

1912: 3288.

KREISLAUFVORGÄNGE IN DER ERDGESCHICHTE

REDE

GEHALTEN ZUR FEIER DER AKADEMISCHEN PREISVERTEILUNG
AM 15. JUNI 1912

VON

DR. GOTTLOB LINCK

O. Ö. PROFESSOR DER MINERALOGIE UND GEOLOGIE
D. Z. PROREKTOR



JENA
VERLAG VON GUSTAV FISCHER
1912

Hochansehnliche Versammlung! Liebe Kollegen und Kommilitonen!

Die Ewigkeit vor uns, die Ewigkeit hinter uns und mitten darinnen die gegenwärtige bewegte Welt der Tatsachen, beherrscht von einer Dreieinigkeit aus in ihrem tiefsten Grunde heute noch gänzlich unzugänglichen Elementarbegriffen: Materie, Energie, Leben das ist die Natur. Die Natur ist unendlich und mit ihr jene drei Begriffswesen. Lavoisier hat die Unsterblichkeit, die Unendlichkeit der Materie, Robert Mayer die der Energie erwiesen, aber noch streiten sich die Forscher um die Unendlichkeit des Lebens. Wohl mehren sich die, welche sagen, belebte Materie aus unbelebter schaffen zu wollen, sei ein ebenso fruchtlos Beginnen, wie die Herstellung eines Perpetuum mobile. Freilich erwiesen ist das noch nicht, so wenig als die Gegenmeinung, welche das Leben der Verbindung von Energie und Materie gleich setzt. In beiden Fällen ist das Leben unendlich. Im ersteren Falle tritt nur ein Neues hinzu, und die Vertreter dieser Meinung haben bis heute die Erfahrung auf ihrer Seite, sie nehmen nichts vorweg, sondern bleiben auf dem Boden der Tatsache. Leben quillt immer nur aus Leben, und wenn es nach unserer heutigen Erfahrung auch wahrscheinlich sein mag, daß das Leben auf unserer Erde einmal angefangen hat, so braucht dies nicht der Anfang zu sein. Die einzige Quelle der Wahrheit ist auch hier das Experiment, das schon so oft wie das Perpetuum mobile und auch mit dem gleichen Erfolge versucht wurde. Wer heute etwas aussagen will über den Urgrund des Lebens oder der Materie oder der Energie, der muß an die Stelle der Wahrheit den Traum setzen.

Der Naturforscher aber geht besser nicht in das Märchenland der Unendlichkeit, sondern bleibt mit kühlem Verstande bei dem Erforschlichen, bei den Dingen, die in ihren Qualitäten sterblich sind. Da ist nun aber

ein ewiges Werden und Sein und Vergehen, aber kein Werden aus Nichts und kein Vergehen zu Nichts, sondern das Werden ist nur eine Wandlung und das Vergehen eine Umwandlung, beides nur eine Aenderung von Qualitäten. Das Sein entspricht einem Gleichgewicht und das Werden und Vergehen einer Störung des Gleichgewichtes. Eine solche Störung aber bedeutet unweigerlich den Tod eines bestehenden Systems und zugleich die Geburt eines anderen mit anderen Qualitäten ausgestattet. Was vergehen kann, das vergeht, und dies allein ist uns das Begriffliche, nicht aber das Unvergängliche.

In dem Zeitraum zwischen Geburt und Tod eines Systems liegt seine Geschichte. Aber jedes System hat nun eine Vorgeschichte, deren Wurzel in der Unendlichkeit liegt und eine Nachgeschichte, deren Zweige sich in der Ewigkeit verlieren. So ist jede individuelle Geschichte ein Stück Ewigkeitgeschichte und es ist klar, daß die Wissenschaft nie ans Ende gelangen wird, denn ein neues Problem wird jeder Lösung folgen.

Es ist wie beim Sternenhimmel, wo sich mit der Verbreiterung der Beobachtungsbasis der Weltraum Lichtjahr um Lichtjahr vertieft, aber immer wieder in einer mit Sternen besäten undurchdringlichen Wand endet. Das wird aber den Menschen nicht abhalten, weiter nach Erkenntnis und Wahrheit zu streben, das Erforschliche zu erforschen, zu beschreiben, zu vergleichen und zu verbinden. Jedem Forscher aber ist nur ein kleines Feld des Erforschlichen zugänglich, weil Kraft und Zeit zum Ganzen nicht ausreichen. So will ich mich beschränken auf ein kleines Gebiet, das meinem Können und Denken gleichförmig ist.

Wenn wir die Welt um uns betrachten, dann will es scheinen, als ob sie stillstände, denn so wie es heute ist, ist es gestern gewesen und vor tausend Jahren auch, und so wie es morgen sein wird, mag es wohl in tausend Jahren auch noch sein. Die Menschen kommen und gehen, alljährlich erweckt der Lenz die Pflanzenwelt zum neuen Leben, Tag und Nacht fließt das Wasser talab von den Bergen, die es immer gegeben hat, wenigstens viel länger als die Menschen denken können. Wo bleibt da das Fortschreiten der Erdgeschichte? Ich habe schon gesagt, daß das Fortschreiten bedingt wird durch eine Aenderung des Gleichgewichtes und ich füge hinzu, daß dieses Fortschreiten, weil die Aenderung ohne äußeren

Anstoß geschieht, zu einem Zustand mit geringerer Arbeitsfähigkeit führt. Dies scheint nun in der uns umgebenden Welt nicht realisiert zu sein. Es beginnt vielmehr dasselbe Spiel immer wieder von neuem. So sprechen wir von Kreisläufen, aber es sind eigentlich keine Kreisläufe, so wenig wie der Punkt auf einem fortrollenden Rad einen Kreis beschreibt. Schoenbein hat schon im Jahre 1858 gesagt, daß jede Reaktion ein Zeitphänomen ist, und die Entwicklung der Erde ist auch ein Zeitphänomen, eine Reaktion, die nur sehr langsam verläuft, so langsam, daß der Vorgang unter den Schwellenwert unseres Bewußtseins sinkt. Alles was wir in der uns umgebenden Welt erleben, stellt nur Episoden dieser Reaktion dar, die sich Stück um Stück vollzieht bis der Energievorrat erschöpft ist.

Wir wollen nun einige solcher Kreisläufe verfolgen und sehen, woher sie ihren Weg genommen haben und wohin sie ziehen. Es wird dabei nicht ausbleiben, daß wir den einen Kreis mit Windeseile und den anderen in bedächtiger Schnelle dahinziehen. Wir müssen dabei scheiden in mechanische Vorgänge einerseits und chemische andererseits. Bei den ersteren handelt es sich nur um eine Verlagerung der Stoffe, um die Einstellung und Zerstörung mechanischer Gleichgewichte, bei den letzteren hingegen um das Werden, Vergehen und wieder Werden bestimmter Qualitäten.

Der mechanische Kreislauf wird bedingt durch die Energieschätze der Erde und der Sonne. Der Verlust der Eigenwärme unserer Erde ist im letzten Grunde die Ursache der Aufrichtung der Gebirge, er hat Land und Wasser geteilt, Berg und Tal geschaffen. Die Wärmezufuhr von der Sonne bringt uns Wind und Wetter, Sonnenschein und Wolken, Regen und Schnee. Aus dem Weltmeere, aus Seen und Flüssen, aus dem wasserdurchtränkten Gestein steigen unter dem Einfluß der Sonnenwärme die Nebelschwaden auf, der Wind treibt sie über die weite Erde, sie steigen in höhere, kühlere Luftschichten oder wälzen sich an den Gelinggen zum Kamm empor, kühlen sich ab und fallen als Regen und Schnee zur Erde nieder. Der Schnee wird unter der strahlenden Sonne zu Wasser. Das Wasser dringt in die Erde ein, oder fließt auf ihr ab; aber auch das eingedrungene Wasser kommt zum Teil nach längerem oder kürzerem Lauf in Form von Quellen wieder an die Erdoberfläche und vereinigt sich mit

dem dort gebliebenen. Ein anderer Teil freilich fließt auf unterirdischem Wege, als sogenanntes Grundwasser den Seen und dem Meere zu. Das Oberflächenwasser nun zerstört die Gesteine, die schon durch Temperaturwechsel und andere Verwitterungserscheinungen gelitten haben, beladet sich mit gelösten und suspendierten Stoffen und tritt eine lustige Reise an talab, um so lustiger und schneller je höher der Berg, auf dem es gefallen ist. Dabei entwickelt das Wasser lebendige Kraft von ungehörter Größe: die Wasserkräfte. Rehbock hat ausgerechnet, daß die Wasserkräfte der Erde in jeder Sekunde den Betrag von 8 Milliarden Pferdekraften darstellen, und Engler hat gezeigt, daß es bei Erzeugung einer solchen Kraft durch Kohlen in noch nicht einer halben Jahrhundert um den gesamten Kohlenvorrat der Erde geschehen wäre. Die Kohle aber wird längst verbraucht sein, wenn das Spiel der Wasserkräfte noch unverändert andauert. So scheint die Wasserkraft ohne Ende; aber es gab eine Zeit, wo die Erde ohne Wasser war, und es wird eine Zeit kommen ohne Gebirge. Die Erde war einstens in glutflüssigen Zustande und darum kein Wasser möglich, und der Wärmeschatz der Erde nimmt ab, unmerklich zwar aber sicher, darum auch die gebirgsbildende Kraft, und es werden keine neuen Gebirge mehr entstehen. Die Bestehenden werden abgetragen, denn jegliches Flußwasser bringt Felsblöcke, Geröll, Sand oder Schlamm aus den Bergen mit und jegliches Flußwasser führt gelöste Stoffe, Salze mit sich, die mit Ausnahme von höchstens einem Zehntel aus den Bergen stammen. Das letzte Zehntel ist sogenanntes zyklisches Salz, welches durch die Winde aus den in der Brandung des Weltmeeres aufgeweichten Wassermassen rein mechanisch mitgenommen wird. Clarke gibt an, daß die Chlormenge, welche jährlich durch Regen und Schnee der festen Erdrinde aus der Atmosphäre zugeführt wird, für den Quadratkilometer zwischen 2 und 20-Tonnen schwankt. Diese Menge ist in Küstenstrichen größer als im Innern der Festländer, aber sie ist doch so groß, daß Posepny seinerzeit den ganzen Chlorgehalt der Flüsse darauf zurückführen wollte. Ueber das Unzutreffende dieser Ansicht werden wir später noch einiges hören.

Nach Murray, Fritzsche und Meinardus nehmen ungefähr 360 000 Kubikkilometer Wasser jährlich an diesem Kreislauf teil und davon fällt etwa $\frac{1}{4}$ auf das feste Land. Dieses aber will der Erde Relief verflachen und alles eben machen. Bei der Emsigkeit und Beharrlichkeit

seines Wirkens möchte es ihm wohl gelingen, wenn nicht immer wieder neue Gebirge aus dem Meere aufstiegen und die Arbeit des Wassers, wie seit dem Erkalten der Erde aus dem Schmelzfluß schon drei- oder viermal, wieder von vorne beginnen müßte. Aber der Wärmeschatz der Erde ist begrenzt und wird kleiner, die neuen Gebirge sind weniger ausgedehnt und niedriger, bis zuletzt überhaupt keine mehr entstehen. Dann wird das Wasser sein Ziel erreichen, das Relief der Erde wird eingeebnet sein, die Flüsse werden nur noch träge, ohne innere Kraft durch weite Niederungen schleichen, das Meer wird Besitz ergreifen von allem Land und die Sonne wird vom Aufgang bis zum Niedergang in der irdischen Flut spiegeln. Sie wird die Erde auffordern zum Spiel, aber ihr Widerspiel hat aufgehört. Das Rad, welches der erste Regen in grauer Vorzeit in Bewegung setzte, steht still mit dem Verschwinden des letzten Berges auf der Erde. Eine Reaktion ist abgelaufen, das Gleichgewicht hergestellt.

Begeben wir uns nun auf ein anderes Gebiet, in dem sich hauptsächlich chemische Prozesse abspielen, so können wir solche unterscheiden, bei denen die Organismen beteiligt sind und andere, bei denen dies nicht der Fall ist. Jenes ist der sogenannte organische, dieses der anorganische Kreislauf.

Von dem Ersteren eingehend zu berichten, liegt weder in meiner Absicht, noch in meinem Können, nur in großen Zügen sei er geschildert. Sonnenenergie und irdische Stoffe sind die Erhalter des Lebens. Engler nennt die Pflanzen Akkumulatoren mit aufgespeicherter Sonnenenergie. Mit Hilfe dieser Energie wandelt die Pflanze die irdischen Stoffe zu Eiweiß, Fetten und anderen organischen Verbindungen von komplizierter chemischer Zusammensetzung, sie baut daraus ihren Leib. Die Tiere wieder leben von den Pflanzen und man hat öfter den Nachweis erbracht, daß eine direkte Proportionalität zwischen Pflanzen- und Tierreichum besteht. Den Hauptnahrungsstoff für die Land- und Wasserpflanzen bildet die Kohlensäure der Luft und des Wassers.

In der Luft ist das Verhältnis der Kohlensäure zu den anderen Gasen etwa wie 3:10000, d. h. auf je 10000 Liter Luft kommen 3 Liter Kohlensäure. Das macht für die ganze Atmosphäre $2\frac{1}{4}$ Billionen Tonnen Kohlensäure. In dem Meerwasser sind nach J. Murray auf jeden Liter durchschnittlich 45 Milli-

gramm Kohlensäure enthalten und da es ca. 1300 Millionen Kubikmeter Meerwasser gibt, so sind im Meere etwa 60 Billionen Tonnen Kohlensäure, also mehr als 25 mal soviel als in der Luft vorhanden. Außer dieser freien Kohlensäure steht den Pflanzen im Wasser aber auch noch die Kohlensäure aus den Bikarbonaten des Kalziums, Kaliums, Natriums zur Verfügung, und es ist erwiesen, daß sie gerade diese Kohlensäure mit Vorliebe assimilieren.

Nach Engler nimmt von dem Kohlensäuregehalt der Atmosphäre nur etwa der 50. Teil an dem organischen Kreislauf teil. Sie wird von den Pflanzen aufgenommen, der Sauerstoff vom Kohlenstoff abgesondert und wieder ausgehaucht. Die Tiere hingegen nehmen Sauerstoff auf und verbrennen damit ihre Nahrung zu Kohlensäure, die wieder in die Atmosphäre zurückgelangt. Hat man die Pflanzen Energiesammler genannt, so kann man demnach die Tiere Energieverbraucher nennen. Es zeigt sich die Korrelation zwischen Pflanzen und Tieren, zwischen Später und Zehrer, auch wird dadurch bestätigt, daß die ersten Organismen der Erde pflanzlicher Natur waren.

Es braucht nun aber die Pflanze außer der Kohlensäure noch eine Reihe von anderen Stoffen, so Stickstoffverbindungen, Phosphorsäure, Schwefelsäure, Kali- und Kalksalze usw., neben mehr oder minder großen Mengen Wasser. Die Quelle der Kali- und Kalksalze, der Phosphorsäure und Schwefelsäure ist die feste Erdrinde, über die ich nachher noch einiges zu sagen habe. Die Quelle der Stickstoffverbindungen ist verschiedenartig. Teils entstehen sie bei den Fäulnisprozessen organischer Substanzen und gelangen so in die Luft, oder bleiben im Boden; teils werden sie aus dem Luftstickstoff durch sogenannte nitrifizierende Bakterien gebildet, teils entstammen sie den Vulkanen und teils endlich verdanken sie ihre Entstehung der Oxydation des Luftstickstoffs bei den großen elektrischen Entladungen der Atmosphäre. Die in der Luft enthaltenen Stickstoffverbindungen werden durch Regen, Schnee und Reif niedergeschlagen. Nach Clarke fallen so im Jahre etwa 0,5 Gramm Luftstickstoff auf den Quadratmeter oder auf die ganze feste Erdrinde mit ihren 156 Millionen Quadratkilometern 68 Millionen Tonnen, das ist das zweihundertfache dessen, was wir heute dem Boden in Form von Chilesalpeter und Gasammoniak zuführen.

Schlösing rechnet jährlich auf den Hektar 1600 Gramm Ammoniak aus der Atmosphäre. Arrhenius gibt für das gemäßigte Klima 1,25 Gramm Stickstoff auf den Quadratmeter, in den Tropen das Vierfache, und als Durchschnitt 3 Gramm an. Daraus berechnet er für die feste Erdrinde 400 Millionen Tonnen, An Stickstoff aus Chilesalpeter wurden im Jahre 1905 verbraucht 260 000 Tonnen, aus Gasammoniak 65 000 Tonnen, zusammen ca. 325 000 Tonnen, und das wäre etwa $\frac{1}{1000}$ des aus der Atmosphäre niedergeschlagenen Luftstickstoffes. Wenn die Kohlensäure mit $\frac{1}{50}$ an dem organischen Kreislauf teilnimmt, dann ist es von dem Sauerstoff etwa ein Teil auf 3500 Teile und von dem Stickstoff etwa 1 Teil auf drei Millionen Teile der betreffenden atmosphärischen Gase. Natürlich fallen entsprechende Mengen auch in das Meer und dienen dort den Wasserpflanzen als Nahrung. Für das Meer wären nach Clarke etwa 200 und nach Arrhenius 1100 Millionen Tonnen Stickstoff zu rechnen.

Wir sehen, daß alle Stoffe, die Pflanzen und Tiere zur Nahrung bedürfen, in überreicher Menge auf der Erde vorhanden sind, und doch wäre der Vorrat an einzelnen längst aufgezehrt, wenn er nicht einerseits aus einer später zu berührenden Quelle immer wieder ergänzt würde und wenn nicht andererseits das Los allen Lebens der Tod wäre. Nach dem Tode zerfallen die Lebewesen wieder in die einfachen Salze und Verbindungen, aus denen sie aufgebaut waren und diese nehmen erneut an dem Kreislauf teil. Freilich so ganz verlustlos verlaufen diese Vorgänge nicht, weil ein Teil der Tier- und Pflanzenleichen der Verwesung entzogen und in Form von Torf, Kohlen oder Binnunen abgelagert und konserviert wird. Das Petroleum stammt nach Engler hauptsächlich aus tierischen Fetten, die Kohlenlager verdanken ihre Entstehung der Pflanzenwelt. Liebig schätzte jedoch den Betrag der so fossilisierten Pflanzen nur auf etwa 1 Proz. der gesamten Produktion der Erde. Diese Schätze aber bleiben nicht ungenutzt, denn einerseits gehen durch fortschreitende Verkohlung erhebliche Mengen von Kohle in Form von Kohlensäure, Kohlenoxyd und Kohlenwasserstoffen in die Luft zurück, und andererseits werden mit fortschreitender Kultur die Schätze wieder ausgegraben, zu Kohlensäure verbrannt und der Luft wieder zugeführt. Wir haben zurzeit eine jährliche Kohlenverbrennung von über

einer Milliarde Tonnen und daraus wird die Kohlensäure der Atmosphäre jährlich etwa um ein Tausendstel vermehrt.

So haben wir gesehen, daß dieser Kreislauf ein sehr vollkommener ist, ähnlich dem mechanischen, aber auch er hat vor vielen Millionen von Jahren einmal begonnen und wird als eine Episode im Erdendasein nach einer endlichen Wiederholung in Millionen von Jahren sein Ende erreichen, wenn die damit im Zusammenhang stehenden chemischen Vorgänge abgelaufen sind, das Gleichgewicht erreicht ist.

Diese außerhalb der organischen Natur stehenden Prozesse nun sind es, denen wir unser Augenmerk an dritter Stelle zuwenden wollen. Es ist auch eine Art Kreislauf, denn wie wir sehen werden, sind die wesentlichsten Stoffe, auf die es ankommt, zuerst mit anderen Qualitäten versehen, sie ändern diese Qualitäten und kommen wieder in einen Gleichgewichtszustand. Die folgende Betrachtung handelt von der Erde als anorganischem Ganzen und wir gehen daher bei unserer Betrachtung von dem gegenwärtigen Zustande aus, um von hier aus das Vergangene und das Kommende zu erschließen, soweit es in unserer Macht liegt.

Man kann an der Erde 4 Sphären unterscheiden, Lufthülle, Wasserhülle, Steinhülle und Kern. Der chemischen Zusammensetzung dieser Sphären werden wir uns einen Augenblick zuwenden müssen.

Die Lufthülle besteht im wesentlichen aus Stickstoff, Sauerstoff, Argon und Kohlensäure. Die Ausdehnung der Atmosphäre ist nicht sicher bekannt, wohl weil sie überhaupt nicht begrenzt ist, sondern nur immer dünner wird. Sternschnuppen leuchten auf, wenn sie in die Atmosphäre gelangen, und es geschieht dies bereits bei 200 km Höhe. Der höchste Punkt des Nordlichtes ist zu 400 km gemessen worden. Aber wir können durch den Barometerdruck das Gewicht der Atmosphäre, welches rund 5000 Billionen Tonnen beträgt, wovon etwa 3800 Billionen Tonnen Stickstoff, 1200 Billionen Tonnen Sauerstoff, 75' Billionen Tonnen Argon und 2 $\frac{1}{2}$ Billionen Tonnen Kohlensäure sind. Daneben enthält die Atmosphäre noch örtlich und zeitlich sehr stark schwankende, aber ziemlich große Mengen von Wasserdampf, dann in geringer Menge die sogenannten Edelgase, etwas Wasserstoff und Ozon, ferner jene Stoffe, von denen wir gehört haben, daß sie durch Regen und Schnee niedergeschlagen werden, und endlich in der Nähe von Städten die sogenannten Industriegase. Wie erheblich die letz-

teren werden können, ersieht man daraus, daß nach R. Warington in der Nähe von Rothamstedt in England jährlich 20 kg Schwefelsäure auf einen Hektar Land niedergeschlagen werden.

Nach W. Ramsay ist die gewichtsprozentische Zusammensetzung der Atmosphäre: Stickstoff 75,539; Sauerstoff 23,024; Argon 1,437. Mit dem Argon kommen die Edelgase in folgenden Volumprozenten vor: Krypton 0,028; Xenon 0,05; Helium 0,0004; Neon 0,0123. Das Mischungsverhältnis der Gase ist geringen Schwankungen unterworfen, die von Klima, Ort, Jahreszeit und Höhe abhängen.

Wie die Luft in der Nähe von Städten verunreinigt wird, zeigt folgendes Beispiel, welches aus den Straßen von Paris durch Gautier gegeben wurde: Wasserstoff 19,4 ccm; Methan 12,1 ccm; Benzene und Homologe 1,7 ccm; Kohlenoxyd mit Spuren von Acetylen u. a. 0,2 ccm, je in 100 Liter Luft.

Hier mag noch eine von Clarke zusammengestellte Tabelle über den in Form von Ammoniak oder Salpetersäure aus der Atmosphäre niedergeschlagenen Stickstoff Platz finden:

	Stickstoff in Form von Ammoniak	Salpetersäure	Zusammen
Rothamstedt, England	2,71	1,13	3,84
Paris	—	—	8,93
Caracas, Venezuela	—	0,56	—
Gembloux, Belgien	—	—	9,20
Barbados	1,009	2,443	3,452
Britisch Guiana	1,006	1,886	3,541
Kansas	2,63	1,06	3,69
Utah	5,06	0,356	5,42
Mississippi	—	—	3,636
Neuseeland	—	—	2,08

Endlich sei hier noch eine ebenfalls von Clarke zusammengestellte Tabelle über den Chlorgehalt der vom Regen in verschiedenen Gegenden niedergeschlagenen Chloride gegeben:

	kg per Ha.
Rothamstedt, England	16,65
Ceylon	202,3
Calcutta	36,81
Madras	40,62

Odessa	19,04
Barbados	131,0
Britisch Guiana	144,7
Neuseeland	68,55

Diese Salze stellen im wesentlichen sogenanntes zyklisches Salz, d. h. mechanisch vom Winde aus dem Meere mitgenommene Salze dar: Pierre hat schon im Jahre 1851 bei Caen in der Normandie im Regen sämtliche Salze des Meerwassers bestimmt.

Die Wasserhülle umspannt die Erde nicht kontinuierlich, wenn man nur das Wasser der Meere rechnet, aber nimmt man hierzu noch das Wasser, welches auf und in dem Festlandssockel zirkuliert, und dessen Menge ebensoviele sein dürfte wie die des Meerwassers, so kann man gleichfalls von einer zusammenhängenden Hülle reden. In dem Meere sind etwa 1300 Millionen Kubikmeter Wasser, dessen besondere Eigenthümlichkeit sein Salzgehalt ist, der rund 20 Millionen Kubikmeter ausmacht, oder dem Gewicht nach etwa 45 Billionen Tonnen. Würde man das Meerwasser verdunsten, so erhielte man etwa 34—35 Billionen Tonnen Kochsalz, 3 Billionen Tonnen Chlormagnesium, 2 Billionen Tonnen schwefelsauren Kalk, 1 Billion Tonnen Chlorkalium und noch eine Reihe von anderen Salzen in wesentlich geringerer Menge, unter denen wieder die als Pflanzennahrung wichtigen Stickstoffverbindungen nicht an letzter Stelle stehen.

Es sind in dem Meere bis heute einige dreißig Elemente nachgewiesen worden, aber es unterliegt keinem Zweifel, daß fast alle Elemente der festen Erdkrinde auch im Meerwasser vorkommen. Von den selteneren seien als für die Organismen wichtig erwähnt: der Phosphor in Form von Phosphaten, die man in Knollenform am Meeresgrund vielfach vorfindet, das Silizium in Form von Kieselsäure, nach E. Raben mit 0,2—1,4 mg pro Liter Seewasser; dann von allgemeinerem Interesse Gold, nach F. L. Wagner mit 11,1 mg Silber mit 169,5 mg in jeder Tonne Wasser. Auch Radium ist von Joly mit Hilfe der Radioaktivität berechnet worden und zwar auf 1 cdm Meerwasser $0,017 \times 10^{-12}$ g, was einem Gesamtgehalte von 20 000 Tonnen Radium im ganzen Meere entsprechen würde. Diese Angabe wird aber von Clarke angezweifelt, weil es auch andere radioaktive Elemente gibt.

Der mittlere Salzgehalt der Meere beträgt etwa 3,5 Proz., ist in einer gewissen Tiefe im allgemeinen konstant, aber an der Oberfläche oder in Binnenmeeren veränderlich, je nach dem Klima, der Strömung oder der mehr oder minder großen Zufuhr von Süßwasser durch die Flüsse oder die Eisschmelzwasser der Polar-meere. Ueber die Zusammensetzung der Salze im Mittel und von verschiedenen Orten mag nachstehende Tabelle Clarkes Auskunft geben:

	A	B	C	D	E
Cl	55,292	55,185	55,01	55,53	55,60
Br	0,188	0,179	0,13	0,18	0,13
SO ₄	7,692	7,914	8,00	7,74	7,49
CO ₂	0,207	0,213	0,14	0,19	0,02
Na	30,593	30,260	30,47	30,37	30,81
K	1,106	1,109	0,96	1,09	0,97
Rb	?	?	0,04	?	0,03
Ca	1,197	1,244	1,67	1,26	0,89
Mg	3,725	3,896	3,53	3,64	3,87
Fe, SiO ₂ , PO ₄	?	?	0,05	?	0,02

A. nach Dittmar, Mittel aus 77 Analysen von verschiedenen Orten. Salzgehalt: 3,301—3,737 Proz.

B. Atlantik, nach C. J. S. Makin, Mittel aus 22 Analysen, Salzgehalt, Mittel: 3,631 Proz.

C. Ostsee zwischen Oeland und Gotthand, nach C. Schmidt Salzgehalt: 0,7215 Proz.

D. Mittelmeer bei Karthago, nach T. Schlösing. Salzgehalt: 3,8974 Proz.

E. Rotes Meer (Mitte), nach C. Schmidt. Salzgehalt: 3,976 Proz.

Außer den genannten Salzen sind aber im Meere auch große Mengen von atmosphärischen Gasen enthalten, von denen Sauerstoff und Kohlensäure für die marine Lebewelt von allgrößter Bedeutung sind. Von der Kohlensäure werden nach J. Murray im Mittel 45 Milligramm vom Liter Seewasser absorbiert, was, wie ich schon früher erwähnt habe, im gesamten Meere etwa 60 Billionen Tonnen, also rund 27 mal soviel als in der ganzen Atmosphäre, ausmacht. Sauerstoff wird verhältnismäßig mehr absorbiert als Stickstoff, aber von beiden bedeutend weniger als von Kohlensäure,

nämlich im Mittel 15,6 Milligramm Stickstoff und 9,12 Milligramm Sauerstoff oder rund 10 Billionen Tonnen Stickstoff und 12 Billionen Tonnen Sauerstoff im ganzen Meere.

Es ist bemerkenswert, daß die marinen Organismen in einer anderen Atmosphäre leben, als die terrestrischen, denn das Verhältnis von Sauerstoff zu Stickstoff ist dem Gewicht nach in der Luft etwa wie 23:76, im Meere hingegen wie 57:63, und noch auffälliger verschoben ist das Verhältnis zwischen der Summe von Sauerstoff und Stickstoff einerseits, zur Kohlensäure andererseits. Es ist nämlich in der Luft etwa wie 2000:1 und im Meere wie 1:2, d. h. es ist hier doppelt soviel Kohlensäure vorhanden, als Sauer- und Stickstoff zusammen. Freilich wird die Kohlensäure durch das Wasser verdünnt und es besteht zwischen Wasser und Kohlensäure das Verhältnis 22.000:1.

Es mögen hier noch einige genauere Angaben über die Gasmenge im Meerwasser folgen. Nach Dittmar sind im Liter Seewasser bei 760 mm Druck enthalten:

Temperatur	com Stickstoff	com Sauerstoff
0°	15,60	8,18
5°	13,86	7,22
10°	12,47	6,45
15°	11,34	5,83
20°	10,41	5,31
25°	9,62	4,87
30°	8,94	4,50
35°	8,36	4,17

Ueber den Gehalt an Kohlensäure bei verschiedenen Temperaturen gibt Dittmar folgende Tabelle:

Temperatur	Gehalt an Kohlensäure (mg im Liter)
1,4° bis 3,2°	53,31
5°	47,21
10°	43,50
15°	42,68
20°	37,18
25°	35,88

Von J. Y. Buchanan stammt folgende Tabelle über den Wechsel des Kohlensäuregehaltes in verschiedenen Tiefen:

Tiefe	Gehalt an Gasen (mgr im Liter)
Oberfläche	42,6
25 Faden	33,7
50 "	48,5
100 "	43,6
200 "	44,6
300 "	44,0 mgr im Liter
400 "	41,1
800 "	42,2
Mehr als 800 "	44,6
Boden	47,4

Aus diesen Angaben ergibt sich, daß der Gehalt an Gasen schwankt mit Temperatur und Tiefe und natürlich auch abhängig ist von Strömungen und von dem Reichtum des Pflanzen- und Tierlebens. Ist die Fauna und Flora reich, so nimmt der Gasgehalt ab; ist die Fauna besonders reich, dann muß der Sauerstoffgehalt ab- und die Kohlensäure zunehmen, während bei reichlicher Flora das umgekehrte eintreten muß. Daher stammt zum größten Teil die Relation, daß reiches Tierleben ein reiches Pflanzenleben im Gefolge hat und umgekehrt.

Wir kommen nun zur steinigten Rinde unserer Erde und damit mehreren sich die Schwierigkeiten der Feststellung der Tatsachen, denn die tiefsten Bohrlöcher, die man hat, gehen wenig über 2000 Meter hinab, mit anderen Worten, es ist nur die alleräußerste Schale unmittelbar zugänglich. Wenn man aber von der Ueberlegung ausgeht, daß diese Rinde einerseits aufgebaut ist aus Sedimenten und andererseits aus Eruptivgesteinen, und daß mit zunehmender Tiefe die letzteren mehr und mehr zu alleiniger Herrschaft gelangen, wenn man ferner beachtet, daß die chemische Zusammensetzung der Eruptiven sich im Laufe der geologischen Epochen nicht wahrnehmbar verändert hat, so kann man aus den vielen tausenden von Analysen wohl zu einem der Wahrheit nahekommenen Mittel der Zusammensetzung der Eruptiven einerseits und der Sedimente andererseits gelangen. Ist es dann noch möglich, das Mengenverhältnis zwischen Eruptiven und Sedimenten zu schätzen, dann erscheint es möglich, die chemische Zusammensetzung der Erdrinde, wenigstens bis zu einer gewissen Tiefe festzustellen. Eine derartige Rechnung wurde sowohl für die Gesteine der nordamerikanischen Union, als für die Englands durchgeführt und ergab sehr gut übereinstimmende Resultate. Nach Clarkes Berechnungen sind es nur 8 Ele-

mente, welche je einen über 1 Proz. betragenden Anteil an der Zusammensetzung der steinigen Rinde nehmen. Es sind dies: der Sauerstoff mit 47, das Silizium mit 28, das Aluminium mit 8, das Eisen mit 4,5, das Kalzium mit 3,5 und das Magnesium, Kalium und Natrium mit je 2,5 Proz., das sind zusammen 98,5 Proz. und es bleiben demnach für alle übrigen Elemente zusammen genommen nur 1,5 Proz. Von den beiden Elementen Phosphor und Schwefel, welche in Hinsicht auf die organische Welt von Wichtigkeit sind, ist nur je $\frac{1}{10}$ Proz. vorhanden. Das reicht natürlich für die Lebewelt vollkommen aus, wenn man die gewaltige Masse der steinigen Rinde bedenkt. Bis zu einer Tiefe von 16 Kilometern würde diese immer noch je etwa 7000 Billionen Tonnen Schwefel und Phosphor enthalten.

Aus Clarkes Berechnungen seien noch einige Einzelheiten angeführt. Er findet folgendes für die Zusammensetzung der Eruptiven:

Sauerstoff	47,05	Proz.
Silizium	28,26	"
Aluminium	7,98	"
Eisen	4,47	"
Kalzium	3,43	"
Magnesium	2,34	"
Natrium	2,54	"
Kalium	2,50	"

Fast genau die gleichen Resultate hat A. Harker für britische Gesteine erhalten, und Bunsen hat schon vor vielen Jahren die Zusammensetzung der Erdrinde in ähnlicher Weise geschätzt. I. H. L. Vogt, welcher die Clarkeschen Angaben geprüft und auch für die Mehrzahl der übrigen Elemente Schätzungen angestellt hat, versuchte die Fehlergrenzen für obige Zahlen festzustellen und teilt darüber folgendes mit:

Sauerstoff $\pm \frac{1}{20}$ bis $\frac{1}{5}$, Silizium $\pm \frac{1}{10}$, bei den übrigen oben genannten Elementen $\pm \frac{1}{8}$ bis $\frac{1}{4}$. Solche Fehler ändern natürlich an der Größenordnung obiger Zahlen so gut wie nichts.

Bei den Sedimenten ist die Durchschnittszusammensetzung in analoger Weise gewonnen worden, einfach als Mittel aus zahlreichen Analysen. Clarke macht die Dreiteilung: Tongesteine, Sandsteine, Kalksteine, schätzt dann weiter den Gehalt an freiem Quarz in den Eruptiven zu 12 Proz. und berechnet nach seinen

Sandsteinanalysen daraus 18 Proz. Sandsteine. Aus dem Kalziumgehalt der Eruptiven werden sodann 11 Proz. Kalkcarbonat berechnet, von dem aber rund die Hälfte in den Sand- und Tongesteinen verbleibt. Deshalb wird die Menge der Kalksteine unter den Sedimenten nur zu 6 Proz. angenommen und es verbleiben für die Tongesteine 76 Proz. Andere fanden für das Verhältnis jener drei Gruppen von Sedimenten zueinander andere Zahlen, so van Hise 30:5:65. W. I. Mead dagegen 11:9:80. Dies sind aber doch nur unwesentliche Aenderungen gegenüber den Annahmen von Clarke. Sodann wurde festgestellt, in welcher Menge oder Mächtigkeit die Sedimente auf der Erde überhaupt vorhanden sein müssen, und Clarke kommt zu dem Schluß, daß die ganze Erde durchschnittlich 800 Meter tief mit Sedimenten bedeckt sei. Auf Grund solcher Ueberlegungen setzt er schließlich die Sedimenten zu 5 Proz. der ganzen Erdmasse bis zu 16 Kilometer Tiefe. Wenn nun auch diese Schätzung der Sedimente nach Ausdehnung und Masse auf sehr schwachen Füßen steht — ich glaube, daß sie erheblich größer ist — so ist doch sicher, daß auch eine Vermehrung auf das Doppelte nur eine kleine Verschiebung der Durchschnittszahlen der Elemente für die Erdrinde hervorbringen würde. Nur beim Kalium und Natrium würde der Betrag einige Zehntel Prozent und zwar zu Ungunsten des Natrium betragen, weil bei der Verwitterung der Eruptiven zwar Kalium und Natrium entfernt, aber das erstere von dem Tongestein nachher in höherem Maße wieder adsorbiert wird.

Als eine sehr auffallende Erscheinung mag noch hervorgehoben werden, daß die 8 wesentlichsten Elemente der Erdrinde alle ein verhältnismäßig niedriges Atomgewicht besitzen, das höchste ist 56, das niedrigste 16. Es treten demnach alle sehr leichten Elemente, mit Ausnahme von Stickstoff — Wasserstoff, der noch am reichlichsten vorhanden ist, macht einschließlich des im Meerwasser vorhandenen noch nicht 1 Proz. aus — ebensowenig zurück als auch die schweren und schwersten Elemente.

Aber dies ist ja nur die äußerste Rinde und es erwacht nun die Frage nach den inneren Teilen unseres Erdballes. Wenn wir uns ein Gestein

von der Zusammensetzung der Rinde denken, so hat dieses ein spezifisches Gewicht von etwa 2,7; die Erde selbst aber ist 5,6 mal so schwer als eine gleich große Kugel von Wasser und daraus folgt unzweideutig, daß im Erdinnern bedeutend schwerere Stoffe vorhanden sein müssen. Hält man Umschau unter den Elementen der Erdrinde — es ist doch wohl anzunehmen, daß das betreffende Element, welches die ungeheure Masse des Kernes bildet, auch an der Bildung der Rinde erheblich beteiligt sei — sehen wir uns also unter diesen Elementen um, so ist nur ein schwereres darunter, das Eisen mit dem spezifischen Gewicht von 7,8. So haben Wichert und G. Dana angenommen, daß im Erdinnern ein Eisenkern von 5000 Kilometer Radius vorhanden sei, um welchen sich eine 1500 Kilometer dicke steinige Schale legt. $\frac{1}{11}$ der ganzen Erdmasse wäre also gediegenes Eisen, natürlich mit untergeordneten Beimischungen von anderen Metallen, wie z. B. Nickel. Wenn man nun diese Annahme auch nicht direkt beweisen kann, weil kein Eruptivgestein aus solcher Tiefe emporbringt und das gediegene Eisen, das wir in manchen Eruptiven finden, anderer Entstehung ist, so kann man doch einerseits sagen, daß gar nichts, auch nicht die Fortpflanzungsrichtung und die Geschwindigkeit der Erdbebenwellen gegen jene Annahme spricht und andererseits andere Anzeichen ihre Richtigkeit bestätigen, so z. B. die chemische Zusammensetzung der Meteoriten. Diese sind nach der heutigen Anschauung Teile von durch vulkanische Kräfte oder durch die Wirkung der Sonnennähe zerstörten anderen Weltkörpern. Betrachtet man ihre chemische Zusammensetzung, so findet man unter ihnen zunächst kein einziges Exemplar, welches unseren leichtesten Gesteinen entspricht. Alkalien und Tonerde sind in der Erdkruste sehr reichlich vorhanden, in Meteoriten aber auf das Geringste reduziert. Weiter findet man sehr wenig Meteoriten, die kein gediegenes Nickel Eisen enthalten, sehr viele, ja die überwiegende Menge mit reichlichem gediegenem Nickel Eisen, sogar bis zum Vorherrschenden desselben und endlich kennt man gewaltige Blöcke von fast reinem Nickel Eisen. Steht man von dem Gehalt an gediegenem Eisen ab, so verbleibt den Meteoriten eine chemische Zusammensetzung, wie sie den schwersten irdischen Gesteinen entspricht. Kalium, Natrium, Kalzium und Aluminium sind fast bis zum Verschwinden zurückgegangen, der Sauerstoff und das Silicium haben sich vermindert, das Eisen hat sich beinahe auf das Dreifache, das Magnesium auf das Siebenfache vermehrt.

Nach Clarke ist die mittlere chemische Zusammensetzung der Meteoriten nach Abzug des gediegenen Nickel Eisens in bezug auf die wesentlichen Bestandteile folgende:

SiO ₂	45,46 Proz.	Na ₂ O	1,11 Proz.
Al ₂ O ₃	3,21 "	K ₂ O	0,38 "
FeO	19,29 "	MnO	0,65 "
CaO	2,06 "	Chromit	0,98 "
MgO	26,86 "		

Daraus berechnet sich als elementare Zusammensetzung:

O	41,9 Proz.	Mg	16,1 Proz.
Si	21,3 "	Na	0,7 "
Al	1,7 "	K	0,3 "
Fe	15,0 "	Mn	0,5 "
Ca	1,5 "		

Wir sehen, daß die Magnesium-Eisensilikate herrschen müssen. Dies sind aber diejenigen Mineralien, die sich aus den irdischen Schmelzflüssen zuerst abscheiden und man ersieht hieraus, daß auch auf der Erde von außen nach innen zuerst eine Steigerung des Magnesiumgehaltes, verbunden mit einer weniger starken Steigerung des Eisengehaltes eintreten muß und zwar bis zum völligen Verbrauch der Kieselsäure. Diese wird in erster Linie für das Magnesium, der Rest aber für das Eisen verbraucht, während das noch verbleibende Eisen in gediegenem Zustande vorhanden sein muß. Warum nun unter den Meteoriten unsere irdischen Oberflächenruptiven fehlen und nur Teile der tieferen Zone und des Kernes eines Planeten vorliegen — ich sehe von den gänzlich abseits stehenden Moldawiten und ähnlichem ab — ist noch völlig ungeklärt. Wenn man jedoch bedenkt, daß auf der Erde unter den bisher angegebenen Voraussetzungen das Verhältnis zwischen leichtester Rinde, Uebergangszone und metallischem Kern etwa 1:600:1400 sein würde, so wird jene Tatsache erklärlich.

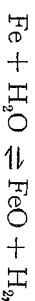
Aus diesen Betrachtungen ergibt sich dann für unsere Erde, daß unter der leichteren Rinde schwerere Gesteine folgen müssen, daß mit wachsender Tiefe der Gehalt an Silicium, Sauerstoff, Alkalien und Kalzium ab-, und Magnesium- und Eisengehalt immer mehr zunehmen, daß dann aber auch

das Magnesium verschwindet und zuletzt reines Nickelisen den Kern bildet. Von diesem Eisen wären etwa 40000 Trillionen Tonnen vorhanden.

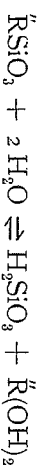
Dies ist der gegenwärtige Zustand der Erde, mit dem die Vorgänge der Lebewelt auf das engste verknüpft erscheinen, und wenn wir also nach deren Vergangenheit und Zukunft fragen, dann fragen wir zugleich nach dem Werden und Vergehen des gegenwärtigen Zustandes der ganzen Erde, denn daß der heutige Zustand nicht im Gleichgewicht ist, habe ich schon gezeigt.

Gehen wir nun zurück in die vergangene Zeit, so müssen wir uns vor der Gefahr hüten, uns in die Unendlichkeit zu verlieren und darum wollen wir einen Zeitpunkt oder Standpunkt wählen, der unter den Männern vom Fach unbestritten ist, das ist die Zeit als die ganze Erde noch in feurig-flüssigem Zustande war. Diese Zeit mag nach Thomson und Tait zwischen 200 und 400 Millionen Jahren vor der Zeit des Menschendaseins liegen. Damals stand wohl über der Erde eine Gas- oder Dampfschicht und im Kern der Erde waren bereits die schwereren Bestandteile aufgespeichert. Wollen wir uns ein Bild von der damaligen Atmosphäre machen, so können wir aus der Sonnenatmosphäre auf die irdische schließen. Nach Arhenius ist dort der Wasserstoff weitaus überwiegend und zwar neben Verbindungen von Wasserstoff mit Stickstoff und Kohlenstoff mit Stickstoff. Daneben aber sind noch viele andere Stoffe, welche heute die feste Erde bilden, in Dampf- oder Gasform vorhanden. Man müßte also denken, daß auch die irdische Atmosphäre im wesentlichen aus Wasserstoff gebildet gewesen sei. Dem ist nicht so, denn nach den Berechnungen von August Ritter kann ein Himmelskörper von der Größe unserer Erde keinen Wasserstoff in seiner Atmosphäre dauernd fesseln, wenn die Oberflächentemperatur mehr als 14044 Grad Celsius beträgt, ja nach den Rechnungen von Johnston Stoney ist auch heute die Erde nicht dazu imstande, ebenso wie sie kein Helium zurückhalten vermag, weil diese Gasmoleküle mehr als 11 km Sekundengeschwindigkeit besitzen und so der Antrieb der Moleküle stärker ist als die entgegenwirkende Schwerkraft. Vermutlich war aber bei der herrschenden Temperatur auch noch kein Wasser vorhanden, einerseits viel leicht aus dem gleichen Grunde, und andererseits weil das Wasser durch glühendes Eisen zersetzt wird unter Bildung von Eisenoxydul und Wasserstoff. Auch andere Stoffe wirken in ähnlicher Weise.

Es besteht ein Gleichgewicht



das sich mit steigender Temperatur nach der rechten Seite verschiebt. Nach Gautier bilden Ferrosalze, die in den irdischen Eruptiven in großen Mengen vorhanden sind, beim Erhitzen mit Wasser schon bei etwa 800 Grad Ferrisalze und Wasserstoff. Aber auch die Silikate zersetzen sich in der Hitze mit Wasser, indem sich nach Marc das Gleichgewicht



mit steigender Temperatur nach der rechten Seite verschiebt.

Wir können daher nicht ohne Berechtigung annehmen, daß zu jener Zeit auch das Wasser in der Atmosphäre fehlte, denn der gesamte Sauerstoffgehalt desselben mit 2,6 Trillionen Tonnen würde nur 8 Trillionen Tonnen Eisen, also nur den 5000. Teil des ganzen irdischen Eisenvorrats zu seiner Bindung in Form von Eisenoxydul verlangen. Fraglich bleibt dann freilich der Verbleib des zugehörigen Wasserstoffes, denn frei kann dieser nicht gewesen sein, wie wir eben gehört haben. Wir wissen nun aber, daß glühflüssiges Eisen Wasserstoff in großen Mengen absorbiert; so sind ja die früher niemals offen gewesenen Mannesmannröhren im wesentlichen mit Wasserstoff erfüllt. Weiter kann dieses Gas aber auch, wie wir später sehen werden, an Kohlenstoff oder Stickstoff gebunden gewesen sein.

Demnach müßte es auf der Erde eine Zeit gegeben haben ohne Wasser und ohne Wasserdampf. Zu jener Zeit mußte die Atmosphäre im wesentlichen aus den Dämpfen der feurig-flüssigen Bestandteile bestehen. Mit fortschreitender Abkühlung wird aber der Sauerstoff frei und verbrannt mit dem im Eisen vorhandenen Wasserstoff oder mit dem Wasserstoff der Kohlenwasserstoffe zu Wasser, das der Atmosphäre zuströmt. Dies muß geschehen sein, noch ehe eines der heutigen atmosphärischen Gase in größerer Menge auf der Erde vorhanden war.

Von Stickstoff haben wir nur etwa 4000 Billionen Tonnen, von Kohlenstoff in etwa 4 Billionen Tonnen Kohlen mit durchschnittlich 75 Proz. Kohlenstoff 3 Billionen Tonnen und in etwa 62 Billionen Tonnen Kohlensäure der Atmosphäre und des Meeres 17 Billionen Tonnen. Nimmt man eine Bindung des Stickstoffes

als Ammoniak und des Kohlenstoffes als Sumpfgas an, so wären an Wasserstoff hierfür erforderlich 800 Billionen Tonnen für den Stickstoff und 7 Billionen Tonnen für den Kohlenstoff. Das ist natürlich sehr wenig, nur etwa $\frac{2}{1000}$ des Wasserstoffs, der in dem irdischen Wasser an Sauerstoff gebunden ist — es sind dies etwa 300 000 Billionen Tonnen. — Freilich ist auch noch anderwärts Kohlenstoff aufgespeichert, namentlich in den Kalksteinen, aber um den noch verbleibenden Rest des Wasserstoffes an den Kohlenstoff der Kalksteine zu binden, wäre eine 5 Kilometer hohe Schicht dieses Gesteins rund um die ganze Erde nötig. Es ist dies nun aber sicher mehr als das hundertfache von dem, was in Wirklichkeit vorhanden ist, denn Högbom nimmt für die Kalksteine nur eine Mächtigkeit von 40 Metern über die ganze Erde, oder von 750 Metern über den Atlantic und Vogt eine solche von 150 Metern über die ganze Erde an. Es ist demnach einleuchtend, daß nur ein Teil des Wasserstoffes an Stickstoff und Kohlenstoff gebunden gewesen sein kann.

Es tritt dann allmählich eine weitere Abkühlung der Erde ein und damit die Erstarrung und Kristallisation. Vorgänge vollziehen sich, die in dem heutigen Vulkanismus ihr Analogon haben und darüber haben wir vorzüglich neue Untersuchungen des Schweizer Forschers A. Brun.

A. Brun hat im vergangenen Jahrzehnt ausgezeichnete, exakte und darum in ihren Tatsachen nicht zu bezweifelnde Untersuchungen über die vulkanischen Emanationen ausgeführt, die ein ganz neues Licht auf die in Frage stehenden Vorgänge werfen. Er hat die Gase untersucht, welche aus den Fumarolen und Vulkanschloten entweichen und andererseits auch gepufft, welche Gase in den sehr schnell und daher glasig erstarrten Laven (Obsidianen und Pechsteinen) vorhanden sind. Es ergab sich dabei, daß alle Emanationen beim Fehlen von Wasser, das von der Erdoberfläche eindringt, so gut wie wasserfrei sind, daß also die Eruptivmagmen zurzeit keinen Wassergehalt besitzen. Weiterhin hat er festgestellt, daß die vulkanischen Emanationen auch keinen überschüssigen Sauerstoff bringen, sondern im Gegenteil ausnahmslos reduzierende Wirkung ausüben; das sind aber

zwei Tatsachen, die für die Meteoriten ebenso gültig sind. Die vulkanischen Emanationen verbrauchen also Wasser und Sauerstoff. Weiter wurden, abgesehen von den Aschenbestandteilen, folgende wesentlichen Stoffe in den Emanationen festgestellt: KCl, NaCl, NH₄Cl, FeCl₂, SiF₄, Cl₂, HCl, SO₂, CO₂, CO, CH₄ (und andere Kohlenwasserstoffe), H₂, N₂.

Genau dieselben Stoffe hat er auch in den glasigen Gesteinen gefunden, aus denen sie bei der sogenannten Explosionstemperatur, einer Temperatur von 700—1000 Grad, also ziemlich weit unterhalb des Schmelzpunktes entweichen. Erhitzt man ein derartiges Gestein, so entweicht das Wasser, falls es überhaupt vorhanden ist, schon 200—300 Grad unterhalb der Explosionstemperatur, erst bei dieser aber entweichen die anderen Gase und Dämpfe unter Aufblähung des Gesteins und Binstein- und Schlackenbildung. Die Gasmengen sind erheblich und schwanken für das Kilogramm Gestein zwischen 300 und 1200 Kubikzentimeter bei 0° und 760 Millimeter Druck. Daraus folgt natürlich, daß diese Gase bei der Explosionstemperatur einen großen Druck repräsentieren, so z. B. die in einem Kilogramm Obsidian von Lipari enthaltenen Gasmengen bei 830 Grad einen solchen von 6200 Atmosphären. Ueber die Art der flüchtigen Stoffe mögen folgende Beispiele Auskunft geben:

- Substanzmenge 1 kg.
- 1) Peritrobidian von Le Pessy (Puy de Dôme). Bei 500° Verlust von etwas H₂O.
 - 2) Obsidian von Viterbo, Italien. Bei 220° getrocknet.
 - 3) Pechstein von Gottesfelsen bei Meißen. H₂O bei 100° 0,53 Proz., bei 200° 2,30 Proz., bei 300° 3,0 Proz., bei 500° Rest mit 4,9 Proz. Das Wasser enthält NH₃ und Kohlenwasserstoffe.

Explosionstemperatur	1	2	3
Gas bei 0° 760 mm P.	958°	—	—
NH ₄ Cl	1129 ccm	757 ccm	423 ccm
(Na, K) Cl	47 mg	66 mg	33 mg
Kohlenwasserstoffe	wenig	100 "	wenig
		viel	sehr viel

Analyse der Gase:

Cl	8,33 Proz.	13,3 Proz.
HCl	76,17 Proz.	3,1 "
SO ₄	—	44,0 "
CO ₂	14,03 "	37,5 "
CO	8,60 "	4,3 "
CH ₄	—	3,1 "
H ₂	1,20 "	1,6 "
N ₂ etc.	1,6 "	11,4 "

Der Salzgehalt ist demnach auch in den Aschen groß. Er beträgt für die Vesuviasche 1—1,5 Proz.; der Gehalt an Kohlenwasserstoffen ist regelmäßig und häufig recht erheblich. Aus einem Kilogramm Gestein von Lipari hat man 22—23 Milligramm vaselinartiger organischer Substanzen, aus einem Kilogramm Obsidian aus Mexiko sogar 135 Milligramm organischer Substanzen gewonnen.

Wir sehen daraus, daß in den schnell abgekühlten, also unterkühlten vulkanischen Schmelzen die gleichen flüssigen Stoffe vorhanden sind wie in den Exhalationen der Vulkane selbst, dann, daß auch sie im wesentlichen wasserfrei sind und einen reduzierenden Charakter haben. Dieser zeigt sich noch auffallender dadurch, daß man sowohl bei toten, d. h. auskristallisierten Laven, wie Graniten, als auch bei den schon einmal bis zur Explosions-temperatur erhitzten, glasig erstarrten Magmen, aus neue Gase austreiben kann, wenn man sie gleichzeitig oxydiert.

Ueber die Form, in der diese Stoffe im Magma vorhanden sind, werden wir später noch einiges hören.

Kühlt sich die feurig flüssige Erde auf etwa 800—1000 Grad ab, so entweichen im Zusammenhang mit der Kristallisation der Gesteine die vulkanischen Emanationen und verändern damit den Bestand der Atmosphäre indem sie ihr die Chloride des Ammoniums, Kaliums, Natriums, ferner Salzsäure, Schwefelsäure, Kohlensäure, dann auch Kohlenwasserstoffe in erheblicher Menge und von verschiedenartiger Zusammensetzung, endlich Fluorsilizium, Wasserstoff und Stickstoff bringen.

Diese Stoffe entweichen aus dem Magma keineswegs alle gleichzeitig, sondern bei den höchsten Temperaturen hauptsächlich Chlor, Salzsäure und Chloride des Kaliums, Natriums und Eisens,

bei etwas tieferer Temperatur Chlorammonium und Schwefelsäure, späterhin Kohlenensäure und Kohlenoxyd, bei den tiefsten Temperaturen der Rest der Kohlenensäure, Ammoniak und Wasserstoff.

Wir sehen daraus, daß bei der weitergehenden Abkühlung der Erde in demselben Maße, wie sich die dampfförmigen Silikate aus der Atmosphäre kondensieren, eben dieser Atmosphäre die erwähnten gasförmigen Substanzen beigemischt werden. Das Chlor gab mit dem Wasser Salzsäure, der dabei frei werdende Sauerstoff verband sich mit dem Kohlenoxyd zu Kohlenensäure, das Fluorsilizium zersetzte sich mit dem Wasserdämpfen in Kieselsäure, die sich niederschlägt, und Flußsäure; der eventuell vorhandene freie Wasserstoff wandert aus der Atmosphäre zum größten Teil aus.

Beim Fortschreiten der Abkühlung werden dann die vorhin erwähnten Salze in festem Zustande auf der Erdoberfläche niedergeschlagen und es verbleibt eine an freien Säuren, an Kohlenwasserstoffen und Stickstoff reiche Atmosphäre. Ist aber die Abkühlung fortgeschritten bis unter die kritische Temperatur der damaligen atmosphärischen Gase, dann schlagen sich auch diese nieder. Es fängt zu regnen an, aber ein stark salzhaltiges, an Kohlenwasserstoffen reiches Wasser strömt aus den schweren Wolken hernieder, es wird Licht auf der Erde und in der Atmosphäre verbleiben, abgesehen von wechselnden Mengen von Wasserdampf, nur noch Stickstoff und Kohlenensäure, sowie kleine Mengen von Kohlenwasserstoffen.

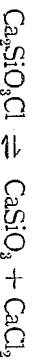
Zur Zeit des Niederschlages des ersten Wassers auf der Erde kann noch keine Sauerstoffatmosphäre vorhanden gewesen sein, denn die vulkanischen Emanationen haben, wie die ganze Erde nach ihrer Gesamtzusammensetzung einen reduzierenden Charakter.

Verlassen wir in diesem Stadium die Atmosphäre einen Augenblick, um uns der festen Erdoberfläche zuzuwenden. Dort sind infolge positiver oder negativer Volumänderung bei der Abkühlung der erstarrten Gesteine Gebirgsbildungen aufgetreten, die Erde hat sich gegliedert in Höhen und Tiefen. In dem Augenblick, wo das erste Wasser herniederfällt, löst es die Salze, die Berg und Tal bedecken, beginnt seinen mechanischen Kreislauf, von dem wir früher gesprochen haben, zerstört mit seinem Säuregehalt die vorhandenen Gesteine und bildet neue Salze; so strömt es salzbeladen den Tiefen zu und ein von Anbeginn salziges Weltmeer brandet

um die Küsten der Kontinente und Inseln. Wir sehen, daß das Meer gleichartig mit einem gewissen Salzgehalt ist.

Verlassen wir nun auch für einen Augenblick die Oberfläche der Erde und steigen hinab in ihren tiefsten Schoß. Schon zu der Zeit, als der Sauerstoff von dem Eisen frei wurde, trat im wesentlichen die Trennung zwischen silikatischer, steiniger Schale und metallischem Kern ein, weil die schweren Massen dem Gesetz der Schwere folgten. Auch in der silikatischen Schale mußte mit weiterer Abkühlung eine Scheidung eintreten, denn die sich aus dem Schmelzflusse zuerst abscheidenden Mineralien sind schwerer und sinken unter. So ist als höchstwahrscheinlich anzunehmen, daß der Eisenkern der Erde umhüllt ist von einer Zone kieseläurmer, an Eisen und Magnesia reicher Silikate, auf die eine Hülle von an Kieseläure, Aluminium, Kalk und Alkali reichen Silikaten, unsere heutige Rinde, folgt. Diese Silikate enthielten, solange sie im Schmelzfluß waren, jene flüchtigen Stoffe, die heute den Hauptbestandteil der Atmosphäre und die Salze des Meeres ausmachen. Es vollzieht sich nun die Erstarrung, die Kristallisation, die festgewordenen Schollen sinken unter, werden eingeschmolzen und bilden sich von neuem, bis sich schließlich eine zusammenhängende feste Erdkrinde bildet, die nur da und dort von feurig-flüssigen Massen durchbrochen wird.

An dieser Stelle mag über die Form, in welcher die Emanationen im Magma vorhanden sind, gesagt werden, was wir darüber Sichereres wissen und was wir aus uns bekannten chemischen Vorgängen schließen. Es ist ja natürlich, daß ihr Zustand im Magma ein anderer sein muß, als außerhalb desselben, sonst würden sie nicht erst bei sinkender Temperatur und fortschreitender Kristallisation aus dem Magma entweichen. Brun nimmt deshalb an, daß das Chlor gebunden gewesen sei in Form der bekannten Verbindung

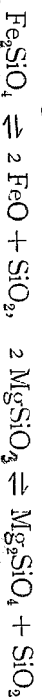


welche bei sinkender Temperatur und etwa 1100 Grad in Chlorcalcium und Kalziumsilikat zerfällt.

Wird Chlorkalzium mit Kieseläure und Eisensilikaten zusammengeschnitten, dann entwickelt sich Chlor, bei Hinzufügung von Kohlenwasserstoffen Salzsäure. Die Salzsäure vermag mit Kieseläure Siliziumchlorid zu geben. Das letztere aber mit

Quarzpulver und Aetzkalk oder Aetzkalk auf 900 Grad erhitzt gibt Salzsäure. Chlor mit Kohlenwasserstoffen erhitzt, liefert gleichfalls Salzsäure.

Daß im Magma freie Kieseläure und freies Metalloxyd vorhanden sein kann, geht aus folgenden Gleichgewichten hervor, die sich mit steigender Temperatur nach rechts verschieben.

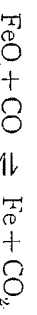
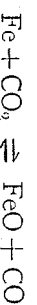
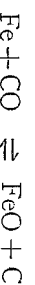


Von der schwefeligen Säure, der Schwefelsäure und dem Schwefelwasserstoff kann man annehmen, daß ihre Entstehung auf Schwefel-eisen zurückzuführen ist, das in reichlichen Massen, sowohl in Eruptiven wie in Meteoriten, vorkommt.

Der Stickstoff ist im Magma offenbar als Silizium-, Eisen- oder Kalziumnitrid vorhanden. Von diesen ist das Eisennitrid in Vesuvlaven nachgewiesen worden. Dieses ist jedoch im Magma schwer löslich und darum nimmt Brun das leichter lösliche Siliziumnitrid als vorhanden an. Schmilzt man damit eisenoxydhaltige Silikate zusammen, dann bildet sich Stickstoff, und wenn zu gleicher Zeit Kohlenwasserstoffe vorhanden sind, Ammoniak. Leitet man trockenes Salzsäuregas über Siliziumnitrid, dann entsteht Salmiak. Auch das Zusammenschmelzen von Siliziumnitrid mit Kieseläure und wenig Rohpetroleum liefert Ammoniak. Die Gegenwart von Siliziumnitrid ist keineswegs unwahrscheinlich, denn es ist bekannt, daß sich bei hoher Temperatur das Silizium direkt mit dem Stickstoff der Atmosphäre verbindet.

Salzsäure mit Magnesium- oder Eisennitrid gibt bei sinkender Temperatur Magnesium- oder Eisenchlorid und Salmiak.

Kohlenäure und Kohlenoxyd, von denen das letztere reichlicher im Magma ist als in den Emanationen, scheinen ihre Entstehung den Kohlenwasserstoffen und den Oxyden des Eisens zu verdanken, wie aus folgenden Gleichgewichten hervorgeht, die sich mit steigender Temperatur nach rechts verschieben.



Eisenoxydul, Kohlenstoff und metallisches Eisen sind bei 680 Grad Celsius und 760 mm Druck mit einem Gasgemisch von 43 Proz. Kohlenensäure und 57 Proz. Kohlenoxyd im Gleichgewicht. Nimmt die Kohlenensäure zu, so verschwindet Eisenoxydul, es kann demnach Kohlenstoffeisen im Gleichgewicht sein mit Kohlenoxyd.

Hat man Magnetisen, Eisenoxydul und Kohlenstoff bei 647 Grad und 760 mm Druck, so ist dieses Gemenge im Gleichgewicht mit einer Gasmischung von 63 Proz. Kohlenensäure und 37 Proz. Kohlenoxyd. Bei Abnahme von Kohlenensäure verschwindet Magnetit, bei Zunahme der Kohlenensäure dagegen das Eisenoxydul.

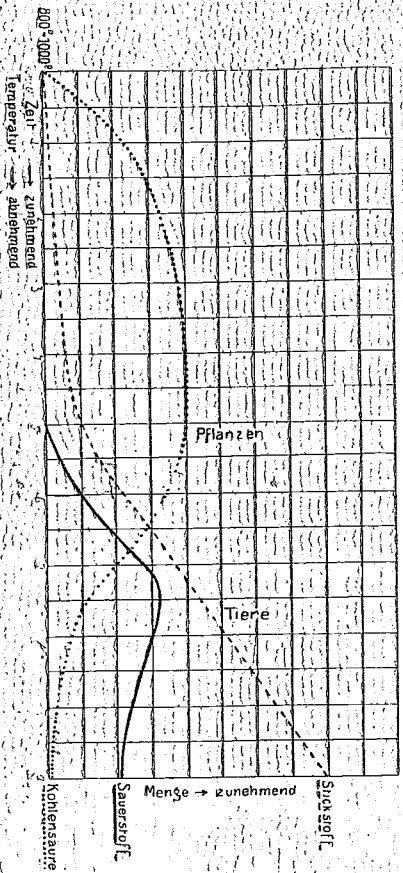
Daß Kohlenensäure in den Magmen reichlicher vorhanden ist als in den Emanationen mag seinen Grund darin haben, daß nach Dr. Briner bei 300 Grad und 600 Atmosphären Druck sich Kohlenoxyd in Kohlenensäure und Kohlenstoff umsetzt ($2\text{CO} \rightleftharpoons \text{CO}_2 + \text{C}$). Aehnlich mögen auch die Kohlenwasserstoffe mit Eisenoxyd und Eisenoxydul reagieren. Sie selbst sollen nach Brun primär in den Schmelzflüssen vorhanden sein, wie ja auch in den Sternspektra solche vielfach nachgewiesen wurden. Man könnte sich aber auch eine Entstehung aus dem Magma denken. So z. B. erhält man durch Einwirkung von trockenem Salmiakdampf auf Kalziumkarbid rohpetroleumartige Substanzen. An der noch glühend heißen Erdoberfläche können Kohlenwasserstoffe auch entstehen durch Einwirkung von Kalziumkarbid auf die Wasserdampf-atmosphäre. Bekannt ist auch, daß man bei Einwirkung von Salzsäure auf kohlenstoffhaltiges Eisen, welches wie in den Meteoriten auch im Erdkern nicht fehlen wird, Kohlenwasserstoffe erhält.

Wasserstoff ist in dem gediegenen Eisen des Erdkernes unzweifelhaft vorhanden, denn es ist durch H. Hayn erwiesen worden, daß ein Eisen mit 0,05 bis 0,37 Proz. Kohlenstoff und 0,01 Proz. Silizium zwischen 730 und 1000 Grad 0,00019 Proz. Wasserstoff aufnimmt, der bei Abkühlung bis zu Rotglut ganz an die Atmosphäre oder an Stickstoff abgegeben wird. Nach Gautier bilden auch Ferrosalze mit Wasserdampf beim Erhitzen auf 700—800 Grad Wasserstoff.

Folgen wir nun der weiteren Entwicklung unserer Erde in kurzen Zügen bis auf den heutigen Tag; dann müssen wir uns zuvörderst bewußt bleiben, daß die Abkühlung andauernd fortschreitet, daß eine, wenn auch periodische, so doch abnehmende, aber bis heute fortdauernde vulkanische Tätigkeit besteht, daß demnach ohne das Eintreten besonderer Umstände eine wesentliche Aenderung auf der Erdoberfläche nicht hätte stattfinden können. Dabei sehen wir ab von dem mechanischen Kreislauf, der mit dem Niederschlag des Wassers einsetzt, wir sehen ab von der Zerstörung der aus dem Schmelzfluß gebildeten Silikate durch das Wasser und die sauren Bestandteile der Atmosphäre. Nicht allzulange nach dem Niederschlage des ersten Wassers auf der Erde ist aber ein bedeutames Ereignis eingetreten, und das ist das Auftreten des ersten organischen Lebens. Schon wenig unter der Siedetemperatur des Wassers vermögen Pflanzen zu existieren und der englische Chemiker Phipson hat gezeigt, daß sowohl höhere als niedere Pflanzen (Ackerwinde und Bakterien) in einer sauerstofffreien Atmosphäre leben können. So dürften wir annehmen, daß sich alsbald ein reichliches Pflanzenleben entwickelt. Diese Pflanzen atmen Kohlenensäure ein und Sauerstoff aus; damit vermindert sich die Menge der atmosphärischen Kohlenensäure und Sauerstoff tritt an die Stelle. Schon 1836 glaubte Koehne feststellen zu können, daß die Mengen des atmosphärischen Sauerstoffes etwa der Menge der fossilen Kohlen entspräche. Danach würden wir also den ganzen Sauerstoff dem Lebensprozeß der Pflanzen verdanken. Mit der Zunahme des Sauerstoffes werden die Lebensbedingungen für die sauerstoffatmende Tierwelt geschaffen. Auch tritt infolge des organischen Lebens eine Vermehrung des Stickstoffes ein, denn die aus den vulkanischen Emanationen stammenden Ammoniumsalze werden von den Pflanzen verbraucht und Pflanzen wie Tiere liefern bei ihrer Verwesung reichliche Mengen von freiem Stickstoff. So ist es gekommen, daß die Atmosphäre ihre heutige Zusammensetzung erhielt und daß die gewaltige Menge von Ammoniumsalzen und Kohlenensäure, welche im Laufe der Aeonen die Vulkane verlassen haben, fast gänzlich aufgebraucht sind.

Wir haben auf der Erde etwa 3800 Billionen Tonnen freien Stickstoff. Nimmt man mit Brun an, daß auf ein Kilogramm Magma im Mittel 15 Kubikzentimeter Stickstoff und 50 Milligramm Salmiak kommen, dann läßt sich rechnen, daß

die Kristallisation eines die ganze 510 Millionen Quadratkilometer umfassende Erdoberfläche einen Meter hoch bedeckenden Schmelzflusses 25500 Millionen Tonnen freien Stickstoffs und 17900 Millionen Tonnen Salmiakstoffs liefern würde. Die Erde müßte um den gesamten Stickstoff zu liefern, bis zu einer Tiefe von 80—90 Kilometern in den kristallinischen Zustand übergegangen sein. Wenn man nun bedenkt, daß die obigen Mittel für magmatischen Stickstoff wahrscheinlich zu niedrig sind, so würde sich dementsprechend die Mächtigkeit des kristallisierten Gesteins vermindern. Andere Forscher sind aus anderen Ueberlegungen zur Annahme von 50 Kilometer für die Tiefe des erstarrten Gesteins gekommen.



Der Gang der Entwicklung unserer Atmosphäre soll in der vorstehenden Figur dargestellt werden. Einer Erklärung bedarf die Figur nicht.

Man hat auch schon bezweifelt, ob der Sauerstoff seine Entstehung ganz und gar der Pflanzenwelt verdankt. An Sauerstoff haben wir in der Atmosphäre rund 1200 Billionen Tonnen und eine Verbrennung zu Kohlensäure würde rund 450 Billionen Tonnen Kohlenstoff verlangen. Eine solche Menge Kohlenstoff aber vermögen wir auf der Erde nicht aufzutreiben. Da nun aber eine unorganische Entstehung des Sauerstoffs unmöglich ist, weil die ganze Erde einen sehr stark reduzierenden Charakter

hat, so müssen wir zur Ueberzeugung gelangen, daß der organische Kreislauf mit einem Gewinn an Sauerstoff arbeitet und daß der atmosphärische Sauerstoff die Summierung dieses durch mehr als 100 Millionen Jahre von der Vegetation gemachten Gewinnes darstellt. Diese Vorstellung wird uns erleichtert, wenn wir bedenken, daß ein gut Teil des Kohlenstoffs, den wir in den Kalksteinen gebunden finden, größtenteils auch an dem organischen Kreislauf teilgenommen hat.

Wenden wir uns nun dem Meere und dem Wasser im allgemeinen zu, so erinnern wir uns, daß mit ihrer Bildung der mechanische Kreislauf auf der Erde beginnt, daß ungeheure Mengen von Gesteinsmaterial vom Lande zum Meere geführt, und daß im Laufe der Zeiten wiederholt gewaltige und weit ausgedehnte Gebirge bis auf das Niveau des Meeres abgetragen wurden. Dies führte zu einer Entlastung der Kontinente, aber immer wieder sind neue Gebirge aus dem Meere emporgestiegen. Die Gesteinsmassen werden jedoch durch die Tätigkeit des Wassers und seiner gelösten Bestandteile nicht bloß zerkleinert, sondern auch zersetzt. Es beginnt der Kampf der Kohlensäure und anderer Säuren gegen die Kiesel- säure, in welchem die letztere unterliegen muß. So haben sich Tone und Sandsteine, die Karbonate des Eisens, der Magnesia, des Kalkes und der Alkalien gebildet. Die Eisensalze haben sich unter dem Einfluß des atmosphärischen Sauerstoffes in unlösliches Brauneisen umgewandelt und der Rest an löslichen Bestandteilen wurde im wesentlichen dem Meere zugeführt. So müßte der Salzgehalt der Meere allmählich vermehrt worden sein und einige haben sogar geglaubt, daß der ganze marine Salzgehalt auf solche Weise entstanden sei. Es treten jedoch im Meere Umstände ein, welche eine wesentliche Vermehrung des Salzgehaltes nicht gestatten.

Betrachten wir, um eine Erklärung zu finden, den Salzgehalt der Flüsse, so sehen wir, daß es zwar ungeheure Mengen sind, die dem Meere zugeführt werden — nach Penck jährlich 4,1 Milliarden Tonnen — aber im Flußwasser ist einerseits mehr Kohlensäure als Schwefelsäure und mehr Schwefelsäure als Chlor und andererseits mehr Kalzium als Magnesium und mehr Magnesium als Natrium vorhanden, während sich diese Verhältnisse im Meere geradezu umkehren. Es ergibt sich daraus schon, daß die Salze des Meerwassers unmöglich allein durch die Zufuhr aus den Flüssen erklärt

werden können. Wir werden demnach zu untersuchen haben, woher die Salze des Flußwassers kommen und wohin sie gehen. Die Herkunft der kohlen-sauren Salze ist ja durch den mit Hilfe der atmosphärischen Kohlen-säure durchgeführten Zersetzungsprozeß der Gesteine unmittelbar verständlich. Weniger leicht verständlich hingegen ist die Herkunft der schwefel-sauren Salze, denn in den Eruptivgesteinen ist der Schwefel nicht in allzu großer Menge vorhanden, wenn auch schwefelhaltige Mineralien keineswegs ganz fehlen. Wir müssen demnach noch andere Quellen dafür suchen. Da haben wir nun einerseits die Schwefelsäure, welche durch vulkanische Emissionen der Atmosphäre zugeführt wird, und andererseits entsteht diese Säure bei den Verwesungsprozessen eiweißhaltiger organischer Substanzen, auch dürfen wir heute der Schwefelsäure nicht vergessen, die durch die Industrie beim Verbrennen der Kohlen, oder beim Rösten der Erze der Atmosphäre zugeführt wird. Alle diese Umstände dürfen ausreichte Quellen der Schwefelsäure darstellen, wenn wir dabei noch bedenken, daß ein Teil der schwefel-sauren Salze der Flüsse einfach aus der Wiederauflösung früher gebildeter Ablagerungen schwefelsaurer Salze stammt, oder daß auch die natürliche Oxydation von Eisenkies und anderen Sulfiden zur Bildung von Schwefelsäure führt. Die Chloride endlich dürften der Wiederauflösung früher gebildeter Salzlager entstammen, oder auf vulkanische Emissionen von Chloriden, Chlor und Salzsäure, oder auf die Verwesungsprozesse von Organismen, zum größten Teil aber auf sogenanntes zyklisches Salz, das aus dem Meere aufgepeitscht und von den Winden mechanisch mitgenommen wurde, zurückzuführen sein. In den Eruptivgesteinen selbst sind nur ganz geringe Mengen davon enthalten. Wie gering diese Mengen sind, zeigt ja die Weichheit des Quellwassers, welches in Eruptivgesteinen seinen Ursprung nimmt. So können wir mit Bestimmtheit sagen, daß die Hauptmenge der fluviatilen Salze aus den sekundären Gesteinen stammt, die ja nun, aber ihrerseits zumest aus dem Meere sedimentiert sind, ausnahmslos aber vom Meere einmal überdeckt, vom Meerwasser durchtränkt waren. Es liegt also mit Bezug auf die Meeressalze im wesentlichen auch ein Kreislauf vor, der sich schneller vollzieht in den reichlich flüßdurchströmten Gebieten, langsamer in fluviäreren und der fast stillsteht in Wüstengebieten, wo er zu starker Anreicherung von Salzen im Boden führt.

Wo kommen sie nun aber hin, diese fluviatilen Salze? Die Chloride bleiben im wesentlichen im Meere, sofern sie den Kreislauf nicht wieder

antreten, oder nicht in großen abfließenden Binnenmeeren durch Wasserverdunstung zur Ablagerung kommen. Die schwefel-sauren Salze nehmen im Meere an dem organischen Kreislauf teil und werden teilweise bei den Fäulnisprozessen der Tier- und Pflanzenleichen als Schwefelmetalle oder Schwefellager abgeschieden oder sie werden bei übergroßer Konzentration aus dem Meerwasser in Form von Gips niedergeschlagen.

Die kohlen-sauren Salze endlich der Alkalien setzen sich mit dem Kalzium- und Magnesium-Sulfat des Meerwassers in Alkalisulfate um und der kohlen-saure Kalk wird durch Tiere und Pflanzen oder auch auf anorganischem Wege als Kalkstein festgelegt.

So können wir mit großer Berechtigung behaupten, daß das Meerwasser seine chemische Zusammensetzung seit den ältesten Zeiten kaum wesentlich geändert hat.

Es ist einleuchtend, daß das Gesagte die Vorgänge nur im großen Zügen und ohne jegliche Rücksicht auf das Einzelne schildert. Es lohnt sich aber auch auf gewisse Einzelheiten noch etwas näher einzugehen. Clarke teilt die Sedimente in drei große Gruppen, die Tongesteine, die Sandsteine und die Karbonatgesteine; davon sollen die ersteren etwa 80, die Sandsteine etwa 15 und die Karbonatgesteine etwa 5 Proz. ausmachen. Unter Berücksichtigung dieser Verhältnisse ergibt dies für die Gesteine nachstehende mittlere Zusammensetzung, der wir die entsprechende Zusammensetzung der Eruptivgesteine an die Seite stellen.

	A. Sedimente	B. Eruptive	B-A in % von B
SiO ₂	58,76	59,93	+ 1,17
Al ₂ O ₃	13,13	14,97	+ 1,84
Fe ₂ O ₃	3,41	2,58	- 0,83
FeO	2,01	3,42	+ 1,41
MgO	2,53	3,85	+ 1,32
CaO	5,45	4,78	- 0,67
Na ₂ O	1,12	3,40	+ 2,28
K ₂ O	4,60	2,99	+ 1,61
H ₂ O	4,30	1,94	- 2,36
CO ₂	4,80	0,48	- 4,32

Natürlich sind diese Zahlen ebenso mit Fehlern behaftet, wie die Angaben über die Eruptiven und wir können deshalb Ab-

weichungen in der Zusammensetzung bis zu 12 Proz. ruhig als Fehler betrachten, besonders dann, wenn ein Verlust im Sediment gegenüber dem Eruptivgestein, wie bei der Tonerde, ausgeschlossen ist. Die großen Abweichungen aber müssen in irgendwelchen irdischen Vorgängen ihre Erklärung finden. So ist das Eisenoxyd im Sediment stark vermehrt, das Eisenoxydul entsprechend vermindert, und es muß demnach ein erheblicher Teil an eruptivem Eisenoxydul auf Kosten des atmosphärischen Sauerstoffes in Oxyd übergeführt sein. Die Magnesia zeigte im Sediment eine sehr starke Abnahme und wir finden dieses fehlende Magnesium im Meerwasser und in den Salzlagerern an Chlor und Schwefelsäure gebunden wieder. Der im Sediment etwas erhöhte Kalkgehalt ist nicht erklärlich, besonders nicht in Hinsicht darauf, daß ein kleiner Teil des ins Meer geführten Kalkes in Form von Sulfat gebunden wird und dieses nicht in Rechnung gezogen wurde. Der große Mangel an Natrium ist durch die Anreicherung des Chlornatrums im Meere zu erklären; der Ueberschuß des Kaliums in den Sedimenten wird dadurch begründet, daß die Tongesteine das Kalium mit Vorliebe adsorbieren oder gegen Kalk und Natrium austauschen. Die erhebliche Zunahme des Wassers wird verständig dadurch, daß in den Eruptiven wasserhaltige Verbindungen höchst selten sind, daß sich solche aber bei den Verwitterungsvorgängen leicht bilden, wie ja schon der Ton selbst ein wasserhaltiges Silikat ist. Die gewaltige Zunahme der Kohlensäure hat ihre Ursache in ihrem Eintreten anstelle der Kieselsäure. Wenn man aus diesen Tatsachen einen Schluß auf die Zusammensetzung des Meeres zu verschiedenen Zeiten ziehen will, so ist zu bemerken, daß das erste Wasser besonders reich an Ammoniumsalzen war, weil diese durch die vulkanischen Emanationen am reichlichsten geliefert werden, dann an Salzsäure, Schwefelsäure und Kohlensäure; später treten hierzu die heutigen Salze nur in anfangs geringer Menge, dann nimmt das Chlorammonium infolge der Zufuhr von Alkalikarbonaten ab und die Alkalichloride nehmen zu, die Ammoniumsalze werden durch die Pflanzen zerstört, die Alkalichloride und die übrigen Salze indessen andauernd, wenn

auch mit abnehmender Geschwindigkeit vermehrt, so daß allmählich der heutige Zustand erreicht wird und eine Veränderung des Salzgehaltes der Meere heute nicht mehr erkennbar ist.

Clarke hat versucht, aus dem Salzgehalt der Ozeane ihr Alter zu berechnen und kommt zu dem Ergebnis, daß es 100 Millionen Jahre sei. Mir aber will es scheinen, als ob für eine solche Rechnung die Prämissen ungenügend seien, denn es läßt sich weder der Salzgehalt der Salzlager schätzen, noch weiß man, wieviel Salz in den Wüstengebieten vorhanden ist. Weit aus der größte Teil dieser Salze hat auch einmal dem Meere angehört und andererseits ist ein Teil des Chlornatrums auf vulkanische Emanationen zurückzuführen. Auch über die Dicke der Sedimentdecke ist man völlig im unklaren, weil man gar nicht beurteilen kann, wieviele Sedimente unter dem heutigen Ozean begraben liegen, auch nicht, ob es Ozeane gibt, welche niemals Festland gewesen sind u. a. m. Clarke nimmt an, daß die Sedimente den Verwitterungsrückstand einer Decke von Eruptiven darstellen, welche 800 m hoch die ganze Erde bedecken würde. Die Salze des Meerwassers aber allein würden in trockenem Zustande eine 40 m hohe Hülle um die ganze Erde bilden und davon wären $\frac{1}{4}$ Kochsalz. Sollte dieser ganze Natriumgehalt aus Eruptivgesteinen stammen, dann ist zu bedenken, daß in den Sedimenten 67 Proz. Natrium fehlen und daraus läßt sich durch Rechnung finden, daß zur Lieferung des Natriumgehaltes der Meere eine die Erde 700 m hoch bedeckende Lage von Eruptivgestein zerstört sein müßte. Nimmt man an, daß das in den Salzlagerern und in den Wüstengebieten vorhandene Chlornatrum der Menge nach ebensoviel wäre wie im Meere — was vielleicht etwas zuviel ist — dann würde sich die Eruptivgesteinsdecke auf 1400 m erhöhen. Wir können somit auf das bestimmteste sagen, daß die Menge des zerstörten Eruptivgesteins zwischen 700 und 1400 m liegen muß. Die letztere Zahl dürfte auch den höchsten Durchschnitt für die Sedimentbedeckung der Erde darstellen, was natürlich nicht ausschließt, daß lokal ein Anwachsen auf viele tausend Meter stattfindet.

Einige Worte seien auch noch der Bildung der kalkigen Sedimente im Meere gewidmet. Es wird der kohlen-saure Kalk wesentlich in zweierlei Art abgeschieden, einerseits in Form von Schalen und Skeletten von Organismen und andererseits als organischer Niederschlag durch Umsetzung der bei der Verwesung der Organismen entstehenden Karbonate des Ammoniums und Natriums mit dem Kalziumsulfat des Meerwassers. Nimmt man an, daß der sämtliche Kalk der zerstörten Eruptivgesteine als Kalkarbonat zum Absatz gekommen sei, was bei der verhältnismäßig geringen Menge von Kalziumsulfat nahezu zutreffen dürfte, dann erhöle man aus einer Eruptivgesteinslage von 700 Metern Mächtigkeit ca. 60 Meter, aus einer solchen von 1400 Metern Mächtigkeit ca. 120 Meter Kalkstein, was wiederum die äußersten Grenzen darstellen dürfte. — J. H. L. Vogt schätzt sie auf 150 Meter —, so wäre in dem Kalkstein etwa 150000 bis 300000 mal so viel Kohlensäure gebunden, als in der Atmosphäre vorhanden ist. Die Gesamtmenge der Kohlensäure der Atmosphäre, des Meeres und der Kohle nebst Bitumen mit 63 Billionen Tonnen gäbe rund um die Erde eine nur 10 cm hohe Schicht Kalkstein. Nach Clarke werden dem Meere jährlich 1084 Millionen Tonnen kohlen-sauren Kalkes zugeführt, die, da der Ozean fast frei von kohlen-saurem Kalk ist, vollständig wieder zur Abscheidung gelangen; ja, diese Menge reicht für das tierische und pflanzliche Leben noch nicht einmal aus, denn die Tiere des offenen Meeres müssen ihren kohlen-sauren Kalk erst innerhalb ihres Blutkreislaufes aus schwefel-sauren Kalk schaffen. So verschwindet denn auch die Haupt-masse des schwefel-sauren Kalkes, von dem jährlich dem Ozean nach Clarke 415 Millionen Tonnen zugeführt werden in Form von kohlen-saurem Kalk aus dem Meere. Da das Sulfat rund 310 Millionen Tonnen Karbonat entspricht, so findet jährlich ein Kalkabsatz von 1400 Millionen Tonnen statt. Dies würde in einer Million Jahren zu einer meterhohen Schicht über das ganze Erdenrund ausreichen. Da wir nun vorhin gesehen haben, daß der bis jetzt abgesetzte Kalkstein 60—120 Meter mächtig ist, so würde sich ergeben, daß zu seiner Ablagerung

60—120 Millionen Jahre erforderlich waren. Dies wären demnach die äußersten Grenzen für das Alter der Ozeane oder, was dasselbe ist, für das der lebenden Welt. Clarke rechnet, wie wir vorhin gehört haben, aus dem Kochsalzgehalt der Meere als Maximum 100 Millionen Jahre. Man darf nun aber nicht annehmen, daß jede Kalkschicht von 1 Meter Dicke zu ihrer Ablagerung 1 Million Jahre nötig gehabt hätte, weil erstens der Absatz im wesentlichen nur im Meere stattfindet, das nur etwa $\frac{2}{3}$ der Erdoberfläche einnimmt und zweitens weit ausgedehnte Strecken besonders im stillen Ozean vorhanden sind, in denen ein Kalkabsatz nicht stattfinden kann, weil sich alle Kalkteilchen von abgestorbenen Organismen, wenn sie in die Tiefe fallen, durch den Kohlensäurereichtum des Meerwassers und unter dem hohen Drucke der Tiefe wieder auflösen, wie ja auch in den arktischen Meeren der Kalkabsatz aus anderen Gründen sehr stark zurück-tritt. So kann man für die Absatzfläche nur etwa $\frac{1}{3}$ der Ozean, d. h. etwa 120 Millionen Quadratkilometer, also nur stark den vierten Teil der Erdoberfläche in Anspruch nehmen und es ergäbe sich daraus die mittlere Dauer des Absatzes einer meter-dicken Kalkschicht zu etwa $\frac{1}{4}$ Million Jahre.

Auch diese Zahl ist natürlich weit Schwankungen unterworfen, weil das Tier- und Pflanzenleben in Landnähe, besonders bei starker Kalkzufuhr viel reicher und damit die Kalkbildung schneller ist als in Landferne.

Es ist kaum nötig, daß wir uns nach dem Gesagten noch des Längeren mit dem festen Erdkern beschäftigen. Die Ausdehnung der Meere war wohl immer annähernd gleich groß wie heute, nur ihre Lage hat sich wesentlich verschoben. Der Wärmeverlust der Erde ist zweifellos die Ursache zu den Verschiebungen in der Rinde und es bleibt nur fraglich, ob diese Verschiebungen im ganzen positiver oder negativer Art sind, d. h. ob das Volumen der Erde zu- oder abnimmt. Es ist das heute noch nicht sicher zu unterscheiden und hängt davon ab, ob die Hautmasse der feurig flüssigen Erde unter Kontraktion oder unter Dilatation kristallisiert. Diese Verschiebungen führen aber dazu, daß heute Meer ist, wo vordem Land war und umgekehrt. So finden wir überall auf der Erde Sedimente, oder

wir können sie als einstens vorhanden mit einigem Recht vermuten. Sie werden unterbrochen von Eruptionen, die durch alle geologische Epochen der Schloten der Vulkane entquellen sind. Die erstarrte Rinde ist dicker geworden, die vulkanische Energie hat mit der Eigenwärme der Erde abgenommen und so ist es allmählich zum heutigen Zustand gekommen. Freilich wurden inzwischen manche von den Sedimenten in größere Tiefen gerückt erwärmt, unter hohen Druck gesetzt und dabei vertiefen die Zersetzungsprozesse, wir können sagen rückläufig. Es kann wieder Kohlensäure aus den Karbonaten frei werden, Wasser aus den wasserhaltigen Verbindungen, Sauerstoff aus den Oxyden des Eisens und diese Stoffe begünstigen dann ihren Kreislauf von neuem. Aber auch diese Vorgänge werden sich nur so lange fortsetzen, als der Wärmeschatz der Erde reicht.

Die letzteren Vorgänge bezeichnet man als Metamorphose.

Dabei gehorchen die Stoffe dem Gesetz von der Wärmetönung — Bildung wasserfreier Mineralien bei steigender Temperatur — und dem Gesetz vom kleinsten Volumen — Bildung derjenigen Stoffassoziationen, welche den kleinsten Raum beanspruchen.

So ist das Heute geworden und es bleibt uns nur noch, einen Blick zu tun in die kommenden Zeiten. Das ist nicht allzuschwer, weil wir nur dem Wege des rollenden Rades zu folgen brauchen. Der mechanische Kreislauf geht zu Ende mit dem letzten Berge und dieser wird errichtet von dem letzten Rest der irdischen Eigenwärme. Der organische Kreislauf hört auf mit dem letzten Rest von Kohlensäure. Wohl mögen die Menschen dann imstande sein, sich und den Tieren künstliche Nahrungsmittel zu schaffen, und so noch eine Weile um ihr Leben zu kämpfen, aber die große Quelle der Ernährung der Lebewesen ist und bleibt die Kohlensäure, noch müssen zwar die Vulkane den jährlichen Verbrauch decken, aber es kommt die Zeit wo die Erde ihren letzten vulkanischen Schutz getan hat, dann werden sich Produktion und Konsumtion nicht mehr lange die Wage halten. Mehr und mehr wird die Luft und damit zusammen auch das große Reservoir des Meeres an Kohlensäure erschöpft werden, mehr und mehr wird die Kohlensäure an Kalk gebunden auf Nimmerwiedersehen verschwinden und in rund 3500 Jahren wäre dies Werk vollbracht, wenn die Verwitterungsvorgänge wie heute auch dann noch ihren Fortgang nehmen würden. Natürlich wäre es auch denkbar, daß

die Sonnenenergie zu Erde ginge, und daß dadurch des Lebens letzte Stunde auf der Erde geschlagen hätte, aber bei dem enormen Reichtum der Sonne ist es unwahrscheinlich, daß ihre Energie vor der der Erde schwindet. Aber nicht bloß den Verlust der Kohlensäure haben wir zu fürchten, sondern auch den des Sauerstoffs. Erfahrt er durch das Leben der Pflanzen keine Zufuhr mehr, dann wird er in Kürze durch die Oxydation des Eisens der Eruptionen verbraucht sein; ja es genügt dazu schon die Hälfte des Eisenoxyduls, das heute noch in den Sedimenten vorhanden ist.

In der Atmosphäre sind etwa 1335 Billionen Tonnen Sauerstoff, wie verbrauchen bei der Oxydation von Eisenoxydul zu Eisenoxyd 12015 Billionen Tonnen Eisenoxydul, von welchem aber allein in 700 m Sedimenten rund um die Erde 19278 Billionen Tonnen vorhanden sind (das spezifische Gewicht des Eisenoxyduls zu 5 gerechnet). Außerdem strecken aber zwischen den Sedimenten noch viele Eruptionsgesteine, welche wesentlich größere Mengen von Eisenoxydul enthalten. So z. B. hat ein kleines, noch nicht ein tausendstel der Erdoberfläche betragendes Gebiet im Dekkhan mit einem Flächenraum von rund 400 000 Quadratkilometern eine Basaltdecke von 1000 Meter durchschnittlicher Mächtigkeit. Nimmt man für diese Gesteine einen mittleren Gehalt von 5,6 Proz. Eisenoxydul an, so liegen darin allein wenigstens 65 Billionen Tonnen Eisenoxydul, was schon ausreichen würde, um den 200. Teil des atmosphärischen Sauerstoffes zu binden. Auch die Oxydation der organischen Materie, der Tiere und Pflanzen, der Kohlen und Bitumina würde Sauerstoff verbrauchen. Da man aber den gesamten Kohlenvorrat der Erde nach Engler auf rund 3 Billionen Tonnen schätzt, und der Kohlenstoffgehalt zu etwa 75 Proz. gesetzt werden kann, so würden dadurch alles in allem höchstens 10 Billionen Tonnen Sauerstoff gebunden werden können.

Ebenso wird aber allmählich das Wasser von der Erde verschwinden. Wenn auch nur ein kleiner Teil des Wassers in der äußersten Rinde zur Bildung von wasserhaltigen Verbindungen verbraucht wird, so wird mit der fortschreitenden Abkühlung der Erde das Wasser immer tiefer nach dem Erdkern vordringen, es wird mehr und mehr davon in intratektischen Hohlräumen verschwinden, es werden auch dort wasserhaltige Verbindungen

entstehen. Dieser Vorgang vollzieht sich unter Wärmeproduktion; darum wird die Abkühlung dadurch verzögert werden und längst wird auf der Erdoberfläche kein Wasser mehr vorhanden sein, wenn die Erde immer noch einen kleinen eigenen Wärmeschatz hat. Aber selbst wenn durch die Bildung wasserhaltiger Verbindungen keine Wärme mehr produziert wird, kann noch ein anderer Umstand die Abkühlung auf den absoluten Nullpunkt, den Wärmetod verhindern. Das ist der Zerfall der Elemente. Heute zerfallen nur die schwersten Elemente, aber es mag eine Zeit gegeben haben, da auch sie nicht zerfielen, denn nach Rutherford ist es möglich, daß Uran bei hohen Drucken und Temperaturen nicht zerfällt, und nach Ramsy, Cooke und Kohlschütter geht Helium bei hohen Temperaturen chemische Verbindungen ein. So könnte man annehmen, daß mit sinkender Eigentemperatur der Erde auch die anderen Elemente noch zum Zerfall kommen werden und darum ist es fraglich, ob die Erde überhaupt jemals, wie Clausius gemeint hat, den Wärmetod erleiden kann.

Wenn aber das Wasser von der Erde verschwunden ist, wenn die Kohlensäure und der Sauerstoff verbraucht sind, wenn das Leben längst aufgehört hat, dann werden die heutigen Festländer hohe-Sockel darstellen, die durch niedrige Brücken miteinander verbunden, von tiefen und ausgedehnten flachwelligen Senken des alten Meeresbodens umgeben sein werden und eine Stickstoff-Argon-Atmosphäre wird sie einhüllen. So könnte die Erde entweder ein Schattendasein führend um die Sonne kreisen, bei fortschreitender Abkühlung bedeckt werden mit dem Leichtenuch des festgewordenen Stickstoffs und Argons, oder sie könnte sich auflösen in die Lmanationen der Elemente, die sich dann im Weltraum verlieren, oder aber sie könnte ein Ende nehmen in Schall und Rauch, zusammenstoßen mit einem anderen Weltkörper und ihren Weg in neuem jugendlichem Feuer wieder beginnen.

Wie locken diese Fragen, deren Lösung einer Preisarbeit wert wäre. Noch aber säumen die lichte Gegenwart die Dämmerung der Vergangenheit und Zukunft und alles umhüllt die dunkle Nacht der Unendlichkeit. Es mag die schaumgeborene Göttin Phantasie durch jene Nacht schweifen, der Mensch wird immer wieder erwachen zur lichten Gegenwart und Erkenntnis suchen im Reiche des Endlichen; er wird streben mit seinem Geiste die Nacht zu erheben, aber die Nacht flieht ihn und nimmer wird er sie erreichen. Im Endlichen aber muß der Mensch triumphieren. Er

macht sich die ganze Natur dienstbar und wird immer Gott ähnlicher. Immer aufs neue gilt das uralte Dichterwort:

„Ob die Welt an Wundern reich,
Keines ist dem Menschen gleich“

denn es wohnt neben dem Forschungstrieb noch Eines in des Menschen Brust, das ihn erhebt weit über jedes andere Geschöpf, der Idealismus. Um seinerwillen sind die Menschen zu Märtyrern geworden an dem Glauben, an der Wissenschaft, an der Familie und am Vaterland. Mag der Materialismus in guten Tagen Orgien feiern, in den Tagen der Not schreitet der Idealismus stolz aufgerichtet durch die Straßen der Geschichte.

Wichtigste Literatur.

- F. W. Clarke, The Data of Geochemistry. II. Ed. Washington 1911.
- J. H. L. Vogt, Ueber die relative Verbreitung der Elemente usw. Zeitschr. f. prakt. Geol. Jahrg. 1898. 225, 314, 377, 413.
- A. Brun, Recherches sur l'Exhalaison volcanique. Genève 1911.
- C. Engler, Ueber Zerfallprozesse in der Natur. Leipzig 1911.
- Svante Arrhenius, Das Werden der Welten. Leipzig 1909.
- R. Marc, Vorlesungen über die chemische Gleichgewichtslehre usw. Jena 1911.
-