

Literatur.

1. Für die unterdevonischen Glazialbildungen:
 - A. W. ROGERS, On a glacial conglomerate in the Table mountain sandstone, Trans. South. Afr. Phil. Society, XI, 4, S. 236, 1902.
 - A. W. ROGERS, The glacial conglomerate in the Table mountain series near Clanwilliam. Trans. South. Afr. Phil. Society, XVI, 1, 1905, S. 1.
 - Annual Reports of the Geological Commission, Capetown, V, S. 79, 1900.
 - E. H. L. SCHWARZ, The three Palaeozoic ice-ages of South Afrika, The Journal of Geology, XIV, S. 686, 1906.
 - A. W. ROGERS und A. L. DU TOIT, An Introduction to the Geology of Cape Colony, London 1909, S. 133.
2. Für die alt- oder vorpaläozoischen Glazialbildungen:
 - A. W. ROGERS, The Campbell Rand and Griquatown Series in Hay. Trans. Geol. Soc. of S. Afrika, IX, 1906, S. 1.
 - E. H. L. SCHWARZ (vgl. oben), S. 686.
 - A. W. ROGERS und A. L. DU TOIT (vgl. oben) S. 96.

Erklärung zu Tafel XVIII.

Die (großen) Geschiebe 1 und 9 sind ausgewählte Proben aus dem vor- oder altpaläozoischen Glazial von Griquatown und liegen im Museum zu Kapstadt. Die Aufnahmen habe ich mit freundlicher Erlaubnis der Museumsleitung hergestellt.

Alle übrigen Geschiebe stammen aus dem unterdevonischen Glazial des südwestlichen Kaplandes und sind vom Verfasser im Laufe von etwa 10 Stunden gesammelt, stellen also durchschnittliche Proben dar.

2, 3 und 8 von Klein Vley bei Clanwilliam, 4 von Bosch Kloof bei Clanwilliam, 5 und 6 vom Tafelberg bei Kapstadt, 7 Dreikanter vom Tafelberg bei Kapstadt (Unterseite).

Sämtliche Geschiebe in $\frac{2}{3}$ der nat. Größe. 6 und 7 in der Freiburger Institutsammlung, die übrigen im Besitz des Verfassers.

Wesen, Ursachen und Arten der Schichtung.

Von K. Andrée (Königsberg i. Pr.).

»... und besonders bezeichnend ist, daß man eine der alltäglichsten Erscheinungen, die bei jeder geologischen Untersuchung ungezählte Male beachtet und verwertet wird, einfach darum nicht oder nur im Vorübergehen als Problem behandelt, weil unsere Kenntnis der Gegenwart nichts zur Lösung Geeignetes an die Hand gibt, nämlich das Problem, wie in den Sedimentgesteinen die Bankung und Schichtung entsteht« — so schrieb M. SEMPER vor kurzem in seinem interessanten Buch über GOETHES geologische Studien. Und in der Tat: Fast durchweg wird die Schichtung als etwas so Gewöhnliches und Gegebenes aufgefaßt, daß über ihre Entstehung nur selten noch nachgedacht und nachgeforscht wurde. Gleichwohl stimmt es nicht ganz, daß unsere Kenntnis der Gegenwart nichts zur Lösung Geeignetes an die Hand gäbe. Vielmehr läßt sich auch heute schon über Wesen und Ursachen der Schichtung

allerhand aussagen, was im folgenden an Hand der Literatur und eigener Studien geschehen soll, die Verf. bei seinen Vorarbeiten zu einer Allgemeinen Geologie der Sedimente und Sedimentgesteine, sowie bei Behandlung eines speziellen Falles von »Repetitionsschichtung« getrieben hat. Die benutzte Literatur ist folgende:

1. L. AGASSIZ in U. S. Coast Survey Report for 1866, S. 125. (Zit. nach MOJSISOVICS).
2. L. AGASSIZ, Bull. Mus. Comp. Zool. Cambridge Nr. 13, 1869, S. 373. (Zit. nach J. WALTHER.)
3. O. AMPFERER, Über die sedimentäre Abbildung. Jahrb. k. k. geol. Reichsanstalt 1906, 56, S. 608—612.
4. K. ANDRÉE, Über stetige und unterbrochene Meeressedimentation, ihre Ursachen, sowie über deren Bedeutung für die Stratigraphie. Neues Jahrb. f. Mineralogie usw. Beil.-Bd. 25, 1908, S. 366—421.
5. K. ANDRÉE, Die Diagenese der Sedimente, ihre Beziehungen zur Sedimentbildung und zur Sedimentpetrographie. Geol. Rundschau 1911, II, S. 61—74, 117—130.
6. K. ANDRÉE, in »Über Sedimentbildung am Meeresboden, I«. Geol. Rundschau 1912, III, S. 344—345.
7. K. ANDRÉE, Moderne Sedimentpetrographie, ihre Stellung innerhalb der Geologie, sowie ihre Methoden und Ziele. Geol. Rundschau 1914, V, S. 463—477, bes. 472—474.
8. K. ANDRÉE, Der Zyklus der Bewegungsformen der Lithosphäre in: Über die Bedingungen der Gebirgsbildung. Berlin, Gebr. Bornträger 1914, S. 79—85.
9. K. ANDRÉE, Über ein Problematikum aus dem Culm von Battenberg an der Eder und das dasselbe beherbergende Gestein. KAYSER-Festschrift (im Druck).
10. FELIX AUERBACH, Die Gleichgewichtsfiguren pulverförmiger Massen. Annalen der Physik 1901, (4) 5, S. 170—219.
11. M. BERTRAND, Structure des Alpes françaises et récurrence de certains faciès sédimentaires. C. R. 6. Congrès Géologique International Lausanne S. 163—177.
12. M. BLANCKENHORN, Zeitschr. Deutsch. Geolog. Ges. 1901, 53, S. 458/9, Fig. 31.
13. J. G. BORNEMANN, Über den Buntsandstein in Deutschland und seine Bedeutung für die Trias nebst Untersuchungen über Sand- und Sandsteinbildungen im Allgemeinen. Jena, G. Fischer 1889, S. 10—15. »Diagonalschichtung.«
14. TH. BRANDES, Die faziellen Verhältnisse des Lias zwischen Harz- und Egge-Gebirge usw. Neues Jahrb. f. Min. usw. Beil.-Bd. 33, 1912, S. 366, 367, 482.
15. G. BRAUN, Über marine Sedimente und ihre Benutzung zur Zeitbestimmung. Meereskunde 7, 7, Berlin 1913.
16. ALPH. BRIART, Sur la stratification entrecroisée. Bull. de la Soc. Géol. de France, III. série, t. VIII, 1879/80, S. 586—588 (anschließend Diskussion: SAUVAGE, VAN DEN BROECK, BRIART, GOSSELET, BRIART, DOUVILLÉ, S. 588—591).
17. H. CLOOS, Kreuzschichtung als Leitmittel in überfalteten Gebirgen. Zeitschr. f. prakt. Geologie 1914, XXII, S. 340—343, 3 Textfig.
- 17a. COLLOT, Sur le delta pliocène du Rhone à Saint-Gilles (Gard). C. R. Ac. Sc. Paris 90, 1880, S. 548—549.
18. EDG. DACQUÉ, Grundlagen und Methoden der Paläogeographie. Jena, G. Fischer 1915, S. 240—267 (Sedimentationszyklen), S. 193/4, 222, 226, 329, 332, 337, 339 (Kreuzschichtung).
- 18a. E. DESOR, Les deltas torrentiels. Lettre à M. Daubrée (Nice 14, II, 1880). C. R. Ac. Sc. Paris 90, 1880, S. 324—327.
19. W. DIENEMANN, Das oberhessische Buntsandsteingebiet. Jahrb. k. preuß. geol. Landesanst. f. 1913, XXXIV, II (Berlin 1914), S. 317—404, Taf. 5. Besonders S. 343—347 (Kreuz- und Diagonalschichtung).

20. R. VON DRASCHE, Fragmente zu einer Geologie der Insel Luzon. Wien 1878, S. 43. (Zit. nach MOJSISOVICS.)
21. E. FISCHER, Geologische Untersuchung des Lochengebietes bei Balingen. Geolog. u. paläontolog. Abhandlungen N. F. XI, (XV), 4, Jena 1913, S. 59.
22. G. FORCHHAMMER, Geognostische Studien am Meeresufer. Neues Jahrb. f. Min. usw. 1841, S. 1—38, Taf. III.
23. W. FRANTZEN, Untersuchungen über die Diagonalstructur verschiedener Schichten mit Rücksicht auf die Entstehung derselben im Buntsandstein. Jahrb. kgl. Preuß. Geolog. Landesanst. f. 1892, S. 138—176, Taf. XI—XVI.
24. K. VON FRITSCH, Allgemeine Geologie. Stuttgart 1888, S. 81, Fig. 27. (Zit. nach BORNEMANN.)
25. GERARD DE GEER, Geochronologie der letzten 12 000 Jahre. Geolog. Rundschau 1912, III, S. 457—471. (Das Gleiche in Englisch in C. R. de la 11. Session du Congrès Géologique International. Stockholm 1910, I, S. 241—253, Pl. I, 2.)
26. G. K. GILBERT, Ripple marks and cross-bedding. Bull. of the Geological Soc. of America, 1899, Vol. X, S. 135—139, pl. XIII, 5 Fig.
27. J. GOSSELET, Sur l'origine de la Stratification entrecroisée. Ann. de la Soc. Géol. du Nord 1882, IX, S. 76—83.
28. AM. W. GRABAU, Types of cross-bedding and their stratigraphic significance. Science N. S. 1907, Vol. XXV, S. 295—296.
29. AM. W. GRABAU, Early paleozoic delta deposits of North America. Bull. of the Geol. Soc. of America 1913, Vol. 24, S. 399—528, Pl. 12.
30. AM. W. GRABAU, Principles of Stratigraphy. New York, A. G. Seiler u. Co. 1913, S. 590, 697—706.
31. E. HAUG, Traité de Géologie. I. Paris 1907, S. 434.
32. ALB. HEIM, Einige Gedanken über Schichtung. Geologische Nachlese Nr. 21. Vierteljahrsschr. d. Naturforsch. Ges. Zürich 1909, 54, S. 330—342.
33. ALB. HEIM, Über Schichtung bei chemischen Sedimenten. Actes de la Soc. Helvétique des Sc. Nat. 92me Session, Lausanne 1909, t. I, S. 207.
34. ALB. HEIM, La stratification de certains sédiments chimiques. Arch. des Sc. phys. et nat. de Genève, t. 23, S. 468/9.
35. ARN. HEIM, Über rezente und fossile subaquatische Rutschungen und deren lithologische Bedeutung. Neues Jahrb. f. Min. usw. 1908, II, S. 136—157, Taf. XIII.
36. W. HENKE in Monatsber. Deutsch. Geol. Ges. 1911, 63, S. 101.
37. L. HEZNER, Abschnitt: Schichtung und Schichtfuge im Artikel »Gesteinsabsonderung« in Handwörterbuch der Naturwissenschaften IV. (Jena 1913). S. 1076.
38. W. H. HOBBS, Guadix formation of Granada, Spain. Bull. of the Geol. Soc. of America 1906, Vol. 17, S. 285—294, pls. 35—36.
39. A. G. HÖGBOM in Precambrian Geology of Sweden. Bull. of the Geol. Institut. of Upsala 1909, X, S. 32, Fig. 8.
40. ED. HULL, On iso-diametric lines, as means of representing the distribution of sedimentary clay and sandy strata, as distinguished from calcareous strata etc. Quart. Journal of the Geol. Soc. London 1862, 18, S. 127—146, Pl. VII.
41. ALFR. JENTZSCH in Gerhardt, Handbuch des Deutschen Dünenbaues. Berlin 1900, S. 88—91.
42. K. KEILHACK, Lehrbuch der praktischen Geologie. Stuttgart 1896. S. 56/57.
43. E. M. KINDLE, Cross-bedding and absence of fossils considered as criteria of continental deposits. Americ. Journ. of Sc. 1911, 4. ser., XXXII, S. 225—230.
44. O. KRÜMMEL in Handbuch der Ozeanographie 1907, I, S. 206—208, 1911, II, S. 197.
45. H. LORETZ, Über Schieferung. Ber. über die Senckenberg. Naturforsch. Ges. in Frankfurt a.-M. 1879—80, S. 61—116.

46. GEORGE D. LOUDERBACK, Pseudostratification in Santa Barbara County, California. Univ. of California Publ. Bull. of the Department of Geology, Vol. 7. 1912, S. 21—38, pls. 3—6.
- 46a. K. MARTIN, Bemerkungen über sogen. Korallenkalk oder Karang. Centralbl. f. Mineralogie usw. 1911, S. 283.
47. E. MOJSISOVICS VON MOJSVAR, Die Dolomitriffe von Südtirol und Venetien. Beiträge zur Bildungsgeschichte der Alpen. Wien, Alfred Hölder 1879, S. 168, 169, 491, 502, 503.
48. E. NAUMANN, Artikel »Schichtung« in Handwörterbuch d. Naturwissensch., Bd. VIII, (Jena 1913), S. 900—905.
49. J. S. NEWBERRY, Circles of Deposition in American Sedimentary Rocks. Proc. of the Am. Assoc. for the Advancement of Sc. Portland Meeting 1873, S. 185—196 (1874).
50. E. PHILIPPI, Über das Problem der Schichtung und über Schichtbildung am Boden der heutigen Meere. Zeitschr. deutsch. geol. Ges. 1908, 60, S. 346—377.
51. E. PHILIPPI, Die Grundproben der Deutschen Südpolar-Expedition 1901—1903. Deutsche Südpolar-Expedition, II. Bd. Heft VI (Berlin 1910), S. 591—599.
52. A. PIWOWAR, Über Maximalböschungen trockener Schuttkegel und Schutthalden. Züricher Inaugural-Dissertation 1903, Vierteljahrsschrift d. Naturf. Ges. Zürich 1903, XLVIII, S. 335—359.
53. J. F. POMPECKJ in: Die Bedeutung des Schwäbischen Jura für die Erdgeschichte. Stuttgart 1914, S. 28/29.
54. O. M. REIS, Beobachtungen über Schichtenfolge und Gesteinsausbildungen in der fränkischen Unteren und Mittleren Trias. I. Muschelkalk und Untere Lettenkohle. II. Teil. Über Gesteins- und Schichtgestaltungen usw. Geognostische Jahreshefte 1909, XXII, S. 110, 111, 115, 116.
55. FR. RINNE, Gesteinskunde. Leipzig 1914, 4. Aufl., S. 13, 14, Fig. 19.
56. W. SALOMON, Die Adamellogruppe, ein alpines Zentralmassiv und seine Bedeutung für die Gebirgsbildung und unsere Kenntnis von dem Mechanismus der Intrusionen. I. Teil. Abh. k. k. geol. Reichsanst. Wien 1908/09, 21, Heft. 1, S. 313.
57. J. J. SEDERHOLM, Les roches préquaternaires de la Fennoscandia. (Atlas de la Finlande 1910, Carte No. 5.) Helsingfors 1910, S. 17, 23.
58. G. STEINMANN, Geologische Beobachtungen in den Alpen. II. Ber. Naturf. Ges. Freiburg i. Br. 1905, XVI, S. 51.
59. ED. SUESS, Das Antlitz der Erde, 1888, II, S. 277.
60. AL. TORNQUIST, Die Annahme der submarinen Erhebung des Alpenzuges und über Versuche, Vorstellungen über submarine Gebirgsbewegung zu erlangen. Sitz.-Ber. K. Preuß. Akad. Wissensch. Berlin 1909, IV, S. 103.
61. FR. TOULA, Über die Kongerien-Melanopsis-Schichten am Ostfuße des Eichkogels bei Mödling. (Eine Studie über Diagonalschichtung.) Jahrb. k. k. geol. Reichsanst. 1912, 62, S. 53—70, Taf. II, III.
62. FR. WÄHNER, Über Gesteinsschichtung und deren Einfluß auf die Gestaltung der Landschaft. Vorträge des Ver. z. Verbreitung naturwissensch. Kenntnisse in Wien. Wien 1897, XXXVII, Heft 13.
63. JOH. WALTHER, Die Denudation in der Wüste und ihre geologische Bedeutung. Untersuchungen über die Bildung der Sedimente in den Ägyptischen Wüsten. Abh. Math.-phys. Cl. Kgl. Sächs. Ges. Wiss. XVI. Leipzig 1891, Nr. III, S. 516—520.
64. JOH. WALTHER, Einleitung in die Geologie als historische Wissenschaft. Jena 1893/4, S. 620—641: Die Auflagerungsflächen und die Entstehung der Schichtung.
65. JOH. WALTHER, Zeitschr. Deutsch. geol. Ges. 1909, 61, S. 285/6, 293.
66. JOH. WALTHER, Das Gesetz der Wüstenbildung. 1912. 2. Aufl., S. 234.

67. C. WIMAN, Über silurische Korallenriffe in Gotland. Bull. of the Geol. Inst. of Upsala 1897, S. 311—326, Pl. VIII—X. Upsala 1898.

68. C. WIMAN, Mündl. Mitt. an den Verf. bei Gelegenheit der Gotland-Exkursion des Stockholmer International. Geologenkongresses im August 1910.

69. ARTUR WINKLER, Jahrb. k. k. geol. Reichsanst. 1913, 63, S. 577.

Einleitung:

Schichtung, Schicht, Schichtfläche, Schichtfuge, Dachfläche, Sohlfläche. — Pseudoschichtungen.

Schichtung ist die Eigenschaft¹⁾ der Sedimente und Sedimentgesteine, aus einzelnen mehr oder minder dicken, sowie seitlich mehr oder minder weit sich erstreckenden Lagen zu bestehen, welche, falls sie nicht auch stoffliche Verschiedenheiten zeigen, so doch wenigstens eine leichte Trennbarkeit nach den Schichtflächen erkennen lassen. Eine leichte Trennbarkeit nach allen Schichtflächen ist aber nicht unbedingte Notwendigkeit für den Begriff der Schichtung. Dieselbe kann vielmehr auch durch eine veränderte Widerstandsfähigkeit gegen Auflösung, verschiedene Härte oder Färbung, durch eingelagerte Gerölle, Fossilien oder Konkretionen²⁾ nur angedeutet sein, und Verf. vermag nicht auf dem Standpunkt zu stehen, daß eine Absonderungsfläche zwischen den sich überlagernden Schichten für den Begriff der Schichtung notwendig sei, wie JOH. WALTHER (64) und andere wollten. Solche allerdings häufig auftretenden Absonderungsflächen erscheinen im Querschnitt in der Form der sogenannten Schichtfugen. Es besteht aber häufig deutliche Schichtung innerhalb von durch Schichtfugen gegen das Liegende und Hangende getrennten Bänken, und die Schichtfugen bezeichnen in der Regel nur den Ausstrich eines Teiles aller vorhandenen Schichtflächen. Schichtfugen beruhen entweder — aber nur in seltenen Fällen — auf einem Unterbruch des Absatzes und mehr oder minder starker Verhärtung der älteren vor Ablagerung der jüngeren Schicht³⁾; in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle aber entstehen

1) Schichtung ist als Eigenschaft der Raumerfüllung eine Textur. Demgegenüber bezeichnen wir mit anderen Autoren als Strukturen diejenigen Eigenschaften, bei welchen Gestalt, Größe und gegenseitige Beeinflussung der einzelnen Komponenten in Frage kommen. Nicht immer läßt sich scharf zwischen Textur und Struktur unterscheiden; wenn z. B. in einer horizontal gelagerten Schotterlage alle plattenförmigen Geschiebe nach derselben Richtung geneigt liegen, wie das bei Flußschichtung gelegentlich der Fall ist, dann könnte man in Zweifel sein, ob dieses unter den Texturen oder Strukturen zu behandeln sei. Nach unserem Gefühl kommt am ehesten das Letztere in Frage.

2) In diesem Falle kann durch die nachträgliche Entstehung der Konkretionen eine vielleicht ganz versteckte Schichtung zutage getreten sein. Die Ursache solcher unter den Begriff der Diagenese fallenden Konkretionsbildung muß in einer chemischen oder auch physikalischen Besonderheit einer bestimmten Lage liegen, welche Erscheinung äußerlich vielleicht in keiner Weise auffällt.

3) Oder aber, nach KEILHACK (42), darauf, »daß eine später wieder vollständig verschwundene dünne Haut von Algenvegetation Zeit hatte, sich auf jener an-

die Schichtfugen durch die Einschaltung weicher, leicht herauswitternder, dünner Zwischenmittel abweichender Beschaffenheit, etwa dünner Tonblätter zwischen Kalksteinen. Auf keinen Fall ist eine Verhärtung der älteren vor Ablagerung der jüngeren Schicht nötige Vorbedingung für die Entstehung von Schichtfugen.

Schichtung ist eine Ureigenschaft eines jeden Sédimentes und wird, ganz allgemein, durch den Absatz der verschiedenen Sedimentkomponenten aus einem beweglichen Medium (Wasser, Luft) unter dem Einfluß der Schwerkraft erzeugt, sowie irgend eine der komplizierten Ablagerungsbedingungen einer Änderung unterliegt. Eigentliche Schichtung fehlt daher, sofern wir kleinere Verhältnisse ins Auge fassen, in der Regel den nicht eigentlich sedimentierten, sondern »gewachsenen«, autochthonen Riffbildungen fossiler Organismen, insbesondere der Kalkalgen (partim), Riffkorallen, Bryozoen usw. Aber auch bei diesen, gleichwohl zu den Sedimenten gehörenden Gesteinsmassen, die ja zudem selten ganz rein aus gewachsenem Material bestehen, tritt Schichtung sofort in Erscheinung, wo entweder seitlich oder im Liegenden oder Hangenden andere Gesteinsarten auftreten; und solche Riffmassen gehören ebenso zu den Schichtgesteinen, wie eine einheitlich erscheinende mächtige Sandsteinbank oder eine dicke Steinsalzlage, in denen infolge langer Zeit gleichmäßiger Absatzbedingungen Schichtfugen nicht erkennbar sind.

Die einzelnen, durch Schichtflächen voneinander getrennten Teile einer geschichteten Gesteinsfolge nennt man Schichten. Ihre seitliche Erstreckung ist sehr verschieden groß. Irgend einmal geht aber jede Schicht, mag sie auch noch so große Ausdehnung haben, entweder allmählich in ein anderes Gestein über oder aber sie wird immer dünner und dünner und »keilt« schließlich »aus«; an ihre Stelle tritt dann in der Regel eine Schichtfuge. Jede Gesteinsschicht hat demnach eine mehr oder minder langgestreckte Linsenform. Ob dieselbe aber bereits in einem einzelnen Aufschlusse in Erscheinung tritt oder erst durch genauere stratigraphische und lithologische Vergleiche vieler Profile erschlossen werden kann, hängt ganz von der Schichtungsart und dem Ort der Schichtentstehung ab. Am weitesten aushaltend wird man immer die Sedimente tieferen Meerwassers finden; je unregelmäßiger aber die in flachem Wasser und auf dem Lande entstehenden Schichtungen sind, desto häufiger wird man das Auskeilen der Einzelschichten beobachten.

Nicht immer gelingt es, die Schichtflächen frei zu legen; am leichtesten ist es dort, wo auch Schichtfugen in Erscheinung treten, doch zeigt sich die Schichtung sonst vielfach in verminderter Kohäsion längs

zusiedeln, wodurch eine vollkommene Verschmelzung jener beiden Schichten verhindert wurde. « — Dieser Fall dürfte nur in flachem Wasser eintreten. So tragen nach C. WESENBERG-LUND in unseren Wattenmeeren blaugrüne Algen dazu bei, das Schlickmaterial zu binden. (Prometheus 16, 1905.)

der Schichtflächen, welche es erlaubt, die Gesteine nach denselben zu spalten. Diese verminderte Kohäsion mag bei manchen Gesteinen darauf zurückzuführen sein, daß die allochthonen Gesteinskomponenten, welche eine abgeplattete oder längliche Gestalt besitzen, also alle Nadelchen, Blättchen, Platten, sei es von Mineralien, sei es von Organismenresten, nicht auf der Spitze oder hohen Kante stehen bleiben, sondern sich mit ihrer größten Dimension in die Schichtfläche orientieren; und in diesem Sinne kann man manche Schichtung mit H. LORETZ (45) als »ursprüngliche« oder mit SALOMON (56) als »primäre« Schieferung bezeichnen. Als Beispiele hierfür können glimmerhaltige Sandsteine genannt werden, z. B. der Pönsandstein des rechtsrheinischen Oberdevons oder die dünnspaltenden »Sollingplatten« des südhannoverschen Buntsandsteins, die man daher auch als Sandsteinschiefer bezeichnen kann. Auch die Aviculiden-Lumachellen der alpinen Trias würden hierher zu ziehen sein. Daß durch den Druck überlagernden Gebirges in Tonen ebenfalls eine Schieferung entsteht (Belastungsschieferung), welche parallel der horizontalen Schichtung verläuft, haben DAUBRÉE und ALB. HEIM gezeigt (55, S. 40, Anm. 1). Daß Schichtung und Schieferung im übrigen etwas ganz Verschiedenes sind, ist zu allgemein bekannt, als daß hier darauf eingegangen werden könnte. Gleichwohl ist es in manchen Fällen nicht leicht, beides auseinander zu halten. Hier geben oft Gesteinsfärbungen, auch die Lage der Fossilien, die niemals (von Zufällen abgesehen) in den Schieferungsflächen liegen, und anderes Anhaltspunkte. Häufig tritt eine Schichtung, welche das Gestein im frischen Aufschluß und Anbruch nicht zeigt, bei natürlicher Anwitterung zutage, welche feinere Unterschiede in der chemischen oder mechanischen Widerstandsfähigkeit der einzelnen Schichten aufzudecken vermag. So erkennt man auf diese Weise oft sehr feine Schichtungen in Kalken, und die Kreuzschichtungen in manchen Oolithen, wie dem Rogenstein des unteren Buntsandsteins, dem Schaumkalk Thüringens, dem Hauptrogenstein des südwestdeutschen Doggers oder dem Great Oolite Englands treten erst auf solchen angewitterten Querflächen in die Erscheinung, wie das z. B. vom Schaumkalk von Meiningen bereits FRANTZEN (23) beschrieben und abgebildet hat. Daß es auch auf entsprechendem künstlichen Wege gelingt, versteckte Schichtung nachzuweisen, hat HENKE (36) gezeigt, welcher hierzu Anschleifen, Polieren und Behandlung der betreffenden Querflächen mit HCl empfiehlt.

Auch Winderosion bringt gelegentlich versteckte Schichtung zutage, wie das unter anderen TOULA (61) berichtet und wie ich es in den Aufschlüssen in den miocänen Braunkohlensanden der Samländischen Steilküste oft zu beobachten Gelegenheit hatte.

Die obere, hangende Begrenzungsfläche einer Schicht (in nicht überkippter Lage!) ist deren Dach oder Dachfläche, die untere oder liegende deren Sohlfläche genannt worden. Jede Dachfläche einer Schicht bildete einmal einen Teil der Lithosphärenoberfläche und trägt

als solcher, um so mehr, je längere Zeit dieses der Fall war, einmal die Spuren einer Fülle anorganischer Vorgänge, dann aber auch die große Mannigfaltigkeit der Erscheinungen, welche eine bodenbelebende Tierwelt derselben aufgeprägt hat. Durch alle diese Erscheinungen wird die Ebenheit der Schichtflächen naturgemäß mehr oder weniger gestört und der allmähliche Ausgleich dieser Unebenheiten kann gewisse Unregelmäßigkeiten, ja kleinste Diskordanzen innerhalb der Schichtung erzeugen. Dachflächen mit den Spuren solcher anorganischen oder organischen Vorgänge zeigen häufig eine Sedimentationsunterbrechung an, die aber keineswegs immer auf Wechsel des Bildungsmediums zu beruhen braucht (vgl. ANDRÉE, 4). Von anorganisch entstandenen Gebilden der Dachflächen seien hier nur Steinsalzpseudomorphosen, Trockenrisse, Regentropfeneindrücke, Wellenfurchen, Fließwülste, Rieselspuren, Ätzsuturen genannt. Unter den Wirkungen der Organismen sind die Schreit- und Kriechspuren, die Bohrlöcher und Wohnröhren mit ihren in den Dachflächen der Schichten mündenden Ausgängen von besonderer Wichtigkeit. Es braucht kaum erwähnt zu werden, daß die Sohlfläche der jeweilig nächst jüngeren Schicht die Negative dieser Gebilde zeigen muß, welche von meist ebenso charakteristischer Gestalt sind, wie die Positive der Dachfläche. Ja, von manchen dieser Dinge sieht man in den Sammlungen in der Regel nur solche Negative, wie z. B. die Negative der Trockenrisse, das sind die Netzleisten, oder die Ausfüllungen der Schreitspuren von Wirbeltieren (*Chirotherium*, *Iguanodon* usw.). Das beruht darauf, daß die Positive vielfach in leicht zerfallendem und zerbröckelndem (weil tonigem) Gestein stecken und daher, wo nicht direkt aus dem Anstehenden gesammelt wird, nur selten zur Beobachtung gelangen. Übrigens sind auch die eigentlichen Fossilien vielfach gesetzmäßig zu den Schichtflächen orientiert; und aus der Feststellung aller dieser Dinge ergibt sich z. T. mit Leichtigkeit die Festlegung der jeweiligen Dach- und Sohlfläche einer gegebenen Schicht¹⁾, was von großer Wichtigkeit für die Entzifferung komplizierter tektonischer Verhältnisse sein kann. Fügen wir hinzu, von wie großer Bedeutung die Beobachtung der Eigenheiten der Schichtflächen für die Feststellung paläogeographisch wichtiger Erscheinungen ist, so ist damit alles gesagt, was es dem Geologen zur Pflicht macht, den Dach- und Sohlflächen der in Untersuchung befindlichen Gesteine ebensolche Aufmerksamkeit zu widmen, wie den eingeschlossenen Fossilien und dem Gestein selbst. (Vgl. auch 7.) Als mustergültige Untersuchungen in dieser Beziehung können Arbeiten von O. M. REIS (z. B. auch 54) gelten²⁾.

¹⁾ Was gelegentlich in einer besonderen zusammenfassenden Darstellung über die Schichtflächen erörtert werden soll.

²⁾ Auf die Verzahnung von Schichtflächen durch Stylolithenbänder oder Drucksuturen, die sich besonders in (leichter löslichen) Kalk- und Dolomitgesteinen, seltener (wie in einem demnächst zu beschreibenden Falle) auch in Quarziten findet, kann hier ebensowenig eingegangen werden, wie auf die Rutschstreifen, die häufig bei der Faltung auf den übereinander hingleitenden Schichtflächen entstehen.

Pseudoschichtungen, die aber in der Regel leicht von echter Schichtung unterschieden werden können, vermögen z. B. durch gewisse Verwitterungs- und Infiltrationserscheinungen zu entstehen; einen solchen Fall hat LOUDERBACK (46) kürzlich beschrieben. Auch die wohl auf Diffusionsvorgänge zurückzuführenden Durchsinterungserscheinungen und Sigmoidalklüfte, denen O. M. REIS (54) neuerdings im fränkischen Muschelkalk rege Aufmerksamkeit geschenkt hat und welche FRANTZEN (23) bezeichnenderweise auf »krypto-diagonale« Schichtung zurückführen wollte, gehören in das Kapitel der Pseudoschichtungen.

Wesen der Schichtung:

Die (primäre) Neigung der Schichten; Unterscheidung der normalen (konkordanten) Parallelschichtungen von den (diskordanten) Schrägschichtungen; Übergußschichtung; sedimentogene und biogene Schrägschichtung; Einfluß der Neigung der Unterlage sich bildender Schichten.

Wo feinkörniges Sediment zum Absatz gelangt, geschieht dieses in der Regel in horizontalen Schichten, und solche wie die Blätter eines Buches übereinander liegenden Schichten setzen zusammen, was wir im folgenden als normale (konkordante) Parallelschichtungen noch des näheren ins Auge zu fassen haben werden. Mit dem Größerwerden des Kornes nimmt im allgemeinen die Möglichkeit des Absatzes in ursprünglich geneigten Schichten zu. Die Größe dieser Neigungen hängt, abgesehen von der Art des Absatzes, von der Korngröße, von der Gestalt der Komponenten und vom Ablagerungsmedium ab. Ablagerungen aus Luft können, jedenfalls soweit es sich um feinkörnigere Massen handelt, in steileren Böschungen bestehen bleiben als Ablagerungen gleicher Korngröße und Komponentenform aus Wasser. Bei sehr grobem Material scheint sich die Sachlage umzukehren, doch sind mir vergleichende Zahlen hierüber kaum zur Hand (siehe später S. 384 u. f.).

Während bei den Absatzverhältnissen der Tiefsee, insbesondere auch wegen des feinen Kornes der dort ausfallenden Sedimente, nur normale Parallelschichtung zu entstehen vermag, nimmt die Häufigkeit geneigter Schichten in der Flachsee mit abnehmender Tiefe schnell zu, und das Vorkommen solcher ist in kontinentalen Ablagerungsgebieten fast die Regel.

Schichtungen mit primären Schichtenneigungen kann man Schrägschichtungen¹⁾ nennen. Diese Schrägschichtungen entstehen, ganz allgemein gesagt, durch das laterale Wachstum von Aufschüttungskegeln, einerlei ob in Luft (Abhangsschutt, Dünen) oder in Wasser (Deltakegel, Sandbänke usw.), und zwar folgt ihre größte Neigung in

¹⁾ Dieser Ausdruck, den ich z. B. auch bei RINNE (55) finde, bezeichnet am besten die Gesamtheit der nicht konkordanten Schichtungen, die wir im folgenden noch in Unterarten zu zerlegen haben werden. Die Bezeichnungen »Diagonalschichtung« und »Kreuzschichtung«, welche die meisten Autoren in gleichem zusammenfassenden Sinne verwenden, eignen sich m. E. nur für bestimmte Unterarten der Schrägschichtungen.

der Regel der Transportrichtung des sich absetzenden Materials, nach welchem Gesetz bei fossilen Bildungen umgekehrt auf dieselbe geschlossen werden kann¹⁾. Da solche schräge Schichten vielfach mit ursprünglich horizontal abgelagerten wechsellagern und hierdurch Diskordanzen entstehen, kann man diese Ablagerungsformen auch als diskordante Schichtungen zusammenfassen. Die innerhalb dieser Schichtungen häufig sich wiederholenden primären Diskordanzen kann man als Schichtungsdiskordanzen von den sekundären, den Erosions-, Faltungs- und tektonischen Diskordanzen unterscheiden, was im allgemeinen nicht schwer sein wird; indessen sei bereits hier bemerkt, daß in der Regel auch bei der Entstehung dieser primären oder Schichtungsdiskordanzen kurzdauernde Abtragungsvorgänge eine Rolle spielen. Nichts anderes als submarine Aufschüttungskegel sind diejenigen ursprünglich geneigten detritogenen Gesteinsmassen, die man in der Peripherie rezenter und fossiler Korallenriffe, Spongienriffe usw. beobachtet und deren Lagerung man als »Übergußschichtung« bezeichnet hat. (EDM. MOJSISOVICS VON MOJSVAR, 47). »Die ... sogenannte Übergußschichtung findet sich nach den übereinstimmenden Berichten aller Beobachter stets auf den Außenseiten der Riffe. Der Grad der Neigung der einzelnen Bänke scheint jedoch innerhalb sehr weiter Grenzen zu schwanken. Er ist offenbar zum großen Teile²⁾ abhängig von dem Maße des vertikalen Wachstums der Riffe und von der Intensität der Brandung. Eine treffende Schilderung der Übergußschichtung gibt AGASSIZ(1), welcher mit Recht auf die große Ähnlichkeit mit torrentieller³⁾ Schichtung hinweist. R. VON DRASCHE (20) berichtet, daß die eben gehobenen Korallenriffe von West-Luzon genau dieselben Schichtungsverhältnisse zeigen, welche MOJSISOVICS als Übergußschichtung in den Dolomitriffen von Südtirol charakterisierte.« Von der eigentlichen Übergußschichtung der das gewachsene Riff umgebenden detritogenen Trümmernmassen verschieden ist die vielfach steil ansteigende Schichtung, welche die autochthonen Riffmassen innerhalb ihrer Masse selber gelegentlich dort zeigen, wo ihr Aufbau in einzelnen Entwicklungsphasen verlief, wie das z. B. E. FISCHER (21) an den Spongienriffen des Lochengebietes feststellte. Ähnliches war schon früher von C. WIMAN (68) an obersilurischen Korallen-

¹⁾ Eine Ausnahme würde nur die Schrägschichtung sein, die sich nach FORCHHAMMER (22) am schräg geneigten Meeresstrand mit der Neigung gegen die Herkunftsrichtung der den Sand transportierenden Wellen bilden soll. Doch bezweifle ich das häufigere fossile Vorkommen solcher Schrägschichtung (siehe auch S. 387 dieser Arbeit).

²⁾ Ich bemerke bezüglich dieses und späterer Zitate in »...«, soweit sie im Original die alte Schreibweise haben, daß in denselben gegen meine Absicht und in für mein Gefühl unnötiger, ja der nötigen Korrektheit der Wiedergabe widersprechender Weise in der Korrektur aus redaktionellen Gründen die neue Schreibweise eingeführt wurde. Der Verf.

³⁾ D. i. die Schrägschichtung gröberer Schotter in Wildbächen und rasch fließenden Strömen.

riffen von Karlsö, einer kleinen Felseninsel an der Westküste von Gotland, beobachtet worden. Dieses Inselchen entspricht einem fossilen Korallenriff, welches im allgemeinen eine horizontale Erstreckung hat, jedoch bei genauerer Betrachtung — schon vom vorbeifahrenden Schiff aus — als aus einzelnen geneigten parallel zur einstigen Riffoberfläche peripher um die Riffböschung herum und rings gegen das Ufer einfallenden, gewachsenen Riffkalkschichten bestehend sich ausweist. Tektonische Störungen haben die Lage dieser Schichten sicher nicht hervorgebracht. Man könnte diese Schrägschichtung biogen-benthonischer Sedimente im Gegensatz zu der eigentlichen sedimentogenen Schrägschichtung als biogene Schrägschichtung bezeichnen. Auf Ablagerung der Sedimentmassen über Rifflinsen möchte ich auch die gelegentliche eigenartige kuppelförmige Lagerung der obersilurischen Guelph-Dolomite zurückführen, welche ich auf einer Exkursion des letzten internationalen Geologenkongresses am 6. August 1913 in der Nähe von Guelph im westlichen Ontario in Canada beobachten konnte. Diese flach ansteigenden, kreisförmigen Kuppeln sind in jener horizontalen Sedimenttafel auf tektonischem Wege kaum zu erklären, werden aber durch die Annahme darunterliegender Korallen- oder Stromatoporen-Rifflinsen in den Niagara-Schichten ohne weiteres verständlich.¹⁾

Überhaupt muß über jeder uneben gestalteten Oberfläche, welche eingesedimentiert wird, zunächst eine unregelmäßige Schichtung, oft mit den verschiedensten Neigungswinkeln und -richtungen entstehen, durch welche alle Unebenheiten ausgeglichen werden, indem die Hauptmenge des Sediments, der Schwerkraft folgend, den Vertiefungen zustrebt. Über die unregelmäßige Schichtung, welche ein Wellenfurchenrelief bei weiterer Sedimentierung ergeben kann, hat GILBERT (26) berichtet. Ähnliches gilt aber auch von anderen, mehr unregelmäßigen Oberflächen, und es hängt lediglich vom Ablagerungsmedium und dessen Bewegungszustand, von der Korngröße des Materials und der Form der einzelnen Gesteinskomponenten ab, ob die Vertiefungen mit horizontalen, zunächst an den Erhöhungen der Unterlage seitlich abstoßenden Schichtchen oder mit muldenförmig geneigten Lagen ausgefüllt werden. In letzterem Falle könnte man mit TOULA (61) von »Muldenschichtung« sprechen, auf welche im übrigen noch zurückzukommen sein wird.

Über die Neigungswinkel, welche über geneigter Unterlage sedimentierte Schichten einnehmen können, hat J. WALTHER (64) einige Angaben nach der Literatur gemacht: »Nach den Versuchen von ROZET können sich regelmäßige Sedimentschichten auf einer bis 30° geneigten Unterlage bilden. Bei zunehmender Neigung nimmt die Dicke der Schichten ab. Minder schwere Körper können sich auf geneigteren Flächen halten, und Geschiebe können sich noch bei 15° Neigung in regelmäßige Schichten lagern. Die Beobachtungen von STUDER am trocken gelegten Delta

¹⁾ Über ursprünglich geneigte Schichten von jungem Korallenkalk hat K. MARTIN (46a) berichtet.

des Lungener See's zeigten Kies- und Sandschichten, welche unter einem Winkel von 35° gegen den Seegrund geneigt waren und dort allmählich in die horizontalen Schichten desselben übergingen. Der feine Seeschlamm hatte sich an manchen Stellen unter 25° abgesetzt. Solche stark geneigten Tonschichten waren oben 10—20 cm dick, während sie nach unten zu 1 m Mächtigkeit anschwollen. Alle die bisher angeführten Winkel entsprechen also den Winkeln, welche Schichtenflächen ursprünglich auf denudierten Flächen oder auf vorherigen Ablagerungen bilden können. « Aber solche Neigungen, die sich, worauf die Mächtigkeitszunahme nach unten schon hindeutet, beim Fortgang der Sedimentation von selbst ausgleichen, haben nichts mit den durch bestimmte Arten der Sedimentation bedingten Neigungen der eigentlichen Schrägschichtungen zu tun, mit denen wir uns daher später noch beschäftigen wollen.

Die allgemeine Erscheinungsform der Schichtung bezüglich des Materials; Gesetz von der Korrelation der Fazies.

Das Problem der Schichtung ist eines der wichtigsten, wenn nicht das wichtigste Problem, dessen Lösung der Stratigraph von der allgemeinen Geologie erwarten darf. Um so auffallender ist es, wie wenig unsere Lehrbücher und zusammenfassenden Darstellungen (37, 48) bis vor kurzem darüber zu sagen wußten. Und doch hatte sich JOH. WALTHER (64) schon vor über 20 Jahren in seiner viel zu wenig benutzten »Einleitung in die Geologie als historische Wissenschaft« eingehend zu dieser Frage geäußert, und gewiß dem damaligen Stande der Geologie durchaus entsprechend. Nach ihm entsteht Schichtung durch eine Verschiedenheit des Gesteinsmaterials, durch einen Wandel der Fazies, oder, wenn wir auf die weiteren Ursachen zurückgehen, durch einen Wechsel in den lithogenetischen Bedingungen. WALTHER trat hierbei mit Entschiedenheit der oft geäußerten, noch auf STUDER und NAUMANN zurückgehenden Anschauung entgegen, daß jede Schichtfuge einer Unterbrechung der Sedimentation gleichkomme, und wir müssen ihm entschieden recht geben, wenn er einer strikten Verallgemeinerung dieser »Unterbrechungstheorie« nicht zustimmte. Andererseits aber läßt sich doch nicht in Abrede stellen, daß die Fälle solcher Unterbrechungen der Sedimentation, auch ohne Trockenlegungen der betreffenden Wasserbecken, bzw. Änderung des Sedimentationsmediums¹⁾, keineswegs zu den

¹⁾ Bei kontinentalen Sedimentbildungen auf »trockenem« Wege gehören Unterbrechungen des Absatzes ohnehin zur Regel; und ich will hier als unverdächtigen Zeugen WALTHER selbst zu Worte kommen lassen (JOH. WALTHER, Das Gesetz der Wüstenbildung in Gegenwart und Vorzeit. 2. Aufl. Leipzig 1912, S. 234): »Im Gegensatz zu den unter beständiger Wasserbedeckung entstehenden Schichtenfugen mariner Gesteine sah ich hier« (im Takyr Transkasiens) »jenen Vorgang verwirklicht, der bei geologischen Diskussionen vielfach als die »normale« Ursache der Schichtung bezeichnet wird. Eine Periode lebhafter Anfuhr von Sediment wird unterbrochen durch eine Zeit der Eintrocknung und Verfestigung der eben gebildeten Schicht, und die ganze Fläche des riesigen Takyr ist einmal Wassergrund, dann »Strandgebilde«. «

Seltenheiten gehören und sich mit der Zahl neuerer, besonders auch den Sedimentgesteinen Aufmerksamkeit schenkender paläogeographischer Arbeiten noch stetig gemehrt haben. Verf. dieses hat selbst vor Jahren eine Anzahl der hierfür in Frage kommenden Möglichkeiten zusammengestellt und durch Beispiele zu belegen gesucht (4); und man wird zugeben müssen, daß die Ablehnung der »Unterbrechungstheorie« durch WALTHER der ganzen Fülle von nunmehr bekannten Möglichkeiten nicht mehr ganz entspricht, daß vielmehr für eine nicht kleine Anzahl von Schichtungen — es ist gleichwohl immer noch die Minderheit — die Unterbrechungstheorie zu Recht besteht.

FRANZ WÄHNER (62) hat ungewollt durch Anführung von Beispielen gezeigt, daß die Unterbrechungstheorie selbst in Fällen zu Recht bestehen kann, in denen eine leichte Trennbarkeit der übereinander folgenden Gesteine, also Schichtfugen überhaupt nicht in Erscheinung treten. In den Ostalpen liegen nach diesem Autor »nicht selten Rudistenkalke der oberen Kreide unmittelbar auf Riffkalken der oberen Trias. Zwischen beiden Gesteinen fehlen also die Ablagerungen der ganzen Jurazeit und der unteren Kreide. Dennoch sind sie so innig miteinander verwachsen, daß man von der Grenze Stücke schlagen kann, welche aus beiden so verschiedenalterigen Kalken bestehen. Ein anderer Fall, in welchem ein alttertiärer Nummulitenkalk in außerordentlich enge Verknüpfung mit Triaskalk tritt, ist aus den Südalpen beschrieben worden; hier umfaßt die Lücke zwischen beiden Gesteinen einen noch längeren Zeitraum.« Um eine viel kleinere Lücke handelt es sich in einem Vorkommen aus den nördlichen Kalkalpen, welches WÄHNER noch erwähnt. »Auf weißem Korallenriffkalk, welcher im allgemeinen der obersten Trias angehört, in manchen Fällen aber in seinen oberen Teilen bereits liasischen Alters ist, liegen Bänke von rotem Liaskalk, der aus Foraminiferen und Crinoidenstielgliedern besteht. An einigen Punkten liegt an der Grenze beider Bildungen eine Gesteinsbank, die zur unteren Hälfte aus weißem, zur oberen Hälfte aus rotem Kalk besteht. Die in der Mitte der Bank liegende Grenze zwischen weißem und rotem Kalk ist sehr scharf, dennoch verläuft hier keine Schichtfläche; die Verbindung ist im Gegenteil sehr fest, so daß sich auch hier von der Grenze Gesteinsstücke gewinnen lassen, die aus beiden Kalkarten bestehen. Dagegen ist die Grenzbank sowohl von der tieferen weißen, als von der höheren roten Kalkbank durch deutliche Schichtfugen geschieden. Durch die mikroskopische Untersuchung von Gesteinsdünnschliffen, die der Grenze zwischen Weiß und Rot entnommen sind, läßt sich nachweisen, daß der weiße Kalk schon erhärtet war, und daß Teile desselben wieder entfernt worden waren, bevor der rote Kalk sich darüber abgelagert hatte. Es zeigt sich also, daß auch hier eine Unterbrechung in der Sedimentbildung eingetreten ist, ohne daß es an der betreffenden Stelle zur Bildung einer Schichtfläche gekommen wäre.« Wenn nun allerdings WÄHNER diese Fälle gegen das Zurechtbestehen der »Unterbrechungstheorie« ins Feld führt,

so vermögen wir ihm hierin nicht zu folgen, und gerade der zuletzt erwähnte Fall ist eine typische »unterbrochene« Schichtung, wenn auch keine »Schichtfuge« in Erscheinung tritt. Nur die Überschätzung des Vorhandenseins solcher Schichtfugen als nötig für das Wesen der Schichtung, die auch die WALTHERSche Darstellung kennzeichnet, erklärt diesen Widerspruch in der WÄHNERSchen Schlußfolgerung, und im Gegensatz hierzu muß ich um so nachdrücklicher die Unwesentlichkeit des Vorhandenseins oder Fehlens von Schichtfugen feststellen, welche ja durch die Herauswitterung dünner Zwischenmittel entstehen und »als solche gewöhnlich nur eine ganz kurze Strecke bergseits eindringen.«

Es entsteht die Frage, ob die Länge der Sedimentationsunterbrechung für unser Problem wesentlich ist. Schon bei der Betrachtung der von WÄHNER beschriebenen Fälle müssen wir diese Frage verneinen. In der Regel wird es sich zwar um bedeutend kürzere Unterbrechungen handeln, als zwischen Trias und Alttertiär, wie in dem zweiten WÄHNERschen Fall; zumeist sind die häufig periodisch einsetzenden Unterbrechungen so kurz, daß sie in einer stratigraphischen Zone in der Mehrzahl auftreten, und wir vermögen keine scharfe Grenze zu ziehen gegen das, was wir ebensogut Sedimentationsverlangsamung nennen könnten. Gleichwohl werden wir überall dort berechtigt sein, von Sedimentationsunterbrechung zu sprechen, wo sichere Anzeichen dafür vorhanden sind, daß eine bestimmte Schichtfläche eine Spanne Zeit Lithosphärenoberfläche war, ohne sofort durch neues Sediment weiter eingedeckt zu werden. Diese Anzeichen sind verschieden je nach der Ursache der Sedimentationsunterbrechung und beruhen z. T. sogar auf der Wiederzerstörung bereits gebildeten Sedimentes. Doch hierauf einzugehen ist erst Sache des folgenden Abschnittes.

Bezüglich des Wechsels der lithogenetischen Bedingungen, bzw. des Wandels der Fazies, welcher die meisten Fälle von Schichtung charakterisiert, ist das Gesetz von der Korrelation der Fazies (64) von ausschlaggebender Bedeutung. »Wo in dem einen Abschnitt der Erdgeschichte Küstendünen zur Ablagerung gelangten, da finden wir in einer folgenden Periode die Salzlager der Strandlagunen, später die Mergel der Flachsee und darüber vielleicht die ungeschichteten Kalke eines Korallenriffes. So verschiebt sich beständig auf der Erdoberfläche die Verteilung der Gesteinsfazies; und wie bei den Lebensbezirken, so verlangt das Gesetz von der Korrelation der Facies, daß nur solche Gesteine unmittelbar übereinander zur Ablagerung gelangen können, welche auf der gegenwärtigen Erdoberfläche nebeneinander beobachtet werden.« Andererseits muß jeder Verstoß einer geschichteten Gesteinsfolge gegen dieses Gesetz den Verdacht erwecken, daß hier doch die »Unterbrechungstheorie« in die Lücke einzuspringen hat.

Nach alledem läßt sich bezüglich der Erscheinungsform der Schichtung sagen, daß sich dieselbe entweder in einer Unterbrechung des Absatzes oder in einer Änderung des Sedimentmaterials äußert.

Ist nun hiermit über das Wesen der Schichtung wohl das letzte Wort gesprochen, so bleibt es doch noch unsere Aufgabe, die Bedingungen zu erörtern, unter denen solche Unterbrechung des Absatzes oder Änderung des Sedimentmaterials zu erfolgen vermag.

Ursachen der Schichtung:

Vorbemerkung: **Direkte und indirekte Schichtung.**

In vielen Fällen fällt die Entstehung der definitiven Schichtung eines Gesteins mit seiner Ablagerung zusammen. Wir sprechen dann mit JOH. WALTHER (64) von »direkter Schichtung«. »Ganz anders liegen aber die Verhältnisse, wenn ein aus Sand und Ton gemengtes Sediment zur Ablagerung kam, und später diese Sedimentmasse durch die Wasserbewegung aufgewühlt wurde. Bei jedem Sturm kann man an sandigen Küsten beobachten, daß nach einiger Zeit das Meerwasser nahe dem Strande mißfarbig wird. Wenn wir uns diese Umstände auf dem senkrechten Querschnitt betrachten könnten, so würden wir bemerken, daß überall, wo die Wasserbewegung den Meeresgrund erreichte, das Sediment des Meeresbodens aufgewühlt und der leichtere Teil des abgelagerten Materials im Wasser schwebend erhalten wurde. Der Sturm hört auf, das Wasser beruhigt sich, und langsam sinkt die Wassertrübe zu Boden. Es entsteht eine geschichtete Ablagerung, welche aus einer unteren grobkörnigen und einer oberen tonigen Schicht besteht.« (WALTHER.) Oder folgen wir der Darstellung, welche KRÜMMEL (44) von der Einwirkung der Sturmwellen auf den Meeresboden gegeben hat: »Auf dem mit beweglichem Sande bedeckten Meeresgrund werden die Wassertheilchen versuchen, eine elliptische Bahn zu bilden und damit den Sand aufzuwühlen. . . . Ist die Orbitalgeschwindigkeit sehr groß, wie das bei hohen Sturmwellen in mäßig tiefem Wasser der Fall ist, dann wird auch grober Kies in Bewegung versetzt werden. Wo der Meeresboden aus einem Gemisch groben und feinen Materials besteht, wird alsbald, sowie die Orbitalgeschwindigkeit nachläßt, die Abscheidung der großen und schweren Körner erfolgen. . . . Je mehr der Seegang sich beruhigt, desto weiter schreitet der Saigerungsprozeß vor. Das Endergebnis wird eine ganz regelmäßige Schichtung sein, unten die schweren, darüber immer die leichteren Teilchen, die leichtesten zu oberst.« Die Textur, welche die Folge dieses auch auf dem Festlande häufigen Saigerungs- und Wiederablagerungsprozesses ist, nennen wir mit JOH. WALTHER »indirekte Schichtung«. Eine andere Art indirekter Schichtung muß entstehen können, wenn größere Gesteinsblöcke über weicherem Sediment zur Ablagerung gelangen und in demselben versinken. TORNUST ist derartigen Erscheinungen, auf welche bisher selten die Aufmerksamkeit gelenkt worden ist, auch experimentell nachgegangen (60): »Ganz allgemein kann gesagt werden, daß große Blöcke, welche über weiche Sedimente abgelagert werden, wohl im allgemeinen leicht in tiefere Schichten durchsinken werden, und zwar so weit, bis das Sediment zu dicht wird; es können

dann dort sekundäre, scheinbar aber primäre Konglomeratschichten entstehen, welche sich von ursprünglich primären Ablagerungen werden schwer trennen lassen.« Nun mag zwar füglich bezweifelt werden, ob solcher Art entstandene indirekte Schichtung häufig vorkommt. Im allgemeinen wird schon nach dem »Gesetz von der Korrelation der Fazies« eine direkte Überlagerung weicher Tone und feinkörniger Sande durch große Blöcke zu den Ausnahmen gehören, und es mag anderen überlassen bleiben, TORNQUISTS Nutzenanwendung auf den Flysch zu diskutieren: »Man wird nach dieser Nutzenanwendung der Versuche die isoliert im Flysch liegenden Blöcke als solche anzusehen haben, welche ursprünglich in groben Trümmerschichten mit zahlreichen ähnlichen Blöcken lagen und daß dann eine Anzahl solcher Blöcke, und zwar zunächst die größten und diejenigen, welche dem weichen Sediment im Liegenden am nächsten waren, durch die liegenden Sedimente eingesunken sind. So konnten diese Blöcke auf die Vermutung einer glazialen Herkunft führen.«

Entstehung von Schichtung durch Sedimentationsunterbrechung.

Nur weniger Bemerkungen bedarf die Entstehung der Schichtung durch Sedimentationsunterbrechung. Hierbei sind zwei Möglichkeiten zu unterscheiden, 1. Sedimentationsunterbrechung ohne Fazieswechsel, 2. Sedimentationsunterbrechung mit Fazieswechsel. Ob der erste oder der zweite Fall eintritt, hängt mit der Ursache der Sedimentationsunterbrechung aufs engste zusammen. Sehen wir hierbei mit Rücksicht auf eine früher gemachte Anmerkung von festländisch entstandenen Sedimentlücken ab, so sind für subaquatisch, bzw. submarin entstandene Sedimentationslücken mindestens 4 Möglichkeiten vorhanden: 1. und 2. die Brandungs- und die Strömungslücke (durch die Wirkung der Brandungswelle oder die abtragende Tätigkeit von Meeresströmungen bewirkt) (4), 3. die Lösungs- oder Korrosionslücke (infolge submariner Anlösung durch das Meerwasser) (58, 4) und endlich 4. die Rutschungslücke (infolge subaquatischer Rutschung, welche im Abrutschungsgebiet die »unterzählige«, im Akkumulationsgebiet die »überzählige Schichtung« erzeugt) (ARN. HEIM, 35). Ich will es mir unter Verweisung auf die zitierten Arbeiten schenken, näher auf diese Dinge einzugehen; daß diese Fälle aber nicht gerade selten sind, dazu brauche ich nur an die frühzeitig erhärteten und angebohrten Meeresbodenoberflächen des nordfranzösischen Kreidemeeres zu erinnern, wie sie französische Forscher, oder des deutschen Muschelkalkmeeres, wie sie O. M. REIS (54) und andere beschrieben haben —, ja, solche Dinge finden sich überall in unserem deutschen Wellenkalk, wo man sich nur die Mühe nimmt, danach zu suchen. Oder ich kann hinweisen auf die submarinen Anätzungen durch lösendes Meerwasser, wie sie die einseitige Erhaltung der Fossilien in manchen Gesteinen, wie in den Orthocerenkalken der Sedimentdecke

des baltischen Schildes, in den Clymenienkalken des Oberdevons, in den Kalken des unteren Lias von Adnet, ja selbst in den Nodosen-Schichten des oberen deutschen Muschelkalkes hervorgerufen haben und die Ursache dessen sind, was man bei Betrachtung in der Queransicht mit STEINMANN (58) als »Ätzsutur« bezeichnet. Solche Ätzsuturen sind nichts anderes als durch submarine Gesteinsauflösung entstandene Schichtfugen.

Ein ausführlicheres Eingehen aber verlangt die Entstehung der Schichtung durch Gesteins-; bzw. Fazieswechsel.

Entstehung von Schichtung durch Änderung des Sedimentmaterials.

Über dieses bedeutungsvolle Thema sind in den letzten 10 Jahren zwei anregende Arbeiten erschienen, von denen jede einen Teil der möglichen Bedingungen ins Auge faßt, ohne jedoch in dieser Beziehung erschöpfend zu sein. Ich will diese beiden Arbeiten, die den viel zu früh verstorbenen E. PHILIPPI und keinen geringeren als ALB. HEIM zu Verfassern haben, in der Reihenfolge ihres Erscheinens besprechen und nur noch zuvor bemerken, daß sich die folgenden Ausführungen hauptsächlich mit Ablagerungen tieferen Wassers beschäftigen und daher ganz von selbst insbesondere auf die konkordanten Parallelschichtungen beziehen, wohingegen die Schrägschichtungen später noch zu ihrem Rechte kommen sollen.

E. PHILIPPI war es vergönnt gewesen, nicht nur zusammen mit einem Kenner rezenter Meeressedimente, wie J. MURRAY, die von der »Deutschen Tiefsee-Expedition« auf der »Valdivia« gesammelten Meeresbodenproben zu untersuchen, sondern auch an der »Deutschen Südpolar-Expedition« auf dem »Gauß« teilzunehmen. Infolgedessen stand ihm ein reicher Schatz von Erfahrungen zu Gebote, welche unserem Verständnis von den geologischen Vorgängen am Meeresboden in weitgehendster Weise zu Gute gekommen sind. Auch dem Problem der Schichtung hat PHILIPPI seine Aufmerksamkeit geschenkt, nachdem die Benützung schwerer Sinkgewichte und sehr langer BACHMANNscher Schlammröhren auf der »Gauß«-Expedition die weite Verbreitung geschichteter Tiefseesedimente ergeben hatte. Seine Ergebnisse sind in einer besonderen Studie und in dem großen Werk über die »Deutsche Südpolar-Expedition« Bd. II (50, 51) enthalten.

Vor den Forschungen des »Gauß« schien es, als ob den küstenferneren Teilen des Meeresbodens geschichtete Sedimente fehlten, besonders, nachdem THOULET, der ausgezeichnete französische Kenner der rezenten Meeressedimente, die Meinung ausgesprochen hatte, daß die wenigen bis dahin bekannten Beispiele von Schichtung in der heutigen Tiefsee — PHILIPPI (50) und KRÜMMEL (44, I, S. 206f.) haben sie zusammengestellt, — lediglich eine Ausnahme bildeten. »Diese Sachlage ist jedoch durch die Arbeiten der Deutschen Südpolar-Expedition wesentlich verschoben worden. An einer großen Anzahl von Grundproben läßt sich

erkennen, daß Schichtbildung am Boden der heutigen Meere nicht eine Ausnahme, sondern die Regel sein dürfte. Zugleich lassen sich in vielen Fällen Vermutungen darüber aufstellen, welche Faktoren bei der Bildung der Schichten am heutigen Meeresboden eine Rolle gespielt haben mögen«. In den Fällen aber, wo Schichtung zu fehlen scheint, »ist sie höchstwahrscheinlich doch vorhanden, nur ist vermutlich die oberste Schicht dicker als der von der Schlammröhre durchsunkene Teil.«

Als »normale Schichtung« in Globigerinenschlamm und anderen kalkhaltigen Sedimenten beschreibt PHILIPPI die Erscheinung, daß im allgemeinen der obere Teil jeder Grundprobe kalkhaltiger ist als der untere. »Es ist nun sehr wahrscheinlich, daß dieser ziemlich allgemeinen Verringerung des Kalkgehaltes im unteren Teile der Grundproben die gleiche Ursache zugrunde liegt.« Ohne auf Einzelheiten¹⁾ der PHILIPPISCHEN Beweisführung einzugehen, kann hier als Resultat seiner plausiblen Ausführungen nur mitgeteilt werden, daß die unteren kalkärmeren Teile der betreffenden Grundproben einer kälteren Periode, vielleicht dem Diluvium, angehören, während welcher die Eiskante weiter nach dem Äquator zu verschoben lag und das Sauerstoff- und Kohlensäure-reichere Wasser der Antarktis, welches bekanntlich die Tiefen der heutigen Meere bis über den Äquator hinaus erfüllt, seine Kalk-auflösende Tätigkeit an Stellen ausüben konnte, die heute im Sedimentationsbezirk des kalkhaltigen Globigerinenschlammes liegen. Die »normale Schichtung« der vom »Gauß« in den subantarktischen Gewässern geloteten Globigerinenschlammte wäre demnach durch eine Klimaänderung bedingt. Anders die von PHILIPPI so genannte »abnorme« Kalkschichtung, die der »Gauß« in wärmeren Teilen des indischen und atlantischen Ozeans antraf, nämlich das Auftreten kalkreicher Schichten unter kalkärmeren und mehrfaches heftiges Schwanken des Kalkgehaltes innerhalb einer Grundprobe. Solche heftige Schwankungen des Kalkgehaltes »können wohl nur durch jugendliche Krustenbewegungen am Meeresboden erklärt werden. Wenn der mäßige Kalkgehalt der obersten Schicht der heutigen Tiefe entspricht, so deutet sein Ansteigen auf eine Hebung, sein Sinken auf eine Senkung des Untergrundes hin. Die Grundproben der Stationen 27 und 29 lassen also eine einmalige, die der Station 28 sogar eine zweimalige Hebung und voraufgehende Senkung erkennen, bei der der Meeresboden nach unseren heutigen Erfahrungen um mindestens 1500 m schwankte«. Das Resultat seiner Untersuchungen, welche sich, wohl gemerkt, auf die Ablagerungen der küstenferneren Tiefsee beziehen, faßt PHILIPPI mit folgenden Worten zusammen: »Die Forschungen des »Gauß« dürften nachgewiesen haben, daß die Schichtung moderner Sedimente teilweise auf einer Veränderung wichtiger klimatischer Faktoren, teilweise auf Krustenbewe-

¹⁾ Solche mögen in der später in dieser Zeitschrift erscheinenden Fortsetzung meines Sammelreferates: »Über Sedimentbildung am Meeresboden« eingesehen werden.

gungen beruht. Ein drittes Moment scheint nicht zu existieren. Festzustellen bleibt für die meisten fossilen Schichten noch, welche der beiden Ursachen in jedem einzelnen Falle vorliegt.« — Zweifellos hat PHILIPPI hiermit nun zwei Faktoren aufgedeckt, welche für die Änderung der Fazies in der Vertikalen, d. h. für die Schichtbildung, von großer Bedeutung sind, wobei garnicht untersucht werden soll, ob ihre Heranziehung in den genannten Fällen für alle Zeiten als richtig gelten wird. Ebenso zweifellos gibt es aber auch noch eine Zahl anderer Bedingungen, deren Änderung für die Bildung der Schichtung wenigstens in Küstennähe und flachem Wasser von Bedeutung werden können; und wenn PHILIPPI selbst als für die marine Sedimentbildung maßgebende Faktoren anführt: Entfernung von der Küste, Beschaffenheit der umgebenden Landmassen, Sedimentführung der ins Meer mündenden Flüsse, Tiefe, Temperatur und Wasserzirkulation des Meeres, schließlich das Organismenleben und seine mannigfach wechselnden Bedingungen, so vermag zweifellos ein jeder einzelner dieser Faktoren, wenn er Änderungen unterliegt, zur Erzeugung von Schichtung mitzuwirken, und es wird zur lockenden Aufgabe des sediment-petrographisch geübten Paläogeographen, die jeweilige Bedeutung der einzelnen Faktoren ins rechte Licht zu setzen. Schon PHILIPPI war aber folgendes aufgefallen: »Besonders deutlich und regelmäßig tritt Schichtung in den Gesteinen auf, die sich in Geosynklinalen bilden. Ich erinnere an die regelmäßige Schichtung der südostfranzösischen unteren Kreide in bathyaler Fazies, an die des alpinen Flysch und ähnlicher, in Flyschfazies entwickelter Gesteine. In den Geosynklinalen ist die Schichtung wohl in erster Linie durch Krustenbewegung zu erklären; ob klimatische Faktoren eine Rolle spielen, steht noch dahin. Die äußerst regelmäßige Aufeinanderfolge oft gleichdicker Schichten deutet auf eine Periodizität des Senkungsvorganges hin, der die Bildung von Geosynklinalen herbeiführt.« Ich kann nicht behaupten, daß mich diese Erklärung regelmäßiger Schichtung, die wir heute mit ALB. HEIM (32) als Repetitionsschichtung bezeichnen, befriedigt; und es ist nötig, dieses Phänomen näher ins Auge zu fassen.

Die Wiederholung, Repetition der gleichen Schichtenfolge ist eine Erscheinung, die im kleinen, wie im großen vorkommt. Um die größeren Verhältnisse voranzustellen, mag nur auf die Zyklen in der Entwicklung der Erdgeschichte hingewiesen sein, welche sich in den mehrfach wiederholten Meerestransgressionen, Gebirgsbildungen, Eruptionsperioden, Eiszeiten usw. abspiegeln und in der Fazies der einzelnen Formationsglieder ihre »sedimentäre Abbildung« finden. (Vgl. hierzu M. BERTRAND [11], AMPFERER [3], und ANDRÉE [8]).

Sind diese Gesetzmäßigkeiten erst neuerdings in ihrer ganzen Bedeutung erkannt worden, so fehlte es doch schon vor längerer Zeit nicht an Stimmen, welche auf Grund regelmäßiger Wiederkehr derselben Gesteine eine naturgemäße Abgrenzung der einzelnen Formationen versuchen wollten. Kein geringerer als EDUARD SUESS hat sich auch zu

dieser wichtigen Frage geäußert (59). Nach seiner Darstellung hat schon MURCHISON vor Jahren die Ansicht ausgesprochen, daß jede geologische Formation in ihrer Mitte aus Kalkstein bestehe, und diesen Gedanken hat HULL (40) im Jahre 1862 für mehrere Formationen, insbesondere für das Carbon, näher ausgeführt. Das Überwiegen der vom Lande herbeigetragenen sedimentären (d. i. klastischen) Elemente soll nach HULL Phasen der Oscillation des Landes vermuten lassen, und so unterscheidet derselbe drei Stufen:

Obere Stufe	Bewegung	klastische Bildung
Mittlere Stufe	Ruhe	kalkige Bildung
Untere Stufe	Bewegung	klastische Bildung.

Ähnliche Ablagerungszyklen sind dann auch in den durch ihre ruhige Lagerung ausgezeichneten Teilen der Vereinigten Staaten, die der Umrandung des Kanadischen Schildes angehören, dem jüngere orogene Bewegungen, welche das Bild hätten stören können, fehlen, im Paläozoikum gefunden worden (NEWBERRY, 49), und auch eine Reihe europäischer Forscher hat sich mit diesen Fragen beschäftigt, so ANDRÉ DUMONT, RUTOT und VANDEN BROECK. Ganz neuerdings hat DACQUÉ (18) im Rahmen seiner Darstellung über »Zyklen und Diastrophismen« auch die »Sedimentationszyklen« behandelt.

Es kann hier ganz davon abgesehen werden, daß, wenn wir die ganze Erdoberfläche in Betracht ziehen, keine Möglichkeit besteht, auf solche Fazieseigentümlichkeiten die Grenzen der Formationen zu basieren, welche vielmehr immer einen konventionellen Charakter haben werden, da ja die Bedingungen von Ort zu Ort wechseln müssen, — solche Zyklen, wie sie im großen nach dem Gesagten schon lange erkannt sind, finden sich hinab bis zu den kleinsten Verhältnissen, und es fragt sich, ob hierfür und für die Entstehung der Schichtung, welches Problem hiermit für uns in den Vordergrund tritt, dieselben Ursachen maßgebend sind oder ob hier auch andere Bedingungen als regelmäßiger Wechsel in der Tiefe des Wasserbeckens, Regression und Transgression, in Frage kommen. Besonders der vielhundert-, ja tausendfache Wechsel mancher Repetitionsschichtung, wie in den Kieselkalken der helvetischen Unterkreide oder im Silur bei Kristiania, gibt hierbei doch sehr zu denken. Besteht diese Art der Schichtung vielfach nur aus dem regelmäßigen Wechsel zweier Gesteine, etwa Kieselkalk und Mergel, so kommen doch auch kompliziertere Arten der Repetitionsschichtung vor, und als Beispiel hierfür mag eine von TH. BRANDES (14) aus dem Lias des Eggegebirges beschriebene Sedimentfolge angeführt werden, welche sich rhythmisch durch den ganzen mittleren und oberen Lias β bis eingangs Lias γ wiederholt und offenbar ganz bestimmte regelmäßige paläogeographische Veränderungen anzeigt. Eine mächtige Lage Ton (a) schließt mit einer Bank dichten Toneisensteins (b) ab; darauf ruht ein mehr oder minder mächtiges Schwefelkiesflözchen (c) mit unebener Oberfläche, endlich eine Trümmergesteinsbank (d), welche mit einem

grogen (Transgressions-)Konglomerat beginnt, das nach oben zu immer feinkörniger, schließlich zu einer sandigen Trümmernasse wird, worauf die Schichtenfolge abermals mit einer dicken Lage Ton neu eingeleitet wird. BRANDES erklärt die Schichten a bis c durch eine negative Strandverschiebung, also eine Verflachung des Meeres, während durch die Bildung von d eine Meerestransgression, eine positive Strandverschiebung, angezeigt werde, welche schließlich zu abermaliger Tonablagerung führte. Ein anderes Beispiel hat Verf. (9) kürzlich eingehender beschrieben. Das Gestein entstammt einer repetierten Schichtenfolge aus dem Culm des östlichen Rheinischen Schiefergebirges, und die durch Schichtfugen an den Einschaltungsstellen dünner Tonblätter voneinander getrennten Einzelplatten bestehen aus 5 Einzelschichten; zuoberst 5. Tonschieferbelag, darunter 4. kalkfreies Kieselgestein, 3. kalkhaltiges Kieselgestein, 2. kalkfreies Kieselgestein und zuunterst 1. Tonschieferbelag. Das Profil ist also ein symmetrisches.

Einen auffallend regelmäßigen Wechsel von Tonen und Kalken im W. Jura α und β in Schwaben deutet J. F. POMPECKJ (53) auf wechselnde Zufuhr terrigenen Detritusmaterials in das Malmmeer, die von dem Quantum zuströmenden Süßwassers und vielleicht von klimatischen Perioden, etwa den BRÜCKNERSchen 35jährigen Perioden, abhängig sein mag.

Bei ähnlichen Fällen knüpft nun kein Geringerer als ALB. HEIM (32-34) in seinen »Gedanken über Schichtung« an. Wenn man einer Klimaänderung, wie einer Eiszeit bedarf, um den Wechsel von kalkreicheren und kalkärmeren Schichten zu erklären, wie PHILIPPI das getan hat, — sagt HEIM — so erklären wir damit noch lange nicht die Fälle, in denen ein Schichtkomplex von vielleicht 500 m Mächtigkeit durch 1000 bis 2000 Schichtfugen in ebenso viele Schichten getrennt ist, oder wo Kalkstein und Mergel oder Kalkstein und Hornstein viele hunderte Mal Schicht um Schicht abwechselnd übereinander liegen. Hier müssen wir vielmehr nach einer anderen Erklärung von allgemeinerer Anwendbarkeit suchen. Das wird nicht schwer bei unseren Salzlagerstätten, wo die Anhydrit- oder Polyhalit-»Jahresringe« im Steinsalz auf Konzentrationsschwankungen oder Schwankungen in einem chemischen Gleichgewicht hindeuten, welche, wenn sie nicht auf den Wechsel der Jahreszeiten zurückgehen, so doch augenscheinlich auf Klimaperioden von mehreren Jahren oder Jahrzehnten zurückgeführt werden können. Echte Jahresschichtung zeigt die Molasse von Oeningen am Bodensee, was HEER schon an den Fossilien nachweisen konnte. In derselben Weise wie in den heutigen Schweizer Süßwasserseen, z. B. im Zürichsee, setzte sich im obermiocänen Süßwasserbecken von Oeningen in der kühleren und nasseren Jahreszeit der von Flüssen und Bächen eingespülte feine Tonschlamm ab; im Spätsommer bei höherer Temperatur des Sees fand dagegen ein sehr feiner mikrokristalliner Absatz von Seekreide statt. Echte Jahresschichtung dürfte auch in marinen Gesteinen vorkommen. Als mutmaßlich hierzugehörig führt HEIM die fisch-

reichen Sedimentschiefer des mitteloligocänen Glarner Flysches, die Silurschiefer der Bretagne und die glazialen Bändertone des schwedischen Diluviums an, von welch' letzteren GERARD DE GEER schon in den achtziger Jahren des vorigen Jahrhunderts dartun konnte, daß die regelmäßige Bänderung einer jährlichen Absatzperiode entspricht, also Jahresringe darstellt, und welche dann unlängst von demselben Autor benutzt wurden, um eine »Geochronologie der letzten 12 000 Jahre« aufzustellen (25; vgl. auch G. BRAUN 15). Aber die Zurückführung der einzelnen Schichten auf die wechselnden Bedingungen der verschiedenen Jahreszeiten muß sofort dort versagen, wo wir sicher sind, daß die einzelne Schicht nicht das Produkt eines Jahres sein kann, sondern Jahrzehnte, Jahrhunderte oder gar noch länger für ihre Bildung gebraucht hat, wie wir das für die meisten küstenfernen Sedimente, für die Tiefseesedimente annehmen müssen, und wie es auch für einen großen Teil der von PHILIPPI herangezogenen Sedimente der Geosynklinalen gelten dürfte. Die Erklärung solcher Repetitionsschichtungen sucht HEIM in anderen Erscheinungen, und es ist der Mühe wert, den weiteren Gedanken dieses Autors nachzugehen.

HEIM unterscheidet zwei Arten von Repetitionsschichtung, 1. Repetitionsschichtung ohne Gesteinswechsel, 2. Repetitionsschichtung mit Gesteinswechsel. Zu 1 rechnet HEIM z. B. den oberjurassischen Hochgebirgskalk der autochthonen östlichen Schweizer Alpen, manche Abteilungen des Malm im Juragebirge, der dolomitischen Kalke der Ostalpen, des Schrattenkalkes der helvetischen Alpen. »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«. Zu 2 (Repetitionsschichtung mit Gesteinswechsel) zählt HEIM den Oberlias und Dogger am Südfuß der Alpen, z. B. bei Chiasso, den Malmkalk der helvetischen östlichen Schweizer Alpen, die silurischen Kalke Skandinaviens, die Jurakalke des Jura, den Liasfleckenmergel der Ostalpen, die Kieselkalke der helvetischen Kreide. Vielhundertfacher Wechsel von Kalk und Mergel ist besonders häufig. In der Regel handelt es sich bei diesen Vorkommnissen um Bildungen des offenen Meeres; die einzelnen Schichten lassen sich weithin verfolgen, ohne auszukeilen. »Die einzelnen Schichten 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.« Wie wir heute wissen, — füge ich hinzu, — kann diese zweite von HEIM unterschiedene Art der Repetitionsschichtung, was allerdings zu den Seltenheiten gehört, während es bei der ersten die Regel ist, auch mit Sedimentationsunterbrechung (z. B. Ätzsuturen!) verknüpft sein.

Man darf nun HEIM unbedenklich Recht geben, wenn er das mikroskopische Bild sehr vieler Kalksteine dahin versteht, daß es sich in denselben um viel chemischen Niederschlag handelt, »wobei freilich die Ver-

wesungsprodukte der Organismen im chemischen Umsatz betätigt sein mochten¹⁾, und in den genannten Fällen handelt es sich offenbar um einen Wechsel von vorherrschend chemischem mit beigemischt mechanischem Niederschlag. Das ist in dreierlei Weise möglich. 1. Der mechanische Niederschlag ist konstant, der chemische oder organo-chemische setzt periodisch ein. 2. Der chemische oder organochemische Niederschlag ist konstant, der mechanische setzt periodisch ein. 3. Beide Arten der Niederschläge wechseln periodisch miteinander ab. Ganz offenbar ist die wahrscheinlichste dieser drei Möglichkeiten die 1., wonach die Schichtung hauptsächlich in einer Periodizität des chemischen oder organochemischen Niederschlags, in der Regel Kalk- oder Kieselniederschlags, beruht. Da nun z. B. chemischer Kalkniederschlag »vielfach auf Umsetzung durch die Verwesungsprodukte der Organismen beruht, werden wir auf die Frage hingewiesen, inwiefern fällt vielleicht Schichtperiodizität mit Periodizität im organischen Leben zusammen? Dies führt uns auf die Fälle, wo regelmäßiger periodischer Schichtwechsel auch bei organogenen Gesteinen auftritt.« Es ist hier nicht der Platz, die von HEIM hierfür angeführten Beispiele ausführlich wiederzugeben; HEIM führt Foraminiferenkalke (Seewerkalk), Radiolarite und Spongite an, wobei er auch hier darauf hinweist, daß diese in der Regel als organogen bezeichneten Absätze selten oder fast niemals rein organogen sind, sondern die Organismenreste mit scharfer Umgrenzung häufig in einer ihnen chemisch gleichartigen, aber offenbar anorganisch ausgeschiedenen Grundmasse liegen. Aber »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 angeregt, die Organismen haben die Mutterlauge des Meeres gewissermaßen im Sinne des Kalkabsatzes oder des Kieselabsatzes infiziert.« Ein Beispiel hierfür bietet der Malm der Umgebung von Chiasso. Hier ist der Radiolarienhornstein in über hundert Bänke getrennt, wobei jeweils die Mitte der dünnen (meistens 5—10 cm) Bank den reinsten Hornstein enthält, oder die Hornsteinlagen durch Lagen kieseliger, ebenfalls radiolarienreicher Tone in regelmäßigem Wechsel getrennt sind.

Es besteht nun ein auffälliger Unterschied in der Art der Schichtung zwischen den chemischen und organochemischen Gesteinen, die mit mechanischen Sedimenten abwechseln, einerseits und den rein mechanischen Sedimenten andererseits. »Bei unverändertem Gestein ohne petrographischen Wechsel zeigen sich doch die chemischen und häufig auch die organogenen Sedimente sehr deutlich und regelmäßig

¹⁾ Daß denitrifizierende Bakterien als Lieferanten des kalkfällenden Mittels in Frage kommen, hat G. H. DREW gezeigt (vgl. darüber z. B. W. SALOMON. Über die Bildung dichter Kalke, Diese Zeitschr., V, 1914, S. 478—480).

geschichtet, die mechanischen 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), Tonschieferkomplexe von mehreren hundert Metern nur mit Schieferung homogen durchsetzt, aber ohne jede regelmäßige Schichtung.

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 Ton 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... Es ist selbstverständlich, daß durch diese Erscheinungen eine mehrhundertfältige regelmäßige Periodicität in der Schichtung nicht zustande kommen kann.«

Aber alle die Erscheinungen, die wir als den Wechsel der Fazies bedingend seit langem kennen und zu unseren Deutungen verwenden, sind doch nicht imstande, die regelmäßige Schichtung oder den gleichartig tausendmal repetierten Schichtwechsel innerhalb der Ablagerungen unveränderter Fazies zu erklären. »Sie regieren gewissermaßen die Stufen und Unterstufen, die Fazies, aber nicht die Schichtung innerhalb einer Fazies, die wir hier im Auge haben.«

Die Periodizität in der Schichtung der chemischen oder chemisch-organogenen Sedimente mit oder ohne Gesteinswechsel sucht HEIM vielmehr »in einer Oscillation der chemischen Bedingungen um eine Gleichgewichtslage herum; der Niederschlag selbst muß Schuld sein an den Veränderungen der Bedingungen. Setzt ein Meer Kiesel ab, mehr als der Zufuhr entspricht, so wird sein Wasser kieselärmer und relativ kalkreicher. Dadurch hört der Kieselabsatz auf und setzt der Kalkabsatz ein, bis die neue Gleichgewichtslage wieder eine Spur überschritten ist. Wahrscheinlich bedarf es nur minimaler Oscillationen um die Gleichgewichtslage herum, um wechselnd Kieselabsatz oder Kalkabsatz zu provozieren. 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.« Es ist nun klar, daß das Wachstum von Kalkbildnern, etwa Foraminiferen in an Kalksalzen reichem Wasser relativ begünstigt sein muß, daß aber schließlich doch ein Stillstand in diesem Wachstum eintreten muß, wenn das Lebensmedium eben durch dasselbe mehr und mehr an Kalksalzen verarmte, ohne daß eine Zufuhr von außen den Verlust ausgleichen konnte. Dasselbe gilt von Kieselabsatz und Kieselorganismen. Und wir hätten auch hier, trotz allen Einflusses der Organismen, eine Oszillation um eine chemische Mittellage. Alle solche regelmäßige Oszillationen, »bei denen die chemischen Bedingungen die Organismen bedingen und die Organismen ihrerseits wieder den chemischen Bedingungszustand ändern, bei denen die Wirkung Ursache wird in einer Art Kreislauf«, oder auch solche, bei denen rein anorganischer Absatz vorliegt, können natürlich nur so lange unverändert bestehen bleiben, als nicht die außerhalb des betreffenden Sedimentationsbereiches wirkenden Faktoren geändert werden, und in diesem Sinne kann man mit ALB. HEIM repetierte Schichtenfolgen insgesamt als bestimmte Fazies bezeichnen. Nicht Änderung der Fazies bringt also solche Repetitionsschichtungen hervor, sondern Änderung des Sedimentmaterials innerhalb der Fazies.

Zweifellos ist mit der anregenden Arbeit ALB. HEIMS ein großer Schritt im Verständnis der Schichtungen in Geosynklinalen vorwärts getan, und man wird gerne auf das hundert- und tausendfache Hin- und Herzittern des Meeresbodens verzichten, das PHILIPPI dafür heranziehen wollte; eine ganz allmähliche Senkung, mit welcher die Stärke der Sedimentation Schritt hielt, so daß von dieser Seite eine Verschiebung in den Bedingungen der Sedimentation nicht eintrat, ist nach unserem heutigen Wissen eine Vorbedingung für die Entstehung von Repetitionsschichtungen. Wo aber solche Repetitionsschichtung größere Mächtigkeiten beherrscht, spricht sie auch ohne weiteres für tieferes Wasser (sagen wir: mindestens bathyalen Ablagerungsbezirk) und relative Küstenferne, da nur dort die vielfach und unregelmäßig wechselnden Einflüsse der randlichen Flachsee unwirksam bleiben. Eine Ausnahme hiervon bilden selbstverständlich die »chemischen« Sedimente eintrocknender Salzlaugen, wie z. B. unsere Salzlagerstätten mit ihren »Jahresbändern«. Und daß Tiefe und Küstenferne in kontinentalen Gewässern, wie den heutigen Alpenseen oder dem miocänen Becken von Oeningen nur relativ zu verstehen sind, ist selbstverständlich.

Die wichtige Abscheidung der Repetitionsschichtungen aus der großen Masse der Parallelschichtungen durch ALB. HEIM wird gleichwohl der Mannigfaltigkeit der Erscheinungen noch nicht völlig gerecht. HEIM hatte besonders die Fälle im Auge, bei denen die Entstehung der Schichtung auf das Schwanken um eine chemische (Steinsalz mit Anhydrit-»Jahresbänderung«) oder organochemische (Wechsel von Tonen und Foraminiferenkalken) Gleichgewichtslage zurückgeführt werden kann und bei denen sich also viele horizontale Symmetrie- oder Spiege-

lungsebenen (im kristallographischen Sinne, aber natürlich nicht mit kristallographischer Exaktheit) durch die Schichtung legen lassen. Überschaun wir aber alle die Beispiele, die ich oben für Repetitionschichtung anführte, so fällt eines, das von TH. BRANDES (14) aus norddeutschem Lias geschilderte (oben S. 370) aus diesem Rahmen heraus; hier haben wir zwar auch eine Wiederholung, eine Repetition der gleichen Schichtenfolge, es fehlt aber jene horizontale Symmetrie, und an ihrer Stelle stellt sich eine Wiederholung der gleichen Periode ein. Solche Schichtungen müssen eine ganz andere Entstehung haben und sind daher zweckmäßig als rhythmische oder »periodische Repetitionsschichtungen« von den »symmetrischen Repetitionsschichtungen« zu unterscheiden.

Während wir über alle die verschiedenen Arten von Gründen für Veränderungen der Fazies, auf welche die Gesteine durch Ausbildung von Schichtung reagieren, im einzelnen hier nicht zu berichten brauchen, — einen Teil derselben haben wir früher nach PHILIPPI bereits mitgeteilt (S. 368), — mag doch auf eine in der Regel weniger beachtete Möglichkeit der Entstehung von Schichtung noch hingewiesen sein, auf welche O. M. REIS (54) die Aufmerksamkeit gelenkt hat. Allgemein bekannt ist die niederschlagende Wirkung des Meerwassers auf feine Suspensionen; ich selbst habe in einem früheren Sammelreferat über die betreffende Literatur berichtet (6). REIS hat nun insbesondere die Entstehung feiner Tonschichtungen im Auge, wenn er unter Hinweis auf ältere Angaben von RAMANN und OCHSENIUS insbesondere die Resultate BODLÄNDERS heranzieht »über die Stufenfolge der Klärfähigkeit von $MgCl_2$, $MgSO_4$, KCl und $NaCl$, wovon erstere bedeutend überwiegen, wahrscheinlich weil bei beiden letzteren der Ton das Lösungsmittel aus der Lösung zieht (nach LANDGREN negative Adsorption wirkt), während nach OCHSENIUS und KOHLER der Ton $MgSO_4$ adsorbiert, daher in letzterem Falle als schwerere Masse rascher fällt und in ersterer länger suspendiert bleibt.« »Wir schließen daher, daß kleine Lösungsunterschiede auf Tonschieferung einen Einfluß ausüben können, besonders, wenn bei den wechselnden Adsorptionserscheinungen auch wechselnde Erhärtungen auftreten können, da hier sicher auch eine Verschiedenheit organischer Beimengungen eintritt, welche Lösungsvermehrend und -ausfällend auf Karbonate wirkt.«

Arten der Schichtung:

Nach alledem gelingt es jetzt leicht, die einzelnen Arten der Schichtung in ihren Beziehungen zueinander in einer Tabelle festzulegen, wobei wir als Einteilungsprinzipien die horizontale Symmetrie oder Asymmetrie der einzelnen Schichtkörper, das Fehlen oder Vorhandensein ursprünglich geneigter Schichten, die Kontinuität oder Nichtkontinuität der Sedimentation und das Fehlen oder Vorhandensein von Gesteinswechsel anwenden werden.

Unsere Einteilung lautet folgendermaßen: (Siehe Tabelle S. 377).

I. »Normale« (konkordante) Parallelschichtungen:

			<i>α</i> . Kontinuierliche:	<i>β</i> . Nicht kontinuierliche:	
Repetitions- schich- tungen:	Schichtungen ohne Gesteins- wechsel:	Symmetrische Parallelschich- tungen:	a. Symmetri- sche Parallel- schichtungen ohne Gesteins- wechsel:	—	Ia <i>β</i> . Repetitionsschich- tung ohne Gesteins- wechsel, aber mit Sedi- mentationsunterbre- chung.
			b. Symmetri- sche Parallel- schichtungen mit Gesteins- wechsel:	Ib <i>α</i> . Symmetrische Repetitionsschichtung nur mit Gesteins- wechsel.	Ib <i>β</i> . Symmetrische Re- petitionsschichtung mit Gesteinswechsel und Sedimentationsunter- brechung.
	Gesteins- wechsel perio- disch:		c. Periodische Paral- lelschichtungen mit Gesteinswechsel:	Ic <i>α</i> . Periodische Repe- titionsschichtung nur mit Fazieswechsel.	Ic <i>β</i> . Periodische Repe- titionsschichtung mit Fazieswechsel und Sedi- mentationsunterbre- chung.
	Gesteins- wechsel völlig unsym- metrisch:		d. Unsymmetrische Parallelschichtungen	Id <i>α</i> . Gewöhnliche Par- allelschichtung nur mit unsymmetrischem Fazieswechsel.	Id <i>β</i> . Gewöhnliche Par- allelschichtung mit un- symmetrischem Fazies- wechsel und Sedi- mentationsunterbrechung.
Gewöhn- liche Parallel- schich- tungen:	Schichtungen mit Gesteinswechsel:				

I. (Diskordante) Schrägschichtungen:

a. (Einfache) Schrägschichtungen (die Schichtung lateral gewachsener Aufschüttungskegel):	IIa <i>α</i> . Schrägschichtung aller möglichen Arten von Aufschüttungs- kegeln.	—
b. Diagonalschichtung (entsteht aus IIa durch Zwischenschaltung [meist dünnerer] »normal« nach I geschichteter Lagen):	IIb <i>α</i> . Diagonalschich- tung ohne Sedimenta- tionsunterbrechung (hierhin die meiste Übergußschichtung, manche »Flußschich- tung«).	IIb <i>β</i> . Diagonalschich- tung mit Sedimenta- tionsunterbrechung und Abtragung an der Basis der eingeschalteten »normal« geschichteten Lagen (»Flußschichtung«).
c. Kreuzschichtung (eine Häufung von IIa mit häufigem Wechsel der Herkunftsrichtung des Materials):	—	IIc <i>β</i> . Kreuzschichtung mit häufig wiederkeh- render Sedimentations- unterbrechung und Ab- tragungsdiskordanzen, in der Regel ohne tren- nende Horizontallagen (»Dünenschichtung«, »Muldenschichtung«).

Da es ohnehin noch unsere Aufgabe ist, den einzelnen Schrägschichtungen Bemerkungen zu widmen, mögen überhaupt jeder der unterschiedenen Schichtungsarten noch einige Worte gelten und Beispiele für dieselben angeführt werden.

I. »Normale« (konkordante) Parallelschichtungen.

Wo in Sedimenten oder Sedimentgesteinen weder Gesteinswechsel noch Sedimentationsunterbrechung statthat, ein Fall, der in unserer Tabelle der Rubrik Ia α entspricht, da fehlt überhaupt jegliche Schichtung. Diese Rubrik muß also in der Tabelle offen bleiben. Grenzfälle solcher »ungeschichteter« Ablagerungen gegen alle anderen Fälle von Schichtungen stellen sich dort ein, wo Schichtung nur angedeutet ist oder durch nachträgliche Erscheinungen der Diagenese (5) oder Verwitterung (s. oben S. 357) deutlich wird.

Der einfachste Fall der Parallelschichtung ist der, wenn ein Gestein durch Sedimentationsunterbrechung in einzelne Schichten zerteilt erscheint. Hierbei ist von Gesteinswechsel noch keine Rede.

Ia β . Repetitionsschichtung ohne Gesteinswechsel, aber mit Sedimentationsunterbrechung.

Zu diesem nicht häufigen Fall von Repetitionsschichtung rechnen wir unter Vorbehalt mit ALB. HEIM z. B. den oberjurassischen Hochgebirgskalk der autochthonen östlichen Schweizer Alpen, manche Abteilungen des Malin im Juragebirge, der dolomitischen Kalke der Ostalpen und des Schrättenskalkes der helvetischen Alpen. Und wenn JOH. WALTHER (64) berichtet, er habe sich im Dachsteingebirge mehrfach vergeblich bemüht, eine deutlich erkennbare Zwischenschicht zwischen den Kalkbänken zu finden, so muß auch dieser Fall hierhergezogen werden. Nur bleibt in jedem einzelnen Falle zu untersuchen, in welcher Weise die Sedimentationsunterbrechung von statten ging. Am nächsten läge die Annahme submariner Anlösung (Ätzsuturen), die aber bei aufmerksamer Betrachtung der Schichtflächen, die immer und immer wieder empfohlen werden muß, nicht leicht zu übersehen ist. Überdies ist der Verdacht nicht immer von der Hand zu weisen, daß ein Teil zunächst hierher zu ziehender Fälle bei genauester Beobachtung doch minimalste Tonzwischenlagen zeigt und hierdurch den Übergang zu I b α , bzw. I b β vermittelt. Bezeichnen wir die einzelnen Gesteinsarten mit Zahlen 1, 2, 3, 4 usw., dann würde die Aufeinanderfolge der Einzelschichten bei dieser Schichtung dem Schema

1	3
1	3
1 oder	3
1	3
1	3 entsprechen.

Ib α . Symmetrische Repetitionsschichtung nur mit Gesteinswechsel.

Zu dieser Art Schichtung würde gehören z. B. das Steinsalz von Staßfurt mit seinen Anhydrit-»Jahresringen« oder Polyhalit-Einschaltungen, nach HEIM der Oberlias und Dogger am Südfuß der Alpen, z. B. bei Chiasso, der Malmkalk der helvetischen östlichen Schweizer Alpen, die silurischen Kalke Skandinaviens, die Jurakalke des Jura, die Liasfleckenmergel der Ostalpen, die Kieselkalke der helvetischen Kreide. Das Schema solcher Schichtung ist

1		1
2		2
1		3
2		2
1	oder	1
2		2
1		3
2		2
1		1.

Besonders Fälle wie der letztere — dahin gehört z. B. das kürzlich vom Verf. beschriebene Gestein aus dem ? Culm des östlichen Rheinischen Schiefergebirges (siehe oben S. 371) — zeigen mit Sicherheit ihre Zugehörigkeit zu dieser Schichtungsart. Wo indessen nur eine Wechsellagerung zweier Gesteine stattfindet, wie in den meisten der oben genannten Fälle, ist auch eine Zugehörigkeit zu I c α möglich, und Verf. möchte dieses, wenn die POMPECKJSche Deutung für den auffallend regelmäßigen Wechsel von Tonen und Kalken im W. Jura α und β in Schwaben (s. oben S. 371) stimmt, für jene Schichtung als sicher annehmen.

Ib β . Symmetrische Repetitionsschichtung mit Gesteinswechsel und Sedimentationsunterbrechung.

Bei dieser Art Schichtung handelt es sich nach Ansicht des Verfs. um organochemische Gleichgewichte im Sinne von ALB. HEIM, bei denen es zeitweise gar zur Eliminierung z. B. bereits gebildeten Kalkes kommt, die sich dann in dem Auftreten von Tonhäuten und Ätzsuturen dokumentiert. Dahin würden gehören die Aptychenkalke mit Korrosionsflächen, die aus den Alpen bekannt sind, und die große Zahl der wohl bathyalen, meist rot gefärbten Knollenkalke mit einseitiger Erhaltung der (submarin angelösten) Fossilien (Orthoceren-, Goniatiten-, Clymenien-, Ammoniten-Knollenkalke vom Lias bis zur unteren Kreide). ALB. HEIM (32) schreibt über den Seewerkalk: »Die Frage liegt nahe, ob nicht auch ein konstanter Absatz von Foraminiferenkalk periodische Wiederauflösung am Meeresgrunde erfahren habe und die Tonhäute die Auflösungsrückstände seien.« Wenn derselbe dann allerdings fortfährt: »Ich halte das im Fall Seewerkalk deshalb für sehr unwahrscheinlich, weil die Auflagerungsflächen der Tonhäute nicht karrig rauh, sondern knollig glatt sind«, so scheint mir umgekehrt gerade dieses für die submarine Anlösung der Kalkschichten, für Ätzsuturen zu sprechen.

1cβ. Periodische Repetitionsschichtung mit Fazieswechsel und Sedimentationsunterbrechung.

Zu dieser Art Schichtung möchte ich mit Vorbehalt die »Tonplatten« des oberen deutschen Muschelkalkes rechnen, deren vielfach einseitig erhaltene Ceratiten auf submarine Lösungsvorgänge hindeuten, von denen es mir nur noch zweifelhaft ist, ob sie sich so periodisch einstellten, wie es diese Schichtungsart der Theorie nach verlangt. Dieser Erhaltungszustand der Ceratiten ist bereits PHILIPPI bei Abfassung seiner bekannten Ceratiten-Monographie unangenehm aufgefallen: »Da häufig noch beide Seiten des Stückes von einer schützenden Mergelkruste bedeckt sind, so ist kaum anzunehmen, daß diese ungleiche Verwitterung« (der beiden Seiten der Gehäuse) »nach Ablagerung der Schicht durch zirkulierende Gewässer oder durch die Atmosphärien erfolgte. Ich glaube vielmehr, daß die unverwitterte die Unterseite war, die im Schlamm steckte, die verwitterte die Oberseite, welche den zerstörenden Einflüssen am Meeresgrunde ausgesetzt war. Dasselbe scheint mir das zu meinem großen Bedauern fast konstante Fehlen der inneren Windungen anzudeuten«¹⁾.

Ein anderes Beispiel dieser Schichtungsart hat C. WIMAN (67) beschrieben. Dieser Autor beobachtete in der Maastrichter Kreide:

{ Bryozoenlager	0,75 m
{ Harte Bank mit Korallen und Bohrmuscheln	0,50 m
{ Tuffkreide	4—5 m
{ Bryozoenlager	1 m
{ Harte Bank mit Korallen und Bohrmuscheln	0,50 m
{ Tuffkreide	9 m

»Die Tuffkreide besteht hauptsächlich aus scharfkantigem Kalksand, in welchem Echinodermfragmente eine hervorragende Rolle spielen. Die beiden anderen Lager sind aus sedentären Tieren entstanden. . . . Die Bryozoenlager bestehen zum größten Teil aus nicht abgeriebenen Bryozoen, deren Basalteile noch auf den Anthozoabänken zu sehen sind und von wo sich sogar noch vereinzelte Exemplare erheben.« Diese Tatsache, auch das Vorkommen der Bohrmuscheln, scheint mir eine periodische Sedimentationsunterbrechung vor Ablagerung des jeweiligen Bryozoenlagers anzuzeigen. Im übrigen deutet WIMAN die Schichtfolge durch »eine entwicklungsgeschichtliche Succession der Tierformation, welche die Tuffkreide bildete, und daß nur einmal ein etwa geologischer Faktor verändernd« eingreifen »und das Ganze auf den Status quo ante zurück«-führen mußte, um die abermalige Ablagerung von Tuffkreide zu veranlassen.

1) E. PHILIPPI, Die Ceratiten des oberen deutschen Muschelkalkes. Paläontolog. Abhandl. N. F. 1901, IV, 4, S. 23.

Id α . Gewöhnliche Parallelschichtung nur mit unsymmetrischem Fazieswechsel.

Hierhin gehört die große Menge der Schichtungen, welche nicht Repetitionsschichtungen sind, und weitere Bemerkungen über dieselben erübrigen sich ganz von selbst.

Id β . Gewöhnliche Parallelschichtung mit unsymmetrischem Fazieswechsel und Sedimentationsunterbrechung.

Hierhin möchte ich die Seesedimente gewisser Schweizer Seen rechnen mit »unterzähliger Schichtung« infolge subaquatischer Rutschung nach ARNOLD HEIM (35). Dahin gehören auch die Schichten des deutschen Wellenkalkes mit oberflächlich angebohrten und teilweise zerstörten Schichtflächen, wie sie O. M. REIS (54) beschrieben hat und welche auch vom Verf. vielfach beobachtet wurden. Das bereits oben (S. 363) erwähnte, von F. WÄHNER¹⁾ beobachtete Beispiel, nach welchem im Sonwendgebirge stellenweise zwischen rotem Liaskalkstein und weißem rhätischen Riffkalk, welcher letzterer vor Ablagerung des Liaskalksteines schon verfestigt gewesen sein muß, Gesteinszerstörungen stattgefunden haben müssen (»Ätzsuturen«), stelle ich ebenfalls hierher. Überhaupt gehört die große Zahl der parallelen Schichtungen mit Sedimentationsunterbrechungen hierzu, soweit sie nicht mit Repetitionsschichtung verknüpft sind.

II. (Diskordante) Schrägschichtungen.

Hauptcharakteristikum dieser Schichtungen ist das Vorkommen primär geneigter Schichten bzw. Schichtchen, deren Neigung, was zugleich wichtig ist, nicht durch die Neigung der Unterlage, sondern eben durch den besonderen Akt der Sedimentation bedingt ist. Solche Schrägschichten treten aber in vielfache Kombination miteinander und mit Parallelschichtungen hauptsächlich der Rubriken Id α und Id β , und nach der Art dieser Kombination ergibt sich die weitere Teilung.

Genetisch wichtig ist der Neigungswinkel der einzelnen Schrägschichten, der je nach der Zusammensetzung des aufgeschütteten Materials (Korngröße, spez. Gewicht, Form der Einzelkomponenten), der lebendigen Kraft, welche bei der Aufschüttung tätig war, und nach der Art des Bildungsmediums verschieden ist. Doch besitzen wir vor der Hand noch zu wenig vergleichende Messungen, um in jedem einzelnen Falle allein nach der Neigung der Schrägschichten sagen zu können, in welchem Medium, ob in Wasser oder Luft (Sedimente aus Eis sind bekanntlich ungeschichtet!) die Ablagerung stattfand. Solche Messungen wären einmal an künstlichen Aufschüttungen anzustellen, deren genannte stoffliche Eigenschaften man genau kennt, und zwar sowohl in Luft, wie auch in Wasser. Zum anderen bedarf es vielfacher Messungen der Neigungswinkel in solchen, auch fossilen Ablagerungen,

¹⁾ FRANZ WÄHNER, Das Sonwendgebirge im Unterinntal. 1903, I. S. 114.

über deren Bildungsumstände nach anderen Feststellungen ein Zweifel nicht obwalten kann, wobei des Vergleichs halber auch hier Korngröße, spezifisches Gewicht und Form der Gesteinskomponenten festzustellen sind. Bei allen diesen Untersuchungen ist aber stets nur die Messung von Maximalwinkeln von Bedeutung, denn je nach der Lage des betreffenden Anschnitts einer Schrägschichtung zur Streichrichtung derselben wechselt ja dieser Winkel. Auf einem Querschnitt parallel zur Streichlinie einer Schrägschichtung tritt eine solche überhaupt nicht in Erscheinung, die Neigung der Schrägschichten ist $= 0^\circ$. Je mehr das Profil aber senkrecht zum Streichen verläuft, desto steiler wird dieser Winkel. Da aber selten in einem einzigen Aufschluß Profile in allen möglichen Himmelsrichtungen zur Untersuchung gelangen, da zudem die geneigten Schichtflächen nicht immer Ebenen von großer Ausdehnung, sondern vielfach Ausschnitte aus Kegelflächen mit relativ kurzem Radius sind, kommt es besonders auf die Messung der Maximalneigung jeder Schrägschichtung an, daneben aber auch auf die Feststellung des Einflusses, den die jeweilige Lage des Profils nach der Himmelsrichtung auf das Bild der Schrägschichtung ausübt.

Das Problem der Gleichgewichtsfiguren pulverförmiger Massen, das hier für uns von Bedeutung wird, hat FELIX AUERBACH (10) vom physikalischen Standpunkt aus untersucht. Er benutzte zu seinen Versuchen außer verschiedenen Samenarten durch Sieben auf gleichartige Korngröße gebrachte Quarz-, Kalk- und Korundsande. Aus seinen Resultaten ist folgendes für das Problem der Schrägschichtungen von Wichtigkeit: »1. Die normale Böschungfläche ist eben. 2. Konvexität der Horizontalschnitte ermäßigt, Konkavität erhöht die Böschung¹⁾. 3. In der Nähe fester Wände zeigen sich bestimmte Randwirkungen. . . . 11. Die Böschung nimmt, wenn sie nicht konstant ist, von unten nach oben im allgemeinen ab²⁾. . . . 13. Die Normalböschung der benutzten Stoffe bewegt sich zwischen 21° und 36° ; sie ist desto größer, je kleiner, je dreidimensionaler, je kantiger und eckiger, je leichter das Korn und je

¹⁾ Das ist ebenso für die Außen- und Innenböschung der Stratovulkane (vgl. G. LINCK in Neues Jahrb. f. Min. usw. Festbd. 1907, S. 91—114, Taf. VII), wie für die Böschungswinkel der Sicheldünen (Barchane) wichtig.

²⁾ Wenn dieses in der Natur weder bei den Böschungen von Stratovulkanen und Dünen, noch bei den verschiedenen Schrägschichtungen der Fall ist, — im Gegenteil finden wir in der Regel auch bei den letzteren ein allmähliches Verflachen der Schrägschichtung nach unten, — so liegt das nach AUERBACH (siehe bei LINCK a. a. O. S. 100—102) daran, daß jedes Korn im Momente des Auffallens eine lebendige Kraft besitzt. »Die Körner werden nämlich infolge ihrer lebendigen Kraft weiter rollen, als die bloßen Gleichgewichtsbedingungen erfordern, und zwar werden sie nach dem Gesetze der Wahrscheinlichkeit mehr oder weniger weit rollen. Die Oberfläche wird daher eine von der Natur selbst gezeichnete Wahrscheinlichkeitskurve sein, wie sie dem Physiker unter dem Namen MAXWELLS wohlbekannt ist. . . . Sie beginnt oben »nach oben konvex, hat dann einen Inflexionspunkt und verläuft zuletzt nach oben konkav, um sich der Basis nach und nach anzuschmiegen.«

rauer seine Oberfläche ist . . .«. Hier fehlen leider noch die entsprechenden Versuche unter Wasser.

Messungen von Maximalböschungen natürlicher und künstlicher trockener Schuttkegel hat auf Veranlassung von ALB. HEIM AD. PIWOWAR (52) angestellt. Seine Resultate sind auch für das Problem der Schrägschichtungen von nicht zu unterschätzender Bedeutung und sollen daher hier kurz mitgeteilt werden, wenn dieselben sich auch hauptsächlich auf Schuttkegel größerer Komponenten beziehen. »Je massiger, eckiger, grobkörniger und rauhbrüchiger das Gestein, desto steiler häuft sich sein Schutt an, je plattiger oder schiefrieger, je rundlicher, je feinkörniger oder dichter und infolge davon glattbrüchiger das Gestein ist, und je milder die Bruchflächen, desto kleiner wird die Böschung der Schuttkegel. Die Schuttkegelböschungen sind ein direktes Maß für die Reibung der Trümmer aneinander.« Das Maximum ergaben Granite mit 37° , das Minimum Bündner Schiefer mit $27\frac{1}{2}^\circ$ Maximalböschung. Gesteine mit Schieferungsflächen und plattige Bruchstücke ergeben konstantere Schuttkegelböschungen. Die Höhe des Sturzes der Trümmer ist von nur sehr geringem Einfluß auf die Böschung. Messungen an künstlichen Schuttkegeln ergaben, daß eckige Trümmer eine bedeutend steilere Böschung ertragen, als rundliche. Bei gleichem Material vermehrt Eckigkeit die Böschung um 3° . »Je glatter gerundet die Stücke, desto mehr werden die Differenzen nach der Gesteinsart verschwinden, dafür dann vielleicht solche aus dem spezifischen Gewichte zur Geltung kommen. Wasser im Innern der Schuttkegel vermindert die Reibung der Gesteinstrümmer aneinander, ohne, wie bei Aufschüttung in gestautem Wasser, anhaltend einen Teil des Gewichtes zu tragen. Das Abgleiten der Stücke übereinander wird dadurch erleichtert und der Schuttkegel verflacht. Dabei zeigt sich, daß bei kleintrümmerigem schiefrigem oder plattigem Material die Wirkung des Wassers viel deutlicher ist, als bei grobblockig massigen Trümmern, offenbar, weil bei ersterem die Berührungsflächen, auf welche Wasser reibungsvermindernd einwirken kann, größer, der Druck der Gesteinsstücke aufeinander aber kleiner ist als beim letzteren. Beim Bündnerschiefer sind innerlich nasse Schuttkegel ca. 7° flacher als ganz trocken aufgeschüttete, bei Granit scheint die Differenz kaum einen Grad zu betragen.« Die Trümmer ordnen sich fast bei allen Schuttkegeln recht deutlich nach der Größe, indem nach unten die größeren Trümmer vorherrschen, doch hat die durchschnittliche Größe der Trümmer keinen merklichen Einfluß auf den Böschungswinkel. — Besondere Bedeutung für unser Problem hat aber noch die letzte Feststellung PIWOWARS. Derselbe konnte nämlich durch Versuch und Messung zeigen, »daß verschiedene Materialien in stehendem Wasser aufgeschüttet etwa $1\frac{1}{2}^\circ$ Böschung mehr ertragen, als dieselben in der Luft angehäuft. Unter Wasser sollte die geringere Reibung flachere Böschung bedingen. Andererseits aber verliert im Wasser jedes Gesteinsstück so viel von seinem Gewichte, als das ver-

drängte Wasser wog. Bei vermindertem Gewicht erträgt die Schutthalde steilere Böschung. Unsere Messungen beweisen somit, daß der Einfluß des verminderten Gewichtsdruckes denjenigen der verminderten Reibung überwiegt. Es bleibt zu untersuchen, ob vielleicht stark tonige Gesteine ein anderes Verhalten ergeben.« Soweit die Resultate des genannten Autors, welche alle für die Frage der primären Neigung von Schrägschichtungen von Wichtigkeit sind, — allerdings in verschiedenem Maße. Was die Schuttbildungen aus groben Komponenten in Luft anbetrifft, so kommen ja solche gelegentlich im fossilen Zustande vor und sind auch als ganz normale Sedimente zu betrachten. Doch wird in den seltensten Fällen über die Entstehung solcher Bildungen irgend ein Zweifel obwalten. Anders ist es bei den Aufschüttungen von geringerer Korngröße; und da interessieren uns insbesondere die vergleichenden Messungen PIWOWARS an künstlichen Schuttkegeln in Luft und Wasser. Leider ist nur in zwei von den 4 gemessenen Fällen die Korngröße angegeben (2—5 mm). Unerwartet ist das Resultat dieser Messungen, daß nämlich die betreffenden Materialien in Wasser aufgeschüttet steilere Böschung ertragen, als in Luft, wofür des Autors angeführte Erklärung als plausibel angenommen werden darf. Hier besteht nun noch eine große Lücke in der experimentellen Forschung bezüglich der kleineren Korngrößen, die für den Geologen besonders wichtig sind, da es sich für ihn in den meisten Fällen gerade darum handelt, die genetische Deutung der Schrägschichtung in feinkörnigen Sandsteinen zu finden, denn nur bei solchen Gesteinen können alle drei Möglichkeiten (Entstehung als äolisches Sediment, im Flußwasser, im marinen Flachwasser) vorliegen. Sicher ist nun, — denn der Augenschein lehrt es überall —, daß das Verhältnis bei sehr feinkörnigen bis schlammigen Sedimenten gerade umgekehrt ist, als in den von PIWOWAR untersuchten Fällen¹⁾, und es wird dadurch wahrscheinlich, daß es (für jede Komponentenform) eine bestimmte Korngröße gibt, bei welcher der maximale Böschungswinkel in Wasser und Luft gleich ist. Für uns würde allerdings hieraus die Unmöglichkeit folgen, aus dem maximalen Böschungswinkel von Schrägschichtungen überhaupt auf Entstehung in Wasser oder Luft zu schließen. Besonders auch, da schon der geringe Unterschied, den die PIWOWARSCHEN Messungen gezeigt haben ($1\frac{1}{2}^\circ$), innerhalb der Fehlergrenze liegt, welche sich durch die verschiedene Lage der zur Messung benutzten Durchschnitte, durch Unebenheit der Flächen usw. ergeben. Gleichwohl wird man weitere vergleichende Untersuchungen abzuwarten haben, bevor man es ganz aufgibt, auf diesem Wege zu einem Resultat zu gelangen.

¹⁾ So wenig exakt nach unseren heutigen Anschauungen seine Versuche auch sein mögen, so mag doch hier ein Ergebnis BORNEMANN'S (13) angeführt sein: »Schüttet man Dünensand vorsichtig durch einen Trichter auf eine ebene Unterlage, so läßt sich bei Vermeidung jeder Erschütterung ein Kegel mit einem Böschungswinkel von etwa 37° herstellen. Läßt man die Aufschüttung unter dem Wasserspiegel vor sich gehen, so erreicht der Winkel kaum 30° .«

Was die Feststellungen an natürlichen rezenten und fossilen Bildungen, deren Entstehung irgend einem Zweifel nicht unterliegt, betrifft, so besitzen wir vielfache Angaben über die Böschungsverhältnisse der Dünen, welche ja parallel ihrer Oberfläche, vielfach aber nur (bei Wanderdünen) parallel ihrer dem Winde abgewandten steileren Leeseite geschichtet sind. Als Durchschnitt der Neigung der flacheren Luvseite mag $8-10^\circ$, der Leeseite 33° gelten, als Maximum dürfte 20° für die Luvseite, 45° für die Leeseite anzusehen sein. Andererseits hat FRANTZEN (23) diagonalgeschichtete Sande des Werradiluviums bei Meiningen gemessen: »Die Sichtbarkeit der Streifung des Sandes ist durch Verschiedenheit der Korngröße und durch Verschiedenheit der Färbung bedingt. Die Streifung richtet sich . . . in allen Lagen ganz regelmäßig flußabwärts, so daß das Maximum ihrer Neigung parallel mit der Richtung des früheren Flußlaufes geht. Der Winkel der Neigung steigt bis auf etwas über 30° ; im Durchschnitt mag er etwa 23° betragen, geht aber unter diese Ziffer an einigen Stellen noch ansehnlich herunter.« (Beobachtungen über die Neigungen der »periklinalen« Schrägschichtungen der Stratovulkane sind nicht unmittelbar auf normale Sedimente übertragbar, einmal wegen der Eigenart der vulkanischen Componenten [niedriges spezifisches Gewicht infolge Porosität, mehr oder weniger zackige Oberfläche, welche reibungsverstärkend wirkt], zum andern aber auch, weil diese Böschungen häufig von durchsetzenden Gangbildungen gestützt werden.)

Man kann nicht behaupten, daß das Wenige, was wir bezüglich der Böschungswinkel von Schrägschichtungen an Sicherem wissen, sehr ermutigend wirkt. Und so nimmt es denn nicht Wunder, wenn z. B. W. DIENEMANN (19) bei seinen Untersuchungen über den Marburger Buntsandstein, während welcher der Verf. ihm mehrfach anriet, jede Gelegenheit zur Messung der Maximalwinkel bei Schrägschichtung zu benutzen, zu keinem eindeutigen Resultat bezüglich der Genese dieser Schrägschichtungen gelangte. DIENEMANN gibt in einer Tabelle 10 solcher Messungen von Maximalneigungen aus dem mittleren Buntsandstein Oberhessens an, wobei bedauerlicherweise die Himmelsrichtung fehlt, nach denen die Schichten geneigt sind. »Winkel über 30° «¹⁾ hat DIENEMANN »nie beobachtet, der Durchschnitt ist etwa 20° . Überall zeigt sich, daß die Neigung oben stärker als unten ist; die obigen Werte beziehen sich alle auf den oberen Böschungswinkel.« Vergleicht man aber diese Ergebnisse mit den eben erwähnten, an Dünen und an Flußschichtungen gewonnenen Zahlen, so bleibt es doch noch zweifelhaft, ob in den Schrägschichtungen des Buntsandsteins äolische oder fluviatile Bildung

¹⁾ Größere Neigungen, die man in Abbildungen und Profilen noch häufig sieht, sind durchweg übertrieben und unrichtig. Hier können nur exakte Messungen weiter führen, da man erfahrungsgemäß Neigungswinkel immer überschätzt. Wenn WALTHER (65) von der Leeseite einer Diagonalschichtung im schwedischen Birikalk 50° Neigung angibt, so ist das äußerst auffallend und erheischt eine besondere Erklärung, zumal wenn man die von PIWOWAR (52) gegebenen Zahlen vergleicht.

vorliegt. (Daß Bildung im Meere für den unteren und mittleren Buntsandstein ausscheidet, bedarf keiner Diskussion mehr!)

Es ist von JOH. WALTHER (64) Nachdruck darauf gelegt worden, »daß die Diagonalschichtung¹⁾ nach den beiden Diagonalen, je nachdem antiklin oder synklin gegliedert ist.« »Diagonalschichtung entsteht dadurch, daß ein, aus concentrischen Schalen aufgebauter Sedimenthügel seine Lage verändert und hierbei einen Teil seiner Basis am alten Orte zurückläßt.« Im Gegensatz hierzu kann ich nicht finden, daß dort, wo nur Schichtung nach einer Diagonale vorkommt, der Ausdruck »Diagonalschichtung« unangebracht sei. Es gibt vielmehr eine ganze Anzahl Fälle, wo Schichtung nur nach einer Diagonale vorkommt, so bei geschichtetem Abhangsschutt, bei der oben geschilderten Übergußschichtung; und es muß sich dabei keineswegs immer, wie WALTHER meint, »um den Durchschnitt eines Schuttkegels an der Mündung eines Flusses oder um jene Art der unregelmäßigen Schichtung« handeln, »welche FORCHHAMMER (22) durch die Anspülung von Sandschichten an einen meerwärts geneigten Strand erklärt hat.« Was diesen letzteren Fall übrigens anbetrifft, so dürfte er ebenso selten fossil zur Beobachtung gelangen, wie eigentliche Strandwälle. »Aber nicht nur durch das Wandern festländischer Dünen, sondern auch durch Verschiebung mariner Sandbänke und Barren kann Diagonalschichtung entstehen,« wenn dieselben »im oberen Teile wandern, während der untere Teil stehen bleibt. Ist der Neigungswinkel der antiklinal zusammenstoßenden Schichtungsdiagonalen annähernd gleich groß, dann handelt es sich um eine Bildung unter Wasser, ist derselbe auf der einen Seite etwa 5—10°, auf der anderen Seite 20—30°, so liegt ein Dünengestein vor.« Demgegenüber ergibt sich aber wohl aus obigen Bemerkungen zur Genüge, wie schwer es gleichwohl ist, bei fossilen Schichtungen eine sichere Entscheidung allein nach dem Neigungswinkel der Schrägschichtung zu treffen.

Auf die verschiedene Richtung der Schichtenneigung bei den einzelnen Arten der Schrägschichtungen wird im folgenden Abschnitt näher einzugehen sein, der auch Beispiele dieser Arten enthalten soll.

IIaα. Einfache Schrägschichtung.

Dieser einfachste Fall der Schrägschichtung bedarf keiner weiteren Erläuterung mehr, da er fast nur bei rezenten, vereinzelt auftretenden Bildungen sich zeigt, im fossilen Zustande aber entweder mit seinesgleichen (IIc) oder mit Parallelschichtungen (bei IIb) vergesellschaftet auftritt. Die Schichtung einer Wanderdüne parallel zur steileren Lee-seite, die Schichtung eines Schuttkegels gehört hierher.

¹⁾ Hierbei ist indes zu beachten, daß JOH. WALTHER unter »Diagonalschichtung« auch unsere Kreuzschichtung einbegreift! Diagonalschichtung nach beiden Diagonalen entspricht unserem 2. und 3. Typus der Kreuzschichtung.

Leicht verständliche ausländische Ausdrücke für diese einfachste Art der Schrägschichtung wären »stratification oblique«, ein Ausdruck, den ich bei HAUG (31) finde, bzw. »oblique bedding«, was in zusammengesetzter Form bei GRABAU (29) vorkommt.

IIb. Diagonalschichtung.

Diagonalschichtung einfachster Art besteht aus 3 Elementen, zu unterst horizontalen, nach I geschichteten Lagen, in der Mitte einer nach IIa α schräg geschichteten Lage und zu oberst wieder aus horizontalen Lagen. Schon LYELL hat von »diagonal stratification« gesprochen, und in ihr haben wir die Schrägschichtung, für die noch am ehesten der etwas mißliche und besser ganz zu vermeidende NAUMANNsche Ausdruck »Diskordante Parallelstruktur« zutrifft. Das hat auch DIENEMANN (19) bemerkt, welcher Diagonalschichtung aus dem mittleren Buntsandstein Oberhessens abbildet. Die von ihm gemessenen (maximalen) Neigungswinkel wurden oben bereits mitgeteilt; sie bleiben in der schräggeschichteten Mittellage nicht überall gleich, sondern wechseln gelegentlich, ohne daß sich aber der Sinn der Neigung ändert. Dieser Wechsel in der Neigung der Schrägschichten der gleichen Mittellage erklärt sich m. E. am einfachsten dadurch, daß sich die Richtung der (Luft- oder Wasser-) Strömung, welche die wachsende Sedimentaufschüttung bedingte, änderte, wodurch auch die Lage der Maximalböschung sich verschieben mußte. Das ist auch die Deutung von A. JENTZSCH (41) bei Beschreibung der Dünenschichtung, ohne daß aus dieser Übereinstimmung sich zweifellos die äolische Entstehung der betreffenden Buntsandsteinschichten ergeben müßte. JENTZSCH beschreibt die Schichtung parallel zur steileren Leeseite der Dünen. »Wo die Düne ihre Wanderrichtung verändert hat, müssen die an den Leeseiten gebildeten Schichten in Winkeln aufeinanderliegen. Doch auch die Luvseite kann sich erhöhen, solange die Düne infolge reichlicher Sandzufuhr wächst; dann liegen sanft ansteigende Sandschichten über den Schichtenköpfen 30° einfallender Schichten. Derartige Diagonalschichtung ist eine ganz gewöhnliche Erscheinung. . . . Am besten sieht man sie, wo Dünenketten durch das Meer oder Flüsse quer abgenagt wurden, sowie an dem 20 m tiefen künstlichen Durchstich der Weichsel durch die frische Nehrung bei Nickelswalde. Wo aber das Meer die Langseite einer Düne benagt, da zeigen die Entblößungen . . . nur horizontale Schichtungslinien, weil . . . die schrägen Schichtungsflächen im Schichtenstreichen abgenagt werden, mithin horizontale Durchschnitte ergeben.« So bildet JENTZSCH typische Diagonalschichtung in einer Kupste (einem alten Dünenrest) der Kurischen Nehrung ab: »Man sieht die mit 30° nach Osten fallenden Schichten der einstigen, jetzt längst überschütteten Sturzdüne und darüber ein annähernd wagerechtes, minder regelmäßiges Schichtensystem, welches z. T. der Luvseite einer einst zeitweilig wachsenden Wanderdüne angehört. . . .«

Typische wiederholte Diagonalschichtung mit gleichgerichteter Neigung der Schrägschichtung in den verschiedenen durch horizontale Lagen getrennten Schichten hat W. H. HOBBS (38) aus jungen fluviatilen Schottern Spaniens und Italiens beschrieben. Ausgezeichnete Diagonalschichtung der Nilsedimente hat M. BLANCKENBORN (12) in der Gegend von Feschn in Mittelägypten beobachtet. »Die Mineralien gruppieren sich teilweise nach der Schwere, indem jedenfalls das häufige Magnet-eisen besondere Lagen für sich bildet, die beim Durchschnitt durch die Sandbänke als schwarze Streifen auffallen. Dadurch wird auch die eigenartige Schichtung des Sandes leichter ersichtlich, welche sich in schräg flußabwärts oder nach N. geneigten Ebenen, die von den eigentlichen horizontalen Schichtflächen geschnitten werden, vollzieht. Der zwischen dem Sand eingelagerte Nilschlamm bildet im Gegensatz dazu horizontale Lagen.« Leider erfahren wir nichts über den Neigungswinkel der Schrägschichtchen; die durchschnittliche Korngröße des Sandes ist $1/10$ — $3/10$ mm. BLANCKENHORN fügt hinzu: »Diese Art diskordanter Parallelstruktur ist bei den norddeutschen Flachlandsgeologen unter dem Namen Deltaschichtung¹⁾ bekannt. Man könnte sie aber eher als Flußschichtung bezeichnen, da sie sich keineswegs auf Deltagebiete beschränkt.« Eine unregelmäßigere Art der Flußschichtung mit ziemlichem Zurücktreten horizontal geschichteter Lagen, aber doch gleichsinniger Neigung aller Einzelschichten hat FRANTZEN (23) aus dem Werra-Diluvium bei Meiningen beschrieben (Neigungswinkel oben S. 386). »An der Oberfläche jeder Sandschicht beginnt die Streifung steil und recht scharf. Sie behält ihre Richtung an dem größten Teil der schiefen Ebene bei, verflacht sich aber in der Nähe der unteren Schichtfläche mehr und mehr und verfließt unten ganz allmählich in die Horizontale. . . . Jede Welle riß . . . Sand und Schlamm mit sich fort und ließ das Material, es bei der Bewegung nach der Korngröße separierend, wieder fallen, sobald die Stoßkraft erlahmte, wobei die niederfallende Masse sich annähernd unter dem durch die Korngröße des Materials bedingten Böschungswinkel abböschte. GÜMBEL hat nach diesem Vorgange die Diagonalschichtung ganz treffend auch als Übergußschichtung bezeichnet.« In der Tat ist auch die an den Umrandungen der rezenten und fossilen Riffe zu beobachtende Übergußschichtung (s. auch S. 360) größtenteils hierherzustellen. Der zuletzt nach der Darstellung von FRANTZEN beschriebene Fall von Flußschichtung vermittelt aber bereits den Übergang zu manchen Fällen »wirrer Kreuzschichtung«, die ebenfalls als Flußschichtung entstehen kann, bei welcher dann aber infolge störender Einflüsse im Abfluß des Wassers, wofür FRANTZEN verschiedene Gründe aufzählt, in verschiedenem Sinn geneigte Schichten auftreten.

1) Über Schrägschichtungen in Schotterdeltas, wie sie sich, wenn auch selten, gelegentlich sogar in marinen Deltas zeigen, vgl. noch 17a und 18a.

Unserer »Diagonalschichtung« entspricht, was GRABAU (30) als »delta« und »torrential type of cross bedding« beschreibt, zwischen denen ein Unterschied m. E. nicht besteht. An anderer Stelle (29) spricht er auch von »compound oblique bedding«, unter welchem Ausdruck man aber alles Mögliche verstehen könnte. Die Franzosen nennen unsere »Diagonalschichtung« vielfach »stratification torrentielle«.

In der Tabelle habe ich bei der Diagonalschichtung kontinuierliche und nichtkontinuierliche unterschieden, worauf im Text bisher noch keine Rücksicht genommen wurde. Wohl nur wenige Fälle können mit Sicherheit zur ersten Art, II b α , gezählt werden, so wohl die Schichtung der Nilsedimente, die BLANCKENHORN beschrieben hat, und die meiste Übergußschichtung an Riffen. Für eine große Zahl der Diagonalschichtungen besteht aber begründeter Verdacht, daß bei ihrer Bildung Sedimentationsunterbrechung und Abtragung statthatten und dieselben somit zu II b β zu stellen sind; und je unregelmäßiger die Diagonalschichtung ist, desto mehr wächst die Wahrscheinlichkeit jener Vorgänge. Wenn DIENEMANN zwar schreibt: »Die horizontalen Lagen, welche gleichsam über die Schichtenköpfe der anderen transgredieren, sind meist feinkörniger und oft als dünnbankige Sandsteine ausgebildet, während die zwischenliegenden Schichten nur ein loses Haufwerk grober Körner bilden«, so mag es in diesem Falle doch zweifelhaft sein, ob die »Transgression«¹⁾ hier mit einer eigentlichen Sedimentationslücke und Abtragung zusammenfällt. Erstere ist natürlich nicht von der Hand zu weisen. Eine Abtragung scheint aber nicht stattgehabt zu haben, denn dagegen spricht die meist geringere Korngröße der transgredierenden Lagen, wodurch dasselbe Verhältnis in den Korngrößen entsteht, wie in den erwähnten Nilsedimenten, die wir in die Rubrik II b α einreihen.

Wir haben im vorhergehenden typische Diagonalschichtung sowohl als Fluß- wie als Dünenschichtung kennen gelernt. In beiden Fällen ist die Konstanz der Richtung einer Wasser- oder Luftströmung wesentlichster Faktor für die Entstehung der Schrägschichtung dieser Schichtungsart; doch sehe ich mich vorderhand außerstande, unterscheidende Merkmale für die Entstehung in diesem oder jenem Medium anzugeben, solange nicht die Korngröße und anderes weitere Anhaltspunkte gewähren und solange nicht vergleichende Experimente für die verschiedenen feineren Korngrößen usw. in Luft und in Wasser vorliegen. Auch die Entstehung von Diagonalschichtung durch Wandern mariner Sandbänke ist nicht von der Hand zu weisen.

II c β . Kreuzschichtung.

Öftere Sedimentationsunterbrechung und Abtragung ist charakteristisch für diese unregelmäßigste Art der Schichtung, bei der ein häufiger Wechsel in der Richtung der Neigung der Schrägschichten die Regel ist.

¹⁾ Daß gerade festländische Ablagerungen »transgredieren« können, darauf hat ja J. WALTHER immer und immer wieder hingewiesen.

Daher der deutsche Name Kreuzschichtung (entsprechend englisch »cross stratification« (LYELL), französisch »stratification entrecroisée« (BRIART, 16, GOSSELET, 27).

Wenn man viele Aufschlüsse kreuzgeschichteter Ablagerungen gesehen hat und die Abbildungen miteinander vergleicht, welche so manche Autoren von dieser Erscheinung gegeben haben, und man gleichzeitig von den ganz unregelmäßigen Arten der Kreuzschichtung absieht, dann scheinen sich aus der bunten Mannigfaltigkeit der Bildungen, die überall ineinander »verfließend« übergehen können, doch drei Typen von Kreuzschichtung besonders herauszuheben.

1. Wirre Kreuzschichtung. Bei ihr bestehen die schräggeschichteten Pakete aus einzelnen, unvermittelt aneinander abstoßenden Schrägschichten mit verschiedensten Einfallswinkeln und häufig entgegengesetzter Neigung, wobei entgegengesetzte Neigungen nur selten in Umbiegungen miteinander verbunden sind. Diese Art der Kreuzschichtung, für welche der GRABAUSche Ausdruck »criss cross bedding« (29) eine gute englische Bezeichnung wäre, muß auf ganz unvermittelten Wechsel der Bewegungsrichtung des sedimentierenden Mediums zurückgeführt werden und macht mir den Eindruck, als ob sie nicht durch Luftbewegung hervorgerufen sei, sondern durch strömendes Wasser, welches, auf wenig geneigter Unterlage fließend, häufig seinen Lauf verlegte. Man kann dabei an die sog. »Schichtfluten« denken, deren gelegentliches Auftreten manche Reisende in Trockengebieten beglaubigt haben; an die Abflüsse der abschmelzenden Gletscher, in denen sich die Fluvioglazialschotter niederschlagen, an mäandernde Flüsse oder endlich auch an marines Flachwasser in gezeitenbewegten Meeren. Gegen Bildung in einem Fluß mit festem Bett oder gegen Dünenschichtung spricht die Unregelmäßigkeit der Neigung, gegen äolische Bildung überhaupt die in der Regel gröbere Beschaffenheit der betreffenden Ablagerungen. Übrigens scheint bei dieser »wirren Kreuzschichtung« Sedimentationsunterbrechung und Abtragung auf ein Minimum beschränkt zu sein, so daß man hierbei eher von schräger Anlagerung als von »Transgression« zu sprechen geneigt ist. DIENEMANN (19) bildet solche wirre Kreuzschichtung aus miocänen, fluviatilen Sanden des Stempels bei Marburg (Lahn) ab und bemerkt, daß ähnliches auch im oberhessischen Buntsandstein auftritt, aber weniger häufig als eigentliche »Diagonalschichtung«. Buntsandstein mit solcher wirren Kreuzschichtung dürfte daher in fließendem Süßwasser abgelagert worden sein. Andererseits deutet die gleiche Art der Schichtung im Schaumkalk von Meiningen (FRANTZEN 23) wohl auf das Meer als Entstehungsort; doch braucht nicht jeder Oolith, welcher Kreuzschichtung zeigt, dieselbe im Meere erhalten zu haben, beschrieb doch schon AGASSIZ (2) von den Key-Inseln bei Florida s. E. durch Wind aufgehäufte junge Oolithe mit Kreuzschichtung: »... finest oolithes, pretty regularly stratified, but here and there like torrential deposits; the stratification is more distinctly visible where the rocks

hase been weathered. . . . The uniformity of the minute oolithes leaves no doubt that the sand must have been blown up by the wind and accumulated in the form of high dunes before it became consolidated . . . «¹⁾.

Bei einem zweiten und dritten Typus der Kreuzschichtung, die aus der Mannigfaltigkeit besonders heraustreten, zeigen die schräggeschichteten Lagen vielfach bogige Übergänge der Neigung von einer zur anderen Seite, so daß Bilder entstehen, die an Profile gefalteter Schichtenfolgen mit Diskordanzen erinnern. Ein häufiger Fall mag hier als

2. (vorwiegend) antiklinale Kreuzschichtung bezeichnet werden. Bei diesem Typus sind die Umbiegungen der Schrägschichten in der Hauptsache nach oben konvex, die einzelnen kreuzgeschichteten Lagen aber sind langgestreckte Keile. Die Schichtung, welche WALTHER (65) aus schottischem Torridon-Sandstein skizziert hat, scheint hierher zu gehören. Wenn BRIART (16) aber im Hinblick auf solche Art der Schichtung schreibt: »Les dépôts dunaux ont toujours ou presque toujours la courbure tournée vers le haut, tandis que les dépôts provenant de la sédimentation l'ont indifféremment vers le haut ou vers le bas«, so ist damit noch lange nicht bewiesen, daß in dem in Frage stehenden Typus nun immer Dünenschichtung vorliegt. Im Gegenteil erscheint mir die Kritik, die GOSSELET und DOUVILLÉ an den Anschauungen von BRIART übten, durchaus berechtigt, und der »aus concentrischen Schalen aufgebaute isolierte Hügel von Sediment«, der »seine Lage veränderte und hierbei einen Teil seiner Basis am alten Orte zurückläßt« (J. WALTHER 64) muß nicht, aber kann diese Wanderung auch subaquatisch vollzogen haben.

Bei einem 3. Typus der Kreuzschichtung endlich, den wir als

3. synklinale Kreuzschichtung oder Muldenschichtung (nach TOULA 61) bezeichnen wollen, liegen die Umbiegungen der schräggeschichteten Lagen mit der konvexen Wölbung nach unten und dieselben bilden nicht mehr annähernd parallele Körper, auch nicht langgestreckte Keile, sondern unregelmäßig ineinander greifende linsenförmige Einzelkörper. Ein ausgezeichnetes Beispiel dieser »Muldenschichtung« hat TOULA (61) aus jungtertiären Sanden bei Mödling beschrieben: »Der einheitlich feinkörnige, tonfreie Sand . . . würde . . . für die Annahme sprechen, daß man es mit äolischen Sandablagerungen zu tun habe, die . . . als das Resultat schwächerer Windströmungen aufgefaßt werden dürften, die sich wohl so weit gesteigert haben könnten, daß zeitweilig Abblasungen eintreten und muldige Hohlkehlen, und

¹⁾ Die Gerechtigkeit erfordert es, hinzuzufügen, daß neuere Beobachter diese Anschauung der äolischen Aufhäufung der Key-Oolithe nicht teilen, sondern an Entstehung der Kreuzschichtung derselben unter Wasser denken, ohne zwar diese gegenteilige Ansicht eingehender zu begründen. (Vgl. SAMUEL SANFORD in Florida State Geological Survey, Second Annual Report 1909, S. 221 und U. St. Geol. Survey Water-Supply Paper 319. Wash. 1913, S. 183). Gegebene Abbildungen sind zu schlecht, um danach ein Urteil zu fällen.

zwar in großer Zahl ausgefegt werden konnten, die dann wieder mit den Absätzen aus weniger stark bewegter Luft angefüllt wurden, um dann abermals ab- und ausgeblasen zu werden, ein sich wiederholendes Spiel des Windes. Große Ähnlichkeit zeigen ab und zu Schneewehen auf ebenem Sande, wie ich sie öfter . . . beobachtete.« In der Tat könnte man in diesem Falle an durch Sand ausgefüllte Windmulden¹⁾ denken, und eine abermalige Sandüberschüttung des unregelmäßig welligen »Sandmeeres« der Sahara, das HAUG abbildete und TOULA hierbei heranzieht, müßte auf dem Querschnitt ein ähnliches Bild ergeben, wie die von TOULA so ausgezeichnet abgebildete Sandablagerung von Mödling. Wenn derselbe gleichwohl nicht zu einem abschließenden Urteil über die Entstehung seiner »Muldenschichtung« kommt, so erkennen wir auch hieraus, daß die Entscheidung doch nicht so einfach ist, wie sich manche Autoren denken. Insbesondere will ich hier GRABAU (28—30) nennen, welcher in der Übertreibung der WALTHERSchen Anschauungen so weit geht, daß er alles das, was wir hier als Kreuzschichtungen zusammenfaßten, als »Eolian cross bedding« bezeichnet und damit für eine große Zahl von Sand- und selbst Kalksteinen zu einer äolischen Entstehung gelangt. Mit Recht ist ihm hierbei bereits KINDLE (43) entgegengetreten, der aber auch keinen gangbaren Weg weist, aus dem schwierigen Dilemma herauszukommen. Der Eindruck aber, den Verf. nach alledem gewonnen hat, ist der, daß für äolische Entstehung hauptsächlich ein Teil der typischen Diagonalschichtung und der »antiklinalen Kreuzschichtung« in Frage kommt. Daß aber größere Steilheit der Neigung immer für Dünen-schichtung spräche, wie BRIART (16) gemeint hat, kann vorläufig — bis zum Vorliegen exakter Versuche — nicht mit Bestimmtheit ausgesprochen werden. Auch bedarf es viel exakterer Messungen der Schrägschichtung aller einzelnen Aufschlüsse, als sie in der Regel bisher üblich waren. Vielleicht kommt aber folgendem Kriterium eine Bedeutung hinsichtlich der Unterscheidung äolisch und subaquatisch entstandener Schrägschichtung zu; CLOOS (17) hat eine dementsprechende, ganz plausible Bemerkung gemacht. Wir berichteten bereits oben mit den Worten FRANTZENS (23) über das Verflachen der schräggeschichteten Lagen einer Diagonalschichtung gegen die Unterlage und hatten von AUERBACH gelernt, daß die bei solcher Sedimentation entstandene Kurve eine MAXWELLSche Wahrscheinlichkeitskurve darstellt. Und nun schreibt CLOOS zu diesem in der Regel zu beobachtenden Phänomen des Verfließens der Schrägschichtung auf der Unterfläche: »Teils dem Zuge des verfrachtenden Mediums, teils der begonnenen Bewegung, teils nur

¹⁾ Windmulden entstehen allerdings in der Regel nur in bewachsenen Dünen, dort, wo die Vegetation durch irgendwelche Vorgänge zerstört ist. Im allgemeinen sind vielmehr, wo Vegetation fehlt, für Windabtragung ebene Flächen charakteristisch: »Ebenflächigkeit der Denudationsebene ist ein wesentlicher Charakter der Deflation« (JOH. WALTHER [63], S. 554) und das erinnert vielmehr an die ebenen Begrenzungsflächen zwischen den schräggeschichteten Lagen unserer »antiklinalen Kreuzschichtung«.

der Schwere folgend, eilt der Sand auf der abgeneigten Böschung einer Sandzunge der gemeinsamen Unterlage zu. Alle drei Kräfte, besonders aber die erste, die Strömung des Mediums, streben dahin, »übers Ziel hinaus zu schießen« und damit zwischen Böschung und Unterlage sanft zu vermitteln; vor allem, wo das Wasser den Transport übernimmt, ist Anschmiegen und Verfließen Gesetz. . . . Im Winde dagegen, wenn auf der Leeseite von Sicheldünen der Sand, jedem Lufthauch entzogen, passiv zu Boden fällt, sehen wir seine Böschung unvermittelt gegen den Untergrund abstoßen, unvermittelt, weil jeder Nachklang einer ausgleichenden Kraft verstummt ist.« Hier kommt die Wirklichkeit also den Idealfällen der AUERBACHSchen Gleichgewichtsfiguren am nächsten, und, nach diesem Kriterium zu schließen, dürfen wir z. B. die »Diagonalschichtung«, die DIENEMANN aus oberhessischem mittleren Buntsandstein beschrieben hat, wohl als äolisch entstanden betrachten, da hier das »Verfließen auf der Unterlage« zwar nicht ganz fehlt, aber doch auf ein Minimum reduziert ist. Und auf noch etwas anderes hat CLOOS (17), der die durch das Anschmiegen der Schrägschichtung an die Unterlage bedingte Nichtumkehrbarkeit der Bilder als Leitmittel bei verwickelten tektonischen Verhältnissen empfiehlt, hingewiesen, auf die Abtragungen, welche bei der Bildung der meisten Schrägschichtungen statthaben. Wir sprachen bereits in der Einleitung von »Schichtungsdiskordanzen«. Zu dieser mit Abtragung verbundenen Erscheinung, die bereits BORNEMANN (13, S. 14) erkannt hat und auch GRABAU (30) beschreibt, bemerkt CLOOS (17) folgendes: »Die Diskordanz in der Kreuzschichtung hat mit der Diskordanz nach Faltung eines gemeinsam: ihre Entstehung durch Erosion (bzw. Abrasion) und anschließende Transgression. Die Untergrenze der einzelnen Schichtbündel ist die ursprüngliche. In der Obergrenze dagegen ist uns nur selten die Uroberfläche des Ablagerungspaketes erhalten. Meistens vielmehr bewirkt der häufige und plötzliche Wechsel der Strömungsrichtung und -stärke (gleichviel ob in See-, Flußwasser oder Wind), daß das kaum gebildete Sediment teilweise wieder abgetragen, insbesondere seiner Kappe beraubt wird, und daß sich dann die transgredierende jüngere Partie auf die abgeschnittenen Schichtköpfe der älteren mit einer Erosionsdiskordanz aufлагert. So begreift es sich auch, warum wir vielfach als untersten Horizont des höheren Bündels ein etwas gröberes Sandblatt, ein »Basalkonglomerat« antreffen, ein Sediment, das von der größeren Heftigkeit Kunde gibt, mit welcher Abtragung und Transgression sich abgespielt haben.«

Nach wie vor bleibt es unmöglich, aus dem Vorkommen von Schrägschichtung allein auf äolische, fluviatile bzw. limnische oder marine Bildung zu schließen. Doch ist es Pflicht des Geologen, jeden ihm zur Verfügung stehenden Fall nicht nur mit einem ihm gerade passend erscheinenden Namen zu belegen, sondern unter Berücksichtigung der

Lage des betreffenden Anschnittes auszumessen und aufzunehmen, die Neigungsrichtungen der Maximalböschungen festzustellen und Art und Korngröße des Materials zu fixieren. Nur so kann es m. E. mit der Zeit gelingen, auf gleichsam statistischem Wege weiter zu kommen. Und dabei mögen die vorgeschlagenen Unterarten der Schrägschichtungen vielleicht von Wert sein. Besonderes Interesse haben alle diese Feststellungen für diejenigen Fälle, in denen andere Möglichkeiten, die Bildungsart zu rekonstruieren, mehr oder weniger fortfallen. Das ist z. B. im Archaikum und Algonkium der Fall. VON FRITSCH (24) bildete »Diagonalstruktur« im Gotthard-Gneis vom Hühnerstock ab, HÖGBOM (39) ebensolche »current bedding« aus archaischem Quarzit Schwedens. SEDERHOLM (57) beschreibt »stratification entrecroisée« (»wirre Kreuzschichtung« würden wir sagen) aus archaischem Quarzit Finnisch-Lapplands und »Muldenschichtung« aus bottnischem Phyllit von Tamersfors in Finnland.

Daß Schichtung, und das gilt auch von den Parallelschichtungen, durch Metamorphose verloren gehen kann, ist nach WALTHER nur Ausnahme von der Regel. Ich selbst beobachtete gelegentlich im hochkristallinen »Angertaler Marmor« zwischen Hof- und Badgastein im frischen Bruch nichts von irgend welcher Schichttextur. Angewitterte Flächen zeigten aber selbst nach so intensiver Metamorphose deutlich die gefalteten Schichten, deren verschiedene Struktur oder Zusammensetzung also nicht ganz verschwunden ist.

Unsere, im allgemeinen referierende Darstellung hat gleichwohl einige Ergebnisse gezeitigt, welche hier am Schluß noch einmal hervorgehoben werden sollen:

1. Vorhandensein oder Fehlen von Schichtfugen ist unwesentlich für das Wesen der Schichtung.

2. Schichtung, bei welcher in ein oder zwei Dimensionen besonders ausgedehnte Komponenten sich mit ihrer größten Dimension in die entstehenden Schichtflächen hineinlagerten und so ein besonders deutliches Kohäsionsminimum parallel zur Schichtung schufen, kann man mit LORETZ als »ursprüngliche« oder mit SALOMON als »primäre Schieferung« bezeichnen.

3. Die Eigenschaften der Schichtflächen als früherer Teile der Lithosphärenoberfläche haben eine große allgemeine Bedeutung. Dach- und Sohlflächen zeigen charakteristische Unterschiede.

4. Nach der primären, im allgemeinen nicht durch geneigte Unterlage, sondern durch den Ablagerungsakt geschaffenen Neigung der Schichten lassen sich zwei große Gruppen von Schichtungen unterscheiden: 1. Die (normalen) konkordanten Parallelschichtungen und 2. die (diskordanten) Schrägschichtungen.

5. Die für die meisten Schrägschichtungen typischen, in der Regel mit Abtragung verbundenen Diskordanzen sind als »Schichtungsdiskordanzen« scharf von allen übrigen Diskordanzen zu unterscheiden.

6. Eine typische Schrägschichtung ist die Übergußschichtung in der Umrandung von Riffbildungen. Die Übergußschichtung kann auch als »detritogene Schrägschichtung« bezeichnet werden, im Gegensatz zur »biogenen Schrägschichtung«, welche in Riffbildungen durch periodisches Wachstum der benthonischen Lebewelt entsteht.

7. Entgegen der hauptsächlich durch J. WALTHER vertretenen Anschauung, daß Schichtung nicht durch Unterbrechung des Absatzes, sondern durch einen Wandel der Fazies bedingt sei, muß der alten »Unterbrechungstheorie« für viele Fälle doch Recht gegeben werden, insbesondere auch für solche, in denen die Sedimentationsunterbrechung ohne Änderung des Sedimentationsmediums vor sich ging. Die Hauptmasse der Schichtungen geht jedoch entsprechend der von WALTHER gegebenen Erklärung auf Änderung der lithogenetischen Bedingungen zurück. In gewissen Fällen (bei den »symmetrischen Repetitionsschichtungen«) wird man lieber nur von Gesteinswechsel innerhalb einer Fazies, nicht von Fazieswechsel sprechen.

8. Für die Entstehung von Schichtung durch den Wechsel der lithogenetischen Bedingungen ist JOH. WALTHERS »Gesetz von der Korrelation der Fazies« von größter Bedeutung.

9. Bei »direkter Schichtung« (J. WALTHER) fällt die definitive Schichtung mit dem Ablagerungsakt zusammen. »Indirekte Schichtung« kann durch Wiederaufwühlung und Saigerung nach der Schwere usw. bei Wiederabsatz entstehen. Ein anderer Fall »indirekter Schichtung« liegt vor, wenn gewisse Gesteinselemente (Gerölle z. B.) infolge ihrer Schwere durch eine plastische Unterlage durchsinken und so an eine durch die lithogenetischen Absatzbedingungen nicht vorgeschriebene Stelle gelangen. Hierbei wird das »Gesetz von der Korrelation der Fazies« verletzt.

10. Entstehung von Schichtung durch Sedimentationsunterbrechung hinterläßt besondere Anzeichen auf den Schichtflächen und ist vielfach mit Abtragung bereits gebildeten Gesteins verbunden. Es gibt mindestens 4 verschiedene Arten von subaquatischen (submarinen) Sedi-mentlücken.

11. Entstehung von Schichtung durch den Wechsel der lithogenetischen Bedingungen kommt auf sehr mannigfaltige Art zustande. Periodische Klimaänderungen und Krustenbewegungen, welche PHILIPPI für Schichtung am Boden der heutigen Tiefsee und in früheren Geosynklinalen heranzog, genügen nicht für die von ALB. HEIM sogenannten »Repetitionsschichtungen«. Mit diesem Autor wird für dieselben ein Pendeln um eine chemische oder organochemische Gleichgewichtslage angenommen. Die von HEIM beschriebenen Repetitionsschichtungen sind »symmetrische Repetitionsschichtungen« zu nennen.

Von ihnen sind scharf die »periodischen Repetitionsschichtungen« zu unterscheiden, welche nicht durch Schwankungen um eine Gleichgewichtslage erklärt werden können, sondern auf Jahreszeiten oder andere periodisch sich ändernde Faktoren, deren Wirkung gleichzeitig repetiert wird, zurückgehen müssen. »Repetitionsschichtung ohne Gesteinswechsel« (HEIM) gehört zu den symmetrischen Repetitionsschichtungen und entsteht durch repetierte Sedimentationsunterbrechung.

12. In einer Tabelle werden 7 verschiedene Arten Parallelschichtungen und 4 verschiedene Schrägschichtungen unterschieden.

13. Für jede der 11 unterschiedenen Schichtungsarten werden Beispiele angeführt.

14. Was die Neigung der Schrägschichten bei den Schrägschichtungen anbetrifft, so sind die Untersuchungen noch nicht weit genug vorge-schritten, um aus dem Neigungswinkel allein immer mit Sicherheit sub-aerische oder subaquatische Bildung zu folgern. Die Untersuchungen von AUERBACH und PIWOWAR sind in bestimmter Richtung fortzusetzen.

15. Bei »Diagonalschichtung« ist nicht Schichtung nach beiden Diagonalen erforderlich, wie WALTHER wollte, sondern fehlt in vielen Fällen sicherlich.

16. Unter der Bezeichnung »Kreuzschichtung« wurden bisher noch sehr verschiedene Typen zusammengefaßt, die wahrscheinlich verschiedene Entstehung haben. Alle »Kreuzschichtung« für äolisch entstanden zu erklären, wie GRABAU tut, ist weit übertrieben. Sichere Entscheidung im Einzelfall ist jedoch vorläufig noch schwierig.

17. Um einen Fortschritt in dieser Richtung zu erzielen, ist außer dem Fortgang entsprechender physikalischer Untersuchungen zu erwarten von seiten des Geologen: Genaue Untersuchung jeder ihm vorliegenden Schichtung auf ihre Zugehörigkeit zu den unterschiedenen Schichtungsarten, insbesondere bei den Schrägschichtungen: Feststellung der Böschungsverhältnisse (Maximalneigung, Anschmiegen an Unterlage), der Himmelsrichtung der Maximalneigungen, der Korngröße und Form der Komponenten, der Mächtigkeit und Verbandsverhältnisse der einzelnen Lagen. Es haben insbesondere auch aus den Publikationen solche oberflächlichen Angaben zu verschwinden wie »Sandsteine mit Kreuzschichtung« oder »diagonalgeschichteter Oolith«, unter denen kein Mensch sich etwas vorstellen kann.

Königsberg, 16. August 1915.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Geologische Rundschau - Zeitschrift für allgemeine Geologie](#)

Jahr/Year: 1915

Band/Volume: [6](#)

Autor(en)/Author(s): Andree K.

Artikel/Article: [Wesen, Ursachen und Arten der Schichtung 351-397](#)