



Auf der Erde sind mehr als 5000 Minerale bekannt. Diese sind nicht alle gleichzeitig entstanden, sondern durchliefen eine Art Evolution, die eng mit der Entwicklungsgeschichte unseres Planeten verknüpft ist. Robert Hazen, Wissenschaftler an der Carnegie Institution in Washington D.C., gilt als Entdecker dieser „Evolution der Minerale“. Er zeigte 2008 erstmals die Zusammenhänge zwischen der Neubildung von Mineralen und der Entwicklungsgeschichte der Erde auf.

Die Mineralvielfalt auf der Erde ist weit größer als auf allen bisher untersuchten Planeten und Monden unseres Sonnensystems. Auf unserem Mond gibt es nach aktuellsten Schätzungen nur ca. 300 Minerale, auf dem Mars etwa 420, obwohl bisher nicht alle nachgewiesen wurden. Grund für die Vielfalt ist neben der Plattentektonik vor allem das Leben auf der Erde. Ihm verdanken über 50 % der Minerale ihre Existenz.

Die Urminerale

Nach dem Urknall vor 13,8 Milliarden Jahren bildeten sich als erste Elemente Wasserstoff und Helium. Daraus entstanden bei Kernfusionen in Sternen und bei Prozessen während Sternexplosionen alle anderen chemischen Elemente. Bei Sternexplosionen blieben von Sternen nur Gaswolken übrig, die sich rasch ausbreiteten und die Elemente im Weltraum verteilten. Beim Abkühlen bildeten sich daraus die ersten Minerale als winzige Körnchen. Diese 12 Urminerale haben sehr hohe Schmelzpunkte.

Das frühe Sonnensystem

4,56–4,55 Milliarden Jahre

Vor 4,56 Milliarden Jahren entstand unser Sonnensystem aus einer Gas- und Staubwolke.

Ein Großteil der Materie konzentrierte sich im Zentrum, in der Protosonne, einem Vorläufer der heutigen Sonne. Die Protosonne war vom Sonnennebel umgeben; daraus kondensierten beim Abkühlen rund 60 verschiedene Minerale. Diese bildeten zuerst kleine Aggregate, die sich zu immer größeren Materiekumpen zusammenballten, aus denen sich schließlich die Asteroiden und Planeten entwickelten. Dabei entstanden etwa 200 neue Minerale.

Meteoriten als Zeitzeugen

Fast alle Meteoriten stammen von Asteroiden (Kleinplaneten), die ihre Bahnen hauptsächlich zwischen Mars und Jupiter um die Sonne ziehen. Wenn Asteroiden zusammenprallen, können Bruchstücke als Meteoriten auf die Erde fallen. Meteoriten bestehen aus den Mineralen des frühen Sonnensystems.



Die frühe Erde war einem ständigen Bombardement durch kleinere und größere Himmelskörper ausgesetzt. Dabei wurden große Energiemengen frei, die zur Erhitzung und Aufschmelzung führten. Bei der allmählichen Abkühlung wurde die äußerste Schicht der Erde fest; die Erdkruste entstand. Aus dieser Zeit stammen die ältesten Minerale der Erde.

Das älteste Mineral und das älteste Gestein

Das älteste erhaltene Mineral, das auf der Erde entstand, ist Zirkon (4,4 Milliarden Jahre alt). Die Zirkon-Kristalle wurden in einem jüngeren Gestein eingelagert gefunden; ihr Herkunftsgestein ist unbekannt. Das älteste bekannte Gestein, der Acasta-Gneis aus Nordwest-Kanada, ist über 4 Milliarden Jahre alt.

Minerale aus Gesteinsschmelzen

In der Anfangszeit der Erde – vor 4,5 bis 4 Milliarden Jahren – gab es starken Vulkanismus. Bei den Vulkanausbrüchen gelangte Material aus dem aufgeschmolzenen Erdmantel an die Erdoberfläche und erstarrte dort; so entstanden 300 bis 500 neue Minerale.

Durch die Wärme des Erdmantels wurden Teile der Erdkruste immer wieder aufgeschmolzen und erstarrten danach erneut. Dabei entstanden ebenfalls viele neue Minerale, die man zum Beispiel in Graniten findet.

Beim Abkühlen einer Gesteinsschmelze werden einige Bestandteile rasch in Kristallen eingebaut; andere reichern sich in der Restschmelze an. Sinken die Temperaturen weiter, bilden sich daraus Pegmatite; sie enthalten oft Minerale mit seltenen Elementen.

Die Plattentektonik

Die Erdkruste besteht aus Platten, die sich gegeneinander bewegen. Wann diese Bewegungen einsetzten, ist noch Gegenstand der Forschung. Angenommen wird heute vielfach ein Zeitpunkt vor etwa 3,8 Milliarden Jahren. Die Plattentektonik hatte große Auswirkungen auf die Mineralvielfalt – etwa 500 neue Minerale bildeten sich.

In Subduktionszonen schiebt sich eine Erdplatte unter eine andere. Es entstehen hohe Drücke und Temperaturen. Dadurch werden die Gesteine nicht nur verformt, sondern es kommt auch zur Gesteinsmetamorphose, zur Um- und Neubildung von Mineralen.

In den Gesteinen zirkulieren oft wässrige, metallhaltige Lösungen. Sinken Druck und Temperatur dieser Lösungen, kristallisieren Erz-Mineralen aus. So bildeten sich auch die ersten hydrothermalen Erzlagerstätten.



Das Leben auf der Erde entstand vermutlich vor mindestens 3,8 Milliarden Jahren. Anfangs hatte es allerdings nur wenig Einfluss auf die Bildung von neuen Mineralen.

Atmosphäre ohne Sauerstoff

Bis vor 2,5 Milliarden Jahren war die Atmosphäre weitgehend sauerstofffrei. Ein Beweis dafür ist zum Beispiel das Konglomerat vom Witwatersrand (Südafrika). Es wurde vor 2,7 Milliarden Jahren

in einem Fluss abgelagert. Neben großen, hellen Quarzgeröllen findet sich feiner Pyrit, ein Eisensulfid. Heute würde Pyrit in feuchter Umgebung mit dem Sauerstoff der Luft reagieren und verwittern.

Beim Kontakt von Karbonatgesteinen mit heißem Magma, bildeten sich erstmals Skarn-Gesteine; diese enthalten calciumreiche Silikat-Mineralen.

Beim Austrocknen von flachen, salzreichen Meeresbecken bildeten sich erste Evaporit-Mineralen.

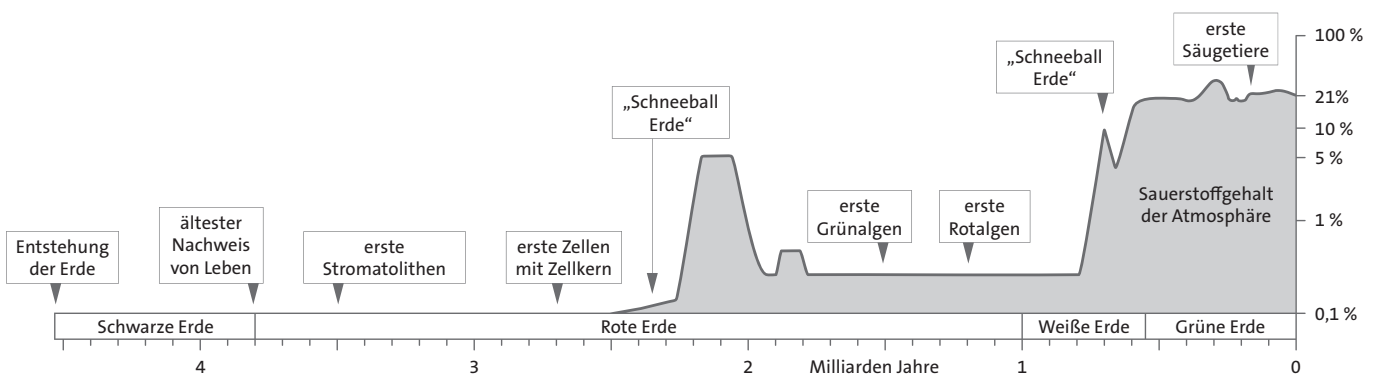
Lebewesen bauen Minerale

Vor etwa 3,5 Milliarden Jahren wurden erstmals Gesteine durch die Aktivität von Lebewesen gebildet: In Flachmeeren wurde durch den Stoffwechsel von Bakterien und Algen Kalk ausgefällt – es entstanden feingeschichtete Karbonate, die Stromatolithen.

Auch an der Entstehung der gebänderten Eisenerze (BIF) waren vermutlich Bakterien beteiligt.

Sauerstoff in der Atmosphäre

Bereits vor etwa 3,5 Milliarden Jahren produzierten Lebewesen im Meer durch Photosynthese Sauerstoff. Doch erst vor etwa 2,5 Milliarden Jahren war der Gehalt so hoch, dass Sauerstoff sich auch in der Atmosphäre anreichern konnte. Es war anfangs zwar nur ein Bruchteil des heutigen Gehalts, doch das reichte, um das Bild der Erde komplett zu verändern: Unser Planet „rostete“. Die schwarzen Vulkan-
gesteine, die bis dahin dominiert hatten, wurden rot, da durch die Oxidation von Eisen neue, oft rötliche Minerale entstanden. Mit dem Anstieg des Sauerstoffgehalts stieg die Anzahl der Minerale von etwa 1500 auf über 4000.



Die weiße Erde

1,0–0,54 Milliarden Jahre



Extremer Klimawandel veränderte die Erde: Es kam zu einem wiederholten Wechsel zwischen Kalt- und Warmzeiten.

„Schneeball Erde“

Sobald das Klima feuchter und kühler wurde, bildeten sich Gletscher. Die weißen Oberflächen reflektierten die Sonnenstrahlen, statt die Wärme aufzunehmen. Die Abkühlung verstärkte sich, bis fast der gesamte Planet von einem einzigen

Mineral bedeckt war: von Eis (aus Wasser). Es wurden Gletschersedimente, wie z. B. Diamiktite, abgelagert. Die Entwicklung des Lebens und der Minerale kam jedoch zum Stillstand.

Treibhausklima

Die Erde blieb aber kein Schneeball. Vulkane transportierten Kohlendioxid in die Atmosphäre; nach einigen Millionen Jahren kam es zu einem starken Treibhauseffekt und die Gletscher schmolzen rasch. In den Flachmeeren wurden mächtige Karbonat-Schichten (Kappenkarbonate) abgelagert.

Die grüne Erde

0,54 Milliarden Jahre bis heute



Nach dem Ende der Kaltzeit vor 600 Millionen Jahren entfaltete sich das Leben explosionsartig. 3 Milliarden Jahre lang hatten vor allem Einzeller die Erde besiedelt; nun entstanden zahlreiche vielzellige Arten. Vor 540 Millionen Jahren erfolgte ein weiterer bedeutender Schritt: Lebewesen entwickelten erstmals Hartteile. Panzer, Schalen, Knochen und Zähne bestehen aus Mineralen: Aragonit baut Ammonitengehäuse auf, Hydroxylapatit ist Hauptbestandteil von Zähnen und Knochen der Wirbeltiere.

Durch warmes, feuchtes Klima und hohen Sauerstoffgehalt kam es zu starker Gesteinsverwitterung. Dabei bildeten sich durch Oxidation viele neue, oft kompliziert aufgebaute und farbenprächtige Minerale.