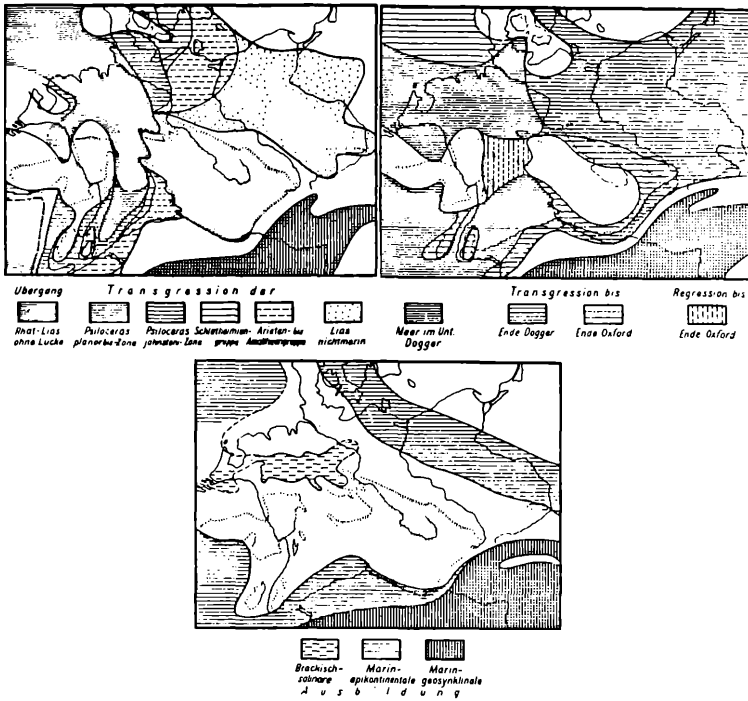


Abb. 17 Paläogeographie des Jura in Mitteleuropa:
oben links: Lias. Oben rechts: Dogger und Unt.Malm.
unten: Ob. Tithon; nach R. BRINKMANN 1977

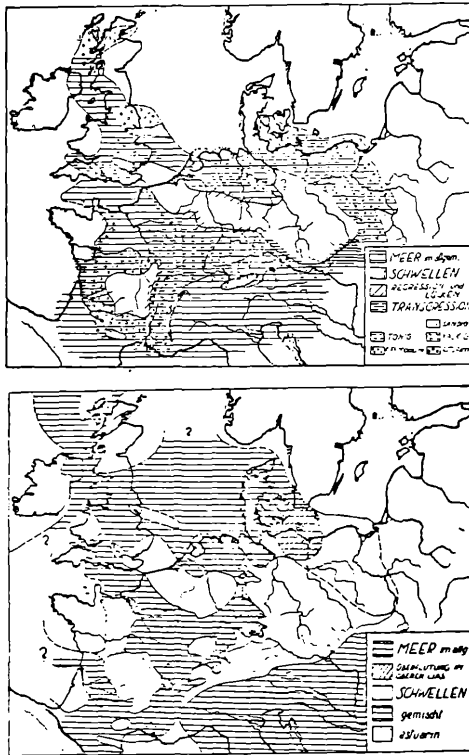


Abb. 18 oben: Paläogeographie des Bathonium (Ob. Dogger) in Europa; nach S. v. BUBNOFF 1956

unten: Lias in Mitteleuropa; nach S. v. BUBNOFF 1956

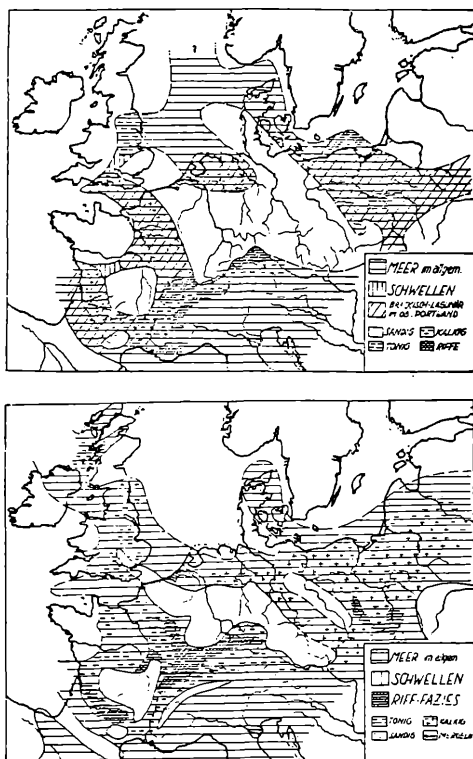


Abb. 19 oben: Paläogeographie des Portland (Ob. Jura) in Mitteleuropa; nach S. v. BUBNOFF 1956

unten: Untermalm (Oxford) in Mitteleuropa; nach S. v. BUBNOFF 1956

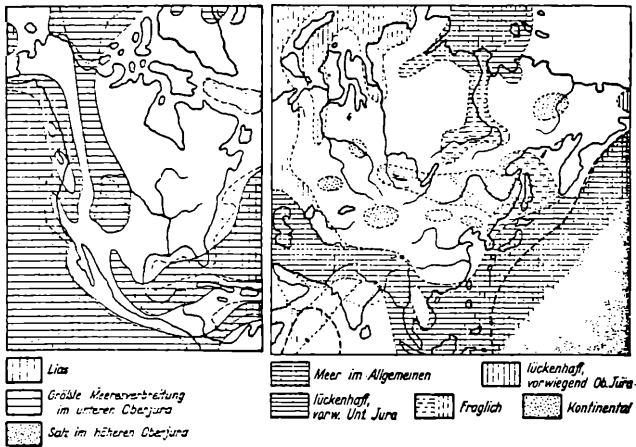


Abb. 20 links: Der Jura in Nordamerika; nach SCHUCHERT, aus S. v. BUBNOFF 1956

rechts: Der Jura in Asien; nach S. v. BUBNOFF 1956

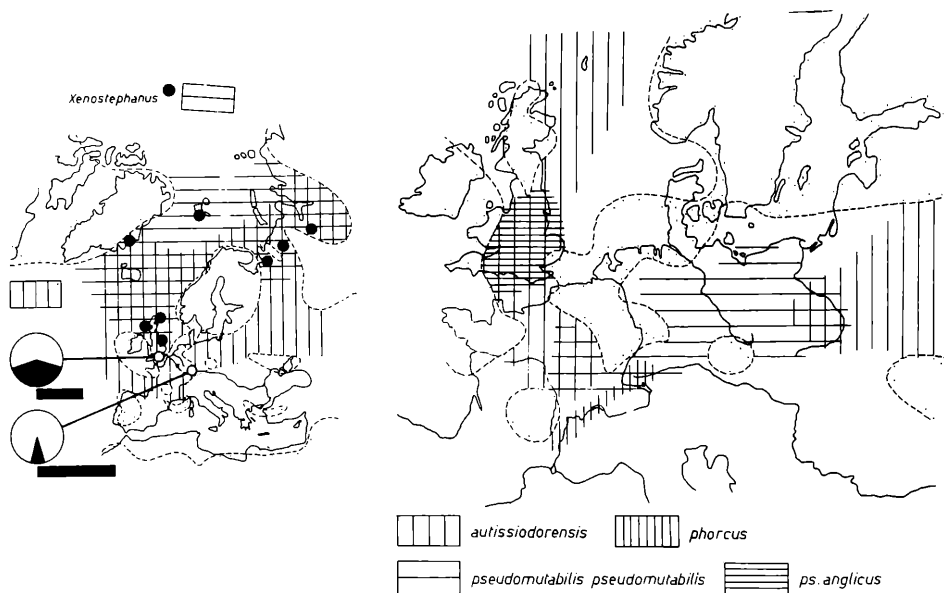


Abb. 21 links: Paläogeographie des Kimmeridge in Europa. Es wird die Verbreitung verschiedener Ammoniten gezeigt. Große Punkte *Xenostephanus*, sonst *Aulacostephanus*; nach H. ZIEGLER 1980.

rechts: Kimmeridge, mit der Verbreitung von *Aulacostephanus*; nach B. ZIEGLER 1980

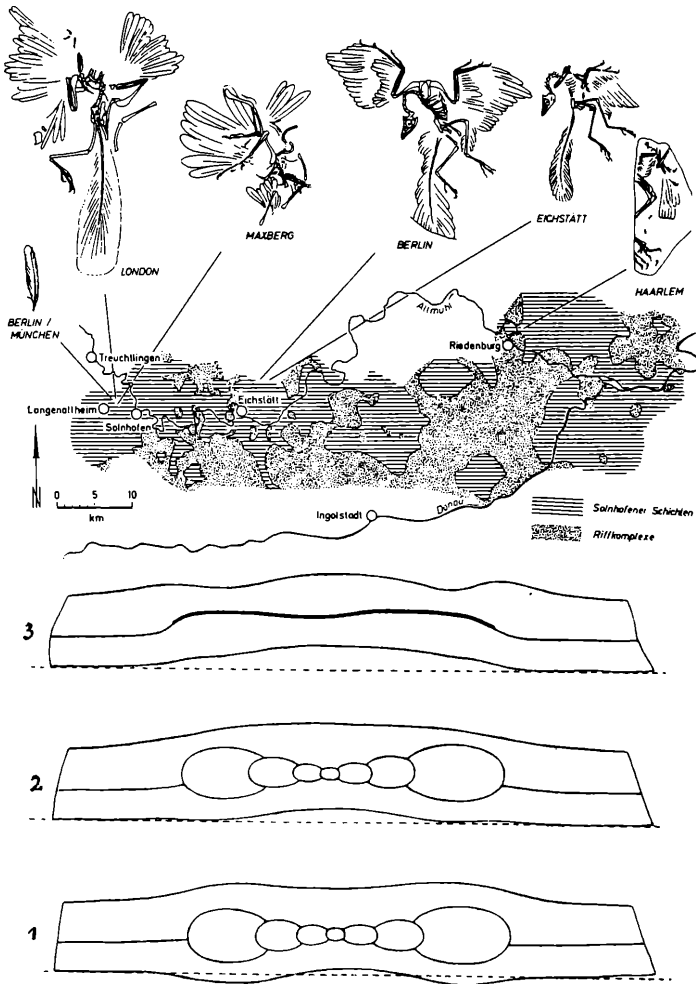
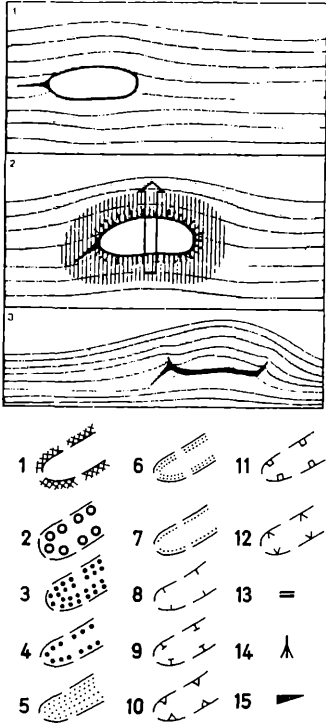


Abb. 21a unten: Schematische Darstellung der Einbettung (1), des Auftriebes (2) und der Zusammenpressung (3) eines Perisphincten-Gehäuses zwischen zwei Schlammschichten. Die Oberplatte samt dem zusammengequetschten Gehäuse, das durch die dunkle breitere Linie angedeutet ist, ist jedoch nicht theoretisch konstruiert, sondern nach dem Querbruch einer wirklich in der Staatssammlung vorhandenen Platte gezeichnet. Man beachte auch die wechselnde Form der Dellen und Wülste, welche auf den Oberflächen der Schlammschichten entstehen; nach A. ROTHPLETZ 1909.

oben: Verbreitung der Archäopteryx-Fundschichten (Solnhofener Plattenkalke) im Bereich des südlichen Fränkischen Juras in Bayern. Während der Oberjurazeit, vor etwa 150 Millionen Jahren, wurden sie zwischen ausgedehnten Riffkomplexen in lagunenartigen Meeresbecken abgelagert; nach P. WELLNHOFER 1982



Legende zu Abb. 23 26.

- Abb. 22 oben: Die Einbettung eines großen Ganoidfisches im Solnhofener Plattenkalk; nach VIOHL
- unten: Legende zu den folgenden Abbildungen (23 - 26).
Nach KÖLBEL 1967

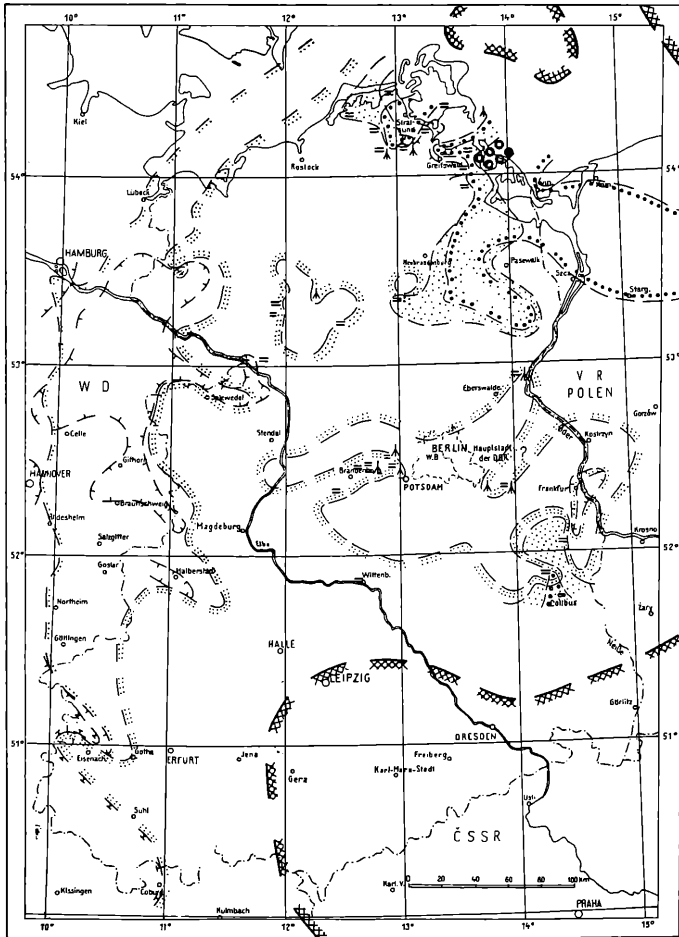


Abb. 23 Paläogeographie des Hettangium, der Küsten-Verlauf bleibt bis zum Aalenium wenig verändert; nach KÖLBEL 1967

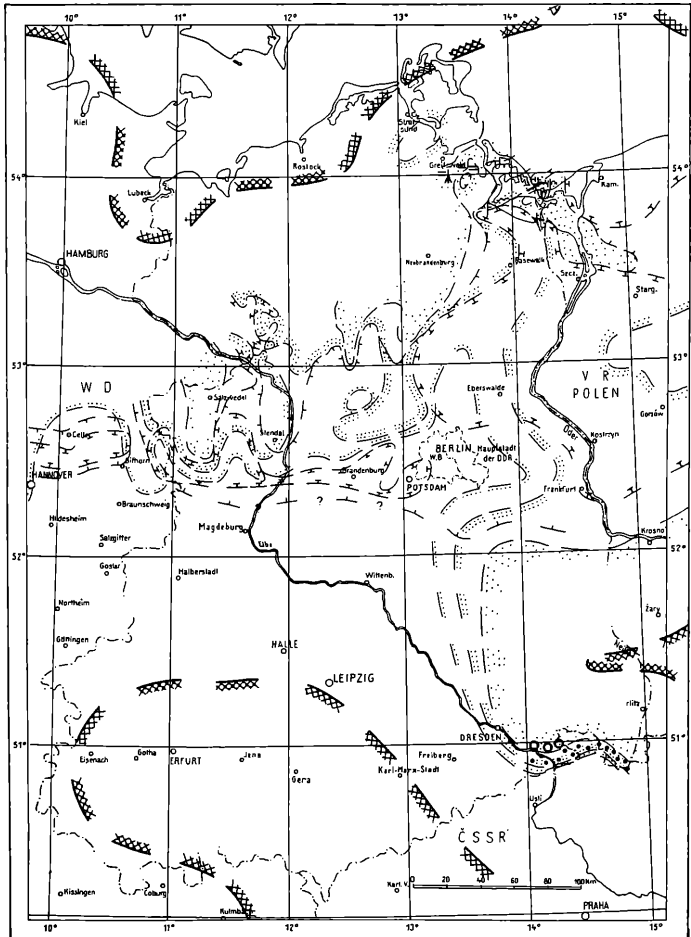


Abb. 24 Paläogeographie des Callovium; nach KÖLBEL 1967. Der Küstenverlauf ist in den Heersumer Schichten noch kaum verändert.

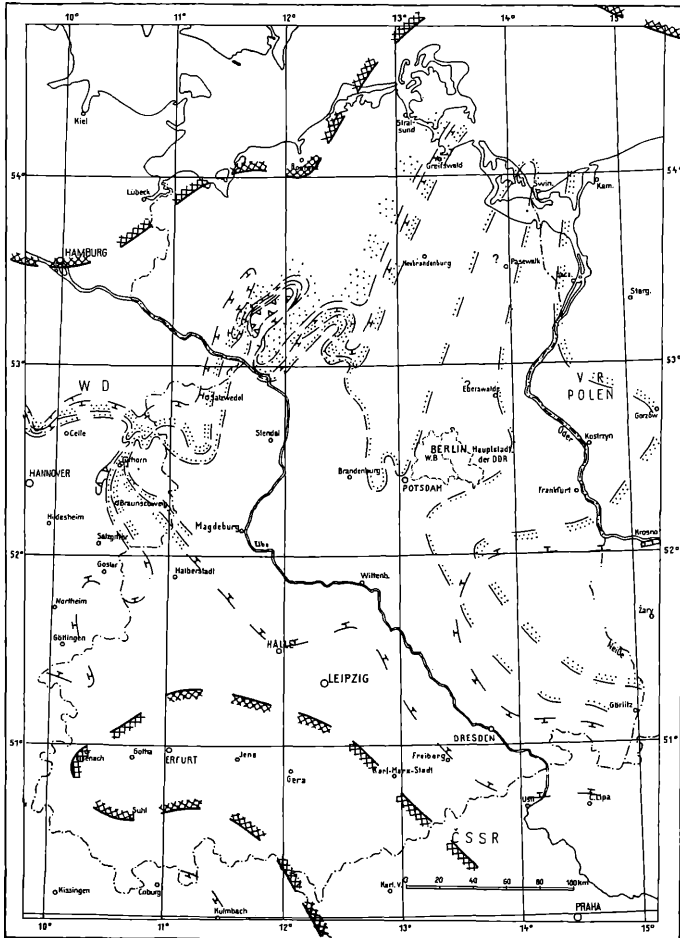


Abb. 25 Paläogeographie des höheren Mittelloxford und des Ob. Oxford (Korallenoolith); nach KÖLBEL 1967. Erst im Kimmeridge stößt das Meer über Gotha und Erfurt weit nach Westen vor.

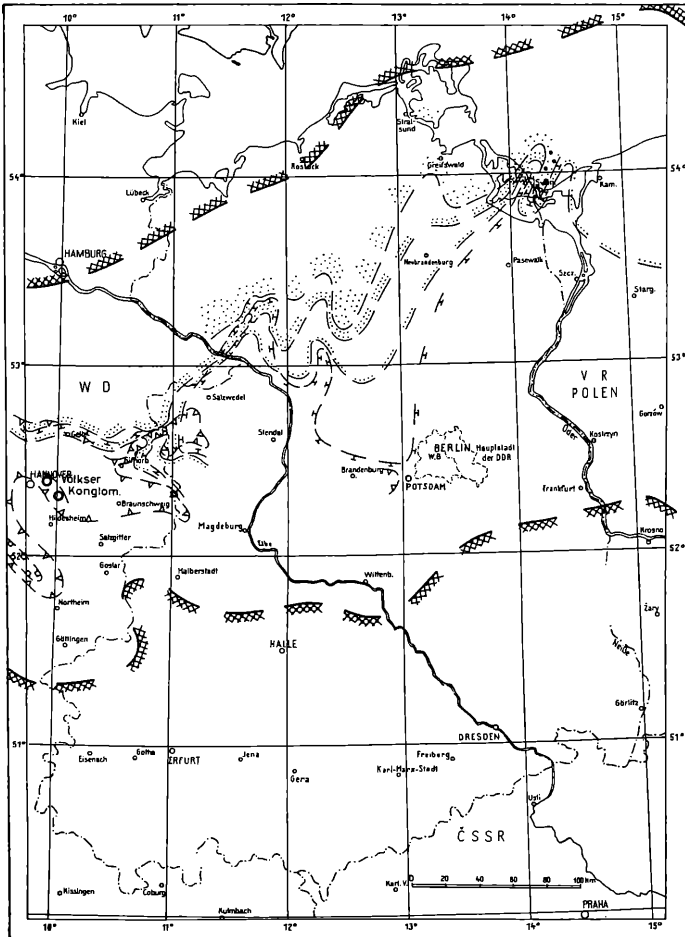


Abb. 26 Paläogeographie des Wolga (Tithon und Teil des Berrias; etwa Portland oder Obermalm 1 - 6); nach KÖLBEL 1967

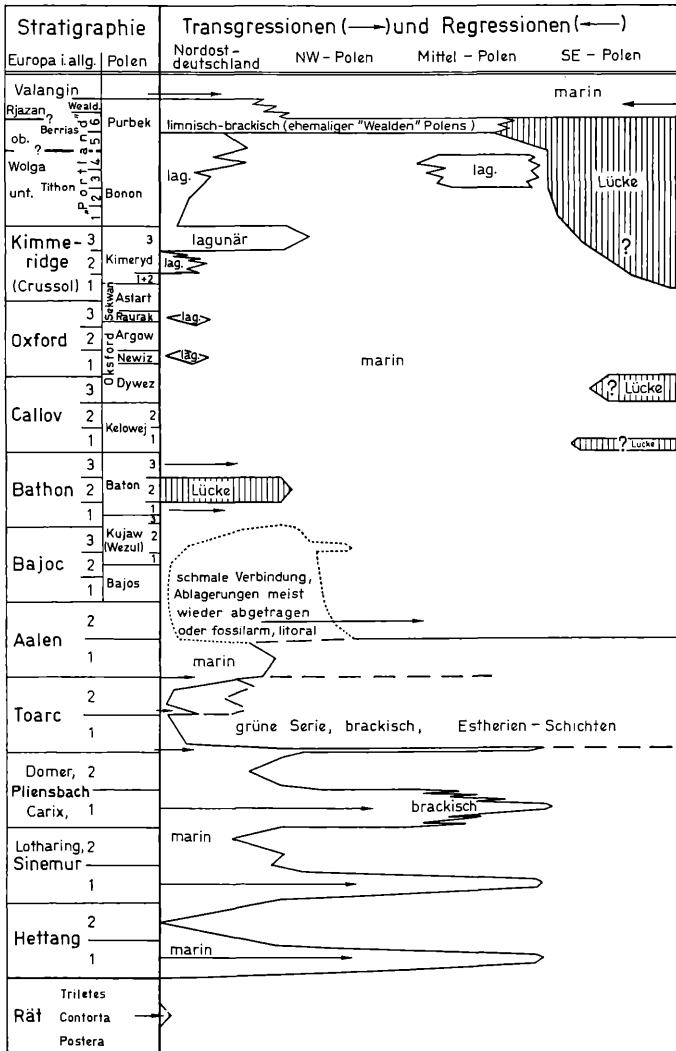


Abb. 27 Schematische Tabelle der Transgressionen und Regressionen in Nordostdeutschland und Polen. (Der unter SE-Polen im Bereich Rjazan-Valangin nach links zeigende Pfeil bedeutet Transgression nach W!); nach KÖLBEL 1967

Anschrift des Verfassers:

Prof.Dr. Oskar KUHN
Winthirstraße 31
8000 München 19