

## Geologische Nachlese.

Von

ALBERT HEIM.

Nr. 21.

### Einige Gedanken über Schichtung.

Ich verdanke die Anregung zu den nachfolgenden Gedanken über Schichtung einer Publikation von Prof. Philippi über das Problem der Schichtung. Wir sagen, die Schichtung der Sedimente beruhe auf Unterbruch in der Ablagerung, wenn die aufeinander liegenden Schichten petrographisch gleichartig sind, dagegen beruhe sie auf Wechsel in den Ablagerungsbedingungen, wenn die übereinander folgenden Schichten von petrographisch verschiedener Beschaffenheit sind. Mit Recht weist Philippi auf die Unvollkommenheit dieser an sich richtigen Darstellung hin. Sie nennt bloß die Tatsachen, sie enthält keine Andeutung darüber, was die Ursache solcher Unterbrüche oder Wechsel sein könnten. Wenn nun Philippi im weiteren mit viel Mühe und Arbeit durch Zusammentragen einer Menge von Beobachtungen aus dem Gebiete der Meere der Südhalbkugel einen einzelnen Fall von Schichtwechsel zwischen kalkreicheren und kalkärmeren Sedimenten darauf zurückführen kann, dass die Temperatur der Meere in Zusammenhang mit dem Schwinden der Eiszeit sich geändert habe, so befriedigt mich diese Lösung wiederum gar nicht für die allgemeine Frage. Wenn wir eine Eiszeit brauchen, um einen einmaligen Schichtwechsel in einem bestimmten einzelnen Fall zu erklären, so erklären wir damit nicht die Fälle, wo ein Schichtenkomplex von 500 m Mächtigkeit durch 1000 bis 2000 Schichtfugen in ebensoviele Schichten getrennt ist, oder wo Kalkstein und Mergel oder Kalkstein und Hornstein viele hunderte mal Schicht um Schicht abwechselnd übereinander liegen. Wir müssen noch nach einer anderen Erklärung von viel allgemeinerer Anwendbarkeit suchen.

Gedenken wir zuerst einer Anzahl von Beispielen, wo die Schichten sehr dünn und die Ursachen der Schichtung auf der Hand liegend sind:

In manchen Salzlagern wechseln viele hunderte mal übereinander in dünnen Lagen Anhydrit und Steinsalz oder Polyhalit und Steinsalz, oder Thon, Gyps und Steinsalz miteinander ab, wobei die Mächtigkeit der Schichtchen einige Millimeter bis einige Centimeter beträgt. Längst hat man diese Erscheinung durch die Verhältnisse am Eltonsee erklärt, wo im Frühling etwas Thonschlamm sich absetzt, der durch die Bäche eingespült wird, während im Sommer bei fortschreitender Konzentration Gyps, im Spätsommer und Herbst Steinsalz niedergeschlagen wird. In manchen Fällen können wir auch an Schwankungen des Klima in Perioden von mehreren Jahren oder Jahrzehnten, etwa vergleichbar den 30—35jährigen Gletscherschwankungen, denken, wo die nasse Periode Gyps oder Anhydrit oder Salzthon, die trockene reines Steinsalz liefert. Da sind die einzelnen Schichten die Absätze verschiedener Jahre oder verschiedener Gruppen von Jahren und die Ursache der Schichtung liegt in periodisch regelmässigem Wechsel von Temperatur oder Trockenheit, also in Schwankungen der Konzentration.

In einem Teil der Molassebildungen von Oehningen wechseln  $\frac{1}{4}$  bis ein oder mehrere Millimeter dicke Schichtchen eines nur wenig mergeligen Süsswasserkalkes ab mit  $\frac{1}{10}$  bis höchstens 1 mm dicken Thon oder Mergelblättchen dazwischen. Wir können die dünnen Schichtchen mit dem Messer von einander abheben, die Schichtfugen sind gut ausgeprägt. Heer hat durch die Fossilien direkt nachgewiesen, dass es sich in den verschiedenen Schichtchen um den Wechsel der Jahreszeiten handelt. Das Analogon in der Gegenwart ist leicht zu finden. In vielen unserer Süsswasserseen, z. B. im Zürichsee, setzt sich in der kühleren und nasseren Jahreszeit der von Flüssen und Bächen eingespülte feine Thonschlamm ab. Im Spätsommer bei höherer Temperatur des Sees dagegen findet ein sehr feiner mikrokrystalliner Absatz von Kalk (Seekreide) statt. Hier sind also die verschiedenen Schichtchen die Produkte der verschiedenen Jahreszeiten und ein Schichtakkord, oder eine Schichtperiode, die sich immer wieder repetiert, entspricht einem Jahre.

Es gibt noch hier und da ähnliche Erscheinungen nicht nur aus Salzseen und Süsswasserbecken, auch bei — sogar pelagischen — Meeresabsätzen. In einem grossen Schichtenkomplex des Flysch, in den berühmten Fischschiefern des Kantons Glarus, liegen einige hundert Schichtplatten von 2 mm bis höchstens 30 mm Dicke übereinander, von denen jede unten eine harte kalkige (die „Härte“), oben eine weichere thonige kalkärmere Seite (die „Linde“) hat, die miteinander zu einer dünnen Schicht verwachsen sind. Auch hier liegt es sehr nahe, den Schichtwechsel dem Wechsel der Jahres-

zeiten zuzuschreiben und jede der dünnen Platten als das Produkt je eines Jahres anzunehmen. Dass die verschiedenen Jahreszeiten verschiedene Produkte liefern können, ist einleuchtend wegen dem Wechsel in der Konzentration, in der Einschwemmung und in der Temperatur. An tausenden von Orten werden Meeresströmungen und andere Verhältnisse den Jahreszeitenwechsel für die Absätze verwischen, an anderen Stellen kann er im Schichtwechsel zur Geltung gelangen. Manchmal mag es gerade eine jahreszeitliche regelmässige Verschiebung von Meeresströmen sein, die ihn zu Stande bringt.

Es wäre von Interesse, einmal alle bisher bekannten feinen Schichtwechsel zusammenzustellen und zu vergleichen, die eventuell als Jahrringe der Erde gedeutet werden können. Zu den wenigen oben erwähnten Beispielen gehören ferner die Silurschiefer der Bretagne, die auch ihre „Härte“ und „Linde“ wie die Glarnerschiefer zeigen, bis hinauf zu den Schichtwechseln der Glacialthone bei Stockholm etc.

Nun aber gibt es in sedimentären Komplexen andere Fälle von hundertfältig repetiertem Schichtwechsel, bei dem die einzelnen Schichten unmöglich das Produkt bloß einzelner Jahre oder Jahreszeiten sein können, sondern Jahrzehnten, Jahrhunderten, vielleicht Jahrtausenden entsprechen. Es sind die einzelnen Schichten z. B. aus Foraminiferenkalkstein, oder aus dichtem Kalkstein gebildet und je 0,2 bis 1 m mächtig. Nach allem, was wir über den Absatz solcher Gesteine wissen, gebraucht es eine lange Reihe von Jahren, um eine solche Schicht zu bilden. Das gleiche gilt von den Hornsteinen, die Radiolarite oder Spongite sind. Schon nach ihrem organischen Inhalt ist nur eine sehr langsame Bildung denkbar, dennoch sind die einzelnen Schichten sehr oft viel, viel mächtiger, als es bei den oben besprochenen Jahresschichten oder Schichten durch 10 bis 50 jährige Klimaschwankungen bedingt, der Fall ist. Zunächst einige Beispiele:

Repetitionsschichtung ohne Gesteinswechsel: Malm (Hochgebirgskalk) der autochthonen östlichen Schweizeralpen, Komplex von auch mikroskopisch fast völlig dichtem, splittrigem schwarzem fast thonfreiem ( $\text{CaCO}_3 = 90$  bis  $98\%$ ) Kalkstein, 400 bis 600 m Mächtigkeit, in 1000 bis 2000 Schichten von 0,1 m bis 1,0 m Mächtigkeit geteilt.

Auch in manchen Abteilungen im Malm des Jura, in den dolomitischen Kalken der Ostalpen, im Schrattenkalk der helvetischen Alpen etc. etc. kommt Schichtung ohne Gesteinswechsel massenhaft repetiert vor. In diesen Fällen handelt es sich in der Schichtung um einen periodischen Unterbruch eines chemischen oder chemisch-organischen Niederschlages, eine Oscillation in der Intensität des chemischen Niederschlages.

Repetitionsschichtung mit Gesteinswechsel: Ober-Lias und Dogger am Südfuss der Alpen, z. B. Breggiaschlucht bei Chiasso. Dichter oft konkretionärknolliger Kalkstein wechselt regelmässig ca. 450 mal mit rotem Mergel. Die Schichtbänke sind 0,01 bis 0,5 m mächtig. Oben sind die Kalkbänke, im untern Teil die Mergelbänke mächtiger (Vergl. diese Zeitschrift 1996, Geol. Nachlese Nr. 15, Seite 6—7).

Malmkalk der helvetischen östlichen Schweizeralpen, z. B. bei Quinten. Mergelige Bänke von ca. 0,1 m wechseln ab mit thonarmen schwarzen Kalksteinbänken von 0,3 bis 1,5 m. Der Wechsel ist mehrhundertfach.

Wechsel von Kalk mit Mergel ist besonders häufig. Wir finden ihn hundertfältig repetiert ebenso in den silurischen Kalken Skandinaviens wie in den Jurakalken des Jura oder im Liasfleckenmergel der Ostalpen. Ein ganz besonders auffallendes Beispiel davon liefert uns auch noch die helvetische Kreide:

Kieselkalk (Hauterivien) wechselt mit Mergel oder Thonschichten. Am Urnersee z. B. südlich Brunnen, am Mythenstein, Rütli etc. sehen die Felswände wie in dünnen Lagen künstlich aufgemauert aus („Mäuerlikalk“). Aehnliches wiederholt sich in den Churfürsten (Pflastersteinbrüche bei Weesen), am Pilatus etc. Bänke von Kieselkalk von 0,1 bis 0,3 m Mächtigkeit wechseln erstaunlich regelmässig 500 bis 1000 mal ab mit Mergelbänken von 0,01 bis 0,2 m Dicke. Die schärfste Schichttrennung liegt manchmal mitten in dem Mergel, öfter nahe am Kieselkalk, so dass nur noch eine dünne Thonhaut mit dem Kieselkalk geht. Ganz ähnliche regelmässige Bankung des Kieselkalkes mit Mergelzwichenschichten ist im Hauterivien am Rawylpass nördlich der Passhöhe zu sehen.

Es ist mir vollständig bewusst, dass ich mich in Widerspruch befinde mit der weit verbreiteten Anschauung, wornach fast aller marine Kalkstein direkt aus Organismen oder deren Zerreibungsschlamm gebildet sein soll. Das mikroskopische Bild einer grossen Menge von Kalksteinen kann ich nicht anders als im Sinne von viel chemischem Niederschlag deuten, wobei freilich die Verwesungsprodukte der Organismen im chemischen Umsatz betätigt sein mochten. Die Bildung der Feuersteinknollen und Schichten beruht ebenso auf chemischem Absatz. Mir scheint, man hat vielfach den chemischen Niederschlag unterschätzt. Hier freilich ist nicht der Ort, diesen Standpunkt eingehend zu begründen. In den oben genannten Fällen handelt es sich nach meiner Ueberzeugung um einen Wechsel von vorherrschend chemischem mit beigemischt mechanischem Niederschlag. Es sind Bildungen aus offenem Meer. Die einzelne Schicht lässt sich weithin verfolgen. Nirgends in den Wänden des

„Mäuerlikalkes“ ist es mir noch gelungen, das Auskeilen einer Kieselkalkschicht zwischen den anderen zu sehen. Die einzelnen Schichtchen müssen weithin durch das Meer gleichartig gebildet worden sein und der Wechsel in den Absatzbedingungen von Schicht zu Schicht kann nicht durch lokale Wirkungen erklärt werden.

Prinzipiell lassen sich hier von vornherein drei Fälle denken.

1. Der mechanische Niederschlag ist konstant, der chemische oder organochemische setzt periodisch ein.
2. Der chemische oder organochemische Niederschlag ist konstant, der mechanische setzt periodisch ein.
3. Beide Arten der Niederschläge wechseln periodisch mit einander ab.

Wo es sich, wie in einigen der oben genannten Beispiele um Absätze in weiten Meeren und um grosse ausgedehnte Regelmässigkeit des Schichtwechsels handelt, da ist, wie mir scheint, eine regelmässige Periodicität in der Zufuhr des mechanischen Materiales nach Nr. 2 und 3 sehr schwierig anzunehmen. Wir müssten zurückgreifen auf Periodicität in der Abspülung der Festländer. Was für eine Ursache soll da einen hundertfältigen regelmässigen Wechsel erzeugen? Auch die Kalkschichten, die mit den Mergeln wechseln, enthalten immer noch etwas Thonbeimengung. Dadurch erhält für mich die obige Annahme Nr. 1 weit mehr Wahrscheinlichkeit, wonach die Schichtung hauptsächlich in einer Periodicität des chemischen oder organochemischen Niederschlages, in obigen Beispielen also des Kalkniederschlages, beruht.

Da nun chemischer Kalkniederschlag ja vielfach auf Umsetzung durch die Verwesungsprodukte der Organismen beruht, werden wir auf die Frage hingewiesen, inwiefern fällt vielleicht Schichtperiodicität mit Periodicität im organischen Leben zusammen? Dies führt uns auf die Fälle, wo regelmässiger periodischer Schichtwechsel auch bei organogenen Gesteinen auftritt.

Der Seewerkalk der helvetischen Zonen der Schweizeralpen ist ein dichter Kalkstein, ganz erfüllt von Foraminiferenschalen. Die Grundmasse, der sehr dichte Kalkstein, herrscht dem Volumen nach vor. Die Foraminiferenschälchen sind oft sehr fein erhalten auch in ihrer eigenen Struktur, und schwimmen nicht in die Grundmasse. Die letztere besteht also nicht aus umgewandelten Foraminiferenschalen, sondern ist ein feinstkrystalliner, wahrscheinlich indirekt durch Organismen, durch ihre Fäulnisprodukte veranlasster Kalkniederschlag. Der Kalkstein bildet flasrig knollige Kalkplatten von ca. 0,05 m bis 0,1 m Dicke, die durch schwarze antrakonitischthonige Häute von bloss 0,0001 bis 0,002 m von einander getrennt

sind. 1000—3000 mal wechseln knollige Kalklagen mit schwarzen Thonhäuten ab. Wenn auch hier die Schichten sehr dünn sind, so können doch Foraminiferenkalkplatten von 0,05 bis 0,1 m nicht Produkt bloß eines Jahres sein.

Ist hier der Thonabsatz stetig und langsam, aber periodisch übertönt vom Kalkabsatz? Ist der Kalkabsatz beständig, der Thonabsatz periodisch? Hier drängt sich eine andere Erklärung auf: Die schwarzen thonigen Fläsern ziehen auch in die knolligen Kalkbänke hinein und durch dieselben hindurch; wir finden sie manchmal nicht nur zwischen, sondern auch in den Kalkbänken, aber immer scharf ausgeschieden vom Kalkstein. Hier mögen beide Absätze gleichzeitig stattgefunden haben; durch die konkretionäre Tendenz des Kalksteines kann vielleicht während der Konsolidation eine diagenetische Entmischung eingetreten sein.

An manchen Orten aber lässt sich die Schichtung im Seewerkalk nicht so erklären, indem stark mergelige Schichten von 0,01 bis 0,2 m abwechseln mit rein kalkigen. Die schwarzen Thonhäute sind dann nur in den Kalkschichten deutlich, in den mergeligen kaum vorhanden. Da muss ein periodischer Wechsel im Absatz zwischen Kalkstein und Mergel stattgefunden haben als ein Vorgang höherer Ordnung, während die Ausscheidung der schwarzen Häute im Kalkstein ein Resultat der Diagenese sein kann.

Die Frage liegt nahe, ob nicht auch ein konstanter Absatz von Foraminiferenkalk periodische Wiederauflösung am Meergrunde erfahren habe und die Thonhäute die Auflösungsrückstände seien. Ich halte das im Fall Seewerkalk deshalb für sehr unwahrscheinlich, weil die Auflagerungsflächen der Thonhäute nicht karrig rauh, sondern knollig glatt sind.

An seiner Basis beginnt der Seewerkalk damit, dass sich im Glauconitgrünsand Lagen von Kalkkonkretionen einstellen; die allmählig zusammenwachsen und den Grünsand verdrängen, der dann durch die Thonhäute nach oben ersetzt wird. In seinem obersten Teil wird der Seewerkalk stets mergeliger und geht in Mergelschiefer über. Auch der letztere enthält Foraminiferen. Die Kalkknollenbildung ist also nicht direkt durch die Foraminiferen bedingt, denn sie hört im Foraminiferenmergel auf. Die schichtig-konkretionärknollige Form des Kalkes von seinem Beginn im Grünsand bis zum Ueberhandnehmen des Mergels macht es mir wiederum am wahrscheinlichsten, dass der mechanische thonige Niederschlag der konstante, der kalkige dagegen der periodisch zunehmende war.

Es gibt gewiss eine ganze Menge von Beispielen, wo chemische oder organogene mit mechanischen Absätzen wechsellagern. Wenn

der eine Absatz stark über den andern vorherrscht — gleichgültig welcher Art im übrigen die Absätze seien — so stellt sich sehr oft konkretionär knollige Gestaltung der Schichten des quantitativ untergeordneten Niederschlages ein.

Wir kennen auch Fälle, wo ohne jede chemische Beimengung verschiedene chemische oder organogene oder zugleich chemische und organogene Absätze in zahlreichen Repetitionen mit einander abwechseln. Dabei freilich sind die als organogen bezeichneten Absätze selten oder niemals rein organogen. Bei den Radiolariten z. B. besteht die Grundmasse oft aus dichtem Hornstein, in welchem viele Radiolarienschalen liegen; bei Spongiten ist auch oft die eingelagerte und umgelagerte Kieselmasse über den organischen Rest nach dem Volumen vorherrschend. Es gibt Foraminiferenkalk, Echinodermenbreccien etc., bei denen die Schalenrümpferchen und zerriebenen Schalen die Hauptgrundmasse bilden, häufiger aber herrscht ein dichter direkt oder indirekt chemisch niedergeschlagener Kalkstein als Grundmasse über die eingeschlossenen scharf umgrenzten Schälchen vor. Wie dieses Verhältnis zustande gekommen ist, wissen wir noch kaum. Die Verwesungsprodukte des Protoplasma der Foraminiferen haben den chemischen Kalkniederschlag hervorgerufen, in welchen gleichzeitig die Schälchen eingebettet worden sind. Oder die durch organisches Leben bedingte Kalkausscheidung hat überhaupt die Abscheidung von Kalk aus der Mutterlauge ange-regt, die Organismen haben die Mutterlauge des Meeres gewissermassen im Sinne des Kalkabsatzes oder des Kieselabsatzes infiziert. Gewiss sind die Absatzbedingungen, welche lebende organische Abscheidung begleiten, oft recht kompliziert.

Erinnern wir uns an einige Beispiele. Der untere Lias am Monte Generoso besteht aus einem wohl 5000—10000 maligen Wechsel von dichtem Kalkstein mit zusammenhängenden Schichten oder Knollenlagen von Spongitenhornstein! Der obere Teil des Biancone am Südfuss der Alpen besteht aus einem Foraminiferenkalkstein mit einer grossen Anzahl dünner Einlagen von Hornstein. Ganz ähnlich ist oft die südenglische Kreide und auch der russische karbonische Foraminiferenkalk aufgebaut. In den jurassischen Hornsteinen an der Südseite des Kaukasus wechseln die Hornsteinschichten mit dünnen Kalklagen ab. Im Malm von der Umgebung von Chiasso ist der Radiolarienhornstein in über hundert Bänke getrennt, wobei jeweilen die Mitte der dünnen (meistens 5—10 cm) Bank den reinsten Hornstein enthält, oder die Hornsteinlagen durch Lagen kieseliger ebenfalls Radiolarienreicher Thone in regelmässigem Wechsel getrennt sind.

Durch einen Vergleich der chemischen und organogenen Schichtkomplexe oder derjenigen, wo chemische oder organogene mit mechanischen Sedimenten regelmässig abwechseln einerseits, mit den rein mechanischen Sedimenten andererseits, tritt uns ein grosser Unterschied im Charakter der Schichtung deutlich entgegen:

1. Bei unverändertem Gestein ohne petrographischem Wechsel zeigen sich doch die chemischen und häufig auch die organogenen Sedimente sehr deutlich und regelmässig geschichtet, die mechanischen Sedimente dagegen in diesem Falle manchmal nicht. So finden wir z. B. 10—30 und sogar bis 100 m mächtige Massen von Conglomeraten (Rigidossen) ohne Schichtungsfläche, Sandsteine bis über 20 m ohne Schichtflächen (Molasse von Ostermündingen), Thonschieferkomplexe von mehreren hundert Metern nur mit Schieferung homogen durchsetzt, aber ohne jede regelmässige Schichtung.

2. Bei Schichtung unter Gesteinswechsel zeigen die chemischen und organogenen Sedimente (eventuell unter Mitbeteiligung mechanischer Beimengungen) die oben oft erwähnte regelmässige hundertfältige Repetition der stets gleichen Periode. Bei den vorherrschend mechanischen Sedimenten dagegen fehlt diese Erscheinung der regelmässigen Periodicität im Absatz vollständig. Der Schichtwechsel z. B. zwischen Sandstein und Thon oder Conglomerat und Sandstein kann wiederholt und sehr mannigfaltig sein, er nimmt aber nicht den Charakter der regelmässigen Periodicität, sondern der mannigfaltigen Unregelmässigkeit an, und zeigt eine Menge unregelmässiger Wechsel beim Verfolgen in horizontaler Erstreckung. Grosse Regelmässigkeit in der Schichtung ist bei vorherrschend chemischen und vielen organogenen Sedimenten die Regel, bei rein mechanischen seltene Ausnahme.

Die Schichtung der mechanischen Sedimente mit oder ohne Gesteinswechsel beruht auf Wechsel in den Einschwemmungsbedingungen und der Verbreitung und Verarbeitung des Eingeschwemmten. Da kommen in Betracht Wechsel der Niederschläge und der Hochwasser auf dem Festlande, successive Entblössung verschiedener abschwemmbarer Gesteinsmassen auf dem Festland, Schwankungen der Ströme hin und her auf ihren Delta, Hebungen und Senkungen der Uferzone, Wechsel in der Gestaltung des Abspülungslandes, weitere Verteilung des Materiales durch Brandung, Flut- und Ebbe-strömungen, Meeresströmungen, Wechsel der letzteren, etc. etc. Es ist selbstverständlich, dass durch diese Erscheinungen eine mehrhundertfältige regelmässige Periodicität in der Schichtung nicht zustande kommen kann.



Nur die vorherrschend chemischen oder chemisch-organogenen Niederschläge zeigen die mehrhundertfältige regelmässige Periodicität mit oder ohne regelmässigem Gesteinswechsel. Zur Erklärung dieser Fälle kommen wir sicherlich nicht aus mit Verschiebung von Meeresströmungen, Verschiebung des Planktonführenden Stromes, Aenderungen von Meerestiefen, Aenderungen in der Verteilung von Land und Meer, Klimawechsel, denn alle diese Erscheinungen gehen nicht gesetzmässig pendelartig hin und her, sie bedingen keine regelmässigen Perioden, sie erzeugen vielmehr die Wechsel in der Facies, die oft lange nicht wieder zu ähnlicher Art zurückkehren, aber sie erklären nicht die regelmässige Schichtung oder den gleichartig tausendmal repetierten Schichtwechsel innerhalb der Ablagerungen unveränderter Facies. Sie regieren gewissermassen die Stufen und Unterstufen, die Facies, aber nicht die Schichtung innerhalb einer Facies, die wir hier im Auge haben.

So werde ich immer mehr dazu gedrängt, die Erklärung für die hundertfache Periodicität in der Schichtung der chemischen oder chemisch-organogenen Sedimente mit oder ohne Gesteinswechsel zu suchen in einer Oscillation der chemischen Bedingungen um eine Gleichgewichtslage herum. Wenn die Ablagerung nach kurzen Aenderungen oder Unterbrüchen tausendmal immer wieder die gleiche wird, so müssten eben die Absatzbedingungen jeweilen immer wieder in die gleichen zurückfallen, sie schwanken zwischen Stillstand und Vorgang oder zwischen zwei typischen Formen hin und her. Das kann nur begründet sein im Chemismus des Niederschlages selbst. Der Niederschlag selbst kann Schuld sein an den Veränderungen der Bedingungen. Die ihn erzeugenden Umstände erschöpfen sich durch den Niederschlag selbst und dann muss er aussetzen, bis durch daneben annähernd konstant wirkende Faktoren die früheren Umstände regeneriert sind und der gleiche Niederschlag wieder einsetzt. Chemische Massenwirkungen, chemische Konzentrationsfragen, organisches Leben, „chemische Infektion“ sind im Spiele. Wir kennen diese Erscheinungen im einzelnen noch fast gar nicht. Die Enderscheinung aber, die Repetitionsschichtung zwingt uns zur Annahme einer Oscillation der Absatzbedingungen um eine chemische und zum Teil um eine organo-chemische Gleichgewichtslage, die sich in gewaltiger Grossartigkeit vollzieht, pendelnd Jahrzehnte, Jahrhunderte, vielleicht Jahrtausende nach der einen, dann nach der andern Richtung, vielhundert mal vielleicht, bis grössere Aenderungen neue ganz andere Gleichgewichtslagen schaffen. Es sollte wohl der chemisch physikalischen Forschung gelingen, die

Frage dieser Oscillation um chemische Gleichgewichtslagen näher zu prüfen und vielleicht experimentell nachzuahmen. Wir können einige der Fälle, die in der Schichtreihe der Sedimente so häufig auftreten, unserem Verständnis noch etwas näher führen.

Setzt ein Meer Kiesel ab, mehr als der Zufuhr entspricht, so wird sein Wasser kieselärmer und relativ kalkreicher. Dadurch hört der Kieselabsatz auf und es setzt der Kalkabsatz ein. Einmal eingeleitet gehen die Umsetzungen einige Zeit in diesem Sinne fort, bis die Gleichgewichtslage wieder eine Spur überschritten ist. Ich denke mir, es braucht minimale Oscillationen um die Gleichgewichtslage herum, um wechselnd Kieselabsatz oder Kalkabsatz zu provozieren. Selbstverständlich muss das Gleichgewicht sich abfinden mit den Zufuhrverhältnissen, wie die Abspülung von den Kontinenten sie schafft, und mit diesen sich verschieben. Aenderungen dort können die Gleichgewichtslage auch ganz zerstören und der Art veränderte Absatzbedingungen schaffen, dass ein neuer anderer Schichtkomplex beginnt.

Noch verständlicher werden uns solche Vorgänge, wenn wir an die Mitwirkung der Organismen denken, wobei die Organismen eine Art Infektion oder Anstoss zu bestimmten chemischen Umsetzungen im Meere geben können. Denken wir zunächst an den einfachsten Fall: Im relativ kalkreichen Meere stellen sich Foraminiferen in Masse ein und erzeugen direkt organischen und indirekt organischen d. i. chemischen Kalkniederschlag (z. B. Biancone, Liaskalk vom Monte Generoso etc.). Die Foraminiferen gedeihen gut und schlagen lange Jahre etwas mehr Kalk nieder, als in gleicher Zeit dem Meere zugeführt wird. Der Absatz, einmal eingeleitet, dauert fort, bis der Kalkgehalt des Meeres so sehr abgenommen hat, dass die Lebensbedingungen der Foraminiferen sich mehr und mehr verschlechtern. Sie selbst nehmen nun ab und damit ihre Provokation des Kalkniederschlages. Nun ist die relative Kieselkonzentration gestiegen und dadurch sind nun allmählig die Verhältnisse für die Kieselbildner günstiger geworden. Radiolarien, Kieselschwämme nehmen überhand und infizieren das Meer im Sinne organogenen und zugleich direkt chemischen Kieselabsatzes. Nach langer Zeit übersteigt allmählig auch hier der Absatz die Zufuhr, das Meer verarmt allmählig an Kiesel, die Kieselorganismen trifft das gleiche Schicksal wie früher die Kalkbildner. Unterdessen hat sich aber der Kalkgehalt des Meeres regeneriert und die Kalkbildner können sich wieder mehren und die Oberhand gewinnen. Da hätten wir trotz allen Einflusses der Organismen eben doch wiederum Oscillation im Laufe von Jahrtausenden um eine chemische Mittellage. Gewiss werden die Vorgänge noch

komplizierter bedingt sein, als hier angedeutet. Die Natur ist ja meistens viel komplizierter als unser Denken. Aber hülfsweise dürfen wir uns doch wohl solche Ueberlegungen machen. Die chemischen Bedingungen mögen die Organismen bedingen und die Organismen ändern wieder den chemischen Bedingungszustand. Die Wirkung wird Ursache in einer Art Kreislauf.

Eine ganz ähnliche Erklärung lässt sich geben für den Fall wo Foraminiferenkalke allein ohne Wechsel mit Kiesel, oder wo chemische dichte Kalksteine allein durch Unterbrüche in der Ablagerung geschichtet sind. Ferner wenn stetig ein schwacher Thonschlamm ins Meer gelangt, so wird er in Zeiten der Kalkabsätze durch diese übertönt, in Zeiten des verminderten oder aussetzenden Kalkabsatzes dagegen wird eine dünne Lage Mergel oder Thon entstehen.

Bei periodischen Aenderungen im Absatz wie bei einmaliger dauernder Aenderung leitet sich der neue Absatz sehr häufig, weil zuerst in Massenminderheit, in Konkretionsgestalt (knollig) ein, während er in der Regel nach oben nicht konkretionär endigt, sondern in Form schwindender Grundmasse, manchmal zwischen neuen konkretionären Bildungen (Seewerkalk, Silurkalk Christiania).

Zur Erklärung der periodischen Absatzwechsel sind auch „unorganische Infektionen“, die Anstösse zu einem bestimmten chemischen Niederschlage geben, denkbar. Die Hauptsache wird stets die gleiche sein: Durch Niederschlag der einen Substanz verarmt das Meer an derselben bis dieser Absatz aufhört, worauf in oscillatorischem Wechsel die Bedingungen für die Bildung eines gewissermassen entgegengesetzten Absatzes eintreten. Immer handelt es sich um Absatzwechsel durch ein Pendeln der Bedingungen um eine Mittel-lage. Es ist aber nicht eine Art Perpetuum mobile, denn treibend ist schliesslich ein ständiger Faktor, das ist die beständige Zufuhr gelöster Substanzen durch die Abspülung der Festländer und durch vulkanische Emanationen, und erst im Absatz findet die zeitlich repetierte Scheidung oder Sortierung statt.

So läuft notwendig neben dem oscillatorischen Wechsel viel langsamer ein dauernder Wechsel, bedingt durch die Aenderungen in der Zufuhr. Der oscillatorische Schichtwechsel kann nur schön und massenhaft sich entwickeln in langen Zeiten relativ konstanter Zufuhr und Mischung. Die langsamen Veränderungen in der Zufuhr ins Wasserbecken äussern sich darin, dass die relative und absolute Mächtigkeit der zwei wechselnden Gesteinsabsätze oder auch der Schichten des einheitlichen Absatzes sich allmählig ändert. Es waren z. B. erst die Mergelschichten mächtiger als die Kalkschichten, höher in der Schichtreihe werden beide gleich stark, dann nehmen die

Kalkschichten zu und die Mergel gehen auf dünne Zwischenlagen zurück und können endlich ganz verschwinden. Es gibt ja viele Beispiele dieser Art, auch zwischen Kalkschichten und Hornsteinen etc. Jeder Stratigraphie kennt solche. Auch diese Erscheinung zeigt wiederum, dass die Gleichgewichtslage, um welche herum die Absatzbedingungen hin und her pendeln mit einer Schwingungszeit von Jahren, Jahrzehnten, Jahrhunderten, sich nicht stören lässt durch Veränderungen in den relativen Mengen der Zufuhr, sondern eben durch Mehrabsatz des Mehrzugeführten stets wieder auf denselben Ausgangspunkt zurückkehrt, nämlich eben auf die Gleichgewichtslage, die nur chemisch und physiologisch bedingt sein kann. So sind die Absätze das bauschale Abbild der Zufuhr, während der chemische Zustand des Meeres selbst sich nur minim ändert. Darin liegt wohl auch die Erklärung für die grosse Mannigfaltigkeit der chemischen Absätze in der Gegenwart und Vergangenheit (Kalk, Dolomit, Hornsteine, Glauconit, Eisen, Mangan, Kupfer etc.), trotz der geringen Differenzen in der chemischen Zusammensetzung der Meere verschiedener Regionen und vielleicht auch verschiedener Perioden. Durch die verschiedenen Absätze bei verschiedener Zufuhr bleibt für die Mutterlauge relative Constanz. Das Meer, das Eisenoolith abgesetzt hat, braucht nicht so arg verschieden gewesen zu sein von demjenigen, das Kupferschiefer oder Kalkoolith gebildet hat. Darum auch ist es verständlich, dass die gleichen oder doch ähnliche Tierreste in Absätzen sehr verschiedener Zusammensetzung sich finden können. Die Verschiedenheit der Zufuhr kommt im Absatz konzentriert zur Geltung, in der Mutterlauge nur sehr verdünnt und abgeschwächt. Es kann kaum erwartet werden, dass experimentelle Untersuchungen in dieser Richtung leicht volle Klarheit bringen können, weil es sich um Massenwirkungen im Zustand sehr grosser Verdünnung und der Beeinflussung durch Lebens- und Fäulnisprozesse unter zum Teil grossen hydrostatischen Drucken, ungleichen Temperaturen und in langen Zeiträumen handelt. Dagegen verspreche ich mir einen wesentlichen Fortschritt unserer Erkenntnis von einer ganz genauen chemischen und mikroskopischen Untersuchung von typischen Fällen der Repetitionsschichtung. Es fragt sich, wie, genau von Millimeter zu Millimeter, ändert sich die Ablagerung innerhalb eines Schichtakkordes der sich immer wieder repetiert. Was für Gesetze zeigen sich in dem Uebergang vom einen Absatz zum andern in der Richtung quer zur Schichtung aber auch im horizontalen Uebergang in wechselndes Faciesgebiet.

Mit besonderem Interesse las ich die Ausführungen von G. Linck über die Entstehung der Volomite (Monatsberichte der deutschen

geolog. Gesellschaft 1909 No. 5). Auch Linck kommt dabei zu der Vorstellung eines chemischen Gleichgewichtes und auch er nimmt den chemischen Niederschlag von Kalkstein und Dolomit an. An auffallende Repetitionsschichtungen von Kalkstein und Dolomit erinnere ich mich im Momente nicht. Wenn sie sich finden, so dürfte dieser Fall für die Darlegung einer Oscillation um das chemische Gleichgewicht besonders bedeutungsvoll sein.

Wie ich schon durch die Ueberschrift angedeutet habe, bin ich hier nicht in der Lage, eine irgendwie abschliessende Untersuchung, überhaupt nicht eine Untersuchung, sondern nur einige Gedanken vorzulegen über das Problem der Schichtung. Manchmal ist der Wissenschaft auch schon dadurch ein Dienst erwiesen, dass man auf ein über Gebühr liegen gebliebenes Forschungsgebiet hinweist und einige Gedanken sich darüber macht, die vorläufig nichts mehr sein wollen als eine Anregung, das sicherlich sehr interessante und mannigfaltige Problem aufzugreifen, und zur genaueren Beobachtung darüber anzuregen.

---