

Zusammenfassung des Skripts

# Übungen zur allgemeinen Geologie

Übung gehalten von  
Dr. Frank Söllner  
LMU München

22. Juni 2005

geschrieben von  
Christoph Moder

<http://www.skriptweb.de>

Hinweise (z.B. auf Fehler) bitte per eMail an uns: [mail@skriptweb.de](mailto:mail@skriptweb.de) – Vielen Dank.



# 1 Endogene und exogene Dynamik

Unter dem Begriff *endogene Dynamik* versteht man Vorgänge auf der Erde, die durch Kräfte im Erdinneren hervorgerufen werden, z.B. tektonische, magmatische und metamorphe Prozesse.

*Exogene Dynamik* fasst alle Vorgänge auf der Erdoberfläche zusammen, deren Ursachen die Sonnenstrahlung oder die Gravitationswirkung von Sonne und Mond ist, z.B. Verwitterung, Abtragung, Umlagerung und Ablagerung.

## 1.1 Der Stoffkreislauf der Lithosphäre

- Magmatite entstehen aus Magma aus dem Erdinneren oder durch Anatexis von Sedimentiten oder Metamorphiten.
- Metamorphite entstehen durch Metamorphose von Magmatiten und Sedimentiten bzw. Lockersedimenten.
- Lockersedimente entstehen durch Verwitterung, Transport und Sedimentation von Magmatiten, Metamorphiten und Sedimentiten.
- Sedimentite entstehen durch Diagenese von Lockersedimenten.

## 1.2 Definitionen

- *Gesteine*: Mineralaggregate, deren Mineralzusammensetzung über größere Räume hin mehr oder weniger gleichförmig ist. Sie bestehen in der Regel aus mehreren Mineralen. Die bei der Erstarrung entstandenen Gemengteile bezeichnet man als *primäre Gemengteile*; jene, die erst später durch Umwandlung entstanden sind, als *sekundäre Gemengteile*. Weitere Merkmale von Gesteinen sind Gefüge und Lagerung.
- *Magmatite*: Umfassen in der Erdkruste erstarrende *Plutonite* (Tiefengesteine) und *Vulkanite* (Ergussgesteine). Man unterteilt sie in *Subalkali-* und *Alkali-Gesteine* (nach Alkaligehalt).
- *Sedimentite*: Man unterscheidet *klastische Sedimentite* (Trümmergesteine), *chemische Sedimentite* (Ausfällungs- und Eindampfungsgesteine), *organogene Sedimentite* und *biogene Sedimentite*.
- *Metamorphite*: Umwandlung unter hohem Druck und/oder hoher Temperatur, wobei der kristalline Zustand und die chemische Zusammensetzung konstant bleibt; mechanische Verformung mit chemischer Umkristallisation führt zu *kristallinen Schiefen*, mechanische Verformung alleine zu *Tektoniten*, *Kataklastiten* und *Myloniten* (je nach Verformungsgrad). Bei metasomatischen Prozessen entstehen *Metasomatite*, bei dem Wachstum bestimmter Minerale (v.a. Feldspat) *Metablastite*, bei ultrametamorphen Prozessen *Migmatite*, und bei Metamorphose über die Schmelzphase entstehen *Anatexite*.  
Grenze Metamorphose/Diagenese: Reaktion von Analcim und Quarz zu Albit und Wasser.
- *Kristall*: Ein von ebenen Flächen begrenzter homogener anisotroper Körper, der konvexe Polyeder bildet, charakteristische Symmetrieeigenschaften besitzt und eine periodische Anordnung von Atomen, Ionen oder Molekülen darstellt. Bei der Kristallisation entstehen *Einkristalle* oder *Kristallaggregate*; wenn zwei Kristalle gleicher Art symmetrisch miteinander verwachsen sind, spricht man von einem *Zwilling*.
- *Kristallklasse*: Eine Kristallklasse ist eine Kombinationsmöglichkeit von Symmetrieelementen bei Kristallen; es gibt 32 Kristallklassen.
- *Kristallsystem*: Es gibt sieben Kristallsysteme, nämlich kubisch, hexagonal, trigonal-rhomboedrisch, tetragonal, orthorhombisch monoklin und triklin. Das erste davon ist *optisch isotrop*, die folgenden drei sind *optisch einachsig*, und die letzten drei Kristallsysteme sind *optisch zweiachsig*. Kubische, tetragonale und rhombische Kristalle haben rechtwinklige Achsensysteme (nur bei den Seitenlängen gibt es Unterschiede; sie sind alle gleich lang bzw. nur zwei von ihnen sind gleich lang bzw. alle sind unterschiedlich lang), alle anderen Kristalle haben schiefwinklige Achsensysteme.

- *Kristallgitter*: Ein Raumgitter, an dessen Gitterpunkten die Atome/Ionen/Moleküle sitzen. Man unterscheidet *Raumgitter* mit Koordinationspolyedern, *Schichtgitter* mit zweidimensionalen Koordinationsgittern und *Kettengitter* mit eindimensionalen Koordinationsgittern. *Inselgitter* haben keinen koordinativen Zusammenhang zwischen den Bausteinen.  
Nach Art der Bausteine unterscheidet man *Ionengitter*, *Atomgitter*, *Metallgitter* und *Molekülgitter* (durch van-der-Waals-Kräfte gebunden).
- *Mineral*: Die festen und homogenen Bestandteile der Erdkruste heißen Minerale; sie sind meist kristallin. Nach chemischer Zusammensetzung unterscheidet man Elemente, Sulfide, Halogenide, Oxide, Hydroxide, Nitrate, Karbonate, Borate, Sulfate, Chromate, Molybdate, Wolframate, Phosphate, Silikate und organische Verbindungen. Von den über 2000 bekannten Mineralen zählen knapp 200 zu den gesteinsbildenden Mineralen; dominierend sind die Silikate und Oxide.
- *Leitmineral*: Ein Mineral, das nur in einem eng begrenzten Temperatur- und Druckbereich entstehen kann und somit typisch für einen bestimmten Prozess ist.
- *Erz*: Ein metallhaltiges Mineral; im Bergbau auch ein Gestein mit nutzbarem Anteil an Erzmineralen.
- *Verwitterung*: Zerstörung von Gesteinen an oder nahe der Oberfläche durch exogene Kräfte.
  - *Physikalische Verwitterung* bezeichnet die mechanische Zerstörung, z.B. Temperaturverwitterung (Spannungen durch thermische Ausdehnung bei Temperaturunterschieden), Frostverwitterung (Wasser erfährt beim Gefrieren eine Volumenvergrößerung um 9%), oder Salzsprengung (d.h. ein kristallwasserfreies Salz nimmt Wasser auf und erfährt dadurch eine Volumenvergrößerung; z.B. bei der Umwandlung von Anhydrit zu Gips ist der entstehende Druck etwa halb so hoch wie bei der Frostsprengung).
  - *Chemische Verwitterung* bezeichnet Verwitterung durch chemische Umwandlungen, z.B. Lösungsverwitterung (durch Wasser, Säuren etc.; bedeutend nur bei wasserlöslichen Stoffen), Säureverwitterung (Kohlensäure- und Rauchgasverwitterung, d.h. Gase verbinden sich mit Wasser zu Säuren wie Kohlensäure, schweflige Säure, salpetrige Säure, Phosphorsäure, Salzsäure), hydrolytische Verwitterung (Silikatminerale können nur unter vollständiger Zersetzung in Lösung gebracht werden; bei Austrocknung scheiden sie sich, anders als Karbonate und Salze, nicht unverändert wieder ab, es entstehen *Rückstandsböden* wie Podsole, Laterite, Bauxit- und Kaolinitlagerstätten usw.), Oxidationsverwitterung (Redoxreaktionen mit dem im Wasser gelösten Sauerstoff, wodurch sich die Löslichkeit der Stoffe in Wasser verändert und damit ihre Transportfähigkeit, d.h. es kommt einerseits zu Oxidations- oder Laugungszonen und andererseits zu Reduktions- oder Zementations- oder Fällungszonen, wo sich oft Lagerstätten bilden).
  - *Biologische Verwitterung* bezeichnet die Auswirkungen von Pflanzenwurzeln oder die Tätigkeit von Tieren, die im Boden graben.
- *Sedimenttransport*: Als Transportarten gibt es *Bodenfracht* (Sandsteine, Konglomerate), *Suspension* (Ton- und Schluffsteine) und *Lösung* (Karbonat- und Salzgesteine).
- *Sedimentation*: Ausscheidung von Sedimenten; als Transportmittel dienen Luft (*äolisch*), Wasser (*aquatisch*) in Flüssen (*fluvial*), Seen (*limnisch*) und im Meer (*marin*), Eis (*glazial*) und Schmelzwasser (*glazifluviatil*).
- *Diagenese*: Verfestigung eines Lockersediments bei niedrigen Drücken und Temperaturen nahe an der Erdoberfläche.
- *Anatexis*: Aufschmelzung von Gestein in der Erdkruste und im oberen Mantel; sie beginnt mit der *Metatexis* (i.A. am eutektischen Punkt) und verläuft bis zur *Diatexis*. Die nicht aufgeschmolzenen Bestandteile des Gesteins heißen *Restite*.
- *Sial*: Silizium- und Aluminiumverbindungen als Hauptbestandteile
- *Sima*: Silizium- und Magnesiumverbindungen als Hauptbestandteile
- *Sifema*: Silizium-, Eisen- und Magnesiumverbindungen als Hauptbestandteile

## 2 Die Erde

- Schichtartiger Aufbau:
  - *Erdkruste* (ozeanisch oder kontinental), im oberen Bereich Sial (Granodiorit), im unteren Bereich Sima (Gabbro)
  - *Mohorovičić-Diskontinuität*, ca. in 35 km Tiefe
  - *Oberer Mantel*, aus Sifema (Peridotit), basische Silikate
  - *Übergangszone*
  - *Unterer Mantel*, Hochdruck-Oxide und Chalko-Oxide
  - *Wiechert-Oldham-Gutenberg-Diskontinuität*
  - *Äußerer Kern*, aus Nife (Nickeleisen), flüssig
  - *Innerer Kern*, aus Nife, fest
- *Geothermischer Gradient*: Temperaturerhöhung mit zunehmender Tiefe; durchschnittlich 3 °C pro 100 m.
- *Lithostatischer Druck*: Druck, der durch das Gewicht des darüber liegenden Gesteins erzeugt wird; er berechnet sich bei vereinfacht angenommener konstanter Dichte zu  $p = \rho \cdot g \cdot h$ . Der Gradient beträgt etwa 0,3 kbar pro Kilometer.

## 3 Plattentektonik

- Die *Lithosphärenplatten* umfassen die Erdkruste und den lithosphärischen Anteil des oberen Erdmantels. Man unterscheidet ozeanische Kruste (Sima) und kontinentale Kruste (Sial).
- Die Platten driften auf der *Asthenosphäre*, einer Schicht des oberen Mantelbereichs mit einem geringen Teilschmelzanteil (1–3%) und deshalb erhöhter Plastizität und reduzierter seismischer Geschwindigkeit (*low velocity layer*).
- Als Antrieb für die Plattendrift wird thermische Konvektion im Erdmantel vermutet.
- An einer *divergierenden Plattengrenze* wird die entstehende Lücke durch neu gebildetes Lithosphärenmaterial geschlossen; Beispiel: mittelozeanische Rücken. Kontinentale Grabenbrüche (continental rifts) werden als Frühstadium einer solchen Plattengrenze betrachtet.
- An einer *konvergierenden Plattengrenze* taucht eine Platte unter einer anderen ab. Ozeanische Kruste ist so schwer, dass sie in den Mantel abtauchen kann (*Subduktion*) – es bildet sich ein *Tiefseegraben* und ein Vulkangürtel. Bei zwei kollidierenden Kontinentalplatten taucht keine Platte in den Erdmantel ab, sondern sie schieben sich auf, so dass die Kruste dicker wird. Daraufhin steigt sie isostatisch auf, ein Gebirge entsteht (*Orogenese*).
- An einer *konservativen Plattengrenze* bewegen sich zwei Platten seitlich aneinander vorbei; die Grenze bezeichnet man als *Transformationsstörung*.

## 4 Die gesteinsbildenden Minerale

- Minerale in Magmatiten: Quarz, Alkalifeldspäte, Plagioklase, Feldspatvertreter, Muskovit (Hellglimmer), Biotit (Dunkelglimmer), Ortho-, Klino- und Alkalipyroxene, Amphibole, Alkali amphibole, Olivin, Apatit, Zirkon, Magnetit, Ilmenit, Titanit
- Minerale in Metamorphiten: Quarz, Alkalifeldspäte, Sericit, Pyroxene, Amphibole, Disthen, Sillimanit, Andalusit, Staurolith, Cordierit, Zoisit, Epidot, Granate, Chlorite, Chloritoide, Talk, Serpentin, Skapolith, Rutil, Eisenglanz

- Minerale in Sedimentiten: Quarz, Chalcedon, Alkalifeldspäte, Kaolinit, Montmorillonit, Chlorite, Kalkspat, Dolomit, Anhydrit, Gips, Steinsalz, Bauxit, Apatit, Hämatit, Pyrit
- Die auftretenden Minerale werden nach ihren prozentualen Anteilen als *Hauptgemengteile* (bestimmen den chemischen und mineralogischen Charakter des Gesteins), *Nebengemengteile* (können in größeren Mengen auftreten, sind aber nicht typisch für die Gesteinsgattung, sondern nur für einzelne Vorkommen; mit ihnen wird das Gestein oft näher klassifiziert, z.B. viel Granat  $\Rightarrow$  Granatglimmerschiefer) und *Akzessorien* (weniger als 5 Vol-%) bezeichnet.
- Man unterscheidet nach der Farbe in *salische Minerale* (Silizium und Aluminium) und *felsische Minerale* (Feldspat und Silikate) sowie in *femische Minerale* (Eisen und Magnesium) und *mafische Minerale* (Magnesium- und Eisensilikate). In ersterer Gruppe sind die hellen Bestandteile (Quarz, Feldspäte), in letzterer die dunklen Bestandteile (Biotit, Pyroxene, Amphibole, Olivin).
- *Diadochie*: In den Silikaten ist die chemische Zusammensetzung nicht festgelegt, sondern bestimmte Elemente können durch andere Elemente, die genauso gut in das Kristallgitter passen, ersetzt werden.
- *Silikate*: Man unterscheidet folgende Strukturtypen:
  - *Inselsilikate* (Orthosilikate, Neosilikate): eine begrenzte Anzahl von Siliziumatomen mit umgebenden Sauerstoffatomen; z.B. Olivin, Granat
  - *Ringsilikate* (Cyclosilikate): hier bilden Silizium- und Sauerstoffatome ringförmige Strukturen; z.B. Beryll, Cordierit
  - *Kettensilikate* und *Bändersilikate* (Inosilikate): hier sind die Silizium- und Sauerstoffatome in einer Dimension hintereinander angeordnet und bilden Einfach- oder Mehrfachketten; z.B. Pyroxen, Amphibol
  - *Schichtsilikate* (Phyllosilikate): hier sind die Silizium- und Sauerstoffatome zweidimensional angeordnet und bilden eine Fläche; z.B. Glimmer, Chlorite
  - *Gerüstsilikate* (Tektosilikate): hier bilden die Silizium- und Sauerstoffatome ein dreidimensionales Gerüst; z.B. Feldspat, Quarz
- Die wichtigsten SiO<sub>2</sub>-Typen sind Quarz, Tridymit und Cristobalit, wobei jede Modifikation unter bestimmten Druck- und Temperaturbedingungen entsteht (wodurch man aus dem Gestein auf die Entstehungsbedingungen schließen kann). Mit steigender Temperatur kann man Quarz in Tridymit und weiter in Cristobalit überführen.
- *Enantimorphe Kristalle*: Bei diesen Kristallstrukturen existiert eine Schraubenachse, entsprechend tritt Chiralität auf, es gibt einen Links- und einen Rechtsquarz.
- Quarz hat auch eine polare Achse (d.h. positiver und negativer Ladungsschwerpunkt können entlang dieser Richtung auseinanderbewegt werden), dadurch kommt es zu *Piezoelektrizität*: Wenn man Druck auf den Kristall ausübt, wird eine Spannung erzeugt; umgekehrt verformt sich der Kristall beim Anlegen einer externen Spannung.
- Karbonate treten in zwei Strukturtypen auf, dem *Calcittyp* (trigonal) und den *Aragonittyp* (orthorhombisch).
- Die wichtigsten Erzminerale sind Sulfide, daher stammen viele ihrer Namen aus dem Bergbau (Kiese, Glanze, Blenden; z.B. Kupferkies, Bleiglanz, Zinkblende). Die wichtigsten Vertreter der Sulfate sind Gips (monoklin) und Anhydrit (kristallwasserfreier Gips, orthorhombisches Kristallsystem).
- Nur wenige Elemente kommen in der Natur gediegen vor; z.B. Kohlenstoff, Schwefel, Kupfer, Gold. Sowohl Graphit als auch Diamant besteht aus reinem Kohlenstoff, allerdings sind die Atome unterschiedlich angeordnet. Graphit hat ein hexagonales Kristallsystem mit einer Struktur aus Sechseringen, in denen die Atome mit Atombindungen gebunden sind, während die Schichten untereinander nur durch schwache

van-der-Waals-Bindungen verbunden sind. Diamant hat ein kubisches Kristallsystem, in dem die Atome in Tetraederkoordination mit Atombindungen gebunden sind. Beide unterscheiden sich stark in der Härte und auch in der elektrischen Leitfähigkeit (und damit der Durchsichtigkeit) – Diamant ist ein Isolator und entsprechend für elektromagnetische Wellen wie Licht durchsichtig.

Schwefel kommt in zwei Modifikationen vor, orthorhombisch und monoklin.

- Unterscheidungskriterien für Mineralien:
  - *Morphologie*:
    - \* *Tracht*: Gesamtform, bestehend aus allen Flächen und Flächenkombinationen
    - \* *Habitus*: Größenverhältnisse der Flächen und Flächenkombinationen, z.B. säulig, tonnenförmig, tafelig, blättrig
  - *Festigkeitseigenschaften*:
    - \* *Härte*: Mohssche Härteskala: welches Material von was geritzt werden kann
    - \* *Spaltbarkeit*: höchst vollkommen, sehr vollkommen, vollkommen, deutlich, unvollkommen
    - \* *Bruch*: Aussehen der Bruchfläche: muschelig, halbmuschelig, uneben, splitterig oder hakelig
  - *Optische Eigenschaften*:
    - \* *Farbe*: metallische oder nichtmetallische Farbe
    - \* *Strichfarbe*: Farbe beim Ritzen einer weißen Keramikplatte; i.A. nicht identisch mit der Farbe des Materials
    - \* *Durchsichtigkeit*: durchsichtig, durchscheinend oder opak
    - \* *Fluoreszenz*: Farbe unter UV-Licht
    - \* *Glanz*: Art (metallisch, halbmatt, nichtmetallisch), Intensität (stark glänzend, wenig glänzend, schimmernd, glanzlos)
  - Sonstiges:
    - \* *Tenazität*: Verformbarkeit (spröde, mild, schneidbar-schmiedbar, geschmeidig, elastisch biegsam, unelastisch biegsam, zäh)
    - \* *Magnetismus*
    - \* *Dichte*
    - \* *Radioaktivität*

## 5 Gesteine

### 5.1 Gefüge

- *Struktur* (texture): Aufbau des Gesteins, betrachtet nach ...
  - *Grad der Kristallinität*: makrokristallin = mit bloßem Auge sichtbare Kristalle, mikrokristallin = mit dem Mikroskop sichtbare Kristalle, kryptokristallin = mit Röntgenmethoden nachweisbare Kristalle, amorph = keine Kristallstruktur nachweisbar; holokristallin = nur kristalline Minerale, hemi-/hypokristallin = teils kristalline, teils amorphe Anteile, holoamorph = ohne nachweisbare kristalline Komponenten, hyalin = mit glasigen Anteilen → Obsidian
  - *Korngröße*: phaneritisch = makroskopisch erkennbare Kristalle; aphanitisch = mit bloßem Auge nicht mehr in einzelne Komponenten auflösbar
  - *relative Korngröße*: gleichkörnig = alle Komponenten haben die selbe Größe, wechsellörnig-serial = Korngröße schwankt innerhalb eines Intervalls, wechsellörnig-hiatal = Korngröße zeigt zwei Maxima (z.B. große Kristalle in feiner Grundmatrix), porphyrisch = Größenverhältnis zwischen Kristallen und Matrix ist mehr als 10 : 1

- *absolute Korngröße*: riesenkörnig > 33 mm, grobkörnig > 10 mm, grobkörnig > 3,3 mm, mittelkörnig > 1 mm, feinkörnig > 0,3 mm, feinkörnig > 0,1 mm, sehr feinkörnig > 0,01 mm, dicht < 0,01 mm
- *Gestalt der Mineralkörner*: idiomorph = volle Ausbildung der Eigengestalt, hypidiomorph = teilweise Ausbildung, xenomorph = keine Kristallflächen ausgebildet; Gestalt der einzelnen Komponenten: kubisch = isometrisch würfelig- oder kugelförmig, plattig = blättrig – schuppig – tafelig, gestreckt = säulig – stängelig – nadelig
- *Verwachsungsverhältnisse*: gerade, gekrümmt, buchtig, zerlappt, gezackt, ausgefranst, skelettförmig, dendritisch; Mosaikstruktur = einfache Korngrenzen; Implikations-/Durchdringungsstruktur = blättrige und stängelige Minerale sind ineinander verfilzt
- *Textur (fabric)*: Gefüge höherer Ordnung, betrachtet nach ...
  - *Grad der Raumauffüllung*: massige Textur, poröse Textur = zellig blasig miarolithisch schlackig schaumig
  - *gerichtete/ungerichtete Textur*: richtungslose Textur, gerichtete Textur (schichtig, lagig, schiefrig, flaserig, lenticular, gefaltet, fluidal (schlierig), gradiert, geschiefert)

## 5.2 Magmatite

- Magmatite werden unterschieden in *Plutonite* und *Vulkanite*.
- *Plutonite*: vollkristallin, große Kristalle (mit bloßem Auge zu erkennen), sehr kompakt, keine Hohlräume, Minerale meist ohne gerichtetes Gefüge im Raum angeordnet; weiche Verwitterungsformen, z.B. *Wollschackverwitterung*
- *Vulkanite*: nur einzelne Kristalle sind voll ausgebildet, Grundmasse ist feinkörnig/dicht oder glasig, Hohlräume können vorhanden sein, Gefüge ist oft gerichtet (z.B. Fließgefüge); schroffe Verwitterungsformen, oft mit Säulenbildung
- Lagerungsformen bei Plutoniten:
  - *Gang*: plattenförmiger, meist steil gestellter Körper, diskordant zu den Strukturen des Nebengesteins; Mächtigkeit von Millimetern bis zu einem Kilometer; Länge von Zentimetern bis über hundert Kilometer; Verzweigungen, Versetzungen usw. sind möglich
  - *Ringgang*: ein Gang, dessen Oberflächenanschnitt ring- oder bogenförmig ist
  - *Cone Sheet*: Ringgang, dessen Wände trichterförmig nach unten konvergieren; manche Cone-Sheet-Schwärme scheinen von einem bestimmten Punkt in der Tiefe auszugehen
  - *Sheet*: flachliegender Gang
  - *Sill* (Lagergang): flachliegender Gang, jedoch konkordant zum Nebengestein
  - *Neck* (Schlotfüllung): zylinderartig; Bezeichnung „Neck“ v.a. dann, wenn die Schlotfüllung durch Erosion aus dem Nebengestein hervortritt
  - *Stock*: unregelmäßig gestalteter Intrusivkörper von relativ geringer Ausdehnung (wenige hundert Meter bis einige Kilometer)
  - *Lakkolith*: platten- bis linsenförmiger Intrusivkörper, Unterfläche annähernd eben, Dachfläche nach oben gewölbt, Magmazufuhr von unten
  - *Phakolith*: linsenförmiger oder sonstwie krummflächig begrenzter Intrusivkörper
  - *Lopolith*: plattenförmiger Intrusivkörper, bei dem Unter- und Dachfläche schüsselartig nach unten eingebogen sind
  - *Batholith*: großer Intrusivkörper mit steilen Grenzen; die untere Begrenzung ist nicht aufgeschlossen
- Lagerungsformen bei Vulkaniten:

- *pyroklastische Gesteinskörper*:
  - \* Schlacken-, Tuff- und Aschenkegel (rund um das Förderzentrum, mehr oder weniger stark geschichtet)
  - \* pyroklastische Ströme (stromartig bis flächenhaft)
  - \* pyroklastische Decken (Tuff- oder Aschendecken; oft geschichtet, oft mit Laven oder Sedimenten wechsellagernd)
- *Vulkane*:
  - \* *kontinentale Basaltplateaus*: meist aus übereinander liegenden Einzelströmen und -decken aufgebaut; die Lava tritt im Allgemeinen aus langen Spalten aus; Ausdehnung bis mehrere hunderttausend Quadratkilometer
  - \* *ozeanische Basaltdecken*: besonders an ozeanischen Rücken und in Geosynklinalen, v.a. Kissenlaven und Hyaloklastite
  - \* *Schildvulkane*: aus basaltischer Lava (niedrig viskos), flacher Kegel, steilwandige Gipfelkrater, exzentrische Eruptionsspalten
  - \* *Stratovulkane*: abwechselnd aus Lavaströmen und Pyroklastiten aufgebaut; z.B. Ätna (lavareich) oder Vesuv (pyroklastitreich); steile Kegel mit Gipfelkrater; oft bilden sich Calderen nach voluminösen pyroklastischen Eruptionen;
  - \* Sonstige: *Staukuppen* (= ohne Tuffbedeckung), *Quellkuppen* (mit Tuffbedeckung), *Maare* (Sprengtrichter) usw.
- Arten von Lavaströmen:
  - *Pahoehoe-Lava* (Stricklava): glatte Oberfläche, Fließstrukturen unter der bereits erkalteten „Haut“ sind zu erkennen; Form: Wulst, Strang, Fladen; wenn die Bewegung nach der Erstarrung weitergeht, entsteht Schollenlava;
  - *Aa-Lava*: zerrissene, schlackige Oberfläche, aus hochviskoser Lava entstanden
  - *Blocklava*: relativ einfach gestaltete polyedrische Blöcke
  - *Pillow-Lava* (Kissenlava): kissenförmige Lavabrocken, die bei subaquatischen Eruptionen entstehen; außen durch die schnelle Abkühlung glasig, innen kristallin mit Abkühlungsrissen; dazwischen oft marine Sedimentfüllungen;
- Vorgänge beim Abkühlen von Magma
  - Magma flüssig (liquid-magmatisches Stadium)
  - Ersterstarrung (liquid-magmatisches Stadium): Ausscheidung nichtsilikatischer Gemengteile
  - Haupterstarrung (liquid-magmatisches Stadium): Ausscheidung der Hauptmenge der Silikate; Kontaktmetamorphose; steigender Gasdruck in der Restschmelze
  - Pegmatitisches Stadium: Maximum der Dampfspannung, magmatische Nachschübe, Eruption kommt bei weiterer Abkühlung zum Erliegen
  - Pneumatolytisches Stadium: Abspaltung einer Dampfphase, Pneumatolyse; Fumarolenstadium;
  - Hydrothermales Stadium: Dampfspannung sinkt, wässrige Restlösungen; Solfatarenstadium;
- Hauptdifferenziationsserien magmatischer Gesteine:
  - *Tholeiit-Serie*: vulkanitisch: Tholeiitbasalt → Icelandit (tholeiitischer Andesit)  
plutonitisch: Peridotit → Norit → Olivengabbro → Gabbro → Anorthit
  - *Kalkalkali-Serie*: vulkanitisch: Hypersthenbasalt → Andesit → Dazit → Rhyodazit → Rhyolith  
plutonitisch: Norit → Zwei-Pyroxen-Gabbro → Diorit → Quarzdiorit → Tonalit → Granodiorit → Granit
  - *Alkali-Serie*: vulkanitisch: Alkalibasalt → Hawaiiit → Mugearit → Trachyt → Alkalirhyolith (alkalische Andesite)  
plutonitisch: Wehrlit → Olivengabbro → Alkaligabbro → Syenit (Monzonit) → Alkaligranit (Alkalifeldspatsyenit)

### 5.3 Sedimente und Sedimentite

- Wenn ein Ausgangsgestein verwittert (chemisch: Lösung, Oxidation, Reduktion; physikalisch: mechanische Prozesse) und das Verwitterungsprodukt vor Ort bleibt, entsteht daraus ein *Boden*. Wird das Verwitterungsprodukt dagegen abtransportiert und an einem anderen Ort abgelagert, handelt es sich um ein Sediment. Durch *Diagenese* wird dieses zu einem Sedimentit.
- Hauptgruppen der Sedimentgesteine:
  - *terrigen klastische Sedimente*: Konglomerate, Breccien, Sandsteine, Tonsteine
  - *biogene, biochemische und organische Sedimente*: Kalksteine und Dolomite (aus kalkhaltigen Schalen von Lebewesen), kieselige Gesteine (aus Kieselalgen), Phosphate, Kohle (aus Pflanzen, Torfmoosen), Ölschiefer (aus Lebewesen)
  - *chemische Sedimente*: Evaporite (v.a. Gips, Anhydrit und Steinsalz), eisenreiche Sedimente
  - *pyroklastische Sedimente*: Ignimbrite, Vulkanite
- Erkennungsmerkmale von Sedimentiten:
  - Schichtung mit geradlinigen Schichtfugen; die Schichtung ist ein Materialwechsel, verursacht durch periodische oder episodische Schwankungen in der Materialzufuhr oder der Fällung (bei chemischen Sedimenten).
  - Einregelung blättriger, tafeliger und stängeliger Minerale sowie plattiger Gesteinsreste
  - Ungeschichtet sind meist: Riffkalke, Dolomite, glaziale Schotter, Breccien, Konglomerate, auch massive Sandsteine
  - Bei sandigen und schluffigen Sedimenten kann es sowohl durch Wasser als auch durch Wind zu einer welligen Oberfläche kommen. Strömungsrippeln sind asymmetrisch geformt, Oszillationsrippeln (Wellenbewegung vor und zurück) sind symmetrisch. Bei wechselnder Strömungsrichtung ergibt sich im Querschnitt eine Kreuzschichtung.
  - Durch Wasser und Wind kann in klastischen Sedimenten eine Sortierung nach Härte, Dichte (je schwerer, desto schneller sinkt das Teilchen nach unten), Korngröße (je größer, desto schneller sinkt das Teilchen nach unten, weil die Masse im Vergleich zur Angriffsfläche groß ist) und Kornform erfolgen.
- Transport:
  - Bewegung: in Wasser rasch und laminar bis turbulent; in Eis langsam und zäh; durch Wind stoßweise und unregelmäßig flächenhaft
  - Transportmechanismus: in Wasser rollend, Sortierung nach Größe je nach Fließgeschwindigkeit, außerdem Auslese nach Härte und Gestalt; in Eis schiebend, keine Auslese nach Härte und Korngröße; Wind kann feinen Staub über sehr große Entfernungen verfrachten;
  - Typische Sedimente: in Wasser Konglomerat (runde Komponenten, stark sortiert) und Sandstein (Schrägschichtung); in Eis Moräne (unsortiert, locker) und geschrammte Geschiebe (keine Schichtung); durch Wind entsteht Löß
  - Formen in der Landschaft: durch Wasser entstehen Rinnen, Canyons, V-Täler, Schwemmlandschaften, Terrassen, Deltas; durch Eis entstehen Rundhöcker (alte Strukturen werden abgeschliffen und überprägt), U-Täler, Moränenhügel, Toteislöcher; Wind erzeugt eine Vielzahl von Formen durch Ausblasung und Ausschleifen, außerdem Dünen und Lößdecken;
- Typische Bildungsbereiche:
  - Sandsteine und Grobklastika: Wüstenzonen, glaziale Bereiche, fluviatile Bereiche, Seen, Deltas, marine Küstenbereiche (mit Strand, Vorstrand, Wattflächen und Meeresbuchten), flache Schelfbereiche und Epikontinentalmeere, Kontinentalränder und Tiefwasserbecken

- Tongesteine: für Residualtone sind die Bildungsbereiche fossile Verwitterungsböden; für dedritische Tone sind die Bildungsbereiche Überflutungsgebiete und Seen, Deltas, Litoralbereiche und Tiefsee, alluviale Schuttfächer in vulkanischen und glazialen Regionen (kontinental) und die Lößgebiete des Periglazialraums und in Wüstennähe (äolisch)
  - Karbonatgesteine: für nichtmarine Karbonate sind die Bildungsbereiche Quellgebiete, Überflutungsbereiche in ariden und semiariden Klimaten, abflusslose Senken, flache Uferbereiche, geschützte Buchten, Zentralbereiche von Seen; für marine Karbonate sind die Bildungsbereiche intertidale und supratidale Flächen, Lagunen und Buchten mit eingeschränkter Wasserzirkulation, Untiefen im inter- und subtidalen Bereich, offener Schelf, Riffe und karbonatische Hügelstrukturen, karbonatische Turbiditbecken
  - Evaporite: abflusslose kontinentale Becken, durch Barren abgetrennte marine Becken, Sabkhas (= Küstenebenen)
  - kieselige Sedimente und Hornsteine: Seen hoher Breitengrade, Tiefsee, in Ausnahmen auch der Schelfbereich
- Der Begriff *Fazies* beschreibt einerseits die Gesamtheit der ursprünglichen Merkmale eines Gesteins, andererseits wird er auch verwendet, um die unterschiedliche Beschaffenheit von gleichaltrigen, aber in unterschiedlichen Gebieten entstandenen Sedimenten zu kennzeichnen. Die Fazies der Sedimente spiegelt die Umwelt während der Bildungszeit wider; durch den Vergleich mit rezenten Sedimentationsräumen kann man auf die Bedingungen zu früheren Zeiten schließen.
  - Korngrößen-Einteilung: Blockwerk ( $\phi < -8$ ), Grobkies ( $\phi > -8$ ; Lockersediment: Kies, Rudit, Konglomerate, Breccien), Mittelkies ( $\phi > -5$ ), Feinkies ( $\phi > -2$ ), Sand ( $\phi > 1$ ; Lockersedimente: Sand, Sandsteine, Arenite), Silt ( $\phi > 5$ ; Lockersedimente: Silt, Siltstein), Ton ( $\phi > 7$ ; Lockersedimente: Ton, Tonstein). Die Größeneinteilung nach  $\phi$  entspricht dem negativen logarithmischen Wert der Korngröße in Millimeter, d.h.  $\phi = -\log_2 S$ .
  - Gletscher: Im Kar, wo die Akkumulation stattfindet (Nährbereich), ist die Schichtung subhorizontal. Dort, wo das Eis fließt (im Bereich der Firngrenze), ist die Schichtung vertikal, da sich auch das Grundeis schnell bewegt, nicht nur die Oberfläche. Im Zehrbereich, wo Ablation stattfindet, ist die Schichtung wiederum horizontal.
  - *Laugenrückfluss* (seepage reflux) als Mechanismus zur Dolomitisierung: Wenn Meerwasser durch kalkige Sedimente in den Küstenbereich sickert und dort durch Evaporation Gips ausgefällt wird, entsteht spezifisch schwereres Wasser, das absinkt und in der Tiefe zurück Richtung Meer strömt, wobei das durchströmte Sediment dolomitisiert wird.
  - Die meisten der sedimentären Eisenlagerstätten sind im marinen Milieu entstanden. Zwischen denen aus dem Präkambrium und denen aus dem Phanerozoikum gibt es deutliche Unterschiede: erstere bestehen aus mächtigen Abfolgen von Eisenmineralen mit Wechsellagen von Hornstein dazwischen (daher der Name „gebänderte Eisenformationen“, banded iron formations), letztere sind meist geringmächtige und lokal begrenzte Abfolgen, die oft oolithisch ausgebildet sind (Bezeichnung: „Eisensteine“, ironstones). Es gibt keine rezenten Vorkommen dieser Arten; was es heute gibt, sind Sumpf- und See-Erze in mittleren und hohen Breitengraden sowie Eisen-Mangan-Knollen auf dem Meeresboden.
  - Organische Sedimente: Das Ausgangsmaterial für Kohle und Erdöl sind Lebewesen, deren Kohlenstoff direkt oder indirekt durch Photosynthese aus der Luft gewonnen wurde. Bei Anwesenheit von Sauerstoff wird organisches Material schnell zersetzt; in euxinischen Milieus (z.B. Sümpfe, Moore, abgeschnittene Meeresbecken usw.) und dort, wo bereits in einem frühen Diagenesestadium anaerobe Bedingungen entstehen, kann organische Substanz in Sedimentgesteine eingelagert werden. Da meist oxidierende Verhältnisse herrschen, ist der Anteil organischer Substanz in Sedimenten typischerweise recht gering (ca. 1%).
  - Rezente organische Bildungen:
    - *Sapropel* (Vollfaulschlamm): unter vollständigem Sauerstoffabschluss umgesetzte organische Reste

- *Gyttja* (Halbfaulschlamm): unter teilweisem Sauerstoffabschluss umgesetzte organische Reste
  - *Seekreide*: von Pflanzen aus dem Seewasser durch Kohlensäure-Entzug ausgefällt
  - *Kieselgur*: aus den Schalen von Diatomeen
  - *Dy* (Torfschlamm): aus ausgeflocktem Humus
  - *See-Erz*: unter Beteiligung von Bakterien ausgeschiedene Goethit-Knollen
- Organische Bildungen lassen sich unterteilen nach dem Ort, wo sie abgelagert wurden. Humus und Torf zählt zu den in-situ-Bildungen; aus diesen Materialien entstehen typischerweise Braun- und Steinkohlen (humose Gruppe). Materialien wie Faulschlamm wurden dagegen vor der Ablagerung transportiert oder aus einer Suspension abgelagert; daraus entstehen Ölschiefer und bestimmte Kohlen (sapropelische Gruppe).
  - *Bitumen*: Sammelbegriff für organisches Material in Sedimenten, im engeren Sinn flüssige oder feste Kohlenwasserstoffe
  - *Asphalt*: flüssiges oder halbflüssiges Bitumen aus einem Öl, das reich an Cyclo-Paraffinen ist
  - *Kerogen*: organische Substanz, die in organischen Lösungsmitteln weitgehend unlöslich ist (da viele Polymere enthalten sind)
  - *Teersand*: feste und halbfeste Kohlenwasserstoffe, die von außen in die Lagerstätte migriert sind
  - *Inkohlung*: Prozesse, die bei der Umwandlung von Torf in Kohle ablaufen; da diese meist von der Temperatur und damit von der Tiefe abhängig sind, spricht man von organischer Metamorphose; dabei nimmt der Kohlenstoffgehalt zu, die flüchtigen Bestandteile nehmen ab und ebenso die Dicke der Schicht (aus 12 m Torf entsteht ca. 1 m Steinkohle). Die Definition der Stadien erfolgt dabei nach bestimmten Prozessen, die abgelaufen sein müssen – es gibt also keine weichen Übergänge. Beispielsweise ist bei Steinkohle nichts mehr von der ursprünglichen Pflanze zu sehen, sämtliche Zellstruktur ist zerstört, nur noch die Macerale sind vorhanden.  
*Limnische Kohle* (z.B. im Saar-Gebiet) entsteht aus Wasserpflanzen/Algen, während *paralische Kohle* (Ruhrgebiet bis Polen) aus Landpflanzen entstanden ist. Die meiste Kohle ist Humuskohle, wobei ein Humusboden im Karbon wesentlich mehr Zellstoff enthalten haben muss als heute üblich, damit bei der Inkohlung davon eine nennenswerte Menge Kohlenstoff übrig bleibt. Die Torfbildung ist heute einer der wenigen Prozesse, bei denen organisches Material anaerob umgesetzt wird; allerdings hat die Torfbildung nicht viel mit der Bildung von Steinkohle aus dem Karbon zu tun (da kein Humus-Stadium vorkommt). Wegen des Vorkommens von Grubengas (Methan) muss die Umwandlung von Fäulnisprozessen begleitet worden sein (ansonsten ergäbe sich eher eine „Mumifizierung“ der organischen Stoffe).  
*Inkohlungsreihe*: Torf, Weich-Braunkohle, Hart-Braunkohle, bituminöse Steinkohle, Anthrazit
  - Erdöl stammt aus einem Muttergestein und migriert in ein Speichergestein, das porös und permeabel genug ist, um es aufzunehmen (z.B. Sande, Sandsteine, Kalksteine), und im Hangenden abgedichtet ist (z.B. durch Tonsteine oder Evaporite), was das Öl am Aufsteigen hindert. Erdölfallen bilden sich dann an Falten, Aufwölbungen, Antiklinalen, Diskordanzen, Verwerfungen und Salzdiapiren. Erdöl entsteht v.a. aus Kerogen, welches aus Algen und Plankton stammt, während Erdgas v.a. aus Kerogen aus Pflanzenkutikulae entsteht.
  - Phosphorite: Marine Phosphorite entstehen v.a. dort, wo kaltes nährstoffreiches Tiefenwasser an die Meeresoberfläche strömt, weil dies eine erhöhte Tätigkeit des Planktons zur Folge hat, so dass dort am Meeresboden Sedimente mit hohen organischen Gehalten abgelagert werden. Gleichzeitig ist das Wasser darüber sauerstoffarm. Die häufigsten Phosphatminerale sind Varietäten von Apatit.
  - Chert und kieselige Sedimente: *Chert* bezeichnet feinkörnige kieselige Sedimente chemischer, biochemischer oder biogener Herkunft. *Flint* bezeichnet Kieselknollen (Feuersteine) in der kretazischen Kreide, wird aber auch allgemein als ein Synonym für Chert benutzt. *Jaspis* ist eine rote Varietät von Chert, eingefärbt durch fein verteilten Hämatit. Feinkörniges kieseliges Gestein, das Bruch und Struktur von unglasiertem Porzellan besitzt, wird *Porzellanit* genannt.

Gebankte Kieselgesteine treten häufig zusammen mit vulkanischen Gesteinen auf  $\Rightarrow$  *Chert-Problem*: Ist die Kieselsäure vulkanischer oder biogener Herkunft?

Die meisten knolligen Kieselgesteine wurden diagenetisch gebildet durch eine Verdrängungsreaktion, während gebankte Kieselgesteine Anhäufungen von kieseligem Material sind; sie entstehen im Meer unterhalb der CCD (Karbonatkompensationstiefe).

## 5.4 Metamorphite

- Bei der *isochemischen Metamorphose* bleibt der chemische Bestand konstant, während die Art, Anordnung und Häufigkeit der gesteinsbildenden Minerale sich den Druck- und Temperaturbedingungen anpasst.
- Bei der *allochemischen Metamorphose* oder *Metasomatose* ändert sich der Chemismus stark.
- *Regionalmetamorphose*:
  - *Thermometamorphose (Kontaktmetamorphose)*: Ursache ist erhöhte Temperatur, z.B. in Kontakt mit magmatischen Körpern.
  - *Dynamometamorphose (Dislokationsmetamorphose)*: Ursache ist die Bewegung, z.B. entlang tektonischer Überschiebungsbahnen.
  - *Versenkungsmetamorphose*: Ursache ist überwiegend der erhöhte Druck, z.B. in Subduktionszonen.
- Weitere Arten von Metamorphose:
  - *Anchimetamorphose*: Eine Diagenese, die mit hydrothermalen Vorgängen verknüpft ist.
  - *Pyrometamorphose*: Umwandlung bei Inkorporation in (meist basaltische) Magmen
  - *Schockmetamorphose*: Umwandlung beim Einschlag von Meteoriten
  - *Polymetamorphose*: Eine Kombination verschiedener Arten von Metamorphose.
  - *Retrograde Metamorphose* oder *Diaphthorose*: Normalerweise repräsentieren die Minerale in einem Metamorphit den höchsten Temperaturbereich, denen sie ausgesetzt waren. Bei retrograder Metamorphose können sich diese Minerale jedoch zurückbilden, aus einem höhergradigen Metamorphit wird ein niedergradiger Metamorphit. Die Umwandlung erfolgt in der Regel aber nicht vollständig, so dass Mineralrelikte aus dem höheren Metamorphosestadium übrig bleiben.
- Erkennungsmerkmale von Metamorphiten = Gefüge, das durch gerichteten Druck und Deformation zusammen mit Mineralneubildung entsteht:
  - Foliation, Schieferung, Lamination, Bänderung
  - stängelige, schiefrige und plattige Spaltbarkeit
  - Vollkristallinität, meist große Kristalle, keine Hohlräume
  - Seidenglanz bei glimmerreichen Gesteinen
  - keine Fossilien
  - charakteristische metamorphe Minerale: Serpentin, Talk, Chlorit, Chloritoid, Stilpnomelan, Skapolith, Wollastonit, Diopsid, Tremolit, Aktinolit, Epidot, Omphazit, Glaukophan, Staurolit, Cordierit, Granat, Lawsonit, Vesuvian, Pumpellyit, Anthophyllit, Andalusit, Sillimanit, Disthen, Korund, Graphit
- *Paragesteine* (z.B. Paragneis) stammen von Sedimentgesteinen ab, *Orthogesteine* dagegen von Magmatiten.
- Als *Metagesteine* werden Metamorphite bezeichnet, deren Edukte eindeutig zu identifizieren sind (z.B. Metagrauwacke, Metabasalt).
- *Polymikte* Gesteine bestehen aus mehreren verschiedenen Mineralen, *monomikte* Gesteine dagegen hauptsächlich aus einem Mineral.

- Kontaktmetamorphe Gesteine:
  - *Hornfels*: Massige dicht- bis feinkörnige periplutonische Kontaktgesteine mit vollständiger Umkristallisation und weitgehender Entregelung des Gefüges des Ausgangsgesteins.
  - *Knoten-, Fleck-, Frucht- und Garbenschiefer*: Tonschiefer oder Phyllite mit verschieden aussehender Porphyroblastenbildung, die wie Knoten, Flecken usw. auf der Schieferungsebene zu sehen sind. Die Porphyroblasten bestehen aus Cordierit, Andalusit, Biotit/Chlorit.
  - *Skarn*: kontaktmetasomatisches Umkristallisationsprodukt aus mergeligen Karbonatgesteinen
- Schockmetamorphes Gestein: *Suevit*, eine polymikte Schmelzbreccie mit einem hohen Anteil an Gesteins- und Mineralglas.
- Gesteine der Regionalmetamorphose (kristalline Schiefer):
  - *Phyllit*: dünn- bis mittel- bis blättrig, die Schichtsilikate (v.a. Muskovit) erscheinen als zusammenhängender Überzug; feinschuppiger Muskovit wird auch als *Serizit* bezeichnet
  - *Glimmerschiefer*: mittel- bis grobschuppiges Gestein aus Muskovit und Quarz
  - *Gneis*: mittel- bis grobkörniges, körnig-flasriges oder lagiges, selten stängeliges Gestein, sichtbare Regelung der Glimmer, Bänderung (Wechsellagerung heller Streifen aus Feldspat und Quarz mit dunkleren Streifen aus Biotit)
  - *Quarzit*: aus Quarz und wenig Serizit; sowohl regional- wie kontaktmetamorph; aus kieseligem Sandstein;
  - *Marmor*: mittel- bis grobkörniges Metakarbonatgestein (Karbonatgehalt > 80%, regional- oder kontaktmetamorph)
  - *Kalksilikatgesteine*: aus Ca- und CaFeMg-Silikaten
  - *Granulit*: fein- bis mittelkörnig, v.a. aus Feldspat, Quarz plattig bis diskenförmig deformiert
  - *Charkonit*: im Unterschied zu Granulit fehlt Granat und Diskenquarze, statt Orthoklas ist Mikroklin vorhanden
  - *Pyriklasit*: aus Pyroxen, Plagioklas und evtl. Granat, aber ohne Quarz
  - *Pyrigarnit*: aus Pyroxen, Granat und evtl. Plagioklas, aber ohne Quarz
  - *Eklogit*: massiges Gestein aus grünem Omphacit (= Augit-Jadeit) und Granat, hohe Dichte
  - *Amphibol*: mittel- bis grobkörnig, aus Hornblende und Plagioklas; *Hornblendefels* oder *Hornblendeschiefer* hat sehr wenig bis gar kein Plagioklas;
  - *Glaukophanschiefer, Glaukophanit*: tief- bis grünlichblau, dickschiefrig, v.a. aus Glaukophan
  - *Grünschiefer*: Sammelbegriff für grüne feinkörnige metamorphe Gesteine der Grünschieferfazies, v.a. mit Chlorit, Epidot, Aktinolith, Albit
  - *Serpentinit*: dichtes bis massig-schiefriges vorwiegend dunkelgrün aussehendes Gestein aus Serpentinmineralen (Lizardit, Antigorit, Chrysolit)
- Typen metamorpher Reaktionen:
  - Dreiteilung nach typomorphen Merkmalen: *Epizone* (Phyllite), *Mesozone* (Glimmerschiefer) und *Katazone* (Gneise und Granulite)
  - *Tiefdruck-Faziesserie*: gewöhnlich im Kontaktbereich um magmatische Intrusivkörper; Zeolith-Fazies, Prehmit-Pumpellyit-Fazies, Grünschiefer-Fazies, Epidot-Amphibolit-Fazies, Amphibolit-Fazies, Pyroxen-Hornfels-Fazies, Granulit-Fazies, Sandinit-Fazies
  - *Mitteldruck-Faziesserie*: gewöhnlich im Bereich der Regionalmetamorphose; Zeolith-Fazies, Prehmit-Pumpellyit-Fazies, Grünschiefer-Fazies, Epidot-Amphibolit-Fazies, Amphibolit-Fazies, Granulit-Fazies

- *Hochdruck-Faziesserie*: gewöhnlich im Bereich der Versenkungsmetamorphose, besonders niedriger geothermischer Gradient; Prehnit-Pumpellyit-Fazies, Glaukophanschiefer-Fazies, Grünschiefer-Fazies, Epidot-Amphibolit-Fazies
- *Eklogit-Fazies*: man unterscheidet A-Typ (Mantelursprung), B-Typ (Unterkrustenursprung) und C-Typ (Krustenursprung)
- Einteilung metamorpher Prozesse:
  - *Fest-Fest-Reaktionen*
  - *Dehydrationsreaktionen*: Freisetzung von Wasser mit steigender Temperatur, z.B. Analcim und Quarz zu Albit und Wasser
  - *Dekarbonierungsreaktionen*: Freisetzung von Kohlendioxid mit steigender Temperatur, z.B. Kalzit und Quarz zu Wollastonit und Kohlendioxid
  - *Oxidations- und Reduktionsreaktionen*: z.B. Fayalit und Sauerstoff zu Magnetit und Quarz oder Fayalit und Graphit zu Eisen, Quarz und Kohlendioxid
  - *Austauschreaktionen* in Mineralphasen, z.B. Austausch von (zweiwertigem) Eisen in Orthopyroxen gegen Magnesium in Klinopyroxen

## 6 Bestimmungsschlüssel für die wichtigsten Minerale

### 1. Ritzbarkeit:

- mit einem Stahlnagel oder Messer schwer oder gar nicht ritzbar  
⇒ weiter bei 2
- mit einem Stahlnagel oder Messer leicht ritzbar  
⇒ weiter bei 7

### 2. Spaltbarkeit:

- keine gute Spaltbarkeit, muscheliger Bruch, ebene Flächen sind Wachstumsflächen  
⇒ weiter bei 3
- gute Spaltbarkeit, ebene (manchmal spiegelnde) Spaltflächen  
⇒ weiter bei 4

### 3. • Das Mineral ist, wenn es als wesentliche Komponente im Gestein vorkommt, meist farblos, grau

- durchscheinend, mit fettglänzenden Bruchflächen:  
⇒ Quarz
  - Das Mineral ist grün bis grünschwarz mit fettglänzenden Bruchflächen:  
⇒ Olivin
  - Das Mineral ist rotbraun:  
⇒ Granat
  - Das Mineral ist schwarz mit feiner Streifung:  
⇒ Turmalin
- ### 4. • Das Mineral ist meist hell, glasklar oder milchig trüb, oft rötlich, gelblich oder grünlich. Wenn es
- dunkel ist, schimmert es bläulich:  
⇒ weiter bei 5
  - Das Mineral ist meist dunkelbraun, dunkelgrün oder schwarz:  
⇒ weiter bei 6
  - Das Mineral ist pistaziengrün:  
⇒ Epidot

## 5. Feldspat:

- Das Mineral ist häufig polysynthetisch verzwillingt, indem ein Mineralkorn aus vielen verwachsenen, scheibenförmigen Kristallindividuen besteht, von denen jeweils benachbarte spiegelbildlich gleich sind. Da an den Kornoberflächen einspringende und vorspringende Winkel gebildet werden, ist eine feine Zwillingsstreifung zu erkennen:  
⇒ *Plagioklas*
- Das Mineral ist oft rötlich. Wenn es dunkel ist, schillert es bläulich. Durch Entmischung eines anderen Feldspats kann es zu einer etwas verwaschenen Parallelstreifigkeit kommen. Bei Auftreten von polysynthetischer Verzwillingung nach zwei Gesetzen kann manchmal Kreuzstreifung beobachtet werden:  
⇒ *Kalifeldspat*

## 6. • Die Kristalle sind kurz und gedrunken und haben Spaltwinkel von etwa 90°:

- ⇒ *Augit*
- Die Kristalle sind meist etwas gestreckt und faserig und haben Spaltflächen, die sich unter 124° schneiden:  
⇒ *Hornblende*

## 7. • Das Mineral ist feinschuppig oder kommt in Form von Plättchen vor, die sich fein aufblättern und biegen lassen:

- ⇒ *weiter bei 8*
- Das Mineral kommt feinkörnig oder in dicken Kristallen vor. Wenn sich das Mineral in Plättchen aufspalten lässt, so sind diese brüchig.  
⇒ *weiter bei 9*
- Das Mineral ist faserig:  
⇒ *Asbest*

## 8. Glimmer:

- Das Mineral ist schwarz, dunkelbraun oder dunkelgrün, besitzt einen etwas metallisierenden Perlmutterglanz und verwittert goldig (Katzengold):  
⇒ *Biotit*
- Das Mineral ist farblos, silbrigweiß oder hellbraun mit metallisierendem Permutt- oder Seidenglanz; kommt oft in kleinsten glänzenden Schüppchen vor (Serizit):  
⇒ *Muskovit*

## 9. Kalksteine:

- Das Mineral braust stark mit kalter, verdünnter Salzsäure:  
⇒ *Kalkspat, Aragonit*
- Das Mineral braust als feines Pulver mit kalter, verdünnter Salzsäure:  
⇒ *Dolomit*
- Das Mineral braust gar nicht mit kalter, verdünnter Salzsäure:  
⇒ *weiter bei 10*

## 10. • Das Mineral ist mit dem Fingernagel ritzbar:

- ⇒ *Gips*
- Das Mineral ist nicht mit dem Fingernagel ritzbar:  
⇒ *Anhydrit*
- Das Mineral ist mit dem Fingernagel ritzbar und es entsteht ein seifiger Abrieb:  
⇒ *Talk*
- Das Mineral scheint schwer zu sein:  
⇒ *Baryt*