

## Aus neueren Forschungen zu Physik und Chemie der Erde.

Im Rheinischen Bezirksverein des Vereins deutscher Chemiker.  
vorgetragen von

Prof. Dr. WOLF JOHANNES MÜLLER, Leverkusen.

(Eingeg. 4./1. 1924.)

Ereignisse, wie das Erdbeben von Yokohama, geben uns Kunde davon, daß unsere Erde, auf deren Festigkeit wir im allgemeinen bauen, sich doch stellenweise in einem ein klein wenig labilen Zustand befindet, dessen Erklärung wir durch Anwendung physikalisch und chemisch beobachteter Tatsachen auf die Vorgänge und Erscheinungen im Erdball zu finden suchen. Wie gewaltige Umwälzungen vorgekommen sind, können wir daraus ersehen, daß große, hohe Gebirgsketten in den Alpen aus Sedimentgesteinen bestehen, also aus Gesteinen, die sich aus dem Meereswasser abgeschieden haben, Umwälzungen, die allerdings, verglichen mit der Größe der Erde selbst, geringfügig sind.

Es war von jeher eine reizvolle Aufgabe für Physiker und Chemiker, die jeweiligen Kenntnisse auf die Erde anzuwenden, und wenn man geschichtlich vorgeht, sieht man, daß jede neue Entdeckung in Physik und Chemie ihren Niederschlag in den Anschauungen über Geschichte und Verhalten der Erde gefunden hat. Wenn auch hier viele stark hypothetische Anschauungen geäußert worden sind, möchte ich doch versuchen, im Nachstehenden ein Bild über die in letzter Zeit vorgebrachten Theorien zu geben, obwohl ich mir bewußt bin, daß viele rein hypothetische und natürlich experimentell unzugängliche Meinungen vorliegen.

Nach der bekannten Laplaceschen Annahme war die Erde in ihrem Urzustand ein Gasball, der sich durch Zusammenziehung verflüssigte, bei weiterer Abkühlung an der Oberfläche verfestigte, und dessen gewaltige Umformung durch Schrumpfungerscheinungen bewirkt waren. Neuere Erfahrungen über das Verhalten von Stoffen bei sehr hohen Drucken machen diese Theorie recht unwahrscheinlich. Es hat sich nämlich gezeigt, daß der Ausdehnungskoeffizient bei sehr hohen Drucken verschwindend klein wird. Ist dies schon bei den durch unsere Mittel erreichbaren Drucken der Fall, so erst recht bei den außerordentlich hohen Drucken im Erdinnern. Wir wollen zunächst den Aufbau unserer Erde und die Tatsachen, die uns zu den hier vorliegenden Annahmen führten, betrachten.

Experimentell kann man nur sehr wenig tief in die Erde eindringen. Das tiefste Bohrloch in Schlesien ist etwa 2000 m tief. Messungen über den Temperaturverlauf in verschiedensten Gegenden nach der Tiefe zu ergeben ziemlich übereinstimmend eine geothermische Tiefenstufe von etwa 1° pro 32 m, so daß man darauf kommt, daß die feste Schicht, die die Erde umhüllt, nur eine verhältnismäßig geringe Tiefe, die von verschiedenen Forschern zwischen 60 und 120 km geschätzt wird, besitzt. Untersucht man die mittlere Dichte der Hauptgesteine, die diese feste Hülle aufbauen, deren Zu-

Tabelle 1.

Durchschnittliche Zusammensetzung der Silikathülle  
(Eruptivgesteine).

### A. Hauptbestandteile:

SiO <sub>2</sub>	59,09 %
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,35 %
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + FeO	6,88 %
MgO	3,49 %
CaO	5,08 %
Na <sub>2</sub> O	3,84 %
K <sub>2</sub> O	3,13 %
H <sub>2</sub> O	1,14 %
TiO <sub>2</sub>	1,05 %
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,30 %
	99,35 %

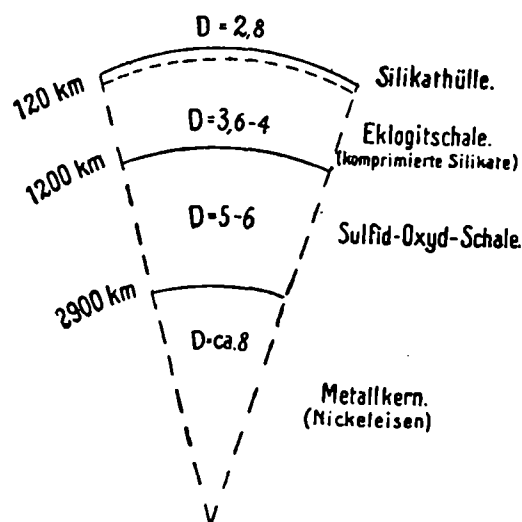
### B. Nebenbestandteile:

0,01—0,1 % Mn, F, Cl, S, Ba, Cr, Zr, C, V, Ni, Sr
0,001—0,01 % Li, Cu, Ce, Co, B, Be
0,0001—0,001 % Th, U, Zn, Pb, As
0,00001—0,0001 % Cd, Sn, Hg, Sb, Mo
0,000001—0,00001 % Ag, Bi
0,0000001—0,000001 % Au
0,000000001—0,00000001 % Ra.

Angew. Chemie 1924. Nr. 15.

sammensetzung nach Schätzung von A. S. Washington der der Tabelle 1 entspricht, so findet man diese zu ungefähr 2,8. Aus Gravitationsmessungen und Erdmessungen wissen wir, daß die gesamte Dichte der Erde ungefähr 5,54 beträgt. Hieraus ergibt sich ohne weiteres der Schluß, daß nach der Tiefe hin eine Differentiation stattgefunden hat, daß die dichtesten Materialien sich nach dem Kern hin immer mehr anreichern, und zwar nimmt man mit Grund an, daß dieser Kern aus einer Legierung von Eisen mit etwa 10 % Nickel besteht, wie sie uns in den Meteoriten als Bruchstücke kosmischer Massen ab und zu auf die Erde geschleudert werden. Beobachtungen geologisch-seismologisch-petrographischer Natur führten zu dem Resultat, daß zwischen der festen Erdrinde und diesem metallischen Kern noch charakteristisch zusammengesetzte Schichten vorhanden sind, die man sich nach V. Goldschmidt gemäß befolgendem Bilde vorstellen kann. Man sieht, daß sich die Stoffe nach innen nach steigender Dichte anordnen; die Trennung in die verschiedenen Schichten entspricht dem, was man bei Schmelzprozessen derartig zusammengesetzter Gebilde beobachten kann.

Die drei großen Schichten entsprechen metallurgisch den wenig mischbaren Komponenten der Schlacke, des Steins und des Metalls. Ein besonderes Interesse hat die zweite Schale, die Silicide oder



nach Goldschmidt die Eklogitschale, welche sich höchstwahrscheinlich zum größten Teil in geschmolzenem Zustande befindet. Die feste Erdrinde schwimmt auf diesen Schichten. In einer dieser Schichten ist die gesamte Schwerwirkung überall gleich („isostatische Schicht“). Dies geht schon daraus hervor, daß die Schwerwirkung auf der Erde bis auf kleine Unterschiede über Meer wie über Kontinenten, auf Gebirgen, ungefähr die gleiche ist, das heißt, daß die kleinere Dichte des Wassers im Meer auf den Kontinenten, sei es durch Massendefekte, sei es durch Auftriebserscheinungen des in dem schwereren Magma schwimmenden Kontinents, ausgeglichen ist. Die Tatsache, daß die ganze feste Kruste auf dieser isostatischen Schicht schwimmt, gibt natürlich in dieser Schicht Ursache zu verschiedenen Erscheinungen. Einmal wirkt die feste Kruste auf die rotierende Bewegung und vor allem auf die Gezeiten- und Präzessionsbewegung der flüssigen Masse gewissermaßen als eine Bremse; Wegeners stark umstrittene Theorie erklärt hieraus die Drift der Kontinente, welche die eigenartige Anordnung der Kontinente — Anhäufung von Randgebirgen im Westen und Zurücklassen von Inselgruppen als Schollen im Osten — ergibt. Die Auffaltung von Quergebirgen erklärt von Böhm aus der Bremswirkung auf die Präzessionsbewegung, welche in den mittleren, nördlichen Breiten den größten Wert annimmt und so zur Auffaltung der gewaltigen eurasischen Gebirgsketten führte. Eine Erscheinung findet jedoch durch diese Betrachtungen noch keine genügende Erklärung. Es ist das die Tatsache, daß die Auffaltung verschiedener Gebirge in verschiedensten geologischen Altersepochen erfolgt ist, und Joly macht darauf aufmerksam, daß die geologischen Revolutionen, welche zur Auffaltung oder Erhöhung schon vorhandener Gebirgsketten führten, in den verschiedensten geologischen Epochen eingetreten sind. Ihren Verlauf beschreibt er folgendermaßen: a) verlängerte Störung in der Kruste, die zu Verschiebungen der See führen, b) stärkere und dauerndere Verschie-

bungen und Auffaltungen lokaler Sedimente, c) Aufwölbung der Berge und Rückzug der See vom Kontinent, d) endlich große Aufwölbung von Bergketten und Wiederherstellung der alten Kontinentengrenze. Derartige Revolutionen fanden vor allem im Tertiär statt, viele Millionen Jahre früher in der Carbonzeit, die zu der Aufwölbung der Appalachenkette führten, noch früher im Silur, Devon, noch weiter zurück immer häufiger im Archäikum. Außer den schon genannten Ursachen der Gebirgsbildung, dem Bestehen einer isostatischen Schicht im geschmolzenen Magma und den Gezeiten und Präzessionseffekten, sucht Joly diese aufeinanderfolgenden Revolutionen aus dem Gehalt der Kruste und Eklogitschale an radioaktiver Substanz zu erklären. Die Grundlage dieser Betrachtungen ist nach ihm die Tatsache, daß alle Gesteine an der Erdoberfläche und auch die basaltischen Gesteine, welche der Eklogitschale entstammen, eine bestimmte Menge Radium und Thorium enthalten. Nun ist bekannt, daß sowohl Radium wie Thorium durch ihren Zerfall fortwährend Wärme entwickeln, und zwar entwickelt 1 g Radium im Gleichgewicht mit den anderen Elementen  $5,6 \cdot 10^{-2}$ , während nach Pegram und Webb das Thorium  $6,6 \cdot 10^{-9}$  Cal. pro Sek. entwickelt. Nimmt man den Gehalt der Basaltnischen, so wird im Durchschnitt in 1 g des Gesteins  $11,8 \cdot 10^{-14}$  Cal. entwickelt, oder 3,71 in 1 Million Jahren, in 25 Millionen Jahren 92,75 Cal.; bei einem Durchschnittsgehalt von  $1,2 \cdot 10^{-12}$  Cal. pro Gramm findet man für 92,4 Cal. 28 Millionen Jahre. Nun beträgt die latente Schmelzwärme nach verschiedensten Forschern ungefähr 90–100 Cal., das heißt, wenn ein Abfluß von Wärme ausgeschlossen ist, würde sich im Laufe von 25–30 Millionen Jahren soviel Wärme aufspeichern, daß das Gestein schmilzt. Was wird die Folge davon sein?

Ehe wir uns damit beschäftigen, wollen wir kurz betrachten, ob und wie die so erzeugte Wärme Abfluß finden kann oder nicht. Das ganze Gestein der Erdrinde enthält ebenfalls Radium und Thorium, und zwar nach Mittelschätzung  $2,2 \cdot 10^{-12}$  g Radium und  $1,6 \cdot 10^{-6}$  g Thorium in jedem Gramm des Gesteins. Diese erzeugen in der Sekunde  $22 \cdot 10^{-14}$  Cal. Bei einem durchschnittlichen spezifischen Gewicht von 2,7 ergibt das  $1,5 \cdot 10^{-6}$  Cal. pro Sekunde für ein Volum von  $1 \text{ qcm} \times 24 \text{ km}$  Tiefe. Die an der Oberfläche austretende Wärme berechnet sich nach einem Gradienten von  $1^\circ$  in 32 m und einer Wärmeleitfähigkeit von 0,005 zu  $1,6 \cdot 10^{-6}$  Cal. pro Sekunde, mit anderen Worten, die gesamte ausgestrahlte Hitze wird durch die im Gestein enthaltene Menge radioaktiver Substanzen gedeckt, ein Kontinent von 24 km Dicke wirkt als vollkommen wärmeundurchlässige Schicht. Die Wärme wird sich also aufspeichern und endlich zum Schmelzen führen. Der Schmelzpunkt der lavaähnlichen Steine liegt bei gewöhnlichem Druck bei ungefähr  $1200^\circ$ . Erhöhung des Drucks verschiebt den Schmelzpunkt zugunsten des Systems mit dem kleineren Volum, in diesem Fall, da das Volum der kristallisierten Produkte im Durchschnitt 10 % kleiner ist als das der Schmelze, wird der Schmelzpunkt durch den Druck erhöht. Nach Schätzungen von Tammann ist es wahrscheinlich, daß bei sehr hohen Drücken diese Volumdifferenz die Vorzeichen ändert, und damit der Schmelzpunkt ein Maximum erreicht, das nach weiteren Schätzungen ungefähr  $50^\circ$  über dem Schmelzpunkt bei gewöhnlichem Druck liegt. Dieser Druck wird in einer Tiefe von ungefähr 150 km erzeugt, wo also dieses Maximum des Schmelzpunkts vorhanden ist. Nach Versuchen von Sossman und Day sowie von Joly ist die magmatische Schmelze schon kurz über dem Schmelzpunkt außerordentlich flüssig. Infolgedessen werden gerade in dieser Schmelze Gezeiten und Präzessionseffekte eintreten, welche eine Vermischung der Magmen verschiedener Schichten mit sich bringen. Die allgemeine Ausdehnung einer so großen Masse wird eine geringe Erweiterung des Erdradius mit sich bringen, aber die Dichtigkeitsänderung in der abgeschmolzenen Schicht wird besondere Wirkungen haben. Während die vom Ozean bedeckten Schichten frei schwimmen, schwimmen die Kontinente unter Verdrängung; das Entstehen spezifisch leichterer Flüssigkeiten wird also ein etwas tieferes Einsinken des Kontinents bedeuten, das heißt, das Wasser wird große Teile der Kontinente überschwemmen. Obwohl keine genauen Zahlen gegeben werden können, genügen die hier erschlossenen Effekte vollständig, um die größten geologisch beobachteten Verschiebungen von Wasser nach Land zu erklären. Dieses Stadium mag ungefähr 25 Millionen Jahre dauern. Je länger es dauert, desto flüssiger wird das Magma, es werden sich Strömungen einstellen, die durch die Kühlungsverhältnisse noch unterstützt werden; während über den Kontinenten praktisch keine Abkühlung eintritt, ist diese unter dem Ozean sehr stark, das heißt, die überhitzten Lavaströme werden nach dem Boden des Ozeans fließen, der wahrscheinlich aus verhältnismäßig leicht schmelzbarem Basalt zusammengesetzt ist. Die Berechnungen zeigen, daß ein vollständiger Verlust der Hitze durch

den Ozeanboden nicht möglich ist. Während nun zuerst das Abschmelzen der Kontinente ein Einsinken derselben bewirkt, wird durch den Hitzeverlust der Boden der See dicker, der Effekt muß sich also umkehren, das heißt, die alten kontinentalen Umrisse werden wieder hergestellt, und die See fließt zurück. Die Aufwärtsbewegung wird besonders da stark sein, wo tiefe Kompensationen vorhanden sind. Derartige Erhebungen fanden am appalachischen Gebirge sowie in der Kreidezeit statt. Geologische Erfahrungen ergeben die Wirkung hauptsächlich horizontaler Kräfte bei der Gebirgsbildung. Wie kommt diese nach Joly zustande? In der Abkühlung unter dem Ozean wird der Ozeanboden dicker, das Niveau sinkt, gleichzeitig muß natürlich die Gesamtoberfläche größer werden, entsprechend der Volumzunahme von 10 % der abgeschmolzenen Schichten. Dies bedingt bei der großen Festigkeit des Basaltes einen seitlichen Druck auf den Kontinent, der gleichzeitig einem vertikal nach oben liegenden Druck ausgesetzt ist. Tritt nun an einem Ort geringeren Widerstands ein Durchbruch ein, so werden dort gleichzeitig horizontal schiebende Kräfte wie vertikal aufstülpende Kräfte auftreten. Das entspricht der Aufwölbung der großen Gebirge der Erde, deren örtliche Erscheinungen natürlich noch durch die Gezeiten und Präzessionserscheinungen in der leicht flüssigen Lava mitbestimmt werden. In solchen Zeiten, die den Höhepunkt der großen Revolution darstellen, kann auch unter Zerreißen schwacher Stellen des Meeresbodens eine kontinentale Drift einsetzen, mit all den Folgen, die Wegener angegeben hat. Nach einer solchen großen Revolution tritt wieder Ruhe ein, in den nun wieder ausgeglichenen Schichten beginnt die radioaktive Wärme von neuem ihr Werk, das nach weiteren 25–50 Millionen Jahren zu einer neuen Revolution der Erde führt. So ist die Wärme, welche durch die Radioaktivität erzeugt wird, die große Energiequelle, welche die Oberflächengeschichte des Erdballs bestimmt hat. Schmelzung und Ausdehnung der isostatischen Schichten ergeben direkt vertikale Bewegungen. Sind die Gebirge gebildet, wird der Magmaspiegel etwas sinken. Änderungen unter dem ozeanischen Boden ergeben seitliche Drucke. Die radioaktive Hitze bereitet für die Wirkung von Gezeitenkräften oder Präzessionskräften den Weg, die feste Erdoberfläche wirkt als Bremse, die die Rotationsenergie aufnimmt und aufspeichert, deren Wirkungen jedoch erst lange Zeit nachher erscheinen.

[A. 1.]

## Über die Reaktionsfähigkeit des Jods gegen Fette II.

### Verhalten wässriger Jodlösungen.

Von B. M. MARGOSCHES und WILHELM HINNER.

(Aus dem Laboratorium für chemische Technologie I der Deutschen Technischen Hochschule Brünn.)

(Eingeg. 7.2. 1924.)

An anderer Stelle haben wir über Versuche berichtet, die sich mit dem Verhalten von Jod in organischen Lösungsmitteln gegen Fette befaßten<sup>1)</sup>. Es wurde eine spezifische Wirkungsweise einzelner organischer Lösungsmittel festgestellt, die in dem Erhalt verschieden hoher Jodverbrauchswerte bei Verwendung verschiedener organischer Lösungsmittel besteht, indem unter vergleichbaren Umständen beispielsweise aus alkoholischen Jodlösungen große, aus Benzol und Tetrachlorkohlenstoff nur verhältnismäßig geringe Jodmengen verbraucht werden. Diese Versuchsbefunde ließen es wünschenswert erscheinen, auch wässrige Jodlösungen auf ihre Wirkung gegen Fette zu untersuchen, zu dem Endzwecke, durch eine umfassendere Studie die bisher noch nicht in befriedigendem Maße geklärte Wirkungsweise von Jod auf Fette einer Deutung zuzuführen und dadurch vielleicht auch für den Chemismus der Jodzahlbestimmung sicherere Anhaltspunkte zu gewinnen.

Zur Bestimmung der Jodaddition an Fette wurden bisher wässrige Jodlösungen nicht verwendet, weil mit solchen Lösungen sich das Fett weder unmittelbar, noch bei Verwendung eines Fettlösungsmittels mischen läßt. Nun haben Versuche von Margosches und Baru<sup>2)</sup> (1921) mit einer wässrigen Jodchlorlösung im Gegensatz zu den Angaben der Literatur gezeigt, daß eine solche Lösung zu Jodzahlbestimmungen brauchbar ist; andererseits legte die Verwendung wässriger Brom-

<sup>1)</sup> Vgl. B. M. Margosches und Wilhelm Hinner: Über die Reaktionsfähigkeit des Jods gegen Fette I. Verhalten von Jod in organischen Lösungsmitteln. Z. d. dtsh. Öl- u. Fettind. 44, 97–100 [1924].

<sup>2)</sup> B. M. Margosches und Richard Baru, Ch.-Ztg. 45, 898 [1921]; Ch. Umsch. d. Fette 28, 229 u. 245 [1921].