Werk

Titel: Über die Sedimente der Flachsee im Lothringer Jura

Autor: Klüpfel, Walther

Ort: Engelmann

Jahr: 1917

PURL: https://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?345572157_0007|log34

Kontakt/Contact

Digizeitschriften e.V.
SUB Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 1
37073 Göttingen

info@digizeitschriften.de

I. Aufsätze und Mitteilungen.

Über die Sedimente der Flachsee im Lothringer Jura.

Von **Dr. Walther Klüpfel** (Metz).

Vorgetragen am 8. Januar 1916 in der Hauptversammlung der Geologischen Vereinigung zu Frankfurt a. M.

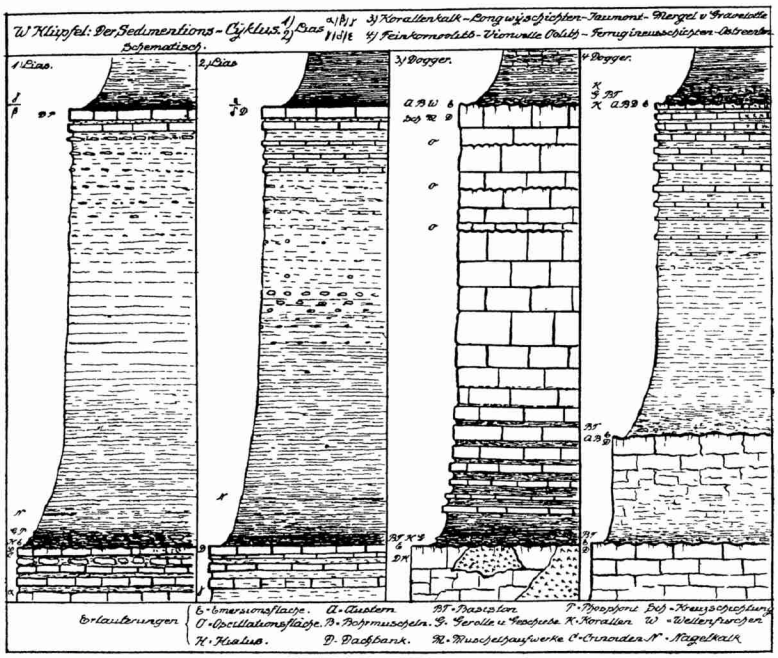
(Mit Tafel III u. IV und 1 Textfigur.[1])

Im folgenden möchte ich in Form einer vorläufigen Mitteilung mit Bezug auf bekannte Probleme der Stratigraphie Gedanken äußern, die sich mir beim Durchklopfen zahlreicher Profile im Lothringer Jura aufgedrängt haben. Es handelt sich dabei in erster Linie um die Gesetzmäßigkeit in der Ablagerung der Sedimente. Es gelang mir nämlich 30 bis 40 »Transgressionsflächen« im Lothringer Jura nachzuweisen, und somit schien der Versuch einer Erklärung des Sedimentwechsels erleichtert. Schon im Jahre 1857 hat HÉBERT in der Arbeit »Les mers anciennes et leurs rivages dans le bassin de Paris, ou classification des terrains par les oscillations du sol« einige besonders die Umrandung des Pariser Beckens betreffende Beziehungen zwischen Stratigraphie und tektonischen Bewegungen eingehend behandelt und seine Ausführungen haben auch in Frankreich sehr anregend gewirkt. Auf deutscher Seite dagegen wurden diese Erscheinungen vielfach nicht registriert[2]) bzw. übersehen oder in ihrer Bedeutung und Tragweite häufig verkannt. Indessen haben in Lothringen WOHLGEMUTH, BLEICHER, JOLY, VAN WERVEKE, BENECKE und andere einige solcher Abwaschungsflächen namhaft gemacht. Erst in neuerer Zeit fängt man allgemein an, sich mit der Aufeinanderfolge und dem Wechsel der Sedimente in horizontaler und vertikaler Richtung zu beschäftigen, allerdings mit sehr verschiedenen Erklärungsversuchen. Ich verweise hier besonders auf die anregende Antrittsvorlesung POMPECKJS, auf Arbeiten von STILLE, BRANDES, ANDRÉE, DEECKE und anderen. Da nun das Interesse für derartige Probleme der Stratigraphie besonders lebhaft zu werden beginnt, erlaube ich mir in engster Anlehnung an meine Beobachtungen und an die Verhältnisse im Lothringer Jura einige Erörterungen anzuknüpfen:

[1]) Ich verdanke die photogr. Aufnahmen z. T. der Freundlichkeit meines Schwagers Herrn Amtsrichter M. FISCHER.

[2]) Vgl. z. B. STEINMANN: Erläuterungen zur Geologischen Übersichtskarte des westlichen Deutsch-Lothringen.

Der Lothringer Jura besteht aus verschiedenen Gesteinen im wesentlichen aus Ton, Mergel, Kalk und Sand. Doch sind diese Materialien nicht regellos verteilt. Vielmehr besteht eine gesetzmäßige, immer wiederkehrende Aufeinanderfolge von Ton, Mergel und Kalk. Diese Reihenfolge nenne ich einen **Sedimentations-Cyklus (Emersions-Cyklus).** Dieser Cyklus bildet die Einheit, aus der sich das ganze Gebirge aufbaut. Wenn wir uns einen solchen normalen Cyklus näher ansehen, so können wir an ihm mehrere ineinander übergehende Teile unterscheiden.



Beispiele von Sedimentations-Cyklen (Emersions-Cyklen) aus dem Lothringer Jura.

Die untere Region (Tonstadium) mit dem Basiston, darüber die Mittelregion (Mergelstadium) und die Oberregion (Kalkstadium) mit der Dachbank. Die Unterregion besteht in der Regel aus Tonen oder tonigen Mergeln[1]), die Mittelregion aus Mergeln, in denen sich Lagen von Knollen einstellen können, oder aus Kalkbänkchen mit Mergelzwischenlagen. Gegen die Oberregion schreitet die begonnene Verkalkung weiter fort und es kommt zur Bildung fester Kalke. Letztere schließen gegen oben mit einer besonders festen und kompakten, oft splittrig-harten Dachbank ab. Die Oberfläche dieser Dachbank ist vollkommen eben und sieht

[1]) In den Tonen finden sich zuweilen Nagelkalkbänkchen.

abgewaschen aus[1]). Meist ist diese »Emersionsfläche« von zahlreichen Austern bewachsen, welche sich, wie um der Brandung eine möglichst geringe Angriffsfläche zu bieten, flach ausgebreitet ihrer Unterlage anschmiegen. Fernerhin zeigt die Emersionsfläche zahlreiche Löcher von Bohrmuscheln und dergl., welche mit ihren schlammerfüllten Gängen die Dachbank vertikal durchziehen. Zuweilen lassen sich (z. B. beim Jaumont-Oolith) wohlausgebildete Wellenfurchen beobachten, welche mit Austern bewachsen und von Lithophagen angebohrt sind, ein Beweis, daß die Absätze an der Luft rasch erhärteten[2]). In der Oberregion ist Kreuzschichtung eine häufige Erscheinung und zuweilen wiederholen sich innerhalb solcher Ablagerungen die austernbewachsenen, angebohrten Flächen mehrmals (Oszillationen). Über der Oberregion beginnt mit scharfem Kontrast ein neuer Cyklus und es folgt über der kalkig-festen Dachbank ein weicher, fetter, meist dunkler Ton, der Basiston[3]). Diese meist geringmächtige Tonlage enthält meist Gerölle und flache Geschiebe des liegenden Kalks, welche zuweilen von einer Eisenhaut überzogen sind oder glasiert erscheinen[4]). Diese Rollstücke sind überkrustet von Austern, Serpeln, Einzelkorallen, Bryozoen usw. und von zahlreichen Bohrmuscheln zuweilen schwammartig durchlöchert. Hie und da umschließt das gerollte Gestein noch Fossilien des liegenden Kalks oder die Fossilien sind in abgerolltem Zustand auf der Abwaschungsfläche zusammengeschwemmt[5]). Ja es kann vorkommen, daß der scharfe Kontrast zwischen Dachbank und Basiston durch aufgearbeitetes und umgeschwemmtes Material verwischt wird. Zuweilen findet eine Verkittung der Rollstücke statt und es kommt zur Bildung von Konglomeraten und Breccien. Häufig sind besonders im Dogger kleinkonglomeratische Bildungen, welche in der Dachbank häufiger noch an der Basis der Cyklen sich vorfinden, und deren gerundete Bestandteile zuweilen eine unregelmäßig-groboolithische Struktur vortäuschen. Im übrigen muß man scharf auf die Unterscheidung der echten autochthonen Basiskonglomerate von anderen allochthonen Konglomeratbildungen achten. Letztere enthalten fremde Bestandteile und entstammen einer entfernten Abrasion oder Umlagerung und können inmitten oder auch im Dach des Cyklus auftreten. Bezeichnend für die Dachregion vieler Cyklen sind ferner die häufig wiederkehrenden Phosphoritbildungen, welche besonders in wirbel-

[1]) So sind z. B. mächtige Korallenkolonien von erheblicher Härte, welche ursprünglich als hügelartige Erhebungen ihre Umgebung überragten, durch die Abrasion wie mit dem Rasiermesser glatt abgeschnitten und vollkommen eingeebnet.

[2]) Emersionsfläche — französisch: Surface taraudée, arasée, limite, percée par les litophages; oder Dalle taraudée.

[3]) Der Basiston stellt sich in der Regel auch da über der Emersionsfläche ein, wo der folgende Cyklus vollständig kalkig entwickelt ist.

[4]) Die Gerölle wurden vielfach bisher mit Konkretionen verwechselt.

[5]) Französisch: fossiles roulés; cailloux, galets roulés, usés.

tierreichen Schichten, z. B. an der Grenze zwischen Lias α und β, δ und ε, ε und ζ auftreten und wohl auf Zerreibsel von Koprolithen, Knochen und dergleichen zurückzuführen sind[1]). Der dunkelgraue oder braune Phosphorit, leicht kenntlich an der schmutzigweißen oder grauen Verwitterungsfarbe, durchsetzt das Gestein der Dachbank in unregelmäßigen Partien. Häufig bildet er die Steinkerne von Myen, Cardinien, Gryphäen, Ammoniten und Coprolithen. Über der Dachbank findet sich der Phosphorit aufgearbeitet, umgelagert und zusammengeschwemmt in Fossilsteinkernen und Knollen, die angebohrt und von dünnverzweigten weißen Gängen ganz durchzogen sind. Zuweilen bilden sich Breccien oder es bewirkt der Phosphoritgehalt eine weißlichgraue Färbung des Basistons und fast immer sind die birnen- oder schlauchförmigen Hohlräume der Bohrmuscheln mit dem weißlichen Phosphoritschlamm ausgefüllt. Eine andere Erscheinung in der Dachbank ist der außerordentliche Pyritreichtum, welcher wohl ebenfalls auf die Zersetzung organischer Substanzen zurückzuführen ist. Bezeichnend für die Seichtwasserregion ist ferner das häufige Vorkommen von Schwemmholz, Pflanzenhäcksel und Gagatgeschieben. Die Fossilien sind im Ton der Unterregion im allgemeinen sparsam und selten kompakt erhalten, nehmen im Mergel an Häufigkeit zu und erfüllen meistens die Gesteine der Kalkregion. Ich erinnere an die häufig wiederkehrenden Muschelbänke und Austernhaufwerke, an die Korallenriffe und Echinodermenkalke und -Breccien des Lothringer Jura.

Wie verhält sich nun die Fauna dem Cyklus gegenüber? Die Beantwortung dieser Frage hängt ab von der Lebensweise der Tiere. Da kann man im allgemeinen eine bodenständige Fauna (Zweischaler, Brachiopoden, Serpeln, Bryozoen, Echinodermen, Korallen usw.) trennen von einer Wanderfauna: Ammoniten und Belemniten. Aber auch diese letzteren sind nicht gleichartig verteilt, sondern es gibt Gegenden der Flachsee, in denen Ammoniten heimisch werden. Sie fallen dann durch eine reiche Entwicklung, durch große Häufigkeit aller Lebensstadien, durch eine außerordentliche Formenmannigfaltigkeit und Variationsfähigkeit auf und bevölkern in schwer zu trennenden Formen ein gewisses Verbreitungsgebiet. In anderen Gegenden der Flachsee aber treten Ammoniten nur vereinzelt und sporadisch auf, als scharf umgrenzte »gute Arten«. Aus der Heimat ihrer Entwicklung verschlagen und aus der ursprünglichen Lebensgemeinschaft herausgerissen sind sie oft außerstande, festen Fuß zu fassen und sich weiter zu entwickeln. Sie sterben mit Beendigung des betreffenden Cyklus ab. Es ist nun klar, daß innerhalb eines Cyklus besonders die bodenständige Fauna von dem Medium, in dem sie lebt, von der Facies abhängig ist. Und tatsächlich treffen wir in der Tonregion vorwiegend zarte, dünnschalige

[1]) Natürlich stammt der Phosphorsäuregehalt vielfach aus den tierischen Weichkörpern der Ammoniten usw., mag er sich nun primär als Calciumphosphat ausgeschieden oder sekundär die Kohlensäure aus dem Kalk verdrängt haben.

Formen (*Leda*, *Nucula*, *Dentalium*), manche Gastropoden (*Turbo*, *Trochus*, *Cerithium*), während mit zunehmender Verkalkung auch die Dicke der Schalen wächst. In der Dachbank konzentrieren sich die dickschaligen Formen: *Trigonia*, *Opis*, *Astarte*, *Ostrea*, *Trichites*, *Cardinia*. Als Schutz gegen die Brandung sind den Formen der Seichtwasserregion robuste Konstitutionen eigen. Abgesehen von den festen Riffbauten der Korallen usw. treffen wir in Dachbank oder Basis Rasen von Einzelkorallen (Montlivaultien) mit solider Epithek. Natürlich gibt es auch bezüglich des Mediums sehr indifferente Formen, welche in allen Höhen des Cyklus auftreten. Mit Beginn eines neuen Cyklus tritt ein scharfer Faunenwechsel ein. Abgesehen von dem raschen Wechsel des Mediums (Kalk—Ton) und somit der Lebensbedingungen, der viele empfindliche Formen zum Absterben bringt, ziehen neue Einwanderer zu. Dadurch ändert sich das Gleichgewicht und die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaft. Besonders die Ammonitenfauna wird mit Beginn eines neuen Cyklus plötzlich durch eine andere ersetzt und es treten unvermittelt neue Formen auf. Da der Raum kurz bemessen ist, will ich auf eine weitere Charakterisierung verzichten und zu einem Erklärungsversuch der Entstehung eines Cyklus fortschreiten.

Zunächst taucht die Frage auf: Woher stammt das Sediment? Der Ton wird als ein mechanisches Verwitterungsprodukt tonhaltiger Gesteine der Festländer betrachtet, das als suspendierte Flußtrübe der Flachsee zugeführt und am Grunde des Meeres ausgebreitet wird. Die Gesteine der Festländer werden z. B. von Flüssen und Bächen und von der Brandung in grob- und feinklastischer Form, als Schlick oder in Lösung dem Meere zugeführt. Der relativ leicht lösliche Kalk wird nur in der Nähe des Festlandes als Zerreibsel abgesetzt. Weiter draußen aber aus der Lösung ausgefällt. Dies kann unter gewissen Bedingungen anorganisch, vielfach auch organisch von statten gehen. Bekannt ist die Tätigkeit der riffbauenden Tiere (Korallen usw.), welche nur in wärmerem Wasser bzw. in geringer Tiefe gedeihen[1]). Aber es liegt die Vermutung nahe, daß sowohl die dichten Kalke als auch die Oolithe durch mikroorganische Ausfällung entstanden sind. In Lothringen kommen häufig flachlinsenförmige, gerollte Fossildetrituskörner vor, die mit einer einfachen Kalk- oder Pyrithaut umgeben sind, und flache Detritusblättchen bilden häufig den Kern grober Oolithkörner. Vielleicht haben auf diesem schwebenden Detritus festgeheftete Mikroorganismen (?Algen) die Kalkabscheidung bewirkt. Wie dem auch sei, der Kalk des Lothringer Jura ist ausschließlich in geringer Wassertiefe abgesetzt und findet sich als wesentlicher Bestandteil nur im oberen Teil des Cyklus.

Außer kompakten Kalken ist ein regelmäßiger Wechsel von Kalkbänken und Mergelzwischenlagen eine gewöhnliche Erscheinung

[1]) Die Entfernung vom Festland spielt an sich dabei keine Rolle.

im oberen Teil des Cyklus, z. B. im Lias α, γ, δ (Costatensandstein), in den Sonninienkalken, Mytilusschichten und Hutiekalken, Longwy- und Gravelotteschichten z. T., Anabacienkalken, Concinnaschichten usw. Häufig trägt die oberste Bank eine Emersionsfläche, und auch die Erscheinung, daß in den Kanälen zwischen den Korallenriffen stellenweise ein ausgesprochener Kalk-Mergel-Wechsel Platz greift, beweist, daß diese Ablagerungen sich in seichtem Wasser vollzogen haben. Wie ist aber dieser gesetzmäßige Wechsel zu erklären? Jedenfalls ist er auf eine periodisch wirkende Ursache zurückzuführen. Allgemein ist nun zu beobachten ,daß unten erst kalkige Lagen oder Knollen (Ovoïdes, Chailles, Plaquettes, Nodules usw.) sich ausscheiden, die sich höher zu Bänkchen zusammenschließen. Anfangs überwiegen gewöhnlich die tonig-mergeligen Zwischenlagen, gegen oben haben die Kalkbänke das Übergewicht, und auch die Zwischenlagen werden mergelig. Zuweilen verkalkt ganz oben alles und es erinnern nur die Schichtfugen an den ehemaligen Wechsel. Die Schichtfugen entsprechen also einem Aussetzen der Sedimentation, was im Mangel an toniger Sedimentzufuhr bzw. im Aussetzen der Kalkausfällung begründet ist[1]). In Lothringen hat man im Sandgehalt ein gutes Kriterium für das von der Ardennenküste stammende terrigene Material und es muß betont werden, daß sich der Sandgehalt genau wie der Kalkgehalt desto stärker einstellt, je höher man in den Cyklus hinaufgeht (Costatus- und Fallaciosusschichten). Wie können diese Tatsachen nun möglichst widerspruchslos gedeutet werden?

Oft findet man die Vermutung ausgesprochen, daß sich in den verschiedenen Absätzen die abgetragenen Schichten in umgekehrter Reihenfolge widerspiegeln. Das ist im großen und ganzen sicherlich auch der Fall und einigen Fällen einleuchtend festgestellt. Es geht aber nicht an, diesen Vorgang für jede einzelne Bank in Anspruch zu nehmen, wenn man sich vergegenwärtigt, daß gleichzeitig ganz verschiedene Schichten auf dem Festland durch die Erosion und Denudation entfernt wurden.

Th. Brandes (Die faziellen Verhältnisse des Lias zwischen Harz und Eggegebirge. Neues Jahrb. Beil. Bd. 33, S. 463—464) erklärt den heutigen Wechsel von Ton und Kalk in den Psilonotenschichten an der Egge als Folge von Regressionen und Transgressionen in zahlreichen kleineren Phasen. Er faßt den Kalk auf als mechanisches Sediment, als eine Anhäufung von vorwiegend kalkigem, vornehmlich aus feinst zerriebenen Fossilschalen bestehendem Detritus z. T. vermischt mit Ton und Sand und nimmt einen Transport der Trümmer von einem nicht allzu fern gelegenen Festlande oder aus dem Gezeitenbereich an.

---

[1]) Entspricht eine Bank von Kalk oder Mergel einer Klimaperiode somit einer Zeiteinheit, so entspricht also auch jede Schichtfuge im Kalk einer Zeiteinheit. Außerdem dürfte die Absatzdauer jeder einzelnen Bank ohne Rücksicht auf deren Mächtigkeit dieselbe gewesen sein. Korallenriffe geben eventuell einen Anhaltspunkt für die zur Bildung der ihnen angelagerten Kalkbänke notwendigen Zeit.

Die Tonlagen wurden beim Vordringen des Meeres landeinwärts abgesetzt. Beim Zurückpendeln des Meeres wurden die eben abgelagerten Sedimente im Küstenlande oder im Bereich der Brandungswelle aufgearbeitet. Der feine Tonschlamm wurde wieder weit ins Meer hinaustransportiert, der gröbere Detritus, der Kalksand und das Organismenzerreibsel sowie der Quarzsand sank infolge seiner Schwere bereits nach kurzem Transport auf den Meeresboden nieder und baute hier eine Trümmerkalkbank auf. Ähnlich erklärt Brandes den rhythmischen Wechsel von Eisenstein und Schiefertonen bei Harzburg.

Für die Entstehung echter Trümmerkalke hat diese Deutung etwas Bestechendes an sich, andererseits scheint es mir bedenklich, für die Erklärung des Kalk-Mergel-Wechsels in den verschiedenen Gegenden verschiedene Ursachen heranzuziehen. Vielmehr scheint überall ein und derselbe Vorgang dem Wechsel von Kalkbänken mit weicheren Zwischenlagen zugrunde zu liegen und nur die Abweichungen von der Norm (Sand-, Trümmer- und Fossilgehalt) sind auf lokale Einflüsse (Nähe und Beschaffenheit der Küste usw.) zurückzuführen. Der Wechsel von feinstem Ton und grobklastischen Sandsteinbänken, wie wir ihn z. B. im Rotliegenden, Flysch usw. vor uns haben, ist jedenfalls auf die gesteigerte oder verminderte mechanische Transportkraft der Flüsse zurückzuführen, welche wiederum durch Klimaschwankungen (Vermehrung und Verminderung der Niederschläge) bedingt ist. Inwieweit tektonische Ursachen mitspielen, bleibt in jedem Falle zu entscheiden. Die Grundfrage liegt also in der Entstehung des Kalks — ob als chemisches Sediment aus der Lösung gefällt oder als mechanisches Sediment herbeigeführt oder abgelagert, eine Frage, welche um so schwieriger zu entscheiden ist, als auch organogene Sedimente häufig durch lokale Bewegung und Umlagerung eine Trümmerstruktur aufweisen können. Will man das Material der dichten Gryphitenkalke als mechanisch-terrigenes Sediment ansprechen und das Hin- und Herpendeln bei der Erklärung beibehalten, so müßte man schon an ein kalkiges und toniges bzw. tonliéferndes Ufer denken, von denen das hin- und herpendelnde Meer abwechselnd Kalk und Ton mitgebracht hätte. Aber weder läßt sich das Material der dichten Gryphitenkalke als Trümmersediment ansprechen, noch scheint es mir wahrscheinlich, daß für die Bildung jeder einzelnen der hundert bis zweihundert Kalkbänke ein Auf- und Abschwanken des Bodens bzw. eine Trans- und Regression, ein »Pendelschwung« des Meeres anzunehmen sei. Hierfür fehlen die Belege. Aus dem massenhaften Auftreten von dickschaligen Gryphäen auf Küstennähe zu schließen, scheint mir ebenfalls nicht erlaubt. Es genügt Seichtwasser anzunehmen. Als Ursache für das Pendeln des Meeres bilden tektonische Bewegungen die notwendige Voraussetzung: eine allgemeine Abwärtsbewegung des betreffenden Gebietes mitsamt seiner Umrandung, hierauf eine Aufwärtsbewegung usw. Es ist also bei dieser Erklärung dieselbe Bewegung notwendig, wie ich sie zur Deutung des

Sedimentations-Cyklus herangezogen habe. Für die Einfuhr von sandigem Material von der Ardennenküste am Schlusse des Cyklus z. B. in die oberen Costatus- und Fallaciosusschichten scheint mir die angeführte Hypothese auch Geltung zu haben. Das sandige Ardennenufer rückte bei einer allgemeinen Aufwärtsbewegung eben meerwärts, während bei einer Senkung (Vermiceratenkalke über Hettinger Sandstein) die kalkig-marinen Sedimente landeinwärts transportiert wurden. Großer Sandgehalt deutet also hier auf Regression.

Eine andere Richtung nimmt an, daß sich in dem rhythmischen Wechsel von Mergel- und Kalkbänken klimatische Schwankungen wiederspiegeln. So geht Pompeckj (Die Bedeutung des Schwäbischen Jura für die Erdgeschichte, S. 48, Note 15) von der Beobachtung aus, »daß Flüsse bei Niederwasser bis um sehr vielfaches mehr gelöstes als suspendiertes Material mitführen.« In trockenen, ariden Zeiten habe deshalb vorwiegend Ausfällung des Kalkes aus der Lösung, in feuchten, niederschlagsreichen Zeiten z. T. infolge der größeren Transportkraft der Flüsse mehr Absätze von suspendiertem Material (Ton, Schlamm, Sand) stattgefunden. Dies wird in überzeugender Weise im großen für den tonigen Lias einerseits und den kalkigen Dogger und Malm andererseits geltend gemacht, aber auch für die Bildung der Gryphitenkalkbänke in Anspruch genommen. Für den Absatz einer Kalkbank bzw. einer Mergelzwischenlage wird Brückners 35. Jahrperiode herangezogen.

Es erscheint mir indeß auch fraglich, ob diese Erklärung auf alle Vorkommen von Kalk- und Mergelwechsel anwendbar ist, und es drängt sich die Frage auf: Warum ist der Wechsel von Mergel- und Kalkbänken auf den oberen Teil des Cyklus beschränkt? Es müßte dann die Zeit der Ablagerung des oberen Cyklusteils, die Verkalkung mit einem ariden Klima zusammenhängen. Bei dem Kontrast mit dem unteren, tonigen Teile des folgenden Cyklus müßte dann ein plötzlicher Klimaumschlag stattgefunden haben, eine Annahme, die nicht angängig ist. Gegen das Ganze sprechen vor allem die Faciesverhältnisse. Denn es ist nicht einzusehen, warum gleichzeitig an benachbarten Orten rein tonige und rein kalkige Sedimentation stattgefunden haben soll; z. B. im Absatz der Feinkornoolithe und Bollinger Tone der Parkinsonischichten.

Von dem durch zahlreiche Belege erhärteten Nachweis ausgehend, daß die Kalkbildung im Lothringer Jura stets an geringe Wassertiefe gebunden war, bin ich zu der Ansicht gekommen, daß der wechselnde Absatz von Kalk- und Mergelbänken im oberen Teil des Cyklus auf einer durch periodischen Klimawechsel bedingten Erwärmung und Abkühlung der oberen Wasserschichten beruht, sei es durch anorganisch-chemische Vorgänge oder durch organische Ausscheidung (Durchlüftung des Wassers, Verwesung organischer Substanzen). Es erscheint mir nicht unwahrscheinlich, daß in wärmerem Wasser die Tätigkeit kalkabscheidender Organismen sich stark entfalten konnte, daß andererseits durch Abkühlung derartige Vorgänge bedeutend

behindert wurden. Zum Vergleich möge das periodische Wachstum gewisser Bewohner der Seichtwasserregion herangezogen werden. Daß Kalklösung auch im unteren Teil des Cyklus reichlich vorhanden war, beweisen die Kalkgebilde der hier vorkommenden marinen Reste. Die geringe Dicke der zarten Schalen von Muscheln und Schnecken im Ton ist dagegen in den biologischen Verhältnissen begründet. Immerhin mag die Kalklösung im Seichtwasser mit seiner Durchlüftung und Verdunstung konzentrierter gewesen sein. Die zuweilen mangelhafte Tonzufuhr im obersten Teil des Cyklus ist durch die geringe Wassertiefe hinreichend erklärt.

Ein rein chemischer Erklärungsversuch, welcher ebenfalls klimatische und tektonische Wirkungen heranzieht, stützt sich auf das gegenseitige Verhalten von Lösungs- und Sedimentgenossen besonders von Kalklösung und Tonsuspension in Süß- und Salzwasser. Durch Pendeln des Meeres würden die verschiedenen regional nebeneinander gelagerten Sedimente auch übereinander erscheinen. Die Faciesverhältnisse und das Vorkommen von isolierten, verkalkten Aufwölbungen inmitten toniger und mergeliger Faciesbildungen fern der Küste deuten darauf hin, daß die Kalkausfällung von der Wassertiefe abhängig ist und es drängt sich uns die Frage auf: Wie wechselte die Wassertiefe?

Es ist denkbar, an und für sich möglich und in einigen bestimmten Fällen sicher, daß Teile eines Meeresbeckens durch Auffüllung allmählich durch die Sedimente zugeschüttet wurden. In Betracht kommen besonders festlandsnahe Wannen, welche durch Deltabildungen, Schuttkegel und vorwiegend terrigen-grobklastische Aufschüttungen großer Flüsse oder durch ufernahe Schuttmassen aufgefüllt wurden. In Lothringen haben wir solche Bildungen in mächtigen Sandmassen am Ardennenufer vor uns (Luxemburger Sandstein = unterer und mittlerer Lias) und es gehören wohl verschiedene Ablagerungen der höheren Erzformationen hierher. So hat man in dem Katzenbergkonglomerat Schottermassen eines großen Flusses zu erblicken, der nördlich Esch (in Luxemburg) in die Flachsee mündete und seine Gerölle in einer schmalen nord-süd-gerichteten Rinne unter ständiger Abnahme der Korngröße bis südlich Conflans hinaustrug[1]). Ferner läßt sich der Sandgehalt, der besonders in der Oberregion der Cyklen sich verschiedentlich bemerkbar macht (Costatensandstein, Fallaciosusschichten, Polyschideskalk), vielleicht mit der Nähe der Ardennenküste in Zusammenhang bringen. Aber aus der zum Teil sehr beschränkten Verbreitung der Emersionsgebiete innerhalb tieferer Räume fern den Randgebieten des Festlands geht deutlich hervor, daß in der Regel die Auffüllung für die Entstehung der Cyklen nicht verantwortlich gemacht werden kann. Vielmehr weisen diese Erscheinungen der Emersionsflächen, die keineswegs auf die Randgebiete der Fest-

[1]) Vielleicht ist der ganze obere Teil der Erzformation descendenter Natur.

länder beschränkt sind, auf tektonische Bewegungen der Erdrinde zur Zeit der Ablagerung hin.

Und es bleibt nun zu untersuchen: Wie fanden diese Bewegungen statt?

Zur Beantwortung dieser Frage stellen wir fest, in welcher Weise der Cyklus sich seitlich verändert. Die Untersuchungen ergeben eine zweifache Lösung. Im ersten Falle bleibt die Ausbildung des Cyklus auf eine beträchtliche Erstreckung hin dieselbe, und wir haben es dann mit einer langsamen, gleichmäßigen Hebung zu tun. Mit einer raschen gleichzeitigen Senkung des Gebietes und wieder einer allmählichen Hebung beginnt der folgende Cyklus. Weiterhin ist zu beachten, daß die Aufeinanderfolge von Ton, Mergel und Kalk eine relative ist. Zuweilen kann nämlich je nach der Gegend ein Cyklus unvollständig sein. Ein solcher »unvollständiger Cyklus« beginnt zum Beispiel mit Mergel- oder gleich mit Kalkabsatz und zeigt so nur eine geringe Senkung an. Selten hört der Cyklus mit tonigen Ablagerungen auf. Es ist aber zu betonen, daß in diesem Falle nicht immer eine rasche Aufwärtsbewegung anzunehmen ist, sondern daß die Ausbildung in der Sedimentzufuhr und in den Absatzverhältnissen begründet sein kann (z. B. oberster Posidonienschiefer). Innerhalb der Cyklen, besonders in der sandig oder oolithisch ausgebildeten, quergeschichteten Dachregion (z. B. im Jaumont-Oolith) können Schwankungen mit Trockenflächen usw. auftreten, die sich in ihrer lokalen und sehr beschränkten Verbreitung ebenso gut auf Sedimentanhäufungen, wie auf tektonische Bewegungen zurückführen lassen (Oszillationen). — Zwischen den vollständig entwickelten Cyklen liegt eine mehr oder weniger lange Zeit, in der sich infolge der Heraushebung (Emersion) keine Sedimente niederschlagen konnten. Es äußert sich dies in einer Schichtlücke (Hiatus). An anderen Orten fand dagegen Sedimentation statt und diese kann als Maßstab für die Bedeutung des Hiatus dienen.

Hinsichtlich der horizontalen Erstreckung kann man Gebiete und Zeiten gleichartiger und verschiedengestalteter Cyklusausbildungen unterscheiden. Gleichaltrige Cyklusausbildung trifft man vorwiegend im Lias, selten im Dogger an. Mit den Jurensisschichten beginnt eine Zeit ungleicher Cyklusausbildung. Die Cyklen verändern sich seitlich schnell und die Emersionsflächen sind nur mehr lokal ausgebildet und verlieren sich bald. Dadurch gewinnen wir den Eindruck einer ungleichmäßigen Bewegung. Wir haben nicht nur vertikale Cyklen, sondern auch horizontal einen Übergang von Ton, Mergel und Kalk, und die Mächtigkeiten der Ablagerungen wechseln ganz auffallend. Während an einer Stelle die Schicht a eine geringmächtige Entwicklung zeigt, ist die folgende Schicht b mächtig entwickelt und diese Erscheinung wiederholt sich mehrmals. Sie führt zu dem Schluß, daß in dem betreffenden Gebiet in der Zeit a eine sattelartige Aufwölbung bestanden, in der Zeit b eine Einmuldung stattgefunden hat. Es wiederholen diese Be-

wegungen verschiedenen Ausmaßes also in gewisser Weise die Bewegung der Geosynklinalen und Antiklinalen im kleinen. Die daraus resultierende ellipsoidische Gestalt der Facieskörper erweckt die Vorstellung einer wellenförmigen Bewegung der Erdkruste, die nicht als starre Faltung, sondern als ein labiles Auf- und Abschwanken zu denken ist, was lebhaft an das zonare Wandern gewisser Erdbeben erinnert. Diese »labile Faltung« ist wohl der Ausdruck tangentialer Spannungen, welche von den umrandenden Festlandsmassen ausgehen. Sie äußert sich meist in langsamer Aufwärtsbewegung und stoßweiser Absenkung.

Es wäre aber verfehlt anzunehmen, daß diese wellenförmigen Bewegungen schematisch vor sich gegangen seien, oder daß sie allein die Richtlinien der Sedimentation bestimmten. Vielmehr beeinflußten die »Hebungs- und Senkungszentren« außerordentlich die Ausbildungsweise der Cyklen (Facies). In den Hebungszentren haben wir Gebiete zu erblicken, welche eine langandauernde Neigung zur Heraushebung zeigen. Es ist dies nicht so zu verstehen, daß sie dauernd in Hebung begriffen waren — das hätte sie sehr bald über das Sedimentationsniveau der Flachsee herausgehoben, — sondern diese Gebiete senkten sich weniger und hoben sich stärker wie die benachbarten Gegenden. Umgekehrt hatten die Senkungszentren stets die Neigung zur Senkung. Hebungszentren bildeten zur Jurazeit die Gegend der Vogesen, zeitweise die Ardennen und vor allem das Gebiet des Lothringer Hauptsattels. Zur Zeit des Oberkarbon als Mulde mit vielen hundert Meter mächtigen Sedimenten ausgebildet, begann er sich mit Beginn des Rotliegenden aufzuwölben. Teils zeigen die Schichten im Gebiete des Lothringer Hauptsattels eine auffallende Mächtigkeitsabnahme, teils findet hier besonders im oberen Dogger eine starke Verkalkung der Ablagerungen statt. Bekanntlich trennt dieses Hebungszentrum die Erzbecken von Nancy und Briey durch eine sterile Ausbildung. Auch im Callovien usw. findet sich als schelfartige Umsäumung der Hebungszentren kalkige Ausbildung, während die Senkungsgebiete rein tonig entwickelt sind. Suchen wir nun die Beziehungen der Faciesbildung zu der varistisch gerichteten tertiären Faltung festzustellen, so erkennen wir z. B. in dem Hebungsgebiete des Lothringer Hauptsattels varistische Züge und bei einem Vergleich der Erzrentabilitätsgrenze mit den tektonischen Streichkurven scheint stellenweise die NO—SW-Richtung angedeutet. Vielfach kann man dagegen ein Zusammenfallen der Faciesgrenzen mit der Struktur der Faltung nicht erkennen. Gerade zur Zeit des unteren und mittleren Doggers läßt sich vielfach ein N—S-Streichen der Faciesbildungen deutlich verfolgen. Es ist dies eine Richtung, die auch heute noch eine wenn auch untergeordnete Rolle spielt. Zur Lösung all dieser Fragen, die vorläufig noch in weitem Felde liegt, bedarf es noch eingehender Forschung.

Verfolgt man die Flachseesedimente zur Ardennenküste hin, so spiegeln sich die Bewegungen in Transgressionen und Regressionen

wieder. So versanden über den kalkig ausgebildeten Johnstonischichten (Lias α) die Angulatusschichten und auf einer typischen Transgressionsfläche greifen die Vermiceratenkalke[1]) über die letzteren über. Wir finden also hier an der Küste eine stoßweise transgressive Bewegung angedeutet, die sich in dem gleichwertigen Komplex von Mergel und Kalkbänken in der höheren Flachsee der Gesteinsausbildung nach nicht nachweisen läßt, die sich aber trotzdem ankündigt durch ein unvermitteltes Auftreten bisher fehlender Ammonitenformen. Diese Tatsache sowie der scharfe Faunenwechsel bei dem Wechsel der Cyklen zwingt zu dem Schluß: Das Auftreten einer Fauna, besonders der Ammoniten, steht im engsten Zusammenhang mit den tektonischen Bewegungen.

Durch die Bewegungen öffnen und schließen sich Wege, entstehen und ändern sich Strömungen und Zugangspforten und wechseln Existenzmöglichkeiten und Lebensgemeinschaften. Und diese Erscheinung wiederholt sich besonders im kleinen bei lebhafter wellenförmiger Bewegung des Flachseebodens. Die ganze See bildet dabei ein wechselvolles Gewirr von Hebungs- und Senkungszentren von Emersionsgebieten und Immersionskanälen. Auch in den Senkungsgebieten ist bei vollständig toniger Ausbildung der Schichten der Faunenwechsel oft erstaunlich scharf, sei es durch eine plötzliche Veränderung des Sedimentmediums, sei es durch die Verdrängung der Bewohner durch die neuen Einwanderer, durch die Änderung der Lebensgemeinschaft. Dieser Wechsel kann sich sogar selbst bei ähnlicher oder gleicher Sedimentzufuhr des neuen Cyklus auf die Mikrofauna erstrecken (z. B. Foraminiferen im Lias).

Die Frage, in welcher Beziehung die Ammonitenzonen zu den Cyklen stehen, soll an einem Beispiel kurz erörtert werden. Auf den ersten Blick mag es den Anschein haben, daß die Schichten des Lias α (Gryphitenkalks) vollkommen homogen seien. Dem ist aber nicht so. Schon Soleirol gab Profile aus Steinbrüchen, in denen er auf technische Art die einzelnen Kalkbänke nach Beschaffenheit und Mächtigkeit unterscheidet. Bei näherem Zusehen wird man für jede der paläontologischen Zonen auch feine Unterschiede im Sediment wahrnehmen. In anderen Gegenden (z. B. Norddeutschland) wird wohl jede Zone als mehr oder weniger vollständiger Cyklus in Erscheinung treten; in Lothringen aber haben sich die tektonischen Bewegungen nur in sehr abgeschwächter Art geltend gemacht und hier ist der Lias α als eine Folge mehrerer Teilcyklen anzusehen. Die anderwärts stattgehabten Bewegungen hatten die Einwanderung und somit das unvermittelte Auftreten von Leitammoniten zur Folge. Hieraus ergibt sich das Verhältnis der Zone zum Cyklus. Oft fällt die Zone mit dem Cyklus oder Teilcyklus zusammen, zuweilen enthält der Cyklus mehrere Zonen, seltener umfaßt

[1]) Kalke mit Ammonites rotiformis.

eine Zone mehrere Cyklen. Es bleibt dabei das Problem der scharf getrennten Fossilarten noch ungelöst. Warum wandern vorwiegend überall dieselben Formen hin? Warum fehlt die Ausbreitung von Übergängen? Warum treten Ammoniten in manchen Gegenden so zum Beispiel im norddeutschen Posidonienschiefer nacheinander in bestimmter Reihenfolge in mehreren getrennten Zonen übereinander auf, da sie doch anderwärts und zwar innerhalb der mitteleuropäischen Flachsee und wohl auch am Ausgangspunkt ihrer Wanderung gleichzeitig zusammen lebten? Stellenweise läßt sich feststellen, daß bei scharfer Trennung der Leitformen Zonen sich umkehren. So kommt z. B. *Ammonites Jamesoni* in Schwaben vorwiegend in den unteren Numismalismergeln (Lias γ) vor, während er in Lothringen unten vollkommen fehlt, dagegen für den obersten Teil der Mergel bezeichnend ist. Ähnliche Verschiedenheiten bestehen für die Zonen des *Ammonites borealis* usw. im oberen Lias. Eine befriedigende Antwort auf diese Fragen steht noch aus. Sie dürften aber mit der Cyklusbildung in engsten Zusammenhang stehen.

Die Frage, wie lassen sich die verschiedenen Cyklen parallelisieren, ist nach dem Gesagten unschwer zu beantworten. Im großen ganzen ist einzuteilen nach Perioden gesteigerter Bewegung. Bei gleichbleibender Cyklusausbildung ist die Heraushebung auf große Erstreckung hin annähernd gleichzeitig erfolgt und die Transgressions- bzw. Emersionsflächen können zum Parallelisieren zuweilen bessere Dienste leisten als die Leitfossilien. Anders ist es in Gebieten und Zeiten ungleichmäßiger oder wellenförmiger Bewegung. Hier ist der Vergleich schwieriger und man sieht sich genötigt, auf die Leitfossilien, besonders auf die Ammoniten zurückzugreifen. Aber auch diese können nachgewiesenermaßen wandern und es läuft dann die Zeitbestimmung auf eine kritische Verwertung der Gesamtfauna hinaus[1]).

Das Studium der Faunenwanderungen der Entstehung der Ablagerungen, der Einflüsse von Klima und Tektonik auf die Sedimentation bildet eine Hauptaufgabe der heutigen Stratigraphie und ich glaube, daß die Cyklustheorie sich nicht nur beim Studium des Jura, sondern auch anderer Formationen als fruchtbarer Gesichtspunkt erweisen wird[2]).

[1]) Da Oppels Zonen und Buckmans Hemeren keine sichere Basis geben, so mache ich den Vorschlag, die Zeiten zu bezeichnen nach dem Auftreten eines bestimmten Ammoniten an einem bestimmten Orte; z. B. bedeutet die »Schwäbische Torulosuszeit« die Zeit, in welcher Ammonites torulosus in Schwaben gelebt hat.

[2]) So führt z. B. die Verfolgung der Cyklen mit ihren Emersionsflächen zur Kenntnis der jurassisch-tektonischen Einheiten innerhalb der erhaltenen Ablagerungen.