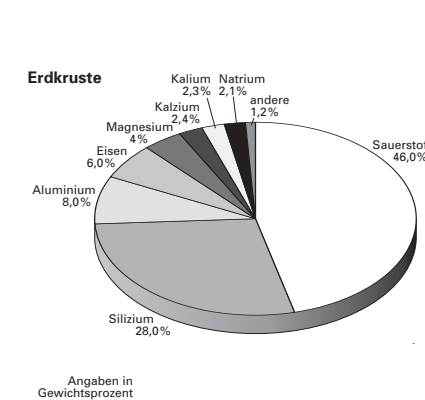
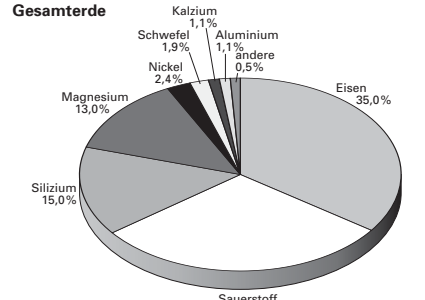


Alter und Bau der Erde

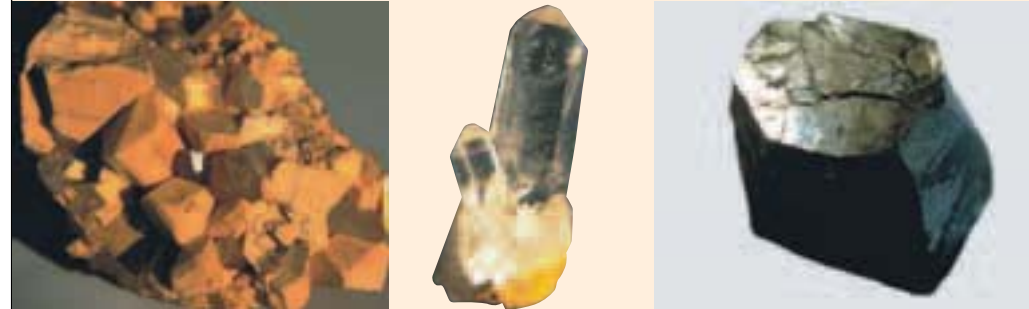


Magmatite – die „Großfamilie“ der Silikate

Die Erdkruste besteht zu ca. 90% aus Erstarrungsgesteinen (Magmatiten). Bekannte Vertreter sind im Aussehen so grundverschiedene Gesteine wie Granit und Basalt. Trotz ihrer Unterschiede gehören sie, wie die anderen Magmatite auch, zu den so genannten Silikaten, die die wichtigste gesteinsprägende Mineralgruppe auf der Welt sind. Acht Elemente bauen hauptsächlich die Erdkruste auf. Dabei dominieren Sauerstoff und Silizium,

um, die sich zu Quarz verbinden und dann die chemische Formel SiO_2 ergeben. Gesteine mit diesem Hauptbestandteil heißen *Silikate*. Weil der Geologe SiO_2 „Kieselsäure“ nennt (chemisch eigentlich falsch, denn SiO_2 ist das Anhydrit der Kieselsäure), bezeichnet man Gesteine mit hohem SiO_2 -Anteil – etwa Granit – als saure, solche mit geringem Anteil – etwa Basalt – als basische Silikate.

M 1.26 Alte Eselsbrücke aller Geologiestudenten zum stofflichen Aufbau von Granit: „Feldspat, Quarz und Glimmer, die drei vergess’ ich nimmer!“



M 1.25 Der Gesteinskreislauf und die Häufigkeit der wichtigsten chemischen Elemente auf der Erde
 Häufigkeitsangaben nach H. Nolzen (Hrsg.): *Physische Geofaktoren. Handbuch des Geographieunterrichts, Bd. 10/1, S. 37.*
 Köln: Aulis 1988

Gesteine – Zeugen der Erdgeschichte

Gestein – was ist das?
 Gestein, das Baumaterial der Lithosphäre (vgl. S. 20), ist ein unterschiedlich stark verfestigtes Gemenge aus meist verschiedenen, seltener auch einheitlichen Mineralien. Quarzit etwa besteht nur aus dem Mineral Quarz, Granit aber aus Feldspat, Quarz und Glimmer. Minerale wiederum setzen sich aus (meist verschiedenen, seltener einem einzigen) Elementen zusammen, die durch ihr Kristallgitter dem Mineral seinen Charakter (Gestalt, Farbe, Härte, Spaltbarkeit etc.) verleihen.

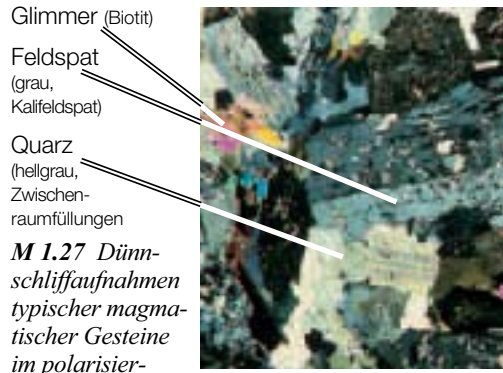
Die Frage nach dem „Urgestein“
 Die ältesten Gesteine der Erde, die man heute in den alten Schildkomplexen der Erdkruste findet, sind etwa 4 Mrd. Jahre alte Gneise. Diese sind

Umwandlungsgesteine (*Metamorphite*), die aus Ablagerungen (*Sedimenten*) gebildet wurden. Diese Sedimente müssen deshalb vor den Gneisen existiert haben. Sedimente wiederum sind Verwitterungs-, Abtragungs- und Ablagerungsprodukt aus bereits vorher vorhandenen Gesteinen, vermutlich Erstarrungsgesteinen (*Magmatite*), die sich bei der Abkühlung des glutflüssigen Planeten bildeten. Aus diesem Befund ergeben sich wichtige Grundregeln:

- Es gibt drei Gesteinsgruppen: Sedimentgesteine, metamorphe Gesteine und magmatische Gesteine.
- Gesteine unterliegen einem ständigen Wandel, den man idealtypisch als Kreislauf darstellen kann.
- Dieser Gesteinskreislauf unterliegt exogenen (z.B. Verwitterung, Erosion, Transport) und endogenen (z.B. Aufschmelzung, Umwandlung) Kräften.
- Jedes Gestein kann sich zu jeder Zeit bilden. Ein eigentliches „Urgestein“ findet man nicht.

Weil Silizium chemisch vierwertig ist (Si^{4+}), Sauerstoff aber zweiwertig (O^{2-}) koppeln sich vier Sauerstoffatome um ein Siliziumatom in Form eines SiO_4 -Tetraeders. Der dabei entstehende Ladungsüberschuss (von vier negativen O-Ladungen) wird dadurch ausgeglichen, dass an jeder Ecke ein weiteres Siliziumatom eines benachbarten Tetraeders angegliedert wird. So entsteht z. B. das dreidimensionale, unendliche Gitter von Quarz, dem exakt die Formel SiO_2 entspricht. Quarz ist meist glasig durchsichtig bis grau, lässt sich nicht spalten, sondern bricht muschelig. Wegen ihrer Härte bleiben die Quarzkörnchen bei der Gesteinsverwitterung als Sand übrig.

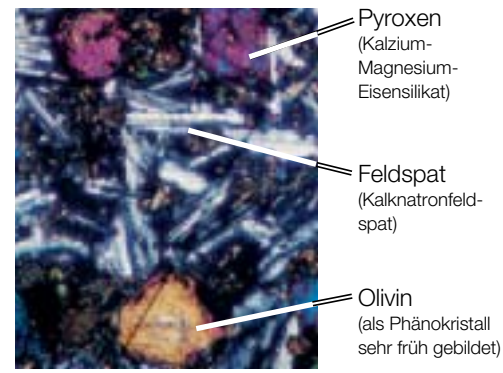
Kalium, Natrium und Kalzium, ersetzt wird. Bei Kalifeldspat ist jedes vierte Siliziumatom durch ein Aluminiumatom (Al^{3+}) ersetzt, wodurch sich ein Ladungsdefizit ergibt (statt des ladungsneutralen Si_4O_8 haben wir $[\text{AlSi}_3\text{O}_8]^-$). Dies wird durch den Einbau eines einwertigen Atoms, etwa von Kalium (K^+) in das Kristallgitter ausgeglichen ($\text{K}+[\text{AlSi}_3\text{O}_8]^-$). Zu den Schichtsilikaten, bei denen sich eine oder zwei Tetraederschichten, d. h. verknüpfte Sechseringe von SiO_2 , mit einer Oktaederschicht aus Aluminium, Eisen und Magnesium und OH-Gruppen locker verknüpfen, zählen z.B. die Glimmer (Muskovit = heller Kaliumglimmer $\text{KA}_2[(\text{OH})_2/\text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$ und Biotit = dunkler Eisen-/Magnesiumglimmer $\text{K}(\text{Fe, Mg})_3[(\text{OH})_2/\text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$). Das bedeutendste der Inselsilikate ist Olivin (Fe, MgSiO_4), das wie alle Orthosilikate den geringsten Anteil an SiO_2 enthält, der überhaupt möglich ist. Deshalb nennt man Gesteine mit hohem Olivinanteil, z. B. Peridotit (benannt nach dem früher statt Olivin gebräuchlichen Namen Peridot), ultrabasisch.



M 1.27 Dünnschliffaufnahmen typischer magmatischer Gesteine im polarisierten Licht
Granit in 10facher Vergrößerung

Der unterschiedliche Charakter der Silikate wird durch die chemische Zusammensetzung der Ausgangsschmelze, den Schmelzpunkt der Minerale und die Dichte gesteuert. Bei der Abkühlung kristallisiert zuerst Olivin in einer Gesteinsschmelze mit etwa 1 200 bis 1 300°C aus und entzieht der Schmelze dabei vor allem Magnesium und auch etwas Eisen. Durch seine hohe Dichte (3,2–4,2 g/cm³) sinkt er in der Schmelze, der Schwerkraft folgend, nach unten ab. So werden dem Magma zunächst schwerere Minerale entzogen, die in der weiteren Kristallisation kaum mehr zur Verfügung stehen. Danach kristallisieren Pyroxene, dann Feldspäte aus, die mit der Dichte von etwa 2,8 g/cm³ gleichsam auf der Schmelze schwimmen. Quarz schließlich kristallisiert erst sehr spät aus. Dieser *gravitative Kristallisationsdifferenziation* genannte Vorgang erzeugt aus einer Schmelze verschiedene Teilmagmen und damit Erstarrungsgesteine, die sich in ihrem Mineralbestand ebenso unterscheiden wie in ihrem Gefüge, d. h. in der Anordnung und Ausprägung der Mineralien. Bildet sich beispielsweise aus einer Schmelze Granit (ca. 2,67 g/cm³), dann können die früher auskristallisierenden Minerale Feldspat und Glimmer noch ihre typische Kristallform ausprägen, während Quarz nur noch die freien Zwischenräume ausfüllen und deshalb dort seine eigentliche Kristallstruktur nicht ausbilden kann. Die Schmelzen reagieren sehr unterschiedlich auf Druck und Temperatur.

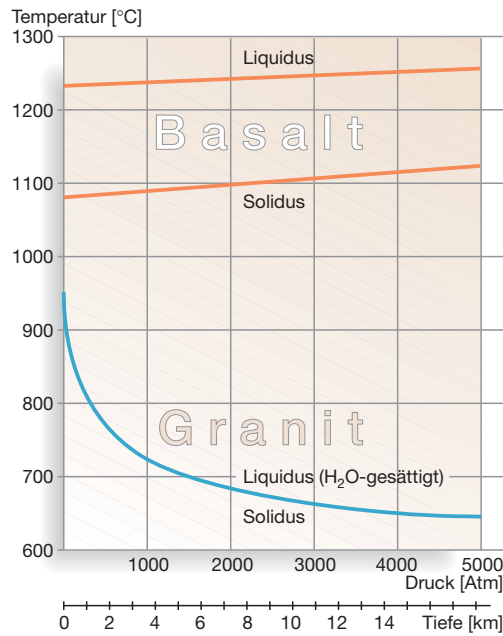
→ „Meist gelangt jedoch basaltisches Magma wegen seiner hohen Anfangstemperatur und starken Auftriebendenzen bis an die Erdober-



Basalt in 30facher Vergrößerung

fläche und kann dort als Lava austreten. ... Einfach bleiben Granite bereits in größerer Tiefe innerhalb der Erdkruste stecken; hierfür ist wohl in erster Linie auch das starke Ansteigen der Liquidus- und Soliduskurve unterhalb etwa 1000 at (also oberhalb 4 km Krustentiefe) verantwortlich zu machen. Dieser Tiefenbereich ... ist das bevorzugte Stockwerk der Plutone, ...“

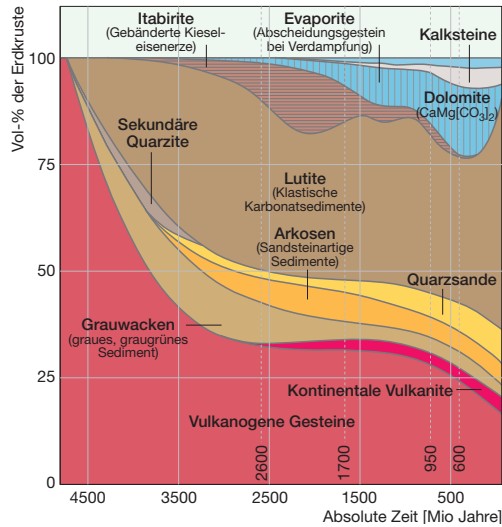
H.-G. Wunderlich: Einführung in die Geologie. Band 2: Endogene Dynamik. Mannheim/Wien/Zürich: Bibliographisches Institut 1985, S. 131



M 1.28 Solidus-Liquidus-Kurve von Granit und Basalt
Nach H.-G. Wunderlich: ebenda, S. 130

Ablagerungs- und Umwandlungsgesteine (Sedimente und Metamorphite)

Diese beiden Gesteinsgruppen nehmen etwa je 5 Vol.-% der Erdkruste ein, der Rest sind Magmatite. **Sedimente.** Der Charakter dieser Gesteine wird überwiegend durch exogene Prozesse, etwa chemische oder physikalische Verwitterung, durch Transport und Ablagerung durch Wasser, Wind oder Eis usw., geprägt (vgl. S. 96). Weil bei diesen Vorgängen bestimmte Minerale gehäuft oder aber überhaupt nicht aufbereitet, mitgeführt und abgelagert werden, lassen sich die *Sedimente* nicht – wie die Magmatite – nach ihrem Chemismus einteilen, sondern besser nach ihren Entstehungsbedingungen: Es gibt die so genannten Trümmersedimente (= klastische Sedimente), wie z. B. Geröll und Konglomerate, die eine starke mechanische Beanspruchung zeigen. Chemische Sedimente, etwa z. B. Steinsalz oder Gips, bilden sich durch Eindampfung und Ausfällung. Sind bei der Sedimentation Organismen beteiligt, z. B. bei der Entstehung von Kohle oder Kalkriffen, so spricht man von biogenen Sedimenten. Sedimente treten uns entweder als Lockergesteine oder, wenn sie durch Druck, Entwässerung und Umkristallisation oder Verkitzung verfestigt sind (Diagenese), als Sedimentgesteine entgegen. **Metamorphite.** Diese Gesteine bilden sich entweder aus Sedimenten – der Geologe nennt sie dann *Paragesteine* – oder aus Magmatiten – dann heißen sie *Orthogesteine* –, die durch zunehmenden Druck und steigende Temperatur umgebildet werden. Dies geschieht entweder durch Kontakt mit heißer, aufsteigender Gesteinsschmelze in der sog. *Kontaktmetamorphose* oder durch das Absinken von ganzen Erdkrustenbereichen in der *Regionalmetamorphose*. Die Ausgangsgesteine ändern dabei ihr Gefüge, oft auch durch das Eindringen von Gasen und wässrigen Lösungen ihre mineralische Zusammensetzung. Gneis, unser ältestes Gestein auf der Erde, besteht wie Granit aus Feldspat, Quarz und Glimmer, die aber nicht regellos auftreten, sondern lagig, z. B. im Adergneis, wenn sich die hellen und dunklen Minerale dem Druck folgend umordnen, oder auch linsenförmig eingeordnet, z. B. im Augengneis, wenn die zuerst anwachsenden Feldspatkristalle Quarz und Glimmer verdrängen.



M 1.29 Die erdgeschichtliche Entwicklung von Gesteinen
Nach P. Rothe: Gesteine: Entstehung – Zerstörung – Umbildung, S. 461. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft 1994



M 1.30 Paragneis und Orthogneis

1.24 Beschreiben Sie das Grundmodell eines SiO₄-Tetraeders und bauen Sie es mit sechs Streichhölzern nach! Erläutern Sie anhand des angefertigten Modells die dreidimensionale, unendliche Gitterstruktur von Quarz.

1.25 Stellen Sie am Beispiel des Ausgangsgesteins Granit mithilfe von M 1.25 einen möglichen Gesteinskreislauf vor.

1.26 Erläutern Sie anhand des Solidus-Liquidus-Diagramms (M 1.28) wesentliche Unterschiede zwischen Basalt und Granit.

1.27 Erklären Sie die Entwicklung der Gesteinszusammensetzung der Erdkruste im Lauf der Erdgeschichte (M 1.29).