

Zeitschrift: Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern
Herausgeber: Naturforschende Gesellschaft in Bern
Band: 15 (1957)

Artikel: Über Schichtung
Autor: Grunau, Hans R.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-319488>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 07.01.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

HANS R. GRUNAU

Über Schichtung

Antrittsvorlesung, gehalten am 9. Februar 1957 an der Universität Bern *

Unter Schichtung verstehen wir mit K. ANDREE (1915), R. BRINKMANN (1932) und A. LOMBARD (1956) den Wechsel in der stofflichen Zusammensetzung, in der Struktur oder der Textur senkrecht zur Schichtfläche eines Sedimentgesteins, wobei sich das Erscheinungsbild der Schichtung auf mehr oder weniger große Horizontalabstände verfolgen läßt.

Eine Erläuterung des Schichtungsbegriffs bloß an geologischen Beispielen würde wohl einer allzu großen Einseitigkeit entsprechen. Es sei deshalb darauf hingewiesen, welche Bedeutung das abstrahierte Schichtungsprinzip in der Soziologie, in der staatlichen, kirchlichen und militärischen Hierarchie besitzt. Auch in der Tiefenpsychologie spricht man vom Schichtaufbau der Seele, wie das J. JACOBI (1940) an Beispielen aus der Lehre von C. G. JUNG recht anschaulich darstellt. Man könnte in der Beziehung Ich — Bewußtseinsphäre — Persönliches Unbewußtes — Kollektives Unbewußtes einen seelischen Saigerungsvorgang sehen, der — anderen Gesetzen als die Saigerungsschichtung in der Geologie gehorchend — eine gewisse Reversibilität aufweist. Weitere Schichtungsphänomene nicht-geologischer Art, abstrahiert wie konkretisiert, ließen sich in fast beliebiger Anzahl anführen. Es sei bloß noch die Bedeutung der Saigerungsschichtung in der Petrographie in Erinnerung gerufen, wobei in erster Linie an eine komplexe gravitative Kristallisationsdifferentiation im Sinne von P. NIGGLI (1938) gedacht werden muß.

Die ungeheure Mannigfaltigkeit der Schichtungsphänomene in der Geologie hat schon früh den Wunsch nach einer Einordnung der Schichtungsarten in eine bestimmte Systematik wach werden lassen, wobei entweder beschreibend-morphologische oder genetische Kriterien zur Anwendung kommen können.

Beschreibend-morphologische Einteilungsprinzipien stellten u. a. K. ANDREE (1915) und A. LOMBARD (1956) auf. Für den Feldgeologen erweisen sich solche Vorschläge äußerst nützlich im Sinne einer Präzisie-

* Gedruckt mit Unterstützung durch die Stiftung zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung an der Universität Bern.

rung und Vereinheitlichung der geologischen Nomenklatur, ohne daß dadurch eine Deutung der komplexen Entstehungsursachen vorweggenommen wird. In unserer kurzgefaßten Zusammenschau soll es uns jedoch darum gehen, das Problem der Schichtung von der genetischen Seite anzupacken. Wir wollen und deshalb, zunächst in chronologischer Reihenfolge, einige Forscher vergegenwärtigen, deren Arbeiten in entscheidender Weise zum Verständnis des Schichtungsproblems beigetragen haben.

Schon J. KANT (1757) bemerkt, der Erdkörper sei aus Schichten aufgebaut, die in oft wieder erneuten Überschwemmungen durch den Absatz mancherlei Schlammes erzeugt worden seien. KANT weist zudem auf die Schichtbildung im Adriatischen Meer hin und betont, die Natur wirke langsam und durch Jahrhunderte durch, durch einen kleinen Absatz. Diese Gedanken sind für die damalige Zeit erstaunlich modern und aktualistisch gut untermauert.

Im Jahre 1844 spricht B. STUDER seine Unterbrechungstheorie zum ersten Mal aus, die besagt, daß eine Trennungsfläche zwischen zwei Schichten umso deutlicher sein werde, je länger die Sedimentunterbrechung nach Bildung der liegenden Schicht gedauert habe.

Bemerkenswerte Angaben über die Ursachen der Schichtung macht J. WALTHER (1893/94). Schichtung entsteht nach ihm durch einen unvermittelten Wechsel in den lithogenetischen Bedingungen. Als direkte Schichtung bezeichnet er den Wechsel Lava—Tuff, die jahreszeitlich bedingte Ton—Sand-Folge, die Alternierung von Globigerinenkalk und Diatomeenkieselschiefer. Für indirekte Schichtung führt er Beispiele von Saigerungsvorgängen in aufgewirbelten, ursprünglich ungeschichteten Absätzen an.

E. PHILIPPI (1908) betont, ausgehend von Beobachtungen an rezenten Sedimenten, daß die Schichtung teilweise auf einer Veränderung wichtiger klimatischer Faktoren, teilweise auf Krustenbewegungen beruht. Zudem führt er als für die Sedimentbildung maßgebende Faktoren die Entfernung von der Küste, die Beschaffenheit der umgebenden Landmassen, Tiefe, Temperatur usw. an. Damit schafft PHILIPPI die Voraussetzungen für eine moderne Betrachtung des Schichtungsphänomens.

ALB. HEIM (1909) hat in seinen Gedanken über Schichtung entscheidende Anregungen gegeben. So führt er das Problem des rhythmisch sich wiederholenden Kalk—Mergel-Wechsels an, den er als Oszillation der chemisch-physikalischen Bedingungen um eine gewisse Gleichgewichtslage deutet.

Die Kenntnis seiner Zeit faßt K. ANDREE (1915) in einem weitblickenden und gründlichen Aufsatz über Wesen, Ursachen und Arten der Schichtung zusammen. Darin betont er mit allem Nachdruck die Problematik, die einzelnen schichtbildenden Faktoren in ihrer ganzen Bedeutung zu erkennen und gegenüber anderen mitbestimmenden Ursachen ins rechte Licht zu rücken.

R. BRINKMANN (1932) verdanken wir eine genetische Übersicht der Schichtungsphänomene, die er in autonome, exogen und endogen induzierte sowie diagenetische Schichtung einteilt, wobei er innerhalb dieser vier Hauptgruppen insgesamt dreizehn verschiedene Schichtungsarten ausscheidet. Dieser Einteilungsversuch erscheint uns nicht in jeder Hinsicht befriedigend. So ist es nicht möglich, von autonomer Schichtung überhaupt zu sprechen, da jede Schichtungsart exogen oder endogen induziert wird. Damit zum Beispiel Saigerungsschichtung entstehen kann, ist die Zufuhr von klastischem Material ungleicher Korngröße, ungleichem Raumgewichtes oder ungleicher Teilchenform notwendig. Sind diese Bedingungen erfüllt, kann sich durch gravitative Sonderung erst eine Schichtung herausbilden. Ähnliches läßt sich von der Entstehung vulkanischer Schichtung aussagen. Voraussetzung ist das Vorhandensein eines Magmas, das unter hohem Gasdruck steht. Werden nun Lavateile aus dem Vulkanschlot herausgeschleudert, entsteht vulkanische Schichtung erst durch aeolisch-gravitative Saigerung. Bei rhythmischer Fällungsschichtung spielt sicher das Klima eine große Rolle, klimatische Schichtung ist in jedem Fall an ganz bestimmte, nicht-klimatische Voraussetzungen gebunden. Diese wenigen Beispiele zeigen uns deutlich, daß ein nach monokausalen Gesichtspunkten aufgestelltes Einteilungsprinzip viel zu eng gefaßt ist und bloß einem Teilaspekt Rechnung tragen kann. Die Schichtungsursachen sind jedoch stets komplexer Art, wobei man unterscheiden muß zwischen primären Voraussetzungen und sekundären, im eigentlichen Sinne schichtbildenden Faktoren. — Diese kritischen Betrachtungen sollen jedoch die großen Verdienste BRINKMANN's um die Klärung der Schichtgenese in keiner Weise herabmindern.

Nach BRINKMANN hat unseres Wissens erst wieder A. LOMBARD (1956) den Schichtungsbegriff zusammenfassend erläutert, wobei bloß marine Serien einer detaillierten Analyse unterzogen werden. Umso häufiger sind jedoch Spezialarbeiten, die allerdings nicht stets besondere Schichtungsprobleme im engeren Sinne zum Gegenstand haben, sondern sich mit allgemeinen Faziesfragen, mit der rhythmischen Sedimentation, mit der Geochronologie usw. befassen. Eine Übersicht dieser riesigen Litera-

tur zu geben, ist in diesem Rahmen natürlich nicht möglich. Es soll vielmehr der Versuch gewagt werden, den Stand unseres Wissens an einigen ausgewählten Beispielen zu veranschaulichen, wobei ich zum vorneher ein auf Vollständigkeit verzichte.

Ganz allgemein ist deutlich die Tendenz zu erkennen, das Phänomen der Schichtung — als Spiegel eines wesentlichen Teils der Erdgeschichte — in einen größeren Rahmen zu stellen. Dabei scheint es unumgänglich, feldgeologische Beobachtungen mit modernen Laboratoriumsmethoden sowie Experimenten *in vitro* zu kombinieren. Eine synthetische Deutung kann erst aus der genauen Kenntnis der erdgeschichtlichen Entwicklung eines bestimmten Areals heraus erfolgen, wobei noch eine recht beträchtliche Zahl von Unsicherheitsfaktoren bestehen bleibt. Der Schichtungsforscher sieht sich dabei den folgenden Problemkreisen gegenübergestellt: Zufuhr- und Transportverhältnisse in das Sedimentbecken, ihrerseits abhängig von der stofflichen Zusammensetzung des Hinterlandes, von tektonischen Ereignissen, klimatischen Bedingungen usw. — Verhältnisse im Sedimentbecken wie Bodengestalt, Temperatur, Druck, Tiefe, p_H , Redox-Potentiale, Stoffhaushalt der Organismen, Bakterientätigkeit, Lösungsgenossen, kolloidchemische Effekte, Sinkgeschwindigkeiten, Strömungsstärke und -richtung, tektonische Vorgänge, die das Sedimentbecken selbst betreffen, magmatische Prozesse, verbunden mit Stoffzufuhr — Diagenese — Schichtung und Zeit. Aus dem Studium der Schichtung, kombiniert mit einer Analyse der Fauna und ihrer ökologischen Bedeutung, kann theoretisch ein Rückschluß auf die meisten der erwähnten Faktoren erfolgen. Praktisch jedoch steckt unsere Methodik noch in den Kinderschuhen, so daß wir heute bloß einen bescheidenen Teil der uns gestellten Aufgabe bewältigen können. Es zeigt sich, daß Schichtungsarten, für die schon vor 60 und mehr Jahren eine Erklärung gegeben wurde, auch heute keine wesentlichen Deutungsschwierigkeiten bereiten, während uns etwa die rhythmische Sedimentation noch genau so rätselhaft ist wie unsern Vorgängern.

Beispiele gut erklärbarer Schichtungsarten

Die Bänderton- oder Warven-Schichtung (DE GEER, 1912) ist wohl eine der am besten bekannten Schichtungsarten überhaupt. Ihre Entstehung erklärt sich zwanglos durch eine regelmäßig wiederkehrende jahreszeitlich bedingte Schwankung, die zu hellen, sandigen Frühjahrs- und Sommer-, sowie dunklen, feinkörnigen Herbst- und Winter-

Lagen führt. Die große Bedeutung der Warvenschichtung liegt darin, daß auf sie eine absolute Geochronologie des Spät- und Postglazials gegründet werden kann. Einen solchen Bänderton-Kalender haben für Schweden und Finnland G. DE GEER, E. H. DE GEER, R. LIDEN und M. SAURAMO geschaffen. Seine Richtigkeit konnte durch die Radiocarbon-Methode eindeutig nachgewiesen werden, andererseits hat natürlich auch die Radiocarbon-Methode durch die Warven-Chronologie ihre Bestätigung erfahren. Die Ergebnisse der beiden Methoden weichen in folgender Weise voneinander ab (H. GROSS, 1954):

| | Radiocarbon-Datierung | Warven-Datierung |
|--------------------------------------|-----------------------|-------------------|
| Grenze Nacheiszeit/Späteiszeit . . . | etwa 8350 v. Chr. | etwa 8000 v. Chr. |
| Frühe Alleröd-Zeit | etwa 9930 v. Chr. | etwa 9860 v. Chr. |

Dabei ist natürlich der Warven-Kalender genauer als die durch eine gewisse Fehlergrenze belastete Radiocarbon-Methode.

Eine besondere Art der Saigerungsschichtung (Fig. 4) stellt das Graded Bedding dar, dessen Bedeutung von BAILEY (1936), KUENEN und MIGLORINI (1950), CAROZZI (1952), KUENEN (1953) sowie zahlreichen anderen Autoren hervorgehoben wird. Nach KUENEN handelt es sich um einen Materialtransport durch Schlammströme hoher Dichte, wobei bei nachlassender Transportkraft einer Korngrößensaigerung erfolgt. Dem Phänomen des Graded Bedding hat F. ALLEMANN (1957) in Anwendung auf den Prätigau-, Vorarlberg-, Vaduzer- und Triesner-Flysch im Liechtenstein besondere Aufmerksamkeit geschenkt. Er betont den Unterschied zwischen dem primären Ablagerungsraum und dem ihm benachbarten Resedimentationsraum, in dem sich graded beds herausbildeten. Dabei kann selbst ein gröbstebrückiger Kleinzyklus kein Maß für orogetische Bewegungen des Liefergebietes sein noch als Kriterium für geringe Ablagerungstiefe dienen.

In tektonisch gestörten Gebieten ist das Graded Bedding sehr willkommen für eine Beurteilung des Oben-Unten-Problems (SHROCK, 1948). E. K. WALTON (1956) hat jedoch überzeugend gezeigt, daß graded beds nicht in jedem Fall eindeutig für normale oder verkehrte Schichtfolge zu sprechen brauchen.

Als äolisch-gravitativ Kornsonderung ist die Tuffschichtung (Fig. 3) zu betrachten, die in zusammenfassenden Werken über Schichtung stets zu kurz kommt. Grundvoraussetzungen ihrer Entstehung sind

endogen-magmatischer Natur. Eine Saigerung der aufgeworfenen Teilchen stellt sich nach den von J. FRECHEN (1953) aufgestellten Regeln ein:

1. Bei gleicher Kornform und verschiedener Korngröße petrographisch gleichartiger Teilchen nach dem absoluten Gewicht.
2. Bei gleicher Korngröße und Kornform ungleichartiger Teilchen nach dem Raumgewicht.
3. Bei gleichem Raumgewicht petrographisch gleichartiger oder ungleichartiger Teilchen nach der Kornform und den Korndimensionen.

Die Korrelation einzelner Tuffprofile ermöglicht die Rekonstruktion der rhythmischen Ausbruchstätigkeit von Vulkanzentren. In der Eifel (M. HOPMANN, J. FRECHEN und G. KNETSCH, 1951; J. FRECHEN, 1953) war man dabei besonders erfolgreich. Durch Pollenanalyse und Radiocarbon-Methode gelang auch ein Anschluß an die absolute Geochronologie.

Die Gezeitenschichtung in Wattenmeeren hat durch die grundlegenden Untersuchungen von W. HÄNTZSCHEL (1936) und anderen Forschern eine weitgehende Klärung erfahren. HÄNTZSCHEL's Ausführungen sind für das Schichtungsproblem im allgemeinsten Sinn von prinzipieller Bedeutung.

Salzschichtung ist einem Zusammenwirken verschiedener Faktoren zuzuschreiben. Für die Kalisalze bei Buggingen im unteren Rheintalgraben wird folgende Entstehung angegeben (W. HASEMANN und D. HOENES, 1949): Es bildet sich eine Lagune, in die über die Barre ständig oder periodisch Meerwasser fließt. Bei subtropischem oder tropischem Klima reichert sich der Salzgehalt im Lagunenwasser zu einer Lauge an, aus der sich schließlich Anhydrit, Steinsalz und Kalisalz in der Reihenfolge von schwerlöslich zu leichtlöslich absetzen. Der Absatzrhythmus Steinsalz-Sylvin dürfte auf jahreszeitliche Temperaturschwankungen zurückgehen. Schwächere Süßwasserzuflüsse führten zur Bildung der dünnen Ton-Anhydritlagen. Durch langandauernde stärkere Zuflüsse entstanden die dickeren feinschichtigen Mergelbänke.

Die Entstehung unregelmäßiger Schichtungsarten wie Schrägschichtung, Diagonalschichtung, Kreuzschichtung, wird u. a. von H. ILLIES (1949) eingehend diskutiert und erklärt.

Beispiele schwierig erklärbarer Schichtrhythmen

Wie im Untertitel schon angedeutet ist, handelt es sich bei den schwierig erklärbaren Schichtungsarten in erster Linie um das Phänomen der rhythmischen Sedimentation, das im Schrifttum schon zu unzähligen Malen beschrieben und gedeutet wurde. In seiner anregenden Arbeit über Schichtung greift ALB. HEIM (1909) die rhythmische Repetitionsschichtung heraus und betont die Schwierigkeit ihrer Erklärung, die nach seiner Auffassung in einem Schwanken um eine gewisse Gleichgewichtslage gesucht werden muß. Bis zum heutigen Tag konnte noch keine in jeder Hinsicht befriedigende Theorie der rhythmischen Repetitionsschichtung aufgestellt werden, obschon gerade aus der letzten Zeit bemerkenswerte Arbeiten vorliegen.

Besonderes Interesse erweckt der Kalk-Mergel-Wechsel (Fig. 1 und 7), zu dessen besserem Verständnis die hervorragenden Arbeiten von E. SEIBOLD (1952, 1955) in entscheidendem Maße beigetragen haben. SEIBOLD hat im unteren Malm Schwabens eine gut aufgeschlossene Kalk-Mergel-Folge Bank für Bank untersucht, und kommt u. a. zur Schlußfolgerung, daß im Malm alpha und gamma das Bild durch die Tonzufuhr beherrscht wird, während im Malm beta eine kontinuierliche, spärliche Tonzufuhr vorliegt, die von einer stoßartigen, verschieden intensiven Kalkfällung überlagert wird. Weiterhin stellt SEIBOLD fest, daß es nicht vom Karbonatgehalt schlechthin abhängt, ob eine Schicht als Mergel- oder Kalk-Bank aus dem Profil herauswittert, sondern daß der Karbonatgehalt im Vergleich zu den liegenden und hangenden Bänken maßgebend ist. (Damit zeigt sich wieder einmal deutlich, welcher bloß subjektive Wert jenen lithologischen Profilen zukommt, die ohne genügende chemische oder sedimentpetrographische Untersuchungen aufgestellt und zur Verdeutlichung noch in Kurvenbildern ausgedrückt werden.)

Für den Eisen- und Phosphor-Gehalt liegen für das gleiche Malm-Profil folgende Angaben vor:

1. P- und Fe-Gehalt sind grob proportional. Die P-Führung ist in tonreichem Sediment relativ hoch, in kalkreichem niedrig.
2. Das P/Fe-Verhältnis steigt allgemein mit steigendem Kalkgehalt.
3. Der Phosphatgehalt ist nur sehr bedingt zum Beurteilen der Sedimentationsdauer der Bänke im unteren Malm geeignet.

E. SEIBOLD verzichtet vorläufig auf eine Deutung des Kalk-Mergel-Wechsels, da er seine Befunde noch an weiteren Profilen überprüfen will. An Hypothesen anderer Autoren über das Kalk-Mergel-Problem fehlt es zwar nicht. Sie beruhen allerdings noch auf gewissen Unsicherheitsfaktoren. W. BRÜCKNER (1951) gibt der klimatischen Theorie den Vorzug: «Kalk-Mergel-Schichtwechsel lassen sich durch periodischen Wechsel der klastischen Zufuhr oder durch Wechsel der Kalkexistenzbedingungen erklären. Feldgeologische Beobachtungen sprechen für die zweite Möglichkeit. Die Mergellagen werden langsamer sedimentiert als die Kalkbänke, häufig dürften sie sogar eher Abtragung (Lösung) statt Ablagerung darstellen. Der Kalk-Mergel-Wechsel wird auf periodische Temperaturveränderungen, d. h. klimatische Schwankungen, zurückgeführt». Solche Klimarhythmen könnten sich allerdings nicht bloß lokal auswirken. Sie müßten im abgewickelten helvetischen Faziesraum, auf den sich BRÜCKNER bezieht, zur Kreidezeit in weit auseinanderliegenden Gebieten ähnliche Schichtrhythmen hervorgebracht haben, was aber nicht durchwegs belegt ist. Mit Absatzverlangsamung der Mergelsedimentation steht zudem die Mächtigkeitzunahme und Vermergelung gewisser helvetischer Serien in südlicher Richtung zum Sedimentationstrog im Widerspruch. Wir sehen hier deutlich, daß die Annahme klimatischer Schwankungen allein nicht zureicht, den Kalk-Mergel-Wechsel zu erklären.

Der klimatischen Hypothese steht die tektonische gegenüber, die die rhythmische Sedimentation durch oszillatorische Schwankungen zu erklären versucht. Diese Auffassung vertreten zahlreiche Autoren, von denen schweizerischerseits bloß FICHTER (1934), WEGMANN (1948) und CAROZZI (1951) genannt seien. Eine vermittelnde Stellung nimmt A. LOMBARD (1956) ein, der beim Zustandekommen des Kalk-Mergel-Wechsels an ein Zusammenspiel klimatischer, tektonischer sowie weiterer Faktoren denkt.

Alles in allem geht deutlich hervor, daß das Kalk-Mergel-Problem in der Zukunft nicht durch philosophische Betrachtungen und ausgeklügelte Terminologien, sondern bloß durch exakte Feld- und Laboratoriumsuntersuchungen im Sinne von E. SEIBOLD in ein entscheidendes Stadium der Deutung gebracht werden kann. Es sind dabei u. a. folgende Fragen abzuklären: Veränderungen des Mineralbestandes, des Chemismus, der Struktur innerhalb einer Bank, wobei Feinschichtung, Pakungsart und -dichte der Grundmasse, Aufarbeitungen, Sedimentationsunterbrechungen usw. eine Beurteilung erfahren müssen — Korrelation

gleichartiger Schichtrhythmen in benachbarten und weiter auseinanderliegenden Gebieten — Paläotemperaturverhältnisse im Sedimentbecken (0^{16} : 0^{18} -Methode, UREY, 1951; EPSTEIN, 1951) — Fällungsmechanismus von Karbonaten — kolloidchemische Wanderungen (Experimente in vitro).

Größeren unregelmäßigen Schwankungen ist die Farbschichtung unterworfen, die einen Kalk-Mergelkalk-Mergel- oder Radiolarit-Kiesel-schiefer-Rhythmus zusätzlich überprägt. Ihr Studium bedingt eine genaue Darstellung des Feldbefundes in Kolonnenprofilen und Bankrhythmen sowie eine Erfassung des Mineralbestandes und der Korngröße (GRUNAU, 1957). Außer Dünnschliffuntersuchungen empfiehlt sich eine kombinierte Anwendung von chemischen Voll- und Teilanalysen, Differential-Thermo-Analyse, Röntgenographie, Elektronenmikroskopie und Spektrographie. Nach einschlägigen Untersuchungen zahlreicher Autoren sind u. a. folgende Farbminerale für bestimmte Farbtöne verantwortlich:

Rotbraun, Rot, Dunkelrot: Hämatit, Goethit, Turgit. Zunahme des Hämatitgehaltes bedingt Intensivierung und Verdunkelung des Farbtones.

Violett- und Blaufärbung: Titanhaltiger Hämatit (E. NIGGLI, 1944). Feinverteiler Pyrit (Blaugraufärbung).

Grün und Grüngrau: Chlorit, Glaukonit, Montmorillonit (untergeordnet) (Fig. 5).

Grau: Organisches Pigment, wobei dunklere Grautöne einem höheren Gehalt an organischer Substanz zuzuschreiben sind.

Für den Farbton weiterhin maßgebend sind Korngröße, Verteilungsdichte und natürlich Vergesellschaftung mit anderen Mineralien. So erzeugt zum Beispiel Hämatit keine Rotfärbung (auch nicht bei Gehalten von über 2 Gewichtsprozent), wenn der Korndurchmesser gering ist (durchschnittlich 5—10 μ), das Hämatitpigment in weitmaschiger Verteilung vorliegt und Grünminerale vorkommen.

Obschon die Bestimmung des Mineralbestandes eine Grundvoraussetzung zum Verständnis der Farbschichtung ist, liefert sie uns gleichwohl noch nicht genügend Anhaltspunkte zu ihrer genetischen Deutung. So sind noch die Fragen des Oxydations-Reduktions-Mechanismus, der Mineralneubildung, der Zufuhr klastischer Mineralpartikel usw. abzuklären. Es hat sich gezeigt (GRUNAU, 1957), daß die klassische Oxydations-

Reduktions-Theorie bloß in denjenigen Fällen angewandt werden kann, wo reduzierendes Milieu bewiesen ist. Somit scheint wahrscheinlich, daß Grünmineralien in gewissen Sedimenten allothigener Herkunft sind. Im Falle der oberjurassischen Aroser Radiolarite wurde nachgewiesen, daß die Grünmineralien von Peridotitdetritus stammen. Es ist auffällig, daß grüngefärbte Radiolarite und Kieselschiefer oft in Gebieten auftreten, wo gleichaltrige oder ältere Ophiolithe mit Radiolariten vergesellschaftet sind (zum Beispiel Süd-Ligurien, VAN DER WAALS, 1946; Franciscan group, Kalifornien, TALIAFERRO, 1943). In Radiolariten ophiolithfreier Gebiete (zum Beispiel Süd-Tessin) fehlen die typischen Grün- und Grüngrautöne. (Es ist zwar nicht ausgeschlossen, daß Choritmateriale aus nicht-ophiolithischen Grünschiefern dem Sedimentbecken zugeführt werden könnte. Untersuchungen über dieses Problem werden zurzeit vom Verfasser durchgeführt).

Alles in allem wird ersichtlich, daß eine genetische Deutung der Farbschichtung recht komplex ist. Im Vordergrund steht wohl die Frage nach den Zufuhrbedingungen. Weiterhin müssen gelöst werden die Probleme der Materialverteilung, der gravitativen Sonderung von gleichzeitig angeliefertem Hämatit und Chlorit bei stoßweiser Zufuhr mit längeren Zeiten der Unterbrechung, des p_H und der Redox-Bedingungen.

Rhythmische Schichtung im Sinne eines Wechsels Radiolarien-hornstein-Kiesel- oder kiesliger Tonschiefer (Fig. 6) ist noch keineswegs abgeklärt. E. F. DAVIS (1918) macht geltend, es könne sich dabei um einen kolloidchemischen, diagenetischen Vorgang handeln, indem ungeschichtetes, mit tonigem Material durchsetztes Kieselsäure-Gel einen Selbstreinigungsprozeß vollziehe und das Tonmaterial lagenweise absondere. Diese Auffassung wird durch ein Experiment *in vitro* gut belegt. Diagenetische Stoffwanderungen sind wohl nicht der einzige Faktor, der eine vielfach repetierte Wechsellagerung bedingt. Wir können auch an p_H -Fluktuationen (HUBER and GARRELS, 1953) denken, die zu ähnlichem Endresultat führen. Weiterhin maßgebend sind die Zufuhrbedingungen. Das Zusammenspiel der verschiedenen Faktoren ist jedoch bei weitem nicht geklärt. Deutungsversuche, die sich auf rhythmische Schwankungen etwa des p_H berufen, verschieben bloß das Problem, ohne es zu lösen. Diesem Teufelskreis ist bei der Erklärung rhythmischer Vorgänge kaum zu enttrinnen.

In der Erklärung der Bankung ist die STUDER'sche Unterbrechungstheorie noch genau so aktuell wie 1844. Auch hier stellt sich die Frage nach den Ursachen der mehr oder weniger großen Periodizität der Ban-

kungrhythmen. Nach A. LOMBARD (1956) geht bei der Bank-Bildung die positive Phase (Sedimentation) über in eine negative (Nicht-Sedimentation, Auflösung, Erosion). Das Studium der hangenden Schichtfläche gibt über die Ursachen der Bankung vielfach Auskunft. Von größter Bedeutung ist jedoch die Beurteilung der diagenetischen Prozesse wie Setzung, Erhärtung, Wasserverlust usw., von denen man noch recht wenig weiß. Grundlegende Bedeutung kommt in dieser Hinsicht wiederum den sorgfältigen Untersuchungen von E. SEIBOLD (1956) zu.

Schichtung und absolute Zeit

Die Aufstellung einer absoluten Geochronologie ist, wie schon erläutert, möglich bei gewarvten Sedimenten, die Jahreszyklen widerspiegeln und die mit historischen Ereignissen korreliert werden können. Schwierig oder mit den heute zur Verfügung stehenden Mitteln unmöglich wird eine zeitliche Aufteilung von Schichtrhythmen tertiären oder weiter zurückliegenden Alters. H. KORN (1938) hat zwar in seiner damals aufsehenerregenden Arbeit den Versuch unternommen, die Sedimentationsdauer des thüringischen Unterkarbons von der Devon-Karbon-Grenze bis ins mittlere Viséen auf Grund von Warvenschichtung zu errechnen, wobei er auf einen Betrag von ungefähr 800 000 Jahren kam. Dabei betont er das Fehlen von Lücken in den feinsandigen und tonigen Sedimenten. Die ganze Problematik, die einer Zeitbestimmung auf Grund von Analogieschlüssen mit aktuellen geologischen Prozessen innewohnt, wird von KORN dabei in keiner Weise verkannt. Man kann hier vielleicht einwenden, daß das Vorhandensein klimatischer Rhythmen an mehreren gleichaltrigen Profilen überprüft werden sollte. Zudem ist das Fehlen von Schichtlücken kaum wahrscheinlich, nimmt doch R. SONDER (1956) für die meisten marinen Profile einen Hiatusfaktor von mindestens 0,5 an, d. h. die Zeiten der Sedimentationsunterbrechung sind größer als diejenigen der Sedimentation.

Eine Eingabelung bestimmter Schichtrhythmen zwischen absolute Zeitmarken ist mit großen Fehlerquellen verbunden, da ja bekanntlich die Einordnung von Eruptivgesteinen, deren absolutes Alter nach der Blei-Methode bekannt ist, in die geologische, relative Zeitskala bloß sehr approximativ gelingt. Zudem ist das Ausmaß der nichtsedimentierenden Zeiten kaum anzugeben. Aus all diesen Überlegungen scheint es heute nicht möglich zu sein, die Zeit, die zur Bildung einer Schicht benötigt wurde, ohne Fehlergrenze von einigen 100 % anzugeben.

Schichtung und tektonischer Baustil

Es braucht wohl nicht besonders betont zu werden, daß die Eigenschaften des Baumaterials — der Schichtung kommt dabei eine besonders wichtige Rolle zu —, gepaart mit bestimmten mechanischen Ereignissen, den tektonischen Stil einer Gebirgsgruppe prägen. Das Studium der Schichtung führt somit zu einem besseren Verständnis der Faltungs-, Gleitungs-, Überschiebungs-, Schuppen- und Stockwerktektonik.

Ausblick

Der Geologe steht vor der Aufgabe, aus dem Spiegelbild der Schichtung erdgeschichtliche Ereignisse zu rekonstruieren, wobei er die schichtbildenden Faktoren in ihrer gegenseitigen Beziehung erkennen und in eine synthetische Vorstellung umdeuten muß. Daß dies heute nur unvollkommen gelingt, wurde an Hand zahlreicher Beispiele aufgedeckt. Als unumgängliche Notwendigkeit für zukünftige Forschungen über komplexe Schichtungsphänomene erweist sich eine enge Zusammenarbeit geologischer, sedimentpetrographischer, chemisch-physikalischer und astronomischer Arbeitsgruppen.

Literaturverzeichnis

- ALLEMANN, F. (1957): Geologie des Fürstentums Liechtenstein. Südwestlicher Teil. Historischer Verein Fürstentum Liechtenstein, Vaduz.
- ANDREE, K. (1915): Wesen, Ursachen und Arten der Schichtung. Geol. Rundschau 6.
- BAILEY, E. B. (1936): Sedimentation in relation to tectonics. Bull. Geol. Soc. America, 47.
- BRINKMANN, R. (1932): Über die Schichtung und ihre Bedingungen. Fortschr. Geol. 11, 35. Deecke-Festschrift.
- BRÜCKNER, W. (1951): Lithologische Studien und zyklische Gliederung in der helvetischen Zone der Schweizeralpen. Geol. Rundschau 39.
- CAROZZI, A. (1951): Tectonique et rythmes de sédimentation. Arch. Sc. Genève, 4.
— (1952): Tectonique, courants de turbidité et sédimentation. Rev. Gén. Sc., LIX.
- DAVIS, E. F. (1918): The Radiolarian Cherts of the Franciscan Group. Univ. Calif. Publ., Dept. Geol.
- EPSTEIN S., et al. (1951): Carbonate-water isotopic temperature scale. Bull. Geol. Soc. America, 62.
- FICHTER, H. J. (1934): Geologie der Bauen-Brisen-Kette am Vierwaldstättersee. Beitr. Geol. Karte d. Schweiz, N. F. 69.

- FRECHEN, J. (1953): Der Rheinische Bimsstein. Georg Fischer Verlag, Wittlich.
- GEER, G. de (1912): A geochronology of the last 12 000 years. C. R. XIe Congr. Géol. Int., Stockholm, 1910.
- GROSS, H. (1954): Die Zuverlässigkeit des Bänderton-Kalenders. Orion, Zeitschrift für Natur und Technik, 9, 21—22.
- GRUNAU, H. R. (1957): Probleme der Farbschichtung. Ecl. Geol. Helv., 49, 2, 1956.
- HASEMANN, W., und HOENES, D. (1949): Exkursion nach Buggingen und Badenweiler. Kleiner Geol. Exk.führer durch den Breisgau und das Markgräflerland. Freiburg i. Br.
- HÄNTZSCHEL, W. (1936): Die Schichtungsformen rezenter Flachmeer-Ablagerungen im Jade-Gebiet. Senckenbergiana, 33.
- HEIM, Alb. (1909): Einige Gedanken über Schichtung. Vierteljahrsschrift Natf. Ges. Zürich, 54.
- HOPMANN, M., FRECHEN, J., und KNETSCH, G. (1951): Die vulkanische Eifel. Georg Fischer Verlag, Wittlich.
- HUBER, N. K., and GARRELS, R. M. (1953): Relation of p_H and Oxidation Potential to Sedimentary Iron Mineral Formation. Econ. Geol. 48, 5.
- JACOBI, J. (1940): Die Psychologie von C. G. Jung. Rascher Verlag, Zürich.
- ILLIES, H. (1949): Die Schrägschichtung in fluviatilen und litoralen Sedimenten. Mitt. Geol. Staatsinst. Hamburg, XIX.
- KANT, J. (1757): Physische Geographie.
- KORN, H. (1938): Schichtung und absolute Zeit. N. Jahrb. Min. Geol. Pal. 74, Abt. A. Beil. Bd.
- KUENEN, Ph. H., and MIGLORINI, C. I. (1950): Turbidity currents as a cause of graded bedding. J. Geol., 58.
- KUENEN, Ph. (1953): Significant features of graded-bedding. Bull. Am. Ass. Petrol. Geol., 37, 5.
- LOMBARD, A. (1956): Géologie sédimentaire. Les séries marines. Masson et Cie., Paris.
- NIGGLI, E. (1944): Das westliche Tavetscher Zwischenmassiv und der angrenzende Nordrand des Gotthardmassivs. Schw. Min. Petr. Mitt., 24.
- NIGGLI, P. (1938): Die komplexe gravitative Kristallisationsdifferentiation. Schw. Min. Petr. Mitt., 18.
- PHILIPPI, E. (1908): Über das Problem der Schichtung und über Schichtbildung am Boden der heutigen Meere. Z. deutsche geol. Ges.
- SEIBOLD, E. (1952): Chemische Untersuchungen zur Bankung im unteren Malm Schwabens. N. Jahrb. Geol. Paläont., Abh. 95, 3.
- (1955): Zum Phosphat-, Eisen- und Kalkgehalt einiger Horizonte des süddeutschen Jura. Geol. Jb., 70.
- (1956): Wasser, Kalk und Korngrößenverteilung in einem Adria- und Bodensee-Sedimentkern. N. Jb. Geol. Paläont., Mh. 10.
- SHROCK, R. R. (1948): Sequence in layered rocks. New York.
- SONDER, R. (1956): Mechanik der Erde. Schweizerbart, Stuttgart.
- STUDER, B. (1844): Lehrbuch der Physik, Geographie und Geologie.
- TALIAFERRO, N. L. (1943): Franciscan-Knoxville Problem. Bull. Am. Assoc. Petrol. Geol., 27, 2.

UREY, H. C., et al. (1951): Measurement of paleotemperatures of the Uper Cretaceous of England, Denmark, and the southeastern United States.

WAALS, L., VAN DER (1946): De geologie van een gebied ten Noorden van La Spezia. Diss. Amsterdam.

WALTHER, J. (1893/94): Einleitung in die Geologie als historische Wissenschaft. Gustav Fischer, Jena.

WALTON, E. K. (1956): Limitations of Graded Bedding. Transact. Edinb. Geol. Soc., 16, 3.

WEGMANN, C. E. (1948): Le spectre des mouvements de l'écorce terrestre et leur enregistrement dans les sédiments. Int. Geol. Congr., 18th Session, Great Britain.

(Manuskript eingegangen am 22. Februar 1957)

Fig. 1

Gutgebankte Kalke des mittleren Lias mit Hornsteinschnüren und Mergelzwischenlagen. Breggia-Schlucht, Süd-Tessin.

Fig. 2

Oberjurassischer Radiolarit mit wellig verbogenen Schichtflächen. Die Radiolarienhornsteinbänke (bis 10 cm mächtig) sind oben und unten von einer dünnen Mergelkalklage überzogen. Bellavista (halbe Höhe Monte Generoso), Süd-Tessin.

Fig. 3

Saigerungsschichtung in vulkanischen Tuffen. Basaltbombe. Grube Michels in Niedermendig, Eifel.

Fig. 4

Graded-Bedding im Niesen-Flysch (Maestrichtien). Unterhalb Niesen-Gipfel (Kt. Bern). In graded beds hat — ähnlich wie bei der Tuffschichtung — eine Korngrößensonderung stattgefunden. Bei normaler Lagerung liegen die gröberen Komponenten an der Basis einer Bank, die feineren darüber.

Fig. 5

Elektronenmikroskop-Aufnahme von Montmorillonit (unregelmäßig begrenzte Aggregate mit körniger, rauher Oberfläche). Montmorillonit kann in Mergeln und Tonen als grünes Farbmineral von untergeordneter Bedeutung auftreten.

Fig. 6

Oberjurassischer Radiolarienhornstein, mit Kieselschiefern (auf dem Bild dunkler erscheinend) wechsellagernd. Verborgene Wäng bei Arosa (Graubünden).

Fig. 7

Kalk-Mergel-Wechsel im Domérien. T. Clivio (Oberitalien, nahe Schweizergrenze bei Arzo).

Fig. 8

Gebankter Dolomit mit feinen, bituminösen Lagen. Anisisch-ladinische Grenzbitumenzone. Monte S. Giorgio, Süd-Tessin.



