

Der
Kreislauf des Kohlenstoffes.

Von

DR. GUSTAV TSCHERMAK.

Vortrag, gehalten am 16. Jänner 1865.

Die chemische Geologie, ein Zweig der Naturwissenschaft, welcher erst in letzter Zeit dem freudig grünenden Baum entspross, beruht auf der Erkenntniss, welche der Vorkämpfer der neuen Richtung, G. Bischof in Bonn, an seine Fahne geschrieben: Die Erde ist ein grosses chemisches Laboratorium, in welchem beständig chemische Processe von Statten gehen und so lange von Statten gehen werden, als sie ihre Bahn um die Sonne beschreiben wird.

Doch nicht ein planloses Wirken der chemischen Kräfte in und auf der Erde hat die Wissenschaft erkannt. Vielmehr erscheint uns unsere Erde im Lichte der bisherigen Erfahrung nunmehr wie ein grosser Organismus, in welchem unter beständigem Wechsel der Form, unter beständiger Zerstörung und Verjüngung, unter beständiger Umwandlung ein ewiges Kreisen der Stoffe wahrzunehmen ist nach bestimmten Gesetzen, die wir theils schon erkennen, theils nur ahnen, bis uns die Leuchte der chemischen Forschung die klaren Umrisse des heute Verborgenen erkennen lässt.

Das Kreisen der Stoffe, der unaufhörliche Wechsel der Formen und des Ortes wird unserer Phantasie

durch das Beispiel näher gerückt, welches uns das Wasser bietet.

Vom Himmel kommt es,
Zum Himmel steigt es
Und wieder nieder
Zur Erde muss es
Ewig wechselnd.

Wie das Wasser, so finden wir auch andere Stoffe in beständiger Bewegung. Dieselben kehren in kürzerer oder längerer Zeit, nach wenigen oder vielen Zwischenstadien wieder zu demselben Zustande zuweilen auch an denselben Ort zurück, um dann von Neuem die Wanderung zu beginnen. Ich wähle für heute den Kohlenstoff aus, um dessen Schicksale in raschem Ueberblicke zu verfolgen.

Der Kohlenstoff ist ein einfacher Stoff der Chemie, ein Grundstoff, ein Element. Er bildet zugleich mit dem Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, die Grundlage aller Organismen, und ist deshalb so wie diese Stoffe in häufigen und raschen Wanderungen begriffen. Die Formen, in welchen er auftritt, sind unzählige. Wir sehen ihn isolirt, frei von anderen Begleitern als Holzkohle oder Russ, ebenso als Graphit, jener schwarze Körper, den wir zu Schreibstiften verwenden; wir bewundern ihn als Diamant wegen seines prachtvollen Farbenspieles. Alle diese Körper sind brennbar, sie verbinden sich bei der raschen oder langsamen Verbrennung mit Sauerstoff und liefern einen gasförmigen Körper, die Kohlensäure. Diese Luftart,

welche Jeder von den schäumenden Getränken, dem Bier, Champagner, Gaswasser her kennt, ist die gewöhnlichste der gasförmigen Verbindungen des Kohlenstoffes. Weniger häufig sind jene Luftarten, die aus Kohlenstoff und Wasserstoff zusammengesetzt sind, wie das Grubengas oder Sumpfgas, welches als Zersetzungsproduct der Kohlen und Pflanzenstoffe, in Kohlenbergwerken, in Sümpfen und Morästen sich entwickelt. In fester und flüssiger Form treffen wir Verbindungen des Kohlenstoffes mit Wasserstoff und Sauerstoff im Holze, in den Pflanzensäften und allgemein in allen Pflanzenstoffen, ebenso in deren Zersetzungsresten im Pflanzenmoder, im Torf, in der Braunkohle und Steinkohle, im Erd- oder Steinöl (Petroleum). Im Fleische und in den Thierstoffen überhaupt tritt als wesentlicher Bestandtheil der Stickstoff in merklicher Menge hinzu. In allen diesen Verbindungen ist das Schicksal jedes einzelnen Stoffes mit dem der übrigen innig verknüpft, so dass sie von jeder Veränderung in gegenseitiger Abhängigkeit getroffen werden. Je mehr sich dabei der Kohlenstoff isolirt, von seinen Begleitern trennt, desto mehr trotz er allen Lockungen zur Veränderung, so dass er in dem Stadium der Steinkohle, des Graphites sehr träge erscheint, wenig geneigt, in den allgemeinen Kreislauf wieder einzutreten.

Als Anfangspunkt und als Endziel aller grösseren Wanderungen kann man die Atmosphäre betrachten. Die Luft besteht aus einem Gemenge von Sauerstoff-

gas, Stickstoffgas, Wasserdampf und Kohlensäuregas. Von dem letzteren enthält die Luft gleichwohl verhältnissmässig wenig; höchstens 6 Theile in 10.000; wenn man indessen bedenkt, welch grosse Luftmenge die Erde umgiebt, so erscheint die Menge des darin enthaltenen Kohlenstoffes nicht gering. Liebig schätzt dieselbe auf 2800 Billionen Pfunde. Mit diesem Capital arbeitet die Atmosphäre beständig fort, indem sie auf der Erde das Leben der Organismen erhält, und der geheimnissvollen Werkstätte unter der Erde das Material zu ihren chemischen Processen liefert, um schliesslich ohne Zinsen und meist in derselben Gestalt das Geliehene wieder aufzunehmen.

Der kürzeste Kreislauf ist jener, den die Kohlensäure in Gesellschaft des atmosphärischen Wassers ausführt. Dasselbe absorbirt jenes Gas und bringt bei jedem Niederschlage ein gewisses Quantum zur Erde herab. Beim Verdampfen des Wassers und dem Wiederaufsteigen zur Atmosphäre kehrt auch die Kohlensäure wieder zurück. Ein Theil des Wassers aber und mit ihm die Kohlensäure dringen in den Boden ein, um dort die Wanderung fortzusetzen. Wir werden ihnen später wieder begegnen.

Von grossem Interesse ist der Kreislauf des Kohlenstoffes in jener Bahn, welche durch das Pflanzen- und Thierleben vorgezeichnet ist. Der Boden, in welchem die Pflanzen wurzeln, absorbirt Kohlensäure. Die Pflanzen nehmen diesen Nahrungsstoff durch ihre Wurzeln auf und verarbeiten ihn zu Pflanzensubstanz.

Dabei geben sie indess auch namentlich zur Nachtzeit, Kohlensäure aus, welche wieder zur Atmosphäre zurück kehrt. Im übrigen wird Kohlenstoff in dem Pflanzenleibe aufgespeichert, worauf er einem dreifachen Schicksale entgegen geht. Die Pflanze unterliegt dem Verwesungs- oder Verbrennungsprocesse, ihre Substanz zerfällt in Wasser und Kohlensäure, die letztere kehrt wieder an den Anfangspunkt ihrer Wanderung zurück. Oder der Pflanzenkörper wird von Schlamm und Erdschichten bedeckt und so der raschen Verwesung entzogen. Wir werden ihn später in seinem Grabe wieder aufsuchen. Der dritte Weg führt durch den Thierleib. Die Thiere nähren sich direct oder indirect von Pflanzenstoffen. Von dem so aufgenommenen Kohlenstoff wird ein Theil durch den Athmungsprocess und die Excremente wieder ausgeschieden, ein Theil in dem Thierleibe aufgespeichert. Nach dem Tode unterliegt derselbe so wie der Pflanzenleib entweder einer rascheren Zersetzung und es kehrt der Kohlenstoff in der Form der Kohlensäure zur Atmosphäre zurück oder die Natur conservirt den thierischen Moder in den Erdschichten für ihre ferneren Zwecke.

Dieser kurze Ueberblick zeigt uns, dass beständig grosse Massen von Kohlenstoff sich in unsichtbarer Weise aus der Atmosphäre zu uns herabsenken, um die Formen des Pflanzen- und Thierleibes anzunehmen und endlich nach Tagen, Monaten oder nach Jahren wieder emporzusteigen zu den luftigen Höhen, nach-

dem, sie engere oder weitere Bahnen zurückgelegt und die verschiedensten Phasen durchgemacht haben.

Nicht immer geht die Wanderung so rasch von statten, vielmehr bedarf es zuweilen geologischer Zeiträume, bis der Kreislauf vollendet ist. Nicht alle Pflanzen- und Thierstoffe vermodern und verwesen an der Oberfläche der Erde, gar viele werden durch den beständig fortdauernden Absatz der Sand-, Thon- und Kalkschichten bedeckt und eingeschlossen, namentlich jene, die von Wasserbewohnern herrühren. Daher findet man die Gesteinschichten durchwegs mit mehr oder weniger Moder durchdrungen. Die kohligen Theilchen ertheilen dem Stein häufig eine graue, auch schwarze Farbe. Manche Schichten sind vollständig erfüllt von Kohle, Erdharz, Erdöl oder Anthracit, Graphit; sämmtlich Stoffe, die von Pflanzen und Thieren herrühren und stellenweise finden sich selbständige Lager davon. Der auf solche Weise tief in der Erde begrabene Kohlenstoff beträgt gewiss viel mehr als die Menge des in der Atmosphäre enthaltenen. Wenn man sich die vorhin erwähnte Kohlenstoffmenge, welche in der Atmosphäre als Kohlensäure schwebt, in fester Form auf der ganzen Erdoberfläche vertheilt denkt, so würde dies eine Schicht von kaum einer Linie Höhe geben. Die Quantität des in den Erdschichten vergrabenen Kohlenstoffes hingegen schätzt Bischof so gross, dass derselbe bei gleicher Vertheilung eine 46 Fuss hohe Schicht bilden würde. Kehrt nun von diesen Kohlenstoffmengen nichts mehr

in den allgemeinen Kreislauf zurück? Vielleicht bloß durch das Verbrennen der Mineralkohlen und des Steinöls von Seite des Menschen? Die auf solche Weise wieder empor geschickte Kohlenstoffmenge beträgt verhältnissmässig nur wenig; viel bedeutender ist das Quantum, das auf anderem Wege aufsteigt.

Der in den Gesteinschichten enthaltene Moder so wie die Ablagerungen von Kohle sind in einer beständigen Zersetzung begriffen. Die eine Art dieser Zersetzung liefert das früher erwähnte Grubengas und ähnliche luftförmige Verbindungen des Kohlenstoffes mit Wasserstoff, welche aus dem Boden emporsteigen als brennbare Luftarten ähnlich wie das allen wohlbekannte Leuchtgas. So in Steinkohlenlagern wie bei Mährisch Ostrau, bei Newcastle, Saarbrücken, im Steinsalzgebirge wie bei Wieliczka, in Quellen und Bächen wie bei Klein Szaros und Mehadia, im angeschwemmten Lande wie auf der Halbinsel Absheron — die heiligen Feuer von Baku — in den Deltabil- dungen des Mississippi.

Der grossartigste Process aber, durch welchen der Kohlenstoff, nachdem er lange in den Schichten der Erde geschlummert hat, zu neuer Thätigkeit geweckt wird, ist der Oxydationsprocess, welchen die unterirdischen Wässer vermitteln. Das aus der Atmosphäre niederfallende Wasser bringt nicht bloß jene kleine Quantität Kohlensäure, von der früher gesprochen wurde, sondern eine viel grössere Menge von Sauerstoff in Auflösung mit herab. Die in den Boden

eindringenden Wässer führen daher dem in dem Gesteine eingeschlossenen Kohlenstoffe beständig grosse Mengen von Sauerstoff zu; ebenso vermitteln sie die Berührung solcher dort ruhenden Sauerstoffverbindungen, welche im Stande sind, Sauerstoff abzugeben, wie das Eisenoxyd, mit dem Kohlenstoffe. In solcher Weise entwickelt sich in den vom Wasser durchsickerten Gesteinschichten ein reger chemischer Process, dessen Resultat die Verbindung des Sauerstoffes mit dem Kohlenstoffe ist, wodurch wieder Kohlensäure gebildet wird. Ein grosser Theil der letzteren wandert in den Wasseradern weiter, um vorzeitig oder zugleich mit dem Wasser zur Erdoberfläche zu dringen. Was wir beim kühlen Brunnen oder am sprudelnden Quell an perlender Kohlensäure im frischen Trunke geniessen, empfangen wir aus dem Schosse einer längst untergegangenen Schöpfung!

So werden fortwährend ungeheure Mengen Kohlenstoffes aus den Tiefen der Erde zu Tage gefördert. Die Natur holt hier gleichsam nach, was sie bei der Verwesung der Pflanzen- und Thierkörper versäumte. Doch diese Verspätung erscheint uns nicht mehr so zufällig, wenn wir bedenken, welche Bedeutung dieselbe für das Erdinnere wie für die späteren Bewohner der Erdoberfläche hat. Lange ruht er zuweilen in den Erdschichten, der düstere Geselle, doch nicht ohne allseits Geschenke auszuthemen, verlässt er den langgewohnten Sitz. Seine Neigung zum Sauerstoffe und seine Wanderungen in Gestalt der Kohlensäure

haben in der unterirdischen Werkstätte die merkwürdigsten Folgen. Die Bildung der werthvollsten Erzlagerstätten, die Umbildung loser Schutt-, Sand- und Thonablagerungen zu festem Gestein, die Umwandlung kalkiger Gesteine in kieslige und umgekehrt, die Auflösung der Schichten und die gleichzeitige Entstehung von unterirdischen Hohlräumen oder von Niveauveränderungen auf der Erdoberfläche — dies sind Erscheinungen, bei welchen ausser dem Wasser der Kohlenstoff als Moder oder Kohlensäure die Hauptrolle spielt. Die Natur versteht es eben durch dasselbe kleine Mittel die verschiedensten grossen Zwecke zu erreichen!

Das Festland, von dem ich jetzt zumeist gesprochen, umfasst nicht den ganzen Kreislauf des Kohlenstoffes. Das Reich des Wassers ist viel grösser und viel mehr belebt als das Landreich. Dort circuliren fortwährend grosse Stoffmengen nach ähnlichen Gesetzen wie auf dem Lande. Als Träger der Kohlensäure fungirt das nasse Element das ebenso auch den zum Leben nöthigen Sauerstoff in Auflösung enthält. Die Aufnahme der Kohlensäure, die Wanderung der Pflanzenstoffe in den Thierkörper, die Athmung, die Verwesung sind wiederum die Hauptmomente des Kreislaufes, wofern derselbe kürzere Zeiträume umfasst. Während indess bei den Lebenserscheinungen kein auffallender Unterschied im Stoffwechsel gegenüber den Verhältnissen auf dem Festlande auftritt, so sind dagegen nach dem Absterben der Organismen

gerade hier die Umstände mehr geeignet, die Conservirung der Moderstoffe zu begünstigen. In den Absätzen des Meeres werden viel mehr kohlige Ueberreste eingeschlossen und für den künftigen Oxydationsprocess aufbewahrt, als es bei den Landbildungen der Fall ist.

Abgesehen von allen diesen Erscheinungen, gibt es im Wasserreiche, namentlich im Meere noch einen Vorgang, der eine Wanderung grosser Kohlenstoffmengen bedingt. Viele Wasserthiere (aus den Abtheilungen der Mollusken, Radiaten, Rhizopoden) ebenso viele Algen sondern Kalk ab, indem sie Kalkgehäuse oder Kalkinkrustationen bilden. Der Kalk nun besteht aus Kalkerde und aus Kohlensäure. So wie die Luftthiere Kohlensäure ausathmen, in ähnlicher Weise bilden die Wasserthiere Kalk, indem der zweite Bestandtheil, die Kalkerde aus dem von den Thieren verzehrten Meerwasser hinzukömmt. Aus den unzähligen Kalkgehäusen dieser Thiere bilden sich Ablagerungen und in geologischen Zeiträumen Kalksteinschichten und Kalkgebirge. Aller Kalkstein, den wir sehen hat sich wohl auf diese Weise gebildet.

Welche ungeheuren Massen von Kohlenstoff sind in den Kalkgebirgen fixirt! Hier erscheint dieser Stoff schlieslich in fester Form als unbezwinglicher Felsblock, als zackige Gebirgsmasse, scheinbar zu ewiger Ruhe verurtheilt. Und doch gibt es Wege, die ihn wieder zum Leben, zur Bewegung führen. Millionen von Jahren mögen dahingehen, bis dieses

oder jenes Theilchen an die Reihe kömmt, denn nur allmählig wirken die sickernden Gewässer; aber unaufhörlich dringen sie durch die Gesteinschichten und beständig lösen sie die festen Massen auf und vermindern ihr Volumen. So wird auch kohlensaure Kalkerde fortgeführt durch die Quelle, den Bach in den Strom. Während dieser Reise macht sich eine bedeutende Menge Kohlensäure aus der Verbindung los, und entweicht zur Atmosphäre. Das ins Meer gelangende Wasser enthält im Verhältniss zu den übrigen aufgelösten Stoffen viel weniger Kohlensäure als das Quell- und Bachwasser.

Ausser diesem ist endlich noch ein zweiter Vorgang zu betrachten, welcher sehr grosse Mengen von Kohlensäure an die Atmosphäre zurückgibt. Es ist bekannt, dass in vielen, namentlich in vulcanischen Gegenden warme Kohlensäure führende Quellen emporsprudeln. Ich darf nur an die Thermen von Karlsbad, Nauheim, Kissingen erinnern. Ebenso bekannt ist es, dass in vulcanischen Gegenden häufig aus den Spalten der Erde Ströme von Kohlensäuregas empordringen, die sogenannten Mofetten. Man erklärt sich diese Erscheinungen dadurch, dass man annimmt, in Tiefen, wo Siedhitze oder eine noch höhere Temperatur herrscht, komme Kalkstein mit kieselsäurehaltigen Gesteinen und mit Wasser in Berührung. Die Kieselsäure verbindet sich mit der Kalkerde des Kalksteines und vertreibt auf diese Weise die Kohlensäure. Die letztere entweicht und wenn sich eine Spalte findet, die einen

Ausweg gestattet, so presst das Kohlensäuregas eine Wassersäule empor, es entsteht eine Sprudelquelle. Im anderen Falle oder wenn die Zersetzung des Kalksteines in der Tiefe ohne die Gegenwart des Wassers stattfindet, dann entweicht Kohlensäuregas allein, es entsteht eine Mofette. Da nun nach Bischofs Rechnung in etwa 8000 Fuss Tiefe im Boden schon Siedhitze herrscht, da ferner durch einen einfachen Versuch im Laboratorium gezeigt wird, dass sich Kohlensäure entwickelt, wenn in siedendem Wasser kohlen-säure Kalkerde und Kieselsäure zusammen gebracht werden, ebenso, wenn bei höherer Temperatur ohne Beisein von Wasser Kalkstein und kiesliches Gestein sich berühren; so hat diese Erklärung viele Wahrscheinlichkeit für sich und wir hätten demnach die bedeutenden Mengen von Kohlensäure, welche die Thermen und die Mofetten beständig emporsenden, ebenfalls dem Kalkstein, also indirect jenen Thieren zu verdanken, die vor Aeonen gelebt und Kalkablagerungen gebildet haben. In der Tiefe vollzieht sich eine durchgreifende Umwandlung des Gesteines und gleichzeitig wird der grossen Vorrathskammer, der Atmosphäre, wieder zurückerstattet, was sie vor undenkbaren Zeiträumen dem grossen Wasserreiche geliehen.

Dies wäre die kurze Ueberschau einiger chemischer Vorgänge auf und in der Erde. Sie hat Ihnen gezeigt, wie ein Stoff in mannigfachem Wechsel der Form und des Ortes durch die belebte und unbelebte Natur

ewig kreist, in engeren und weiteren Bahnen, in kurzen und in lange dauernden Wanderungen, dass eine planmässige Verbindung besteht zwischen den zufällig erscheinenden Wegen, ein Zusammenhang besteht zwischen den heterogensten Erscheinungen. Wir dürfen das Bild erweitern, ergänzen, denn dasselbe gilt für viele andere Stoffe, für alle Erscheinungen im Getriebe der Natur. Mannigfach und allumfassend ist der Kreislauf der Elemente. Beständig nimmt die Erde Stoffe aus ihrer luftigen Hülle, verwandelt sie und haucht sie als luftige Producte wieder aus. Unaufhörlich kreisen in ihr und auf ihr die Säfte rieselnd und strömend in den zahllosen Wasseradern. Hier speichert sie die Stoffe auf in fester Gestalt, dort entlässt sie dieselben als unsichtbare Luftart. Es ist das Bild eines kolossalen Organismus! Oder sollte es nicht gestattet sein, an einen solchen Vergleich zu denken und sollten wir immer nur die todte Maschine erblicken in dem planvollen Ineinandergreifen alles dessen, was sich regt, in der innigen Verbindung alles Lebenden und Leblosen zu einem unauflöselichen Ganzen? Dann müssten wir klagen wie Schiller:

Unbewusst der Freuden, die sie schenket,
Gleich dem todtten Schlag der Pendeluhr,
Dient sie knechtlich dem Gesetz der Schwere
Die entgötterte Natur.

Gewiss, nur die oberflächliche Kenntniss der Natur verträgt sich mit einer rohen Auffassung der-

selben. Je mehr sich unser Wissen vertieft, desto mehr wird es uns gelingen den Geist zu finden in dem bewusstlos erscheinenden Wirken, ein allumfassendes Leben zu ahnen in dem zufällig scheinenden Spiel der Kräfte.
