

Die Geologie seit Werner.

Vom Bergrath Professor Dr. B. von Cotta.



Die Geologie ist als Wissenschaft ein Kind Freibergs, sie hat daher alle Ursache, unser heutiges Jubiläum mit uns zu feiern. Von hier aus, von diesem Katheder aus erhielt sie durch *Werner* zuerst eine wissenschaftliche Form, während sie bis dahin nur aus einem ungeordneten Aggregat von Beobachtungen und Hypothesen bestanden hatte.

Wohl mag es unter diesen Umständen passend sein, einen Blick auf den gegenwärtigen Zustand dieser Wissenschaft zu werfen, und denselben mit der Geologie *Werner's* zu vergleichen. Diese Aufgabe in einem kurzen Vortrage zu erschöpfen, halte ich indessen für unausführbar, und habe es daher vorgezogen, ihre Lösung in einer besonderen Festschrift unter dem Titel: „Geologie der Gegenwart“ zu versuchen, während ich mich hier auf wenige Hauptpunkte beschränke, die in dieser Form zum Theil wie unmotivirte Behauptungen erscheinen mögen, deren weitere Begründung aber in dem genannten Buche zu finden ist.

Die gewaltige Umgestaltung der Geologie seit *Werner*, welche sich schon dem flüchtigsten Blick zu erkennen giebt, zeigt uns, wie fruchtbringend die Arbeit dieses einen Mannes war, wie sehr er es verstanden hat, die Forschung in Bahnen zu lenken, auf denen steter Fortschritt zur Nothwendigkeit wurde. Es würde nicht nur eine sehr undankbare, sondern auch eine ganz falsche Auffassung sein, wenn man die Unvollkommenheit und Unhaltbarkeit der ersten Ansichten dem Begründer einer Wissenschaft zum Vorwurf machen wollte; es würde aber eben so verkehrt sein, aus Pietät für den Mann, dessen überwundenen Standpunkt hartnäckig zu behaupten. Die grösste Dankbarkeit

beweist der Schüler, welcher das Gelernte anzuwenden, zu erweitern und zu berichtigen sucht. Jede lebendige Wissenschaft schreitet rastlos vorwärts, und wir müssen erwarten, — ja hoffen — dass nach abermals 100 Jahren auch unser heutiges Wissen sehr veraltet sein wird.

Der grösste Fortschritt aller Naturwissenschaften besteht in ihrem immer innigeren allseitigen Ineinandergreifen. Wir können keine derselben — am wenigsten die Geologie — als in sich abgeschlossen und selbstständig betrachten; der Fortschritt jeder einzelnen fördert zugleich den aller anderen. Sie bilden Zweige eines gemeinsamen Stammes, und es liegt nur an der Unmöglichkeit, Alles zu erfassen, dass jeder Forscher sich sein besonderes Gebiet wählen muss, um durch diese Theilung der Arbeit das Möglichste zu leisten; wer sich aber dabei von allem Uebrigen abschliessen wollte, der würde schnell der Einseitigkeit und Vereinsamung verfallen; dem Zweige den er pflegt, würde der belebende und befruchtende Saft des Stammes fehlen; er würde verdorren.

Der Geolog insbesondere hat die Erde als Himmelskörper, als chemisches und physikalisches Laboratorium, als Aggregat von Mineralsubstanzen, als Wohnplatz von Pflanzen und Thieren, als Schauplatz und Resultat einer endlosen Reihe von Vorgängen aufzufassen, mag nun der Eine diese, der Andere jene Richtung vorherrschend verfolgen.

Werner war der Begründer einer consequenten, streng neptunischen Erdbildungstheorie, nach welcher alle Gesteine durch Wasser abgelagert, alle Oberflächenformen durch Wasser ausgewaschen sein sollten. Neptunisten in diesem Sinne giebt es nicht mehr, wohl aber ist an ihre Stelle eine andere chemisch-geologische Schule getreten, welche eine grosse Zahl von Erscheinungen durch hydrochemische Thätigkeit zu erklären versucht, die von der Mehrzahl der beobachtenden Geologen für Resultate vulcanischer oder plutonischer Vorgänge gehalten werden. Ich habe in meinem Buche diese besondere Lehre, deren Begründer *Gustav Bischof* ist, wie ich glaube, hinreichend besprochen, und werde sie deshalb hier übergehen.

Schon zu *Werner's* Zeit, und noch eine kurze Periode nach seinem Tode, standen sich Neptunisten und Vulcanisten geradezu feindlich gegenüber. Beide verfochten zum Theil

sehr extreme Ansichten; doch haben selbst die eifrigsten Vulcanisten niemals in Abrede gestellt, dass auch die Wirkungen des Wassers bei der Erdbildung eine grosse Rolle spielten; es handelte sich für sie stets nur um ein Mehr oder Weniger der einen oder der anderen Thätigkeit, für die Neptunisten dagegen um Alles, denn sie leugneten das Wesentliche der vulcanischen Thätigkeit überhaupt. Ueber das Mehr oder Weniger, d. h. über die Grenzen von vulcanischer und neptunischer Bildung waren auch die Vulcanisten verschiedener Ansicht.

Die allmälige Läuterung, Berichtigung und Feststellung der vulcanischen Lehre ist es, die wir hier zunächst in's Auge fassen wollen.

In Deutschland bezog sich der Streit zwischen den Neptunisten und Vulcanisten zur Zeit *Werner's* vorherrschend nur auf die Basalte und einige verwandte Gesteine; erst allmählig dehnten sich die Ansichten der Letzteren auf alle übrigen Eruptivgesteine und bis auf den Granit aus, ja es gingen zuweilen Einzelne noch weiter, indem sie z. B. auch dem Gyps und dem Steinsalz einen vulcanischen Ursprung zuschrieben.

Von grosser Wichtigkeit wurde für die vulcanische Lehre die immer bessere Unterscheidung zwischen vulcanisch und plutonisch. Zwar hatte schon *Hutton* den letzteren Ausdruck eingeführt, um unzweideutig das in der Tiefe Entstandene oder Erstarrte von dem vulcanisch Ausgeflossenen zu unterscheiden, aber erst durch *Lyell* wurde diese Unterscheidung allgemein geläufig und üblich. Sie ist von grösster Wichtigkeit, da ohne sie die auffallenden Unterschiede der eruptiven Gesteine, die entweder vulcanisch oder plutonisch sind, kaum erklärt werden könnten. Leider sind diese Bezeichnungen zuweilen mit Altersbestimmungen verwechselt worden, mit denen sie an und für sich gar nichts gemein haben. Ist unsere Erdbildungstheorie richtig, so versteht es sich von selbst, dass zu allen Zeiten, in allen geologischen Perioden vulcanische und plutonische Bildungen stattgefunden haben, wie sie beide noch stattfinden, womit noch nicht gesagt ist, dass ihre Resultate zu allen Zeiten ganz gleiche gewesen sein müssten. Es ist aber ganz natürlich, dass die älteren vulcanischen Gesteine grösstentheils wieder zerstört oder bedeckt sind, während die neueren plutonischen — weil noch in der Tiefe befindlich — nicht beobachtet

werden können. Beobachtbar müssen demnach vorherrschend nur alte plutonische und neue vulcanische Gesteine sein. Fast jede Lava-Ergiessung wird zum Theil auch in der Tiefe erstarren und da ein plutonisches Gestein liefern; doch nicht jede Auftreibung des heissflüssigen Erdinnern braucht die Oberfläche erreicht zu haben; es können dergleichen, als blosser Injectionen in Spalten, durchaus plutonisch geblieben sein.

Die scheinbare Altersreihe der ungleichen Eruptivgesteine beruht hiernach wesentlich nur auf Niveauunterschieden der Bildung. Durchschnittlich mag die Zeit, welche erforderlich war, um durch Hebung und Abschwemmung plutonische Bildungen frei zu legen, ungefähr der Stärke ihrer ursprünglichen Bedeckung proportional gewesen sein; aber zahlreiche Ausnahmen von der gewöhnlichen Altersreihe der eruptiven Gesteine zeigen, dass dieser Process zuweilen auch ungewöhnlich schnell eingetreten ist, so dass wir dann selbst tief plutonische Bildungen — wie etwa Granit — von verhältnissmässig jungem Alter beobachten. Nur die allerneuesten plutonischen Gesteinsbildungen können der Natur der Sache nach nie beobachtbar sein.

Von der Zeit an, in welcher man sich mit dem genaueren Studium des Erdbaues zu beschäftigen anfing, hat sich auch stets das Bedürfniss geltend gemacht, die einzelnen Gesteine, und ganz besonders die eruptiven, von einander zu unterscheiden und durch Namen zu bezeichnen. Schon *Werner* gab 1787 eine „Classification und Beschreibung der verschiedenen Gebirgsarten“ heraus, in welcher er aber nur 25 Arten und einige Unterarten beschrieb. Seitdem hat sich die Zahl der Gesteine wie die ihrer Schilderungen ungemein vermehrt. Da anfangs weder chemische noch mikroskopische Untersuchungen zu Gebote standen, so benutzte man die erkennbare Mischung aus einzelnen Mineralien und die Textur als Merkmale der Unterscheidung, — bald das Eine, bald das Andere vorherrschend. So kam es, dass zuweilen gleiche Mineralgemenge, wie Granit und Gneiss, nur wegen ihrer verschiedenen Textur ungleich benannt, später als ungleichartig erkannte Gemenge von dichter Beschaffenheit dagegen unter einem Namen zusammengefasst wurden, wie Basalt oder wie Aphanit. Da indessen hierbei stets auch das geologische Vorkommen — die Lagerung — einiger-

maassen berücksichtigt wurde, so ist, trotz der oberflächlichen Methode, wenigstens die Unterscheidung der Gesteine in der Regel eine berechtigte gewesen, wenn auch die Vereinigung des Ungleichen und die sehr principlose Nomenclatur sich vielfach als unzweckmässig herausgestellt hat. Obwohl nun dergleichen Uebelstände unverkennbar sind, so scheint es dennoch noch nicht an der Zeit, eine gänzliche Umgestaltung der einmal üblichen Nomenclatur vorzunehmen, so lange nicht eine volle Uebereinstimmung zwischen der geologischen Stellung, dem mineralogischen, dem chemischen und dem mikroskopischen Verhalten der Gesteine nachgewiesen ist.

Allerdings lassen sich die meisten der jetzt üblichen Gesteinsunterscheidungen vom rein chemischen Standpunkte nicht rechtfertigen, denn auch durch die sorgfältigsten Analysen ist es nicht möglich, Granit von Gneiss, Quarzporphyr, Felsitfels, Trachyt oder Obsidian zu unterscheiden, und eben so wenig Diorit von Diabas, Gabbro, Aphanit, Basalt oder Dolorit, da ihre Bestandtheile zwischen fast gleichen Extremen schwanken, so dass sie nur als formelle Variationen derselben Masse anzusehen sind. Dennoch haben alle diese üblichen Unterscheidungen ihren grossen geologischen Werth; sie bezeichnen jedenfalls habituelle Verschiedenheiten, und es würde sehr voreilig sein, sie aufzugeben oder gänzlich zu ändern, bevor man eine Uebereinstimmung aller Beziehungen erkannt hat. Auffallende chemische Unterschiede mögen dabei immerhin zur Gruppierung benutzt werden, und in diesem Falle lässt sich sogar einiger geologischer Zusammenhang erkennen.

Schon längst hatte man die eruptiven Gesteine, je nachdem sie Quarz als erkennbaren Gemengtheil enthalten oder nicht, in zwei Hauptgruppen getrennt. Durch *Bunsen* gewann diese vorläufige Unterscheidung eine allgemeinere wissenschaftliche Bedeutung und bessere Abgrenzung. Aus den durch ihn eingeführten sogenannten Bausch-Analysen ergab sich, dass nicht lediglich der erkennbare Quarzgehalt entscheidet, dass vielmehr, zuweilen davon unabhängig, alle Eruptivgesteine — wenn auch ohne scharfe Grenzen — in kieselsäurereiche und kieselsäurearme zerfallen. Ich nenne die ersteren Acidite, die letzteren Basite; beide kommen sowohl als vulcanische wie als plutonische Bildungen vor, und es ergeben sich daher folgende vier Hauptgruppen:

1. Vulcanische Acidite, z. B. Trachyt.
2. Plutonische Acidite, z. B. Granit.
3. Vulcanische Basite, z. B. Basalt.
4. Plutonische Basite, z. B. Syenit.

Man kann das auch umkehren, und sagen:

- Acide Vulcanite,
- Basische Vulcanite,
- Acide Plutonite,
- Basische Plutonite,

wobei aber die letzteren Bezeichnungen nicht ganz dieselbe Bedeutung haben, welche *Scheerer* damit verbindet.

Dass diese Gruppen eben so wenig scharf gegeneinander abgegrenzt werden können, wie die einzelnen Gesteine, versteht sich von selbst.

Wollte man diese chemisch geologische Gruppierung der Eruptivgesteine durch Berücksichtigung der wichtigsten Texturverhältnisse weiter gliedern, so würde sich etwa folgendes Schema ergeben:

1. Vulcanische Acidite.
 - a) Krystallinisch körnig, z. B. Trachyt.
 - b) Zugleich porphyrartig, z. B. porphyrartiger Trachyt.
 - c) Porphyrartig mit dichter Grundmasse, z. B. Trachytporphyr und Phonolith.
 - d) Dicht bis emailartig, z. B. dichter Trachyt, Phonolith und Perlit.
 - e) Glasartig, z. B. Obsidian.
 - f) Porös oder blasig, z. B. Bimsstein.
2. Plutonische Acidite.
 - a) Krystallinisch körnig, z. B. Granit.
 - b) Zugleich porphyrartig, z. B. porphyrartiger Granit.
 - c) Porphyrartig mit dichter Grundmasse, z. B. Granitporphyr und Quarzporphyr.
 - d) Glasähnlich, z. B. Pechstein.
3. Vulcanische Basite.
 - a) Krystallinisch körnig, z. B. Dolorit.
 - b) Zugleich porphyrartig, z. B. porphyrartiger Dolorit.
 - c) Porphyrartig mit dicht. Grundmasse, z. B. Basaltporphyr.
 - d) Dicht, z. B. Basalt.
 - e) Blasig und mandelsteinartig, z. B. Basalt.

4. Plutonische Basite.

- a) Krystallinisch körnig, z. B. Syenit, Diorit, Diabas.
 - b) Zugleich porphyrtig, dieselben Gesteine.
 - c) Porphyrtig mit dichter Grundmasse, z. B. Aphanitporphyr, Augitporphyr, Porphyrit.
 - d) Dicht, z. B. Aphanit.
 - e) Blasig und mandelsteinartig, z. B. Aphanit, Porphyrit
- u. s. w.

Ob man nun vom chemischen Standpunkte aus weiter gehen und mehrere bestimmte Silicirungsstufen als Gesteinstypen oder Abtheilungen unterscheiden könne, wie *Scheerer* im ersten Theil dieser Festschrift ausgeführt hat, das lasse ich jetzt dahingestellt sein. Jedenfalls stimmen diese Silicirungsstufen nicht mit den üblichen Trennungen überein; ihre Unterschiede sind kaum grösser als ihre inneren Verschiedenheiten, und es wäre sehr merkwürdig, wenn die aus mehreren Mineralien gemengten Gesteine bestimmten chemischen Formeln entsprächen; wir würden dann allerdings nach einem geologischen Zusammenhang der Sache zu suchen haben.

Als eine Folge von *Werner's* Grundanschauung hat sich, auch nachdem man sie aufgegeben, mit grosser Zähigkeit die Meinung erhalten, dass alle Gesteine, auch die eruptiven, dem Alter nach constant verschieden seien, d. h. dass man aus ihrer besonderen Beschaffenheit wenigstens ungefähr ihr geologisches Alter erkennen könne. Es würde mich zu weit führen, wenn ich das Irrige dieser Ansicht hier speciell nachweisen wollte; in meinem Buche glaube ich gezeigt zu haben, dass eine Altersbestimmung der eruptiven wie sedimentären oder metamorphischen Gesteine an sich zur Zeit noch unmöglich ist, dass vielmehr hierzu die Kenntniss ihrer Lagerungsverhältnisse durchaus erforderlich sei, die nur bei den Sedimentären durch organische Reste ersetzt werden kann.

Damit ist, wie ich bereits bemerkte, nicht ausgeschlossen, dass bei den eruptiven Gesteinen irgend ein Altersunterschied überhaupt bestehen könne. Nach dem allgemeinen Entwicklungsgesetz der Erde ist mindestens eine Vermehrung in der Mannigfaltigkeit der Gesteinsbildung zu erwarten; der Mangel sehr alter Basalte und Trachyte scheint eine solche wirklich anzudeuten. Zunahme der Mannigfaltigkeit schliesst aber noch nicht con-

stante Altersverschiedenheit in sich ein; eine solche würde nur dann vorliegen, wenn sich nachweisen liesse, dass gewisse Gesteinsarten nur in sehr früher, andere nur in mittlerer und noch andere nur in neuester geologischer Zeit entstanden, d. h. dass gewisse Gesteinsbildungsprocesse wegen Aenderung allgemeiner Zustände nach und nach ganz aufgehört hätten, während andere an ihre Stelle getreten seien, so dass es also gleichsam ausgestorbene Gesteinsbildungen gäbe, wie Thier- und Pflanzenarten. So ungemein wichtig ein solcher Nachweis sein würde, so hat er doch bis jetzt noch nicht geliefert werden können.

Ich habe bereits angedeutet, dass die vulcanische Lehre anfangs, in jugendlichem Uebermuth, sich manchen Uebertreibungen hingab. Das gilt nicht blos für die Zurechnung gewisser Gesteine zu den Eruptiven, die entschieden sedimentären Ursprungs sind, sondern auch für die Wirkungen der vulcanischen Thätigkeit überhaupt. Ganze Gebirgsketten sollten durch sie plötzlich und nach ganz bestimmten Richtungen erhoben worden sein; gewisse ringförmige Umwallungen der Vulcane deutete man als sogenannte Erhebungskrater; fast alle Störungen der ursprünglichen Lagerung glaubte man durch Eruptionen erklären zu müssen; viele Thäler sollten wesentlich nur vulcanische Spalten sein u. s. w.

Dergleichen Vorstellungen entsprachen dem Standpunkte der Geologie in einer bestimmten Periode; sie sind grösstentheils wie Schaumblasen verschwunden, und den bedeutendsten Einfluss auf diese Umgestaltung in den Ansichten hat unstreitig Sir *Charles Lyell* ausgeübt, der zuerst mit Erfolg auf die Wichtigkeit des Studiums der gegenwärtigen Vorgänge aufmerksam machte, während sein deutscher Vorgänger *von Hoff* nur wenig beachtet worden war.

Lyell setzte an die Stelle maassloser Energie die ungemessene Zeit. Auch er verfiel aber in ein Extrem, indem er nur fortdauernde Umwandlungen der Erdgestaltung durch gleichmässig und stetig wirkende Ursachen anerkannte — keinen Bildungsanfang, keine Entwicklung. Die Ursachen der Umgestaltung haben sich aber, wie mir scheint, durch den Fortschritt der Abkühlung und durch Summirung ihrer eigenen Resultate stetig vermehrt, und daraus ergiebt sich mit Nothwendigkeit eine fortlaufende Entwicklung vom Einfacheren zum Mannigfaltigeren, vom Niederen zum Höheren, sowohl im unorganischen

als im organischen Reich, bis in das geistige hinauf. Ich habe dieses Entwicklungsgesetz der Erde in einer so eben erschienenen besonderen Brochüre ausführlicher besprochen.

Wenden wir uns jetzt den sedimentären Bildungen zu; *Werner* rechnete dazu bekanntlich alle Gesteine; selbst die Laven der Vulcane waren ihm nur umgeschmolzene Ablagerungen. Er ordnete alle Gesteine nach ihrer Aufeinanderlagerung, die für die sedimentären Bildungen natürlich dem Alter entspricht. In der allgemeinen Reihe der Ablagerungen unterschied er, und vor ihm eigentlich schon *Füchsel*, bestimmte Formationen. Zu einer solchen Formation rechnete er alle, unter ähnlichen Umständen, in derselben Periode übereinander gebildeten Schichten.

Die Zahl dieser Abtheilungen oder Formationen hat sich stets vermehrt, nicht nur auf der Erde, sondern ganz besonders auch rücksichtlich unserer Erkenntniss derselben, und sicher kennen wir noch bei weitem nicht ihre vollständige Reihe.

<i>Werner</i> unterschied:		Jetzt unterscheidet man als Normalreihe:	
Urgebirge (Primär)	Urformation.	Aelteste Formationen (metamorph) Eozoische Formation (z. Th. metam.)	kryst. Schiefer.
Uebergangsgebirge	Uebergangsformation.	Cambrische Format. (huronisch) Silurische Formationen Devonische Formationen	Grauwacke.
Secundäre oder Flötzgebirge	Steinkohlenformation. Alte rothe Sandsteinformation. Alte Flötzkalkformation.	Kohlenkalk- oder Kulmformation Steinkohlenformation	Kohlen.
		Rothliegendes Zechsteinformation	Dyas.
	Bunte Sandsteinformation. Muschelkalkformation.	Buntsandsteinformation Muschelkalkformation Keuperformation	Trias.
	Jurakalkformation.	Schwarzer Jura oder <i>Lias</i> Brauner Jura Weisser Jura	Jura.
	Quadersandsteinformation.	Wealden- oder Deisterformation Neocom- oder Hilsformation Kreideformation	Kreide.
Tertiärgebirge	Braunkohlenformation.	Eocänformationen Miocänformationen Pliocänformationen	Tertiär.
Quartärgebirge	Diluvium. Alluvium.	Diluvialformationen Recente Formationen	Quartär.

Die vorstehende Tabelle enthält nur die wichtigsten Hauptabtheilungen, die weit specieller gegliedert zu werden pflegen. Viele Geologen unterscheiden jetzt 9 paläozoische, 18 mesozoische, 7 tertiäre und 2 quartäre Formationen, so dass deren Gesamtzahl auf 36 steigt.

Diese verschiedenen Sedimentärformationen sind an keinem Orte der Erde alle in ununterbrochener Folge übereinander beobachtbar; die hier zusammengestellte Reihe ist vielmehr das Resultat der Verbindung zahlreicher Einzelbeobachtungen in verschiedenen Gegenden, und stellt nur eine Art von Normalreihe dar, deren einzelne Glieder in den verschiedenen Erdgegenden ungleich zusammengesetzt sind. Fast in jeder Formation hat man dann auch noch Unterabtheilungen (Etagen, Stufen) unterschieden, während man umgekehrt mehrere Formationen in grössere Gruppen vereinigte, durch welche geologische Zeiträume (Perioden oder Epochen) charakterisirt werden sollen.

Obwohl unsere heutige Formationsreihe weit vollständiger ist als die zu *Werner's* Zeit bekannte, so kann es doch gar keinem Zweifel unterliegen, dass sie immer noch sehr unvollständig sei, d. h. dass die meisten geologischen Zeiträume in derselben erst höchst lückenhaft vertreten sind.

Werner scheint von dem Gedanken ausgegangen zu sein: jede Formation sei das Resultat einer ziemlich allgemein über die ganze Erde verbreiteten Ablagerung gleicher Art, und ihre Verschiedenheiten unter einander seien Folgen allgemeiner Aenderungen des Erdzustandes. Beides hat sich mit der Zeit als durchaus irrig ergeben; jede Formation ist vielmehr das Resultat eines mehr oder weniger localen Zustandes und Vorganges, der sich allerdings über grosse Wasserbecken ausdehnen, niemals aber die gesammte Erdoberfläche gleichmässig und zusammenhängend betreffen konnte. In demselben Zeitraume sind in anderen Erdgegenden gar keine oder andere Ablagerungen erfolgt, die man, wenn sich ihre ungefähre Gleichzeitigkeit erkennen lässt, Parallelfformationen nennt. Ja selbst innerhalb desselben Wasserbeckens waren die Ablagerungen niemals an allen Stellen ganz gleich, an den Küsten z. B. anders als in der Mitte. Diese letzteren horizontalen Unterschiede hat *Voltz* durch den allgemein angenommenen Ausdruck *Facies* bezeichnet.

Wie nun keine sedimentäre Formation als solche eine ganz

allgemeine Verbreitung besitzt, so sind auch die inneren Verschiedenheiten, sowie die oberen und unteren Grenzen derselben, nicht Folgen allgemeiner, sondern stets nur localer Vorgänge.

Noch ziemlich lange nach *Werner* glaubte man das Alter der sedimentären Formationen — oder vielmehr der Gesteine aus denen sie bestehen — aus ihrer Beschaffenheit erkennen zu können. Es hat sich jedoch gezeigt, dass dies nur in sehr beschränkter Ausdehnung möglich ist, und dass jene falsche Voraussetzung oft zu ganz irrigen Altersbestimmungen veranlasst hat.

Die Beschaffenheit der sedimentären Gesteine ist an und für sich gar nicht von der Zeit ihrer Entstehung abhängig, obwohl sie häufig in einer gewissen Beziehung zu ihrem Alter steht. In allen geologischen Perioden sind ungefähr dieselben Materialien zur Ablagerung gelangt, nämlich: Thonschlamm, Sand, Gerölle, Mergel und Kalkschlamm, Eisenoxydhydrat, Pflanzentheile u. s. w. Zu keiner Zeit wurde unmittelbar Thonschiefer, fester Sandstein, Conglomerat, dichter oder körniger Kalkstein, compacter Eisenstein oder Steinkohle abgelagert; diese alle sind stets erst durch Umwandlung aus jenen ursprünglichen Ablagerungen entstanden. Die Umwandlung erfolgte durch Druck, Wärme und mancherlei chemische Processe, und der Grad derselben ist zwar zum Theil, aber nicht allein von der Dauer jener Einwirkungen — also dem Alter der Sedimente — abhängig, nicht allein davon, da auch die Stärke ihrer Bedeckung, der Temperaturgrad, die Zugänglichkeit für gewisse Solutionen u. s. w. einen wesentlichen Einfluss darauf ausübten. Er ist daher nur durchschnittlich ungefähr dem Alter proportional; unter gewissen Umständen ist die Umwandlung weit schneller vorgeschritten, unter anderen weit langsamer als gewöhnlich. So ist es z. B. zu erklären, dass die sehr mächtigen tertiären Flyschbildungen der Schweiz zum Theil aus vortrefflichem Dachschiefer bestehen, während dagegen in den russischen Ostseeprovinzen silurische Thone gefunden werden, die noch plastisch sind und zu Thonwaaren verarbeitet werden können. So ist es ferner zu erklären, dass die tertiären Kohlenlager des Sylthales in Siebenbürgen aus ächter Schwarzkohle bestehen, während die Kohlenlager der Kulmformation bei Tula in Russland noch Pflanzenreste im Zustande von Braunkohle enthalten.

Eine Art Altersreihe besteht allerdings für die sedimentären Gesteine; sie ist aber eigentlich eine Umwandlungsreihe, d. h. die ursprünglichen Ablagerungen sind in der Regel um so stärker verändert, je älter sie sind; aber nicht überall verhält es sich so. Wo die älteren Ablagerungen in gewöhnlicher Weise, in einem mittleren Verhältniss von neueren überlagert worden sind, da zeigen sie sich bei gleichem Alter ungefähr zu ähnlichen Gesteinen verändert, und bei den allerneuesten Ablagerungen sind solche Umwandlungen überhaupt noch nicht eingetreten. Die Qualität der ursprünglichen Ablagerungen scheint aber von Anfang an ungefähr dieselbe gewesen zu sein; sie ist nur mit der Zeit etwas mannigfaltiger geworden, weil die Bedingungen ihrer Bildung sich einigermaassen vermehrt haben.

Diese allmöglichen Umwandlungen der sedimentären Gesteine, welche zahlreiche besondere Namen für die einzelnen Stadien veranlassten, führen uns zu den krystallinischen Schiefen oder metamorphischen Gesteinen.

Gneiss, Glimmerschiefer, Hornblendeschiefer u. s. w., welche *Werner* nebst dem Granit für unmittelbare Producte der ersten Ablagerungen aus Wasser hielt, und deshalb Urgesteine oder Urgebirge nannte, wurden später nach einander für Erzeugnisse der ersten Erstarrung, für umgewandelt, und zum Theil für eruptiv gehalten.

Dass sie in ihrem gegenwärtigen Zustande nicht durch Ablagerung aus Wasser entstanden sein können, wird von allen neueren Geologen anerkannt. Als die Theorie der allmöglichen Erdabkühlung sich mehr und mehr entwickelte, glaubte man die Lagerung wie den Zustand der krystallinischen Schiefer am besten dadurch erklären zu können, dass man annahm, sie stellten die zuerst schichtweise und schiefrig erstarrte, vorher heissflüssige Erdoberfläche dar. Es ist auch recht wohl möglich, dass einiger Gneiss und mancher Granit einen solchen Ursprung hat, obwohl es sich noch nicht sicher erweisen lässt. Wo aber Gneiss, Glimmerschiefer, Hornblendeschiefer u. s. w. mehrfach mit einander parallel wechsellagern, oder wo sie untergeordnete Einlagerungen von Quarzschiefer, körnigem Kalkstein oder Graphit u. s. w. enthalten, da ist ein solcher Ursprung nicht denkbar. Da nun aber solche Wechsellagerungen und Einlagerungen sehr häufig vorkommen, und da diese Gesteine geschichtet und

parallel schiefrig sind, so kam man auf die Vermuthung, sie möchten durch Umwandlung aus den ältesten sedimentären, thonig sandigen Ablagerungen und deren mancherlei Zwischenschichten von Kalkstein oder Kohle und dergleichen entstanden sein. Der Vorgang der Umwandlung wurde aber auf verschiedene Weise erklärt. Zunächst durch Einwirkung von im heissflüssigen Zustande empordringenden Eruptivmassen — also durch Contactwirkung. Dafür sprach die zuweilen beobachtete Umhüllung von Granitgebieten durch Gneiss; aber andere sehr grosse Gebiete krystallinischer Schiefer stehen in gar keiner entsprechenden Beziehung zu Eruptivmassen, und sehr mächtige Eruptivmassen durchsetzen nicht selten sedimentäre Gesteine, ohne dass man an ihren Grenzen irgend eine Umwandlung der Art bemerkt. Ueberhaupt würde die vermeintliche Ursache gar nicht im Verhältniss zur vorausgesetzten Wirkung stehen.

Andere Geologen suchten daher die Umwandlung durch rein chemische Processe zu erklären: durch eine räthselhafte innere Gährung, oder durch eindringendes Wasser, welches lösend und ablagernd eine langsame Umwandlung der vorhandenen Mineralsubstanzen bewirkt haben sollte.

Wir haben da mehrere sehr ungleiche Erklärungsversuche kennen gelernt, von welchen ich keinen für befriedigend halten kann. Weit einfacher und naturgemässer scheint es mir, die krystallinischen Schiefer als das Endresultat derjenigen allmäligen Umwandlungen anzusehen, welche durch die ganze Reihe der sedimentären Ablagerungen beobachtet werden, hervorgebracht durch Druck und Wärme, vielleicht unter Mitwirkung von Wasser. Es sind insoferne plutonische Umwandlungen.

Die sedimentären Gesteine — besonders die älteren — sind grösstentheils schon etwas umgewandelt, und bilden ganz allmälige Uebergänge in die krystallinischen Schiefer; den Ausdruck metamorphisch pflegt man aber erst dann auf dergleichen Gesteine anzuwenden, wenn die Umwandlung einen so hohen Grad erreicht hat, dass der ursprüngliche Zustand gar nicht mehr erkennbar ist. Wenn z. B. sandiger Thonschlamm durch Schieferthon, Thonschiefer und Thonglimmerschiefer in Glimmerschiefer oder Gneiss umgewandelt ist, so nennen wir erst die letzten Stadien dieser Umwandlungsreihe metamorphische Gesteine; sie bilden aber alle eine zusammen-

hängende Uebergangsreihe, und es ist kein hinreichender Grund vorhanden, die letzten Veränderungen wesentlich anderen Ursachen zuzuschreiben, als die früheren. Es verhält sich ganz ähnlich bei Foraminiferenschlamm, Kreide, dichtem und endlich krystallinisch körnigem Kalkstein, oder bei Torf, Braunkohle, Schwarzkohle, Anthracit und Graphit. Die einzelnen Umwandlungsstadien entsprechen in der Regel auch dem Alter der Ablagerungen, aber keineswegs immer. Sie sind alle durch Uebergänge verbunden, und dieselben Wechsellagerungen und Einlagerungen verschiedenartiger Gesteine, welche in den noch wenig veränderten sedimentären Gesteinen beobachtet werden, finden wir auch in den krystallinischen Schiefern zum Theil wieder, nur in verändertem Zustande.

Schon die Anwesenheit von Graphit zwischen Gneiss und Glimmerschiefer deutete an, dass diese Gesteine in den Fällen, in welchen sie Graphitlager enthalten, aus einer Zeit herrühren, in welcher bereits Organismen auf der Erde existirten, und dass eine solche Schiefergruppe als eine stark veränderte Kohlenformation anzusehen sei. Durch die Entdeckung des *Eozoon* in den körnigen Kalksteineinlagerungen des Gneisses und Glimmerschiefers mehrerer Erdgegenden sind nun auch bestimmte animalische Formen aus der sehr niederen Ordnung der Foraminiferen nachgewiesen, die zugleich eine so frühe — vorcambrische — zoogene Kalksteinbildung erklären, und jede andere Deutung, selbst der ältesten Kalksteinlager, mindestens unnöthig machen.

Dass ein sehr grosser Theil der krystallinischen Schiefer — und darunter auch vieler Gneiss — auf diese Weise entstanden sei, kann, wie mir scheint, kaum noch einem Zweifel unterliegen; aber wir können einen solchen Ursprung nicht für alle derartigen Gesteine annehmen. Es giebt z. B. Gneiss der entschieden in eruptiver Form auftritt, und der sich dann auch, seiner Entstehung nach, von dem ganz gleich zusammengesetzten Granit nicht unterscheidet. Es ist auch leicht möglich, dass mancher Gneiss von einer ersten Erstarrung der vorher heissflüssigen Erdoberfläche herrührt. Im Gneiss trifft somit, nach unserer Ansicht, die Gesteinsbildung durch Erstarrung mit der durch Ablagerung und nachfolgende Umwandlung zusammen, und wir besitzen noch kein sicheres Kennzeichen, wodurch sich

diese so verschiedenartig entstandenen Gneisse an sich von einander unterscheiden liessen. Nur deutlich beobachtbare Lagerungsverhältnisse können darüber belehren. Es ist möglich, dass die Chemie künftig ein solches Hilfsmittel der Unterscheidung nachweist, z. B. durch constante Silicirungsstufen, aber bis jetzt hat sich in dieser Beziehung noch keine hinreichende Uebereinstimmung der chemischen Zusammensetzung und der Lagerungsverhältnisse ergeben, und stets wird es möglich bleiben, dass ein metamorphischer Gneiss zufällig dieselbe Zusammensetzung hat wie ein ursprünglich erstarrter, oder dass eruptiver Gneiss auf seinem Wege fremde Bestandtheile aufgenommen hat und dadurch wesentlich von der Norm abweicht.

In Folge der zuletzt vorgelegten Umwandlungserklärung mag sich die Frage aufdrängen: woraus bestand der erste Ablagerungsboden, wenn nicht krystallinische Schiefer als erste Erstarrungskruste denselben gebildet haben? — Die Antwort darauf ist nicht schwer. Zunächst setzen wir nicht voraus, dass aller Gneiss metamorphen Ursprunges sei; es mag ganze Gebiete geben, die aus ursprünglich erstarrtem Gneiss und Granit bestehen — aber selbst wenn dergleichen nicht nachgewiesen werden könnten, so würde es nur eine einfache Folge unserer Erklärung sein, dass bei sehr starker Ueberlagerung der erste Ablagerungsboden theilweise oder ganz wieder eingeschmolzen und folglich als solcher zerstört worden sei.

Die krystallinischen Schiefer dürften durchschnittlich aus den allerältesten Ablagerungen entstanden sein; es sind indessen ausnahmsweise Fälle bekannt, in welchen auch weit neuere Ablagerungen bis in den krystallinischen Zustand umgewandelt worden zu sein scheinen, so z. B. im Gebiet der westlichen Alpen, wo man, parallel zwischen Glimmerschiefer, dolomitische Schichten gefunden hat; die noch erkennbare Belemniten der Juraperiode enthalten. Das relative Alter der metamorphischen Gesteine ist daher ebenfalls nicht ohne Weiteres aus ihrem Zustand zu erkennen.

Die besonderen Lagerstätten von Kohlen, Salzen und Erzen, welche parallel zwischen die sedimentären Gesteine eingelagert vorkommen, und die durch ihren Nutzwert die

Aufmerksamkeit ganz besonders auf sich gelenkt haben, wurden lange Zeit für die Producte bestimmter geologischer Perioden gehalten, die man zum Theil sogar darnach benannt hat. So lange nur erst ein verhältnissmässig kleiner Theil der Erdoberfläche bekannt war, erschien diese Ansicht richtig. Je mehr aber der geologische Gesichtskreis sich erweiterte, um so mehr hat sich auch das Irrige einer solchen Vorstellung ergeben. In dem Theil Mitteleuropa's, welchen man zuerst einigermaassen geologisch kennen lernte, dürften allerdings die geeigneten Zustände für die locale Ablagerung von Pflanzenresten und von Chlornatrium vorzugsweise nur in wenigen bestimmten Zeiträumen eingetreten sein, aber selbst in diesem beschränkten Erdtheile hat sich die Kenntniss der Zahl solcher Zeiträume nach und nach vermehrt, und wenn man sich nicht auf einen solchen kleinen Erdtheil beschränkt, so lassen sich bereits beinah aus allen grösseren geologischen Perioden dergleichen Ablagerungen nachweisen. Unter diesen Umständen ist kein Grund mehr zu der früheren Annahme vorhanden, diese nutzbaren Substanzen seien auf der Erde überhaupt nur in bestimmten Zeiträumen abgelagert worden. Wir dürfen dabei nicht vergessen, dass von der gesammten Erdoberfläche höchstens erst der zwölfte Theil geologisch untersucht ist, $\frac{3}{4}$ der Oberfläche nimmt die Meeresbeckung ein, und von dem als Land hervorragenden Viertel kennen wir höchstens $\frac{1}{3}$ geologisch. Von besonderem Interesse für die geologische Stellung der Kohlenformationen erscheint mir der erst ganz kürzlich erschienene Reisebericht eines früheren Schülers Freibergs, des Herrn *Pumpelly*, über Ostasien, woraus hervorgeht, dass die sehr ausgedehnten und wichtigen Kohlenformationen jener Länder der Triasperiode angehören. Dass man bei Aufsuchung solcher Lagerstätten in bereits untersuchten Ländern sich auch künftig wesentlich nur von den bisherigen Erfahrungen leiten zu lassen hat, versteht sich von selbst.

Es verhält sich ganz gleich mit den lagerförmig auftretenden Erzen; die metallischen Lagerstätten finden sich aber ausserdem noch unter sehr verschiedenen Formen und Lagerungsverhältnissen, worüber ich mich in einem besonderen Abschnitt meines Buches ausführlich verbreitet habe.

Es würde mich zu weit führen, wenn ich hier auf die Beziehungen zwischen Geologie, Astronomie, Geschichte,

Poesie, Philosophie, Geographie und Ethnographie näher eingehen wollte, die ich ebenfalls in meiner Schrift mehrfach besprochen habe.

Lassen Sie uns nun aber noch einen Blick auf den Antheil werfen, welchen das organische Leben an dem Erdbau genommen hat. Ich will indessen hier weniger von den Gesteinsmassen sprechen, welche wesentlich organischen Ursprunges sind, wie Kohlen, Kreide, Korallenfels, Polierschiefer u. s. w., sondern vielmehr von den Resultaten, welche sich aus der Vertheilung deutlich erkennbarer Thier- und Pflanzenreste in ungleich alten Ablagerungen ergeben haben.

Zur Zeit *Werner's* konnte das relative Alter der sedimentären Formationen nur durch ihre Lagerung erkannt werden. Nachdem aber *William Smith* in England gefunden hatte, dass die fossilen Ueberreste der Organismen in den Schichten der Erdkruste nicht zufällig vertheilt sind, sondern dass gewisse Formen stets nur in gewissen Schichten auftreten, und dass jede Species eine bestimmte Stellung in der Reihe der sedimentären Ablagerungen einnimmt, und nachdem diese anfangs locale Entdeckung durch die Geologen vieler anderer Erdgegenden vollkommen bestätigt worden war, — da boten die sogenannten Versteinerungen ein oft weit bequemerer Hilfsmittel zur Bestimmung des relativen Alters der Ablagerungen dar.

Eine grosse Umgestaltung der Geologie ward hierdurch angebahnt, ein ganz neuer Weg der Untersuchung eröffnet, und es wurde das Studium der Versteinerungen für einige Zeit eine so vorherrschende Beschäftigung der Geologen, dass man in Folge davon manche andere wichtige Aufgabe sehr vernachlässigte.

Ursprünglich hätte die Altersverschiedenheit der Schichten natürlich niemals aus ihren Versteinerungen für sich allein erkannt werden können; das war vielmehr durch ihre Uebereinanderlagerung möglich. Nachdem aber einmal eine solche Altersskala für die Schichten und für die organischen Reste in ihnen gefunden, und durch zahlreiche Beobachtungen ausnahmslos bestätigt war, da brauchte man zur Bestimmung des Alters einer Ablagerung nichts mehr, als eine gewisse Zahl deutlicher Versteinerungen.

Hierdurch war nun auch zugleich ein Mittel gewonnen, die Ablagerungen zweier durch das Meer weit von einander ge-

zusammen mit den Knochen theils vollständig, theils local ausgestorbener Säugethiere, schob den Anfang des Menschengeschlechtes um eine zwar noch unbestimmbare, aber jedenfalls nach vielen Jahrtausenden zu messende Zeit über die übliche Vorstellung zurück, und verwischte zugleich jede scharfe Grenze zwischen Jetztwelt und Vorwelt.

Wenn wir es versuchen, *Darwin's* Theorie der Artenentstehung auf das unorganische Reich anzuwenden, so ergibt sich, dass das nicht ausführbar ist, obwohl auch in diesem eine zunehmende Mannigfaltigkeit erkennbar. Dafür aber darf man vielleicht behaupten, dass *Darwin's* Theorie eigentlich nur die Anwendung eines allgemeinen Naturgesetzes auf das organische Leben sei.

Das allgemeine Gesetz lautet: „Die Mannigfaltigkeit der Erscheinungsformen ist eine nothwendige Folge der Summirung von Resultaten aller Einzelvorgänge, die nach einander eintraten,“ und dieses Gesetz der Differenzirung des Stoffes lässt sich auf die Materie überhaupt bei der Weltbildung, auf das Unorganische der Erdbildung, auf die Entwicklung des organischen und selbst des geistigen Lebens anwenden. Alles Vorhandene bedingt Neues, und alles Neue ist Folge der Vielartigkeit des Vorhandenen.

Wenn wir für die Erdbildung die Abkühlungstheorie zu Grunde legen, so ergibt sich daraus in aller Kürze folgende allgemeine Entwicklungsreihe vom Einfacheren zum Mannigfaltigeren.

Wir beginnen mit dem heissflüssigen Zustande, da geologische Schlüsse nicht weiter zurück reichen.

Der heissflüssige Erdkörper war nur von einer Gas-hülle umgeben; durch Wärmeausstrahlung in den Weltraum wurde derselbe stetig kälter. Auf der Oberfläche des flüssigen Kernes bildete sich in Folge davon eine erste feste Erstarrungskruste. Da diese durch Bewegung (Ebbe und Fluth) vielfach zersprengt wurde, so drang die flüssige Innenmasse in die Spalten ein, oder durch diese empor, und erstarrte hier in Form der ersten Eruptivgesteine. Die Bildung solcher Gesteine hat aber von da an mit geringen Modificationen fortgedauert bis jetzt, nur vielfach den Ort wechselnd.

Ein weiteres Stadium der Abkühlung ist bezeichnet durch die Möglichkeit der Wasserbildung auf der festen Oberfläche. Von da an trat auch die geologische Thätigkeit des Wassers in Wirkung, und dauerte neben den raumwechselnden Eruptionen fort bis jetzt. Auflösung oder Abspülung des Vorhandenen, sowie weitere Verarbeitung und Wiederablagerung der gelösten oder abgeschwemmten Theile waren die Folgen. Fortschreitend wurden die Oberflächenformen durch Eruptionen, Ab- und Anschwemmungen immer mannigfaltiger, und jede frühere Bildung wirkte modificirend auf jede spätere ein; die Mannigfaltigkeit der Massen und Formen, ihrer Vertheilung und Zusammensetzung wurde dadurch nothwendig stets grösser.

Wenn die erste Wasserbildung unter einer dichteren, stoffreicheren Atmosphäre, bei einer höheren Temperatur als 100° C. eintrat, so konnte der Beginn des organischen Lebens erst bei noch weiter vorgeschrittener Abkühlung erfolgen, und mit ihm kam zu den bereits vorhandenen geologischen Agentien wiederum ein neues, das sich selbst durch die stete Zunahme der anorganischen Verschiedenheiten — der Lebensbedingungen — immer höher und mannigfaltiger entwickelte.

Die sehr allmälige Ausbildung von klimatischen Unterschieden — Klimazonen — folgt von selbst aus der langsamen Abnahme der Erdwärme und dem deshalb immer stärkeren Hervortreten der von Anfang an geographisch ungleichen Sonnenbestrahlung. Ein letztes Resultat dieser Entwicklung von Klimazonen ist die Möglichkeit der Eisbildung in gewissen Erdgegenden, die, wie es scheint, geologisch erst ziemlich spät eingetreten ist, von da an aber ebenfalls einen constanten Antheil an den Veränderungen der Erdoberfläche genommen hat. Ich sehe davon ab, diese Folgerungen hier auch auf die Zukunft auszudehnen, welche unsere Erde nach Millionen von Jahren in einen dem Monde ähnlichen Zustand versetzen könnte, und begnüge mich vielmehr mit Beurtheilung der Vergangenheit.

Durch alle diese Entwicklungsstadien hindurch blieben die einmal eingetretenen geologischen Wirkungen, den veränderten Umständen entsprechend, wesentlich dieselben, d. h. sie vermehrten sich nur — die Umstände aber änderten sich stetig, und zwar:

1. durch Verminderung der Gesamttemperatur;
2. durch Verdünnung der Atmosphäre, welche einige Bestandtheile an das Wasser und an die feste Erde abgab;
3. durch Summirung von Resultaten aller Vorgänge.

Das ist eine Deutung des Erdbaues, welche dem gegenwärtigen Zustande unseres Naturwissens am besten zu entsprechen scheint; dass dieser Zustand unseres Wissens und folglich auch seine Anwendung auf die Erdbildung nicht für alle Zeiten unverändert bleiben werde, versteht sich von selbst. Die Deutung ist daher nur eine vorläufige, allgemeine; sie reicht auch nicht zurück zum Anfang und Urgrund der Dinge — diese bleiben vielmehr jeder wissenschaftlichen Untersuchung unzugänglich als etwas Unerforschliches.