© Jürg Meyer 2011
www.juerg-meyer.ch

Was sind Gesteine?

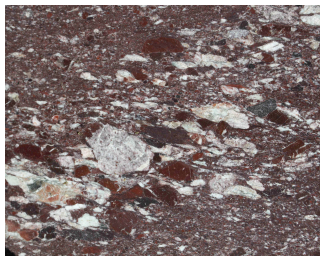
Laien reden gerne von „Steinen“, die Geologen reden von „Gesteinen“. Für das Verständnis geologischer Prozesse ist es wichtig, klare Vorstellungen zu haben, was unter einem Gesteinen verstanden wird.



Aaregranit *Plutonit*



Schrattenkalk *Sedimentgestein*



Verrucano *vulkanosedimentär*



Engi-Schiefer *Metamorphit*

Definition Gestein

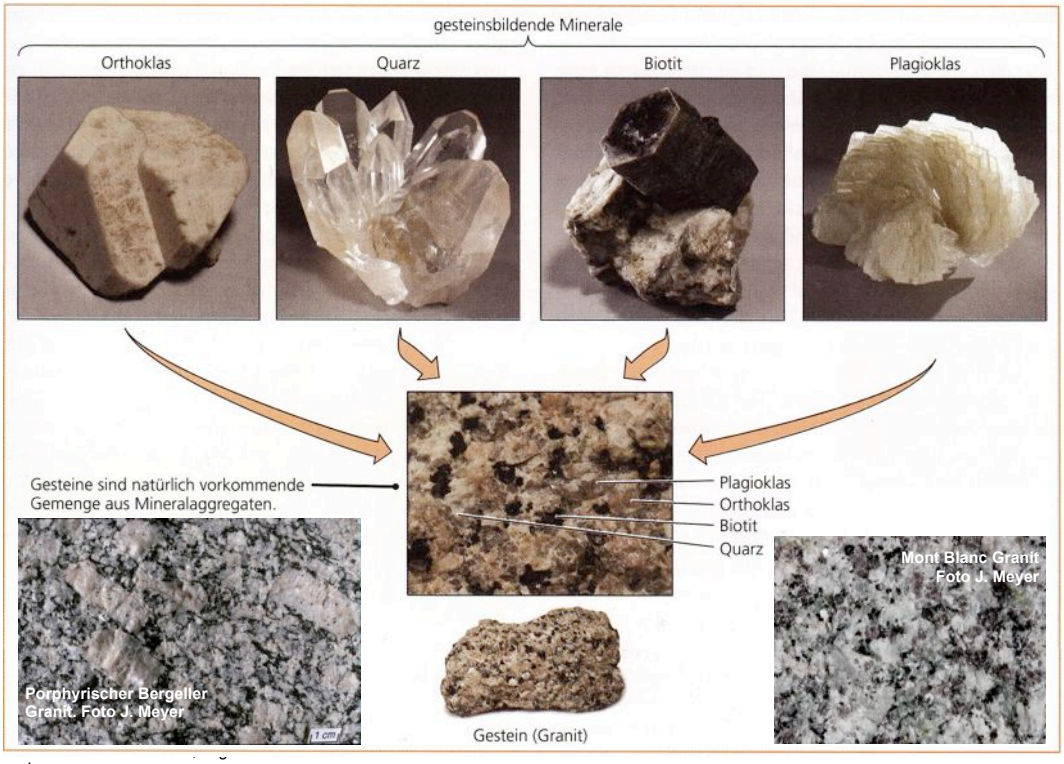
Ein Gestein ist ein natürlich vorkommendes festes Gemenge aus Mineralen, Bruchstücken von Mineralen oder Gesteinen, Organismenresten oder in einigen Fällen auch aus nicht mineralischer Substanz.

Natürlich vorkommend
vom Menschen hergestellte Produkte, die sonst alle Voraussetzungen für ein Gestein erfüllen, werden trotzdem nicht zu den Gesteinen gerechnet.

Festes Gemenge
Die Komponenten eines Gesteins sind in der Regel durch Verzahnung oder einen „Zement“ fest miteinander verbunden. Diese Verbindung kann aber auch sehr schwach bis völlig locker sein – und man redet dann immer noch von Gesteinen. Man spricht von „Lockergesteinen“ und meint damit etwa Fluss-Sand (ergibt verfestigt Sandstein) oder Flusskiese (ergeben verfestigt ein Konglomerat oder „Nagelfluh“)

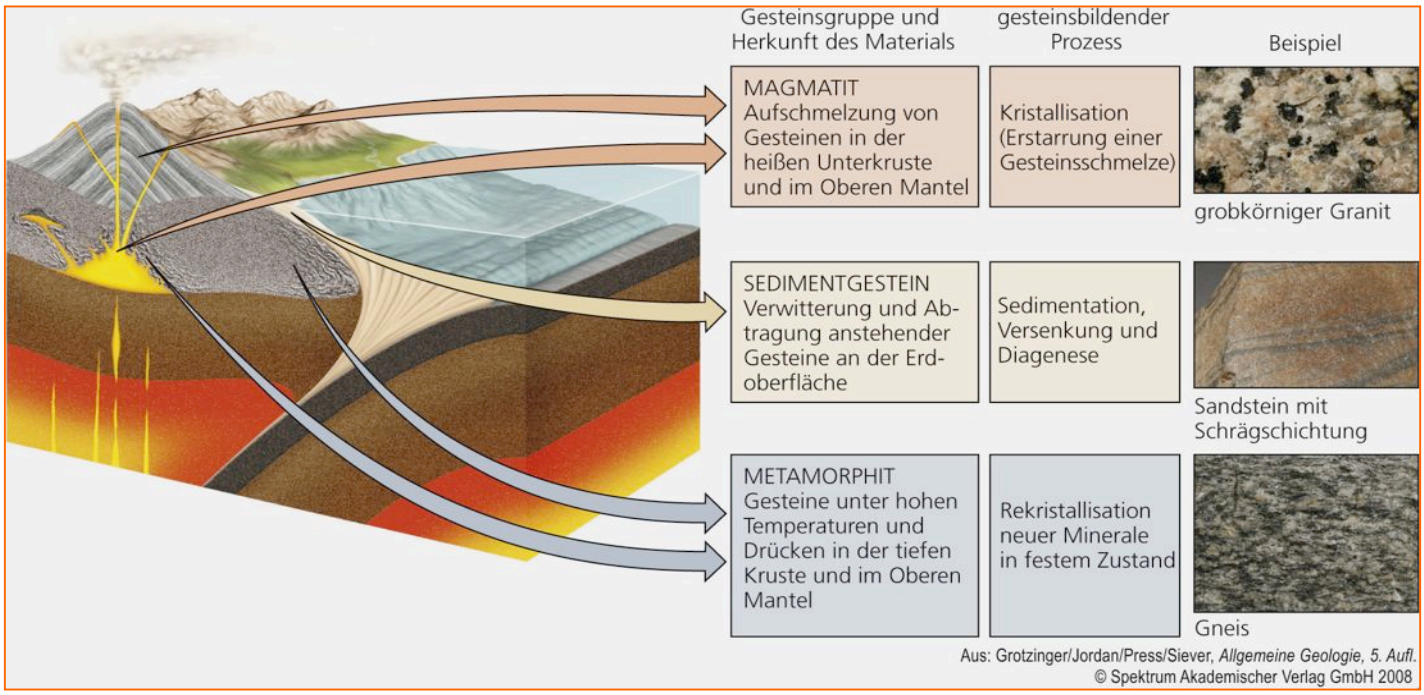
Organismenresten
Dies sind in den meisten Fällen mineralische Bauteile von Lebewesen, also etwa Knochen, Zähne, Schalen. Schalen von Meerestieren bauen ganze Gesteinsschichten auf. Aber auch etwa nicht oxidierte Pflanzenreste, die letztlich zu Kohle oder Erdöl umgewandelt werden können.

Nichtmineralische Substanz
Das können etwa sein Kohle (aus Pflanzenresten), oder vulkanisches Glas wie Obisidian oder Bimsstein (nicht kristallisiertes, abgeschrecktes Magma-Glas).



gie

Die drei Gesteinsgruppen



Sedimentgesteine

= Ablagerungsgesteine

Sedimentgesteine entstehen aus **Ablagerungen** (=Sedimente) **an der Erdoberfläche**, die in der Folge durch Überdeckung mit anderen Ablagerungen vom Sediment oder Lockergestein zum festen Sedimentgestein umgewandelt werden. Dieser Prozess heisst **Diagenese** oder **Lithifizierung**. Er beinhaltet **Kompaktion** und dadurch Reduktion des Porenwassergehalts, **Zementation** durch Auskristallisationen aus Porenwässern (meist Calcit oder Quarz) und manchmal auch **Umkristallisation** von Bestandteilen.
Viele Sedimentgesteine sind gekennzeichnet durch ihre Schichtung. Diese bildet sich die Ablagerung von Partikeln am Boeden eines Wasserkörpers.

Einteilung nach Ablagerungsgebiet

Terrestrisch Ablagerung auf dem Festland.

Fluviatil → Ablagerungen in Flüssen
Konglomerate, Sandsteine

limnisch → Ablagerungen in Süsswasserseen
Sand-, Silt- und Tonsteine

Glazial → Ablagerungen durch Gletscher
Tillite, Konglomerate

Äeolisch → Ablagerungen durch Wind, v.a. in Wüsten
Sandsteine, *Löss (glazial)*

vulkanosedimentär → Ablagerungen im Umfeld von Vulkanen, oft Mischung Sedimente-Vulkanite
Brekzien, Tonsteine

Marin Ablagerung in den Meeren und Ozeanen

lakustrin → Ablagerungen in Brackwasser
Konglomerate, Sandsteine

intertidal → Ablagerungen im Gezeitenbereich
Sand-, Silt- und Tonsteine

flachmarin → Ablagerungen im Lagunen-, Riff- und Schelfbereich (bis ca. 200 m Wassertiefe)
Kalksteine, Mergel, Tonsteine

tiefmarin → Ablagerungen in Tiefseebecken
Tonsteine, Radiolarite, Kalksteine

Einteilung nach Entstehungsweise

Klastische Sedimentgesteine
Ablagerung von Partikeln (Mineralkörner, Gesteinsfragmente etc.) durch Wasser- oder Windtransport.

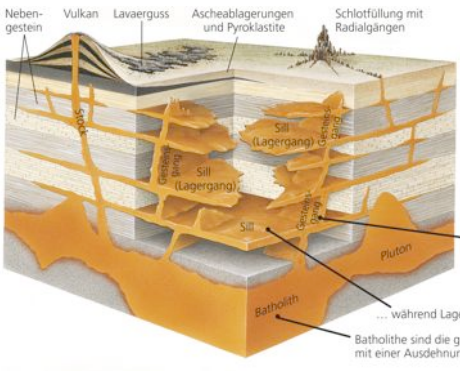
Biogene Sedimentgesteine
Aus biologischem Material oder durch biologische Prozesse gebildet (z.B. Muschelkalk, Algenmatten-Kalk). Oft in Kombination mit chemischen Prozessen → biochemische Sed.

Chemische Sedimentgesteine
Bildung durch rein chemische Ausfällungsprozesse, z.B. Gips oder Steinsalz aus eindampfendem Meerwasser.

Magmatische Gesteine

Magmatische Gesteine (auch **Magmatite** oder **Erstarrungsgesteine**, nach dem griechischen Wort màgma = geknetete Masse) entstehen durch die Kristallisation einer Gesteinsschmelze, eines **Magmas**. Eine solche Schmelze entsteht in grösserer Tiefe der Erdkruste oder im oberen Mantel (zwischen rund 30 – 200 km) wo die Temperaturen Werte von 700 °C und mehr erreichen, die zum Aufschmelzen der meisten Gesteine notwendig sind. Bei der Abkühlung des Magmas unter den Schmelzpunkt haben die sich bildenden Mineralkristalle ausreichend Zeit, um eine Grösse von mehreren mm und darüber zu erreichen, bis die gesamte Masse als grobkörniges magmatisches Gestein auskristallisiert. Solche in der Tiefe erstarrten Magmatite nennt man **Tiefengesteine**, **Intrusivgesteine** oder **Plutonite**, mit dem **Granit** als bekanntestes Beispiel.

Wenn dagegen eine Gesteinsschmelze an der Oberfläche in einem **Vulkan** austritt oder explosiv hervorbricht, kühlt sie sehr rasch ab und erstarrt so schnell, dass kein langsames Kristallwachstum möglich ist; dann bilden sich stattdessen viele winzig kleine Kristalle gleichzeitig, und das Ergebnis sind feinkörnige magmatische Gesteine. Man bezeichnet diese als **Vulkanite** oder **Effusivgesteine**. Beispiele sind dunkler **Basalt** oder heller **Rhyolith**. Bei extrem rascher Abkühlung entsteht **vulkanisches Glas** (z.B. Obsidian). Bei explosivem Auswurf können **vulkanische Lockergesteine** entstehen (**Tephra**), etwa **Lapilli** oder **vulkanische Bomben** – die dann eine Art vulkanischer Sedimentgesteine bilden.



Metamorphe Gesteine

Metamorphe Gesteine oder Metamorphite (griechisch metamorphòo = umgestalten) bilden sich durch Änderung des Mineralbestands und des Gefüges eines Gesteins infolge veränderter Temperatur- und Druckverhältnisse. Die Umkristallisationen erfolgen langsam im festen Zustand. Die chemische Zusammensetzung bleibt in der Regel erhalten, mit Ausnahme des Gehaltes an Gesteins- und Kristallwasser, die mit zunehmender Temperatur und Druck im Normalfall abnehmen.
Die Temperatur ist der wesentliche Faktor der Gesteinsmetamorphose. Sie nimmt mit der Krustentiefe generell zu, im Mittel mit rund 30 °C pro Kilometer. Metamorphosetemperaturen liegen zwischen rund 200 – 800 °C. Darunter passiert in der Regel noch nicht viel, darüber beginnen fast alle Gesteine wieder aufzuschmelzen.
Auch der Druck nimmt mit der Gesteinsüberlagerung zu, mit rund 300 bis 400 bar pro Kilometer. Die tiefsten bekannten metamorphen Gesteine wurden bei Drucken von rund 35'000 bar oder rund 120 km Tiefe umgewandelt (sog. Hochdruck-Metamorphite, z.B. Eklogit)

Verschiedene Metamorphosearten

Regionalmetamorphose
Weiträumige Metamorphose an kollidieren Erdplatten, wo riesige Gesteinspakete in grössere Tiefen und demzufolge erhöhte Temperaturen und Drucke geraten.

In den Alpen weit verbreitet. Der Metamorphosegrad nimmt dabei in den Zentralalpen von N nach S zu. Eine Spezialform ist die Hochdruckmetamorphose, bei der die Gesteine bei moderaten Temperaturen unter sehr hohe Drucke geraten.

Kontaktmetamorphose
Ein eng begrenzter Gesteinsbereich im direkten Kontakt um Magmakammern oder –schlote wird durch die lokale Hitze umgewandelt.

Versenkungsmetamorphose
In grossen klastischen Sedimentdecken können unter der Überlagerung immer neuer Schichten die tieferen Lagen in den Temperaturbereich der Metamorphose gelangen.

Hydrothermalmetamorphose
In den mittelozeanischen Spreizungszonen, wo Mantelmagma aufsteigt und ausfliesst, werden die frisch erstarrten noch heissen Gesteine durch eindringendes Meerwasser umgewandelt.

Schockmetamorphose
Auf der Erde einschlagende Meteoriten bewirken durch Hitze und Schock metamorphe Umwandlungen in den Gesteinen.

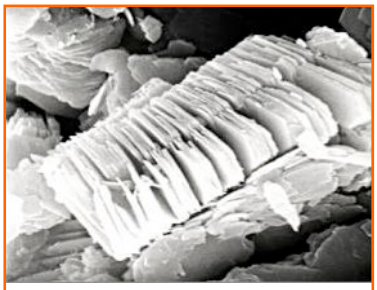
Beispiele und Ausnahmen

Überlege, ob folgende Materialien als Gesteine gelten können:

1. Gletschereis
2. Schnee
3. Kiesbank in Flussbett
4. Beton
5. Quelltuff
6. Steinsalz
7. Tonmasse fürs Töpfern
8. Bodenschlamm in der Tiefsee
9. Ziegelstein
10. Bimsstein aus der Drogerie
11. Muschelsand an tropischen Meeresstrand
12. Nierenstein
13. Kalkablagerung in Wasserkocher

Auflösung

1. Ja. Gletschereis ist natürlich, fest und besteht aus den Mineral Eis.
2. Ja. Auch wenn der meiste Schnee geologisch gesehen extrem kurzlebig ist, vereinigt er alle Eigenschaften eines hoch porösen Gesteins auf sich. Wegen seiner doch komplett anderen Vorkommensweise und Bedeutung wird er üblicherweise nicht als Gestein und auch nicht von Geologen behandelt.
3. Ja. Flusskies ist zwar noch nicht verfestigt, und man fasst alle noch nicht verfestigten Gesteine als **„Lockergesteine“** zusammen.
4. Nein. Beton erfüllt zwar sonst alle Bedingungen für ein Gestein, doch es ist künstlich hergestellt. Von seiner Natur her wäre es ein Konglomerat, wie es bei uns in den Molasseablagerungen häufig vorkommt.
5. Ja. Quelltuff ist ein terrestrisches, chemisch ausgefälltes Sedimentgestein. Gleiches gilt übrigens für Stalaktiten /Stalaktiten, wobei dort eher von Mineral (Calcit) gesprochen werden sollte.
6. Ja, es handelt sich um ein monomineralisches (→ nur aus einem Mineral, Halit NaCl, bestehendes) chemisches Sedimentgestein, entstanden an tropischen Meeresküsten.
7. Ja. Töpferton wird aus reinen Tonschichten gewonnen, die meist im Meer aus Tontrübe abgelagert wurden, welche von Flüssen herantransportiert wurde. Ton besteht aus submikroskopisch kleinen plättchenförmigen Mineralien, die eine grosse chemische Vielfalt aufweisen. Je nach Typ können sie mehr oder weniger Wasser in ihr Kristallgitter aufnehmen und dadurch können Tongesteine plastisch werden. Sie werden unter dem Begriff Tonmineralien zusammengefasst. Feinkörnige vulkanisch Tufflagen verwittern auch gerne rasch zu Tonmineralien und bilden dann hochreine Tonlagen (→ Bentonite).



Kaolinit – Tonkristalle im Rasterelektronenmikroskop. Bildbreite 0.002 mm

8. Ja. Es gilt dasselbe wie beim Flusskies. Schlamm am Meeresboden besteht praktisch immer aus massenhaften Ablagerungen von Skeletten abgestorbenen Zooplanktons, die meist aus Calciumkarbonat (Calcit), oder Siliciumdioxid (Quarz), selten auch aus andern Mineralien bestehen. Meeresschlamm wird demzufolge mit der Zeit zu Kalkstein umgewandelt.
9. Nein. Ziegelstein erfüllt zwar sonst alle Bedingungen für ein Gestein, doch es ist künstlich hergestellt. Wäre es natürlich, müsste man es als kontaktmetamorphen Ton bezeichnen (unter hohen Temperaturen am Kontakt zu einem Magma umkristallisiert).
10. Ja. Bimsstein ist nichts anderes als vulkanische Lava mit sehr kieselsäurereicher Zusammensetzung. Solche Lava ist sehr zähflüssig und verliert das in ihr enthaltene Gas beim Aufstieg durch den Vulkanschlot in der Regel gefangen. Beim Ausfliessen entgast die Lava dann blitzartig und es entsteht ein Lavaschaum, der sofort abschreckt und zu einem derart porösen Glasgestein erstarrt, dass es oft sogar leichter als Wasser ist und deshalb im Meer oder auf Seen obenauf schwimmt. Hat diese Lava länger Zeit zum entgasen und tritt ruhig an der Oberfläche aus, entsteht dunkles vulkanisches Glas namens Obsidian.
11. Ja, gleiche Begründung wie bei 3 und 8.
12. Nein. Nierenstein ist ein konkretionär kristallisiertes Mineral (s. dort).
13. Grenzfall. Kalkablagerungen auf Steinen und sonstwo in der Natur sind natürlich und mineralisch, also eine Art Gestein, am Küchengerät eher nicht.

Kreislauf der Gesteine

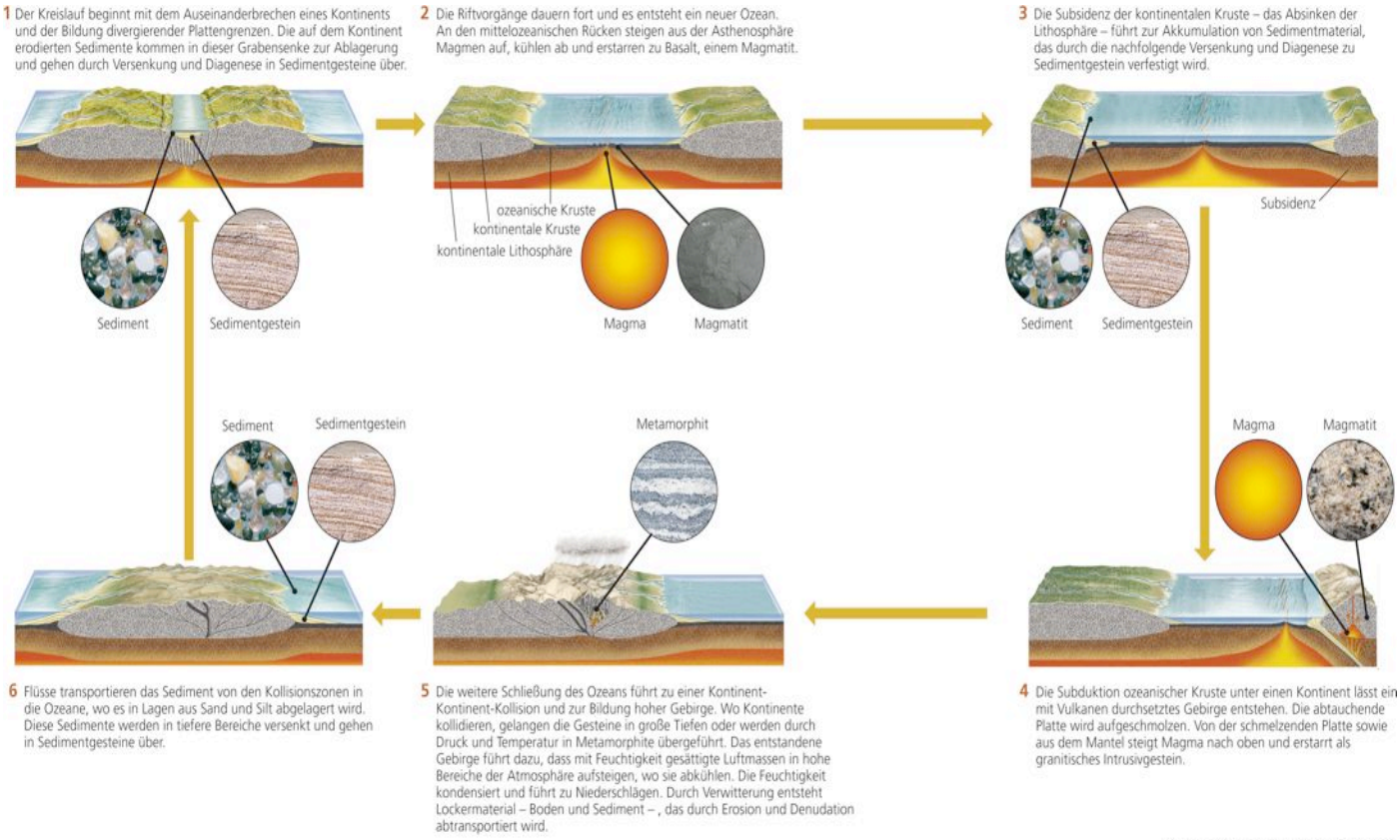
Seit mehr als 200 Jahren wissen Geowissenschaftler, dass die drei grossen Gesteinsgruppen – Magmatite, Metamorphite und Sedimentgesteine- jeweils ineinander übergehen können, aus Ausdruck wichtiger Prozesse, die in und auf der Erde ablaufen. Daraus entwickelte sich die Vorstellung eines Kreislaufs der Gesteine, von dem wir heute wissen, dass er letztendlich das Wechselspiel von zwei wesentlichen Systemen der Erde widerspiegelt:

Plattentektonik & Klima

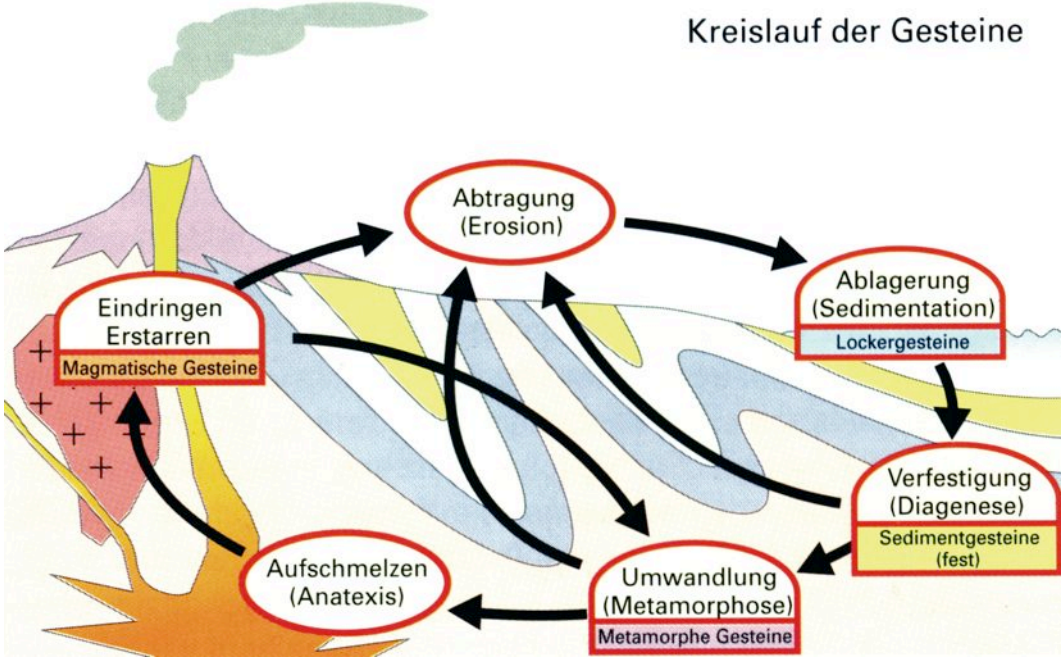
Angetrieben von den Wechselwirkungen dieser beiden Systeme kommt es zum Transfer von Material und Energie zwischen Erdinnerem, Landoberfläche, den Ozeanen und der Atmosphäre.

Beispielsweise ist das Aufschmelzen subduzierter Lithosphärenplatten und die Bildung von Gesteinsschmelzen das Ergebnis von Prozessen, die innerhalb des Systems Plattentektonik ablaufen. Dringt dieses geschmolzene Gesteinsmaterial bis an die Oberfläche auf, wird es den vom System Klima angetriebenen Prozessen der Verwitterung, Erosion und Transport ausgesetzt.

Ändert das Klima im globalen Massstab, ändert sich auch die Geschwindigkeit und Intensität der Verwitterung, was wiederum die Geschwindigkeit beeinflusst, mit die Produkte der Verwitterung – die Sedimente – wieder im das Erdinnere zurück gelangen.



Aus: Grotzinger/Jordan/Press/Siever, Allgemeine Geologie, 5. Aufl.
© Spektrum Akademischer Verlag GmbH 2008



Gesteine in der geologischen Erdgeschichte

Die **Bestimmung des Alters** von Gesteinen ist Voraussetzung dafür, dass etwas über die Entwicklung der Gesteinsassoziationen ausgesagt werden kann. Die Geologen benutzen dazu relative und absolute Methoden (s. Beilage). Die radiometrischen Altersbestimmungen wurden in den letzten Jahrzehnten immer genauer. Heute können Geochemiker eine grosse Zahl von Gesteinen mit immer höherer Präzision absolut datieren.

Der **Kreislauf der Gesteinsbildungen** findet seit der Bildung der Erde vor 4560 Millionen Jahren statt. Allerdings haben sich die Bedingungen im Erdinneren und vor allem an der Erdoberfläche in diesen unglaublich langen Zeiträumen auch verändert, was zur Ausbildung von unterschiedlichen Gesteinsassoziationen führte.

Die **ältesten bekannten Gesteine sind hoch metamorphe Gneise** mit einem Alter von **4'000 Mio. Jahren** (Acasta-Gneis in Kanada). In Australien fand man Zirkonkristalle mit Altern bis 4'400 Mio. Jahren, die belegen, dass es nur zweihundert Millionen Jahre nach der Erdentstehung zu ersten Kristallisationen und Gesteinsbildungen kam.

Erste eindeutige biogene Sedimentgesteine findet man als versteinerte **Stromatolithen-Algenmatten mit einem Alter von 3'500** Mio Jahren.

Archaische Gesteisserien sind geprägt durch drei Gesteinsarten: **Granite**, **vulkanosedimentäre Grüngesteinsabfolgen** („Greenstone Belts“) und **hochmetamorphe Gneise** (Granulite).

Mit der Bildung von freiem Sauerstoff in der Erdatmosphäre ab rund 2'700 Mio Jahren (durch Photosynthese) bildeten sich weltweit charakteristische **Bändereisen-Sedimente** („Banded Iron Formations“ BIF) und danach **klastische Sedimente mit Rotfärbungen** durch Eisenhydroxid.

Ab 542 Mio. Jahren begann die **kambrische Radiation des Lebens** und ab dieser Zeit werden in den Weltmeeren weit verbreitet **Kalksteine** gebildet.

Während der **Karbonzeit** (359 – 299 Mio.J.) werden weltweit in sumpfigen Flachküstengebieten grosse Mengen von Pflanzenresten unter Sauerstoffabschluss abgelagert, was zur Bildung von mächtigen **Kohleablagerungen** führte.

Die frühen eruopäischen Geologen beobachteten unter den Sedimentgesteinsabfolgen Mitteleuropas älteres Grundgebirge, das reich an Graniten ist. Von daher hat sich der Begriff **„Urgestein“** eingebürgert, der oft mit **Granit** verbunden wird. Der Begriff gehört in die **Mülltonne der Wissenschaft**! Granit wird seit 4'000 Mio. Jahren gebildet und auch heute entstehen in Gebirgen rund um die Welt Granite, so z.B. untern vielen der grossen Vulkane der südamerikanischen Anden. Die jungen hellen Granite des Himalayagebirges entstanden vor rund 20 bis 1 Mio. Jahren, diejenigen der Torres del Paine – Granittürme in Patagonien haben ein Alter von 12 Mio. Jahren. In den Alpen finden sich verbreitet „ältere Granite“ der variszischen Gebirgsbildung mit Altern von 330 – 290 Mio. Jahren (z.B. Mont Blanc- und Aaregranite), sowie die während der Alpenbildung gebildeten „alpinen“ Granite mit Altern von rund 35 – 30 Mio. Jahren (Bergell, Adamello, Biella, etc.)

Sonderfälle

Erzbildungen kommen einerseits in diskreten „Adern“ und ähnlichen Bildungen vor, andererseits aber auch in Form von **erzreichen Gesteinen**. Beispiele aus der Schweiz sind:

- Magnetit- und Hämatitreicher Hochgebirgskalk aus der Jurazeit vom Gonzen bei Sargans
- Hämatitreicher Kalkstein aus der Doggerzeit im Jura, z.B. bei Herznach
- Goldreiche tertiäre Molasse-Konglomerate („Nagelfluh“) des Napfgebiets

Gewisse **monomineralische** (nur aus einem Mineral bestehende) **Gesteine** sind **wichtige Rohstoffe** für den Menschen. Beispiele aus der Schweiz

- Steinsalzlagen aus der mittleren Triaszeit von Bex im Unterwallis
- Gipslagen aus der oberen Triaszeit von Leissigen am Thunersee

Ablagerungen von **organischen Material**, das nicht oxidiert – z.B. in Sümpfen oder am Boden von kaum durchlüfteten Seen oder Binnenmeeren, wandelt sich bei der Diagenese / Lithifizierung über Torf – Braunkohle – Steinkohle bis zu Anthrazit um. Erdöl und Erdgas, Ölsande und Ölschiefer sind verwandte Bildungen. In der Schweiz wurden früher zahlreiche Vorkommen solcher Kohlenwasserstoff-Sedimente abgebaut:

- Karbonische Steinkohle / Anthrazit von Dorénaz im Unterwallis
- Jurassische Asphaltkalke vom Val de Travers im Jura
- Tertiäre (Miozäne) Braunkohle in der Molasse von Käpfnach ZH

Lockergesteine sind in der Schweiz vor allem im Mittelland und in den grossen Alpentälern weit verbreitet. Sie stammen fast ausschliesslich aus der Quartärzeit (Eiszeitalter). Sie sind wichtige Grundwasserträger und heute die **wichtigsten mineralischen Rohstoffe der Schweiz** (Kies, Sand)

Meteoriten sind Gesteine aus dem Weltall, welche den verglühenden Flug durch die Atmosphäre überlebt haben. Sie sind extrem wichtige Zeugen der geologischen Frühgeschichte der Erde und unseres Planetensystems. Man unterscheidet Eisen- und Nichteisenmeteorite (Chondriten, Tektite).