



BIBLIOTHEK

GEOGRAPHISCHER HANDBÜCHER

HERAUSGEGEBEN VON

PROF. DR. FRIEDRICH RATZEL.

Unter Mitwirkung von

Professor Dr. Georg v. Boguslawski, ehem. Sektionsvorstand im Hydrographischen Amt der Kaiserl. Admiralität in Berlin; Professor Dr. Oskar Drude, Direktor des Botanischen Gartens in Dresden; Dr. Karl v. Fritsch, Professor an der Universität in Halle; Dr. Julius Hann, Professor an der Wiener Universität und Redakteur der Zeitschrift für Meteorologie; Dr. Albert Heim, Professor am Schweizerischen Polytechnikum und der Universität in Zürich; Dr. Otto Krümmel, Professor an der Universität und Lehrer an der Marine-Akademie in Kiel; Dr. Albrecht Penck, Professor an der Universität Wien; Dr. Benjamin Vetter, Professor an der technischen Hochschule in Dresden.

STUTT GART.

VERLAG VON J. ENGELHORN.

1888.

ALLGEMEINE G E O L O G I E

VON

DR. KARL v. FRITSCH,
PROFESSOR AN DER UNIVERSITÄT IN HALLE.

MIT 102 ABBILDUNGEN.



Digital von:
Wolfgang Griem, 2019
Copiapo, Chile
Digital-Bibliothek - www.geovirtual2.cl
<http://www.geovirtual2.cl>

STUTTGART.

VERLAG VON J. ENGELHORN.

1888.

Das Recht der Uebersetzung in fremde Sprachen wird vorbehalten.

Druck von Gebrüder Kröner in Stuttgart.



Vorwort.

Der hochverdiente Fr. Ratzel stellte als Herausgeber der Bibliothek geographischer Handbücher mir vor sieben Jahren die ehrenvolle Aufgabe, den Inhalt meines in E. Behms geographischem Jahrbuche für 1876 erschienenen Aufsatzes über den gegenwärtigen Standpunkt der Geologie zu einem kurzen, indessen etwas in Einzelheiten eingehenden Buche umzugestalten.

Nicht ohne wichtige Bedenken sachlicher und persönlicher Art übernahm ich die Arbeit. Und jetzt erst liegt sie vollendet vor. Dies späte Erscheinen bekundet wiederholte Kämpfe mit Verhältnissen, welche mir die Feder aus der Hand gewunden hatten; es bezeugt aber auch mein öfteres Zagen, ob das begonnene Werk die Wissenschaft fördern und Lernbegierigen Nutzen bringen werde.

Die vorliegende allgemeine Geologie ist in der Uebersetzung geschrieben, dass naturwissenschaftliche Lehren nie auf Theorieen und Hypothesen begründet werden sollen, sondern nur auf Erfahrungen und Beobachtungen. Im Leser soll das Streben wach erhalten werden, im Freien zu sehen und zu arbeiten, um auf Grund eigener Wahrnehmungen in der Natur jede Schlussfolgerung und jeden Lehrsatz sorgfältigst prüfen zu können.

Ich vermochte diesen Grundsätzen entsprechend denen meiner Freunde und Fachgenossen mich nicht anzu-

schliessen, welche in irgend einer Art die Kant-Laplace'sche Theorie als Grundlage des geologischen Lehrgebäudes betrachten. Nicht selten sind die Auffassung und Bezeichnungsweise des Schichtenbaues, die Benennung von Felsarten, die Anordnung des Stoffes in der Gesteinslehre und viele Abschnitte der Petrogenie abhängig gemacht worden von dem Glauben an den Pyriphlegethon: den feurigflüssigen Erdkern. Die geomechanischen Abschnitte über Hebung und Senkung, über Vulkanismus, über Erdbeben tragen in vielen Büchern den Stempel dieses Axioms. Es bedarf keiner Erörterung, dass dieses bei vielen auch in die historische Geologie eingreift.

Der angehende Geologe soll meines Erachtens nicht durch das Buch, welches ihn in die Wissenschaft einführt, zum Anhänger irgend eines Dogmas werden; hat doch nichts die Fortschritte der Geologie mehr aufgehalten als das Festhalten an vorgefassten Meinungen. Das „nunquam in verba jurare magistri“ soll daher dem Jünger der Wissenschaft eingeschärft werden.

Nicht minder aber ist es dringende Pflicht, dankbar zu bezeugen, dass alle jetzige und künftige Forschung auf den Schultern der früheren steht. Wer in das Studium einzudringen beginnt, darf nicht alle Leistungen der Vorgänger als veraltete missachten lernen und darf nicht in der neuesten Schrift über einen Gegenstand die alleinige oder hauptsächlichste Quelle des Wissens darüber erblicken. Mehrfach nahm ich deshalb Anlass, Sätze oder Ausdrücke von Schriftstellern früherer Zeiten anzuführen. Aus diesem Buche wird also keiner die hochmütige Wendung lernen: „Schon Leopold von Buch bemerkte . . .“ Der Forscher wird bescheidener und richtiger schreiben: „Schon 1810 beobachtete N. N. . .“

Der nachsichtige Leser möge beurteilen, ob der Verfasser darin das rechte Mass gehalten hat, dass er die Anwendung vermeidlicher zünftiger Ausdrücke unterliess. Einige solcher Worte sind im Register übersetzt oder erläutert. Viele der neuen Benennungen, durch welche der Sprachschatz der Geologie und physikalischen Geographie ungemein bereichert worden ist, verdanken frei-

Vorwort.

VII

lich dem Bestreben nach verschärften Begriffsbestimmungen ihr Dasein. Dennoch ist dem Gedächtnis zu Gunsten der tiefer eindringenden Geistesarbeit Erleichterung zu gönnen.

Hinsichtlich einiger Kunstaussdrücke war die Entscheidung nicht leicht. Wenn der Leser die „Horste“ und die „Flexuren“ von E. Süss nur im Register erwähnt findet, so wolle er berücksichtigen, dass gerade der in den verwerfungsreichen Thüringer Landschaften aufgewachsene Geologe in diesen Beziehungen andere Anschauung haben darf als andere Fachgenossen.

Dem Teile einer Landschaft, welchem gegenüber die benachbarten als Senkungsfelder sich verhalten, wird durch die Bezeichnung als „Horst“ eine grössere Bedeutung beigelegt, als in vielen Fällen gerechtfertigt ist. Wo Verwerfungen überhaupt sehr häufig und zahlreich sind, hängt es zuweilen nur vom Streichen und Fallen der Verwerfungsklüfte ab, in welchem Teile eines grossen einheitlichen „Senkungsgebietes“ ältere Gesteine höher „über dem Meeresspiegel“ liegen als anderwärts.

Verhältnisse, wie sie Bücking aus der Gegend von Hessles und von der Nähe der Igelsburg zwischen Christes und Breitenbach bei Schmalkalden im 1. Bde. des Jahrb. d. K. Geol. Landesanstalt und Bergakad. Taf. 2, besonders in Profil 7 und 14 dargestellt hat, kommen nicht nur bei Massen von 100—150 m Breite und 500—600 m Länge vor, sondern auch bei sehr viel grösseren. Dort sind ältere Schollen von Zechstein gegen das ringsum anstehende jüngere Gebirge, den Buntsandstein, durch Verwerfungen getrennt, es wird aber die ältere Masse von der jüngeren unterteuft und getragen. Sieht man nur die Oberfläche, so wird man die ältere Scholle den „Horsten“ beirechnen. Man könnte sie diesen etwa auch als „Trughorst“ wegen des mangelnden Zusammenhanges nach unten gegenüberstellen. Die Erfahrung ist aber eine Warnung gegen die Ueberschätzung der älteren Gebirgsteile, die in Verwerfungsgebieten zwischen den jüngeren vorhanden sind.

Zunächst sind es bei Schmalkalden „Horste zweiter oder dritter Ordnung“, welchen solche Einwände ent-

VIII

Vorwort.

gegenstehen; aber die Grenze zwischen Horsten verschiedener Ordnung lässt sich nur willkürlich ziehen.

Die Massen, welche Süss „Horste erster Ordnung“ nennt, also z. B. in Mitteleuropa der Bayerische und Thüringer Wald, Odenwald, Schwarzwald und Vogesen, das mittelfranzösische Gebirgsland, sind aber unter sich so verschieden in ihrem Bau und in den Beziehungen ihrer Teile zu einander, dass es mir zweifelhaft erscheint, ob es zweckmässig ist, sie unter eine gemeinschaftliche Benennung als „Horstgebirge“ zu bringen.

Das Zurückhalten mit dem Namen möge aber nicht so gedeutet werden, als glaubte ich an eine Begrenzung der mesozoischen oder paläozoischen Meere durch Gebirge der heutigen Zeit; der Leser wolle hierüber die gesamte Richtung der allgemeinen Geologie und besonders den Wortlaut von S. 113 beachten!

Ob „Flexuren“ in so grossem Massstabe vorkommen, dass dafür eine besondere Bezeichnung erforderlich ist, erscheint mir noch nicht hinlänglich gesichert. Gewisse Nebenerscheinungen der Verwerfungen können in einzelnen Fällen sehr leicht zur Annahme einer Z-förmigen Lagerung führen. Dem in Verwerfungsgebieten arbeitenden Geologen ist es ganz erklärlich, wie man, ohne sich mathematische Rechenschaft von dem Beobachtungsergebnis zu geben, oft auf die Vorstellung einer Faltung mit söhligem Mulden- und Sattelflügeln, aber saigerem Mittelflügel gelangt, dabei auch eine „Auswalzung des Mittelschenkels“ annimmt, weil in den Verwerfungsklüften und längs derselben nur kleine Teile der abgesunkenen Schichten in steiler Stellung übrig zu bleiben pflegen, sobald überhaupt dort noch zusammenhängende Schichten vorhanden sind. Auch können schiefe Mulden im Senkungsfelde (Fig. 38 S. 89) zur (irrigen) Annahme von Flexuren führen.

Da die „allgemeine Geologie“ denen nutzbar werden soll, welche mit der Wissenschaft noch nicht vertraut sind, wurde unter anderen der von Hebungen und Senkungen handelnde, die Faltung der Gesteine besprechende Abschnitt sehr kurz und allgemein gehalten. Ein eingehendes Verständnis der Bewegungen von Oberflächen-

gesteinen ist ohne Vertiefung in die auf paläontologischer Grundlage aufgebaute „historische und stratographische Geologie“ nicht zu erreichen.

Der Verfasser gedenkt in der Kürze als Fortsetzung des vorliegenden Bandes eine „spezielle Geologie“ zu veröffentlichen. In dieser sind die geognostischen Systeme, Abteilungen und Unterabteilungen samt den leitenden Versteinerungen unter vorwiegender Berücksichtigung deutscher Vorkommnisse dargestellt. Auch ist der Versuch gemacht, die Geschichte der Veränderungen der Erdoberfläche, besonders der Verlegungen von Meeresgrenzen und der Gebirgsfaltungen, in kurzer, möglichst übersichtlicher Weise für diejenigen Zeiträume der Vergangenheit auszuarbeiten, für welche dies möglich ist.

Die Lehre von den faltenden, hebenden und senkenden Bewegungen und Kräften wird sich also notwendigerweise in der „speziellen Geologie“ auch wieder der Besprechung darbieten.

Aber auch andere Abschnitte: die Gletscher, die Vulkane, die Erdbeben etc., sind in der allgemeinen Geologie sehr knapp gehalten mit Rücksicht auf besondere Werke der „Bibliothek geographischer Handbücher“.

In einer Arbeit, wie sie vorliegt, muss der Verfasser oft die Ergebnisse fremder Forschung benutzen und mitteilen. Bei der gebotenen Kürze lassen sich nicht viele Citate angeben. Der allgemeine Litteraturnachweis zeigt eine mässige Anzahl wichtiger Werke an. Es ist aber nicht die Aufzählung der hundert Bücher, aus denen hier das hundertunderste zusammengegossen oder zusammenge schnitten worden ist. Der Verfasser hat vorwiegend sich auf eigene Beobachtungen gestützt. Auch die Abbildungen, durch welche der Herr Verleger das Buch so reich ausgestattet hat, sind mit wenigen Ausnahmen Originale. Einige neuere Erfahrungen über Tiefentemperaturen, von denen ich amtlich, also vorerst unter dem Siegel der dienstlichen Verschwiegenheit, unterrichtet war, sind zur Vervollständigung der Tafel auf S. 41 nicht benutzt worden. Dieselben würden als Bestätigungen der Lehre von den Vorgängen, durch welche die Wärme im

Schichtgebäude der Oberfläche teils erzeugt, teils verbraucht wird, eine erwünschte Beigabe gewesen sein.

Was die Anordnung der Besprechung betrifft, so empfahl es sich nach vielen Richtungen, die ineinander greifenden Vorgänge der Erosion und der Gesteinsbildung gesondert zu behandeln. Einzelne Wiederholungen waren dabei leider unvermeidlich. Der Verfasser war indes bemüht, nach Form und Inhalt entweder Ergänzungen oder blosse Erinnerungen darzubieten, damit keine störende Ermüdung beim Leser eintrete.

Möge das Werk Freunde finden und besonders den Jüngeren sich als nützlich bewähren! Die Fachgenossen aber werden, so hoffe ich, über das Buch mit Wohlwollen richten und auch in den Abschnitten, welche von der hergebrachten Auffassung abweichen, redliches Streben nach der Wahrheit anerkennen.

Halle, im Januar 1888.

Karl v. Fritsch.

Inhalt.

	Seite
Vorwort	V
Inhalt	XI
Kurzer Litteraturnachweis	XIII
Tabellarische Uebersicht der Zeiträume der Erd- geschichte	XVII
Tabelle zur Benennung massiger Gesteine nach Zirkel	XXVII
Tabelle zur Benennung der massigen Gesteine nach Rosenbusch	XXXI
Einleitung	1
I. Geophysiographie	4
1. Das Sonnensystem	4
2. Die Erde als Glied des Sonnensystems	6
3. Bestand der Erde aus Erd feste, Meer und Lufthülle	9
4. Die Lufthülle oder Atmosphäre	11
5. Das Meer	22
6. Die Erd feste oder Lithosphäre	34
A. Reliefverhältnisse	34
B. Wärmeverhältnisse der Erd feste	38
C. Dichtigkeit der Erde	51
D. Magnetische und elektrische Verhältnisse des Erdballs	53
II. Geotektonik	55
Einleitung	55
Darstellung des Gebirgsbaues	57
Formen und Begrenzungen der geotektonischen Einzel- massen	76
Ursprüngliche oder natürliche und veränderte oder gestörte Lagerung der Schichten	87
Stellung und Lagerungsstörung von Strömen, Stöcken und Gängen	108
Gleichförmigkeit und Ungleichförmigkeit der Lagerung	109
Geotektonische Ermittlung der Altersverhältnisse der Gebirgsglieder	112
Strukturverschiedenheiten verschiedener Stellen der Erdoberfläche	115
III. Geochemie oder chemische Geologie	125
1. Beschreibender Teil: Petrographie oder Lithologie oder Gesteinslehre	125
1. Einleitung	125
2. Felsbildende Mineralien	127
3. Auftreten der felsbildenden Mineralien	145
Gefüge, Gewebe und Absonderung der Gesteine	152

	Seite
Klassifikation der Gesteine	157
Aufzählung der hauptsächlichsten Felsarten	163
I. Oryktomere Gesteine	163
II. Petromere Gesteine	200
2. Theoretischer Theil: Petrogenie. Lehre von der Gesteinsbildung	205
Einleitung	205
Bildungsweisen der Gesteine	206
Aeolische Absätze	207
Neptunische Sedimente	217
Anhang zu den neptunischen Sedimenten	251
Diagenesis neptunischer Sedimente	253
Vulkanische Gesteinsbildung	256
Plutonische Gesteinsbildung	273
Metamorphische Gesteinsbildung	280
IV. Geomechanik oder physikalische Geologie	300
1. Ueberblick	300
2. Erosion durch Wind und strömendes Binnenwasser Erosion durch den Wind	300 301
Erosion durch strömendes Wasser	303
3. Erosion durch Schnee und Eis, besonders durch Gletscher	322
4. Erosion durch Wellen	336
5. Erosion durch strömendes Meerwasser	341
6. Erosionswirkungen, welche durch die Schwerkraft der Gesteinsmassen bedingt sind	343
7. Hebungen und Senkungen der Erdoberfläche	348
8. Vulkanische Erscheinungen	368
9. Ursachen der vulkanischen Erscheinungen	396
10. Lehre von den Erdbeben oder Seismologie	403
11. Ursachen von Erdbeben	416
V. Allgemeine Abschnitte der historischen Geologie oder Geogenie	422
1. Grundsätze	422
2. Veränderungen der organischen Welt	431
3. Veränderungen der Erdoberfläche	446
4. Zusammenstellung der geognostischen Gruppen und Systeme	448
5. Allgemeine Fragen	451
A. Urzustände der Erde	451
B. Physikalische Verhältnisse in der paläozoi- schen Zeit	452
C. Verbreitung der mesozoischen Geschöpfe	458
D. Klimatische Zustände der Tertiärzeit	460
E. Vergleich der Braunkohlenzeit und Stein- kohlenzeit	468
F. Fragen über die Diluvialzeit	469
Register	475

Kurzer Litteraturnachweis.

1) Lehrbücher für das Gesamtgebiet der Geologie.

- Credner. Elemente der Geologie. Leipzig. 6. Aufl. 1887.
 Dana. Manual of Geology. Philadelphia u. London. 2. Aufl. 1875.
 Geikie, A. Textbook of Geology. London. 2. Aufl. 1885.
 v. Gümbel. Geolog. v. Bayern. I. T.: Grundz. d. G. Kassel 1885—1887.
 Hann, Hochstetter und Pokorny. Allgemeine Erdkunde. Prag.
 3. Aufl. 1881, neue Ausgabe. 1885.
 v. Hauer. Die Geologie und ihre Anwendung auf die Kenntnis der
 Bodenbeschaffenheit der Oesterreichisch-Ungarischen Monarchie.
 Wien. 2. Aufl. 1877.
 v. Kloeden. Handbuch der physischen Geographie. Berlin 1859
 (seitdem Titularauflagen).
 de Lapparent. Traité de Géologie. Paris. 2. Aufl. 1885.
 v. Leonhard. Grundzüge der Geologie und Geognosie. Leipzig
 und Heidelberg. 4. Aufl., besorgt durch Hörnes 1885/86.
 Lyell. Elements of Geology. London. 6. Aufl. 1865.
 Lyell. The students elements of Geology. London 1871.
 Naumann. Lehrb. d. Geognosie. 3 Bde. Leipzig. 2. Aufl. 1858—1872.
 Pfaff. Grundriss der Geologie. Leipzig 1876.
 Stoppani. Corso di Geologia. Mailand 1871.
 Studer. Lehrbuch der physikalischen Geographie und Geologie.
 2 Bde. Bern, Chur und Leipzig 1844 u. 1847.
 Vilanova y Piera. Manual de geologia aplicada. Madrid 1861.
 Vogt. Lehrbuch der Geologie u. Petrefaktenkunde. 2 Bde. Braun-
 schweig. 4. Aufl. 1879.

2) Speziellere selbständige Werke über geotektonische, geochemische und geomechanische Forschungen, welche sich nicht vorwiegend auf Gletscher, auf Vulkane oder auf Erdbeben beziehen, sowie wichtigste populäre Schriften.

- Baltzer. Der Glärnisch, ein Problem alp. Gebirgsbaues. Zürich 1873.
 Bischof. Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie.
 Bonn. (Beide Auflagen, die letzte 1863—1871, ergänzen ein-
 ander; die zweite verweist oft auf die erste.)
 v. Buch. Ges. Schriften, hrsg. v. Ewald, Roth u. Eck. Berlin 1867 u. ff.
 Cohen, Sammlung von Mikrophotographien zur Veranschaulichung
 der mikroskopischen Struktur. Stuttgart seit 1880.
 Cotta. Geologische Fragen. Leipzig 1858.
 Cotta. Deutschlands Boden. Leipzig. 2. Aufl. 1878.
 Cotta. Geologie der Gegenwart. Leipzig. 4. Aufl. 1874.
 Dana. Corals and Coral Islands. New York 1872.
 Daubrée. Études synthétiques de Géologie expérimentale. Paris 1879.
 Delesse. Lithologie des mers de France et des mers principales
 du globe. Paris 1871.

- Fouqué. Santorin et ses éruptions. Paris 1876 ¹⁾.
 Fouqué & Michel Lévy. Minéralogie micrographique, roches éruptives françaises. Paris 1869.
 v. Gümbel. Das ostbayerische Grenzgebirge. Gotha 1868.
 v. Gümbel. Das Fichtelgebirge. Gotha 1879.
 J. Geikie. The great Ice-Age. London 1877.
 J. Geikie. Prehistoric Europe. London 1881.
 Heer. Die Urwelt der Schweiz. Zürich. 2. Aufl. 1879.
 Heim. Der Mechanismus der Gebirgsbildung. Basel 1878.
 v Hoff. Geschichte der durch Ueberlieferung nachgewiesenen natürlichen Veränderungen der Erdoberfläche. Gotha 1822—1824.
 v. Humboldt. Kosmos. Entwurf einer physischen Weltbeschreibung. Stuttgart 1845—1862.
 Kalkowsky. Elemente der Lithologie. Heidelberg 1886.
 Kennigott. Handwörterbuch der Mineralogie, Geologie und Paläontologie, unter Mitwirkung von A. v. Lasaulx und F. Rolle. Breslau seit 1882.
 Lang. Grundriss der Gesteinskunde. 1878.
 v. Lasaulx. Elemente der Petrographie. 1875.
 Lehmann. Untersuchungen über die Entstehung der altkrystallinischen Schiefergesteine mit besonderer Bezugnahme auf das sächs. Granulitgebirge, Erzgebirge, Fichtelgebirge, bayerisch-böhm. Grenzgebirge. Bonn 1884.
 Lyell. Principles of Geology. London. 11. Aufl. 1872.
 Marcou. Explication d'une seconde édition de la carte géologique de la terre. Zürich 1875.
 Meunier. Les causes actuelles en géologie. Paris 1879.
 Mohr. Geschichte der Erde. Bonn. 2. Aufl. 1875.
 Mojsisovics v. Mojsvar. Die Dolomitriffe Südtirols und Venetiens. Wien 1878.
 Neumayr. Erdgeschichte. Leipzig 1886/87.
 Ochsenius. Beitrag zur Erklärung der Bildung von Steinsalzlagern. Dresden 1876.
 Penck. Die Vergletscherung der deutschen Alpen. Leipzig 1872.
 Pfaff. Allgemeine Geologie als exakte Wissenschaft. Leipzig 1873.
 v. Quenstedt. Klar und Wahr. Tübingen 1872.
 v. Quenstedt. Sonst und Jetzt. Tübingen 1856.
 Ramsay. Physical Geology and Geography of Great Britain. London. 5. Aufl. 1878.
 v. Richthofen. Geogn. Beschreibung der Umgegend von Predazzo, St. Cassian und der Seisser Alpen in Südtirol. Gotha 1860.
 v. Richthofen. China, Ergebnisse eigener Reisen und darauf begründeter Studien. Berlin seit 1877. 4 Bde.
 v. Richthofen. Führer für Forschungsreisende. Berlin 1886.

¹⁾ Da in vorliegendem Verzeichnisse die in besonderen Werken der „Bibliothek geographischer Handbücher“ zu behandelnden oder schon behandelten Abschnitte über Vulkane, über Erdbeben, über Gletscher etc. etc. nicht besonders berücksichtigt sind, gilt das Citat von Fouqués wichtigem Werke hier dem petrographischen Teile.

Kurzer Litteraturnachweis

XV

- Rosenbusch. Mikroskopische Physiographie der petrographisch wichtigen Mineralien und der massigen Gesteine. 2 Bde. Stuttgart. 2. Aufl. seit 1885.
- Roth. Die Gesteinsanalysen. Berlin 1861. Fortgeführt in mehreren in den Abhandlungen der K. Akademie zu Berlin 1869, 1873, 1879, 1884 erschienenen: „Beiträgen zur Petrographie der plutonischen Gesteine.“
- Roth. Allgemeine und chemische Geologie. Berlin seit 1879.
- Suess. Die Entstehung der Alpen. Wien 1875.
- Suess. Das Antlitz der Erde. I. Bd. Prag und Leipzig 1885.
- Studer. Geschichte der phys. Geographie der Schweiz. Bern 1863.
- Volger. Erde und Ewigkeit. Frankfurt 1857.
- Ziegler. Ueber das Verhältniss der Topographie zur Geologie. Zürich 1876.
- Zirkel. Lehrbuch der Petrographie. 2 Bde. Bonn 1866.
- Zirkel. Die mikroskopische Beschaffenheit der Mineralien und Gesteine. Leipzig 1873.
- Zittel. Aus der Urzeit. München 1875.

3) Zeitschriften.

- Abhandlungen: 1) Von der Königl. geol. Landesanstalt und Bergakademie in Berlin herausgeg.: Abh. zur geol. Spezialkarte von Preussen und den Thüring. Staaten. Seit 1872. 2) Von der Schwedischen geol. Landesuntersuchung in Stockholm herausgeg.: Afhandlingar och Uppsatser. Seit 1868. 3) Von der Geol. Landesanstalt in Strassburg herausgeg.: Abh. zur geol. Spezialkarte von Elsass-Lothringen. Seit 1874. 4) Abh. der K. K. Geol. Reichsanstalt in Wien. Seit 1852. 5) Paläontolog. Abh. herausgeg. von Dames u. Kayser. Berlin seit 1882.
- Annales: 1) Des sciences géologiques. Paris seit 1869 regelmässig. 2) De la société géologique du Nord de la France. Lille seit 1872. 3) De la société géologique de Belgique. Lüttich seit 1874. 4) Des Mines. Paris seit 1816.
- Arbeiten der geol. Gesellschaft für Ungarn. Pest seit 1856.
- Archiv für Mineralogie, Geognosie, Bergbau und Hüttenkunde herausgeg. von Karsten, später Karsten und v. Dechen 1829 bis 1855.
- Beiträge: 1) Zur geol. Karte der Schweiz. Bern seit 1862. 2) Zur Paläontologie Oesterreich-Ungarns u. d. Orients. Wien seit 1883.
- Bolletino del R. Comitato geologico d'Italia. Rom seit 1870.
- Bulletin de la société géologique de France. Paris seit 1830.
- Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences. Paris seit 1650.
- Denkschriften: 1) Der K. Bayer. Akademie in München. 2) Der K. K. Akademie der Wissenschaften in Wien.
- Jahrbuch: 1) Neues, für Mineralogie, Geognosie, Geologie und Petrefaktenkunde. Stuttgart, früher Heidelberg, seit 1833 (Fortsetzung des Jahrbuches für Min. etc. und des noch älteren

Leonhardschen Taschenbuches für Min. 1807). 2) Ib. der K. preuss. Geol. Landesanstalt und Bergakademie in Berlin seit 1880. 3) Ib. der K. ungar. Geol. Anstalt in Pest seit 1871. 4) Ib. der K. K. Geol. Reichsanstalt in Wien seit 1850.

Journal: 1) American J. of science (Silliman's Journal). New Haven seit 1842. 2) The quarterly J. of the geological society of London. Seit 1845.

Magazine, The geological. London seit 1864.

Mémoires: 1) De la société géologique de France. Paris seit 1833.

2) Du Comité géologique de Russie. St. Petersburg seit 1884.

Memoirs: 1) Of the Geological Survey of India. Kalkutta seit 1859.

2) Of the Palaeontographical Society. London seit 1848. 3) Of the Geological Survey of Great Britain and of the Museum of economic (practical) Geology. London seit 1846.

Mitteilungen — mineralog. und petrographische — herausgeg. von G. Tschermak seit 1876.

Notizblatt des Vereins für Erdkunde und verw. Wissenschaften zu Darmstadt. Seit 1854 bez. 1858.

Palaeontographica. Beiträge zur Naturgeschichte der Vorwelt. Stuttgart, früher Kassel, seit 1851.

Proceedings of the royal physical Society. Edinburg seit 1876.

Records of the geological Survey of India. Kalkutta seit 1870.

Reports der geologischen Behörden und Vereine der Vereinigten Staaten von Nordamerika, sowohl von den Einzelstaaten, als von dem Sitze der Bundesregierung ausgehend: besonders für Arkansas 1857—1860, Kalifornien 1864—1870, Indiana seit 1868, Iowa 1858—1870, Kentucky 1856—1870, Maine seit 1860, Michigan 1861, Missouri 1855, Minnesota seit 1872, New Jersey seit 1855, New York seit 1860, Pennsylvanien 1856—1858, dann seit 1874 mit beharrlicher Thätigkeit. Westliche Territorien seit 1867. 40. Grad Nördl. Br. 1876—1880. Westlich vom 100. Meridian 1875—1881. — Für das gesamte Unionsgebiet begannen die Untersuchungen und Veröffentlichungen unter Powell's Leitung 1879.

Reports gab die geologische Landesanstalt von Kanada seit 1844 wiederholt heraus.

Transactions: 1) Of the Manchester geolog. society. Seit 1811.

2) Of the royal geol. soc. of Cornwall 1818—1843. 3) Of the geol. Soc. London 1811—1845.

Verhandlungen: 1) Der K. K. geolog. Landesanstalt zu Wien seit 1867. 2) Der K. russ. miner. Ges. zu St. Petersburg seit 1847(?). 3) Der geolog. Vereinigung in Stockholm seit 1871.

Zeitschrift: 1) Der deutschen geolog. Gesellschaft. Berlin seit 1849. 2) Für das Berg-, Hütten- und Salinenwesen in dem preussischen Staate seit 1854. 3) Oesterreichische, für das Berg- und Hüttenwesen. Wien seit 1852. 4) Für Krystallographie und Mineralogie, herausgeg. von Groth. Leipzig seit 1874.

Zeitung, Berg- und Hüttenmännische. Leipzig, früher Nordhausen und L., auch Quedlinburg, seit 1842.



Tabellarische Uebersicht der Zeiträume der Erdgeschichte

von den jüngsten bis zu den ältesten Massen.

IV. Kaenozoische Aera oder Zeit der neuen Geschöpfe. Hauptsächliche Entwicklungszeit der Säugetiere und der Dikotyledonen.

IV. 2. Quartäre Periode, d. h. Periode der jetzigen Geschlechter
der Säugetiere.

IV. 2. b. Alluviale Epoche, d. h. Epoche der heutigen Verbreitung
der Geschöpfe.

In Deutschland wesentlich durch Süßwasserabsätze vertreten.

IV. 2. a. Diluviale Epoche, d. h. Epoche der Lebensdauer wichtiger,
nun ausgestorbener Säugetierarten, z. B. des Mammuts und des
wollhaarigen Nashorns der kalten Zone; zugleich Epoche der
Vergletscherung grosser Teile Europas etc.

In Deutschland Süßwasserabsätze, Moränengebilde; marine
Ablagerungen (Cyprinenthone, Yoldienschichten etc.) selten.

IV. 1. Tertiäre Periode, d. h. Periode der Entfaltung des Säugetierstammes.

IV. 1. d. Pliocäne Epoche, d. h. Epoche der Ausprägung der Gat-
tungsmerkmale von Rindern, Pferden, Elefanten etc., sowie
Epoche erheblicher Gebirgsfaltung im Alpengebiet etc. — (Haupt-
blütezeit des Hirschgeschlechtes, der Hipparionen und Antilopen.)

In Deutschland durch vereinzelte Reste von Süßwassergebilden
mit Spuren ausgestorbener Säugetiergeschlechter vertreten.

IV. 1. c. Miocäne Epoche, d. h. Epoche der Ausprägung der Gat-
tungsmerkmale von Hirschen, Antilopen, Schweinen, Nashörnern,
Tapiren etc. (Hauptblütezeit der Mastodonten, Dinotherien,
Anchitherien etc.)

In Deutschland durch die zum grossen Teil marine Molasse
des Alpenvorlandes, durch Brackwassergebilde des Mainzer
Beckens, durch marine Glimmerthone etc. Norddeutschlands,
ferner durch Braunkohlenbildungen vieler Gegenden (Mark,
Schlesien, Niederrhein, Hessen etc.) und einige Süßwasserkalke
vertreten.

v. Fritsch, Geologie.

XVIII Tabellar. Uebersicht der Zeiträume der Erdgeschichte.

IV. 1. b. Oligocäne Epoche, d. h. Epoche der Ausprägung der Familienmerkmale bei den Wiederkäufern, den schweineartigen Tieren, den pferdeähnlichen, den hundeartigen etc. Blütezeit der Anthracotherien, Palaeotherien etc. Nummuliten zum Teil noch zahlreich. Palmen in Mitteldeutschland heimisch.

In Deutschland sehr verbreitet: Hierher die Meeresschichten: Septarienthon etc. in Preussen, Pommern, der Mark, im Vorlande des Harzes, in Hannover zum Teil und Westfalen, sowie ein erheblicher Teil des damit verbundenen Braunkohlengebirges. Ferner Meeresabsätze (Septarienthon oder Rupelthon, Meeresand etc.) in Hessen, im Mainzer Becken etc., sowie auch Brackwasserabsätze und Braunkohlengesteine dort und in benachbarten Landstrichen. — Brackwassermolasse des Alpenvorlandes, bei Miesbach etc., mit Steinkohlenflötzen; auch der „Flysch“ zum Teil.

IV. 1. a. Eocäne Epoche, d. h. Epoche des Ueberwiegens fünffingeriger und fünfzehiger Huftiere, zugleich Epoche der grössten Massenentwicklung und mannigfaltigsten Artgestaltung bei Nummuliten und Orbitoiden.

Marine Stockletten, Nummulitenkalke und Eisenerze der bayerischen Alpen galten lange als die einzigen eocänen Gebilde Deutschlands. Neuerdings werden mehrere Ablagerungen im Elsass und ein Teil der Massen des samländischen Bernsteingebirges eocän genannt, auch die Möglichkeit betont, dass unter dem norddeutschen Diluvium Ausläufer des dänischen Eocän versteckt seien.

III. Mesozoische Aera oder Zeit der mittleren Geschöpfe. Hauptsächlichste Entwicklungszeit der Reptilien, der Ammoniten, der Belemniten und Zeit der Ausbreitung der heutigen Familien der Gymnospermen. — Säugtiere und Vögel, sowie Dicotyledonen scheinen während dieser Aera entstanden zu sein.

III. 3. Kretaceische Periode, d. h. Periode der Massenverbreitung und Entfaltung der Knochenfische (Teleosteen), der Ausbildung von herzförmigen Seeigeln (Spatangoiden) und der fleischfressenden Meeresschnecken. Ausartung (inadaptive Mutation) bei vielen Ammoniten und Belemniten. Blütezeit der Rudisten (Hippurites, Caprotina etc.), der Inoceramen und der Austern (Ostrea, Exogyra etc.), zweite Blütezeit der Nautilen.

III. 3. b. Jüngere Epoche der Kreidezeit = Epoche der Massenverbreitung der Dicotyledonen, die in älteren Schichten ganz oder nahezu fehlen, zugleich Epoche der jüngsten bekannten Ammoniten und Belemniten¹⁾. Man unterscheidet verschiedene Stufen, deren jüngste, die „dänische“, auf der „senonen“, diese auf der (nicht allseitig als selbständig anerkannten) „santonen“

¹⁾ „Tertiäre Belemniten“ sollen als Graphularien erkannt sein.

Tabellar. Uebersicht der Zeiträume der Erdgeschichte. XIX

ruht. Unter dieser folgt die „Emscher“ Stufe, dann die „turone“, dann die „cenomane“.

In Norddeutschland sind Kreide, Kreidemergel, „Pläner“, „Quadersandstein“ und Grünsand (Tourtia) die wichtigsten oberkretaceischen Gesteine, in den Alpen die Seewenkalksteine und -Mergel, die Hippuritenkalke und die sandigen, grauen Gosau-mergel, der Flysch zum Teil.

Die oberkretaceischen Gebirgsglieder lagern nur am Teutoburger Walde, am Deister etc. und zum Teil am Nordrand des Harzes bis über Braunschweig hin, sowie in den bayerischen Alpen innerhalb Deutschlands auf unterkretaceischen. Die Aachener, westfälische, sächsische, schlesische, pommersche, Mecklenburger und Rügener obere Kreide wie die der Umgebung des Harzes zum Teil und die Regensburger sind übergreifend auf älteres Gebirge abgesetzt.

- III. 3. a. Aeltere Epoche der Kreidezeit = Epoche der hauptsächlich Entfaltung iguanodontenartiger Dinosaurier und der mannigfaltigsten Ausgestaltung von Belemniten, sowie Blütezeit patellinenartiger Foraminiferen, Hoplitiden- und Acanthoceras-artiger Ammoniten. Man unterscheidet (von oben abgezählt) albische, aptische, urgonische, neocome und valanginische Stufe — auch wohl nur zwei Stufen, deren obere dann nach dem englischen Töpferthon „Gault“ oder „Galt“, die untere „Neocom“ oder „Hils“ in mariner Facies, in litoral-limnischer dagegen „Wealden“ genannt wird.

In Norddeutschland (also am Teutoburger Walde, Deister, Süntel, Hils, grossen Fallstein etc. sowie bei Quedlinburg) sind Sandsteine, Mergelschiefer, plastische Thone und Mergel sowie die harten „Flammenmergel“ die wichtigsten Gesteine von grosser Verbreitung, die Steinkohlen des Wealden geben zu ansehnlichem Bergbau Anlass.

In den Alpen kommen „Schrattenkalk“, „Flysch“ und „Wiener Sandstein“, bezw. „Rossfelder Schichten“ in Betracht.

- III. 2. Jurassische Periode, d. h. Periode der hauptsächlich Entfaltung von delphinförmigen Reptilien (Ichthyosaurien), der fledermausartigen Saurier (Pterodactylen), mancher Gaviale und Schildkröten, anscheinend auch der grössten Massenverbreitung von Ammoniten und Belemniten. Exocyclische Seeigel in der Zunahme begriffen.

- III. 2. c. Epoche des Malm (des oberen oder weissen Jura), d. h. Epoche der Massenverbreitung und des Formenreichtums der Ammonitengruppen Peltoceras, Perisphinctes, Phylloceras und Oppelia, sowie des Aufblühens der Schnecken: Pteroceras und Nerinea.

In Deutschland vorherrschend Kalksteine mit Kieselkalken (Schwamm- oder Korallenbildungen). Dolomiten und Mergeln; meist hellfarbig. In den Mündern Mergeln Nordwestdeutschlands auch Gyps. Technisch besonders wichtig der lithographische Kalkschiefer (Altmühlthal bei Solnhofen etc., Nusplingen in Württemberg u. a. O.), der viele sehr interessante Versteinerungen

XX Tabellar. Uebersicht der Zeiträume der Erdgeschichte.

geliefert hat (Archäopteryx, — Pterodactylus und Ramphorhynchus, Compsognathus, — viele Fische, — Krebse, Insekten, — Medusen, — Pflanzen).

Der englische obere Malm (Purbeck) lieferte wichtige Säugetierreste mit Beuteltiermerkmalen.

Bayerische Alpen. Schwäbisch-fränkisches Albgebiet. — Isolierte Reste an der Elbe. Schlesien und Posen. — In Nordwestdeutschland besonders zwischen Magdeburg, Harzburg und Ibbenbüren; in Pommern (Cammin).

- III. 2. b. Epoche des Dogger (des mittleren oder braunen Jura), d. h. Epoche der hauptsächlichlichen Entfaltung von Ammoniten aus den Geschlechtern *Cosmoceras*, *Parkinsonia*, *Stephanoceras*, auch *Harpoceras*, und von mehreren Abteilungen der Belemniten.

In Deutschland spielen Kalksteine besonders im Rheingebiet und in Lothringen eine Rolle; Sandsteine namentlich in Franken. Mehr oder minder plastische Mergelthone und Mergel mit Brauneisenstein — zum Teil ursprünglichem Spateisenstein — sind überall verbreitet. Früherer, nur zum Teil jetziger Bergbau. Der englische „Stonesfieldschiefer“ ist durch Säugetierreste berühmt.

Verbreitung in Deutschland meist wenig von der des deutschen Malm abweichend, aber das Auftreten im Rheinthale und in Lothringen (bei Metz) geht weit über die jetzigen Grenzen des Malm hinaus; auch im Nordosten Deutschlands über dieselben reichend: Popilány an der Windau in Kurland, mecklenburgische Opalinusschichten.

- III. 2. a. Epoche der Lias (des unteren oder schwarzen Jura), d. h. Epoche des Aufblühens der Ammonitengattungen *Harpoceras*, *Lytoceras* und *Phylloceras*, der Massenentfaltung von *Amaltheus*, *Aegoceras*, *Schlotheimia*, *Psiloceras*, *Arietites* und der clavaten und paxillosen Belemniten.

In Deutschland sind schwärzliche bis dunkelgraue Mergelschiefer und Mergelthone, mit Sandsteinen an der Basis, mehrfach mit Kalksteinbänken verbunden, besonders entwickelt; Eisensteinflötze und Eisenspatknollen oder Brauneisensteinknollen fehlen nicht. In den Alpen zeigen sich rote, weisse und gefleckte Schichten kalkiger oder mergeliger Art.

Die heutige Verbreitung greift über die jetzige Ausdehnung des Doggers und Malms überall in Deutschland hinaus; am bedeutendsten durch die Reste ausgedehnter Liasablagerungen, welche in Thüringen bei Eisenach und zwischen Gotha und Arnstadt, am Vogelsberg bei Lauterbach, im Wesergebiet, in Kassel, bei Eichenberg und Göttingen etc. auftreten.

- III. 1. Triadische¹⁾ Periode, d. h. Periode der allmählichen Verdrängung der labyrinthodonten oder stegocephalen Amphibien

¹⁾ Es ist falsch, aus dem griechischen Worte *Trias* ein Adjectivum „triasisch“ oder gar „triassisch“ zu bilden, überdies haben sicherlich die Gesetze des Wohltautes bei der Wandlung *τρίαις*, *τρίαδος* . . . mitgewirkt.

Tabellar. Uebersicht der Zeiträume der Erdgeschichte. XXI

durch Reptilien und der sigillarienartigen Gewächse durch Coniferen und Zamieen. Die Trias enthält die ältesten bekannten Säugetierreste (Mikrolestes Myr aus dem rhätischen Knochenlager Schwabens könnte freilich dem Fische Sargodon tomicus Plien. zufallen). Während der Ablagerungszeit der Trias unterlagen die Orthoceren im Kampfe um das Dasein den Ammoniten-gruppen und die Rugosen oder Tetrakorallen den Hexakorallen.

Die Trias innerhalb Deutschlands ist kein Absatz eines offenen Ozeans, obgleich wiederholt während der Periode die Verbindung der Gewässer unserer Landschaften mit dem freien Weltmeere so erweitert wurde, dass marine Geschöpfe von ausserhalb einzuwandern vermochten.

Bezüglich der Gliederung der Trias legen wir, der geschichtlichen Entwicklung der wissenschaftlichen Geologie entsprechend, die mitteldeutschen Verhältnisse zu Grunde.

- III. 1. 3. Epoche des Keupers oder Epoche der Entfaltung verschiedener Dinosaurierreihen und der letzten Massenverbreitung von Labyrinthodonten. Die Ammonitenfamilien der Arcestiden, Tropitiden, der Cladiscitiden und die Pinakoceren mit zerteilten Loben, sowie die stab-, lituiten- und schneckenförmigen Ceratitiden breiteten sich hauptsächlich in der Keuperepoche aus, scheinen aber dem ausseralpinen Deutschland fremd zu sein.

Man unterscheidet mehrere Stufen, am häufigsten in Deutschland 3: die rhätische, nördl. der Alpen mit Resten küstenbewohnender Weichtiere und mit Landpflanzen, die des mittleren (bei uns namentlich in seiner unteren Hälfte oft gypsführenden) Keupers und die des unteren oder Kohlenkeupers (nach der früher bisweilen bergmännisch gewonnenen Lettenkohle benannt).

Im ebeneren Deutschland herrschen besonders im mittleren Keuper die roten und bunten Mergel, nach welchen das Gebirgs-glied seinen (fränkischen) Namen hat. Sandsteine, Dolomite und mehr oder weniger dolomitische Steinmergel kommen noch häufig, doch meist in schwachen Bänken vor. — In den Alpen drängen sich die Lagen der letzteren zuweilen zum mächtigen Hauptdolomit zusammen, die Sandsteine treten zurück, mit ihnen auch die bunten Farben der Mergel, während weisse, rote und graue Kalksteine in grosser Fülle erscheinen.

Im ausseralpinen Deutschland besitzt der Keuper seine grösste Verbreitung zwischen dem schwäbisch-fränkischen Jurazuge, dem Schwarzwald, der Rhein-Neckargegend zwischen Karlsruhe und Heidelberg, den Vorbergen des Odenwaldes und Spessarts, der Rhön und des Thüringer Waldes. In schmalerm Zuge folgt er der Nord- und Ostseite des fränkischen Jura in Oberfranken und der Oberpfalz. Weiterhin ist er im Thüringer Hügellande, im Leinethal, in der Warburger Gegend und in den Vorlanden des Teutoburger Waldes, des Süntel, des Hils etc. und im Norden des Harzes verbreitet. Kleine Parteen treten auch in anderen Teilen Deutschlands bis nach Oberschlesien hin auf.

- III. 1. 2. Epoche des Muschelkalkes, d. h. die Epoche der Aus-

XXII Tabellar. Uebersicht der Zeiträume der Erdgeschichte.

breitung langhalsiger, schwimmender Reptilien (Makrotrachelen) und Blütezeit der Ammonitengattungen *Ceratites*, *Ptychites* etc., der Crinoidengattung *Encrinus*, Epoche der ersten Massenausbreitung des noch lebenden Seeigelgeschlechtes *Cidaris*.

In Deutschland sind drei Stufen entwickelt, deren obere einen mehrfachen Wechsel von Kalksteinen und Letten zu zeigen pflegt; in der mittleren kommen oft Gyps und Anhydrit, auch Steinsalz innerhalb dolomitischer, versteinungsarmer Lagen vor. Die untere oder Wellenkalkstufe ist mit Ausnahme ihrer untersten Teile meist arm an Thonzwischenlagen und Letten zwischen den Kalksteinen. In den Saar- und Moselgegenden, überhaupt in manchen westdeutschen Landschaften ersetzen Sandsteine grössere oder kleinere Teile der Kalksteinmassen des mittleren und nördlichen Deutschlands. Wichtig sind die oberschlesischen Galmei- und Bleierzvorkommnisse im Muschelkalk, weniger die von Wiesloch etc. im Badischen.

In den deutschen Alpen ist der Muschelkalk wenig hervortretend, er bildet in Deutschland meistens bergige Landschaften, deren Hauptverbreitung in Baden, Württemberg, im bayerischen Unterfranken und Oberfranken, im Maingebiet, im thüringisch-hessischen Berglande, im Lippeschen, im Landstriche zwischen dem Teutoburger Walde, dem Nordrande des Harzes und der Magdeburger Gegend liegt.

III. 1. 1. Epoche des bunten Sandsteins,¹⁾ d. h. Epoche der Einwanderungen von triadischen Meeresbewohnern in die von einigen Labyrinthodonten, Estherien etc. bewohnt gebliebenen Gebiete Mitteleuropas.

In Deutschland sind drei Stufen zu unterscheiden, deren jüngste, der Röt, allein eine grössere Anzahl weitverbreiteter Versteinerungen dargeboten hat, während die mittlere und untere wenige Fossilien zu enthalten pflegen. Im mittleren Deutschland herrschen in der unteren Stufe Schieferletten und Kalksteine (Rogensteine) oder feinkörnige Sandsteine, in der mittleren Sandsteine und Thone, in der oberen Dolomite, Mergel, Gyps etc.

Im deutschen Alpengebiet und seinen nächsten Umgebungen anscheinend durch die Werfener Schichten und durch deren (Halleiner) Salzthone vertreten. Sehr wichtig ist der bunte Sandstein in den Vogesen, an der Hardt, in der Eifel (Bleierze von Comern), am Schwarzwald, Odenwald, Spessart, beim Vogelsgebirge und in der Rhön, im hessischen Berglande, am Teutoburger Walde, in den Umgebungen des Harzes und des Thüringer Waldes.

¹⁾ Eine befriedigende kurze Definition der Buntsandsteinepoche und der zunächst älteren Zeiträume wird erst dann gegeben werden können, wenn noch klarer als bisher das Altersverhältnis der mitteleuropäischen Gebilde mit gleich alten Absätzen der Weltmeere verglichen werden kann.

Tabellar. Uebersicht der Zeiträume der Erdgeschichte. XXIII

II. Paläozoische Aera oder Zeit der alten Geschöpfe.
Entwickelungszeit der orthocerasartigen Cephalopoden,
der ältesten Ammonitenformen, der trilobitenartigen
Krebse, der rugosen Korallen, der Sigillarien und Lepido-
dendren.

- II. 4. Carbonische Periode oder Periode der Massenausbreitung und Entfaltung der Amphibien (Labyrinthodonten oder Stegocephalen) und des grössten Formenreichtums in der Fischgruppe der Palaeonisciden, sowie in der Brachiopodenfamilie der Productiden. Auffällig ist die geringe Beteiligung von Foraminiferen an der Bildung älterer Gesteine gegenüber des Formenreichtums carbonischer Wurzelfüusser. — Rugose Korallen, tessellate Crinoiden, Blastoideen, Perischoechiniden, echte Spiriferen und Trilobiten sind in jüngeren als carbonischen Ablagerungen nicht als Leitfossilien bekannt.
- II. 4. d. Zechsteinepoche, d. h. Epoche einer Einwanderung verkümmelter Nachkommen der karbonischen Meeresmollusken etc. nach Mitteleuropa und einer späteren Abtrennung der deutschen Landschaften von der freien Verbindung mit dem Weltmeere; in den Binnengewässern entstanden durch Verdunstung die grossen Salz-, Anhydrit- und Gypslager. Ausser diesen ist technisch wichtig der „Kupferschiefer“, örtlich auch Eisenerze. Gesteine in Deutschland meist Kalke, Mergelschiefer, Dolomite und Letten. Verbreitung zwischen dem östlichen Schwarzwald bei Bretten etc., England und Livland; meist nur schmale Landstreifen an der Oberfläche in der Nähe älterer Gebirge, da die Abteilung oft unter 100 m Mächtigkeit zurückbleibt.
- II. 4. c. Epoche des Rotliegenden, d. h. Epoche der Massenverbreitung eigentlicher Nadelhölzer (der Walchien) in Europa und bedeutender Vulkanausbrüche in Deutschland, zugleich auch beträchtlicher Landzerstörungen durch Brandung, — und vielfacher Faltung der älteren Gebirge. Häufigste Gesteine in Deutschland Sandsteine, Konglomerate und Schieferthone, ferner Thonsteine und andere Tuffe, Porphyre, Porphyrite etc. Technisch wichtig Eisensteine und vereinzelte Kohlenflötze. Verbreitung im Schwarzwald, am Odenwald, Saar-Nahegebiet, Wetterau, Thüringer Wald, Ilfelder und Meisdorfer Gegend am Harz, sächsisches Mittelgebirge und nördliches Vorland desselben, Niederschlesien bei Lauban, bei Waldenburg etc.
- II. 4. b. Epoche des Steinkohlenflötzgebirges oder des produktiven Kohlengebirges, d. h. Epoche des Erblühens der Labyrinthodonten, der Stomatopoden und (?) Dekapoden unter den Krebsen, auch Epoche bedeutender Vulkanausbrüche in Mitteleuropa, erheblicher Landzerstörung durch Regen, Binnengewässer und Brandung, grosser Gebirgsfaltungen durch Seitendruck. Häufigste Gesteine in Deutschland Schieferthone, Sandsteine.

XXIV Tabellar. Uebersicht der Zeiträume der Erdgeschichte.

Konglomerate, ferner Thonsteine und andere Tuffe, Porphyre, Porphyrite etc.

Technisch besonders wichtig: Steinkohlenflötze und Eisensteine (Blackband etc.). Zu unterscheiden sind wenigstens drei Stufen: Die oberste, die Ottweiler, bezw. Radowenzer, der Zeit massenhafter Verbreitung der auch im Rotliegenden wichtigen Cordaiten durch Europa entsprechend, ist im Saarbrückenschen, (?) im westfälischen Ruhrgebiet, bei Ibbenbüren, am Harz bei Ilfeld und gegen Wettin, in Sachsen bei Zwickau etc., auf der Westseite des Waldenburger Kohlenreviers bedeutsam, im Thüringer Walde verbreitet. Die mittlere, Saarbrücker bezw. Schatzlarer Stufe entspricht der Zeit der grössten Formenmannigfaltigkeit der Sigillarien, sie enthält bei Saarbrücken, bei Eschweiler und Aachen, im westfälischen Ruhrgebiet, im Waldenburgischen, in Oberschlesien etc. viele bauwürdige Kohlenflötze. — Die untere, Waldenburger oder Ostrauer Stufe entspricht der Zeit massenweiser Verbreitung von Pflanzen aus den Formenreihen der Sphenopteris (*Diplotmema*) *elegans*, des *Lepidodendron Veltheimianum*, des *Archaeocalamites radiatus*. — Steinkohlenflötze dieses Alters sind unter anderen durch die tieferen Flötze Oberschlesiens, die Gruben bei Waldenburg und Altwasser in Niederschlesien und durch gewisse Bergbauten Sachsens (Hainichen-Ebersdorf) bekannt. Noch nicht völlig geklärt ist das Alter mancher vielleicht hierher gehöriger flötzleerer, stark aufgerichteter (Culm-)Schichten Mitteldeutschlands zu dieser Stufe, die im Schwarzwald und in den Vogesen Spuren hinterlassen hat.

- II. 4. a. Epoche des (älteren) Culm, des Bergkalkes oder des in Mitteleuropa flötzleeren ältesten Kohlengebirges, d. h. Epoche der Blüte der Nautilusarten, der Riesenformen von *Productus*, der Trilobitengattung *Phillipsia* etc.

Häufigste Gesteine in Deutschland Grauwacken und Thonschiefer, auch Kalkstein (Bergkalk oder Kohlenkalk), seltener Kieselschiefer, Adinole etc. Technisch wichtig einige Kalksteine als sogenannter Marmor und der Thüringer Dachschiefer. Manche Erzgänge der Aachener Gegend, Westfalens und des Harzes durchsetzen den Culm.

Verbreitung besonders in den genannten Landschaften, im Frankenwald, Voigtland und Fichtelgebirge, sowie in Schlesien.

- II. 3. Devonische Periode, d. h. Periode der grössten Mannigfaltigkeit bei placodermen Fischen, des Beginnes der Ausbreitung von Palaeonisciden und Acanthoden, des grössten Formenreichtums retrosiphonaler Ammonoiden, der grössten Entfaltung des Brachiopodengeschlechtes Spirifer, der beträchtlichsten Ausbreitung von Tentaculiten.

Das Devon nimmt in Deutschland den grossen Raum des rheinischen Schiefergebirges ein, zum Teil unter Mitbeteiligung von Culm; es ist am Harz, in Ostthüringen, dem Voigtlande und am Fichtelgebirge, auch in den Sudeten und nördlich vom

Tabellar. Uebersicht der Zeiträume der Erdgeschichte. XXV

Eulengebirge in Schlesien vorhanden. Die in Deutschland häufigsten Gesteine sind Thonschiefer, Kalksteine (in Dolomite, Roteisensteine, Mangan- und Zinkerze übergehend), seltener milde Mergel. Vulkanische Einlagerungen, namentlich Ströme von Diabas, Diabastuffe (Schalsteine) sind im Unterdevon und im Mitteldevon nicht eben selten. Technisch wichtig ausser den genannten Erzlagern der Nassauer Phosphorit, der rheinische Dachschiefer, verschiedene als Marmor verarbeitete Kalksteine, sowie die auf Gängen auftretenden Erze.

Man unterscheidet besonders drei Epochen, als dem oberen, mittleren und unteren Devon entsprechend, jede mit mehreren Stufen.

- II. 2. Silurische Periode, d. h. Periode des ersten Auftretens von Fischen, der bedeutendsten Massenentfaltung von Orthoceren und Cyrtoceren, von orthisartigen Brachiopoden und von Trilobiten, sowie von Graptolithen.

In Deutschland sind Thonschiefer, in einigen Fällen in Alaun- und Kieselstiefer übergehend, sowie Kalksteine die wichtigsten Gesteine; technisch bedeutsam die Eisensteine, die Griffelschiefer, der aus gewissen Kalksteinen gewonnene Ocker und die Alaunschiefer. Vom östlichen Thüringer und Frankenwald über das Voigtland, das Fichtelgebirge, das mittlere Sachsen nach Schlesien hinein lassen sich silurische, meist versteinungsarme Gebilde verfolgen. Am Harz wird von Kayser und mehreren Fachleuten alles, was früher für silurisch gehalten worden war, als devonisch beschrieben, während andere noch einen Teil der Massen silurisch nennen.

In der norddeutschen Ebene finden sich im Diluvium zahllose Stücke silurischer Kalksteine der Ostseeländer; seltener die mehr mergelig-schieferigen und sandigen Gesteine.

Reicher als das deutsche Silur an Organismen ist das böhmische, während das der Salzburger Alpen nur einzelne Reste zu bieten scheint.

Es sind wenigstens zwei Epochen, eine obersilurische und eine untersilurische unterschieden worden.

- II. 1. Cambrische Periode, d. h. Periode der ältesten bisher bekannten Geschöpfe, unter denen Vertreter des jetzt noch bestehenden Brachiopodengeschlechtes *Lingula*, zahlreiche Trilobitengeschlechter, z. B. *Paradoxides*, *Conocephalus*, *Olenus*, *Agnostus* genannt werden mögen.

In Deutschland sind phyllitische und quarzitisches Grauwacken und Thonschiefer, sowie grauackentartige Sandsteine die wichtigsten Gesteine; die Verbreitung ist am bedeutendsten im östlichen Thüringen, im Voigtlande, am Fichtelgebirge und in der Görlitzer Gegend nachgewiesen.

XXVI Tabellar. Uebersicht der Zeiträume der Erdgeschichte.

I. Archäische Aera oder Zeit der Entstehung vieler Gneisse, Glimmerschiefer, Phyllite und der damit verbundenen Hornblendeschiefer, Diorite, Granite etc., welche Gebilde alle in Europa und Nordamerika versteinierungsfrei zu sein scheinen.

Urgebirgsgesteine sind im Schwarzwalde und in den Vogesen, im Odenwalde, Spessart, im Thüringer Walde, im Fichtelgebirge, dem bayerisch-böhmischen Gebirge, dem Erzgebirge, dem Riesengebirge, dem Eulengebirge, den Sudeten vorhanden, sie zeigen sich am Kyffhäuser. Die Zugehörigkeit des Granites, sowie der kleinen Parteen von Gneiss am Harz zum Urgebirge wird von ausgezeichneten Kennern dieses Gebirges bestritten. Bruchstücke skandinavischer Urgebirgsgesteine sind im Diluvium der nord-deutschen Ebene sehr verbreitet.

Vielleicht kann man für einige Teile Deutschlands von einer Periode der Bildung phyllitischer Gesteine, einer etwas älteren Periode der Glimmerschiefer, und von mehreren Perioden der Gneisse reden.



Tabelle zur Benennung massiger Gesteine nach Zirkel.

Unter Benutzung der Tafel in Credners Elementen der Geologie. 6. Aufl. S. 58. 59.

1. { Das Gestein ist älter als tertiär 3. 4. 5.
2. { " " " tertiären Alters oder jünger 66. 67.
3. { Gleichmässig körnig 6. 7.
4. { Porphyrisch 39. 40.
5. { Glasig 64. 65.
6. { Orthoklas führend 8. 9.
7. { Orthoklasfrei (nur Plagioklasgesteine ohne Nephelin, Leucit etc. bekannt) 19. 20.¹
8. { Quarzhaltig = **Granit**.
9. { Quarzfrei 10. 11.
10. { Nephelinfrei = **Syenit** 12. 13. 14.
11. { Nephelinhaltig = **Nephelinsyenit** 15. 16.
12. { Nur oder fast nur Hornblende haltend = Hornblendesyenit.
13. { Mit starkem Glimmergehalt = Glimmersyenit.
14. { Fast nur Augit enthaltend = Augitsyenit.
15. { Sodalithgehalt bedeutend = Ditroit.
16. { Sodalithgehalt geringer bis fehlend 17. 18.
17. { Glimmergehalt gering = Foyait.
18. { Schwarzer Glimmer sehr merklich = Miascit.
19. { Olivinhaltig 21. 22.
20. { Olivinfrei 23. 24.
21. { Augitreich = **Olivindiabas**.
22. { Augitarm = **Forellenstein**.
23. { Hornblende bez. Magnesiaglimmer bedeutsam 33. 34.
24. { Augitische Mineralien wichtig 25. 26.
25. { Rhombische Augite = **Norit** 27. 28.
26. { Monokline Augite 29. 30.
27. { Hypersthen = Hypersthenit.
28. { Enstatit = Enstatitfels.

XXVIII

Tabelle nach Zirkel.

29. { Diallag = **Gabbro**.
 30. { Normaler Augit = **Diabas** 31. 32.
 31. { Quarzfrei = Normaler Diabas.
 32. { Quarzhaltig = Quarzdiabas.
 33. { Glimmerreich 35. 36.
 34. { Glimmerarm 37. 38.
 35. { Quarzfrei = **Glimmerdiorit**.
 36. { Quarzhaltig = **Quarzglimmerdiorit**.
 37. { Quarzhaltig = **Quarzdiorit**.
 38. { Quarzfrei = **Normaler Diorit**.
 39. { Orthoklasreich 41. 42.
 40. { Arm an Orthoklas oder frei davon (nur Plagioklasgesteine bekannt) 48. 49.
 41. { Quarzhaltig = **Quarzporphyr** oder **Felsitporphyr**.
 42. { Quarzfrei 43. 44.
 43. { Nephelinhaltig = **Liebeneritporphyr**.
 44. { Nephelinfrei = **Quarzfreier Porphyr** 45. 46. 47.
 45. { Hornblende wichtig = **Syenitporphyr**.
 46. { Glimmer wichtig = **Glimmersyenitporphyr** = **Minette**.
 47. { Augit wichtig = **Augitsyenitporphyr**.
 48. { Augitreich 50. 51.
 49. { Arm an Augit oder frei davon 56. 57.
 50. { Olivinhaltig = **Melaphyr**.
 51. { Olivinfrei 52. 53.
 52. { Vorwiegend Plagioklaseinschlüsse = **Diabasporphyr**.† ¹⁾
 53. { Vorwiegend augitische Einschlüsse 54. 55.
 54. { Nur Augite deutlich = **Augitporphyr**.†
 55. { Uralit hervortretend = **Uralitporphyr**.†
 56. { Glimmer bedeutsam 58. 59.
 57. { Glimmer zurücktretend, Hornblendereich 60. 61.
 58. { Quarz fehlt = **Glimmerporphyr**.
 59. { Quarz vorhanden = **Quarzglimmerporphyr**. **Kersantit**.
 60. { Quarz vorhanden = **Quarzhornblendeporphyr**.
 61. { Quarz fehlt 62. 63.
 62. { Vorwiegend Plagioklaseinschlüsse = **Dioritporphyr**.*
 63. { Vorwiegend Hornblendeeinschlüsse = **Hornblendeporphyr**.*
 64. { Quarz- und orthoklashaltig = **Felsitpechstein**.
 65. { Frei von Quarz und Orthoklas = **Glasige Ausbildung verschiedener Plagioklasgesteine**.

¹⁾ Bei der Unterscheidung der mit † und * bezeichneten Gesteine hofft der Verfasser Zirkels Trennungsgründe richtig in der Tabelle wiederzugeben.

Tabelle nach Zirkel.

XXIX

66. } Gleichmässig körnig oder porphyrisch 68. 69.
 67. } Glasig 116. 117.
 68. } Reich an Orthoklas oder Sanidin 70. 71.
 69. } Arm an Sanidin oder Orthoklas bis frei von Kalifeldspat 82. 83.
 70. } Quarzführend 72. 73.
 71. } Quarzfrei 74. 75.
 72. } Körnig, granitähnlich = **Nevadit**.
 73. } Porphyrisch und mehr oder minder halbglassig = **Rhyolith**
 oder **Liparit**.
 74. } Ohne Nephelin = **Trachyt** 76. 77. 78.
 75. } Mit Nephelin oder Leucit 79. 80. 81.
 76. } Hornblendereich = **Hornblendetrachyt**.
 77. } Reich an Biotit = **Biotittrachyt**.
 78. } Reich an Augit = **Augittrachyt**.
 79. } Nephelin und Nosean allein wichtig = **Phonolith**.
 80. } Leucit neben Nephelin, oft auch Nosean und Melanit = **Leucit-**
phonolith.
 81. } Leucit allein wichtig = **Leucittrachyt**.
 82. } Plagioklasgesteine 84. 85.
 83. } Plagioklasfreie oder doch an Plagioklas sehr arme Gesteine
 109. 110. 111.
 84. } Ohne Nephelin oder Leucit 88. 89.
 85. } Mit Nephelin oder Leucit = **Tephrite** 86. 87.
 86. } Nephelin wesentlich = **Nephelintephrit**.
 87. } Leucit wesentlich = **Leucittephrit**.
 88. } Mit augitischen Mineralien 90. 91.
 89. } Mit Hornblende und Biotit 101. 102.
 90. } Augite monoklin 94. 95.
 91. } Augite rhombisch 92. 93.
 92. } Mit Enstatit = **Enstatitandesit**.
 93. } Mit Hypersthen = **Hypersthenandesit**.
 94. } Mit Diallag = **Gabbro**.
 95. } Mit gemeinem Augit 96. 97.
 96. } Ohne Olivin = **Augitandesit**.
 97. } Mit Olivin 98. 99. 100.
 98. } Gefüge grobkörnig bis mittelkörnig = **Dolerit**.
 99. } Gefüge feinkörnig, in Einzelheiten für das unbewaffnete Auge
 undeutlich = **Anamesit**.
 100. } Gefüge dicht bis auf erkennbare Einsprenglinge = **Feldspat-**
basalt.
 101. } Mit Biotit = **Glimmerandesit**.
 102. } Mit Hornblende, ohne erheblichen Glimmergehalt 103. 104.
 103. } Ohne Quarz 105. 106.
 104. } Mit Quarz 107. 108.

XXX

Tabelle nach Zirkel.

- 105. } Grundmasse glasfrei = **Propylit**.
- 106. } Grundmasse glashaltig = **Hornblendeandesit**.
- 107. } Grundmasse glashaltig = **Dacit**.
- 108. } Grundmasse glasfrei = **Quarzpropylit**.
- 109. } Melilith wichtig = **Melilithbasalt**.
- 110. } Nephelin wichtig 112. 113.
- 111. } Leucit wichtig 114. 115.
- 112. } Gefüge körnig = **Nephelindolerit**.
- 113. } Gefüge dicht und porphyrisch = **Nephelinbasalt**.
- 114. } Neben Leucit u. a. auch Sanidin vorhanden = **Sanidin-Leucit-**
gestein z. B. am Vesuv.
- 115. } Leucit allein erheblich = **Leucitbasalt**.
- 116. } Glas schaumig = **Bimsstein** (nach Zusammensetzung und
Vorkommen verschiedenen Gesteinen sich anschliessend).
- 117. } Glas derb 118. 119.
- 118. } Beim Glühen kein oder wenig Wasser gebend 122. 123.
- 119. } Beim Glühen deutlich Wasser liefernd 120. 121.
- 120. } Absonderung perlitisch = **Perlit**.
- 121. } Absonderung massig bis splitterig = **Trachytechstein**.
- 122. } In Säuren leicht löslich 124. 125.
- 123. } In Säuren unlöslich oder schwer löslich = **Obsidian** (nach
Zusammensetzung und Vorkommen teils den Rhyolithen,
teils den Trachyten, teils den Hornblendeandesiten von
Z. angeschlossen).
- 124. } Pulver vom Magneten angezogen, schmilzt zu blasigem Glase
= **Tachylit**.
- 125. } Pulver vom Magneten nicht angezogen, schmilzt zu nicht
blasigem Glase = **Hyalomelan**.



Tabelle zur Benennung massiger Gesteine nach Rosenbusch¹⁾.

1. } Gestein älter als tertiär 3. 4. 5.
2. } Gestein tertiär oder jünger 47. 48.
3. } Gestein körnig 6. 7.
4. } Gestein porphyrisch 29. 30.
5. } Gestein glasig 43. 44.
6. } Feldspäte wesentlich 8. 9.
7. } Feldspäte fehlen oder sind unwesentlich = **Peridotite**²⁾.
8. } Orthoklasgesteine (selten ohne Plagioklas) 10. 11.
9. } Plagioklasgesteine 14. 15.
10. } Nephelinhaltig, mit Augit, Hornblende, Biotit = **Elaeolithsyenit**³⁾.
11. } Nephelinfrei, mit Muscovit, Biotit, Amphibol, Augit 12. 13.
12. } Quarzhaltig = **Granitische Gesteine** 84—93.
13. } Quarzfrei = **Syenitische Gesteine** 94—96.
14. } Plagioklas-Nepheliningesteine mit Augit, Hornblende, Biotit, ohne Olivin = **Teschenit**.
15. } Reine Plagioklasgesteine 16. 17.
16. } Mit Biotit und Hornblende 18. 19.
17. } Mit augitischen Mineralien 20. 21. 22.

¹⁾ Neues Jahrbuch für Mineralogie etc. 1882 besonders nach der Tabelle S. 16. In der neuen Auflage der „Physiographie“ ist die Einteilung in Tiefengesteine, Ganggesteine und Ergussgesteine zu Grunde gelegt, nach Ansicht des Verfassers ein grosser Fortschritt gegen die frühere nach dem geologischen Alter, doch vor der Verbreitung des 2. Teils des 2. Bandes des Werkes nicht hier mitteilbar.

²⁾ Hierher zählt Rosenbusch Pikrit (Paläopikrit), Wehrlit (Eulysit), Olivin-Enstatitfels, Lherzolith, Olivinfels, Dunit, Serpentin etc.: Gesteine, die in der Tabelle nach Zirkel nicht berücksichtigt sind, auf die also auch hier nicht näher eingegangen wird.

³⁾ Mit den Namen bez. Abarten: Foyalt, Miascit, Ditroit, Zirkonsyenit z. T.

18. } Quarzhaltig = **Quarzdiorite** 97—106.
19. } Quarzfrei = **Dioritische Gesteine** 97—106.
20. } Mit gemeinem Augit 23. 24.
21. } Mit Diallag 25. 26.
22. } Mit Enstatit 27. 28.
23. } Olivinfrei = **Diabasgesteine** 107—115.
24. } Olivinhaltig = **Olivindiabas**.
25. } Olivinfrei = **Gabbro** (Saussuritgabbro).
26. } Olivinhaltig = **Olivingabbro** (Forellenstein).
27. } Olivinfrei = **Norit**.
28. } Olivinhaltig = **Olivinnorit**.
29. } Feldspäte wesentlich 31. 32.
30. } Feldspäte fehlen oder sind unwesentlich = **Pikritporphyr**.
31. } Orthoklasgesteine 33. 34.
32. } Plagioklasgesteine 37. 38.
33. } Mit Nephelin = **Elaeolithporphyr** (Liebeneritporphyr, Gieseckitporphyr?).
34. } Reine Orthoklasgesteine mit Muskowit(?), Biotit, Hornblende, Augit 35. 36.
35. } Quarzhaltig = **Quarzporphyre** 116—120.
36. } Quarzfrei = **Quarzfrie Porphyre** (Syenitporphyr, Glimmersyenitporphyr, Augitsyenitporphyr, quarzfrier Porphyr, Glimmerpikrophyr).
37. } Mit Biotit und Amphibol 39. 40.
38. } Mit Augit 41. 42.
39. } Quarzhaltig = **Quarzporphyrite** (Quarzdioritporphyr, Quarzporphyr, Quarzfelsophyr, Quarzvityrophyr).
40. } Quarzfrei = **Porphyrite** (Dioritporphyr [Suldenit, Ortlerit], Felsophyr, Vityrophyr).
41. } Olivinfrei = **Augitporphyrite** (Diabaspophyr [Labradorporphyr z. T., Augitporphyr z. T., Uralitporphyr z. T.], Augitfelsophyr, Augitvityrophyr).
42. } Olivinhaltig = **Melaphyr**.
43. } Mit Muskowit, Biotit, Hornblende 45. 46.
44. } Mit Augit = **Glasiger Diabas** (Sordawalit, Wichtisit).
45. } Quarzföhrend = **Felsitpechstein**.
46. } Quarzfrei = **Dioritpechstein**.
47. } Gestein glasig 49. 50.
48. } Gestein körnig oder porphyrisch 53. 54.
49. } Glas kieselreich = **Saure Gläser** (Trachytpechstein, Perlit, Obsidian, Bimsstein).
50. } Glas kieselarm 51. 52.

Tabelle nach Rosenbusch.

XXXIII

51. { Mit Basalten verbunden = **Basaltgläser** (Hyalomelan, Tachylit).
 52. { Mit Nephelingesteinen verbunden = **Hydrotachylit**.
 53. { Ohne Feldspat oder Felsitoid; olivinreich mit Augit etc.
 = **Limburgit (Magma basalt)**.
 54. { Feldspäte oder Felsitoide vorhanden 55. 56.
 55. { Nur Nephelin, Leucit oder Melilith entwickelt, mit Augit
 verbunden 57. 58. 59.
 56. { Feldspäte vorhanden 64. 65.
 57. { Nephelingesteine 60. 61.
 58. { Leucitgesteine 62. 63.
 59. { Melilithgestein mit Olivin = **Melilithbasalt**.
 60. { Olivinfrei = **Nephelinit**.
 61. { Olivinhaltig = **Nephelinbasalt**.
 62. { Olivinfrei = **Leucitit**.
 63. { Olivinhaltig = **Leucitbasalt**.
 64. { Orthoklasgesteine (Sanidingesteine) mit Biotit, Hornblende,
 Augit 66. 67. 68.
 65. { Plagioklasgesteine 69. 70.
 66. { Nephelin oder Leucit vorhanden = **Phonolithe** (Nephelin-
 phonolith, Leucitphonolith, Leucitophyr).
 67. { Reine Sanidin- bez. Orthoklasgesteine = **Trachyt** (hierzu Soda-
 lithtrachyt, Hauytrachyt, Domit).
 68. { Quarzhaltige Sanidingesteine, Orthoklasgesteine = **Liparite**
 (Nevadit, Liparit, Lithoidit, Sphärolithfels).
 69. { Nephelin- bez. leucithaltige Plagioklasgesteine mit Augit,
 Hornblende, Biotit 71. 72.
 70. { Plagioklasgesteine i. e. S. 73. 74.
 71. { Olivinfrei = **Tephrite** (mit Nephelintephrit [Buchonit], Leucit-
 tephrit).
 72. { Olivinhaltig = **Basanite** (Nephelinbasanit und Leucitbasanit).
 73. { Biotit- und hornblendehaltige Plagioklasgesteine 82. 83.
 74. { Plagioklasgesteine mit augitischen Mineralien 75. 76. 77.
 75. { Mit gemeinem Augit 80. 81.
 76. { Mit Diallag 78. 79.
 77. { Mit Enstatit (ohne Olivin) = **Enstatitandesit**.
 78. { Olivinfrei = **Diallagandesit**.
 79. { Olivinhaltig = **Diallagbasalt**.
 80. { Olivinhaltig = **Basalt** (Anamesit, Dolerit).
 81. { Olivinfrei = **Augitandesite** (Ophit? Augitpropylit? Quarz-
 augitpropylit, Quarzaugitandesit, Augitandesit).

82. { Quarzfrei = **Andesite** (Propylit? Glimmerandesit, Amphibolandesit [Timazit, Isenit], hauynführender Amphibolandesit).
 83. { Quarzhaltig = **Dacite** (Quarzpropylit? Quarzglimmerandesit, Quarzamphibolandesit [Timazit]).

Mehrere von den Hauptgruppen der obigen Aufstellung werden von Rosenbusch weiter geteilt in Gesteinsarten, wie folgt:

Granitische Gesteine.

84. { Glimmer vorhanden 86. 87. 88.
 85. { Glimmer durch andere Mineralien ersetzt 92. 93.
 86. { Nur Muskowit vorhanden = **Haplit** (Aplit bei Rosenbusch und Anderen) oder **Muskowitgranit**¹⁾.
 87. { Heller und dunkler Glimmer vorhanden = **Granit** (selten).
 88. { Dunkler Glimmer allein vorhanden = **Granitit** 89. 90. 91.
 89. { Glimmer allein vorhanden = **echter Granitit**.
 90. { Hornblende hinzutretend = **Hornblendegranitit**.
 91. { Augit hinzutretend = **Augitgranitit**.
 92. { Glimmer durch Hornblende ersetzt = **Amphibolgranit**.
 93. { Glimmer durch Turmalin ersetzt = **Turmalingranit** (Ganggestein).

Syenitische Gesteine.

94. { Neben dem Feldspat Hornblende vorherrschend = **Hornblendesyenit** oder Syenit i. e. S. (mit dichter Abart).
 95. { Neben dem Feldspat Biotit vorherrschend = **Glimmersyenit** (mit Minette).
 96. { Neben dem Feldspat Augit vorherrschend = **Augitsyenit** (mit dichter Abart).

Quarzdiorite²⁾ und dioritische Gesteine.

Normalbestand: Plagioklas + Hornblende, meist auch Biotit und die gewöhnlichen Uebergemengteile. Augitische Mineralien und Quarz sind sehr häufig; Orthoklas als untergeordneter Körper nicht selten.

97. { Hornblende gegen Glimmer zurücktretend 100. 101.
 98. { Hornblende vorwiegend 102. 103. 104.
 99. { Augit stark entwickelt, Glimmer seltener 105. 106.

¹⁾ In der 2. Auflage der mikroskopischen Physiographie nur als „Ganggestein“, nicht als „Tiefengestein“ bezeichnet.

²⁾ Die allmählichen Uebergänge der beiden nach der wesentlichen Beteiligung von Quarz oder dessen Zurücktreten von R. unterschiedenen Gruppen haben diesen veranlasst, nicht nur eine im ganzen gleichförmige Unterteilung vorzunehmen, sondern beide Gruppen in seiner neuen Physiographie ungetrennt zu bearbeiten.

Tabelle nach Rosenbusch.

XXXV

100. { Biotit völlig herrschend = **Quarzglimmerdiorit** bez. **Glimmerdiorit**.
101. { Biotit und Augit (Malakolith) vor Hornblende überwiegend = **Kersantit**¹⁾.
102. { Biotit neben Hornblende und Quarz reichlich = **Tonalit**.
103. { Hornblende nur selten durch Biotit oder Augit vertreten, Titaneisen nicht vorhanden = Quarzdiorit bez. **Diorit** i. e. S.
104. { Neben faseriger Hornblende rötlichbrauner oder grasgrüner Augit, ein chloritartiges Mineral, Titaneisen etc., Glimmer fehlend oder selten = **Quarzepidiorit** bez. **Epidiorit**.
105. { Brauner Biotit und farbloser Augit, auch zuweilen Hypersthen begleiten die braune oder grüne Hornblende + Plag. + Orth. ± Qu. = **Banatit**.
106. { Pyroxene (als Malakolith, Diallag und Hypersthen) sind stark entwickelt = **Quarzaugitdiorit** und **Augitdiorit**.

Diabasgesteine.

Typus: Augit — Plagioklasgemenge, mit Titaneisen oder Magnetit und Apatit.

107. { Plagioklas herrscht, Augit spärlich, Hornblende und Biotit fehlen, Quarz vielleicht secundär = **Leukophyr**.
108. { Plagioklas mässig entwickelt 109. 110.
109. { Augit, Plagioklas + (Ilmenit oder Magnetit) und Apatit gesteinsbildend = **Diabas**.
110. { Nebengemengteile oder stellvertretende Gemengteile erheblich 111. 112.
111. { Nebengemengteil ist Quarz in Dihexaedern = **Quarzdiabas**.
112. { Hornblende ersetzt den Augit z. T., auch findet sich Chlorit = **Proterobas**.
113. { Verschiedene Augitarten ersetzen den gemeinen Augit z. T. 114. 115.
114. { Salit oder Salit und Bronzit sind vorhanden = **Salitdiabas**.
115. { Enstatit, auch Bronzit, sind vorhanden oder z. T. in Bastit übergegangen; das Gestein zuweilen quarzhaltig = **Enstatitdiabas**.

¹⁾ R. scheidet die quarzreicheren und quarzärmeren bis quarzfreien Abarten nicht durch Namen.

Quarzporphyre.

116. { Grundmasse ein körniges Gemenge von Feldspat und Quarz
119. 120.
117. { Grundmasse nicht nachweisbar individualisiert, „mikrofelsi-
tisch“ = **Felsophyr**.
118. { Grundmasse wesentlich eine reine Glasbasis mit oder ohne
Entglasungsprodukte und mikrolithische Ausscheidungen
= **Vitrophyr**.
119. { Feldspatquarzgemenge der Grundmasse regellos: in granu-
litischer Struktur nach Michel Lévy = **Mikrogranit** und
Granitporphyr.
120. { Feldspat und Quarz der Grundmasse durchdringen einander
in pegmatoidischer Struktur nach Michel Lévy = **Grano-
phyr**.
-



Einleitung.

Geologie oder Geognosie¹⁾ heisst die Naturgeschichte der Erde, und besonders die Lehre von der allmählichen Entwicklung und Ausbildung derselben, sowie ihrer organischen Bewohner. Unsere Wissenschaft beobachtet also die Kräfte, welche verändernd auf den Erdball und auf die Organismen wirken, ferner studiert sie die Anordnung und Lagerung, die organischen Reste und die anorganischen Bestandteile der grossen Massen, welche die Erd feste zusammensetzen, sie entnimmt endlich den verwandten Wissenschaften, was diese über allgemeine Verhältnisse unseres Planeten ermittelt haben.

Die Methode der Geologie ist die beobachtende, kombinierende und induktive; die gegenwärtig vor unseren Augen erfolgenden Vorgänge und Naturereignisse geben bei der Forschung den einzigen Anhalt²⁾.

Allen Naturwissenschaften, sowie auch der Geographie,

1) Die Ausdrücke „Geologie“ und „Geognosie“ werden oft als gleichbedeutend gebraucht; wenn man einen Unterschied macht, so bedeutet Geognosie die Naturlehre des Erdkörpers mit besonderer Rücksicht auf die Beschreibung des Schichtenbaues, Geologie die Entwicklungsgeschichte der Erde.

2) Der erste bedeutende Geolog Deutschlands, Georg Christian Föchsel (geb. 1722 in Ilmenau, Arzt in Rudolstadt, gestorben 1773), sagt in seiner in dem zweiten Bande der Akten der Erfurter Akademie 1761 veröffentlichten „Historia terrae et maris ex historia Thuringiae, per montium descriptionem eruta“, einer leider zu wenig bekannt gewordenen, für die damalige Zeit aussergewöhnlich bedeutenden Schrift § 43 a, Seite 82: „Modus vero, quo natura hodierno adhuc tempore agit et corpora producit pro norma assumendus est, alium non novimus.“ Diesen Grundsatz der aktualistischen Schule haben später namentlich Hutton und Playfair, in unserem Jahrhundert Lyell fester begründet. In neuester Zeit, seitdem man klarere Anschauung von dem Zustande anderer Weltkörper gewinnt, eröffnet sich dem Aktualismus die Aussicht, über Urzustände der Erde Aufschluss zu erhalten.

v. Fritsch, Geologie.

muss die Geologie ein grösseres oder kleineres Mass von Vorkenntnissen entnehmen und sich zu eigen machen. Aus diesem Grunde konnte die Geologie erst sich entwickeln, als jene, ihre Hilfswissenschaften, zu einer gewissen Vervollkommenung gelangt waren, sie ist thatsächlich die jüngste unter den Naturwissenschaften; ihr Aufblühen beginnt, von einigen kaum beachteten Vorläufern abgesehen, erst in der zweiten Hälfte des achtzehnten Jahrhunderts, und nur im neunzehnten Jahrhundert hat sie sich vertiefen, ausbreiten und befestigen können.

Das Verhältniss der Geologie zur Geographie¹⁾ wird verschieden aufgefasst, je nachdem der Begriff der „Geographie“ verstanden wird. Es ist am naturgemässesten, unter dem Worte „Geographie“, der historischen Entwicklung dieser schon seit mehr denn zweitausend Jahren gepflegten Wissenschaft entsprechend, die Beschreibung der Erdoberfläche (einschliesslich der Gewässer, sowie der Atmosphäre) unter besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse und Zustände des Menschengeschlechtes zu verstehen. Auch dem Wortlaute des Namens „Geographie“ entspricht diese Auffassung. Hiernach ist auch die physische Geographie — welche die menschlichen Einrichtungen nur nebenbei berücksichtigt — eine beschreibende Wissenschaft, deren Gegenstand der gegenwärtige Zustand der Erde, also das Gewordene ist. Hingegen das Werden, die Entwicklung, die vormaligen Verhältnisse der Erde gehören der Geologie an. — Da die Geologie aus den gegenwärtigen Vorgängen und Ereignissen auf die früheren zurückschliesst, und da die physikalische, bezüglich chemische Erklärung der Phänomene nach der geologischen Methode erfolgt, fällt ihr auch die gesamte Lehre von diesen Vorgängen und Ereignissen zu. Aber sofern diese Erscheinungen für den jetzigen Zustand der

1) Ein eigentümlicher Sprachgebrauch beginnt sich im Deutschen zu verbreiten; man übersetzt nicht „Geologia“ (wohl in der „Geologia Norwegica“ von M. P. Echolt 1657 zuerst angewandtes Wort) oder „Geognosia“ („scientia geognostica“ Füchsel l. c. 209, § 212, am Beginn der Nutzenanwendung) mit „Erdkunde“, sondern „Geographia“. An sich würde dieser Sprachgebrauch unschädlich sein; leider bringt er es aber mit sich, dass eine tadelnswerte geistige Spielerei von Einzelnen getrieben wird, welche zwar eine Reihe geographischer Kenntnisse inne haben, aber nicht die zu geologischen Arbeiten — zu welchen sie als Jünger der „Erdkunde“ sich berufen glauben — nötigen Vorkenntnisse.

Erde bezeichnend sind, werden dieselben auch in der physischen Geographie geschildert, und diese schöpft aus der Geologie deren Erklärung. — Eine gedrängte Zusammenfassung der physischen Geographie gehört als integrierender Teil zu jeder Darstellung der Geologie; anderseits wird aber kein vollständiges Lehrgebäude der physischen Geographie ohne einige Kapitel aus der Geologie aufgestellt werden können.

In den nachfolgenden Blättern sollen einige Grundlehren der Geologie in der Ordnung dargelegt werden, dass zuerst die allgemeinsten Naturverhältnisse des Erdkörpers betrachtet werden (Geophysiographie oder physische Geographie i. e. S.). — Dann wollen wir den Bau der Erd feste aus einzelnen Gebirgsgliedern und aus Reihen von diesen ins Auge fassen — gewissermassen aus der Ferne die Verhältnisse im grossen überblickend — wie ja der Seefahrer den Bau einer Küste nicht selten aus der Ferne erkennen kann (Geotektonik, architektonische Geologie, Lagerungslehre, Stratigraphie). Weiter soll die besondere Beschaffenheit der Gebirgsglieder, bezüglich der im grossen am Aufbau der Erde beteiligten Massen, d. h. der Gesteine oder Felsarten und sollen die chemischen Bedingungen ihrer Bildung studiert werden (Geochemie, chemische Geologie, Petrographie, Lithologie oder Gesteinslehre). Fernerhin wenden wir den Veränderungen der Lagerung der Massen und den dabei wirkenden Kräften unsere Aufmerksamkeit zu (Geomechanik oder physikalische Geologie, Geodynamik z. gr. T.). Schliesslich geben wir einen Ueberblick von dem, was über die früheren Zeiträume der Erdgeschichte nach den während derselben erfolgten Massenbildungen bekannt ist (Geogenie oder historische Geologie).



I. Geophysigraphie.

1. Das Sonnensystem.

Jeder Blick auf den gestirnten Himmel zeigt uns eine unendliche Fülle von Weltkörpern. Mit mehr oder minder Willkür hat man jene Gestirne, die uns immer wieder in gleicher Gruppierung an einer bestimmten Stelle des Himmels erscheinen, zu „Sternbildern“ zusammengefasst. — Die Wissenschaft hat zum grössten Teil auf ganz andere Principien als die zufällige Erscheinung hin die Zusammengehörigkeit mancher Gestirne zu Systemen erkannt.

Nur eines der Sternsysteme: das, welchem unser Wohnsitz, die Erde, angehört, darf in der Naturlehre des Erdkörpers uns näher beschäftigen.

Dieses System nennen wir nach dem Gestirne, welches der Erde und offenbar allen anderen Gliedern desselben Licht und Wärme spendet, das Sonnensystem. Die Sonne ist ein Centralkörper oder Fixstern, welchen eine Anzahl von Planeten umkreisen, von denen mehrere noch Monde oder Trabanten besitzen. Weiterhin rechnen wir zahlreiche Kometen und Meteoriten zum Sonnensystem, dem auch das Zodiakallight angehörig scheint. — Nur von den bis jetzt entdeckten Planeten und von manchen der Kometen haben die Bewegungen sich berechnen lassen, für Meteoritenschwärme, die jährlich in bestimmten Perioden auftreten, lassen sich solche ahnen, so für die Per-

seiden (24. Juli bis 17. August, besonders am 10. August der Laurentius-Schwarm), den Novemberschwarm (12. bis 14. Nov.) etc. — Für die Planeten ist bis jetzt, von der Sonne an gerechnet, folgende Reihenfolge erkannt. 1.¹⁾ Merkur, 2. Venus, 3. Erde (mit einem Monde), 4. Mars (mit 2 Monden), 5. die Asteroiden (Anfangs Mai 1883 wurden deren 233 als bekannt angegeben), 6. Jupiter (mit 4 Monden), 7. Saturn (mit doppeltem Ringe und 8 Monden), 8. Uranus mit 6 Monden und 9. Neptun (mit 2 Monden).

Das gesamte Sonnensystem bewegt sich mit einer Geschwindigkeit von circa 52,7 km pro Sekunde im Weltenraume; gegenwärtig erscheint die Bewegung gegen das Sternbild des Herkules (am nördlichen Himmel zwischen Leier und Krone) gerichtet, die Bahn des Sonnensystems entzieht sich aber noch der Berechnung.

Der grössere Teil der dem Sonnensystem angehörigen Weltkörper, namentlich die Planeten und deren Monde, umkreisen die Sonne im Sinne einer Bewegung von Ost über Nord nach West, oder von West über Süd nach Ost, d. h. in dem Sinne, in welchem wir geschlossene Schrauben zu öffnen oder Uhren zurückzustellen gewohnt sind.

Im gleichen Sinne drehen sich die Monde, bezüglich Ringe um ihren Mittelkörper und die Sonne selbst, die Planeten und die Monde um ihre eigene Achse. Nur einige der Kometen, z. B. der Halleysche (von 1682, 1759, 1835) und der von 1811 haben gegenläufige Bahnen, die im gleichen Sinne gerichtet sind, „wie der Uhrzeiger sich dreht“, und es scheint auch unter den Meteoriten und Meteoritenschwärmen solche rückläufige zu geben.

Da das gesamte Sonnensystem auf seiner Bahn fortschreitet, sind die Bewegungen der Planeten und ihrer Satelliten in Wirklichkeit äusserst komplizierte epicyklische

1) Leverrier hatte für wahrscheinlich erklärt, dass ein Planet „Vulkan“ zwischen dem Merkur und der Sonne sich befinde, 1879 wollen Watson und Swift „inframerkuriale“ Planeten gesehen haben, es sind diesen Beobachtern indes erhebliche Gegengründe gegen die Richtigkeit der Deutung ihrer Wahrnehmungen entgegeng gehalten worden.

Kurven. Indes lassen sich die Planetenbahnen doch nach den (1618 bekannt gewordenen) „Keplerschen Gesetzen“ ausdrücken:

1. Die Planetenbahnen sind als elliptische berechenbar, im einen Brennpunkte der Ellipsen befindet sich der Centralkörper.

2. Die Radii vectores beschreiben in gleichen Zeiten gleiche Räume.

3. Die Quadrate der Umlaufszeiten verhalten sich wie die Cubi der mittleren Entfernung von der Sonne.

Der Durchmesser der Neptunsbahn, welcher ungefähr 10 546 Millionen Kilometer (fast 70 Sonnenfernern oder circa 7245 Sonnendurchmesser) beträgt, ist nur etwa

$\frac{1}{3271}$ oder 0,000 306 von der Entfernung des nächsten Fixsternes, α Centauri (am südlichen Himmel zwischen Kreuz und Altar, bezüglich Triangel).

2. Die Erde als Glied des Sonnensystems.

Die Erde ist im Mittel 151 Millionen Kilometer von der Sonne entfernt und umkreist diese mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 30 Kilometern pro Sekunde.

Wir zählen die Zeit nach den Umdrehungen der Erde um ihre Rotationsachse für die kürzeren Fristen (den Tag zu 24 Stunden, zu je 60 Minuten, zu je 60 Sekunden) und für längere Zeiträume (Jahre) nach den Umläufen um die Sonne. Der bürgerlichen Zeitrechnung liegt das tropische Jahr zu Grunde: die Zeit, in welcher die Erde wieder in dieselbe anscheinende Stellung zur Sonne und zu den anderen Fixsternen zurückkehrt, d. h. gegenwärtig 365 Tage 5 Stunden 48 Minuten 48 Sekunden oder 31 555 708 Sekunden. Die wahre Umlaufszeit der Erde (das siderische Jahr) ist um 20 Minuten 23 Sekunden länger.

Nach Berechnungen von Adams soll jetzt ein Jahr um 0,012 Sekunden länger sein als zu Zeiten Hipparchus (ca. 200 vor Chr.) — oder ein Jahrhundert jetzt um

7½ Minuten länger als vor 2000 Jahren. Die Erdbahn erscheint für die Gegenwart als eine Ellipse, die das Verhältnis zwischen der Entfernung vom Brennpunkte zum Mittelpunkte und der halben grossen Achse wie 1677 zu 100 000 zeigt (oder ungefähr wie 1 : 60). Diese Excentricität der Erdbahn ist in jährlicher Abnahme begriffen, es wird somit die Bahn der Erde mehr und mehr kreisähnlich. In etwa 24 Jahrtausenden soll ein Minimum der Excentricität eintreten, bei welchem das vorher bezeichnete Verhältnis 3:1000 oder $\frac{1}{333}$ sein wird. Später wird die Bahn wieder mehr und mehr an Excentricität gewinnen, nach Laplace und Leverrier beträgt das Maximum 75:1000 oder ca. $\frac{1}{13}$. Ein solches Maximum wird in ca. 276 bis 300 Jahrtausenden erreicht werden, wie es früher vor 200 000 und vor 700 000 Jahren erreicht worden war.

Ist also gegenwärtig am Jahreswechsel, wenn die Erde sich in der Sonnennähe (im Perihel) befindet, dieselbe dem Licht und Wärme spendenden Gestirn etwas über 5 Millionen Kilometer näher als beim Aphel (2. Juli), so wird in 24 Jahrtausenden der Entfernungsunterschied noch nicht 1 Million Kilometer (906 000 km) betragen; beim Maximum in circa 300 000 Jahren aber über 22 Millionen Kilometer.

Auch die Zeiten des Perihels und Aphels verändern sich: in etwa 4800 Jahren fällt das Perihel auf Frühlingsanfang etc.

Weiterhin ist veränderlich der Winkel, um welchen die Erdachse von der Senkrechten auf der Ebene der Erdbahn abweicht, die Schiefe der Ekliptik. Gegenwärtig 23° 27' 55" betragend, nimmt der Winkel jährlich um 0,47 Sekunden ab; ein Minimum von 21° 59" wird in ungefähr 11 Jahrtausenden erreicht sein, dann wird nach Stockwells Rechnung die Schiefe der Ekliptik wieder wachsen und in ungefähr 32 Jahrtausenden ein Maximum von 24° 36' erreichen, worauf wieder eine Abnahme beginnt.

Wiederholt hat man versucht, die Einwirkung solcher veränderlichen Verhältnisse auf das Klima zu berechnen, und es ist allerdings Grund vorhanden, solche Einwirkungen anzunehmen, wiewohl es verfrüht ist, dieselben genau angeben zu wollen.

Bei allen bezüglichen Berechnungen hat man die Lage der Erdrotationsachse im Weltraume und die Masse der Erde für unveränderlich angenommen. Die letztere Annahme ist entschieden irrig, denn fortwährend wächst die Erde durch niederfallende (in ihren Anziehungsbereich gelangende) Meteoriten. In den letzten Jahrzehnten sind durchschnittlich je 3 bis 9 jährliche Meteoritenfälle beobachtet worden, und im ganzen kennt man Fallzeit bezüglich Gesteinsbeschaffenheit von nahezu 1000 dieser Weltkörper¹⁾. Daubrée²⁾ hat, den bewohnten Teil der Erdoberfläche auf 0,016 der gesamten Erdoberfläche veranschlagend, indem er annimmt, dass auch die unbewohnten Gegenden gleichermassen von solchen Ereignissen betroffen werden, 180 Meteoritenfälle als der Zahl 3 entsprechend angeführt, glaubt aber, weil so leicht Meteoriten unbeachtet bleiben, dass die Zahl von 600 bis 700 noch unter der Wirklichkeit zurückbleibe. Wiewohl man nun ein Durchschnittsgewicht von Meteoriten ebensowenig als ein mittleres spezifisches Gewicht von solchen aus den überaus verschiedenen beobachteten Zahlen sicher ermitteln kann, dürfte es gerechtfertigt erscheinen, Werte anzunehmen, die mit Sicherheit hinter dem Mittel zurückbleiben, und daraus den minimalen jährlichen Zuwachs der Erde zu berechnen. Nehmen wir also nur 500 jährliche Meteoritenstürze zu je 20 kg und das niedrigste spezifische Gewicht der „Météorites alumineuses“³⁾: Daubrées = 3,0, so würden wir einen jährlichen Massenzuwachs von 10 000 kg, bezüglich von 3,333 cbm haben. In ungefähr 500 Jahren würde also mindestens die

¹⁾ Daubrée, *Études synthétiques de géologie expérimentale* (II Th.) S. 483. (Paris 1879.)

²⁾ *ibid.* S. 484.

³⁾ l. c. 545. — Aus 700 jährlichen Meteoritenfällen zu je 100 kg beim spezifischen Gewichte 3,5 würde folgen jährlicher Massenzuwachs 70 000 kg oder 20 cbm.

Massenzunahme der Erde der Grösse eines Hauses entsprechen.

Für die geologischen Zeiträume, von welchen wir Grund haben anzunehmen, dass sie nach Millionen von Jahren zählen, wird auch das geringste Mass von Zunahme des Erdballes bedeutungsvoll.

3. Bestand der Erde aus Erdfeste, Meer und Lufthülle.

Alle Massen der Erde, von denen wir Kenntnis haben, zeigen sich streng gesondert zu drei Stoffgruppen, je nach dem bei dem normalen Wärmezustand an der Erdoberfläche vorhandenen Aggregatzustande. Die bei gewöhnlicher Temperatur festen Substanzen sind die specifisch schwereren Körper, welche, anscheinend in hervorragendster Weise am Aufbau der Erde beteiligt, eine Erdfeste oder Lithosphäre bilden. Die bei gewöhnlichem Zustande der Temperatur gasförmigen Substanzen fehlen zwar in der Lithosphäre etc. nicht, finden sich jedoch vermöge ihrer geringen specifischen Schwere fast gar nicht in unabhängiger und zugleich bedeutsamer Entwicklung unter der äussersten Hülle unserer Erde, der Atmosphäre. Diese Lufthülle besteht rings um den Planeten, nimmt nach aussen hin sehr stark an Dichtigkeit ab, ist aber — nach dem Aufleuchten der Sternschnuppen etc. berechnet — eine mindestens 120 km dicke Schale, welche jedoch vielleicht am Aequator über 36 000 km stark ist.

Zwischen die beiden genannten Massen, Erdfeste und Lufthülle (Lithosphäre und Atmosphäre) schaltet sich eine nur partiell entwickelte Decke der Erdfeste ein: das Meer, auch die Wasserbedeckung oder Hydrosphäre genannt. Die Formenumrisse des Meeres hängen wesentlich von der Lithosphäre ab, indem bedeutende Teile der letzteren, in die Atmosphäre hineinragend, Festländer oder Kontinente und Inseln bilden. Man berechnet das Verhältniss der Oberfläche des Meeres zur

Festlandfläche etwa wie 2,5 zu 1¹⁾. Die mittlere Tiefe der drei grösseren Meeresflächen der Erde, des Atlantischen, des Indischen und des Stillen oder Pacifischen Oceanes wird etwa auf 3700 m veranschlagt werden können, während alle Meere im hohen Norden und die mehr eingeschlossenen Meere weit hinter solchem Betrage zurückbleiben. Krümmel schätzt die Masse der Meere auf 3178 000 Kubikmeilen oder etwa 135 Millionen Kubikmeter. Nach den auf Bessels Rechnungen gestützten Angaben über die Grösse der Erde würde die Lithosphäre danach 8020 mal grösseren Raum als die Hydrosphäre einnehmen. Jene Angaben sind auf der Annahme gegründet, dass die Erd feste ein kugelähnliches Rotations-sphäroid sei, dessen Normalgestalt durch die Meeres-spiegelfläche (oder den Meereshorizont) dargestellt werde. Man berechnet dann die Länge der Rotationsachse der Erde (ohne Atmosphäre) zu 12 712 158 m, die der Aequatorialachse zu 12 754 794 m. Die Differenz (etwa $42\frac{2}{3}$ km) bedingt die „Abplattung“, die zu $\frac{1}{299}$ (nach andern $\frac{1}{293}$ oder $\frac{1}{289}$) angegeben ist. Jene Voraussetzungen sind nicht streng richtig: der Meeresspiegel ist, von Anziehungen der Festlandmassen abhängig und auch von anderen Momenten beeinflusst, nicht einem Rotationssphäroide ganz ähnlich; die Messungen, Berechnungen und Berechnungsmethoden erheischen noch Verbesserungen, so dass die Ermittlung der wahren Gestalt der Erde (zunächst der Lithosphäre und Hydrosphäre) noch auf längere Zeit die Geodäten beschäftigen wird. Für die Geologie besonders wichtig ist der jetzt wohl allseitig anerkannte Umstand, dass der Meeresspiegel nicht dem Rotations-sphäroid entspricht, sondern dass je nach der Nähe oder Entfernung von Kontinenten und besonders Gebirgsländern die auf gleichen Breitenkreisen gelegenen Teile des Meeresspiegels vom Erdmittelpunkte, den wir mit dem

1) Krümmel gibt in seiner Abhandlung zur Morphologie der Meere 1879 2,443 : 1, während früher 2,7 : 1 angenommen wurde.

Schwerpunkte des Planeten für identisch halten mögen, verschiedene Entfernung haben. Es werden Höhen-differenzen ¹⁾ von 1000 oder gar von noch mehr Metern für verschiedene Stellen des Meeresspiegels berechnet. — Ob die Atmosphäre eine der festen und flüssigen Masse der Erde genau entsprechende Gestalt, also überall gleiche Höhe habe, oder gewisse dauernde Abweichungen zeige, ist nicht mit den jetzt zu Gebote stehenden Hilfsmitteln bestimmbar. Ebenso wenig lässt sich bis jetzt ermitteln, ob das quantitative Verhältnis zwischen Lithosphäre, Hydrosphäre und Atmosphäre konstant ist oder nicht, d. h. ob dem Meere und der Atmosphäre ebensoviel Wasserstoff, Sauerstoff, Kohlenstoff etc. stets wieder zurückgegeben wird, als durch Oxydation, Hydratisierung, Karbonatbildung etc. fortdauernd entzogen wird.

4. Die Lufthülle oder Atmosphäre.

Die Luft unserer Atmosphäre ist ein Gemenge von Stickstoff und Sauerstoff mit sehr untergeordnetem Gehalte an Wasserdampf, Kohlensäure und Spuren anderer Gase. Stickstoff und Sauerstoff sind nach den Ergebnissen sehr zahlreicher eudiometrischer Untersuchungen fast immer und überall in konstanter relativer Menge gefunden worden, trotzdem keine chemische Verbindung vorliegt. Es enthält nämlich wasserfreie Luft 79 Raumteile Stickstoff gegen 21 Raumteile Sauerstoff oder 77 Gewichtsteile Stickstoff gegen 23 Gewichtsteile Sauerstoff. Der Kohlensäuregehalt der Luft beträgt gewöhnlich nur 3—4 von 10 000 Raumteilen und ist meistens unmittelbar an der Erdoberfläche (wo er von Pflanzen und von einzelnen Mineralsubstanzen absorbiert wird) etwas kleiner als in 1000 bis 2000 m Höhe, in den obersten Partien der Atmosphäre tritt die Kohlensäure wieder zurück (neue

1) Litteraturnachweise etc. über diesen wichtigen Punkt: Stokes im 8. Bd. der Transactions of the Cambridge Phil. Soc. — Thomson & Tait, Treatise on natural philosophy 1867. — Phil. Fischer, Untersuchungen über die Gestalt der Erde, Darmstadt 1868. — Bruns, Die Figur der Erde, k. pr. geod. Inst. Berlin 1878. — Zöppritsch, Referat im geogr. Jahrb. 8. Bd. — Pogg. Ann. Bd. XI, N.F. 1880.

Beob. v. Muntz und Aubin Ct. rd. 1881). Der Wasserdampf ist in ungleichmässigen und wechselnden Mengen vorhanden, je nach dem Dasein oder Fehlen von Ursachen, welche ihn der Atmosphäre zuführen, und je nach den Temperaturverhältnissen, Luftbewegungen etc.

An der Erdoberfläche in der Nähe des Meeresspiegels wiegt ein Kubikmeter Luft ungefähr 1300¹⁾ g, ein Kubikmeter destillierten Wassers würde ja 1000 kg wiegen und gewöhnlich findet man das spezifische Gewicht der Luft zu 0,0013 von dem des Wassers. Die ganze Atmosphäre lastet auf jedem Quadratcentimeter in der Nähe des Meeresspiegels mit einem Gewichte von ungefähr 1033 g, entsprechend einer Wassersäule von 10,33 m oder einer Säule von Quecksilber, die 760 mm hoch ist. (Spec. G. d. Quecksilbers ca. 13,6; d. h. ein Kubikcentimeter Quecksilber wiegt 13,6 g — 76 ccm $\times$ 13,6 = 1033,6 g.) Der Druck der Atmosphäre unterliegt jedoch bedeutenden Veränderungen. Man beobachtet am Meereshorizonte Barometerstände unter 740 mm²⁾ (entsprechend 1006 g pro Quadratcentimeter) und über 770 mm (entsprechend 1047 g pro Quadratcentimeter). 41 g Druckdifferenz pro Quadratcentimeter würden einem niemals erreichten höchsten Betrage von Druck-, Stoss- oder Hubkraft des Sturmes entsprechen, denn unvermittelt können die Extreme des Luftdruckes nicht nebeneinander entstehen. — Doch hat man bei Orkanen, welche pro Sek. 28 m zurücklegen, eine Druckkraft von 9,5 g pro Quadratcentimeter gemessen. Ist an zwei benachbarten Stellen der Luftdruck ungleich, so bewegt sich die Atmosphäre, um das Gleichgewicht wieder herzustellen; indes wird immer nur für verhältnismässig kleine Räume und für kürzere, sehr selten mehrwöchige Zeitläufe die „Windstille“ erreicht. Störungen des Gleichgewichtes erfolgen immer wieder durch Wechsel der

1) Genauer 1293 g für 0° und 760 mm Barometerstand.

2) Die normale Isobare im Januar für das Südpolarmeer ist 735 mm. Bei Stürmen kennt man barometrische Minima von 723 mm am Meer, entsprechend 980 g pro Quadratcentimeter.

Temperatur, des Feuchtigkeitsgrades und Veränderungen der Luftströmungen.

Wird Luft erwärmt, so dehnt sie sich, falls keine Druckveränderung eintritt, derart aus, dass ihr Volumen für jeden Grad Wärmezunahme um $0,003\,665 \left(\frac{1}{273}\right)$ wächst, oder ungefähr für 100 Grad von 1 auf $1\frac{1}{30}$ steigt. Jeder Kubikmeter Luft wird also durch Erwärmung um 1°C . um 3665 ccm grösser, und zugleich die in dem ursprünglichen Raume zurückbleibende Luft um 4,736 g leichter.

Tritt Luft mit Wasser in Berührung, so verdunstet ein Teil des letzteren; die Spannkraft des Wasserdampfes wird frei, und die Luft vergrössert ihr Volumen durch Dampfaufnahme, zugleich auch durch die Veränderung des specifischen Gewichtes. Ein Kubikmeter trockener Luft von 20°C . nimmt, wenn diese sich mit Wasserdampf sättigt, bei gleichbleibendem Barometerstande räumlich um 22,0415 ccm oder dem Gewichte nach um 17,1 g zu, mit Rücksicht auf das specifische Gewicht des Dampfes, welches 0,6 von dem der Luft beträgt.

Luftströmungen oder Winde gleichen etwaige Differenzen in Dichte, Spannung und Temperatur der Atmosphäre aus. Wir können unterscheiden lokale, regionale und tellurische Winde von regelmässiger Art und unregelmässige Winde. Besonders die letzteren steigern sich oft zu Stürmen und Orkanen, bei denen Wirbelbewegungen in starkem Masse auftreten. Als lokale Winde betrachten wir die Berg- und Thalwinde etc., als regionale die Land- und Seewinde, als tellurische die Antipassate, Passate und die regelmässig jahreszeitlich wechselnden Monsune. Bei der Richtung der allgemeinen Winde wie bei dem Fortrücken der Wirbelwinde etc. bestimmt die Erdrotation wesentlich die auftretenden Windrichtungen.

Im allgemeinen haben wir uns vorzustellen, dass diejenigen Veränderungen der Körper, welche wir als Erwärmung oder Erhaltung derselben fühlen, auf Molekularbewegungen beruhen, welche für die meisten Substanzen in der Art erfolgen, dass lebhaftere Bewegungen,

durch welche die Moleküle mehr einander abstossen und gewissermassen auseinanderrücken, als Erwärmung fühlbar sind. Sind die Körper aus gedrängt zusammenliegenden Molekülen gebildet, d. h. in dichterem Zustande vorhanden, so teilt sich die Molekularbewegung schneller mit, als wenn von vornherein den einzelnen Molekülen so zu sagen freier Spielraum zu eigenen Bewegungen gegeben ist, ohne die benachbarten Moleküle zur gleichen Bewegung zu zwingen. So erklären wir, dass jene Wärmeschwingungen, welche von den Gestirnen ausgehen, ihre hauptsächliche Wirkung nicht in der dünnen oberen Atmosphäre äussern, sondern wesentlich in den unteren Lagen der letzteren. Gleichwohl soll nur etwa $\frac{1}{6}$ bis $\frac{1}{4}$ der Bewegung unmittelbar beim Durchgange der Bewegung durch die Atmosphäre sich dieser mitteilen; während die Wärmeschwingungen, welche der Erdoberfläche oder der Meeresfläche mitgeteilt worden sind, die unteren Luftschichten dann von unten her energischer erschüttern. So wird die Luft vornehmlich vom Erdboden und vom Meere aus erwärmt, wenn die Sonne Land oder Wasser bescheint; das Land, bezüglich der Fels erhalten stärkere Insolationswärme als die den Boden deckenden Pflanzen, letztere aber mehr als das Wasser, wegen der geringeren Zusammendrängung der Moleküle des letzteren. Die Insolationswärme des Bodens, bezüglich der Felsen scheint für unter ähnlichem Winkel auffallende Sonnenstrahlen unter allen Verhältnissen ziemlich gleichbleibend zu sein, so dass bei mehrstündiger Einwirkung nahezu senkrechter Strahlen, wenn nicht zu viel verdunstendes Wasser vorhanden, Boden- oder Fels-temperaturen von ungefähr 45 bis 50 ° C., bisweilen bis über 70 ° erreicht zu werden pflegen, mögen wir auf einem Hochgebirgsgipfel oder in der Tiefebene, unter den Tropen oder in mittleren Breiten beobachten. Neben dem heissen Felsen aber wird die dichtere Luft der Tiefe viel mehr als die dünnere der Berge oder Hochflächen erwärmt.

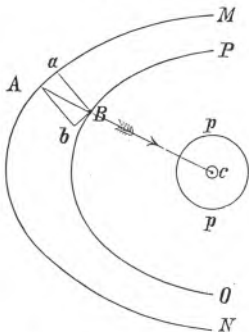
Die Festlandmassen, welche den Tropen und dem subtropischen Gebiete angehören, erwärmen in hervor-

ragender Weise die auf ihnen befindlichen Luftmassen. Durch die Erwärmung ausgedehnt und gewissermassen aufgelockert, steigt die Luft dort aufwärts. In etwas geringerem Masse wirkt ähnlich auflockernd die den tropischen Meeren durch die Sonne gewordene Wärme, welche sich der Luft mitteilt. Noch schwächer ist die sommerliche Lufterwärmung über den Kontinenten in mittleren Breiten. Den aufgelockerten aufsteigenden Luftteilen strömen aus den benachbarten Regionen andere nach, die vorzugsweise nach den tropischen Kontinenten sich richten, wo die Lufterwärmung am stärksten ist. Sehr bedeutende Gebirge, wie die südamerikanischen Anden, schwächen die Anziehung der Luft. Nur im Sommerhalbjahr überwiegt der nach dem südlichen Asien gerichtete Wind über den nach stärker erwärmten Teilen des Indischen Oceans gerichteten. Die zuströmenden Luftteile sind bei ihrer Bewegung von der Rotation der Erde nach dem Beharrungsgesetz derart abhängig, dass die aus höheren Breiten dem Aequator zuströmenden Winde (Polarströmungen) eine von Ost nach West gerichtete, der Erdrotation entgegenlaufende Komponente ihrer Richtung erhalten, während die polwärts strebenden Winde oder Aequatorialströmungen eine Komponente, welche von West nach Ost geht und der Rotationsgeschwindigkeit höherer Breiten voraneilt, bekommen. Die Aequatorialströmungen pflegen sich schneller als die entgegengesetzten zu bewegen. Die wirkliche Windrichtung hängt von der Stärke der Komponenten der Bewegungen ab.

Nun ist wahrscheinlich, der Beweglichkeit der Luft und der Wirkung der Centrifugalkraft entsprechend, in den tropischen Gegenden die obere Grenze der Atmosphäre vom Meeresspiegel entfernter als in den Polarregionen, es findet aber zugleich infolge des stetigen Aufsteigens erwärmter Luft ein höherer Luftdruck in den oberen Teilen der Atmosphäre statt, so dass auch die Höhenisobaren sich vom Meeresspiegel mehr entfernen, wenn wir gegen den Aequator vorschreiten. Die Schwerkraft, welche auf die Luftteilchen einwirkt, wird nicht

senkrecht zur Oberfläche der Lufthülle, bezüglich zu den Höhenisobarenoberflächen wirken, sondern jedem der Luftteilchen eine polwärts gerichtete Bewegung mitteilen:

Fig. 1.



C stelle den Erdmittelpunkt vor, p p die Pole. P B O und M a A N sind Höhenisobaren. — Die Schwerkraft treibt ein in A befindliches Luftteilchen gegen C. Nach B hin sind aber immer dichtere Luftteile im Wege, gegen a nur Partikel, welche unter gleichem Drucke stehen wie A. Die Bewegung zerlegt sich daher nach dem Gesetze des Parallelogrammes der Kräfte in eine centripetale Komponente A b und eine polwärts gerichtete A a.

die äquatoriale Luft fließt polwärts ab, wenigstens aus den oberen Teilen der Atmosphäre. Diese polwärts gerichtete Bewegung (die Antipassate) verringert den Luftdruck im Tropengebiet und erst in den Gegenden des 30. Parallelkreises der Nord- und der Südhalbkugel macht sich der Einfluss der äquatorialen Anschwellung der Atmosphäre durch großen Luftdruck bemerkbar. Dieser Luftdruck aber veranlasst das Abströmen der unteren Luftmassen aus den marinen Gebieten jener Gegenden sowohl gegen den Äquator hin als Passat, wie polwärts. Die von den beiden Gürteln höchsten Luftdruckes gegen höhere Breiten hin wehenden Winde verschmelzen leicht mit den

Antipassaten, während die Passate je von dem darüber wehenden Antipassat durch eine durchschnittlich etwa 1000 m mächtige Zone getrennt sind, in welcher eine besonders trockene Luft meist windstill, selten durch heftigere, oft wirbelnde Bewegungen aufgeregt ist. — Wo diese windstille Lage der Atmosphäre den Meeresspiegel erreicht, finden wir die „Kalmen der Rossbreiten“. — In der Äquatorregion, wo auf dem Meere sich der Passat der nördlichen mit dem der südlichen Halbkugel entgegenstreben, entwickelt sich eine andere Windstillenregion (die der Doldrums).

Monsune heissen jene jahreszeitlich wechselnden Winde, die z. B. im Indischen Ocean herrschen und auch in anderen Gebieten auftreten. Im wesentlichen haben wir meist mit Winden zu thun, die nicht so umfangreiche Areale als die Passate berühren, und die von vielen nur als die über den Aequator hinüberwehenden, dadurch umgelenkten, Passate betrachtet werden. Auch die gegen die Kontinente gerichteten, vom gewöhnlichen Passat der Meere gewissermassen abgezweigten Luftströmungen höherer Breiten werden bisweilen Monsune genannt.

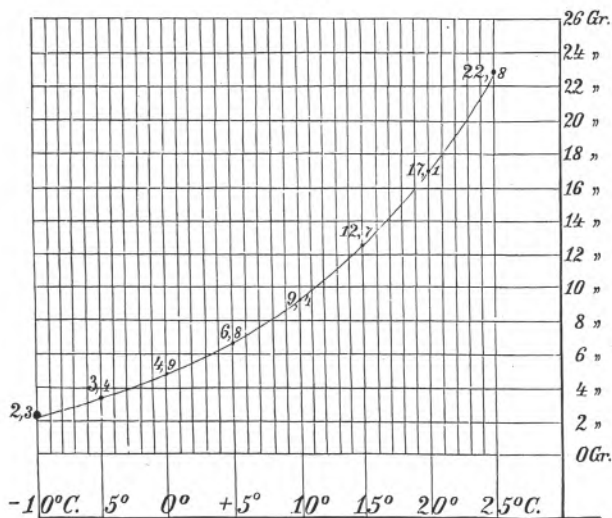
Die unregelmässigen Winde hängen mit dem Entstehen und Vergehen von Luftdruckänderungen zusammen, welche an einzelnen enger begrenzten Gebieten entweder Luftdruckmaxima oder Luftdruckminima hervorbringen, wie es durch Aufsteigen oder Herabsinken grösserer Luftmassen geschehen kann. In beiden Fällen erfolgt die Luftströmung an der Erdoberfläche mit spiraliger Drehung. Um ein Luftminimum (Depression) her strömt die Luft gewaltsam zu und bildet einen Wirbel, innerhalb dessen auf der Nordhalbkugel die Drehung von Ost über Nord nach West und Süd („den Uhrzeiger entgegen“), umgekehrt auf der Südhalbkugel, erfolgt. Die Luftdruckminima selbst rücken gewöhnlich verhältnismässig schnell fort und sind dabei wie Passat und Antipassat von der Erdrotation abhängig. — Von den Luftdruckmaximis strömt die Luft allseitig mit Drehung (von West über Nord nach Ost und Süd auf der Nordhemisphäre) ab, diese sogenannten Anticyklonen blasen meist etwas weniger heftig als die Cyklonen, auch wechseln die Maxima weniger den Ort, als es die Minima thun. — Gewisse regional oder gar nur lokal auftretende, zwar öfters wiederkehrende, aber doch unregelmässige Winde werden mit besonderen Namen belegt; so in der Central- und Ostschweiz der Föhn, bei Triest die Bora, im Mediterran-gebiete, sowie einem Teile des Atlantischen Oceans der Scirocco etc.

Als Verteiler der äolischen Gebilde und als Lenker der Wellenbewegung der Gewässer sind die Winde von hoher geologischer Bedeutung; fast mehr noch als die

Träger und Lenker der atmosphärischen Niederschläge und als Erhalter oder Zerstörer der Bodenfeuchtigkeit, von welcher sehr viele Quellen abhängen.

Oben wurde des Umstandes gedacht, dass durch verdunstendes Wasser die Luft sich ausdehnen und mit Wasserdampf anreichern oder gar sättigen kann. Für jeden Temperaturgrad besteht eine Sättigungsmenge, welche der höchsten für den betr. Wärmegrad erreichbaren Spannung des Wasserdampfes entspricht; jeder etwaige Ueberschuss wird wieder zu Wasser oder Eis

Fig. 2.



Sättigungsmengen von x Gramm Wasserdampf in 1 Kubikmeter Luft von y Grad Celsius.

kondensiert. Vorstehende graphische Darstellung zeigt die Sättigungsmengen für die Temperaturen, welche häufiger in Betracht kommen, wobei das Gewicht des

Wassers in 1 cbm Luft zu Grunde gelegt ist. Die hiernach aufgestellten Zahlen entsprechen auf einige Zehntel, d. h. für die Praxis genau genug, der jedesmaligen Maximalspannkraft des Wasserdampfes in Millimetern ausgedrückt.

Die Luft strebt nun überall, wo sie mit Wasser, mit feuchter Erde oder feuchtem Fels oder auch mit Vegetabilien etc. in Berührung ist, Wasserdampf zu absorbieren. Aeusserst selten sättigt sie sich unmittelbar an der Feuchtigkeitsquelle so sehr, dass die in 10—15 m über dem Wasser befindlichen Hygrometer uns den Sättigungszustand anzeigen könnten, weil die Dampfaufnahme einen so bedeutenden Volumenzuwachs bedingt, dass meist schon vor Eintritt der Sättigung die feuchte Luft aufsteigt. Dies Aufsteigen wird bei den beträchtlichen Unterschieden der Durchsichtigkeit und anderer optischen Eigenschaften feuchter und trockener Luft häufig sichtbar.

Die Sättigung tritt in der Regel durch eine Abkühlung ein. Eine solche erfolgt besonders häufig 1) durch Berührung der Luft mit kälteren festen Körpern (Boden, Felsen, Vegetabilien etc.) oder mit kälterem Wasser; 2) durch Vermengung, bezüglich Berührung verschieden warmer Luftmassen; 3) durch Aufsteigen von Luftmassen, bezüglich durch Druckverminderung. Für die atmosphärischen Niederschläge etc. kommen nun folgende weitere Verhältnisse in Betracht: 1) Jede Verdunstung bewirkt eine Abkühlung, jede Kondensation dagegen eine Erwärmung und zwar in dem Masse, dass bei Verdichtung von 1 g Wasserdampf 0,6 Wärmeeinheiten frei werden. Die spezifische Wärme der Luft wurde von Regnault zu 0,2377 angegeben; durch Verdichtung von 1 g Wasserdampf wird also 1 cbm Luft von 0° bei 760 mm Barometerstand auf 1,9° erwärmt, bei 600 mm Barometerstand (etwa 1900 m Höhe) auf fast 2,5°, etc. 2) Kommt Luft, ohne von aussen Wärme zugeführt zu erhalten, unter geringeren Druck, so dehnt sie sich aus, zu welcher Bewegung ein Teil ihrer Temperatur verbraucht (latent) wird. Trockene Luft wird um 1° kälter, wenn sie entweder 100 m emporgestiegen ist oder wenn der baro-

20 Abhängigkeit des Niederschlags vom Bodenrelief.

metrische Druck, von 760 auf 750,5 verringert, eine Expansion bedingt hat. 3) In manchen Fällen und namentlich, wenn Gewitter in den in geringer Höhe hinziehenden Wolken sich bilden, scheint die bei der Kondensation des Wasserdampfes frei werdende Wärme nicht als solche aufzutreten, sondern diese Bewegung in Elektrizität sich umzusetzen. 4) Zur Erkaltung der Felsen, des Bodens, der Vegetabilien und selbst der Wasserflächen trägt die Ausstrahlung in hellen Nächten am meisten bei; Wolken hemmen dieselbe.

Ist für das Windsystem die gegenwärtige Verteilung von Land und Wasser, von Gebirge und Ebene von bestimmender Bedeutung, so zeigt sich dieselbe für die Hydrometeore nicht minder als beherrschend. Es ist sogar die Abhängigkeit der feuchten Niederschläge und Ausscheidungen von der Bodenkonfiguration noch augenscheinlicher als bei den Winden, besonders für Gegenden, bei denen man, wie bei den verschiedenen Hängen und verschiedenen Höhen eines Gebirges die Verschiedenheiten bezüglich der Winde weniger oft hervorhebt, als hinsichtlich der Niederschläge. Der Umstand, dass Ebenen, über welche ein feuchter Wind mit grosser Konstanz hinweht, bisweilen an Niederschlägen arm bleiben, während Gebirge und Bergländer, welche derselbe Wind bestreicht, viele Niederschläge erhalten, zeigt, dass nicht in allen Fällen Regen und Wind so innig und direkt zusammenhängen, wie dies angenommen werden könnte, weil es wirklich häufig der Fall ist. In Bezug auf die Hydrometeore zeigen sehr oft nahe gelegene Teile kleiner Flächenräume ansehnliche Verschiedenheiten, welche besonders für die Erosionsverhältnisse bedeutsam sind. Diese vielen lokalen Unterschiede machen es sehr schwer, kartographisch auf Uebersichtsblättern in kleinem Massstabe die geologisch wichtigen Verhältnisse darzustellen. Wir finden meistens für die einzelnen meteorologischen Stationen nur Angaben über Hygrometer-Ablesungen, und über die Mengen der als Regen und Schnee, bez. Hagel gefallenen Niederschläge. Letztere Angaben sind z. T. nur geeignet, die Gesamtmenge von Regen und Schnee

für ein Jahr zu beurteilen, z. T. bekommen wir noch ein Bild der Verteilung der Niederschläge auf kürzere Perioden (Monate, Dekaden, Wochen, Pentaden, Tage etc.). — Dagegen fehlt gewöhnlich¹⁾ die Messung von Tau und von Nebelniederschlag. Und über Bodenbeschaffenheit zur Zeit des Niederschlages pflegen ebensowenig Aufzeichnungen gemacht zu werden. Auch über die Verhältnisse, unter denen sich Schmelzwasser aus Schnee, Hagel und Eis bildet, so bedeutsam dieselben für die Geologie sind, pflegen die meteorologischen Aufzeichnungen und Tabellen nur ungenügenden Aufschluss zu gewähren.

Man unterscheidet bei zusammenfassender Betrachtung, aber ohne Rücksicht auf Tau und Nebel: 1) Gebiete überwiegender fester Niederschläge oder Schneelandschaften (Polarregionen und Hochgebirgsgipfel z. T.) — Dies Gebiet ist mit der sog. Region des ewigen Schnees nicht identisch. Ewiger Schnee liegt überall dort, wo die Wärme der trockenen Jahreszeit nicht hinreicht, den Schnee zu schmelzen oder in Firn und Gletscher zu verwandeln. In solchen Gegenden kann aber die Mitteltemperatur über dem Gefrierpunkte liegen, und können also sehr viele wässerige Niederschläge fallen. 2) Gebiete gemischter Niederschläge oder Gebiete sommerlicher Regen- und winterlicher Schneefälle. 3) Gebiete ausschliesslicher Regen. — Weiter scheiden wir Landschaften fast beständiger Regen (Kalmengürtel der Tropen); Gegenden mit doppelter oder unterbrochener Regenzeit; Zonen mit einfacher Sommerregenzeit beim Zenithstande der Sonne; Zonen mit einfacher Winterregenzeit beim niedrigsten Sonnenstande, unterbrochen an den Ostseiten der Festländer durch Gebiete von Sommerregen und durch die regenarmsten bekannt gewordenen Distrikte (Wüsten und Steppengebiete); Gürtel wechselnder Regenperioden, welche allerdings an einzelnen Orten ziemlich gleichmässig als Herbstregen (an den Westküsten der Kontinente), als Sommerregen oder als Frühlingsregen (z. B. in Spanien) auftreten.

¹⁾ S. später in der Gletscherlehre.

Wird gebirgigen Gegenden der Niederschlag durch herrschende Winde zugeführt, so wird die diesen Winden zugekehrte Seite des Gebirges den grösseren Teil des Regens empfangen, sie ist die Steilseite des Gebirges, hat aber meist weniger beständige und im einzelnen kleinere Flüsse. Bei Ueberschreitung des Gebirges finden wir im Windschatten ein ungleich regenärmeres, bisweilen fast regenfreies Gebiet. Im Gebirge selbst wächst die Regenmenge gegenüber der am Gebirgsfusse beobachteten beim Aufsteigen bis zu Meereshöhen von etwa 2000 m oder mehr. In bedeutenderen Höhen, namentlich über 3000 m, pflegt die Luft wieder trockener, der Niederschlag minder häufig und weniger massenhaft zu sein. Die Beziehungen dieser meteorologischen Verhältnisse zu der Erscheinungsform der meisten Gebirge werden später näher hervorgehoben werden, aber auch die Verteilung der Vegetation und Fauna an Gebirgen ist ausser von der nach der Höhe abnehmenden Temperatur wesentlich von den Hydrometeoren abhängig.

5. Das Meer.

Die Wasserhülle oder Hydrosphäre der Erde ist eine Bedeckung, die nur teilweise, zu $\frac{5}{7}$ etwa der Oberfläche, die feste Erde bekleidet. Als die hauptsächlichste Bildungsstätte derjenigen Massen, die uns als Erden und Felsen bekannt sind, ist dieselbe geologisch höchst wichtig. Das Wasser unserer Meere ist eine stark verdünnte Lösung von Chlornatrium und einigen anderen Chlorüren, sowie von mehreren weiteren Substanzen. Im grossen und ganzen ist die Zusammensetzung sehr konstant, im offenen Ocean nur auf Bruchteile von Prozenten wechselnd. Je nachdem man gewisse Brackwasserseen (Ostsee, Pontus etc.) noch als Meeresteile auffasst oder nicht, wird man höchstens abgesonderten Partien eine etwas verschiedene Wasserzusammensetzung zuschreiben oder grösste Gleichmässigkeit behaupten. Wir wissen, dass durch jeden einströmenden Fluss, durch jeden Regenguss, durch jede Abscheidung von Wasserdampf, jedes Tier-

Zusammensetzung des Meerwassers.

23

und Pflanzenleben im Meere, durch die Entstehung von Absätzen stete chemische Veränderungen eintreten, nehmen aber doch auch zeitlich eine gleichmässige Zusammensetzung an. Beim Abdampfen von Meereswasser erhält man einen Rückstand von Salzen, der etwa 3,43 bis 3,70 Prozent beträgt. Dabei sind in grösster Menge vorhanden:

Chlornatrium	2,69—2,72	oder auf 100 Teile Salzgemenge	78,3—78,1.
Chlormagnesium	0,33—0,37	" " " "	9,4—10,5.
Magnesiumsulfat	0,20—0,23	" " " "	5,8— 6,5.
Calciumsulfat	0,13—0,14	" " " "	3,7— 3,9.
Chlorkalium	0,06	" " " "	1,7— 1,8.

Nur etwa 0,0071 bis 0,01 Procente des Wassergewichtes, oder 0,21 bis 0,4 Procente der gesamten Salzmenge kommen auf andere Stoffe, von denen Brommagnesium und Calciumkarbonat, Calciumphosphat, Eisenkarbonat und Chlorrybidium, Fluorcalcium, als direkt nachgewiesen angegeben werden. In welcher Verbindung die sehr kleinen Mengen von Jod, von Kieselsäure, von Bor, von Aluminium, von Mangan vorhanden sind, bleibt unentschieden. In den Rückständen der Abdampfung sind noch Ammoniaksalze direkt nachgewiesen worden. In Kesselsteinen zeigt sich Strontium und Baryum. Im Kupferbeschlage der Schiffe lässt sich Silber, auch Spuren von Gold nachweisen. Spektralanalytisch fand man Arsen, Lithium, Cäsium. In der Asche von Tangen erkannte man die Anwesenheit von Zink, Blei, Kupfer, Nickel, Kobalt. Die manganreichen Knollen, welche sich in der Tiefe des Stillen Oceans ausgeschieden haben, vielleicht unter Mitwirkung untermeerischer Quellen, halten bis 0,7 Prozent Titansäure, und scheinen noch Spuren von Antimon zu führen. Bisher hat man in dem Wasser der jetzigen Meere oder in darauf allein zurückführbaren Substanzen eine Anzahl Elemente noch nicht aufgefunden, obwohl wahrscheinlich sämtliche Elemente darin vorhanden sind, weil es von allen lösliche Verbindungen gibt und weil Absätze des Meeres früherer Erdperioden verschiedene jener Elemente enthalten. — Ausserdem finden sich im Meerwasser Gase absorbiert, und zwar namentlich Kohlen-

24 Gasgehalt, Dichtigkeit und Temperatur im Meere.

säure, atmosphärische Luft, Sauerstoff und zuweilen Kohlenwasserstoffe, auch Stickstoff. Bezüglich der Verteilung dieser Gase spielt einerseits das organische Leben eine grosse Rolle, dann die Zersetzung abgestorbener Organismen, ferner der Umstand, dass bewegtes Wasser absorbierte Kohlensäure gegen atmosphärische Luft, mit der es in Berührung steht, austauscht, auch von der atmosphärischen Luft mehr Sauerstoff als Stickstoff aufnimmt. Auch wird bei Temperaturzunahme absorbierte Kohlensäure frei. Der Sauerstoffgehalt des Meerwassers scheint nach den bei der Challengerexpedition gemachten Beobachtungen am grössten an der Oberfläche zu sein, von da rasch bis in etwa 600 m Tiefe abzunehmen, dann aber allmählich wieder zu steigen, von etwa 1600 m Tiefe ab aber bis zum Boden konstant etwa $\frac{3}{4}$ der an der Oberfläche gefundenen Menge zu betragen.

Während der Druck die Dichtigkeit des Wassers nur unbedeutend zu vergrössern vermag, ist diese hauptsächlich von der Temperatur und dem Salzgehalte abhängig und wahrscheinlich sind erhebliche Verschiedenheiten der Dichtigkeit nur in den obersten, 400—600 m mächtigen Wassermassen vorhanden, unter 1000—1200 m Tiefe stellt sich eine sehr gleichmässige Dichtigkeit ein. Die Temperaturen, an der Meeresoberfläche und bis zu einiger Tiefe von der Bestrahlung durch die Sonne¹⁾, von der Berührung mit der Atmosphäre, von Verdunstung etc. und vornehmlich von den Wasserbewegungen abhängig, werden in der Tiefe sehr konstant und sind sehr niedrig. Zwar sinkt nach den neueren Beobachtungen die Temperatur allgemein in allen Meeren nach dem Boden hin fortdauernd, aber dieses Sinken tritt von der Oberfläche her sehr rasch bis zu etwa 200—300 m Tiefe ein, von da verlangsamt sich die Abnahme der Wärme: fast nirgends wurde im freien Ocean eine Temperatur von $+10^{\circ}\text{C}$. in grösserer Tiefe als 1000 m beobachtet, unterhalb 1200 m Tiefe ebenso selten mehr als $+5^{\circ}\text{C}$. Die Bodentempe-

1) Das Wasser ist äusserst wenig diatherman, auch in den Tropen wird die von der Sonne abhängige Temperaturverschiedenheit nur bis zu Tiefen von 150 bis 180 m gespürt.

Temperatur der Polarmeere und gesonderter Meeresteile. 25

raturen der tieferen, freien Océane sind zwischen $+2^{\circ}$ und -2° gefunden worden, innerhalb der Polarkreise hat man sogar Bodentemperaturen des Océans von weniger als -3° beobachtet; schon 1818 hatte Sir John Ross im Nordpolargebiet in mässigen Tiefen bis 900 m unter der Oberfläche Temperaturen von $-3,6^{\circ}$ C. gemessen. Auffallend erscheint, dass gerade unter den Tropen das kalte Wasser der Tiefe dem Spiegel des Océans am meisten sich nähert. — Nur in Meeresteilen, welche durch unterseeische Gebirge eingeschlossene Becken darstellen, finden wir Temperaturen, welche von der Barre ab bis zum Grunde ungefähr konstant sind, die niedrige Temperatur der freien Océane aber nicht erreichen. Zwischen Kap Trafalgar und Kap Spartel bildet ein 220—366 m tief unter der Oberfläche gelegenes unterseeisches Gebirge, über welchem das Wasser $12,2^{\circ}$ — $12,8^{\circ}$ warm ist, die Westgrenze des Mittelmeeres. Im gesamten Mittelmeere haben alle Wasser zwischen dieser Tiefenzone und dem Grunde eine ungefähr jener gleiche Temperatur: $12,8^{\circ}$ bis $13,6^{\circ}$. Im Falle des Mittelmeeres findet sich auch das Oberflächenwasser im mittleren winterlichen Minimum gegen 13° warm. — Die Sulu- oder Mindorosee scheint zwischen 750 und 700 m unter der Oberfläche abgedämmt zu sein, denn von 730 m Teufe an bis zum Grunde (4660 m) wurde von Sir G. Nares ein gleichmässig auf $10,4^{\circ}$ bis $10,3^{\circ}$ warmes Wasser beobachtet. Aehnliche Erscheinungen kennt man von der melanesischen See, vom chinesischen Meere, auch von der Shetlandsee etc. Aus den bisher bekannten Erscheinungen ist durch Carpenter der Schluss abgeleitet worden, dass die gesamten unteren Meeresschichten in langsamer aber beständiger Bewegung von den Polen nach dem Aequator zu begriffen sind. Es ist wohl zweifellos, dass die Wellen, welche die ganze Wassermasse der Océane bewegen, wie die Flutwelle und die Wellen grösserer Erdbeben die Gleichmässigkeit von Dichte und Temperatur in den Hauptmassen der Meere, ihren Tiefen, wesentlich mit bedingen. Die in Rede stehenden Wellen bewegen die Wassermassen von unten auf und können daher namentlich die Erd-

bebenwellen, deren Entstehungs Augenblick und Fortpflanzungsgeschwindigkeit bekannt ist, zu Berechnungen oder Schätzungen mittlerer Wassertiefen dienen. Unter normalen Verhältnissen sind die sekundären oder progressiven Flutwellen in Bezug auf Fortpflanzungsgeschwindigkeit den Erdbebenwellen gleich.

Die Flutwellen sind zu jener längst bekannten Erscheinung gehörig, welche man Gezeiten, auch Tiden nennt, zu den Bewegungen der Hydrosphäre, welche durch die Differenzen der Anziehungen des Mondes und der Sonne auf die Massen an der Erdoberfläche und am Erdcentrum entstehen. Infolge seiner grösseren Erdnähe bewirkt der Mond eine 2,2mal bedeutendere Flut als die Sonne ¹⁾. Das Entstehen von Springfluten und von Nippfluten beruht auf Interferenzen (Summierung oder Schwächung) der Mondfluten durch die Sonnenfluten, es sollte also die Springflut zur gewöhnlichen Mondflut sich verhalten wie $3,2 : 2,2$, zur Nippflut wie $3,2 : 1,2$, oder wir mögen statt des Verhältnisses $3,2 : 2,2 : 1,2$ sagen $16 : 11 : 6$ oder nahezu $8 : 6 : 3$. — Die Gezeiten sind den Anwohnern der See aus praktischen Gründen ziemlich genau bekannt, die Theorie und Rechnung hat freilich noch viele Mühe, alle Beobachtungen zu deuten. Von geologischer Bedeutung ist namentlich die örtlich sehr wechselnde Höhe der Flutwelle oder der Unterschied des mittleren Wasserstandes zur Flutzeit und zur Ebbezeit. Auf vielen Inseln des Stillen Oceans und auf manchen der Inseln des Atlantischen Oceans ist dieser Unterschied ebensowenig bemerkbar, als die Gezeiten des Mittelmeeres, der Ostsee etc. Es wird z. B. angegeben die Höhe der Flutwelle:

- auf Tahiti 0,38—0,45 m,
- „ den Sandwich-Inseln 0,76 m,
- „ den Fidschis, Neuhebriden etc. 1,37 m,
- „ Rodriguez 1,83 m,
- „ St. Helena 1,0—0,99 m,
- „ San Miguel (Açores) 1,5 m,
- „ Madeira (Funchal) 2,2 m,

¹⁾ Masse des Mondes = 0,01227 der Erdmasse; Sonnenmasse 334479 Erdmassen — Sonnenferne 387 (oder 386,7) Mondfernen; die theoretisch berechneten Verhältnisse werden indes nicht vollkommen beobachtet.

auf Tenerife (Santa Cruz) 3,0—3,2 m,
 in Boston 3 m,
 „ Fundybay 12,2 m,
 „ London 5,5 m;

Springfluthöhen werden angegeben:

für Triest 0,85 m,
 „ Malta 0,18 m,
 „ Sta. Cruz de Tenerife 3,5—4 m,
 „ Chepstow im Bristol-Channel 15,2 m,
 „ St. Malo und die Avranches-Bucht 15—19,5 m (Wellenbrecher
 der Häfen),
 „ die Fundybay 21,3 m.

Ausgedehnte Landschaften werden durch die Gezeiten in je 25 Stunden zweimal von Grund aus in ihren Verhältnissen verändert, und bedeutende monatlich zweimal durch die Springfluten umgestaltet. Wir sehen nicht nur an felsigen Gestaden, wo die Fluthöhe beträchtlich ist, täglich einen schmalen Kranz dem Lande sich anschliessen und wieder verschwinden, wir beobachten namentlich an flachen Ufern einen Rückzug der Gewässer auf Breiten von mehreren Kilometern oder gar Meilen und können dann auf Flächen, über denen die Fischer ihre Netze von den Kähnen in ein scheinbar unbegrenztes Wasser warfen, wenige Stunden später Vögel hüpfen und Menschen arbeiten sehen, während ein Labyrinth von mehr oder minder breiten und tiefen Kanälen, welche durch die Schnelligkeit des Kommens und Gehens des Wassers offen erhalten bleiben, die Verbindung mit dem Meere anzeigt. — Wo die Flut mit einem Flusse kämpfend bald dessen Wellen staut, bald dem gestauten Süß- und Brackwasser die Ebbe die Bahn zum Ocean frei hält, da wirken wohl am zerstörendsten die Wellen und weithin ist oft, wie an der Themsemündung, die schlammige Beschaffenheit des Wassers sichtbar. Besondere lokale Strömungen, die in bestimmten Richtungen mit bedeutender Gewalt sich bewegen, entstehen durch die Gezeiten.

Aber nicht Ebbe und Flut allein bewegen den Ocean. Abgesehen von den in den meisten Gegenden niemals eintretenden, gewöhnlich tage- oder wochenweise nur auf

engere Räume auch der oben genannten Kalmenregionen eingeschränkten Windstillen wogt das Wasser des offenen Meeres fortwährend, bald in sogenannter Dünung bei fast unbewegter Luft, bald unter dem Einflusse derjenigen Winde, die am Beobachtungsorte wehen. Die Dünung ist von Winden, welche in anderen Teilen das Wasser bewegen, hervorgebracht, oft ist sie die Vorbotin des Windes für den Beobachtungsort. Denn die Fortpflanzungsgeschwindigkeit von 6 m hohen Wellen beträgt schon 13 m pro Sekunde, während Barometerminima auf dem Atlantischen Ocean meist nur mit 6,3 m pro Sekunde fortschreiten, starke Winde 11—17 m pro Sekunde sich bewegen. — Bei dem Wogen des Wassers bleiben die Wasserteilchen, ähnlich den Aehren des wogenden Getreidefeldes, nahezu an ihrer Stelle und beschreiben in der Regel kreisähnliche Bewegungen um ihre Ruhelage. Wellenlänge heisst der Horizontalabstand von einem Wellenkamme oder Wellenberge bis zum anderen, Wellenhöhe der Niveau-Unterschied zwischen Wellenberg und Wellenthal. Nach den Untersuchungen der Gebr. Weber erstreckt sich die Bewegung der Wasserteilchen bis in Tiefen, welche 350mal so gross als die Wellenhöhe sind. Die Länge der Wellen soll nach Scoresby 20mal so gross als die Höhe sein, wird aber bis zum 10fachen der Höhe angegeben, und dürfte häufig darum unterschätzt werden, weil in der Regel mehrere parallele oder gekreuzte Wellensysteme gleichzeitig beobachtet werden. Derselbe Umstand erschwert die Schätzung der Wellenhöhen. Gemessen wurden durch Sir James Clark Ross Wellenhöhen von 11 m¹⁾, durch die Offiziere der Novara-Expedition grösste Wellenhöhen von 8,9—10,75 m. — Solche Wellen würden also bis in 3150—3850 m Tiefen hinab wirken können. Thatsächliche Beobachtungen über Wellenwirkungen liegen nur bis 177 m Tiefe vor²⁾. In der Tiefe nimmt die Schwingungsgrösse so schnell ab,

1) 36 feet = 10,98 m.

2) K. v. Seebach, Wellen des Meeres, berichtet von solcher Wirkung eines heftigen Sturmes bei St. Gilles.

dass in einer der Wellenlänge gleichkommenden (also nach obigen Angaben für Wellen von 10 m Höhe schon in 200 m) Tiefe nur noch 0,002 der Wellenhöhe (d. h. 2 cm für jene Welle) wirksam sind.

Wo die Wellen, zu deren Bildung ein tieferes Wasser nötig war, dem unterseeischen Fusse von Inseln oder Festländern oder dem Gipfel von Untiefen sich nähern, entsteht eine eigentümliche Modifikation der Wogen, welche als Brandung bekannt ist. Die Wasserteilchen vermögen da nicht gleichmässig nach allen Seiten auszuweichen, die Welle kann nicht einfach in sich selbst zurücksinken, sondern gewisse Wasserteile, die oberen gewöhnlich, müssen landwärts sich bewegen, am Ufer hinauflaufen, oder am Felsen emporspritzen, andere müssen seewärts zurückkehren. Meist bilden letztere vermöge der Gestaltung des Untergrundes den mächtigeren Teil, der als Unterstrom auftritt, über diesen stürzen die weissen Wellenkämme des landwärts gerichteten Oberstromes, wie eine Reihe von Wasserfällen dem Auge erscheinend. Gewöhnlich schwach und unbedeutend übertrifft beim Sturme die Brandung noch die Gewalt der gefürchteten Sturzsee des offenen Meeres, welche die stärksten Masten zerknickt, als seien sie zarte Reiser. Bei heftigen Stürmen schleudert die Brandung an den europäischen Küsten ungeheure natürliche Steinmassen oder jene Riesenquadern künstlich gebildeter Brecciengesteine, welche zu Hafenbauten verwendet werden und oft 3 m lang, 3 m breit, fast 2 m hoch, an 18 cbm messen, also an 45 000 kg wiegen, auf ansehnliche Strecken fort; sogar ohne Sturm vermag sie mehr als 1000 Centner schwere Massen zu bewegen. Aus den von Stevenson an der westschottischen Küste gemachten Beobachtungen ergibt sich dort die mittlere Kraft der Brandungswellen im Sommer gleich einem Drucke von fast 3000 kg pro Quadratmeter (2981,8 kg), im Winter zu über 10 000 kg pro Quadratmeter (10 186 kg). In einem Teile der Tropenregion und in den Gegenden der Herrschaft des Passates herrscht jahraus jahrein eine schwere Brandung. An vielen Stellen ist dadurch das Landen im höchsten Masse

erschwert. An manchen Küstenstrecken hört man, stets wiederholten Gewehrsalven vergleichbar, das Rollen der Steinblöcke, mit welchen die brandenden Wogen spielen, und sieht gewaltige Dämme von Geröllen, welche durch Spring- und Sturmflut-Brandungen aufgehäuft sind. Und wieder anderwärts brausen aus unterhöhlten Felsbänken, in denen einzelne Lücken vorhanden sind, gewaltige Springbrunnen unter dem Einflusse der Brandung hervor, welche mit eingepresster atmosphärischer Luft den Staub der Wellen 30 bis 50 m hoch spritzen, während der eigentliche Wasserstrahl, wenn der Wellenkamm unter der Oeffnung steht, 6 bis 8 bis 10 m steigt, also dem Drucke von einer halben bis zu einer ganzen Atmosphäre entspricht.

Von den oberflächlichen Wassermassen der Oeane ist ausserdem ein bedeutender Teil in fliessender Bewegung. Dadurch entstehen die Strömungen, von welchen die Uebersichtskarte die wichtigsten, freilich in etwas zu bestimmter, weil schematisierender Weise zur Anschauung bringt. Diese Strömungen sind nur zum kleinen Teile sehr konstant und scharf abgegrenzt, wie der von der Floridastrasse gegen die Nantucketbänke verlaufende, dann ostwärts sich wendende, zwischen den Azoren und Spanien wieder südwärts gekehrte Golfstrom, und der an der japanischen Küste bekannte Kuro-Shiwo. Von den meisten Strömungen wissen wir, dass die Ausdehnung des bewegten Wassers und die Geschwindigkeit nicht unverändert bleiben, sondern nach der Jahreszeit oder nach den herrschenden Winden wechseln; sie heissen dann Driftströmungen. Konstant bleibt innerhalb grösserer Schwankungsgrenzen für die kurze Zeit der menschlichen Beobachtung die Bewegungserscheinung selbst und im wesentlichen auch die Bewegungsrichtung. In viel geringerem Grade als für die Luftströmungen ist für die Meeresströmungen der Einfluss der Erdrotation, bez. des Beharrungsvermögens bemerkbar. Auf diese führt man u. a. die sogenannten Aequatorialströmungen mit ihrer ostwestlichen Bewegung zurück. Aber im Tropengürtel selbst machen sich entgegenlaufende, also der Erdrotation

voraneilende Strömungen fühlbar, so im Atlanticus die Guineaströmung. Die atlantische Aequatorialströmung fliesst in den mexikanischen Golf, welchen der schon erwähnte Golfstrom verlässt, von welchem ein bedeutender Teil des Wassers einen Kreislauf um die atlantische Tangsee, das Sargassomeer, beschreibt. Jenseit des 40.° N. Br. herrschen im östlichen Atlanticus nach Nord und Nordost gerichtete Driftströmungen, denen Westeuropa sein mildes Klima verdankt, und welche bis in den Polarkreis hineinreichen. Mächtige Ströme kalten Wassers fliessen von der Ostküste wie von der Westküste Grönlands nach Süden, durch die Erdrotation an die amerikanische und grönländische Küste gedrängt, bis bei den nebelreichen Neufundlandbänken der kalte Strom unter den warmen untertaucht; durch einzelne besonders grosse Eisberge, welche durch den ganzen warmen Oberstrom ihren Weg fortgesetzt haben, ist das Vorhandensein der kalten Unterströmung beglaubigt, durch welche sich erklärt, dass man auf den Azoren¹⁾ Blöcke von Gneis etc. antrifft, die, vermutlich grönländischen oder nordamerikanischen Ursprungs, mit den Eisbergen fortgeführt werden. Südlich von dem der Aequatorialströmung des Atlanticus entgegenlaufenden Guineastrom findet ein grosser Kreislauf der Strömungen, ähnlich dem um die Sargassosee, statt. Nur ist in diesem Gebiete der Einfluss der ostwärts und gegen den Aequator gerichteten kalten Gewässer ganz überwiegend; und der Küstenkonfiguration wie den sonstigen Verhältnissen entsprechend wirkt der dem Golfstrom und der Golfstromdrift analoge warme brasilische Strom kaum bis über die Mündungen des La Plata hinaus. Im Indischen Ocean findet ein einfacher Kreislauf statt. Trotz der bedeutenden kalten Polarwassermassen, welche sich an Australiens Ostküste geltend machen, erreicht auf langer Bahn die Aequatorialströmung bedeutende Macht; sie läuft an der Ostküste Afrikas durch den Mozambiquekanal und biegt bei Kap Agulhas nach Ost zurück. Im Stillen Meere haben

¹⁾ Hartung, Die Azoren S. 294.

wir einen nördlichen und einen südlichen Kreislauf der Strömungen, zwischen beiden Aequatorialströmen von ostwestlicher Richtung einen sehr entwickelten westöstlichen Gegenstrom. Die enge Beringsstrasse hemmt von Norden her das Eindringen polaren Wassers. Immerhin machen sich an den Küsten von Kamtschatka und selbst viel südlicher kältere von Norden her kommende Gewässer sehr bemerklich. Nachdem Maurys Erklärung der hauptsächlichlichen Meeresströmungen durch Dichtigkeitsunterschiede, verbunden mit der Einwirkung der Erdrotation, vielen Beifall gefunden hatte, kehren die Hydrographen jetzt wieder zu älteren Anschauungen zurück, denen zufolge die Bewegungen der Oberflächenteile der Océane ein Effekt der vorherrschenden Winde sind. Grosse Meeresströme, wie Golfstrom, Kuro-Shiwo, Mozambiquestrom sind hiernach sekundären Ursprunges, nämlich durch Landdämme und Erdrotation abgelenkte Teile der Aequatorialströmungen, welche direkte Folgen der Passate seien.

Nur die lokaleren Strömungen werden nicht nach der „Windtheorie“ gedeutet. Solche lokale Strömungen, wie sie an den Säulen des Herkules, am Belt, in der Euripusstrasse etc. vorkommen, und die Meeresstrudel (Scylla und Charybdis in der Strasse von Messina, Maelstrom an den Lofoten etc.) sind bedeutsam zur Erklärung der Bildung, Erweiterung und Austiefung von Meeresarmen und Meereskanälen.

In den polaren Meeren und bis in mittlere Breiten hinein ist die Bildung und der Transport von Eis beobachtet. Eis hat geringeres specifisches Gewicht als Wasser (bei 0° ist die Dichte = 0,917, nach Scoresby 0,894 von der gewöhnlichen Dichtigkeit des Seewassers), schwimmt also, wenn es nicht am Meeresgrunde oder an anderem Eise festhaftet, und vermag sogar Steine und Erdmassen zu tragen.

Süsswassereis, welches mit Meerwasser in Berührung kommt, wird daher von diesem, sobald es losgerissen ist, getragen. Die an das Meer heranreichenden Gletscher, welche sich auf der Südhemisphäre noch in mittleren

Breiten finden (Kellyhafen im Golfe von Peñas $46^{\circ} 57' \text{S. Br.}$ nach dem Kärtchen in Darwins Reisebeschreibung ¹⁾, nach Cook in Georgia, in Norwegen in Kunnen im 67°N. Br. ²⁾), liefern durch herabstürzendes Eis („Kalben“ der Gletscher) grosse Eisberge und kleinere Eisbrocken. Der Sturz des Eises erzeugt ungeheure Wellen, welche bedeutende Wirkungen auf die Küstenfelsen (? und auf den Meeresgrund) ausüben. In der Baffinsbai fand Hayes einen Eisberg, von welchem der sichtbare Teil 100 m hoch, 1,2 km breit war; im antarktischen Ocean sind Eisberge von 5,4 km Länge gesehen worden, die Höhen übertrafen 60 m. Und doch ist die untergetauchte Masse im Durchschnitt 7mal grösser als die sichtbare.

Verbreiteter als die Eisberge ist natürlich das durch Gefrieren von Seewasser entstandene Eis, welches Eisfelder (Packeis) liefert. Durch Eispresung türmen sich die Schollen dieses Packeises oft ungeheuer zusammen (hummoks engl., toross sibir.), während nach Weyprecht die eigentliche Eisdecke 6—7 m kaum an Dicke zu überschreiten vermag, und während in einem Winter nur ca. 2 m dickes Eis sich bildet. Das Gefrieren findet hauptsächlich an der Küste statt, weniger auf freiem Meer, wo sich zuerst der Eisschlamm (sludge, Scoresby) bildet; und es liegt bei mittlerem Salzgehalte der Gefrierpunkt bei $-2,2^{\circ}$ bis $-2,3^{\circ} \text{C.}$, während der Zustand grösster Dichtigkeit für solches Salzwasser bei $-3,5^{\circ}$ bis -4° eintritt. Beim Gefrieren wird der Salzgehalt verändert. Geschieht das Gefrieren langsam unter einer Eisdecke, so ist das entstandene neue Eis fast salzfrei. Am weissen Meere und anderwärts gewinnt man Seesalz, indem man Meerwasser in Lachen gefrieren lässt und das Eis hinwegräumt. Bildet sich bei sehr starkem Froste Oberflächeneis sehr schnell, so ist dasselbe mit Salzkristallen wie überschnit. Oft findet sich übrigens in Poren des Eises Mutterlauge und Mengungen von Salzkristallen und Eiskristallen kommen vor. —

1) p. 291. — transl. Diefenbach S. 279. — transl. Carus S. 283.

2) L. v. Buch, Norwegen I. Bd., S. 311, n. Ausg. II. Bd., S. 267.

v. Fritsch, Geologie.

Wie viel das Treibeis Anteil an Veränderungen von Küsten hat, ist nicht genügend ersichtlich.

Die Bildung von Grundeis, in unseren Flüssen so sehr bedeutsam, ist im Meere nur an wenigen Stellen genauer bekannt. Ueber den Gefrierpunkt erkaltetes Wasser kann im Meere durch seine grössere Dichtigkeit sinken, während in Flüssen wesentlich wohl nur durch die Bewegung des Fliessens selbst unter der Friertemperatur abgekühltes an den Grund zu gelangen vermag. Durch Berührung mit festen Körpern, namentlich bei Bewegung, kann aber das „überkältete“ Wasser erstarren, und so entsteht auf dem Grunde eine Eislage, welche, bei etwaigen Temperaturänderungen teilweise und ungleichförmig schmelzend, oder durch mechanische Einwirkung irgend welcher Art zerstückelt (z. B. bei Erdbeben), vom Boden sich löst, gewöhnlich nicht ohne beträchtliche Mengen festen Materiales mit emporzuheben. Mit seiner Fracht schwimmt das Grundeis, bisweilen ganz unter dem Wasserspiegel, bisweilen indem es diesen dauernd oder zeitweise erreicht. Ueber Grundeisbildung im Meere an der Neufundlandbank sind nach Studer ¹⁾, bezüglich Desor ²⁾ die amerikanischen Naturforscher und Seefahrer einig. In der Nordsee ist die Grundeisbildung wiederholt beobachtet worden, findet indes anscheinend in noch höherem Grade in der Ostsee statt. Sehr bezeichnend ist der englische Ausdruck „Anchor-ice“ für dieses Gefrieren des Grundes, das so oft nur erkannt wird, wenn die Anker gelichtet werden sollen, und nur mit Mühe emporkommen, nachdem vorher die Schollen des mit Steinen und Schlamm durchzogenen Eises aufgetaucht sind.

6. Die Erd feste oder Lithosphäre.

A. Reliefverhältnisse.

Wir führen von der durch den Meeresspiegel dargestellten Fläche aus alle unsere Rechnungen und Angaben

¹⁾ Studers physikalische Geographie und Geologie, S. 333.

²⁾ Institut von 1847. Vgl. auch die Angabe in Geikie, Textbook of Geology S. 425. — Voigt, Drei Briefe über Gebirgslehre, 1786, S. 51 f.

über Form und Relief der Erdfeste aus. Diejenigen Teile der Erdfeste, welche unter dem Meeresniveau liegen, bezeichnen wir als Einsenkungen oder Depressionen; jene welche darüber sich befinden, als Erhebungen oder Elevationen. Im allgemeinen sind ja diese Begriffe mit dem Bilde, das unsere Karten von der Verteilung von Land und Wasser darbieten, zusammenfallend, aber keineswegs vollständig. Denn der Ocean bedeckt einzelne Depressionen jetzt nicht, anderes Wasser unvollkommen, (Kaspische See, Totes Meer und Tiberiassee), während auf Teilen von Elevationen nicht selten das Wasser sich zu Seen gestaut zeigt, deren Anwesenheit hauptsächlich ausser vom Vorhandensein eines geeigneten undurchlässigen Grundes, von dem Verhältnis zwischen Wasserbringung und Verdunstung abhängt. Für die Oberflächen-gestaltung der Elevationen benutzen wir eine Fülle von Ausdrücken, z. B. Kontinent, Insel, Tiefland, Flachland, Hochland, Hochebene, Gebirge, Berg, Thal etc. etc. und doch bleiben gar viele Feinheiten unberücksichtigt. Für die Gestaltung der Depressionen oder des Meeresbodens ist die Sprache noch arm, aber ebenso unser Wissen, welches uns nur wenige Punkte oder Linien (Telegraphenlinien) eben in der dürftigsten Einzeldarstellung kennen lehrt. Wenn ein Luftschiffer, über den Wolken schwebend, welche ihm die Erde verstecken, und von einem bestimmten Niveau aus auf das Festland so vereinzelte Lotungen leitend, wie die oceanischen Lotungen noch vereinzelt sind, daraus ein Bild von der Gestaltung unserer Festländer herleiten wollte, so würde er unzweifelhaft eine sehr falsche Vorstellung gewinnen. So verhalten wir uns zum Meeresboden, wir wissen kaum irgend etwas von dessen Konfiguration, von den Punkten zuverlässiger neuerer Lotungen abgesehen. Aeltere Lotungen, mit unzulänglichen Apparaten angestellt, haben etwa den Wert von Entfernungsangaben eines Kindes. Diejenigen, welche geringe Tiefen ergaben, bleiben brauchbar, für grössere Tiefen¹⁾ verdienen sie kein Vertrauen. Die grösste bis

1) v. Boguslawski, Die Tiefsee, Virchow-Holtzendorfsche Sammlung von Vorträgen, 13. Serie, Heft 310/11, S. 15.

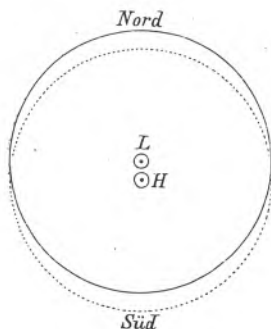
jetzt gemessene Tiefe wurde von der „Tuscarora“ in 44° 55' Nordbreite und 152° 26' Ostlänge zu 8513 m. (4655 Faden) gelotet, also nur etwas über 300 m weniger tief, als der höchste Berg der Erde, Gaurisankar im Himalaya, hoch ist, nämlich 8840 m.

Von den Elevationen wissen wir, dass deren bedeutendste Hervorragungen, die Gebirge, in weitaus den meisten Fällen grössere gürtelartige Systeme bald mit gleichbleibender Hauptrichtung, bald mit bogenförmiger Krümmung bilden, während die sogenannten Massen- oder Centralgebirge mit kreisähnlicher Grundfläche nur untergeordnetes Vorkommen haben. Hochflächen schliessen sich fast stets an Gebirge an; werden in der Regel auch nach der Seite, welche tiefer liegenden Landschaften zugewendet ist, durch Berg- oder Hügelsysteme begrenzt. Tiefländer sind dagegen meistens Küstenstriche oder mit Hügellandschaften innig verbunden. — In Bezug auf die Depressionen und die Unebenheiten des Meeresgrundes besteht bis zu gewissem Grade anscheinend ein ähnliches Verhältnis, so dass namentlich auch die Zonenanordnung der meisten untermeerischen Gebirge als wahrscheinlich gelten darf. An denjenigen Stellen, wo auf dem Grunde der Meere organische oder anorganische Materialien abgesetzt worden sind, haben sich wahrscheinlich die etwa vorhanden gewesenen auf engere Räume beschränkten Unebenheiten derart auszugleichen gesucht, dass massenhafterer Absatz in den Vertiefungen, schwächerer auf den Hervorragungen stattfand, man stellt uns also die unterseeischen Gebirge als Massenanschwellungen ohne Thäler oder doch mit nur schwachen, allmählich verschwindenden Thälern dar.

Bezüglich der Form der Festländer und der Richtungslinien der Gebirge, auch bezüglich der Anordnung der Gebirge im Verhältnis zu den Küsten hat man Gesetze zu erkennen geglaubt. — Nach Süden zu endigen die wichtigsten Festlandmassen spitz, gegen Nord breiter, als ob in der Gegenwart die Centralpunkte der Lithosphäre und der Hydrosphäre nicht zusammenfielen, sondern die Wasserkugel ihren Mittelpunkt etwas näher am Südpol hätte, als die mit mannigfaltigen Unebenheiten

ausgestattete Erd feste. Vorherrschende Küstenrichtungen (und Gebirgsrichtungen, nicht selten auch Flussrichtungen) sind die südost-nordwestliche und die südwest-nordöstliche.

Fig. 3.



L Mittelpunkt der Lithosphäre.

H Mittelpunkt der Hydrosphäre.

Der gemeinsame Schwerpunkt müsste zwischen *L* und *H* liegen.

Karikatur des auscheinenden Verhältnisses der Lithosphäre zur Hydrosphäre, jede Kugel als Scheibe auf irgend einen Meridian projiziert.

Dana¹⁾ hält jene beiden Richtungen für Anzeichen einer Art von Spaltbarkeit der Erdrinde, analog den Erscheinungen an Krystallen. In der ersten Hälfte unseres Jahrhunderts hatte Elie de Beaumonts Theorie viele Anhänger. Er hielt jede orographische Gestaltung für abhängig von streng mathematischen Gesetzen: man müsse sich in die Erdkugel ein regelmässiges Pentagondodekaeder²⁾ eingeschrieben denken, und das Liniennetz von 61 grössten Kreisen erster Ordnung und 61 darauf rechtwinkeligen grössten Kreisen zweiter Ordnung (*grands cercles auxiliaires*) berücksichtigen, welches auf dieses Pentagondodekaeder zurückführbar ist, um alle Einzelheiten der Erdgestaltung zu erklären, und die Zusammengehörigkeit der orographischen Systeme des Autors zu erkennen.

¹⁾ Manual of geology, 2. Aufl. 1875, S. 737.

²⁾ Den Körper der Stereometrie, welcher krystallographisch ebenso ein unmöglicher ist wie das Ikosaeder.

Ein solches „System“ war durch Richtungen gegeben, so umfasste das System des Tánarus auch den Aetna und den Mauna Loa.

Ähnlichkeiten in Einzelheiten der Gestaltung weit auseinander liegender Erdoberflächenteile (Homologien und z. T. Analogien) sind von manchen Seiten hervorgehoben worden (Italien und Neuseeland etc. etc.).

Noch verfrüht erscheint in der Mehrzahl der Fälle die Anknüpfung von Schlussfolgerungen an das Bild, welches uns die Karten gewähren, und die Versuche, durch Kartenstudium statt durch Naturbeobachtung Naturgesetze zu finden, werden wohl immer, wie bisher, fehlschlagen, selbst wenn es zu irgend einer Zeit richtige Karten geben wird.

Das Relief unserer Erdoberfläche ist steten Veränderungen unterworfen; für viele Gegenden bleiben Karten kaum auf Jahrzehnte gültig. Die auffälligsten und allverbreitetsten oft freilich sehr allmählichen Veränderungen ruft an den Elevationen das Wasser hervor; minder allgemein erkennt man die durch Winde bewirkten Aenderungen. Stellenweise nur, aber dort um so deutlicher, sieht man durch aus der Erde hervorsteigende heissflüssige Gesteinsmassen und durch übermässig gespannte heisse Dämpfe hervorgebrachte Umgestaltungen. Regionale und lokale Veränderungen, welche die Grenzen von Land und Meer, die relative Höhenlage von benachbarten Punkten verschieben, ohne dass an der Erdoberfläche Massen hinwegtransportiert oder herbeigeführt wären, sind gleichfalls bekannt.

B. Wärmeverhältnisse der Erd feste.

Die an der Zusammensetzung der uns zugänglichen Teile der Erd feste beteiligten Substanzen sind mit wenigen Ausnahmen (Magneteisen etc.) schlechte Wärmeleiter, und nur wenige dieser Massen sind diatherman, z. B. Steinsalz. Also sind schnelle Temperaturänderungen an diesen Massen selten; auch die Mitteilung der Temperatur erfolgt langsam; ausgeströmte Laven erkalten sehr lang-

sam und bewahren im Innern ihrer Massen viele Jahre lang hohe Temperaturen. Innerhalb der Erd feste können sich also leicht die Wirkungen verschiedener und verschiedenzeitiger Wärmequellen summieren. Am stärksten abkühlungsfähig sind Gesteinskörper, welche mit kälterem Wasser in Berührung kommen; in Berührung mit der Luft ist eine etwaige Abkühlung schwächer. Für kurze Zeit, besonders bei sehr reiner Luft, können die festen Massen der Erde kälter als die umgebende Luft werden; gewöhnlich gibt der Boden an die Atmosphäre Wärme ab. Der grösste Teil dieser abgegebenen Wärme ist die Sonnenwärme oder Insolationswärme. Für die verschiedenen Gegenden und Orte bildet sich eine Mitteltemperatur, welche für die Luft und für den Boden die gleiche zu sein pflegt, obwohl in den niedrigeren Breiten nicht selten die Luft eine höhere Mitteltemperatur als der Boden hat. Wir haben indes die Mitteltemperaturen verschiedener Zeiträume zu unterscheiden: die Mitteltemperaturen für Tage, Wochen, Monate, Jahre etc. Die Jahresmitteltemperatur zeigt sich im Boden in einer Tiefe, welche hauptsächlich von dem Betrage der Temperaturschwankungen der Luft und der oberen Bodenebene abhängig ist, und oberhalb von welcher sich auch die Wärmeunterschiede kürzerer Zeiträume geltend machen. So ist ausser in Eishöhlen etc. die Bodenwärme konstant in unseren Gegenden mittlerer Breiten (bei Schwankungen der Lufttemperatur zwischen -30° und $+36^{\circ}$, der Bodenoberflächentemperatur, Ausstrahlungskälte und Insolationswärme, zwischen -20° und $+55^{\circ}$) in etwa 20 m Tiefe. Wo immer man unter diese Tiefen konstanter Ortswärme in die Erde eindringt, wird eine Wärmezunahme nach dem Innern hin beobachtet, welche viel schneller erfolgt als die Temperatursteigerung der Luft unter zunehmendem Luftdrucke (s. oben S. 19). Die Wärmezunahme nach der Tiefe hin bringt es mit sich, dass wir uns die Punkte gleicher Wärmegrade zu Flächen, zu Geoisothermen, verbunden denken können. Diese Geoisothermen haben wir uns als der äusserst mannigfaltigen Gestaltung der Erd feste nicht unähnliche Flächen

vorzustellen, welche unter Gebirgen aufsteigen, unter Meeren sinken, welche bei irgend einem ideellen Durchschnitte durch die Erdmasse als gekrümmte Linien durchschnitten werden, die, nie der Erdfestenoberfläche vollkommen parallel, dieser doch ungefähr folgen. — Die Temperaturzunahme nach der Tiefe hin erweist sich örtlich verschieden, sie erfolgt auch innerhalb eines Schachtes, Bohrloches oder Tunnels nicht derart gleichmässig, dass einer gleichen Tiefenstufe eine gleiche Temperaturzunahme entspricht. Gleichwohl zeigen die meisten Beobachtungen, dass in vielen Fällen im mittleren Durchschnitte 30 bis 33 m tieferes Eindringen eine Temperaturzunahme um 1° C. aufweist. Also ist diese geothermische Wärmezunahme etwa dreimal schneller in der Erde als die theoretische Temperaturzunahme der Luft mit der Verdichtung. Eine graphische Darstellung mehrerer Beobachtungen über Tiefentemperaturen wird diese Verhältnisse anschaulich machen. Noch sind die Beobachtungen über geothermische Verhältnisse sehr jung und unvollkommen, doch dürfen wir aus den seitherigen Untersuchungen folgern, dass die Wärmezunahme mit der Tiefe nicht unabhängig ist von chemischen Prozessen, von Druckerscheinungen¹⁾ etc. Allerdings ist es schwer zu ermitteln, wieviel von der Erdwärme von dem einen, wieviel von dem andern Faktor abhängt. Das Aufsteigen der Geoisothermen im Gebirge ist eine besonders bemerkenswerte Erscheinung, weil in diesem Falle die tellurische Bedeutung der Wärmezunahme am deutlichsten ist.

Indirekte Belege für die Wärmezunahme im Innern der Erde erhalten wir durch die warmen und heissen Quellen, durch die stellenweise beobachteten heissen Gase und Dämpfe, auch durch die glutflüssigen Gesteine, welche an den Vulkanen auftreten.

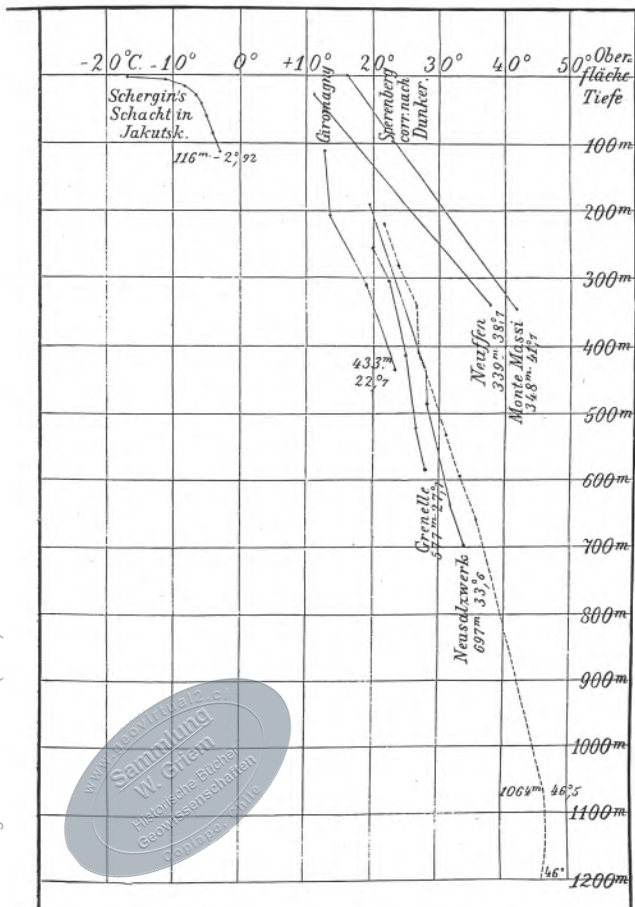
Quellen, deren Gewässer einen unterirdischen Lauf haben, setzen sich und die sie zunächst umgebenden

1) Wieviel Wärme durch Reibung und Druck erzeugt werden kann, geht aus den Beobachtungen in Bergwerken, Tunnels, Bohrlöchern etc. hervor; die „vor Ort“ gemachten Temperaturablesungen sind meist sehr abweichend von den anderweitigen.

Tiefentemperaturen.

41

Fig. 4.



Graphische Darstellung mehrerer Beobachtungen über Tiefentemperaturen.

Gesteine, die ja schlechte Wärmeleiter sind, in ein Temperaturgleichgewicht. Die resultierende Temperatur hängt ab von den Boden- oder Gesteinswärmen; von dem Masse der Bewegung des Wassers und von dem Einflusse solcher fester und gasförmiger Körper, welche vom Wasser aufgelöst oder absorbiert werden. Bedeutungsvoll ist dabei der Umstand, dass das Wasser durch die Temperaturveränderungen einzelner Teile seiner Masse derart in Bewegung gesetzt wird, dass bei mehr als $+4^{\circ}$ durch die Erwärmung ein Auftrieb erfolgt, durch Abkühlung dagegen ein Sinken, als Folge der Verdichtung, eintritt; dass aber ferner eine einmal begonnene Bewegung innerhalb einer Wassermasse eine grosse Konstanz hat. Wo eine mit Wasser gefüllte Spalte oder Höhle in der Erde vorhanden ist, wird das Wasser darin, soweit es Adhäsion und Kapillarität gestatten, einen der Meeresoberfläche analogen Wasserspiegel bilden und durch Bewegung die Wärme- und Dichtigkeitsunterschiede auszugleichen suchen. Im einfachsten Falle, wenn nämlich keine Substanzen vorhanden sind, welche die Temperatur des Wassers erheblich modifizieren, besitzt die tiefste, von der Erdoberfläche entfernteste Stelle das wärmste Nebengestein. Dort nimmt das Wasser ungefähr die Gesteinstemperatur an und überträgt diese höhere Wärme durch seine Bewegung nach anderen Punkten. Der Regel nach tritt durch die Erkaltung und Erwärmung, sowie durch das Zutreten neuen atmosphärischen Wassers und durch stetes Abfließen eines Theiles des erwärmten Wassers ein gewisser Gleichgewichtszustand ein, welcher jahrhundertlang dauert. Besteht eine Spalte oder ein Spaltensystem, welches an Punkten von verschiedener Meereshöhe mit der Erdoberfläche in Berührung steht und dem von allen Seiten her Regenwasser zufließt, so wird der aufsteigende Strom warmen Wassers nach Punkten geringsten Widerstandes, das heisst nach niedrigeren Stellen der Erdoberfläche gerichtet sein. Die Thermen (warmen Quellen) liegen daher gewöhnlich am Fusse von Gebirgen oder doch in Thälern, und gewöhnlich bemerkt man einen Auftrieb des warmen Wassers. Nur in Hochgebirgen

fließt Thermalwasser zuweilen einfach abwärts. Wie der Gotthardtunnel in ca. 1117 m Meereshöhe Gesteins- und Wassertemperaturen von 34° getroffen hat, so würde ein in der Höhe von Bad Pfäfers (688 m) nach der Richtung der bis 2847 m ansteigenden „grauen Hörner“ getriebener Stollen wahrscheinlich über 60° Wärme antreffen. Die Pfäferser Quellen sind aber nur 36° bis $37,5^{\circ}$ warm.

Sie kommen also entweder aus einem Teile des Innern des Gebirges herab, welcher ansehnlich niedriger ist als die „grauen Hörner“, oder sie sind unterirdisch sehr stark abgekühlt.

Dasselbe gilt von sehr vielen anderen warmen Quellen. Die unterirdische Abkühlung von Thermalwasser erfolgt nicht selten durch die Auflösung von Mineralien, welche wie das Steinsalz beim Auflösen Wärme absorbieren; auch die Aufnahme von Kohlensäuregas und ähnlichen Substanzen wirkt abkühlend. Solquellen und Sauerlinge zeigen also in der Regel geringere Wärme, als man erwarten sollte.

Umgekehrt werden viele Gewässer durch unterirdische chemische Vorgänge, z. B. durch Zersetzungen und Oxydation von Schwefelmetallen, erwärmt.

Ausser den Quellen zeigen auch viele Gasexhalationen, welche aus der Tiefe aufsteigen, die innere Erdwärme an. Während Kohlensäuregas und manche Kohlenwasserstoffe gewöhnlich nur eine geringe Wärmesteigerung gegenüber der Ortsmitteltemperatur zeigen, treten Wasserdämpfe und Schwefelwasserstoff, sowie schwefelige Säure gewöhnlich mit hohen Wärmegraden auf. Die höchsten beobachteten Temperaturen der erwähnten Gase und einiger anderen hängen mit der vulkanischen Thätigkeit zusammen. Indes zeigen sich heisse Dämpfe auch über entzündeten kohligen und bituminösen Massen (bei Gruben- und Flözbränden), und gewisse „Solfataren“, z. B. die von Susaki bei Kalamaki an der korinthischen Landenge¹⁾, dürfen für die Folgen einer Zersetzung von Schwefel-

1) W. Reiss und A. Stübel, Ausflug nach den vulkanischen Gebirgen von Aegina und Methana, Seite 56.

metallen in nicht allzutief unter der Oberfläche befindlichen Felslagen der Erdrinde gelten.

An zahlreichen Punkten quillt zeitweise glutflüssiges, oft auf mehr als 1500⁰ erwärmtes Gestein aus dem Erdinnern und entsendet zugleich grosse Mengen sehr heisser Dämpfe. Diese „vulkanischen Erscheinungen“ bezeugen gleichfalls eine beträchtliche Wärme des Erdinnern.

Die Ergüsse heissflüssiger Gesteine, die Gasexhalationen und fast alle Quellen übermitteln der Erdoberfläche, der Luft und dem Wasser so bedeutende Mengen von Wärme, dass wir die Erdfeste als einen Wärme abgebenden Körper auffassen müssen und bei der geringen Wärmeleitung der festen Gesteine diese Vorgänge und Verhältnisse als die wirksamsten tellurischen Abkühlungserscheinungen betrachten. Die durch Quellen, Dämpfe und Gase vermittelte Abkühlung dürfte die stärkste sein. Denn abgesehen davon, dass die vulkanische Thätigkeit eine intermittierende und räumlich beschränkte ist, kühlen sich auch die Laven hauptsächlich durch die aus ihnen hervorbrechenden Gase (Fumarolen) und durch die Luft- und Wassermassen ab, welche durch dieselben hindurch sich bewegen. Daher findet die Erkaltung mancher vulkanischen Massen in trockenen Gegenden sehr langsam statt: auf der kanarischen Insel Lanzarote, wo es bisweilen jahrelang nicht regnet, haben die Schlacken der in den Jahren 1730 bis 1736 entstandenen Montaña del Fuego über 1½ Jahrhundert die Glut bewahrt. Träten dort erhebliche jährliche Regenmengen zum heissen Gesteinskörper, so würde derselbe, das Wasser in Dampf verwandelnd, längst sich abgekühlt haben.

Unstreitig findet an jeder Stelle der Erdfeste eine Temperaturzunahme nach dem Erdinnern zu statt, und wir dürfen glauben, dass in nicht allzugrosser Tiefe eine Wärme herrscht, bei welcher unter dem an der Erdoberfläche herrschenden Atmosphärendrucke die uns bekannten Gesteine geschmolzen sein würden. — Dennoch bleibt es zweifelhaft, ob ein Schluss auf den tropfbar flüssigen Zustand der gesamten Massen im Erdinnern aus den geothermischen Beobachtungen gezogen werden

darf. Denn nach allen Erfahrungen verändert bedeutender Druck, wie er im Erdinnern vorauszusetzen ist, den Aggregatzustand der verschiedensten Stoffe in der Art, dass durch denselben gasförmige Substanzen erst tropfbar, dann bei steigendem Drucke meist fest werden. — Durch Druck verhindert man flüssige Körper zu siedend, d. h. in Dampf überzugehen, und verhindert man das Schmelzen fester. Auch ist unerwiesen, wie weit stofflich die Massen im Erdkerne mit den Gesteinen der Erdoberfläche übereinstimmen.

Beim jetzigen Stande unseres Wissens erscheint es verfrüht, aus den vorhandenen Beobachtungen schon das Verhältniss der Wärmezunahme mit der Tiefe nach irgend welchen Berechnungen für bekannt auszugeben. Unserer Generation und vielleicht noch mehreren späteren ist die Pflicht auferlegt, so viele möglichst fehlerfreie Bestimmungen von Tiefentemperaturen unter genauester Beachtung der Gesteinsbeschaffenheit und anderer Nebenumstände auszuführen, als wir irgend vermögen, damit künftige Geschlechter das Material für die Induktionsschlüsse gewinnen.

Ursachen der Erdwärme. Nach der Kant-Laplaceschen Theorie sollen alle Stoffe des gesamten Sonnensystems ursprünglich ungeheuer heiss und daher dampfförmig gewesen sein, dabei einen ungemein grossen Raum eingenommen haben. Später sollen sich die einzelnen Weltkörper individualisiert haben, indem die sich abkühlenden Stoffe aus dem Gaszustande in den tropfbar glutflüssigen übergingen, wobei erst um den Centralkörper rotierende Ringe, später Rotationssphäroide durch die zu Planeten etc. gewordenen Massen gebildet worden seien. Die Erde hat nach dieser Theorie eine feste Masse erst durch Erstarrung ihrer Rinde bekommen, auf welcher bei weiterer Abkühlung das vorher in seiner gesamten Masse dampfförmige Wasser grossenteils sich kondensieren konnte, so dass es das Meer bildete, dessen Sedimente dann die Erdrinde auf grosse Strecken zu verstärken vermochten. — Dieser Theorie scheint es am

meisten zu entsprechen, dass die Erdwärme als eine gewissermassen ererbte, das heisst als Folge des vormaligen glutflüssigen, bezüglich dampfförmigen Zustandes zu betrachten, und das Erdinnere noch jetzt als heissflüssig anzunehmen sei.

Vielerlei Bedenken sind gegen einzelne Glieder dieser Gedankenreihe geltend gemacht worden: die Ursprünglichkeit der Hitze wird bestritten; man vermisst unter den bekannten Gesteinen solche, die als Teile der Erstarrungsrinde gelten können, und man hat Grund, es für physikalisch unmöglich zu halten, dass die Massen im Erdinnern flüssig seien.

Von der mechanischen Wärmetheorie ausgehend, wonach der heisseste Zustand derjenige der intensivsten Molekularbewegungen ist, wird man schwerlich die ungeheuerste Hitze, bei welcher alle Körper nur im Gaszustande bestehen können, für die erste uranfängliche Beschaffenheit der Materie ansehen dürfen. — Wir mögen es aber für denkbar halten, dass ein solcher Zustand einmal von der gesamten Stoffmasse des Sonnensystems angenommen worden sei. — Zu solcher Hypothese bietet die Wahrnehmung sogenannter Nebelflecke am Sternhimmel auch dem Aktualisten einen Anhalt. Denn anscheinend existieren von diesen, nur mit Fernrohren wahrnehmbaren wolkenähnlichen Gebilden eine grössere Anzahl, die keinerlei einzelne Sterne erkennen lassen, wohl aber spektralanalytisch glühende, leuchtende Gasmasse, und zwar vorwiegend Stickstoff und Wasserstoff, zeigen. Freilich vermisst man gewisse Linien in den Spektren der Nebelflecken, indes ist dafür die Erklärung von Fievez, dass diese auf dem langen Wege durch den Weltenraum verlöscht, bezüglich verblasst sind, eine sehr wahrscheinliche.

Die Betrachtung der Kometen und Meteoriten und eine Reihe anderer Wahrnehmungen lehren jedoch, dass im Weltenraume und speciell im Sonnensystem noch eine andere Art von feiner Verteilung und von Gruppierung der Materie vorkommt, als die Zusammenfügung gasartiger Massen. Wir kennen einzelne Meteoriten von

sehr geringem Gewichte, bis $0,06 \text{ g}^1$) herab, die den Uebergang zum vielbesprochenen Meteorstaub bilden. Wir kennen weiter einige Beispiele von der Verschiedenheit der einzelnen bei einem und demselben Meteoritenfall niedergefallenen Stücke und finden manche Meteorsteine, die aus verschiedenartigen Teilen — scheinbar Trümmern, wie bei den Brecciengesteinen und „Tuffen“ — zusammengefügt²⁾ erscheinen, zahlreiche andere, welche durch Silikatkügelchen so ausgezeichnet sind, dass sie G. Rose danach Chondrite genannt hat. In vielen Fällen scheinen diese Kügelchen durch Reibung gerundete Stücke zu sein.

Es mag nun immerhin dahingestellt bleiben, welche Zustände die kleinsten Meteoriten, bezüglich der Meteorstaub früher gehabt haben; es ist wohl unstreitig anzunehmen, dass eine gewissermassen staubartige Beschaffenheit fein verteilter Materie von festem Aggregatzustande im Sonnensystem vorkommt und dass Zusammenballungen kleinerer Weltkörper zur Bildung noch grösserer führen. Zweifellos erfolgt auch, wenn die kleinsten Weltkörperchen sich untereinander oder mit grösseren Gestirnen vereinigen, eine Wärmeentwicklung durch die mechani-

Fig. 5.



Tuffartiges Aussehen der angeschliffenen Oberfläche des Meteoriten von Mezö Madras in achtfacher Vergrösserung (Min. Mus. Halle a. S.). Ganz dunkel sind die Eisen- und Schwefeleisen-Partikel, die oft als Umrahmung der Chondrite (Enstatitkügelchen, hier horizontal schraffiert) — auch anderer Silikatkörner — auftreten. Die Umrahmung besteht teils aus metallischen Lagen bez. Schalen, teils aus Pünktchen. Die geraden Umgrenzungslinien der Mineralkörner, von denen manche breccienartig erscheinen, sind meist Bruchflächen, nicht Krystallflächen zuzuschreiben.

1) In Stockholm aufbewahrte Körner von dem am 1. Januar 1869 zu Hesse bei Upsala eingetretenen Steinregen. Vergl. Daubrée, *Études synthétiques de géologie expérimentale* (II), S. 479.

2) Daubrée nennt das Meteoreisen von Tula (Russland) und von der Cor-

sche Kraft des Stosses, der Reibung und — namentlich wenn verschiedenartige Weltkörperchen zusammenstreffen — durch chemische Molekularbewegungen. — Wie es für möglich gehalten wird, dass die Sonnenwärme durch die mechanische Kraft fortwährend auf den Centalkörper niederfallender Meteoriten erzeugt worden ist und erhalten wird, so kann man alle grösseren Gestirne, also auch die Erde, für Zusammenballungen unzähliger kleinen und kleinsten Weltkörper halten. Die Reibungswärme der aneinandergeschweissten kosmischen Massen würde danach der erste Anlass der Wärmeentwicklung sein. Reibungswärme bei späteren Massenverschiebungen der heranwachsenden Sterne, die durch chemische Prozesse erzeugte Wärme, die Kondensierungswärme mannigfaltiger Gase ¹⁾ und ähnlicher Verbindungen würden weiter sich geltend machen. Bei der schlechten Wärmeleitungsfähigkeit der meisten Gesteine muss im Erdinnern eine Summierung der aus verschiedenen Quellen herstammenden Wärme erfolgen; die an einem Punkte stattfindende Wärme ist wohl nirgends als das Resultat eines einmaligen Vorganges anzusehen, sondern oft als das Werk von Tausenden einzelner in langen Zeiträumen allmählich erfolgter Ereignisse.

Ist auch, wie von vielen Seiten nachgewiesen wurde, keine der natürlichen Wärmequellen im Erdinnern für

dillera de la Dehesa (Chile) als ausgezeichnete Beispiele l. c. S. 507 und bildet von Santa Catarina (Brasilien) S. 526 f. die Erscheinung ab.

1) Öffnet sich eine Spalte oder ein zusammenhängendes System von Sprüngen in der Erdrinde, so wird trockene Luft, wie sie an der Erdoberfläche vorhanden ist, beim Eindringen zusammengedrückt und erwärmt werden. Nach dem oben S. 19 mitgeteilten Verhältnis würde in 1000 m Tiefe diese Luft auf einer Spalte im trockenen Gestein 10° wärmer als an der Oberfläche werden, in 10 000 m Tiefe würde sie 100° warm werden, in 100 km Tiefe 1000°, d. h. die Schmelzhitze des Silbers erreichen; in 250 km Tiefe, also etwa $\frac{1}{25}$ des Erdradius, gelangt, würde diese eindringende trockene Luft die Schmelzhitze des Platins haben. Soviel auch der Einfluss verdunstender Bergfeuchtigkeit und die Verstärkung der Spannkraft unter steigendem Drucke der Temperaturerhöhung entgegenwirken, immerhin wird in mässig grosse Tiefen eindringende atmosphärische Luft in der Erde sehr heiss. — Auf mit Luft gefüllten Spalten würde in weniger als 800 km Tiefe Kohlensäuregas zur Flüssigkeit kondensiert sein. — In mit Wasser angefüllten Spalten haben wir aber, auf eine Wassersäule von 10 m Höhe in runder Zahl den Druck einer Atmosphäre rechnend, schon in 750 m Tiefe den Druck, der jetzt gewöhnlich im Thilorierschen Apparate erzeugt wird, um Kohlensäuregas zur tropfbaren Flüssigkeit zu machen.

sich allein hinreichend, uns nur die Wärme mässig grosser Lavaströme zu erklären, so werden doch im Laufe der Aeonen die Wirkungen verschiedenster Wärmequellen den ungeheuren Wärmeschatz des Erdinnern aufgespeichert haben können, der sicherlich vorhanden ist.

Volumveränderungen von Massen der Erde im Gefolge von Temperaturveränderungen. Nach allen bisherigen Erfahrungen muss angenommen werden, dass sich die geothermischen Verhältnisse dadurch ins Gleichgewicht zu setzen streben, dass Temperaturunterschiede der einzelnen benachbarten Massen einander allmählich ausgleichen. So wird für jeden der grösseren Zeiträume der Erdgeschichte ebenso wie für die Jetztzeit ein Normalzustand anzunehmen sein; wir werden voraussetzen dürfen, dass Flächen gleicher Erdtemperatur (Geoisothermen) unter der Oberfläche der Lithosphäre bestehen, die vielleicht in grösseren Perioden sich verschieben, aber zeitweise wenigstens eine Dauerlage haben. Diese Geoisothermen sind im grossen der Gestalt der Erd feste ähnlich gestaltet zu denken, sie steigen im Gebirge empor, sinken unter dem kalten Grunde des Oceans herab. Dabei bleiben sie aber der Oberfläche nicht parallel und wir haben Grund zu glauben, dass sie dem Oberflächenbilde am unähnlichsten da sind, wo nahe an einem tiefen Meere hohe Gebirge aufragen.

Verschiebungen der Geoisothermen werden nun unter den verschiedensten Verhältnissen eintreten.

Auf dem Grunde des Meeres, also gewöhnlich bei geringer Temperatur, gebildete Schichten werden von darauf abgelagerten Schichten bedeckt, ihre Temperatur dadurch erhöht und dadurch auch eine entsprechende Volumvergrösserung bewirkt.

Werden Gesteine der Erdoberfläche auf grössere Strecken von glutflüssigen Laven überströmt, und sind zugleich die Laven in Spalten der Schichten eingetreten, so wirkt ein erheblicher Teil der Wärme dieser Laven auf die Gesteine. Diese müssen erwärmt werden und eine entsprechende Ausdehnung erfahren. Folgen sich die Lavenausbrüche in kürzeren Zwischenräumen,

so kann eine sehr hohe Temperatur nahe an die Erdoberfläche heranrücken, und es kann für Zeiträume, welche bei der geringen Wärmeleitungsfähigkeit der Felsarten sehr lang sind, ein erhebliches Aufsteigen der Geoisothermen veranlasst werden, zugleich aber eine beträchtliche Volumvermehrung der Gesteine.

Wo durch Hebungen, Senkungen und Verwerfungen oder Verschiebungen die Massen gegeneinander in andere Lage gebracht werden, werden auch die Geoisothermen verändert. In vielen Fällen sieht man, dass Teile einer und derselben Schicht längs einer Kluft um 1500 m und mehr in senkrechter Richtung verschoben worden sind. Wenn die gewöhnliche Wärmezunahme um 1° C. für 30 m angenommen wird, und wir uns eine ursprünglich horizontal liegende Schicht von a Graden Temperatur mit ihrem einen Teile um 1500 m gesunken denken, so ist dieser herabgesenkte Teil neben ein Schichtenmaterial von $50^{\circ} + a^{\circ}$ Wärme zu liegen gekommen. Kann ohne anderweitige Veränderungen die Temperatúrausgleichung der in gleicher Stellung zum Erdmittelpunkte befindlichen Materialien eintreten, so wird der stehen gebliebene Schichten- oder Massenteil eine Schrumpfung, der gesunkene eine Ausdehnung erleiden.

Die durch Auflagerung anderer Massen oder infolge der Senkungen erwärmten und ausgedehnten Gesteinsmassen werden schliesslich nach etwaiger Zerstörung der auf ihnen ruhenden Massen wieder der Erdoberfläche näher gerückt¹⁾ und verlieren so wieder einen Teil der gewonnenen Wärme und des früheren Wachstums an Volum.

Die Volumveränderung der verschiedenen Gesteine bei Erwärmung und Erkaltung ist eben der Verschiedenheit derselben wegen nicht genau berechenbar; für viele Felsarten gilt wahrscheinlich der Ausdehnungscoefficient

¹⁾ Wo die Saale zwischen Wettin und Könnern durch den „Rothenburger Sattel“ fliesst, sind von der Hochfläche mindestens 1400 m Schichtmaterial allmählich durch Erosion hinweggeführt worden, bevor der diluviale Geschiebelehm die Höhen bedeckte (mindestens 300 m Zechstein und Rotliegendes, ca. 900 m Buntsandstein und zum wenigsten 200 m Muschelkalk). Ist das Rotliegende in einem mässig tiefen Wasser etwa bei einer Temperatur von $+ 10^{\circ}$ abgelagert, so erlangte es nach Ablagerung des betr. Teiles des Muschelkalkes $+ 57^{\circ}$ Wärme und sank wieder zur jetzigen Oberflächentemperatur von $+ 9^{\circ}$ herab.

des Glases (für je 1°C. 0,000 024 bis 0,000 026 des Volums oder für je 1°C. 0,000 081 bis 0,000 086 der Länge). Bei der vorhandenen Porosität mancher Gesteine ist die Vorstellung statthaft, dass die Volumveränderung bisweilen nur als eine Verdichtung der Masse bemerkbar werde, wenn der Widerstand der in Poren und anderen Höhlungen vorhandenen Flüssigkeiten oder Gase leichter zu überwinden ist, als der der umgebenden Massen und wenn die Wände jener Poren etc. nicht zu festgefügt sind.

Dichtigkeit der Erde.

Während das spezifische Gewicht der an der Erdoberfläche auftretenden Gesteine nach der direkten Bestimmung im Mittel höchstens auf 2,8 angenommen werden darf, und das von vielen Spalten, Rissen, Höhlungen etc. durchzogene Felsgerüst unserer Gebirge als Ganzes betrachtet meist sogar eine Dichtigkeit unter 2,5 besitzt, zeigen alle Versuche, die Dichtigkeit der gesamten Erde zu bestimmen, sehr viel höhere Werte. Man ermittelt die Dichtigkeit der Erde durch Vergleichung der Anziehungskraft des Erdganzen (der Schwere) mit der Massenattraktion einer bekannten Masse, wobei man das Gesetz berücksichtigt, dass sich die Anziehungen verhalten direkt wie die Produkte der Massengrößen, aber umgekehrt wie die Quadrate der Abstände der Schwerpunkte. Zur Bestimmung der Dichtigkeit der Erde hat man bisher benutzt 1) das Bleilot; 2) das Pendel; 3) die Drehwage; 4) die Wage.

Durch das Bleilot versuchten schon 1738 Bouger und Condamine die durch den Chimborazo verursachte Modifikation der Schwerkraft zu bestimmen. Hutton und Maskelyne unternahmen, besser ausgerüstet, 1774 bis 1776 eine ähnliche Untersuchung am Sheechaillin oder Shehallian, in Perthshire, Schottland, welcher bei 752 m absoluter Höhe verhältnismässig frei liegt, leider aber aus Quarzit (sp. G. meist 2,6), Glimmerschiefer

(sp. G. meist zwischen 2,8 und 3,2), Hornblendeschiefer (sp. G. gewöhnlich 2,9—3,0) und Kalkstein (sp. G. etwa 2,6 bis 2,8) in schwer zu ermittelnden Lagerungsverhältnissen besteht. — 1856 hat James am Arthurs Seat bei Edinburg analoge Beobachtungen gemacht.

Am Harz sind neuerdings Reihen von Messungen der Lotablenkungen angestellt, auf der prächtigen geologischen Karte von Lossen eingetragen und von diesem Forscher in ihrer Bedeutung besprochen¹⁾ worden.

Auf Bergen werden infolge der grösseren Entfernung vom Erdmittelpunkte die Schwingungen eines Pendels verlangsamt; in tiefen Schächten aber beschleunigt die Annäherung an den Erdmittelpunkt und die nach innen zunehmende Dichtigkeit diese Schwingungen. — Das Pendel hatte am klarsten die Aequatorialanschwellung und Polarabplattung der Erde dargethan. Carlini war einer der Ersten, welche durch Schwingungen des Sekundenpendels auf Berghöhen 1824 am Mont Cenis die Erddichtigkeit zu ermitteln trachteten, im August 1880 verglich zum selben Zwecke Mendenhall die Gravitation auf dem Fuji-no-yama mit der in Tokio. Airy stellte schon 1826, später 1854 in einem 360 m tiefen Schachte der Grube Harton bei Newcastle entsprechende Messungen an.

Die Drehwage wurde 1797—1798 von Cavendish zum erstenmal zur Messung der Erddichte benutzt. 1837 wandte Reich einen verbesserten Apparat an und wiederholte seine Versuche von 1852 an, nachdem Baily in London in gleicher Richtung gearbeitet hatte. Cornu in Paris nahm 1872 und 1873 dieselben Untersuchungen vor und wiederholte dieselben mit Baille 1878.

Erst die ausgezeichnete Vervollkommnung der Wagen, welche diese seit drei bis vier Lustren erfahren haben, hat auch diese Instrumente geeignet gemacht, zur Bestimmung des specifischen Gewichtes der Erde zu dienen. In dieser Weise haben Poynting in Manchester und Jolly in München gearbeitet.

¹⁾ Verh. der Ges. naturf. Freunde zu Berlin 1881.

Als die besten Resultate dürfen gelten die Zahlen:

5,58	(Reich 1852)
5,56	(Cornu und Baille 1878),
5,49	(Poynting 1880),
5,692	} (Jolly 1881)
+ 0,068	

Von den tellurischen Felsarten bleiben selbst die schwersten (Magneteisenstein (sp. G. 4,9—5,1) und Roteisenstein (sp. G. 5,2—5,3) erheblich hinter dem spec. Gewichte der gesamten Erde zurück. Dieses würde sich nach Analogie der bekannten anderen Weltkörper verstehen lassen, wenn ein grosser Teil des Erdinnern (etwas über die Hälfte des Volums) aus Eisen bestände (sp. G. 7,7), also die Massenbeschaffenheit der so oft beobachteten Meteoreisenmassen hätte.

Aus einer mittleren Dichtigkeit der Erde = 5,69 berechnen sich für

Merkur	die mittlere Dichtigkeit von etwa	6,4,
Venus	" " " "	5,9,
Mars	" " " "	4,0,
Mond	" " " "	3,0 bis 2,9.

Das genaue spezifische Gewicht des eigentlichen Sonnenkörpers ist wegen der ungeheuren Ausdehnung der Dampfhüllen nicht bestimmbar; nach der scheinbaren Grösse der Sonne würde ihre Dichtigkeit nur ca. 1,4 betragen, ungefähr eben so berechnet sich nach der scheinbaren Grösse des Jupiter (einschliesslich seiner Atmosphäre) dessen Dichtigkeit (1,3 bis 1,4) und gleichfalls ohne die Berücksichtigung der Atmosphären würden wir für Saturn eine Dichtigkeit von 0,8, für Uranus 1,0 bis 0,9, für Neptun 0,9 Dichtigkeit erhalten.

Magnetische und elektrische Verhältnisse des Erdballs.

Die Erde wirkt auf magnetische Körper an ihrer Oberfläche ähnlich wie ein grosser Magnet. Eiserne Stäbe, welche annähernd senkrecht zur Erdoberfläche stehen, werden, so lange sie in ähnlicher Stellung verbleiben, polar magnetisch; magnetisierte Stahlstäbe werden bei freier Beweglichkeit in eine für Ort und Zeit genau orientierte Stellung durch den Einfluss des Erd-

magnetismus gebracht, auf welcher Eigenschaft der Gebrauch des Kompasses beruht. Denn eine horizontal freischwingende Magnetnadel nimmt eine an den meisten Punkten der Erdoberfläche ungefähr nordsüdliche Richtung an, deren Abweichung von der Meridianrichtung (Declination) leicht bestimmbar ist. Die Deklination ändert sich mit der Zeit. Nach den Beobachtungen am Observatorium zu Klausthal betrug dort 1881 die Deklination rund 13° W., nimmt aber mit kleinen Unregelmässigkeiten seit einem Jahrzehnt jährlich um $7' 35''$ ab. — Durch polar magnetische Gesteine wird an einzelnen Stellen die Deklination so unregelmässig, dass Bussolenmessungen sehr beeinträchtigt werden. Wie die Deklination der Magnetnadel, so ist auch die Inklination mit Zeit und Ort wechselnd; ebenso die durch die Zahl und Geschwindigkeit des in die Ruhelage zurückkehrenden schwingenden Magnetstabes messbare Intensität des Erdmagnetismus.

Viele Forscher sind geneigt, die Ursache des Erdmagnetismus in elektrischen Erscheinungen zu suchen, und in der That sind elektrische Ströme im Boden sowie eine Reihe von Erscheinungen der Elektrizitätserregung in Gesteinen und Mineralien nachgewiesen.



Geotektonik.

Einleitung.

Der Augenschein lehrt, dass die Erdrinde nicht überall gleichartig ist, sondern dass sie aus über und nebeneinander liegenden Massen aufgebaut ist. Ueberall sind die Reliefformen der Landschaft, Form und Farbe der Felsen und des lockern Bodens, die Verteilung der Gewässer auf der Erdoberfläche und in der Tiefe, die natürliche Vegetation und die Art der Kultur von diesem Bau abhängig. Wer sein Auge für solche Verhältnisse zu schärfen vermag, findet beim Umblicke in einer Gegend die Grundzüge dieses Massenbaues gewöhnlich leicht heraus; gleichwohl erheischt oft die genauere Erforschung desselben die sorgfältigste und mühsamste Untersuchung.

Wir betrachten die Massen, welche die uns bekannten Teile der Erde zusammensetzen, gewissermassen als die Bausteine der Erdrinde und stellen uns zunächst die Aufgabe, die Anordnung, die Formverhältnisse und das Gefüge dieser Bausteine zu untersuchen.

Die Lehre von diesen Beziehungen der Massen wird Geotektonik oder architektonische Geologie genannt.

Entstehungszeit und Entstehungsart sind es, welche die Sonderung der in der Geotektonik zu betrachtenden Massen bedingen. Während der Wirkungszeit bestimmter Verhältnisse werden an der Oberfläche der

Erd feste in einen Bildungsraum zusammengeführte Substanzen in gleichförmiger Weise zusammengefügt. So bilden sich heute und so bildeten sich von jeher die geotektonischen Einheiten: gleichzeitig und gleichartig entstehende Gesteinspartieen, welche wir „Einzelmassen“ oder auch „Gesteinskörper“ nennen. Die verschiedene Dauer der Entstehungsbedingungen und die ungleiche Grösse der Bildungsräume sind unter den Ursachen für die ungleichen Masse dieser Gesteinskörper von wesentlicher Bedeutung.

Je grösser die Flächenausbreitung einer geotektonischen Einzelmasse gefunden wird, um so grösser war der Bildungsraum für dieselbe. Bei gleichartigen und auf dieselbe Weise entstandenen Einzelmassen darf auch angenommen werden, dass auf gleich grossem Teile des Bildungsraumes in gleichlangen Zeiten gleichviel Material zusammengefügt wird; bei ungleichem Material und ungleichen Entstehungsbedingungen ist eine Vergleichung der Entstehungszeiten schwierig.

Kleine Aenderungen der Entstehungsbedingungen und namentlich periodische, regelmässiger sich wiederholende, Wechsel bedingen zwar gewisse innerhalb mancher Einzelmassen auftretende Differenzierungen, aber nur durch zeitliche Unterbrechungen der Wirksamkeit der betreffenden Verhältnisse oder durch das gänzliche Aufhören der Herrschaft dieser Bedingungen entstehen die Zwischenräume, Klüfte oder Fugen zwischen den einzelnen Gesteinskörpern, durch welche dieselben als geschlossene Einheiten erkannt werden. Ausnahmsweise können durch spätere Ausfüllung jener Klüfte verschiedene Einzelmassen aneinander gekittet werden, immer aber sind auch dann noch die Trennungsfugen angedeutet.

Geotektonische Untersuchungen knüpfen notwendigerweise an Beobachtungen auf enger begrenztem Felde an. Hier schon zwingt uns die Mannigfaltigkeit der Erscheinungen dazu, dass wir vielfach ganze Gruppen von einzelnen jener geotektonischen Bausteine zusammenfassen. Wollen wir die geotektonischen Lokalforschungen miteinander vergleichen und ein Bild vom Aufbau ganzer

Länder, oder von Kontinenten, endlich eine Vorstellung vom Aufbau der Erde als eines Ganzen gewinnen, so sind wir zu Zusammenfassungen noch weitreichenderer Art genötigt. Dem Zwecke der Geologie entspricht es, bei solchen Zusammenfassungen die verschiedenartigsten Massen nach ihren Entstehungszeiten miteinander zu verbinden und zu vereinigen.

Darstellung des Gebirgsbaues.

Die Darstellung der geotektonischen Verhältnisse erfolgt teils durch Worte und Beschreibungen, teils durch Zeichnungen und durch die wieder von den Zeichnungen abgeleiteten plastischen Reliefs. Die Beschreibungen bedürfen oft einer grossen Weitschweifigkeit und werden dadurch ermüdend, wenn sie nicht durch Zeichnungen erörtert werden. Die graphischen Darstellungen erheischen aber einige allgemeine Erläuterungen, denn wie Beschreibungen nur dann recht untereinander vergleichbar sind, wenn eine gewisse Terminologie bekannt ist, so sind auch herkömmliche Zeichen, Methoden etc. bei geognostischen Abbildungen eingeführt.

Es sind dreierlei Zeichnungen für die Geologie gebräuchlich: die geologischen Karten, die geognostischen Profile und die geologischen Landschaftsbilder¹⁾.

Die geognostischen Karten geben die wichtigste, gebräuchlichste und genaueste Darstellung der beobachteten Verhältnisse und verdienen daher an erster Stelle behandelt zu werden.

Wir setzen die Bekanntschaft mit den verschiedenartigen geographisch-topographischen Karten voraus, welche den geognostischen Karten zur Unterlage dienen.

Die geologische Kartierung soll in der Regel nur darstellen, wie einzelne Gebirgsglieder (nämlich Einzelmassen oder Gruppen von Einzelmassen) an der Erdoberfläche „zu Tage treten“ oder „ausgehen“. In einzelnen Fällen und gewöhnlich nur für bestimmte Einzelmassen,

¹⁾ Geologische Reliefkarten etc. sind zu selten, um hier besprochen zu werden.

z. B. Kohlenflötze, soll auch die unterirdische Verbreitung mitgezeichnet werden; alsdann wird der Raum angegeben, innerhalb dessen durch senkrechte Schachte oder Bohrlöcher das betreffende Gebirgsglied erreichbar ist.

Jedes Gebirgsglied wird gegen andere durch Flächen begrenzt, deren etwaige Durchschnitte mit der Erdoberfläche als geognostische Grenzlinien erscheinen.

Diese Grenzlinien sind oft nur zum kleinsten Teile „aufgeschlossen“, d. h. unmittelbarer Beobachtung zugänglich. Nicht die Grenzlinien allein, auch die Flächen, welche die Gebirgsglieder einnehmen, sind gewöhnlich verdeckt. Rasen und andere Vegetationsmassen, die mannigfaltigen Zersetzungs- und Verwitterungsprodukte, die sich nur selten leicht dem Ungeübten als zu bestimmten Gebirgsgliedern gehörig zu erkennen geben, organisches und anorganisches Trümmermaterial, das den Boden überschottet und oft gleichsam pflastert, oft genug auch die Reste menschlicher Thätigkeit verhüllen den geologischen Bau. — Soweit die Bedeckung nicht durch ein darzustellendes Gebirgsglied erfolgt, muss die Karte Grenzlinien zeigen, die also zum Teil durch Wahrscheinlichkeitsschlüsse ermittelt sind.

Die Grenzflächen je zweier Gebirgsglieder sind mannigfaltig gestaltet und diese Mannigfaltigkeit muss sich im Bilde der Grenzlinien widerspiegeln. So verschiedenartig aber auch die Grenzflächen geformt sind, so werden doch auf grössere oder kleinere Strecken hin dieselben als Ebenen betrachtet werden dürfen, wie ja die Mathematik Kugeloberflächen und andere noch minder einfache Flächen als aus unzähligen ebenen Teilen zusammengesetzt berechnet. Die Grenzflächen, bezüglich die als Ebenen aufzufassenden grösseren oder kleineren Teile derselben sind nun entweder söhlig (horizontal), oder saiger¹⁾ (vertikal), oder sie befinden sich in einer geneigten Lage.

1) In der Bergmannssprache heisst saiger nicht nur eine vertikale Ebene, sondern auch solche, die von 90 bis etwa 75° geneigt sind. Ebenen zwischen 75 und 45° nennt der Bergmann „donlägig“ oder „tonnlägig“, solche von 45° bis 15° „flachfallende“, von 15° bis zu horizontalen „schwebende“.

Alsdann sind massgebend 1) die Abweichung der Lage der Grenzebene von einer Horizontalebene oder das Fallen (Einfallen, Verfläichen, die Neigung), und 2) die Richtung der Durchschnittslinie beider Ebenen (also die Richtung der Horizontallinien in der Grenzebene): das Streichen.

Fallen und Streichen werden bei geognostischen Beobachtungen häufig an den Grenzflächen der Gebirgs-glieder oder an Parallelfächen dazu (Schichtungsklüften, Absonderungsfugen etc.) gemessen¹⁾. Hierzu dient in der Regel ein Kompass mit dem Klinometer, einem Pendelinstrumente. Das auf den magnetischen Meridian bezogene Streichen nennt man das „observirte“ (Str. obs.), während das auf den wahren (astronomischen) Meridian bezogene Streichen das „berechnete“ heisst (Str. ber.). Das Fallen entspricht dem Winkel, welchen eine in der Horizontalebene senkrecht zur Streichungsrichtung stehende Linie mit einer in der Grenzfläche zur Streichungsrichtung Senkrechten bildet.

Einige bei der Entwerfung wie bei der Benutzung geognostischer Karten häufig vorkommende Aufgaben sollen hier kurz angefügt werden, wobei wir die Darstellung des Bodenreliefs durch Isohypsen gegeben annehmen.

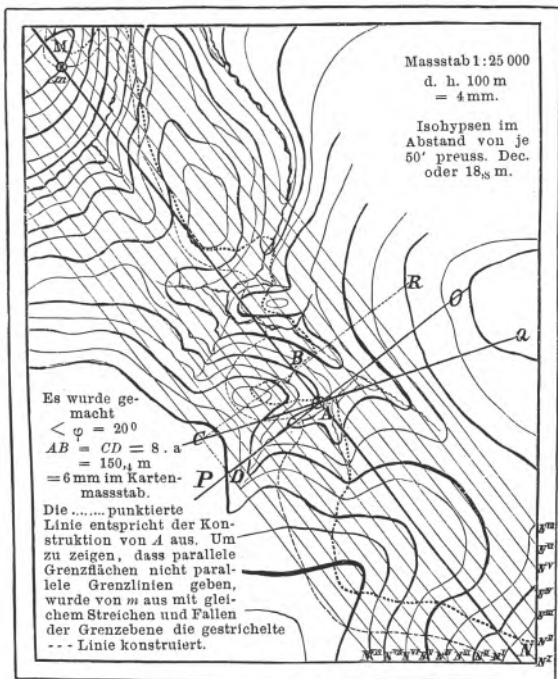
I. Wir kennen Streichen und Fallen einer als Ebene zu betrachtenden geognostischen Grenze und haben die Linie zu zeichnen, welche diese Grenze auf einem unebenen Boden bildet, wenn ein Punkt *A* gegeben ist, an welchem die betr. Grenze eine der Isohypsen der Karte schneidet.

Man trage das bekannte Streichen durch die Linie *MAN* in die Karte ein, lege eine Senkrechte zu *MN*, *PAO*, durch *A*, welche so bezeichnet werden soll, dass *P* an der Seite liege, nach welcher die

¹⁾ Zuweilen sind indirekte Bestimmungen wichtig, z. B. die Messung der Stellung von säulenförmigen Absonderungsstücken erkalteter vulkanischer Gesteine, weil die betr. Säulen senkrecht zu den Abkühlungsflächen sich bilden. Der bergmännische Kompass ist oft noch, anknüpfend an die Sonnenuhren, in 12 Stunden (und diese in Achtel oder Sechzehntel) geteilt. Magnetische Nordrichtung heisst Stunde oder hora 12 (mitternächtiges Streichen). — Magnetische Ost-Westrichtung (h. 6) wird stellenweise Mittagsrichtung genannt, weil h. 3. (NO — SW obs.) Morgenrichtung und h. 9 (NW — SO obs.) Abendrichtung genannt werden. H. 12, h. 3, h. 6, h. 9 sind „Wechselstunden“. Hieran reihen sich noch andere Bezeichnungen; so heissen in Sachsen Gänge, welche zwischen h. 12 u. h. 3 streichen: „stehende Gänge“ und zwar „tiefstreichende“, wenn ihre Richtung näher h. 12, „hochstreichende“, wenn dieselbe näher h. 3 ist. Gänge zwischen h. 3 und h. 6 sind „Morgengänge“, zwischen h. 6 und h. 9 „Spätgänge“, zwischen h. 9 und h. 12 „flache Gänge“ etc.

Grenzfläche ansteigt, O nach der, wohin diese Fläche fällt. Man trage auf AM ein Stück AB auf, das im Massstabe der Karte n mal so gross ist, als der einfache Isohypsenabstand; ziehe durch B eine Parallele zu PO ; mache den Winkel PAC gleich dem gegebenen Fallwinkel; teile AC in n Teile; ziehe in den Teilungs-

Fig. 6.



punkten gleichweit abstehende Parallelen zu MN , und in gleichen Abständen solche Parallelen auch auf der Seite nach O hin. Nun sind die Durchschnittspunkte der ersten Isohypse über A mit der ersten Parallele gegen $C N'$, auch die der zu ermittelnden Grenzfläche mit dieser Isohypse, die der zweiten Isohypse über A mit

der zweiten Parallele gegen $C N''$ entsprechen der Berührung der Grenzfläche mit dieser Isohypse etc. Ähnlich sind der Reihe nach die Durchschnitte der gegen O liegenden Parallelen N_1 etc. mit den Isohypsen unter A die Berührungspunkte derselben mit der Grenzfläche. Verbindet man die betr. Durchschnittspunkte untereinander, so zeichnet man die gesuchte Linie.

Beweis: Wir machten $AB = CD = n \cdot a$, wenn a den Wert des Isohypsenabstandes angiebt. Wir haben $DAE = ACB = \varphi$, dem gegebenen Fallwinkel gemacht; und es ist

$$AB = CD = n a = AC \sin \varphi.$$

$$BC = AD = \quad = AC \cos \varphi.$$

Denken wir uns nun die Linie $PDAO$ als eine senkrecht zum Streichen gerichtete Durchschnittslinie durch die Horizontalfäche, welche durch die A berührende Isohypse dargestellt ist, so würde CAQ die in der Falllinie durchschnittenene, als Linie projicierte Grenzebene sein, die Linie CBR eine gleichfalls als Linie projicierte Isohypsenebene, welche um $n a$ höher liegt, als die Isohypse in A . CD würde die als Linie projicierte vertikale Ebene sein, welche von der Berührungslinie der Grenzfläche mit der oberen Isohypsenebene auf die untere gerichtet ist. Nur in dieser Vertikalebene gelegene Punkte der oberen, in der Ebene CBR gegebenen Isohypsenlinie können den Durchschnitten der Grenzebene CAQ mit dieser Isohypse angehören.

Was von den Linien gilt, welche auf $AB = n a$ bezogen sind, hat natürlich auch Geltung für die in der Konstruktion gegebenen Teile derselben (solche direkt abzugreifen ist praktisch meist schwer, weil die Isohypsen in möglichst geringen Abständen gezogen werden, AB also nach Berechnung aufgetragen wird, AC als Diagonale lässt sich am bequemsten teilen). Auf vielen Isohypsenkarten sind für eine Anzahl von Neigungswinkeln und für den Höhenschichtenabstand der Karten sogenannte Böschungsmassstäbe aufgetragen. Mittels dieser wird man in der Regel ohne weitläufige Konstruktion die Grenzlinien eintragen können. Man zieht die Streichungslinie MAN , trägt an eine Seite eines rechtwinkligen Kartonblattes

Fig. 7.

10b.
9b.
8b.
7b.
6b.
5b.
4b.
3b.
2b.
1b.

1b = Böschungsdistanz für 20° beim Kartenmassstabe 1:25 000 und einem Höhenschichten-Abstande von 50' prs. Dec. = 18,8 m.

Vielfache der dem beobachteten Fallwinkel der Schichten entsprechenden Böschungsdistanz auf, verschiebt die andere Seite an der Linie MN , bis die erste über A gelegene Isohypse von dem

auf MN rechtwinkligen Schenkel im Abstände b , die zweite im Abstände $2b$ getroffen wird etc.

Es bedarf nach dem Dargelegten keiner Erörterung, wie man von der Isohypsenkarte ohne weitere Angabe das Streichen durch Verbindung zweier Durchschnitte einer Isohypse mit einer Grenzlinie und das Fallen durch die Ermittlung der Entfernung von je zwei so gewonnenen Streichungslinien abliest. Erhält man dabei zwei nicht parallele Streichungslinien, so ist die Grenzfläche als eine unebene aufgezeichnet, die Aufsuchung der etwa als Ebenen zu betrachtenden Teile der Begrenzungsfläche wird dann eventuell vorzunehmen sein, wenn man nicht Anlass hat, mittels verwickelter Konstruktionen die Gestalt der Grenzfläche als eine cylindrische etc. zu erweisen.

Aus dem bisher Besprochenen ergibt sich ferner:

1) Eine saigere Grenzfläche erscheint als gerade Linie auf der Karte, welcherlei Krümmungen auch die Isohypsen bilden.

2) Horizontale Grenzflächen laufen den Isohypsen parallel.

3) Geneigte Grenzflächen bleiben den Isohypsen parallel, soweit diese in der Streichungsrichtung der Grenze verlaufen, sie schneiden dieselben im übrigen.

6) Grenzlinien, welche eine quer gegen ein Thal verlaufende Grenze darstellen, bilden im Thale nach unten, am Berghange nach oben konvexe Bögen, wenn das Einfallen nach derselben Richtung geht, wohin das Wasser fliesst und steiler als die Thalsole ist:

7) Ist das Einfallen der Grenze dem Fließen des Wassers entgegengerichtet, so beschreibt die Grenzlinie im Thal nach oben, am Berghang nach unten konvexe Bögen, die Bögen im Thale sind kürzer als die Isohypsenkurven.

8) Aehnliche gerichtete aber im Thale schmale und spitze¹⁾ Bögen zeigt eine Grenzlinie, welche einer zwar in der Richtung des Fließens der Gewässer aber schwächer als die Thalsole geneigten Grenzfläche angehört.

9) Zwei einander parallele Grenzflächen werden auf der Karte nur da parallele Linien darstellen, wo die Isohypsen gleichfalls parallel sind; andernfalls verschmälert und verbreitert sich der Zwischenraum zwischen beiden je nach der Böschung und Weltrichtung der Gehänge und nach der Neigung und dem Streichen der Grenzebenen. So kann es kommen, dass zwei einander äusserst naheliegende Grenzen, wo sie einem Berghange oder einem Thalboden gleichlaufen, dort sehr weit auseinander rücken und weite Flächen zwischen sich einschliessen, während zwei parallele, weit auseinander liegende Grenzflächen an Steilhängen dicht nebeneinander gelegene Grenzlinien zeigen können.

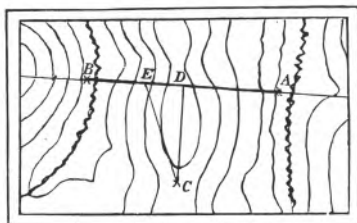
II. Oft weiss man, dass auf einem gegebenen Raume eine geognostische Grenzfläche als eine Ebene betrachtet werden kann, man will aus der bekannten Lage von drei Punkten der Grenz-

1) Welche längere Bogenlinien als die Isohypsenbögen darstellen.

fläche Streichen und Fallen derselben bestimmen. Es sind drei Fälle möglich:

a) Liegen alle drei Punkte auf einer Isohypse, d. h. in gleicher Meereshöhe, so ist die Grenzfläche eine Horizontalebene, die Grenzlinien müssen wie die Isohypsen verlaufen.

Fig. 8.



Massstab: 1 : 25 000 Isohypsen von 100' pr. Dec. = 37,66 m.

b) Liegen zwei der Punkte, *A* und *B* der Grenzfläche, in gleicher Meereshöhe, der dritte *C* höher oder tiefer, so bezeichnet eine Linie *AB* die Streichungslinie der Grenzfläche und aus einem Perpendikel *CD* auf *AB* oder dessen Verlängerung bestimmt sich das Einfallen, indem *CD* auf der Karte abgemessen wird (oder geodätisch berechnet) und aus der bekannten Höhendifferenz = *a* zwischen *C* und *AB* sich die Gleichung ergibt $CD \cdot \tan x = a$ oder

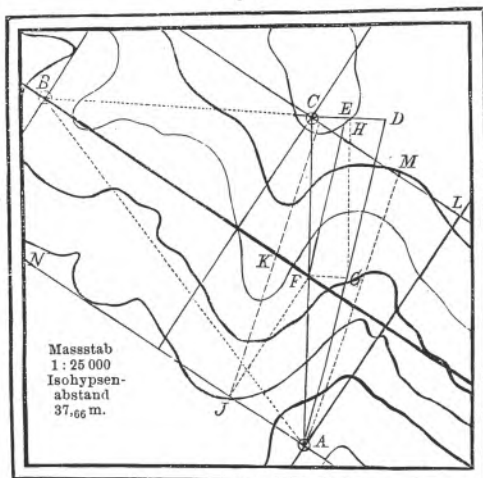
$$\tan x = \frac{a}{CD}.$$

Graphisch bestimmt sich der Fallwinkel, wenn wir im Massstabe der Karte auf die Linie *AB* oder deren Verlängerung von *D* aus *DE* = *a* abschneiden, als der Winkel *DCE*.

c) Liegen die drei Punkte in ungleicher Meereshöhe, so verbinden wir den niedrigsten *A* mit dem höchsten *C* durch eine Gerade *AC*; setzen daran auf der dem Punkte *B* entgegengesetzten Seite ein Perpendikel *CD* von der Länge des Höhenunterschiedes zwischen *A* und *C* (= *a*); schneiden von *D* aus darauf die Länge *DE* gleich dem Höhenunterschiede zwischen *A* und *B* (= *b*) ab und ziehen die Parallellinien *AD* und *FE*. *AC* wird in *F* geschnitten, einem Punkte, der in gleicher absoluter Höhe liegt wie *B*, es giebt also *BF* das Streichen an, und aus dem Dreiecke *ABF* oder *CBF* lässt sich wie in dem sub b) betrachteten Falle das Verflachen der Grenze bestimmen. Die einfachste Konstruktion dafür ist, dass man von *F* auf *AN*, eine Parallele zu *BF*, das Perpendikel *FJ* fälle; *FK* = *FG* = *b* mache, wobei *K* ein Punkt der Linie *FB* ist. *FJK* ist der gesuchte Fallwinkel.

Beweis: Weil $CD \perp AC$; CD = der Höhendifferenz a ; DE = der Höhendifferenz b , und $FE \parallel AD$, so wird weiter, wenn wir $FG \perp AC$, d. h. $\parallel CD$ ziehen, und $GH \parallel AC$: $CH = FG = ED = b$ (nach dem Satze von den Parallelogrammen von gleicher Grundlinie und Höhe).

Fig. 9.



ABC ist der Grundriss der Karte, ACD stellt den Aufriss einer durch AC gelegten senkrechten Ebene dar, welche einem Durchschnitte der Horizontalebene durch A , mit einer Vertikalebene in der Linie BC und mit der Grenzebene entspricht. Der Punkt G ist demnach als ein in F' auf der Horizontalebene durch A projizierter Punkt der Grenzebene zu betrachten, welcher in der Höhe $DE = b$ über der fraglichen Horizontalebene liegt. FB ist also das Kartenbild einer Horizontalinie, die der durch A gelegten Horizontalebene parallel ist, d. h. die Streichungslinie.

FJK ist der Aufriss einer senkrechten Ebene, welche in *FJ* von der Horizontalebene durch *A*, in *FK* durch eine in der Streichungslinie *BF* stehende Vertikalebene, in *KJ* durch die Grenzebene geschnitten wird; also ist *FJK* der Fallwinkel.

Derselbe kann auch durch LAM ermittelt werden, wenn wir $CML // BF$ ziehen und von A das Perpendikel AL darauf zeichnen, dann LM die Grösse $a = CD$ geben.

Rechnungsmässig ergibt sich aus der Aehnlichkeit der Dreiecke ACD und AFG :

$$CD : CA = FG : FA \text{ , oder } a : CA = b : FA.$$

$$a \cdot FA = CA \cdot b \text{ d. h. } FA = CA \frac{b}{a} \left(\text{ oder } FC = CA \left(1 - \frac{b}{a} \right) \right).$$

Da nun

$$FJ = FA \cdot \sin FAJ = CA \cdot \frac{b}{a} \sin FAJ$$

und

$$\tan KJF \cdot FJ = b \text{ oder } \tan KJF = \frac{b}{FJ},$$

so ist die Tangente des Fallwinkels

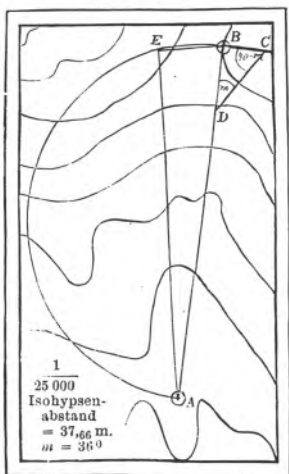
$$= \tan KJF = \frac{b}{CA \cdot \sin FAJ \cdot \frac{b}{a}} = \frac{a}{CA \cdot \sin FAJ} = \left(\frac{a}{CA \cdot \cos CAL} \right),$$

Die angegebene Konstruktion lässt sich nach und nach für je drei von einer ganzen Anzahl von Grenzpunkten anwenden und ergibt dann, wie weit die Grenzfläche eine Ebene ist, bezüglich ob sich eine regelmässige Fläche irgend einer Art aus den Aufschlüssen für die betreffende Grenze berechnen lässt.

III. Praktisch nützlich kann zuweilen eine an das Besprochene sich anschliessende annähernde Bestimmung einer Streichungslinie sein. Oft begeht man einen nur geringen Fehler, wenn man für zwei Aufschlusspunkte, die nur eine ungefähre Messung der Fallrichtung und des Fallwinkels — oder gar nur eine Schätzung dieser Elemente — gestatten, gleiches Streichen und Fallen, sowie Ebenheit der Grenzflächen annimmt.

Man verbinde die beiden Grenzpunkte A und B durch eine Gerade, schlage nach der Seite derselben, wohin die Grenzfläche einfällt, einen Halbkreis, errichte auf der entgegengesetzten Seite an dem höchstgelegenen (B) der Punkte ein Perpendikel von der Länge ($BC = a$) des Höhenunterschiedes zwischen A und B . — An BC setze man in C den Winkel, welcher den Fallwinkel m zu 90° ergänzt, so dass der Schenkel CD die Linie AB schneide. Wird nun von B aus auf dem Halbkreise eine Sehne von der Länge BD

Fig. 10.



abgeschnitten, so dass $BE = BD$ wird, so ist AE das gesuchte Streichen.

Beweis: Aus der Konstruktion folgt, dass im rechtwinkligen Dreiecke BCD mit $BC = a$ ist: $a = BD \cdot \tan m$, oder $BD = \frac{a}{\tan m}$.

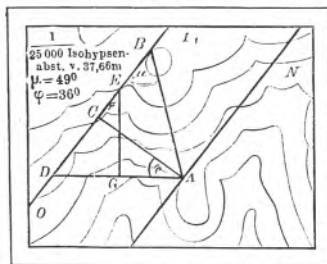
Dies Dreieck ist also der Aufriss einer Vertikalebene, in der die Falllinie liegt (d. h. der Durchschnitt der Grenzebene mit einer senkrechten Ebene, welche zugleich auf der Streichungslinie senkrecht steht).

Um den Wert BD muss in der Kartenebene (Horizontalebene) die Streichungslinie, welche A berührt, von B entfernt bleiben. Winkel BEA ist als Winkel im Halbkreise ein Rechter, also die Linie AE , in der Horizontalebene von B um den Wert BD entfernt, die Streichungslinie, in der der Punkt A gelegen ist.

IV. Kennen wir Streichen und Fallen einer ebenen Grenzfläche, in welcher ein seiner Höhe nach bekannter Punkt A der Karte liegt und ist ferner nach Lage und Höhe (bezüglich Höhenunterschied gegen A) ein Punkt B gegeben, so lässt sich die Länge einer auf der Grenzfläche senkrechten Linie, welche B erreicht, bestimmen; also ermittelt man die Mächtigkeit einer Gesteinsmasse, welche zwischen der Grenzfläche und B gelegen sein kann.

Die Konstruktion wird für verschiedene Fälle verschieden, es kann nämlich I. das Einfallen von A nach B gehen oder II. von B gegen A gerichtet sein. In jeder der beiden Modalitäten kann weiter 1) B höher liegen als A . — 2) B niedriger sein als A . — Wiederum kann der Punkt B entweder (a) über der Grenzfläche sich befinden, oder (b) unter derselben liegen. Es sind also 6 Fälle in der Konstruktion, im Rechnungswerte 3 Formeln zu unterscheiden, von denen wir hier nur eine Konstruktion und eine Formel genauer ausführen wollen, indem wir auf die anderen kursorisch hinweisen.

Fig. 11.



I. 1. Es liege B um a höher als A , die Grenzfläche falle von A gegen B um φ Grade, und das Streichen sei von der Linie AB um μ Grade verschieden.

Wir ziehen die beiden Streichungslinien AN und BO und die dazu senkrechte Linie AC , welche der Kartenprojektion der Fallrichtung entspricht. Legen wir nun gegen O hin an AC in A den Winkel $\varphi = CAD$, tragen an CB gegen B hin die Länge $CE = a$ auf und fällen von E auf DA das Perpendikel EG , so entspricht dieses dem gesuchten Perpendikel von B auf die Grenzfläche, von der A ein Punkt ist.

Beweis: Denken wir uns CA als den durch eine Linie projicierten Schnitt der Horizontalebene durch A , so sind BO und AN die gleichfalls in Linienform projicierten B und A einschliessenden Vertikalebenen in der Streichungsrichtung der Grenzfläche, welche selbst als AD sich projiciert. Der Punkt E ist die Projektion einer Streichungslinie BO , welche um $CE = a$ höher in der durch B gelegten Vertikalebene liegt, als die in C gleichfalls punktförmig projicierte, in derselben Vertikalebene gelegene Streichungslinie, welche in der Horizontalebene durch A sich befindet. $ECDGA$ darf daher als der Aufriss einer senkrechten Ebene in der Fallrichtung durch CA aufgefasst werden.

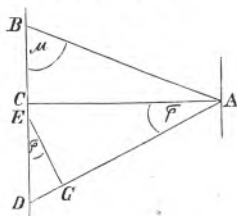
Nummehr ist auch EG das in seiner ganzen Länge linear projicierte Lot von B auf die Grenzebene.

Es wird rechnungsmässig, weil der Winkel DEG des rechtwinkligen Dreieckes DEG gleich $\angle DAC = \angle \varphi$ ist:

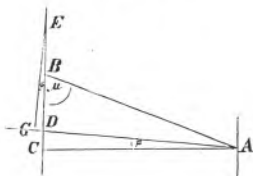
$$\begin{aligned} EG &= ED \cdot \cos \varphi \\ ED &= EC + CD = a + CD \\ CD &= AC \tan \varphi \\ \hline EG &= (a + AC \tan \varphi) \cos \varphi \text{ oder} \\ EG &= a \cos \varphi + AC \sin \varphi \\ AC &= AB \cdot \sin \mu \\ \hline EG &= a \cos \varphi + AB \sin \mu \cdot \sin \varphi \end{aligned}$$

II 1. a. Ist B höher als A , und zugleich höher als die von A gegen B hin ansteigende Grenzfläche, so ergibt die Konstruktion eine andere Formel für die Rechnung.

I. 2. a. Fig. 14.



II. 1. a. Fig. 12.

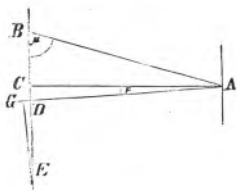


Man lasse den Winkel φ von A aus über AC ansteigen und trage von C aus auf BO wiederum $CE = a$ auf. Das Perpendikel

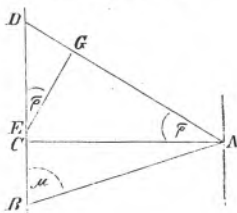
EG fällt ausserhalb der Parallelen und weil $ED = a - CD$, so wird die Formel $EG = a \cdot \cos \varphi - AB \sin \mu \cdot \sin \varphi$.

II. 1. b. Es liegt B höher als A , jedoch unter der von A gegen B ansteigenden Grenzfläche. Man trägt ebenfalls $< \varphi$ über AC an A auf. E liegt unter D , also ist $ED = CD - a$ folglich $EG = AB \cdot \sin \mu \cdot \sin \varphi - a \cos \varphi$.

I. 2. b. Fig. 15.



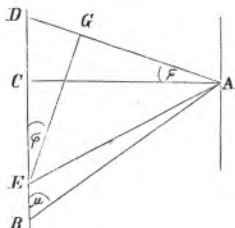
II. 1. b. Fig. 13.



I. 2. a. B unter A , aber über der von A gegen B geneigten Grenzfläche giebt dieselbe Formel wie II. 1. b, nämlich $EG = AB \sin \mu \cdot \sin \varphi - a \cos \varphi$.

I. 2. b. B tiefer als A und tiefer als die Grenzfläche giebt die Formel wie II. 1. a, also $EG = a \cos \varphi - AB \cdot \sin \mu \cdot \sin \varphi$.

II. 2. Fig. 16.



II. 2. B tiefer als A bei einer von A gegen B ansteigenden Grenzfläche giebt wie I. 1. die Formel $EG = a \cos \varphi + AB \cdot \sin \mu \cdot \sin \varphi$.

Haben wir uns auch darauf beschränkt, die einfachsten Verhältnisse hier zu besprechen, so folgt aus den gegebenen Darlegungen, dass auf einer guten geologischen

Karte mit einer genauen¹⁾ Höhenschichtenkarte als Unterlage die sofortige Bestimmung aller Einzelheiten des geologischen Baues bezüglich der im Massstabe der Karte darstellbaren und an der Oberfläche der Erde hervortretenden Gebirgsglieder gegeben ist. Jede andere bildliche Darstellung ist überflüssig, wenn die Karte den angegebenen Anforderungen entspricht.

Der Massstab der Karten gebietet eine Beschränkung in der Anwendung der kartographischen Darstellung. Im Massstabe der geologischen Specialkarten vieler Länder 1 : 25 000 entspricht 1 mm einer Länge von 25 m; es wird also schon bei diesem Massstabe unmöglich, einen Raum von 1 Ar auf einer gedruckten Karte, deren Papier dem „Ziehen“ ausgesetzt ist, richtig darzustellen; ein Zeichen, das einen geologischen Körper von 1 a Fläche darstellen will, muss, um erkennbar zu bleiben, vergrössert dargestellt werden, wie man ja auch Wege etc. in vielfältigster Breite zeichnet.

Für bergmännische oder agronomische Zwecke kann es daher, wie für Wegebau etc. unerlässlich werden, auf grösseren Massstab überzugehen, in welchem geologische Karten nicht veröffentlicht werden können, weil sie alsdann weder genügenden Absatz finden, noch höheres allgemeines Interesse haben könnten.

Sehr oft ist es erwünscht, einen kleineren Massstab als den der geologischen Specialkarten anzuwenden und Uebersichtskarten herzustellen oder auch schematische Karten zu liefern. Bei ersteren soll unterdrückt werden, was für den Gebirgsbau unwesentlich erscheint und was seiner Grösse nach nicht darstellbar ist, sonst soll das Bild ein thunlichst getreues werden.

Die schematische Karte will die Grundzüge des Baues

¹⁾ Noch existieren kaum irgendwo topographisch so richtige Karten, dass sie für geologische Specialkartierung eine völlig ausreichende Grundlage gewähren. Wo der aufnehmende Geolog nicht imstande ist, seine Unterlage genügend zu berichtigen, wird er ein wenigstens schematisch richtiges Bild liefern, indem er die geologischen Abteilungen so begrenzt, wie sie begrenzt sein würden, falls die topographische Grundlage naturgetreu wäre. Die geologische Eintragung wird nur da unmöglich, wo die Karte ein Bodenrelief zeichnet, welches im Widerspruche zum geologischen Bau steht, wo z. B. der kartierende Geograph in seinen Aufzeichnungen rechts und links verwechselt hat etc.

einer Gegend veranschaulichen, ohne für Einzelheiten Bürgschaft zu übernehmen: sie zählt und misst nicht, sondern sie schätzt. (Sind z. B. in einer Gegend Basaltkuppen auf jurassischer Unterlage vorhanden, so wird die Specialdarstellung jede Kuppe genau auftragen; die Uebersichtskarte wird alle auf der Kartenunterlage ihrer Grösse nach darstellbaren Basalte zeichnen; die schematische Karte begnügt sich, einige der Kuppen anzudeuten.)

Ausser den geologischen Karten, welche alle darstellbaren Gebirgsglieder angeben, sind häufig „abgedeckte“ Karten gefertigt worden, die besonders früher üblich waren. Bei diesen „abgedeckten“ Karten wird eine mehr oder minder grosse Zahl oberflächlich verbreiteter Gebirgsglieder ganz weggelassen, wobei meist aber die topographische Grundlage nicht der Abtragung entsprechend umgezeichnet wird.

Die älteste geologische¹⁾ Karte, die ausgeführt wurde, ist die vom ostthüringischen Bergvorlande mit einem Teile des südlich ausschliessenden Gebirges, welche Füchsel 1761 mit seiner mehrfach citierten Abhandlung veröffentlichte. Das Blatt ist nicht nach dem Gradnetze orientiert und trägt einen ähnlichen Charakter wie jene ältesten geographischen Karten, die noch die Entwicklung aus den Landschaftsbildern der Aussichten von hohen Bergen aus andeuten. Der Verfasser unterschied damals für jene Gegend 9 „Gebirge“ (*series montanæ*) und 6 „Unterlager“ (*series statuminis*), ferner noch ein „fundamentum serierum, veteris terræ lapidosa superficies“: Grundgebirge oder Ganggebirge (Lehmann), also 16 geognostische Abteilungen.

Nach Füchsel hat besonders Charpentier sich im vorigen Jahrhundert um die geologische Kartierung verdient gemacht, doch war sein Zweck und der vieler seiner Nachfolger besonders der Herstellung von „petrographischen“ Karten gewidmet.

¹⁾ Guettard hat schon vor Füchsel geologisch wichtige Dinge auf Karten eingetragen, welche jedoch nicht so bestimmt als Füchsels Blatt die Verbreitung der Gebirgsglieder darstellen, mehr als Mittelglieder zwischen petrographischen und pedologischen Karten gelten können.

Erst in den letzten Jahrzehnten ist allseitig der grosse Nutzen geologischer Karten erkannt worden und noch immer zeigt sich bei sehr vielen Gelegenheiten, wie viele Tausende Behörden, Gesellschaften und Private bei der Anlage von Eisenbahnen und anderen Strassen, von Bergwerken, von Brunnen etc. etc. vergeuden, wenn keine geologischen Aufnahmen den technischen Anlagen vorhergehen. Daher ist von fast allen Kulturstaaen eine geologische Landesaufnahme und Veröffentlichung der geologischen Karten angeordnet worden; es sind sehr bedeutende Arbeiten derart jetzt im Gange, deren nützliche Rückwirkung auf die Wissenschaft sich auch fühlbar macht, indem manche Fragen jetzt, seit wir die Thatsachen besser kennen, ihrer Lösung näher rücken.

Geologische Profile (Durchschnitte, Aufrisse) wollen die räumliche Anordnung der Massen der Erdrinde so veranschaulichen, wie dieselben sich in einem senkrechten Durchschnitte durch einen Teil der Erd feste gruppiert zeigen würden. — Da nirgends ein solcher senkrechter Durchschnitt in einigermassen beträchtlicher Grösse beobachtet werden kann, enthält jedes Profil eine Menge von hypothetischen Eintragungen, nur selten wird ein irgendwie bedeutender Teil der Darstellung ganz sicher aufgezeichnet sein.

Trotz dieses hypothetischen Charakters sind die Profile sehr beliebt, denn die Ueberlagerung und das Nebeneinanderstehen der Massen treten für den weniger Geübten klarer hervor als auf den Karten, die ohne eindringendes Studium nicht gelesen werden können. Im Profile vermögen wir auf relativ kleinem Raume die Grundzüge des Baues grösserer Landstriche anzugeben, also mit einem kleinen Aufrisse eine grössere schematische Karte zu ersetzen. Auch kennzeichnen sich dabei die Abweichungen der geognostischen Grenzflächen von der Horizontalität und von gleichförmiger Neigung sehr scharf.

Die Durchschnitte werden in bestimmten Profillinien, die man auf den Karten anzugeben pflegt, gelegt. Bisweilen zeichnet man längs gebrochener oder gar gekrümmter Profillinien (Flussläufe, Wege etc.). In letz-

terem Falle ist es zweckmässig, auch auf dem Profile selbst die Biegungsstellen oder Brechungsstellen durch Vertikallinien anzudeuten. Wenn auf grössere Strecken ein Aufriss ganz gleichmässige geologische Verhältnisse zeigt, empfiehlt es sich, die Stücke, welche kein besonderes Interesse darbieten, ausfallen zu lassen. —

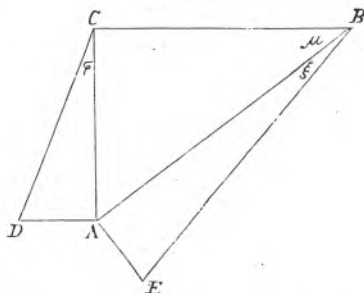
Auch in den Durchschnitten erscheinen alle Grenzflächen als Linien; Stellen, wo die Profilebene mit einer Grenzfläche zusammenfällt, müssten die Grenzflächen als solche dargestellt zeigen, d. h. als flächenhaft erscheinende Grenzlinien schwarz; man vermeidet daher wo möglich solche Partien im Aufrisse zu zeichnen.

Am klarsten sind Durchschnitte, welche das Streichen der Grenzflächen rechtwinkelig (d. h. in den Fallrichtungen) durchschneiden, auf denen also der Fallwinkel aller Grenzlinien mit dem der Grenzflächen gleich ist.

Schneidet die Profilinie das Streichen schiefwinkelig, so sind alle Fallwinkel des Profiles veränderte und die beiden beifolgenden Konstruktionen zeigen, dass die Veränderungen ganz gleichmässig erfolgen, wie auch das Fallen gerichtet sei.

Heisst der Winkel zwischen Streichungsrichtung BC

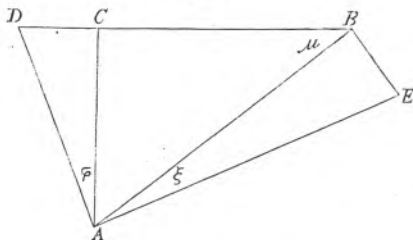
Fig. 17.



und Profilrichtung μ , der wahre Fallwinkel der Grenzfläche φ , der veränderte Fallwinkel ξ , und sind uns zwei

in einer Horizontalebene gelegene Punkte der Profillinie, A und B gegeben, so kann das Fallen von A nach B oder von B nach A gerichtet sein.

Fig. 18.



Wir machen die Linie $AC \perp BC$, legen dieselbe also in die Richtung des Fallens der Grenzfläche und errichten auf AB und AC Perpendikel (nämlich in A , wenn die Grenze von A nach B einfällt, in B und in C , wenn das Fallen von B nach A geht). Wir machen nun CAD bezüglich ACD gleich φ , und AE (bezüglich BE) gleich AD (bez. BD) so ist $\xi = BAE$ (bez. ABE) der gesuchte veränderte Winkel.

Rechnungsmässig findet man Fig. 17:

$$AD = AC \cdot \tan \varphi = AE = AB \cdot \tan \xi$$

$$AC = AB \cdot \sin \mu.$$

$$\text{also } AB \cdot \sin \mu \cdot \tan \varphi = AB \cdot \tan \xi$$

$$\sin \mu \cdot \tan \varphi = \tan \xi$$

Für Figur 18:

$$CD = AC \cdot \tan \varphi = BE = AB \tan \xi$$

$$AC = AB \cdot \sin \mu.$$

$$\text{also } AB \cdot \sin \mu \cdot \tan \varphi = AB \cdot \tan \xi$$

$$\sin \mu \cdot \tan \varphi = \tan \xi.$$

Eine Unsitte muss es genannt werden, dass viele geologische Profile die Höhen in anderem Massstabe als die Längen gezeichnet darbieten, wodurch Zerrbilder, Karikaturen, entstehen, die sich aber nur zu leicht nicht nur dem Auge, sondern auch dem Gedächtnis einprägen

und falsche Vorstellungen wecken. Bei bestimmten Aufgaben der Praxis kann es zweckmässig erscheinen, das Bodenrelief in die Höhe gezerzt zu zeichnen (z. B. für Wasserbauten, Wegeanlagen etc.). Für wissenschaftliche Darstellungen sind Profile mit gleichem Massstabe von Höhe und Länge die Geeignetesten. — Jede „Ueberhöhung“ der Relieflinien muss bei etwaiger Anwendung der karrierten Zeichnungen auch eine Umrechnung bez. Umzeichnung aller Grenzlinien des geologischen Profiles nach gleichem Verhältnisse¹⁾ mit sich ziehen. Hierbei werden aber Grenzflächen mit ihren verschiedenen Neigungen sehr verschiedene Winkelveränderungen erleiden müssen. Daher kann das Verständnis eines Profiles, falls nicht vollkommene Aufschlüsse zu Grunde gelegen haben, bei Anwendung der Ueberhöhung sehr erschwert werden. Auch kann es vorkommen, dass der Zeichner vergisst, die Einfallswinkel zu vergrössern und zu ganz falscher Auffassung von den gegenseitigen Beziehungen verschiedener Gebirgsglieder gelangt, wenn er nur an einzelnen Punkten seiner Profillinie Gebirgsglieder zu beobachten vermag.

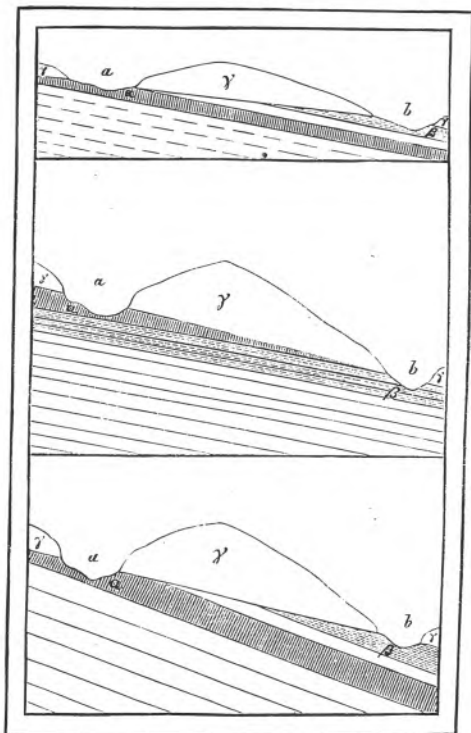
In Fig. 19 ist *A* das richtige Profil durch dreierlei Gebirgsglieder, von denen das obere γ eine nach *b* schwach geneigte untere Grenzfläche besitzt, während die beiden unteren β und α durch eine nach *b* steiler einfallende Grenzfläche getrennt sind, zu welcher parallele Ebenen bei *a* und bei *b* gemessen werden können; α ist evident unter β gelagert, α aber nur im Thale *a*, β nur im Thale *b* sichtbar.

Der Zeichner wendet Ueberhöhung durch Verdoppelung der Höhe an, vergisst aber, während er für die Masse γ der Oberflächenaufschlüsse wegen die Grenze richtig legt, für α und β die Neigungswinkel zu ver-

1) Wird die Höhe verändert, so geschieht diese Veränderung nach dem Verhältnisse der Tangenten der Böschungs- und Neigungswinkel. Es wird also bei 10maliger Ueberhöhung aus einem Winkel von 1° ein solcher von etwas über 10° , aus einem Winkel von 10° einer von mehr als 60° , aus einem von 20° einer von fast 75° , aus einem von 30° einer von ca. 80° , aus einem von 40° einer von 83° , aus einem von 50° einer von ca. $85^\circ 12'$, aus einem von 60° einer von ca. $86^\circ 40'$, aus einem von 70° einer von fast 88° , aus einem von 80° ein Winkel von fast 89° .

ändern und kommt so zu der Vorstellung, dass β ein unter α gelagertes Gebirgsglied sei (Fig. B).

Fig. 19.



Durch entsprechende Vergrößerung der Neigungswinkel wird im karrierten Profile Fig. c das richtige Lagerungsverhältnis erkennbar.

Geognostische Landschaftsbilder. Für die Darstellung von Teilen geotektonischen Einzelmassen und

für die Abbildung einfacher Lagerungsverhältnisse bei gleichmässiger Gestaltung des Bodenreliefs sind geognostische Landschaftsbilder unübertrefflich. Die Abhängigkeit der Berg- und Felsgestaltung von dem geotektonischen Bau kann auf Karten nicht so deutlich hervortreten als auf der Landschaftszeichnung. Selbst eine skizzenhaft ausgeführte Zeichnung wirkt oft sehr zur Verdeutlichung, wenn das Geognostische nur richtig hervorgehoben ist, was in vielen Beziehungen besser und klarer durch Farbentöne als durch Schraffur geschieht. Oft kann eine gewöhnliche Bergzeichnung oder eine Photographie schon genügen, um geologische Verhältnisse deutlich zu machen, zuweilen aber sind eingehende Studien nötig, um ein Bild zu erklären, und in solchen Fällen ist der Karte oder dem Profil der Vorzug zu geben.

Formen und Begrenzungen der geotektonischen Einzelmassen.

Die überwiegend grosse Mehrzahl der bekannten Einzelmassen ist in der Form von Schichten vorhanden; drei andere Kategorien von Einzelmassen: die Stöcke (Massive, Lagermassen, Decken), die Ströme und die Gänge treten meistens sehr zurück.

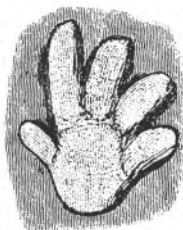
Schichten¹⁾ sind Einzelmassen, deren horizontale Verbreitung in allen Richtungen bedeutend ist im Gegensatz zur vertikalen Dimension oder „Mächtigkeit“. Meistens machen uns die Schichten den Eindruck tafelförmiger, wie die Blätter eines Buches übereinander liegender Massen. Eigentlich sind oder waren die meisten Schichten flache Ellipsoide, weil sie an den Grenzen ihrer Flächenausbreitung geringere Mächtigkeit als in der Mitte zu haben pflegen, sich „auskeilen“, wie man sagt. Ein weniger gebräuchliches Synonym für Schicht ist „Lage“. „Lager“ werden manche besonders wichtige Schichten bisweilen genannt. „Bänke“ nennt man durch harte

¹⁾ „Schichten des Gesteins sind die durch gleichlaufende Klüfte in mehr oder weniger starke, gleichlaufende, plattenförmige Massen voneinander getrennten gleichartigen Gebirgsmassen“. Werner, Neue Theorie von der Entstehung der Gänge (1791) S. 2.

Gesteinsbeschaffenheit oder durch besondere Mächtigkeit ausgezeichnete Schichten. „Flötze“¹⁾ sind durch die Massenbeschaffenheit von den umgebenden Schichten abweichende, bergmännisch nutzbare Schichten. „Mittel“ oder „Zwischenmittel“ heisst ein untergeordneter, eingeschalteter, ungleichartiger, horizontal nicht allzueng begrenzter Teil eines Flötzes oder einer Schicht (gewissermassen eine Schicht in der Schicht). Der Ausdruck „Besteg“ bedeutet einen dünnplattigen, zwischen Schichten gelegenen Mineral- oder Gesteinskörper.

Nach oben (dem Hangenden) und nach unten (dem „Liegenden“) sind die Schichten durch Schichtungsflächen oder Schichtungsklüfte begrenzt, die selten eine ganz ebene Fläche darbieten, gewöhnlich eine eigentümliche Beschaffenheit zeigen. (Wellenspur, sog. Schlangenwülste, Bewegungsspuren von Tieren, Pflanzen oder von Tierüberresten und von Steinen, — Hervorragen von organischen Resten oder von andern nicht vollkommen in das Schichtenmaterial aufgenommenen Körpern und verschiedene andere mehr lokal auftretende Erscheinungen, z. B. Steinsalzkrystall-Ausgüsse etc.)

Fig. 20.



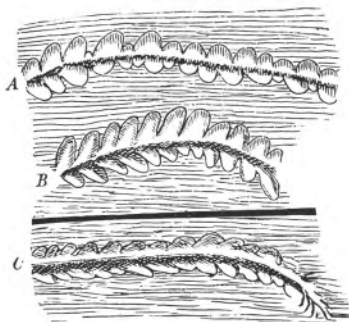
$\frac{1}{1}$
Bewegungsspur von Tieren.
Fährte aus dem Buntsand-
stein von Bernburg, viel-
leicht zu Trematosaurus
Braunii Meyer gehörend.

Innerhalb der Schichten bemerken wir nicht selten das Vorkommen von Absonderungen und Ablösungen, durch welche die Schichten in kleinere mehr oder minder regelmässige Stücke geteilt sind. Zuweilen den Schichtflächen parallel, laufen die Absonderungen sehr viel häufiger in ganz anderer Richtung, immer aber lässt sich erkennen, dass dieselben sehr viel später entstanden sind als die Schichtklüfte. Die sogenannte „falsche oder transversale Schieferung“ und die stengelige oder griffelartige

¹⁾ „Venae dilatatae“ Agricola de re metallica lib. II. 1540.

Absonderung sind besonders häufig beschrieben worden. Unter ersterem Worte versteht man das durch Druck-

Fig. 21.



$$\frac{1}{1}$$

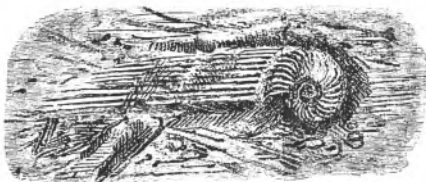
Bewegungsspuren von Tieren.

A und B. Stücken von „Nereiten“ aus den unterdevonischen Schiefen des östlichen Thüringen (Steinach).

C Fährte des *Corophium longicorne* Fabr., eines wandernden Gammariden (Amphipodenkrebses) der in den nordeuropäischen Meeren lebt. Nach Nathorst. K. Svenska Vet. Akad. Handl. Bd. 18. 1881.

erscheinungen bewirkte Zerfallen oder die Teilbarkeit von Schichten in plattenförmige, den Schichtungsklüften

Fig. 22.



$$\frac{1}{1}$$

Bewegungspur einer Molluskenschale.

Die Bewegung eines Gehäusestückes von *Ammonites angulatus* Schlotheim hat einen scharfrippigen, einem Pflanzenstengel ähnlichen, Abdruck erzeugt, welcher als 1–2 mm hoher Wulst auf der Unterfläche einer Sandsteinplatte neben einem Ausguss des Gehäuseabdruckes liegt.

Vom Seeberg bei Gotha.

nicht gleichlaufende Tafeln; unter letzterer Bezeichnung ist die Auflösbarkeit der Schichtenmasse in kleine vieleckige Säulchen zu verstehen. Bisweilen finden sich in den Schichten Streifungen und Zeichnungen, welche durch

Farbenverschiedenheit oder durch Massenverschiedenheit sich voneinander abheben, ohne aber Trennungsklüfte aufzuweisen. Färbungsstreifen sind bisweilen Folgen von Infiltrationen oder von Auslaugungen. Es konnten bei Bildung einzelner Schichten gewissermaßen Schichtungen im kleinen angedeutet werden, ohne dass die verschiedenen Partikel aufhörten, ein einheitliches Ganzes zusammenzusetzen.

Diese Verschiedenheiten innerhalb einer und derselben Schicht, welche eine allmähliche Zusammenfügung des Schichtenmaterials andeuten und nicht selten Zeugnis davon geben, dass während der Bildung einer Schicht

Fig. 24.

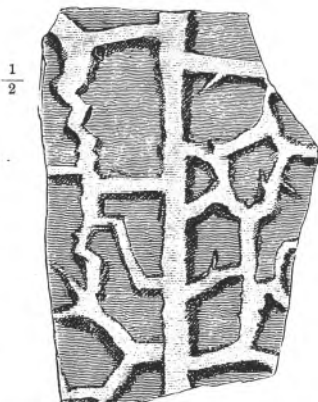


Aussuss von Formen im liegenden Thon durch Sandstein.

Würfelförmige Steinsalzkrystalle sind aus dem Thon aufgelöst worden, deren Formen haben zum Teil schon Verschiebungen erlitten, ehe der Sandstein die Hohlformen ausfüllte.

Aus Sandstein des „mittleren Muschelkalk“ von Trier.

Fig. 23.



Aussuss von Formen im liegenden Thon durch Sandstein.

Trockenrisse im Thon, welche bis 10 mm breit und bis 8 mm tief waren, sind durch Sandsteinwülste an der Unterfläche der Schicht erhalten worden. — Aus Buntsandstein bei Hildburghausen.

schon Teile derselben wieder zerstört und von einer etwas

anderen Stelle als vorher wieder dem Absatze zugefügt werden, finden sich besonders oft bei Konglomeraten, Sandsteinen und Sanden, bei Thonen, Schieferthonen und

Fig. 25.



Transversale Schieferung. Ein Stoss im Herrschaftlichen Schieferbruche in Lehesten (Culm-Dachschiefer). (1882.)

Thonschiefern, bei Glimmerschiefern und Gneissen, bei vulkanischen Tuffen etc. Die auffallendste der hierher gehörigen Erscheinungen nannte Naumann¹⁾ „diskordante Parallelstruktur“, Lyell²⁾ „diagonal or cross stratification“. Die nach und nach zum Absatz gelangten Teile einer Schicht bilden dabei Lagen oder Bänder, welche aneinander absetzen, einander schneiden und meist auch die Schichtoberfläche in mehr oder minder spitzem Winkel treffen.

Fig. 26.



$$\frac{1}{2}$$

Discordante Parallelstruktur (Buntsandstein von Nebra).

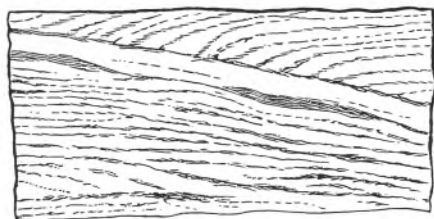
Weitaus die überwiegende Menge aller Schichten der Erdrinde ist mehr oder minder von anderen Schichten

¹⁾ Lehrbuch der Geognosie 2. Aufl. 1. Bd. S. 448.

²⁾ Elements of Geology 6. Aufl. 1865, S. 16.

und sonstigen Massen bedeckt und wird nur gelegentlich in den wechsellvollen, bandähnlich erscheinenden Berührungsstreifen mit der die Schichten durchschneidenden und in Stücken zerteilenden Erdoberfläche, welche das „Ausgehende“ darstellen, sichtbar. Manche Schichten sind am Ausgehenden von anderer Bedeckung überall

Fig. 27.


 $\frac{1}{1}$

Diskordante Parallelstruktur.

Gneis von Hühnerstock gegen Lagodei Sabione über Bedretto (St. Gotthardgebirge).

überlagert und, wenn überhaupt bekannt, nur durch unterirdische Aufschlüsse nachgewiesen. Beim Ausgehenden der Schichten unterscheidet man die „Schichtköpfe“, d. h. jene Stellen, wo fast nur die Mächtigkeit der Schichten zur Geltung kommt von den „Ausstrichen“, wo die Schichten sehr schräg von der Oberfläche geschnitten oder parallel ihren Schichtklüften freigelegt sind. Auf ebenem Boden zeigen deshalb nur steilstehende Schichten Schichtköpfe, an Gehängen sind jedoch zuweilen die Köpfe flachliegender Schichten sichtbar. Ausstriche aber beobachten wir in Ebenen nur von wenig geneigten Schichten, steilstehende aber können an Berghängen ihre Ausstriche, in Ebenen ihre Köpfe zeigen.

Stöcke oder Massive nennt man Einzelmassen von beträchtlicher Mächtigkeit, besonders solche, deren horizontale Verbreitung verhältnismässig gering ist. Nicht in allen Fällen lassen sich Stöcke von Schichten leicht und durchgreifend unterscheiden, zumal wenn im Innern eines Stockes die „diskordante Parallelstruktur“ sich geltend macht, oder wenn darin Absonderungen mit ungefähigem Parallelismus auftreten. — Sehr oft tritt die

v. Fritsch, Geologie.

Stockform nur dadurch hervor, dass die räumliche Verbreitung eines Stockes gegen die anderer darunter liegender und darüber gelagerter Einzelmassen, namentlich gegen die von Schichten im Liegenden des Stockes in auffallendem Gegensatz steht. Das Wesen des Stockes liegt in der örtlich beschränkten Wirksamkeit der Vorgänge, denen er sein Dasein verdankt, wie das Wesen der Schicht in der Raumverbreitung der Schichten erzeugenden Prozesse. Stöcke, welche in mässiger Mächtigkeit bestimmte Schichten überlagern oder auf grössere Strecken die Oberfläche des Bodens bilden, nennt man oft Decken, bei geringerer Oberflächenverbreitung und auffallenderer Mächtigkeit heissen an der Erdoberfläche aufragende Stöcke auch „Kuppen“ und „Kegel“, welcher letzterer Ausdruck häufig mit einem die Gesteinsbeschaffenheit oder die Entstehungsart ausdrückenden Worte verschmolzen wird (Schuttkegel, Schlackenkegel, Ausbruchkegel etc.). Stöcke von sehr geringer Grösse heissen wohl auch „Nester“. Vielfach sind von Stöcken nur noch unbedeutende Ueberreste erkennbar.

Bezüglich innerer Absonderungen und interner Massenverschiedenheiten stimmen manche stockförmige Gesteinskörper mit grossen Schichten überein; es treten aber weiterhin in vielen Stöcken eigentümliche Differenzierungen auf, z. B. auffallende Unterschiede der Kernmasse eines Stockes von der Rinden- oder Umhüllungsmasse desselben hinsichtlich der Gesteinszusammensetzung, der Struktur, der Absonderung etc. Auch die bei den Stöcken zuweilen vorkommenden „Ausläufer“ verhalten sich in dieser Hinsicht manchmal wie die Rindenpartien, die Kernmasse kann ihnen ganz fehlen.

Ströme sind Einzelmassen von beträchtlicher horizontaler Verbreitung nach einer Richtung im Gegensatze zu anderen Horizontaldimensionen und im Gegensatze zur Mächtigkeit. Ströme, deren Form man nicht in ihrer vollen Ausdehnung übersehen kann, erscheinen dem Beschauer bald wie Schichten, bald wie Stöcke. In einer von beiden Gestalten, seltener gleichzeitig in beiden, werden sie auch auf geologischen Karten darstellbar.

Nicht selten spalten, gabeln oder verästeln sich Ströme, oder bilden kleinere Ausläufer, auch können durch wiederholte Trennung und Vereinigung der Strommassen netzförmige Gestalten entstehen. Oertliche Ausbreitung macht

Fig. 28.



Neuere Lavenströme am Osthange des Pico de Teyde, Tenerife, vom Abhange des Guancho unter der Maja-Hochebene gesehen. √ Teyde. √ √ Mā. de las Cabras. √ √ √ Mā. blanca. * Rastrojos. ^ Rambleta.

Ströme schichtähnlicher, lokale Anschwellung dieselben mehr stockartig. Ein und derselbe Strom kann auch in verschiedene getrennte Teile sich sondern, die der räumlichen Gestaltung nach zuweilen sehr verschieden sind, wenn die Unterlage nicht überall ein Haften des Gesteins gestattet, und wenn die Gestaltung des Untergrundes eine besonders starke Zerklüftung einzelner Teile des Stromes bedingt hat.

Ströme werden gebildet durch Massen, welche in einer bestimmten Richtung sich bewegen. Diese Bewegung ist in der Regel die Folge des Zuges der Schwerkraft, dadurch erklären sich alle Eigentümlichkeiten der Gestaltung der Ströme, sobald wir die Natur der bewegten Massen, besonders deren Cohäsion und deren etwaigen Flüssigkeitszustand kennen und wenn wir mit der Reliefgestaltung der Unterlage bekannt sind.

Gänge¹⁾ sind Einzelmassen, welche Klüfte und Spalten anderer Gesteinskörper ausfüllen. Da die meisten Spalten und Klüfte quer durch die Gesteinskörper sich

¹⁾ Tales fissurae repletae constituunt sic dictas venas metallicas (Gänge). Fuchsel a. a. O. § 106, c. S. 132. „Noch genauer bestimmt man die Gänge, wenn man sagt, dass sie in den Gebirgen entstandene Spalte sind, die sich nach ihrer Entstehung mit verschiedenerlei von der Gebirgsmasse mehr oder weniger verschiedenen Fossilien angefüllt haben.“ Werner, Neue Theorie von der Entstehung der Gänge. — Freiberg 1791. S. 3. „Venae profundae“, Agricola.

bilden und zu den Oberflächen derselben nahezu senkrecht stehen, zeigen die Gänge in der Regel beträchtliche Längsausdehnung und erhebliches Eindringen in die Tiefe, bleiben aber verhältnismässig schmal. Dieses geringste Mass bestimmt statt der oft unbekannt bleibenden Ver-

Fig. 29.



Zahlreiche, meist basaltische Gesteinsgänge von 10 bis 150 cm Mächtigkeit. Die wenigen stärkeren Gänge gehören saureren Gesteinen an. Umwallung der Caldera de Taburiente auf Palma, beim Roque de los Muchachos.

tikaldimension die „Mächtigkeit“ eines Ganges. In der Regel erscheinen die Gänge als tafelförmige aufrechte

Fig. 30.

$$\frac{1}{100}.$$


Zwei doleritische Gänge durch zersetzten Basalt bei Agaete, Canaria.

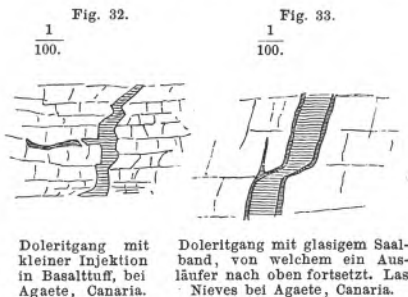
Fig. 31.

$$\frac{1}{100}.$$


Doleritischer Gang mit seitlichem Ausläufer in zersetztem Basaltuff bei Agaete, Canaria.

Gebirgsglieder, welche die Schichten, Ströme und Stöcke, auch wohl andere Gänge „durchsetzen“. In einzelnen

Fällen folgen Gänge auf grössere oder kleinere Strecken den Schichtungsklüften, oder den entsprechenden Fugen zwischen Strömen oder Stöcken. In solchem Falle reden wir von Injektionen¹⁾ (liegenden oder eingelagerten



Gängen), und können unter Umständen Mühe haben, solche von Schichten oder von Stöcken zu unterscheiden. Wie sich offene Spalten oft verzweigen, verästeln und gegenseitig durchsetzen oder durchkreuzen, so kommt das auch bei Gängen vor, für welche Erscheinungen die Bergmannssprache eine Reihe von besonderen Bezeichnungen hat. Hier mag nur daran erinnert werden, dass ein kleinerer und schmaler Gangteil Trum (Plural Trümer) genannt wird, dass manche der dünnsten Gänge Adern heissen.

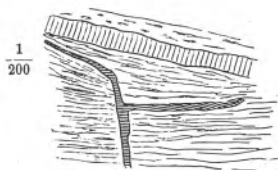
„Stockwerke“ „sind ganze mehr oder weniger weit erstreckte Stücke Gebirge, die von einer fast unzähligen Menge ganz schwacher kleiner Gänge meist nach allen Richtungen durchzogen sind oder durchschwärmt werden“ (Werner).

Während Schichten, Stöcke und Ströme übereinander (zuweilen, bei sogenannten Anlagerungen, neben-

¹⁾ Zu den Injektionen würden auch die mehr stockförmigen Massen zu zählen sein, welche Gilbert in seiner *Geology of the Henry Mountains U. S. Geogr. and Geol. Survey 1877* „Laccolites“ nennt (cf. Geikie, *Textbook of Geology* S. 546), wenn die betr. Stöcke wirklich jünger als ihr Hangendes sein sollten.

einander) liegen, derart, dass sich nur selten eine Injektion dazwischen vorfindet, sind die Gänge für gewöhnlich voneinander räumlich getrennt; nur bisweilen

Fig. 34.



Gang und Injektion (Basalt in Tuff).
Unter el Santo am Passe von Jinama,
Insel Hierro.

stehen sie mit anderen Gängen in Berührung, denen sie häufig nur auf kleinere Strecken sich anschliessen. Man nennt das Zusammenfügen getrennter Gänge das Anscharen derselben. Liegen bei der Anschabung ungleich mächtige Gänge nebeneinander, so sagt man, dass der stärkere den schwächeren

schleppe. Bisweilen kommt auch eine Durchdringung von Gängen vor, so dass der eine ganz oder teilweise

Fig. 35.



$\frac{1}{200}$

Fig. 36.



$\frac{1}{150}$

Gänge von Diabas im Syenit am Malpaso del Rio Palmas. Fuerteventura.
Am Stoss der Felswand sind die Spalten in getrennte Stücke geteilt.

von dem andern umschlossen ist. Da sehr oft die Massenteile, mit denen der Gang sein Nebengestein berührt: „die Saalbänder“, anders beschaffen sind als das Innere des Ganges, so ist es zuweilen schwer,

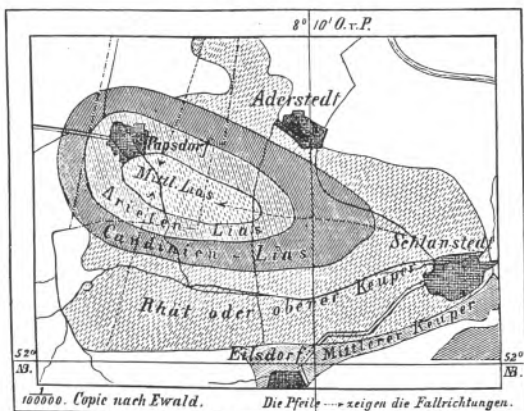
darüber klar zu werden, ob eine Durchdringung zweier Gänge wirklich stattgefunden hat, oder ob nur eine besonders starke Differenzierung von Gangkern und Saalbändern eingetreten ist. Gänge enthalten oft, und zwar besonders häufig nahe ihren Begrenzungen, Fragmente des Nebengesteines, welche mehr oder minder fest mit der Gangmasse verwachsen sind. Oft sind Gänge vom Nebengestein durch Gangklüfte getrennt, doch kommen zahlreiche Fälle innigster Verwachsung an den Grenzen vor, so dass zuweilen Handstücke geschlagen und formatisiert werden können, welche Gangmasse und Nebengestein zeigen.

Ursprüngliche oder natürliche und veränderte oder gestörte Lagerung der Schichten.

Wir haben oben schon angedeutet, dass das Wesen der Schichten darin begründet ist, dass die zur Schichtenbildung führenden Vorgänge sich über grössere Gebiete räumlich verbreiten. Es gehört erfahrungsmässig zur Entstehung der Schichten eine Flüssigkeit, aus welcher feste Teile allmählich niedersinken und Bodensätze (Sedimente) hervorbringen. In späteren Abschnitten werden wir sehen, dass unter den jetzigen physikalischen Verhältnissen des Erdballes die meisten Schichten aus dem Wasser, einige aus der Atmosphäre sich bilden. Aus dem Wasser werden sowohl chemisch aufgelöste Stoffe (oft unter Mitwirkung von Pflanzen und Tieren) niedergeschlagen, als mechanisch vom bewegten Wasser getragene oder geschobene Substanzen abgesetzt. Aus der Luft vermögen sich gegenwärtig nur mechanisch fortgeführte Teile in erheblicher Menge abzulagern. Die mechanischen Absätze spielen überall eine grosse Rolle; auch wo chemische Abscheidung bei der Sedimentbildung vorkommt, verhalten sich viele der Teilchen chemischen Ursprunges zunächst wie „schwebende“, das Sediment ist daher sehr oft anfangs weich, schlammartig. — Schlammartige Massen aber lagern sich nicht auf ansehnlich geböschter Unterlage gleichförmig ab. Daher sehen wir

eine söhlige ¹⁾ oder nahezu söhlige (horizontale) Lagerung der Schichten als die normale oder natürliche an, und müssen auch alle in erheblich geneigter Lage vorkommenden Schichten für unregelmässig gestellt halten. Die Ursache der Unregelmässigkeiten haben wir in bewegendenden Kräften zu suchen. Solche können die Schichten biegen, falten und zerreißen oder zerspalten und dann zuweilen die zerteilten Stücke gegeneinander verschieben.

Fig. 37.



Gerade Mulde (Synkline).

Der einfachste Fall einer Lagerungsstörung ist der, dass eine oder mehrere Schichten ganz oder zum Teil

¹⁾ Durch wörtlichen Abdruck aus Fuchsels mehrfach angeführter grundlegender Arbeit erinnern wir an die klare Darstellung des alten Meisters.

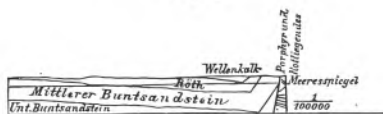
§ 46. Strata non nisi a fluidis, quae particulas terrestres continent, et ad fundum sub luti seu crystallorum forma delabi permittunt, secundum hodiernam experientiam producantur. § 47. Strata ex fluidis praecipitata, hinc primum mollia sunt et lutum constituunt, temporis vero successu demum duriora, vel lapidea fiunt; aut tanquam strata salina inter cristallisationem fiunt duriora nisi cristalli seorsum seponantur. — § 93. Strata ex luto fluitante molli (§ 47) non nisi in linea horizontali, aut inclinata, horizontali proxima, subsistunt, et hic decubitus dicendus est naturalis seu regularis. § 94. Decubitus magis inclinatus (§ 93), seu irregularem, strata nisi jam indurata sint, perferre nequeunt. § 95. Strata, inclinatione magna, ne dicam perpendiculari proxima procumbentia, a vi quodam movente, cum jam indurata (§ 94) fuerint, in talem irregularem decubitus debent esse redacta.

eine geneigte Stellung annehmen, so dass wir ein Streichen und Fallen derselben genau wahrnehmen können. Von der, jetzt veralteten Anschauung ausgehend, dass die bewegende Kraft in solchen Fällen vom Innern der Erde her einen Auftrieb bewirkt habe, hat sich der Name „aufgerichteter Schichten“ erhalten, und man redet auch wohl von „einseitiger Aufrichtung“.

Gewöhnlich bilden freilich diese „einseitig geneigten“ Schichten bei genauerer Untersuchung nur Teile von „Schichtenmulden“ oder von „Schichtensätteln“, diese selbst wieder Teile von „Falten“.

Schichten, welche von verschiedenen Seiten her nach einem Innenraume zu fallen, bilden eine „Mulde“ (Synklina). Ist das Streichen der Schicht dann in einem fast kreisförmigen Bogen verändert, so redet man, besonders bei wenig steil geneigten Schichten, auch von einem „Becken“. Bei den am häufigsten vorkommenden Mulden, den langgestreckten, denkt man sich die tiefsten Stellen der Oberfläche einer Schicht durch eine „Muldenlinie“ verbunden, welche die beiden „Seiten“ oder „Flügel“ voneinander trennt. Zuweilen „in geraden Mulden“ sind die Flügel zur Muldenlinie symmetrisch angeordnet und die Muldenlinien verschiedener Schichten liegen senkrecht übereinander; häufiger aber streicht auf der Erdoberfläche der „steilere“ Muldenflügel der Projektion der Muldenlinie näher aus als der „flachere“: die Mulde ist „schief“. Dabei projiziert sich bei den meisten Mulden

Fig. 38.



Schiefe Mulde. Triasglieder bei Halle a.S.

die Muldenlinie zwischen den Ausstrichen der Muldenflügel; bei „Cförmiger Schichtung oder umgekipptem, isoklinem Schichtenbau“ aber seitwärts neben den Ausstrichen beider Flügel; dann ist die Mulde eine „liegende“.

Schichten, welche von einem innern Raume nach verschiedenen Seiten abfallen, bilden einen „Sattel“ (eine

Fig. 39.



Liegende Mulde. Schema der mesozoischen
Schichten bei Harzburg. $\frac{1}{100\,000}$

Antikline), auch bei nahezu kreisförmiger Gestalt des Innenraumes und schwächerem Fallen „Gewölbe“ genannt.

Die höchsten Punkte der einzelnen sattelförmig liegenden Schichten denkt man sich durch die „Sattellinie“ verbunden, welche die „Flügel“ des Sattels scheidet. Wir haben auch hier symmetrische oder gerade, ungleichseitige oder schiefe und übergekippte oder liegende Sättel¹⁾.

Früher hegte man den Gedanken, dass gewöhnlich Mulden oder Becken von fast gleicher Grösse wie die jetzt sichtbaren dem Bildungsraume der betreffenden Schichten entsprochen hätten, dass also nur geringe Abtragungen von

Fig. 40.

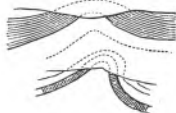


einmal abgelagerten Sedimenten eingetreten seien. Je genauer die Untersuchungen geführt worden sind, um so mehr

¹⁾ Es dürfte nicht überflüssig sein, hier daran zu erinnern, dass, wenn man keine kontinuierlichen Aufschlüsse hat, man sich leicht versucht halten kann, Teile eines Sattels oder einer Mulde für zerrissenen und verworfenen Massen angehörig zu halten, weil man sehr verschiedenes Einfallen wahrnimmt. Der Beobachter, welcher in A, A' steil geneigte, in B, B' sölhlige, in A'' wieder steile Schichtenstellung wahrnimmt, denke stets zuerst daran, dass einem Sattel und einer Mulde so verschieden gelagerte Teile zugehören! (Fig. 40.)

hat man erkannt, dass fast alle Mulden gleicher Schichten früher miteinander zusammengehangen haben, dass mithin die Muldenflügel gewöhnlich zugleich Sattelflügel waren. Weil aber jetzt Luft da sich befindet, wo früher die Sättel sich wölbten, redet man von „Luftsätteln“ der betreffenden Schichten. Unter solchen Luftsätteln findet man meist noch Sättel tiefer gelegener Schichten (Fig. 41).

Fig. 41.

Luftsättel.

Sobald zusammenhängende Schichten zugleich einen Sattel und eine Mulde bilden, reden wir von einer einfachen Schichtenfalte. Eine solche kann sich bisweilen mehrfach wiederholen, so erhalten wir Doppelfalten, dreifache Falten etc. Mit A. Escher von der Linth, bez. A. Heim unterscheiden wir zweckmässig bei einer einfachen Falte (Fig. 42): 1) den Muldenflügel (Mulden-

Fig. 42.

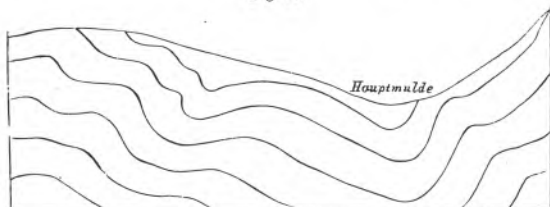


schenkel), welcher nur der Mulde angehört; 2) den Mittelflügel oder Mittelschenkel, welcher gemeinsam ist, und 3) den Sattelflügel oder Gewölbefflügel (Gewölbeschenkel), der nur dem Sattel angehört¹⁾. — Bei der Doppelfalte sind eigentlich 2 Muldenflügel oder 2 Sattelflügel und 4 Mittelflügel vorhanden, doch bezeichnet man am besten alle Glieder wie in einfachen Falten, mit Berücksichtigung des Umstandes, dass der Sattelschenkel der ersten an den Sattelschenkel der zweiten Falte stösst, wenn nicht der Muldenflügel der einen mit dem der anderen Falte zusammentrifft, u. s. f.

¹⁾ Hieran reiht sich die Bezeichnung der jüngeren in der Mulde einer Falte gelegenen Massen als Muldenkern, die der älteren unter dem Sattel eventuell entblösten als Sattel- oder Gewölbekern, und die entsprechenden Benennungen in Doppelfalten.

Bei mehrfachen Falten wird es häufig beobachtet, dass eine der Mulden oder einer der Sättel eine besonders starke Entwicklung erlangt und als Hauptmulde (tiefste M.), ev. Hauptsattel (höchster S.) gewissermassen das gesamte Faltensystem beherrscht (Fig. 43).

Fig. 43.



Eine überaus häufige Erscheinung unter den Lagerungsstörungen sind die Verschiebungen (Fig. 44) längs aufgerissener Spalten. Die Gesamtheit der hierher gehörigen Erscheinungen fassen wir unter dem Ausdrucke von Verwerfungen zusammen; in manchen Gegenden wird auch das dem Französischen entlehnte Wort Faille gebraucht; die Verwerfungsspalte heisst hier und da bergmännisch „die Gewand“. Greifen die Verschiebungen nur (an Berghängen etc.) in die obersten Teile der Elevationen des Bodens ein, so stellen sie Abrutschungen, Bergschlipfe, Falletschen dar.

Fig. 44.

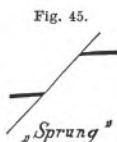


Verwerfungen der krystallinischen Schiefer, des Röthkalkes und der aufgelagerten Juraschichten im Kessel bei der unteren Sandalp.
Obs. 28, 8. 1864.

Wir finden zuweilen in söhligen oder fast söhligen Schichten Verwerfungen längs einfacher Klüfte. Ist dann

an der Spalte nur eine horizontale Verschiebung eingetreten, so bemerkt man eine solche an vielen Stellen kaum; durch eine horizontale Streifung¹⁾ der Spaltenwände ist gelegentlich in Steinbrüchen etc. eine Belegstelle für die Beobachtung sichtbar und auf der Erdoberfläche erscheinen etwa die Schichtengrenzlinien schwach geneigter Schichten etwas geknickt. Unendlich viel häufiger sind die Bewegungen längs der Klüfte (Verwerfer) so eingetreten, dass einerseits die Massen gleicher Art tiefer liegen als anderseits, woher wir den einen Teil den „gesunkenen“ nennen, seinen Raum als das „Senkungsfeld“ bezeichnen. Die Vertikalentfernung der Stücke gleicher Gebirgsglieder, welche die Kluft berühren, heisst die „Sprunghöhe“.

Die Häufigkeit der Verwerfungen und die vielfachen Schwierigkeiten, welche sie dem Bergbau bereiten, hat



eine Reihe von bergmännischen Bezeichnungen²⁾ für verschiedene Arten der Verwerfungen hervorgerufen. Dabei ist Rücksicht genommen auf die etwaige (selten vertikale, meist geneigte) Stellung des Verwerfers und auf das Lagenverhältnis der Gebirgsglieder (Flötze oder Gänge) zur Fallrichtung der Kluft, endlich auf die Art der Durchkreuzung von Gebirgsgliedern und Kluft. -- Ist von einem Gebirgsgliede derjenige Teil der gesunkene, nach welchem hin die Kluft einfällt, so ist die

1) Die Bildung sog. Rutschflächen, welche gewöhnlich eine eigentümliche Parallelstreifung und oft eine Art von Politur (Harnisch- oder Spiegelbildung) als Folge der gegenseitigen Reibung der Kluftwände aufweisen, ist an Verwerfungsspalten sehr häufig, so dass die Auffindung versteckter Verwerfungsspalten durch derartige Beobachtungen erleichtert werden kann. Aber kleine Massenverschiebungen, die man noch nicht als Verwerfungen bezeichnen mag, sollen stellenweise auch Rutschflächen erzeugen, daher das angeführte Kriterium noch nicht ausreicht, eine Verwerfung zu konstatieren.

2) Siehe Lottner-Serlo, Leitfaden der Bergbaukunde, I, 34 ff.

Verwerfung nach bergmännischem Ausdrucke ein „Sprung“ (Fig. 45); ist dagegen der gesunkene Teil jener, von welchem her die Kluft fällt, so redet der Bergmann von einem „Wechsel“ (Fig. 46), bei welchem meistens Teile eines und desselben Gebirgsgliedes senkrecht unter-, bez. übereinander zu liegen kommen und eine „Ueberschiebung“ hervorbringen.

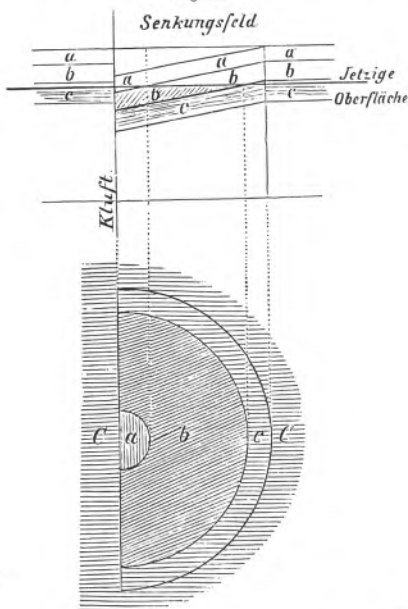
Während der Bergmann bei den Verwerfungen besondere Rücksicht auf ein ihm wichtiges Gebirgsglied nimmt, hat für den Geologen besonderes Interesse der Einfluss, welchen die Verwerfungen auf die Anordnung der verschiedenartigen Massen an der Erdoberfläche üben. Dabei kommt in Frage, dass wir vorzugsweise mit den Erscheinungen uns zu beschäftigen haben, welche durch Erdrindenbewegungen längst vergangener Jahrtausende hervorgerufen worden sind. Verwerfungen jungen Datums zeigen sich als solche orographisch durch mehr oder minder bedeutende Höhendifferenzen des gesunkenen Teiles neben dem anderen. Im Laufe der Jahrtausende werden diese Höhenunterschiede oft stark verändert, denn von der ehemaligen Oberfläche wird entweder ein grosser Teil abgetragen, oder es werden auf dieselbe neue Massen aufgehäuft. Die Abtragung geht nicht selten bis zur völligen Nivellierung, oder es wird, da der Grad der Massenwegführung von der Widerstandskraft der verschiedenen Gesteine gegen die Erosion abhängt, zuweilen der gesunkene Teil orographisch der höhere.

Um uns über die allgemeinen Beziehungen klar zu werden, nehmen wir im folgenden die Fälle als die Ausgangspunkte unserer Betrachtung, bei welchen eine Ausgleichung aller von der Verwerfungserscheinung als solcher abhängigen Höhenunterschiede eingetreten ist, bei denen man also die Erdoberfläche gewissermassen als abgehobelt ansehen kann.

Wir betrachten zunächst einfache Verwerfungen: Die Kluft erscheint als eine auf einer Horizontalfläche ganz oder nahezu gerade Linie, auf einem welligen Terrain als eine Kurve, bez. Schlangenlinie (s. oben). Es können zwei Fälle mit je zwei Modalitäten berück-

sichtigt werden: 1) Die Gebirgsglieder an einer Seite der Kluft sind ganz in der alten Stellung geblieben, während auf der andern Seite eine Senkung eintrat. An der gesunkenen Seite ist dadurch ein Teil einer Mulde gebildet, den wir bei einfachsten Verhältnissen uns als halbkreisförmig denken.

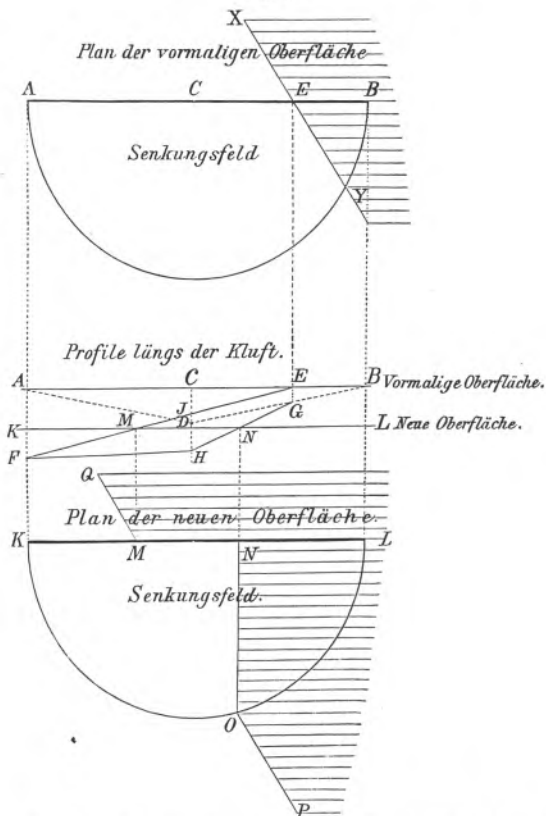
Fig. 47.



A. Liegen die Gebirgsglieder söhlig, so dass der gesunkene Halbkreis (das Senkungsfeld) mitten durch die Erstreckung von gleichartigen Gebirgsgliedern geht, so wird die oberste der vorhandenen Schichten im Centrum der Einsenkung liegen, begrenzt an der Kluft von tieferen Schichten, welche da, wo die Kluft an

beiden Seiten endigt, mit einer die Senkungsmittle umsäumenden Schicht zusammenhängen (Fig. 47).

Fig. 48.



B. Ist die gesunkene Fläche durch die Grenzen mehrerer Gebirgsglieder quer durchschnitten, so findet eine Brechung der Grenzlinien (eine Verschiebung der

Grenze ins Liegende für den gesunkenen Teil) an der Kluft statt, welche wir wie folgt schematisch darstellen können, indem wir die einfachsten Verhältnisse annehmen (Fig. 48).

Es sei AB die vormalige Oberfläche längs der Kluft, FE der Durchschnitt einer von B gegen A fallenden Grenzebene mit der als senkrecht gedachten Kluft (d. h. das wahre, oder, wie in unserer Figur, welche ein Streichen $X(E)Y$ annimmt, das in der Kluftichtung scheinbare Fallen der Grenze), und es sinke der Teil einerseits der Kluft so, dass der Punkt C mitten zwischen A und B um den Betrag CD tiefer zu liegen kommt als früher.

Wir stellen uns der Einfachheit wegen vor, dass jeder Punkt der Erdrinde auf der Strecke AB nach der Senkung genau senkrecht unter seiner früheren Stellung zu liegen komme und dass der Betrag der Senkung für jeden Punkt seiner Entfernung von C proportional sei; E sinke also auf den Punkt G der Linie BD herab. — Also ist der Punkt J der Grenze, senkrecht unter C um $CD = JH$ gesunken, während der Punkt F der Grenze, senkrecht unter A gelegen, seine Lage behalten hat. Die ebene Grenzfläche, in welcher E, J, F liegen, ist also durch die Senkung zur gekrümmten geworden, in welcher die Punkte G, H, F liegen; die Kurve dürfen wir aber durch die Linien GH und HF ersetzt annehmen.

Nun sei nach der Senkung eine neue Erdoberfläche KL , parallel der früheren¹⁾, gebildet worden. Auf dem stehen gebliebenen Teile trifft die Grenzfläche EF in M die neue Erdoberfläche, auf dem gesunkenen Teile aber im Punkte N .

Auf der Karte ist also die Grenze für den gesunkenen Teil nach der Seite hin verschoben, von wo die Schichten abfallen, oder nach bergmännisch-geognostischem Ausdrucke: ins Liegende der Schichten gerückt und zugleich

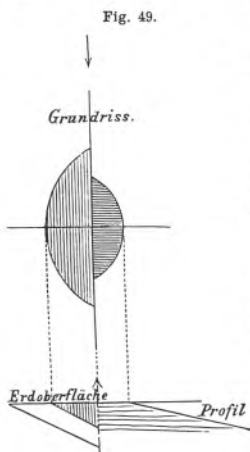
¹⁾ Eine neue Oberfläche, welche der früheren nicht parallel ist, kompliziert nur die Erklärung und die Figur, ohne dass sachlich die Verschiebung ins Liegende sich verändert.

v. Fritsch, Geologie.

eine gekrümmte oder gebrochene geworden, denn ausserhalb des Senkungsfeldes hat sie den nur durch das Streichen und Fallen bedingten Verlauf $QM \dots OP$, im Senkungsfelde aber geht sie von N nach O .

2) Während auf der einen Seite einer Kluft die Senkung eintritt, kann an der andern Hebung stattfinden, was durch entgegenwirkende Druckkräfte in der Richtung der Kluft bewirkt werden muss.

A. Bei ursprünglich söhligler Lagerung entsteht im Senkungsfelde eine halbe Mulde, wie unter 1) A. betrachtet wurde; im Hebungsfelde bildet sich in ganz entsprechender Weise ein halbes Gewölbe. Bei der späteren Abtragung der Erdoberfläche liegt unter ganz regelmässigen Verhältnissen das älteste Gebirgs-glied im Kerne des Gewölbes gerade neben dem jüngsten, dem Kerne der Mulde (Fig. 49).

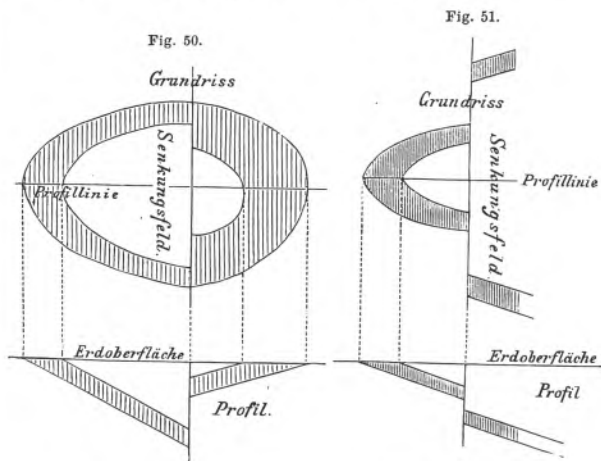


B. Kreuzen geognostische Grenzen die Erdoberfläche und die Kluft, so rückt im Senkungsfelde die Grenze ins Liegende, im Hebungsfelde dagegen ins Hängende, wie aus der eben gegebenen Ableitung durch einfache Betrachtung der Fig. 49 ersichtlich ist. Wir würden that-

sächlich in vielen Fällen, bei denen an der Erdoberfläche nur die Verrückung der Grenze in das Liegende der Schichten beobachtet wird, nicht ohne weiteres erkennen, ob einfache Senkung oder gleichzeitige Hebung und Senkung stattgefunden hat.

Aus den soeben besprochenen Verhältnissen geht unmittelbar hervor, dass eine Verwerfung, welche eine Falte schneidet, im Senkungsfelde eine Verbreiterung der Mulde (Fig. 50 u. 51) und eine Verschmälerung des Sattels der Falte zeigen muss, gegenüber der stehen

gebliebenen oder gehobenen Fläche, wo der Gewölbekern breiter, oft auch mehrgliederig, der Muldenkern schmaler und ärmer an etwaigen Gliedern ist.

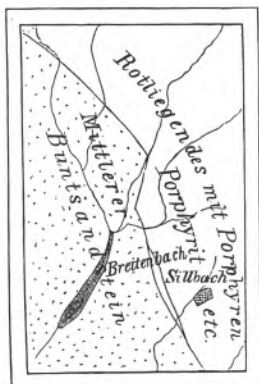


Die Verwerfungen treten sehr häufig gruppenweise und oft in grosser Menge auf. Wahrscheinlich ist die Hauptursache hiervon die, dass jede Senkung mit einer Volumveränderung Hand in Hand gehen muss. Ist in unserer obigen Figur 48 die Erdoberflächenlinie ACB zu ADB im Senkungsfelde geworden, so ist $AC^2 + CD^2 = AD^2$ oder allgemeiner $AC^2 + CB^2 + 2 CD^2 = AD^2 + DB^2$, wenn man C und D nicht gerade in der Mitte zwischen A und B annimmt. Der alten Erdoberfläche parallele Schichten würden ebenso räumlicher Vergrösserung bedürfen, wenn sie sich senken. Desgleichen würden wir finden $EJ < GH$ (weil im Trapez $EJHG$ ist: $JH > EG$ und $\angle EJH$ grösser als 90°). Dagegen ist HF (am stumpfen Winkel FHJ) stets kleiner als FJ ; es kann also $FE = FJ + JE$ doch grösser sein als $FH + HG$ (oder mit anderen Worten das Schrumpfen von

Schichten, welche die Erdoberfläche schneiden, kann einer Senkung der letzteren entsprechen).

Die Volumveränderungen der Schichtenmassen äussern sich offenbar nach verschiedenen Richtungen hin: wir werden Spaltung und Zerklüftung, Senkung und Verwerfung als damit zusammenhängende Erscheinungen auffassen dürfen und verstehen dann leicht, dass sehr oft mehrere Risse ¹⁾ gleichzeitig und im Zusammenhange

Fig. 52.



„Bajonettförmiges“ Einspringen eines Teiles der Hauptverwerfungskluft an der Südwestseite des Thüringer Waldes.

miteinander entstehen und dass längs eines jeden solchen Risses Massenverschiebungen stattfinden. Dadurch gleichen sich häufig die Volumänderungen aus und die Erde, welche bei dem ungeheuren Wirken der Schwerkraft offene Klüfte von erheblichem Umfang nicht dulden kann, schiebt ihre Rindenteile bruchstückweise zusammen, wo sie es nicht vermag, plastische Massen in die Spalten zu bringen.

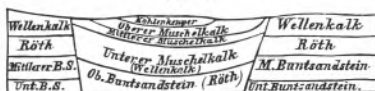
Wo Verwerfungen in grösserer Zahl beobachtet werden, sieht man bestimmte Formen von solchen und von ganzen Gruppen derselben oft wiederkehren. Besonders häufig ist es, dass eine Anzahl ganz oder nahezu pa-

ralleler Spalten sich vorfinden; oft ordnen sich diese so an, dass jüngere Gebirgsmassen gewissermassen wie in Gräben eingesenkt zwischen älteren liegen, oder man gelangt wiederholt, wenn man die Klüfte quer überschreitet, auf Bildungen von gleicher Altersfolge, indem

¹⁾ Es mag daran erinnert werden, dass Risse und Spalten im Mauerwerk sehr oft ähnliche gruppenweise Anordnung zeigen wie die Verwerfungsspalten der Erdrinde. Geringere Analogie der Form bemerken wir zuweilen auch bei Spalten im Holz, bei dem die Parallelzerreissung durch den Holzfaser-Verlauf bedingt zu sein pflegt.

die Stücken einer Schicht wie Stufen einer Treppe immer in gleichem Sinne in verschiedenem Niveau liegend zu denken sind. — Bisweilen sind auch Grabenverwerfungen

Fig. 53.



Profil der Grabenverwerfung bei Kühndorf (bei Meiningen) nach Frantzen.
1 : 25 000.

mit verschiedenen treppenartigen Stufen entwickelt. Verwerfungen von bedeutenderer Länge zeigen oft ein eigen- tümliches Einspringen oder Ausspringen: eine Bajonett- form (Fig. 52). Grosse Verwerfungsspalten endigen zu- weilen mit einer büschel- oder strahlenartigen Gruppe von kleineren.

Fig. 54.

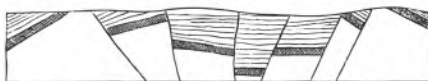


Treppenverwerfungen bei Göttern unweit Weimar. — Etwa $\frac{1}{5000}$, doch schema-
tisch gezeichnet.

A und A' oberer Muschelkalk.
B krystallinische Kalke des Kohlenkeupers.
C C' Kohlenbestege.
D¹, D², D³ Ockerdolomitbänke.

Auch kommen sehr mannigfaltige Durchkreuzungen von Verwerfungen vor, wobei oft kleine Gebirgsstücken zwischen zwei gegeneinander konkaven Spalten, oder zwischen je drei in Dreiecksform einander schneidenden Klüften selbständige Bewegungen durchgemacht haben.

Fig. 55.

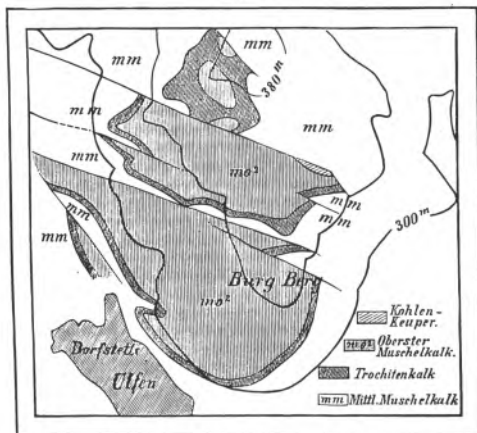


Schema der Verbindung von Grabenverwerfung mit Treppenverwerfung.

Die Figuren 53—58 bringen einige der häufigeren Erscheinungen zur Anschauung.

Die Karten zeigen oft auch Verwerfungskreuze, wo Längsspalten oder Längsspaltengruppen den Bau einer Gegend beherrschen. In grösseren Gebieten sieht man bestimmte Richtungen fast alle einzeln oder gruppenweise auftretenden Verwerfungen beherrschen. So tritt die Richtung SO bis NW (also im Mittel h. 10—9) im Bau der den Thüringer Wald nach zwei Seiten begrenzenden Verwerfungen, in den Massenverschiebungen an der Nordseite des Kyffhäusers und des Harzes und in den sehr

Fig. 56.



Parallelspalten am Burgberg bei Ulfen, Hessen (Treppenverwerfungen).
Kopie nach Moesta.

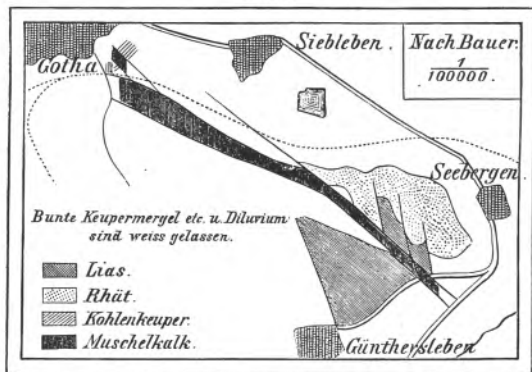
zahlreichen Verwerfungen im nördlichen Franken, im Thüringer Berglande, im Werragebiete etc. überall hervor, während vom Ohmgebirge und vom Leinethal unweit Göttingen über einen Teil des hessischen Berglandes, der Rhön und Unterfrankens fast alle bedeutenderen Verwerfungen mehr nordsüdlich (h. 11—12) verlaufen.

Bei sehr vielen Verwerfungen zeigt sich die eine Seite der Kluft lediglich als Senkungsfeld, die andere dagegen nur als stehen gebliebener oder gehobener Teil.

Indes kommen auch Verwerfungsklüfte vor, bei welchen eine förmliche entgegengesetzte Faltung auf beiden Seiten stattfindet: diese haben wie zwei entgegengesetzt schwingende, nebeneinander liegende Saiten eine middle Interferenzstelle, Wendestelle, oder einen Drehungspunkt, wo das gleiche Gebirgsglied beiderseits der Spalte ansteht. Fig. 59 (Profilschema) und 60.

Während Schichten durch Faltungsvorgänge aufgerichtet werden, müssen die gleichen Vorgänge auch Verwerfungsspalten aus ihrer mehr oder minder saigerten

Fig. 57.



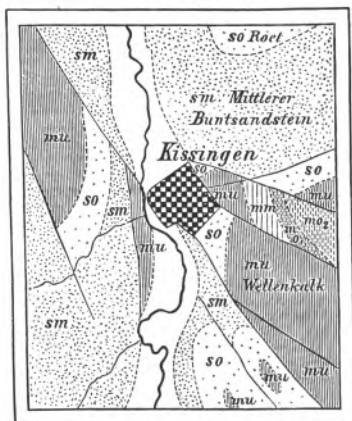
Verwerfungen am Seeberg bei Gotha.

in mehr oder weniger söhlige Lage bringen. Werden dann solche Landschaften von weiteren Verwerfungen betroffen, so können Lagerungsverhältnisse sich herausbilden, welche der Deutung einige Schwierigkeiten darbieten, wenn die älteren Verwerfungen durch jüngere ebenso streichende fast rechtwinkelig geschnitten werden.

Die Lagerungsverhältnisse der mutmasslich dem Lias angehörigen Gebirgsmassen zwischen den Centralmassiven des Finsteraarhornes und des St. Gotthard erheischen anscheinend die Erklärung durch eine Reihe von Vorgängen, bei denen nach Norden zu die verschiedenartigen

Massen sich senkten, oder von Süden her emporgeschoben wurden, während zuerst eine Verwerfung mit nach Süd gelegenen Senkungsfelde diese Liasschichten neben die Gneise etc. der Finsteraarhornmasse brachte, bis später,

Fig. 58.



Skizze einiger der Verwerfungen bei Kissingen.

1 : 50 000.

(mm Mittlerer Muschelkalk, mo₁ Trochitenkalk etc.,
mo₂ Sch. d. Amm. nodosus.)

nachdem die Senkung gegen Norden zugenommen hatte, eine zweite Verwerfung den Lias etc. zwischen die älteren (Finsteraarhorn-) Gneise und die jüngeren (Gotthard-

Fig. 59.

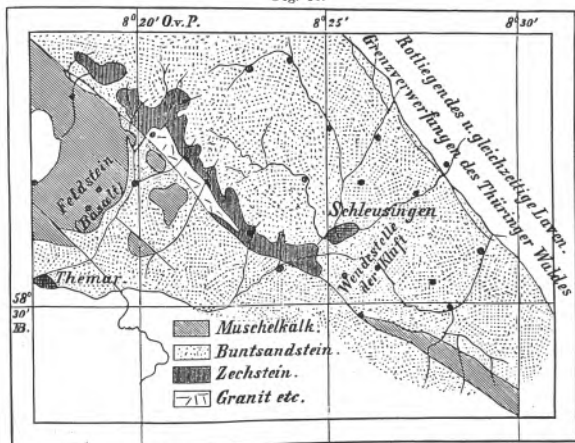


Die stärkere Linie deutet die Faltung auf einer Seite, die schwächere die auf der andern Seite der Kluft an.

gneise) einschob. Die hauptsächlichen Stadien dieser Vorgänge stellen die beifolgenden Profile Fig. 61 (1—5) schematisch dar, wobei des kleinen Massstabes wegen weder die Masse streng eingehalten, noch die „Casanna-

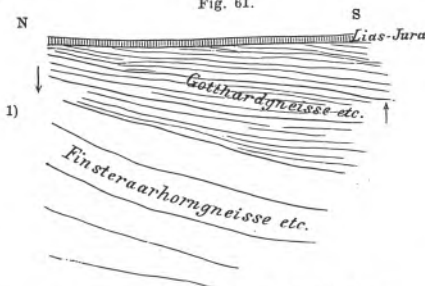
schiefer“ berücksichtigt, noch endlich die wenig auffallenden Verwerfungen neben den hauptsächlich dar-

Fig. 60.



gestellt sind. — Solche Erscheinungen mögen „schwebende Sprunggrenze“ heissen.

Fig. 61.

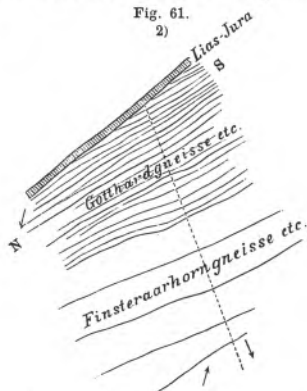


Faltung und Verwerfung (Wechsel) können in manchen Fällen als ineinander übergehende Erscheinungen gelten, wenn nämlich die Verwerfungen gleiches Streichen

wie die Sattel- und Muldenlinien von Falten haben. Es ist bisweilen in schiefen oder in liegenden Falten der

Fig. 61.

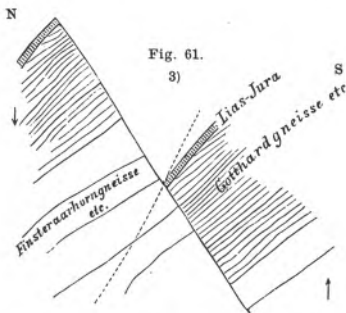
2)



Mittelschenkel ¹⁾, an welchem die Schwächung des Zusammenhaltes den höchsten Grad erreicht, wo also Ver-

Fig. 61.

3)



drückungen, Zerreißungen und Verwerfungen eintreten, ähnlich wie man an Gesteinshandstücken eine „falsche Schie-

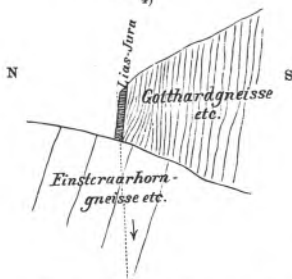
¹⁾ S. Heim, Mechanismus der Gebirgsbildung Atlas Tb. 15.

ferung“ im Mittelschenkel kleinster Falten hier und da bemerkt (Fig. 62).

Im allgemeinen sind die Verwerfungen auch dann den Faltungen sehr ähnlich, wenn im Senkungsfelde längs

Fig. 61.

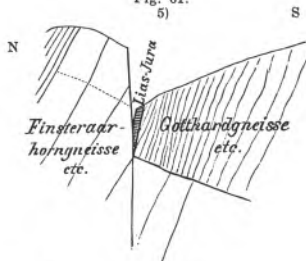
4)



der Kluft eine steile Schichtenstellung bei älteren Gliedern auftritt, die vielleicht als Folge eines Haftens der liegenden Massen an der Kluft gelten muss, und als eine der Formen des Ausgleiches der oben berührten Volum-

Fig. 61.

5)



veränderungen. So gibt es Stellen am Nordrande des Harzes und des Thüringer Waldes, für welche man mit fast gleichem Rechte von einer Faltung wie von einer Verwerfung reden kann, wenn man nicht die Gesamtheit der Erscheinung ins Auge fasst.

Gewisse Unregelmässigkeiten, welche mit der Kohäsion und der Plasticität einzelner Gebirgsglieder im Gegensatze zu benachbarten zusammenhängen, machen sich gleichmässig bei Faltungen und bei Verwerfungen

Fig. 62.



Falte mit Verdrückung am Mittelschenkel.
Schema nach Heim.

geltend; eine und dieselbe Kraft wirkt oft unverkennbar verschieden auf dem Material nach ungleiche Schichten, Stöcke etc. So finden nicht selten „Verdrückungen“ statt, durch welche weiche Gebirgsglieder an einzelnen Stellen

ganz oder bis auf geringe Reste von ihrem Platze verschwunden sind, während sie anderwärts mit sehr verworrener Schichtung, Quetschungsspuren etc. sich ungewöhnlich mächtig zeigen, in manchen Fällen in einer anomalen Stellung eingepresst auftreten. Der Steinkohlenbergbau hat eine Reihe hierher gehöriger Erscheinungen in ihren Einzelheiten kennen gelehrt.

Stellung und Lagerungsstörung von Strömen, Stöcken und Gängen.

Während die vollkommene oder ungefähre Horizontalität in dem Wesen der Schichten liegt und für dieselben eine normale Stellung oder eine Lagerungsstörung erkennen lässt, kann von einer Regel bei den anders gestalteten Gebirgsgliedern nicht in gleicher Weise die Rede sein. Stromförmige Gebirgsglieder, deren Wesen durch eine Massenbewegung in bestimmten Richtungen begründet ist, sind ja an eine geneigte Unterlage als ursprünglichen Untergrund gebunden, aber der Grad dieser Neigung kann ein sehr wechselnder sein, sogar an ein und demselben Strome wechseln (Fig. 63). Ströme können z. B. an steilen Klippen unterbrochen erscheinen, als sei eine Verwerfung eingetreten. Es ist eine ursprüngliche Neigung zwischen wenigen Minuten und über vierzig Graden an Lavenströmen — den häufigsten der strom-

förmigen Gebirgsglieder — wahrgenommen worden. Kommen Reihen von Strömen in noch steilerer Stellung vor, so wird man auf eine Lagerungsstörung schliessen können, ebenso wenn man in der Längsrichtung der Ströme bedeutende Mulden oder Sättel mit Ueberhöhung über die Hauptmasse des Stromes, oder mit Eintiefung unter diese wahrnimmt. Ist man aber auf die Beobachtung von Strömen beschränkt, so können doch recht bedeutende Lagerungsstörungen verkannt werden. Glücklicherweise geben die Schichten, welche nur selten im Gebiete von Gesteinsströmen ganz in den Hintergrund treten, meist einen Anhalt.

Fig. 63.



Lavastrom e, e', e'' unterbrochen abgelagert an einer Meeresklippe. a Ausbruchskegel von der Brandung halb zerstört, während die Lavaströme b, c, d und zwischenliegende Tuffe sich bildeten. — Strom e hinterliess am Steilhange nur das Stück e'.

Noch weniger sind Stöcke geeignet, über ursprüngliche oder gestörte Lagerung Aufschluss zu gewähren, wenn nicht Schichten mit ihnen im Lagerungsverbande sich befinden, die den Bau bestimmt erkennen lassen. Denn die Stöcke sind von Natur vielgestaltig, ihre Oberfläche ist nur selten der Unterfläche und etwaigen inneren Absonderungsflächen parallel.

Bei Gängen gibt gleichfalls nur entweder eine Verwerfung oder die Betrachtung mitvorkommender Schichten Klarheit über die Ursprünglichkeit der Stellung oder etwa eingetretene Lagerungsstörung.

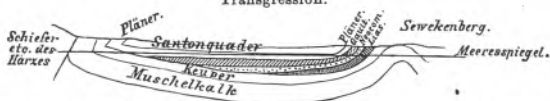
Gleichförmigkeit und Ungleichförmigkeit der Lagerung.

Gesteinsmassen, welche in gleichem Bildungsraume entstehen, sowie solche, die nacheinander in Teilen eines

Bildungsraumes zur Ablagerung gelangen, stimmen in ihrer Lagerung miteinander überein, wenn nicht die älteren Gesteinskörper vor der Entstehung der neuen Lagerungsstörungen erfahren haben. Je grösser der betreffende Bildungsraum, um so vollkommener ist die Gleichheit der Lagerung der entstandenen Schichten. Unbedeutende Verschiedenheiten kommen natürlich immer vor, denn die Massenzufuhr kann ja unmöglich alle Stellen gleichmässig berühren.

Wir nennen solche Massen gleichförmig oder konkordant gelagerte, deren Grenzflächen einander ungefähr parallel laufen, die also auf Karten nur jene Abweichungen vom Parallelismus der Grenzlinien wahrnehmen lassen, die von dem Bodenrelief und der Lagerung abhängen.

Fig. 64.
Transgression.



Schichten des Lias, der Neocomquader und Gaultquader, sowie der Pläner übergreifen den Keuper bei Ballenstedt am Nordrande des Harzes.
(Schematisches Profil in 1:100 000 nach Ewalds und Lossens Karten.)

Gleichförmig gelagerte Einzelmassen, besonders Schichten, bilden zusammen Reihen, Systeme oder Gruppen, innerhalb deren man die an einem Punkte beobachtete Folge der Glieder (Schichten) an zahlreichen anderen Stellen wiederzuerkennen vermag. Gehört ein technisch wichtiges Flötz einer solchen konkordanten Reihe an und kennt man diese Reihe in ihrer Gliederung an einer Stelle einer Landschaft, so wird man mit einiger Wahrscheinlichkeit nicht nur sein Vorkommen, sondern auch seine ungefähre Lage bestimmen können, wenn an einer anderen Stelle derselben Landschaft die Anwesenheit der Reihe nachgewiesen wird und die Lage irgend eines charakteristischen Gliedes bekannt ist. Die Reihen¹⁾, Systeme oder Gruppen lassen sich als grössere, aus zahlreichen kleineren zusammengesetzte Schichten betrachten.

¹⁾ Föchsel l. c. § 45. Series montanae sunt strata majora, numero minorum stratorum infinito constructa.

Gebirgsglieder, von deren Bildungsräumen nur Teile gemeinsam sind, liegen natürlich nur im gemeinsamen

Fig. 65.

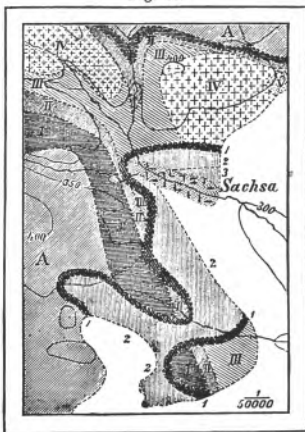


Zechstein z überlagert ungleichförmig oberdevonische Kalkknollen-Schiefer d und Sandsteine s am rothen Berge (Bohlen) bei Saalfeld.

Teile über- bez. untereinander. Wenn das jüngere Gebirgsglied über die gemeinsame Fläche hinausgreift, reden wir von übergreifender (transgredierender) Auflagerung (Fig. 64) und beschränken in der Regel diesen Ausdruck auf den Fall geringerer Lagerungsverschiedenheit. Ist das ältere (liegende) Gebirgsglied vor der Transgression durch Faltung oder Verwerfung in seiner Lagerung gestört worden, so sprechen wir dagegen von ungleichförmiger ¹⁾ (diskordanter) Ueberlagerung, welche gewöhnlich nur stattgefunden hat, nachdem ein Teil der liegenden Massen zerstört und hinweggeführt worden ist (Fig. 65, 66).

In dem kleineren Bildungsraume von Stöcken und Strömen im Gegensatz zu Schichten ist es begründet, dass Transgressionen und Diskordanzen bei ersteren sehr

Fig. 66.



Zechsteinglieder (1, 2, 3) überlagern ungleichförmig die Glieder I, II, III, IV, V des oberen Rotliegenden und die Elbingröder Grauwacke des Unterdevon a bei Sachsa am Südharz. Kopie nach Beyrich.

¹⁾ Unsere Figur 65 stellt einen Teil desselben Profiles dar, an welchem Fuchsel l. c. tab. + und § 41 und § 99a die Thatsache und die Bedeutung der Diskordanz zuerst demonstrierte: „Montis igitur talis inferior, et ortu prior, series, si sola irregulariter decumbit, prius concussa est motibus terrae, quam sequens series illam obtexerit.“

oft auftreten. Kann man den Aufbau gleichförmig liegender Schichten mit Recht einen parallelen nennen, so ist für die gegenseitige Ueberlagerung von Stöcken und Strömen Lyells Ausdruck eines „pseudoparallelen“ Baues höchst zutreffend. Trotz der zahlreichen Transgressionen bleibt nämlich der Anschein des Parallelismus erhalten, solange das Uebergreifen sich auf die einzelnen Gebirgsglieder beschränkt, nicht Gruppen gegen Gruppen ungleichförmig gelagert sind. Aber selbst diese grösseren Gruppen-Ungleichförmigkeiten werden gewissermassen ausgeglichen, wenn stock- und stromförmige Gebirgsmassen zu Tausenden oder wenigstens zu Hunderten zum Aufbau eigentümlicher Gebirge zusammenwirken, welche wir später unter dem Namen von Vulkanen noch genauer zu betrachten haben werden.

Geotektonische Ermittlung der Altersverhältnisse der Gebirgsglieder.

Es ergibt sich aus den geotektonischen Beobachtungen das gegenseitige Altersverhältnis von verschiedenen Gebirgsgliedern und in vielen Fällen auch eine relative Zeitbestimmung für Lagerungsstörungen.

Die allgemeinen Regeln sind naturgemäss die, dass jede Schicht, jeder Strom und jeder Stock jünger sind als alle die Massen, welche bei ungestörter Lagerung darunter (im Liegenden) sich befinden, älter als alle die darauf gelagerten Massen (als die Gebirgsglieder im Hangenden); dass ferner jeder Gang jünger ist als diejenigen Spalten und Klüfte, welche er ausgefüllt hat. Die Spalten und Klüfte selbst aber sind jünger als die Massen, welche von denselben durchsetzt werden. So ist auch die Aufrichtung oder Faltung von Schichten ein nach deren Bildung stattgehabter Vorgang. Eine Diskordanz zeigt die Beendigung einer Massenbewegung vor der Bildung der ungleichförmig aufgelagerten Gebirgsglieder an. Sind die diskordant aufgelagerten Einzelmassen selbst wieder in geneigter Stellung, so muss eine dementsprechende weitere Lagerungsstörung eingetreten

sein, von der man bei räumlicher Ausbreitung der Erscheinung annehmen wird, dass sie auch die unteren (diskordant überlagerten) Glieder mit betroffen hat. Jede Verwerfung ist jünger als die jüngsten Gebirgsglieder, welche von den Verwerfungsklüften zerrissen sind, jünger auch als Spalten (oder Gänge), welche mit verworfen worden sind.

So einfach diese Regeln sind, so wird doch in vielen einzelnen Fällen es sehr schwer, die richtigen Schlüsse aus den Wahrnehmungen zu ziehen. Selbst wo die Lagerungsverhältnisse im allgemeinen bekannt sind, machen oft Einzelheiten Schwierigkeit, und für den grösseren Teil der Festlandsflächen liegen noch keineswegs hinreichende geotektonische Beobachtungen vor. Die Aufgabe einer genauen geologischen Specialkartierung der gesamten bekannten Erdoberfläche wird noch mehrere Generationen beschäftigen. Erst wenn diese Aufgabe gelöst ist, wird eine Detailkenntnis der Altersbeziehungen der Massen und der Bewegungen der Erdkruste in verschiedenen Zeiten für die nicht vom Meere bedeckten Teile der Erdoberfläche aus den geotektonischen Beobachtungen ableitbar sein.

Zu den bedeutendsten jetzt noch bestehenden Schwierigkeiten gehört die Notwendigkeit, Massen miteinander zu vergleichen, deren Bildungsräume voneinander getrennt waren, und ferner die grossen Verschiedenheiten der vormaligen Erdoberfläche von der jetzigen. Die steten Veränderungen bringen es mit sich, dass aus der jetzigen Raumverbreitung von Gebirgsgliedern nur in äusserst seltenen Fällen die vormalige Grösse des Bildungsraumes derselben deutlich erkennbar ist, indem das Fehlen einer Schichtenreihe in einem bestimmten Gebiete nichts weniger darthut, als dass dieselbe dort nicht zur Ablagerung gelangt sei¹⁾.

¹⁾ Auch in guten Büchern finden wir z. B. den Trugschluss, dass das Areal des jetzigen Harzgebirges zur Zeit der Ablagerung des Zechsteines und des oberen Rotliegenden schon über dem Meeresspiegel gelegen habe und dass jene Gebirgsglieder im eigentlichen Harz nicht mehr zur Ablagerung gelangt seien. — Ebenso oft wird irrtümlich gesagt, der Thüringer Wald sei vor der Liaszeit erhoben worden, etc.

Bei Vergleichung der in verschiedenen Bildungs-räumen abgesetzten Gebirgsglieder führt uns zuweilen schon die geotektonische Untersuchung zum Begriffe der „stellvertretenden Massen“ oder der „Aequivalentbildungen“. Oft vermögen wir nämlich wahrzunehmen, dass Gebirgsglieder verschiedener Art zu den in sich gleichartigen hangenden und liegenden Gebirgsmassen gleiches Lagerungsverhalten zeigen. Wenn wir z. B. beobachten, wie die feinkörnigen, oft auch in dünne Platten zerteilten Sandsteine, welche vom Spessart an durch einen grossen Teil des hessischen Berglandes, Frankens und Thüringens verbreitet sind, über den oberen Thonen, Mergeln etc. des Zechsteines und unter grobkörnigen Sandsteinen lagern, wie dagegen in den Umgebungen des Harzes rote Schieferletten mit Rogensteinlagen und mit nur schwach entwickelten sandigen Lagen die gleiche Stelle innerhalb einer im wesentlichen gleichförmig gelagerten Reihe von Schichten einnehmen, so erkennen wir in diesen Ausbildungsformen des „unteren Buntsandsteines“ gleichwertige oder stellvertretende Massen. Aus zahlreichen ähnlichen Fällen leiten wir die Regel ab, dass solche Aequivalente im gleichen Zeitraum sich gebildet haben, dass sie synchronisch oder isochronisch sind: Raumäquivalente sind Zeitäquivalente.

Nicht immer können wir so wie bei den beiden genannten, je 300—200 m mächtigen Aequivalentgebilden die gleichförmige Einlagerung zwischen genau übereinstimmende Gebirgsglieder beobachten. Oft ist es nur die gleichförmige Verknüpfung mit dem Hangenden oder mit dem Liegenden, welche zur Anerkennung der Aequivalenz führt. Nach verschiedenen Charakteren ist Grebes Beschreibung¹⁾ zufolge der obere Muschelkalk (Hauptmuschelkalk) bei Trier sofort als das in anderen Teilen Deutschlands wohlbekannte Gebirgsglied zu erkennen; der mittlere Muschelkalk dokumentiert seine Gleichheit mit dem anderer Gegenden durch Gyps-, Steinsalz- und Dolomitführung, darunter liegt aber gleichförmig

¹⁾ Jahrbuch d. K. preuss. Geol. Landesanstalt II 1881 S. 467, eine Abhandlung, welche zugleich besonders geeignet ist, Lagerungsstörungen zu erläutern

in 60–80 m Mächtigkeit der Muschelsandstein, welcher sich durch diese konkordante Unterteufung des mittleren Muschelkalks als Aequivalent der sonst so verbreiteten Wellenkalkstufe zeigt.

Zuweilen bedürfen wir noch grösserer Umwege, um die Gleichwertigkeit zu erkennen. — Weil z. B. der Mündener Mergel und Serpulit am Deister als Aequivalente des obersten englischen Jura (Purbeck) und die Thone mit *Crioceras* etc. von Barsinghausen als Aequivalente der Patellinen- (Orbitolinen-) Schichten des Urgon sich erweisen, ist die konkordant zwischenliegende Wealden- und Deistersandstein-Masse das Aequivalent des Neocom, d. h. der untersten Stufe des cretaceischen Systemes.

Aehnlich können wir nur auf Umwegen darthun, dass die Wengener Schichten Südtirols mit den eingelagerten vulkanischen Gebilden, Tuffen etc. und mit den Schichten von St. Cassian Aequivalente unseres unteren Keupers (Kohlenkeupers) sind.

Die Vergleichen von Gebirgsgliedern rücksichtlich etwaiger Aequivalenz erheischt in den meisten Fällen sorgfältige paläontologische Beobachtung, wir werden daher erst in der historischen Geologie die Beispiele von gleichwertigen Massen genauer erörtern.

Strukturverschiedenheiten verschiedener Stellen der Erdoberfläche.

Erscheint dem Geographen das Relief der Erdoberfläche ein mannigfaltiges durch die Abwechselung von Gebirgen, Berg- und Hügelländern, Hochebenen, Tiefebene etc., so wird der Geolog, welcher den Bau der Landschaften erforscht, noch eine Reihe weiterer mannigfaltiger Erscheinungen beobachten. Ganz abgesehen davon, dass hier ältere, dort neuere Gebirgsglieder die Erdoberfläche bilden, finden wir in der Materialanordnung sehr erhebliche Verschiedenheiten. Keine Stelle ist bekannt, wo auch nur im entferntesten zu erwarten wäre, dass eine senkrecht in die Tiefe gerichtete Bohrung

alle dem Alter nach mit Hilfe der historischen Geologie unterschiedenen Hauptgruppen vertreten finden würde. Die eine oder die andere derselben fehlt an jedem Punkte. Zuweilen fehlen nur einzelne Teile grösserer Schichtenreihen, zuweilen ganze Reihen oder mehrere Reihen. An einigen Stellen handelt es sich um das Fehlen von dem Alter nach nahe stehenden Gebilden; an anderen vermisst man mehrere dem Alter nach äusserst verschiedene. — Dabei kommen also auf den Ort bald einzelne Teile der bekannten Altersabteilungen oder Systeme in konkordanter Lagerung, bald eine oder mehrere Diskordanzen, oder auch nur Transgressionen. — Die Massen einiger Landschaften, der „Sedimentärgebiete“, bestehen ganz vorwiegend aus Schichten (aus geschichtetem oder sedimentärem Material). In anderen Landstrichen walten die Ströme und Stöcke, meist untereinander und mit Gängen innig verbunden, derart vor, dass die Schichten zurücktreten. Dann haben wir Vulkane, vulkanische Gebirge vor uns.

Auf Hunderte von Quadratkilometern dehnen sich in manchen Gegenden Flächen ohne alle Gebirgsstörung aus (Centralrussland, die libysche Wüste etc. gelten als Beispiele), anderwärts findet man horizontale Schichten nur in den Wölbungen von Sätteln oder im Kerne von Mulden (so im rheinischen Schiefergebirge), und wieder an anderen Stellen sieht man dicht gedrängte, zerklüftete und durch Verwerfungen mannigfach verschobene Schollen den Boden bilden (z. B. im hessischen Hügellande NW vom Thüringer Walde).

Und während in manchen Gegenden alle am Aufbau des Gebirges beteiligten Massen gleichmässig streichend verlaufen, kreuzen sich in andern die Streichungslinien neuerer Mulden und Sättel mit denen älterer.

Sobald wir die Oberflächenverhältnisse mit ins Auge fassen, erscheint die Mannigfaltigkeit auf den ersten Blick noch bedeutender, denn der Einfluss des inneren Baues auf die äussere Gestaltung ist in verschiedenem Grade ausgeprägt. Als die Ursache dieser verschieden starken Modelung der Oberfläche nach dem inneren Bau werden

wir den steten Kampf der Atmosphäre und der Hydrosphäre mit der Lithosphäre und den in dieser vor sich gehenden Massenbewegungen erkennen. Je länger dauernd am einzelnen Orte dieser Kampf war, um so mehr haben die Steinmassen weichen müssen; die Reliefformen der Erdoberflächenteile tragen Kennzeichen ihres Alters an sich. Wie man das Alter des Mannes nach den Runzeln seiner Stirn schätzt, so beurteilt man nach den Formen von Berg und Thal das Alter einer Landschaft. Wir unterscheiden besonders vier Hauptperioden oder Stadien der Zerstörungen:

- 1) Geotektonische Einzelmassen in fast vollständiger Erhaltung; schwache Wasserrisse.
- 2) Oberste oder jüngste Einzelmassen stark zerschnitten, die Reihen von Einzelmassen aber fast vollständig erhalten; steilwandige Schluchten.
- 3) Reihen von Einzelmassen in Schollen aufgelöst, bezw. durch erhebliche Thäler zerschnitten — Thäler breit mit ebener Sohle.
- 4) Manche Reihen von Einzelmassen bis auf geringe Reste hinweggeführt. Ebenenbildung ist vorwiegend.

Wir machen hier besonders auf folgende Beziehungen aufmerksam:

1) Ebenen und Flachländer breiten sich meistens über horizontalen oder schwach muldenförmig lagernden Schichten aus. — Solche horizontale Schichten bedecken bisweilen in nicht beträchtlicher Mächtigkeit eine ältere gefaltete, auch durch Verwerfungen gespaltene Gebirgsmasse (so sind das Diluvium und die oligocänen etc. Braunkohlenbildungen im norddeutschen Flachlande meist söhlig gelagert). — Selten ist der Untergrund von Ebenen direkt durch Schichten in gestörter Lagerung oder durch Teile eines Vulkanes gebildet, und wo dies der Fall, wird gewöhnlich die vormalige Anwesenheit söhligter Schichten noch nachweisbar sein (so über dem Plateau des nördlichen Theiles des rheinischen Schiefergebirges etc.).

2) Hügel oder Berge inmitten der Ebene bestehen oft aus söhligten Schichten, welche dem Material des

Bodens der Ebene angehörig sind. Die vielgenannten „Zeugen“ oder „témoins“ in den Wüsten und Steppen Nordafrikas, in Andalusien unfern von Bobadilla etc. sind Beispiele dieser Erscheinung. Zuweilen sind ähnliche Hügel mit söhligter Lagerung Reste einer vormaligen Ueberdeckung einer abgeschliffenen Erhöhung. Man spricht dann etwa von schollenartiger, diskordanter Bedeckung gefalteter Massen.

Häufig trifft man auch aus der Ebene aufragende Partien von aufgerichteten oder gefalteten Schichten des diskordant von den söhligten Bildungen der Ebene überlagerten Unterbaues (sogenannte Klippen). Hierher gehören z. B. die Rüdersdorfer Kalkberge bei Berlin, die Gypshügel und Kalkberge bei Lüneburg, bei Segeberg in Holstein etc.

Bisweilen sind stockförmige oder stromförmige Gebirgsglieder, in diesem Falle stets Massen vulkanischen Ursprunges, dem flachen Boden von Ebenen aufgesetzt, wie der Kammerbühl der kleinen Ebene von Eger-Franzensbad, oder wie die „Kuppen“ und „Hummriche“ der Fläche von Niedermendig bei Laach und Andernach.

3) Weitaus die meisten Hügel-, Berg- und Gebirgslandschaften sind aus vorwiegend schichtförmigen Einzelmassen aufgebaute „Sedimentärgebirge“.

4) Die Sedimentärgebirge lassen sich, so verschieden sie auch sind, auf gewisse Formelemente oder Grundformen zurückführen, die bald isoliert für sich, bald miteinander verbunden und mannigfach abwechselnd vorkommen. Diese Grundtypen sind:

A. Landschaften mit nahezu söhligter Schichtenstellung und dazwischen eingeschnittenen Thälern. Die Höhen gruppieren sich meist zu einem mehr oder minder eingeschnittenen Plateau, über das selbst noch zuweilen Tafelberge aufragen und welchem vereinzelt Tafelberge voranzuliegen pflegen. — In der Regel sind die Thalsohlen grösserer Thäler dem Plateau parallel, und auch in den kleineren Thälern finden sich oft ebene Thalböden, die nicht selten durch Stufen unterbrochen sind. Ein Beispiel solchen Baues mit jungen, daher steilwan-

digen, Thälern und mit vielen* Schluchten liefert die sächsische Schweiz.

B. Berghöhen mit gleichmässiger, einseitiger Schichtenneigung. Gewöhnlich ist eine einfache Wasserscheide in der Längsrichtung vorhanden; dieser Kamm liegt nach jener Seite hin, von der die Schichten abfallen, und wo meist ein Steilabsturz vorhanden ist, während der sanfte Hang dorthin geht, wohin die Schichten „rechtsinnig“ abfallen. Die Rauhe Alp mit ihrem dem Neckar zugewandten Steilhange und ihrer sanfteren, der Donau zu sich neigenden Böschung zeigt uns diese Massenordnung.

C. Der Bau mancher Berglandschaften ist beherrscht durch eine Muldenbildung. Ist in diesem Fall der Muldenkern aus leicht zerstörbarem Material gebildet, so entstehen zwei seitliche Bergrücken ähnlich den eben sub B besprochenen, welche ihre sanfteren Hänge einem gemeinsamen Längenthale zukehren.

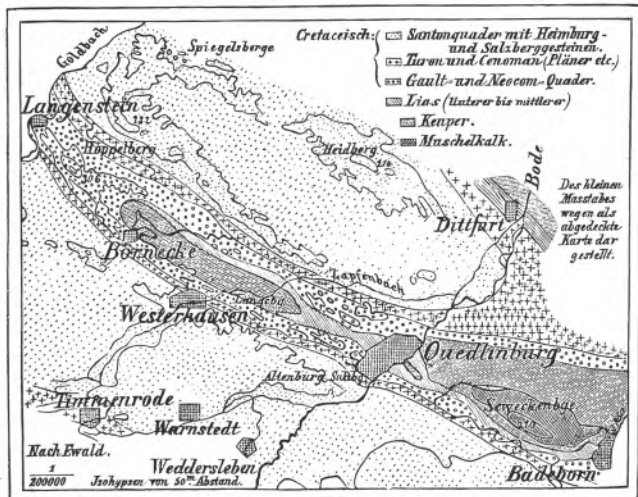
Dieser scheinbar einfachste Bau wird aber in der Regel nur an Teilen oder Stücken von Mulden wahrgenommen, viel häufiger sehen wir im Muldenkerne einen oder auch mehrere fast parallele Höhenzüge aufsteigen, die in den meisten Fällen die Flügel stark überragen. So zeigen sich z. B. die vielfach geschilderte norddeutsche Hilsmulde, die subhercynischen Kreidemulden, die böhmische Silurmulde etc. gebaut.

D. Einfacher Sattelbau der Schichten wird bisweilen an Gebirgen und Hügelzügen erkannt; Dana nennt solche Antiklinorien. Zuweilen ist dann der Sattel an der hauptsächlich Wasserscheide. Oft aber, besonders wo weiche Schichten der Sattelwölbung entsprechen müssten, finden sich Luftsättel und die Flügel überragen weitaus den Gewölbekern.

Sehr lehrreich in dieser Hinsicht ist der Schichtensattel, auf welchem Quedlinburg liegt. Ostwärts bei Badeborn ist an der Oberfläche im Sattel der gegen die Erosion widerstandskräftige Muschelkalk entwickelt, die Sewecken oder Zeunickerberge als Gewölbekern überragen die Umgegend. Westwärts bis über Börnecke hin

ist der aus weichen Schichten des Keupers und des Lias gebildete Sattelnern weit niedriger als die Flügel, d. h. die Kerne der benachbarten Mulden, weil diese aus Quadersandstein bestehen; dann aber tritt der harte Neocomsandstein als Gewölbekern auf und bildet den weithin die Umgebung überhöhenden Hoppelberg.

Fig. 67.



E. Ungleichmässige Verteilung der Schichten und wiederholtes Auftreten von Verwerfungen bedingt den Bau sehr vieler Gebirgspartien. Sehr oft machen sich dabei die Widerstandsverschiedenheiten der Materialien in derselben Richtung geltend, wie die Verwerfungslinien gehen. Dann sehen wir rechtwinkeliges Abspringen der Flussläufe und parallelen Verlauf von Berg- oder Felsklippenreihen. In manchen Gegenden aber haben spätere geologische Ereignisse fast alle Spuren von vorhandenen Zerklüftungen und Verwerfungen verwischt, so dass man orographisch sehr geringe Spuren davon wahrnehmen

kann. In nahe aneinander liegenden Landschaften kann man beides beobachten; so biegt die Ilm bei Mellingen in die Streichungslinie der weichen Keupermassen ein, welche bis Weimar in der Verwerfungslinie ihr entgegenstehen, einige Stunden weiter bei Sulza kreuzt ihr Lauf die im harten Muschelkalk sichtbaren Klüfte.

Die Verwerfungsgebirge (E) sind zusammengesetzte, aber wegen der Verwerfungsspalten besonders für sich aufzufassende, daher unter den Grundtypen der Sedimentärgebirge zu behandelnde Erscheinungen.

F. Wegen der Regelmässigkeit des Auftretens wollen wir auch den aus Sätteln und Mulden gleichzeitig bestehenden, also die Faltenform deutlich zeigenden, Gebirgen eine besondere Stelle einräumen. Das ist um so mehr begründet, weil die Faltung bei fast allen grösseren Gebirgen wiederholt beobachtet wird und weil eine isolierte Betrachtung von Sätteln und Mulden, aus welchen die Falten bestehen, oft zu Unklarheiten führen könnte. Diese Faltengebirge nennt Dana Synklinorien. Es treten dieselben in sehr verschiedenen Modifikationen je nach den Dimensionen, der Verbindungsweise und der Stellung der Falten auf. Wie es scheint, sind die Faltengebirge, welche auf ein und dieselbe Reihe von Erdrindenbewegungen zurückzuführen sind, bald solche mit einheitlichem (linearem), bald solche mit kompliziertem (gekrümmtem) oder bogenförmigem Streichen. Soviel wir wissen, gehört z. B. der Ural zu den Faltungsgebirgen mit linearem Streichen; das Streichen der einzelnen Falten der Apenninen aber ist kein gleichmässiges, sondern zeigt, im ganzen betrachtet, eine grosse Krümmung.

5) Bei sehr vielen Gebirgen macht sich ein erheblicher Gegensatz zwischen diskordant liegenden und in einander kreuzenden Richtungen gefalteten Massen geltend, welche am Bau dieser Gebirge sich beteiligen. Oft ist der Gegensatz zwischen einem Gebirgskern und einem Gebirgsmantel in dieser Weise ausgeprägt, und jener Gebirgsmantel bildet nur Aussenteile und Vorberge. Gar nicht selten aber ist ein mehrfacher Kontrast ähnlicher Art auch im Gebirge selbst zu beobachten, so dass die

Vorberge einen wesentlich anderen Bau zeigen als der Gebirgskern, der selbst mehrere verschieden gebaute diskordante Teile hat. Den ältesten von diesen kann man dann das „Grundgebirge“ des betreffenden Gebirges nennen. — So ist im westlichen Thüringer Walde ein Grundgebirge von krystallinischen Schiefern vorhanden; der Kern besteht aus diesem Grundgebirge und dem Rotliegenden mit seinen sedimentären und eruptiven Gliedern, der diskordant dazu gelagerte und meist durch Verwerfungen und andere Dislokationen gegen den Kern begrenzte Mantel aus Zechstein und triadischen Gebirgsgliedern. Im Grundgebirge herrscht hier eine Faltung mit dem Streichen von Südwest nach Nordost, im jüngeren Teile des Kernes eine ähnlich streichende, meist nord-südliche Faltung, im Mantel das Streichen und die Verwerfungsrichtung von Südost nach Nordwest. — Ähnlich sind die Verhältnisse am Harz. Dagegen ist beim Grundgebirge der Centralalpen das Streichen der vielfach durch Verwerfung gestörten Falten sehr wenig abweichend von dem, welches in den vorgelagerten mesozoischen und känozoischen Vorbergen herrscht.

6) Bei einer grossen Anzahl von Gebirgen zeigt sich ein einseitiger Bau. Weder in der Anordnung der Gesteinsmassen noch in orographischer Hinsicht sind bei denselben beide Gehänge gleich. Eine grössere oder geringere Anzahl von Schichtenreihen gehört in manchen Fällen nur einem der Abhänge des Gebirges an. Zuweilen findet sich an der Seite, wo der Gebirgss Fuss am tiefsten liegt, eine Dislokationslinie, welcher oft Thermen angehören. Auf derselben Seite liegen meistens die jüngsten mit dem Gebirge in Berührung stehenden Meeres-schichten, bei jüngsten Gebirgen bisweilen das Meer.

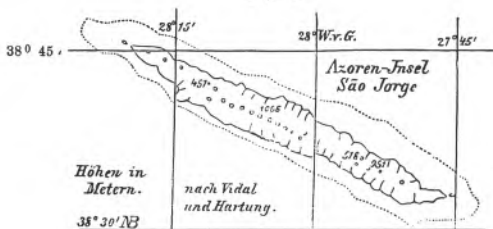
7) Am Bau vieler Gegenden sind stromförmige, stockförmige und gangförmige Gebirgsglieder neben Schichten stark beteiligt. Sind die anders gestalteten Glieder eingelagert, so werden wir mit dem Ausdrucke Eruptivregionen solche Landschaften auszeichnen dürfen; sind dagegen die Ströme etc. auf den Schichten aufgesetzt, so wählen wir den Ausdruck Vulkanregion.

Wir werden also z. B. von der Eruptivregion im Harz bei Elbingerode etc., von der Vulkanregion in der Eifel etc. reden. Vulkanregionen, von denen einige auch als vulkanische Kuppengebirge bezeichnet worden sind, sind entweder in der Entstehung begriffene oder unvollendet gebliebene Vulkane der jüngeren Zeit; Eruptivregionen können von unvollendet gebliebenen vormaligen Vulkanen herrühren oder auch die Ausläufer von solchen darstellen.

8) Alle Teile der Erdrinde, wo Ströme, Stöcke und Gänge vorwalten, sind Vulkane, oder vulkanische Gebirge. Auch diese zeigen gewisse Hauptformen oder Grundtypen des Baues und der Gestaltung, welche ähnlich den Grundformen der Sedimentärgebirge bald isoliert, bald verbunden auftreten.

A. Zuweilen gehen von engbegrenztem kreisähnlichem Raume, der die bedeutendsten Stöcke trägt, fast alle Gesteinsströme aus. Dann bildet sich die Kegel- oder Pyramidengestalt aus (s. den Teyde Fig. 28 S. 84; ähnlich erscheint der so oft dargestellte Fuji Yama etc.).

Fig. 68.

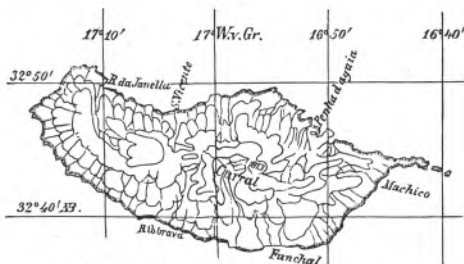


Vulkan in Form eines scharfen Gebirgsrückens.

B. In anderen Fällen ordnen sich die stockförmigen Glieder in einer Linearrichtung an, die sich anschliessen-den Ströme nehmen von derselben Linie ihren Ursprung: es bildet sich ein scharfer Gebirgskamm (Grat oder Rücken), wie ihn die Azoreninsel São Jorge zeigt (Fig. 68).

C. Liegen mehrere solcher Reihen von Stöcken in ungefähr paralleler Anordnung und schliessen sich Ströme

Fig. 69.

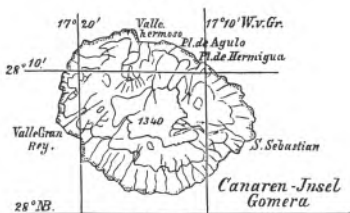


Madeira mit Andeutung der Hauptthäler und der Isohypsen von 500 m, 1000 m und 1500 m.

Vulkan in Form eines breiten Gebirgsrückens.

daneben und dazwischen an, so entstehen breitrückige Längsgebirge, wie deren eines die Insel Madeira darstellt (Fig. 69), oder der Hauptteil von Lanzarote.

Fig. 70.



Ungefähre Isohypsen von 500 und von 1000 m.

Domförmiger Vulkan.

D. Sehr oft sind die Stöcke und Ströme auf größerem Raume so verteilt, dass weder eine kleinere Fläche noch parallele Längslinien zur Herrschaft gelangen. Dann entstehen domförmige, oft auf der Höhe plateauartige, Vulkane (Fig. 70).