

Der stoffliche Aufbau der Erde und seine Bedeutung für die Gebirgsbildung.

Von

Prof. Dr. Leopold Kölbl.

Nach einem Vortrag,
gehalten am 27. Jänner 1932.



Das Problem der stofflichen Zusammensetzung und des Aufbaues unseres Erdkörpers beschäftigt die geologische Wissenschaft schon seit langer Zeit. Aber auch bei Berücksichtigung der tiefsten künstlichen Aufschlüsse im Bergbau und bei Bohrungen gelingt es, nur einen ganz unbedeutenden Blick in das Innere der Erde zu tun. Es ist daher nur zu begreiflich, daß auf anderen Wegen versucht wurde, zu einer begründeten Vorstellung über den Aufbau des Erdkörpers zu gelangen.

Wertvolle Anhaltspunkte erhielt man zunächst durch ein vergleichendes Studium der Meteoriten. Diese Bruchstücke anderer Himmelskörper lehrten uns, daß die Gestirne, durch deren Zerstörung sie gebildet wurden, aus stofflich verschiedenen Zonen bestanden. Eisenmeteoriten, Steinmeteoriten, Glasmeteoriten lassen die Art der stofflichen Verschiedenheiten klar erkennen und ähnliche Verhältnisse auf der Erde vermuten.

Ein weiterer Fortschritt in der Erkenntnis des Baues der Erde wurde durch die Erdbebenforschung erzielt. Aus der Art und der wechselnden Geschwindigkeit, mit welcher sich die Erdbebenwellen im Inneren der Erde fortpflanzen, war zunächst zu ersehen, daß auch der Erdball aus mehreren Schalen aufgebaut sein müsse. Die mathematische Auswertung der Beobachtungen führte zur Festlegung der Grenzen der einzelnen Schalen. In einer Tiefe von etwa 2900 km, 1200 km

und 120 km liegen die Grenzen der einzelnen Zonen, deren mittlere Dichte von innen nach außen mit 8, 5·6, 3·6—4 und 2·8 berechnet werden konnte. Wir wissen heute ferner, daß diese einzelnen Zonen ziemlich scharf aneinandergrenzen müssen, daß also Übergänge, die wohl vorhanden sind, im Verhältnis zur Dicke der Schale eine nur geringe Mächtigkeit besitzen.

Aber auch über den Zustand des Erdinneren sind wir heute gut unterrichtet. Während man früher dachte, daß das Innere der Erde sich wenigstens zum Teil noch in feurig-flüssigem Zustand befinde, wissen wir heute, daß der Erdkörper derzeit fest ist. Wäre auch nur ein nennenswerter Teil der Zonen noch im flüssigen Zustande, dann müßte der Verlauf der Erdbebenwellen ein anderer sein; dann müßte auch der Ablauf der Gezeiten sich in anderer Weise vollziehen, als dies heute der Fall ist. Alle diese verschiedenen Beobachtungen führen zur Bestätigung der Vorstellung eines derzeit festen Erdkörpers.

Einen weiteren wertvollen Einblick in den grobmechanischen Vorgang der Stoffsonderung erlangte man durch das Studium der Hochofenprozesse.

Bei einem normalen Hochofenprozeß, bei dem das Erz mit verschiedenen Zuschlagstoffen gemeinsam geschmolzen wird, sind praktisch alle wichtigen Elemente vorhanden. Nach Abschluß des Hochofenprozesses läßt sich eine deutliche Stoffsonderung beobachten. An der Basis befindet sich die geschmolzene Metallzone, ihr folgt eine Schicht von Sulfiden und Oxyden und diese

wird von einer Schicht von Silikaten, den Schlacken, überlagert.

Läßt also das Studium der Meteoriten, der Erdbeben und der Hochofenprozesse Schlüsse über den allgemeinen schalenförmigen Bau des Erdkörpers zu, so ist auch die Frage nach der Ursache dieser Stoffsonderung heute schon weitgehend geklärt.

Niggli hatte die Vermutung ausgesprochen, daß der Atombau der Elemente als Hauptursache dieser stofflichen Sonderung betrachtet werden könnte. Seiner Meinung nach wären jene Elemente, die bei einem kleinen Radius ihres Wirkungsbereiches eine hohe Kernladung besitzen, vor allem im Erdinneren angehäuft, während jene Elemente, die nicht zu diesen „kondensierten Elementen“ gehören, sich an der Erdoberfläche befinden.

Goldschmidt studierte nun die Verteilung der Elemente beim normalen Hochofenprozeß und konnte in der Tat nachweisen, daß die Verteilung der Elemente auf die verschiedenen Schalen vom Atombau abhängig ist. Er kommt zur Erkenntnis, daß die feinere Struktur der Stoffverteilung abhängt von der Kristallstruktur der am häufigsten auftretenden Elemente. Die Kristallstruktur selbst wird wieder bedingt von dem Kraftfeld, welches von den Atomhüllen ausgeht, und von der Einwirkung der Kraftfelder benachbarter Atome. Diese gegenseitigen Einwirkungen sind aber in der Lage, zu Deformationen der Atomhüllen zu führen. Hiedurch kann aber die Kristallstruktur so stark verändert werden,

daß zwei Elemente nicht mehr gleichzeitig im selben Mineral vorkommen können. Das gemeinsame Vorkommen zweier Elemente ist demnach abhängig von der gleichen oder verwandten Kristallstruktur, in welcher diese Elemente kristallisieren, wobei bis zu einem gewissen Grade Deformationen dieses Kristallbaues möglich sind.

Die Anwendung dieser Forschungsergebnisse auf den Bau des Erdkörpers war nun dadurch gegeben, daß es mit Hilfe röntgenographischer und kristallographischer Untersuchungsmethoden möglich ist, den Feinbau der Materie zu erforschen. Diese Untersuchungen wurden systematisch in großem Umfange durchgeführt, so daß wir heute über das mögliche Zusammenvorkommen der einzelnen Elemente, der einzelnen Mineralien genügend genau unterrichtet sind. Während aber das direkte Studium der tieferen Schalen uns nicht ermöglicht ist, können die Ergebnisse dieser Untersuchungen an der Erdoberfläche durch eine Analysenstatistik der Oberflächengesteine, durch das Studium der Existenzbedingungen der einzelnen Silikatmineralien direkt nachgeprüft werden, so daß wir gerade über diese obersten Schichten, die auch geologisch von größerer Wichtigkeit sind, gut unterrichtet sind.

Der innerste Kern der Erde besteht aus metallischem Eisen und Nickel. Über diesen Kern folgt in etwa 2900 km Tiefe eine Zone, bestehend aus den Sulfiden und Oxyden der Schwermetalle. Über die genaue Zusammensetzung dieser Zone, die bis etwa

1200 km Tiefe reichen soll, herrschen noch die am meisten divergierenden Ansichten, besonders in bezug auf das Mengenverhältnis der Oxyde und Sulfide. Auch scheint diese mittlere Schale nach oben und unten durch Übergangszonen mit den anderen Schalen verknüpft zu sein. Über dieser Oxyd-Sulfid-Schale folgt schließlich die aus Silikaten aufgebaute „Silikatschale“.

In chemischer Hinsicht sind die einzelnen Zonen des Erdkörpers daher dadurch zu charakterisieren, daß im Kern das Element Eisen in metallischer Form, in der mittleren Zone die Sulfide der Schwermetalle und in der äußersten Schale die Verbindungen des Elements Silizium die Hauptrolle spielen. Bezeichnet man diese Stoffe als „Leitstoffe“ des Erdkörpers, dann hängt die relative Verteilung der anderen Elemente im Erdkörper nach dem oben Gesagten davon ab, inwieweit Verwandtschaftsbeziehungen der Elemente, bzw. ihrer Sulfide und Oxyde und Silikate zu den Kristallstrukturen der Leitstoffe bestehen.

Die äußerste Zone der Erde, die Silikatschale, konnte noch weiter unterteilt werden.

In ihren tiefsten Teilen ist neben dem Element Silizium noch besonders das Element Magnesium vertreten; nach oben zu nimmt sowohl das Element Silizium als auch das Element Aluminium zu, während die Menge des Magnesiums abnimmt. Diese Verhältnisse bedingen das relative Auftreten der anderen Elemente, von denen nur die wichtigsten gesteinsbildenden hervorgehoben sein sollen. Mit der Zunahme des Elements

Silizium geht eine Abnahme des Elements Magnesium (und Eisen) parallel. Es tritt immer mehr und mehr das Kalzium und Natrium neben Silizium und Aluminium hervor, um schließlich in der obersten Zone dem Element Kalium die Vorherrschaft zu überlassen.

Auf Grund dieser gesetzmäßigen Verteilung der wichtigsten Elemente konnte man in der Silikatschale eine oberste Schicht unterscheiden, die vornehmlich aus sauren Silikaten besteht und in der Kalium reichlich vertreten ist. Eine mittlere Schicht entspricht in ihrer chemischen Zusammensetzung weitgehend jener der Basalte und wurde daher auch als Basaltschicht bezeichnet, während die tiefste Schicht eine peridotitische Zusammensetzung zeigt und demnach als Peridotitschicht bezeichnet wurde.

Peridotitschicht und Basaltschicht scheinen allmählich ineinander überzugehen, während die Grenze der Basaltschicht gegen jene der sauren Silikate scharf sein dürfte. Diese oberste Schicht der sauren Silikate läßt sich jedoch nicht über die ganze Erde kontinuierlich verfolgen; sie bildet nur die Kontinente, während am Boden der Ozeane die Basaltschicht nahe an die Erdoberfläche reichen soll.

Noch durch einige andere geologisch wichtige Merkmale unterscheidet sich die saure von der basischen Schicht. Die mittlere Dichte der sauren Silikate beträgt etwa 2.7, während jene der basischen etwa 3 ist. Außerdem schmelzen die sauren Silikate durchschnittlich bei einer um mehrere hundert Grade höheren

Temperatur als die basischen Silikate und schließlich haben experimentelle Untersuchungen gezeigt, daß die sauren und basischen Schmelzen praktisch nicht mischbar sind.

Würde nun im Laufe der geologischen Zeiten eine wenn auch vorübergehende Verflüssigung der basischen Schicht eintreten, dann müßten die aus den sauren Silikaten bestehenden Kontinente in der nun eine geringere Dichte besitzenden basischen Schmelze einsinken. Es wurden diesbezügliche Berechnungen angestellt, die ergaben, daß die Kontinente um etwa 6% einsinken müßten, bzw. daß sie etwa um 1200 m einsinken müßten, da ihre mittlere Mächtigkeit aus Gründen der Isostasie mit etwa 20 km veranschlagt wird. In der Tat wurde von Joly die Meinung vertreten, daß eine solche Verflüssigung von Zeit zu Zeit eintrete und dann natürlich von weitgehenden geologischen Veränderungen begleitet sei.

Es entsteht nun die Frage, durch welche Vorgänge ein Aufschmelzen der basischen Silikatschicht verursacht werden könnte.

Wir wissen heute, daß ein großer Teil der Erdwärme durch den Zerfall der radioaktiven Substanzen geliefert wird. Wäre der Gehalt an radioaktiven Substanzen gleichmäßig über den ganzen Erdkörper verteilt, dann würde im Laufe geologischer Zeiträume eine beträchtliche Erwärmung des Erdkörpers eintreten müssen. Wir können jedoch auf Grund der Kristallstrukturen der Uran- und Thormineralien feststellen,

daß sie in der Silikathülle angehäuft vorkommen, wobei die saure Gesteinshülle etwa doppelt soviel an radioaktiver Substanz enthält als die basische Hülle.

Da die mittlere Wärmeleitfähigkeit der Erde bekannt ist, konnte von Joly u. a. berechnet werden, daß in einer Tiefe von etwa 48 km an eine ständige Erwärmung der basischen Schicht stattfindet, die durch den Zerfall der radioaktiven Substanzen hervorgerufen wird. In einem Zeitraum von etwa 50 Millionen Jahren würde die angereicherte Wärmemenge imstande sein, eine Verflüssigung dieser Zone zu verursachen. Joly versuchte dann zu zeigen, daß nach weiteren 5 bis 10 Millionen Jahren infolge des Wärmeverlustes durch die Ausstrahlung des Ozeanbodens eine Abkühlung und Wiederverfestigung der basischen Schicht eintreten müßte, was mit einem Wiederaufsteigen der Kontinente in ihre frühere Lage verknüpft wäre.

Es ist klar, daß alle diese Berechnungen auf vielen, z. T. hypothetischen Annahmen beruhen müssen. Immerhin versuchte Joly, Holmes u. a., diese aus der stofflichen Zusammensetzung des Erdkörpers und der Gesetzmäßigkeit in der Verteilung der Elemente sich ergebenden Erscheinungen zu benützen, um die großen Phasen der Gebirgsbildung, die weltweiten Trans- und Regressionen zu erklären.

Diese Forscher versuchten zu zeigen, daß bei der Zunahme der Verflüssigung der basischen Schicht Fluterscheinungen eingreifen können, die eine langsame Verschiebung der Kontinentalmassen bewirken könnten;

bei der allmählich von unten nach oben erfolgenden Verfestigung würden die Kontinente schließlich auf der noch festen Unterlage stranden. Die Phasen der Kontinentalverschiebungen, die Zeiten der Gebirgsbildungen würden mit Zeiten der Aufschmelzung der basischen Schicht zusammenfallen, wobei als Komplikation noch der Umstand hinzutreten kann, daß in noch längeren Zeiträumen noch tiefere Schichten der Verflüssigung unterworfen sein könnten.

Joly und Holmes versuchten schließlich die bekannten Gebirgsbildungsphasen in solche „magmatische Zyklen“ einzufügen, doch scheinen unsere heutigen Kenntnisse hiezu noch zu gering zu sein, um diesen Versuch einigermaßen befriedigend zu gestalten.
