

Teil 3: Das System Erde und der Kreislauf der Gesteine

Wir betrachten als Ausschnitt erst einmal den Teil des Systems, der vor allem in der Erde abläuft. den Kreislauf der Gesteine.
Hier in einer sehr vereinfachten Form dargestellt.

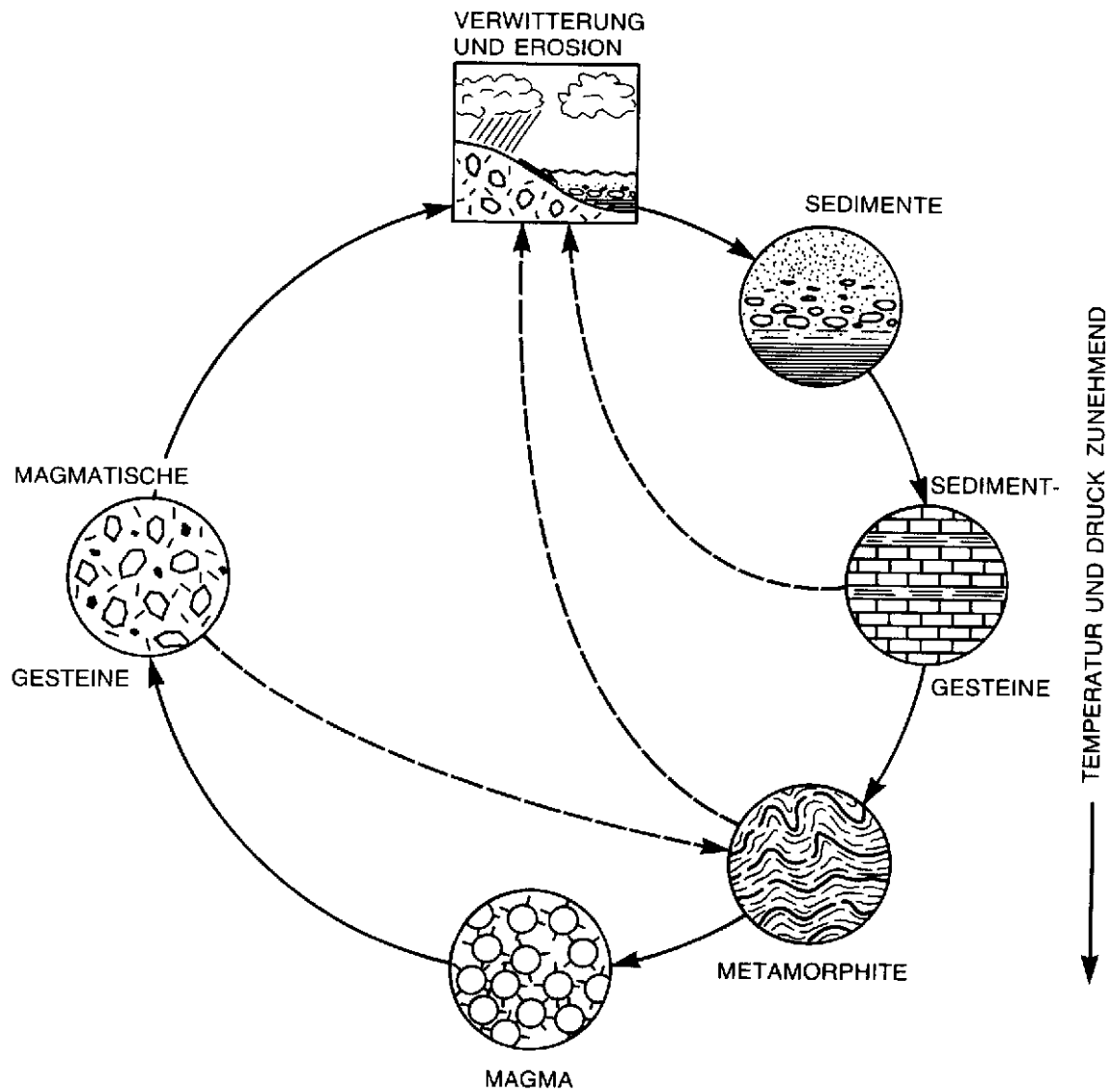


Abb. 24 : Einfaches Schema für den Kreislauf der Gesteine. Rothe, Peter; Gesteine. Darmstadt 1994 , S. 3.

Der Kreislauf der Gesteine.

Alle Gesteine werden an der Erdoberfläche durch *chemische und physikalische Verwitterungsprozesse* in ihre Bestandteile zerlegt. Dadurch werden die einzelnen Komponenten aus dem Gesteinsverband gelöst und durch Wind, Wasser und Schwerkraft transportiert. Ein Beispiel ist das besonders auffällige und verbreitete Glimmermineral Biotit, das in sehr vielen Gesteinen enthalten ist (Abb. 1 im Strandsand, Abb. 2 im Gestein Granit und in Abb. 3 als Mineralbruchstück mit der Darstellung der Silikatstruktur).



Abbildung 1.: Biotitschuppen umgeben von Sandkörnern vor allem aus Quarz. Aufnahme mit Stereolupe (Binokular) Vergrößerung 10x. Bildausschnitt 17x10 mm



Abbildung 2: Dieser Granit aus Kalabrien in Süditalien kann das Ursprungsgestein der Biotitschuppen im Strandsand sein. Er enthält die Minerale Quarz, Feldspat und Glimmer (schwarze Minerale = Biotit (Glimmer), Weiß bis hellgraue Minerale = Quarz und Feldspäte).

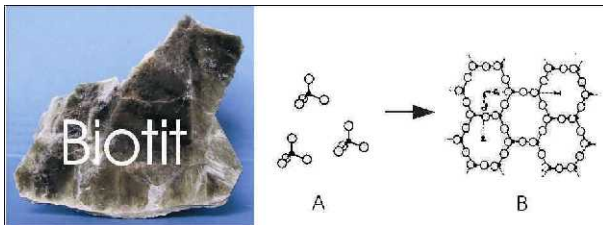


Abbildung 3: Das Mineral Biotit mit der Summenformel

$K(Mg,Fe)_3 [AlSi_3O_{10}(OH)_2]$ ist ein Schichtsilicat (B): SiO_4 -Tetraeder (A) sind in einer Ebene/Schicht über je drei Sauerstoffatome verknüpft.

Die gesteinsbildenden Minerale wie Feldspäte oder Glimmer können während des Transportes chemisch gelöst oder mechanisch zerstört werden, während das Mineral Quarz sehr stabil ist und auch über lange Entfernungen transportiert werden kann. So findet man im Strandsand viel mehr Quarzkörner als Biotitschuppen.

Aus Sand wird Stein

Die freigesetzten Bestandteile der Gesteine gelangen als Verwitterungsschutt ins Meer und werden hier abgelagert. Schicht für Schicht wird übereinandergelagert. Die zuerst abgelagerten Schichten werden in der Tiefe durch die Last der nachfolgenden Schichten zusammengesprengt und verdichtet (Kompaktion). Die Zwischenräume der einzelnen Bestandteile werden unter dem zunehmenden Auflastdruck mit kleineren Körnern verfüllt und durch das Wachsen von neuen Mineralen zementiert (**Diagenese**). Das lockere Sediment wird zu einem festen Sedimentgestein, dem **Sandstein**. Neben der Kompaktion und der Zementation laufen im Rahmen der Diagenese weitere chemische Prozesse ab. Hierzu gehören Auslaugungs- und Alterationsprozesse (chemische Umwandlung durch wässrige

Lösungen), wie z. B. die Hydrolytische Verwitterung, die zur Auflösung der Minerale führen. Auch führen chemische Verdrängungsprozesse zum Austausch von Elementen in den Mineralen. Diese Prozesse stoppen, sobald das Wasser zwischen den Bestandteilen des Lockersedimentes (Porenwasser) vollständig ausgepresst ist (Abb. 4). Steigt der Auflastdruck weiter, beginnen sich die Sandkörner, z.B. Quarz, an den Kornkontakten zu lösen (*Drucklösung*). Dabei verschieben sich die Korngrenzen, und es bilden sich durch Sammelkristallisation größere Körner. Der Auflastdruck kann in Tiefen von ca. 5.000 m bereits auf 1 bis 2 Kbar (bis 200 MPa) ansteigen.

In den neu gebildeten Sedimentgesteinen erscheinen die Minerale entweder in ihrer erhaltenen Form, wie der Biotit in Schuppen (Abb. 4 Rechts) oder bereits gelöst als Bestandteil wässriger Lösungen oder auch eingebaut in neu gebildete Minerale, wie z. B. Tonminerale, die sich häufig in Porenräumen des Gesteins oder als Kornumrandungen finden.

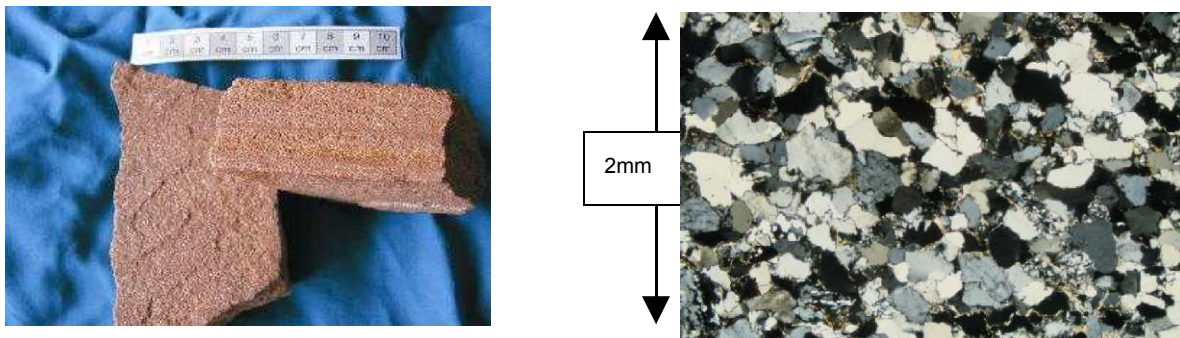


Abbildung 4 (Links): Sandstein mit Blick auf die Schichtung und auf die Schichtfläche. (Rechts) Aufnahme im Polarisationsmikroskop bei gekreuzten Polarisatoren. Biotit = bunt im markierten Bereich.

Umwandlung

Durch die zunehmende Auflast der nachfolgenden Lockersedimente steigt der Druck durch die überlagernden Gesteine zunächst weiter. Befindet sich der Ablagerungsbereich in einer Subduktionszone (Bereich in dem zwei tektonische Platten der Erdkruste miteinander konvergieren. In der Regel taucht die Platte mit der höheren Dichte unter die andere Platte ab, sie wird subduziert, dabei bildet sich ein Tiefseegraben der mit Sedimenten aufgefüllt wird. Beispiel Westküste von Südamerika), werden die Gesteine im Laufe der Zeit im Zusammenhang mit dem Prozess der *Plattentektonik* immer weiter in die Tiefe verfrachtet. Dadurch erhöhen sich Druck (P) und Temperatur (T) und die Gleichgewichtsbedingungen für die Minerale ändern sich. Es kommt zu Um- und Neubildungen. Mit der Neubildung von Mineralen beginnt der Prozess der Metamorphose.

Die **Metamorphose** ist ein Umwandlungsprozess von Gesteinen in der Erdkruste. Er läuft in weitgehend festem Zustand ab, ohne dass die chemische Zusammensetzung des Gesteins verändert wird. Die physikalischen und chemischen Bedingungen der Umwandlung, vor allem Druck und Temperatur, sind unterschiedlich zu denen, die bei der ursprünglichen Bildung des Gesteins aus Schmelzen geherrscht haben, oder die bei der Sedimentation oder der Diagenese vorherrschen.

Bei der Metamorphose bildet sich in der Regel ein typisches *Gefüge* heraus, das eine deutliche parallele Einregelung zeigt, die Schieferung. Sie entsteht durch orientiertes Wachstum von Mineralen unter Druck und verleiht dem Gestein eine mehr oder weniger gute Teilbarkeit entlang bestimmter Flächen der Schieferung.

Die Schieferung wird bevorzugt von bestimmten Mineralen getragen, vor allem Schichtsilikaten wie den Glimmen. Sie wachsen auf der Schieferungsfläche oder werden umkristallisiert.



Abbildung 5: Phyllit in der charakteristischen feinschuppigen, seidenmatten Ausbildung. Die Schuppen der Glimmer liegen hier flach eingeregelt auf der Schieferungsfläche und sind so klein $< 0,1 \text{ mm}$, dass wir sie mit unseren Augen nicht einzeln auflösen können, also nicht sehen.



Abbildung 6: Glimmerschiefer mit Biotit, Quarz und Feldspat. Blick auf die Schieferungsfläche. Auch hier liegen die Glimmerschuppen flach auf der Fläche. Deutlich zu sehen die größeren Kristalle, jetzt $> 0,1 \text{ mm}$.

Dem steigenden Druck und der zunehmenden räumlichen Enge weichen sie durch Einregelung senkrecht zum Druck aus. Zumeist wird dies in Sandsteinen bereits durch die horizontale Schichtung der Sedimente vorgegeben. Für ebenfalls im Verwitterungsschutt enthaltene Tonminerale führen die „neuen“ Temperaturbedingungen zwischen $300 - 400^\circ\text{C}$ zusammen mit dem *Auflastdruck* jedoch an die *Grenze ihrer Stabilität*. Die Kristallgitter werden instabil und es bilden sich neue Minerale. Ein Gestein, das sich in dieser frühen Phase der Metamorphose bildet, ist der **Phyllit**, ein feinschuppiges Gestein aus Quarz und Glimmern. Die Korngröße ist kleiner als $0.1-0.2 \text{ mm}$ (Abb.5) man kann sie mit bloßem Auge schon nicht mehr wahrnehmen.

Ein wichtiger Temperaturbereich liegt zwischen 400 und 500°C . Glimmer wie Biotit wachsen nun verstärkt neu. Typisch für diesen Bereich ist das Gestein **Glimmerschiefer** (Abb.6). Hier werden die Minerale größer als $0,1 \text{ mm}$ und sind auch mit bloßem Auge zu erkennen.



Abbildung 7:

Gneis mit:

- Glimmer Biotit = schwarz
- Feldspat = weiß-grau
- Quarz = grau

Mit weiter steigendem Metamorphosegrad bilden sich **Gneise**, die ebenfalls Biotit enthalten. Sie sind gegenüber Glimmerschiefer deutlich grobkörniger und weisen einen höheren Feldspatgehalt (>20%) aus (Abb. 7). Die Einregelung ist auch hier deutlich ausgebildet und nimmt langsam den Charakter von Bänderung an. Deutlich treten die schwarzen Glimmerlagen als Träger der Schieferung hervor.

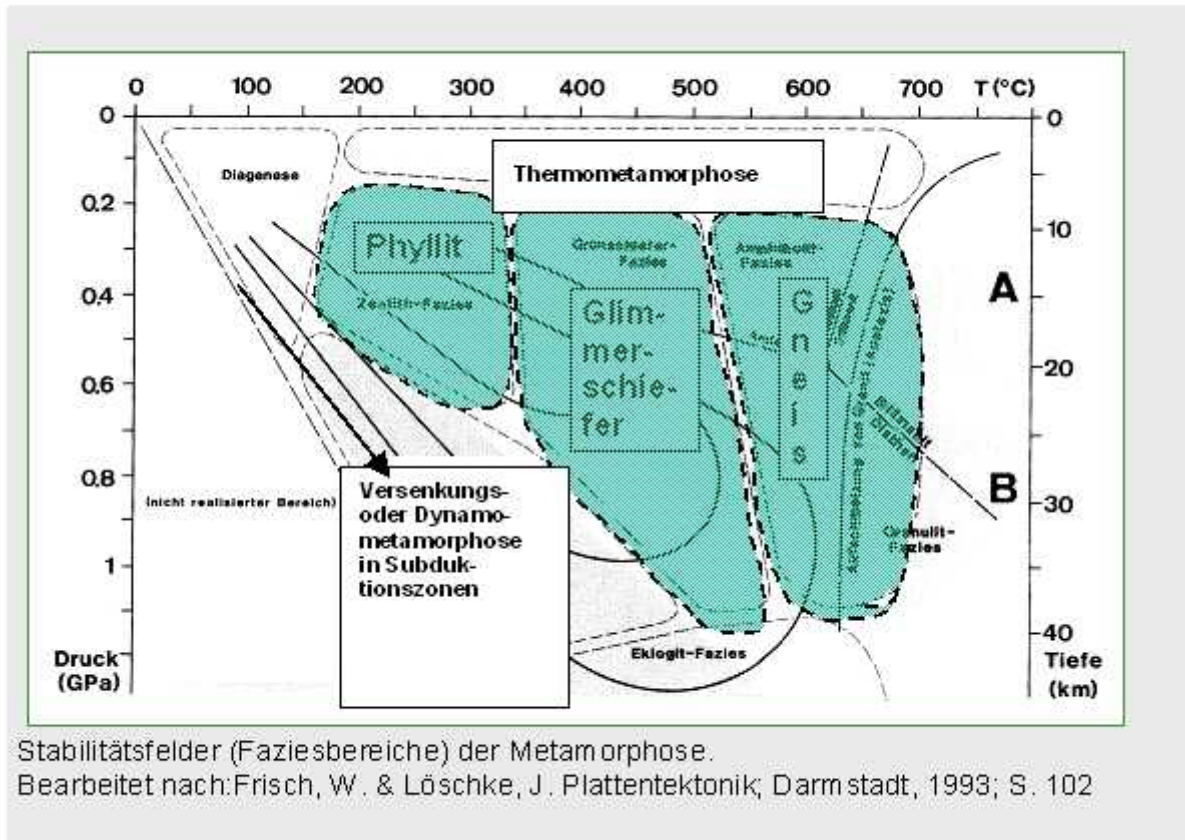


Abbildung 8: In einem Druck- und Temperaturdiagramm kann jeweils der Bereich dargestellt werden, in dem Diagenese, Gesteinsumwandlung (Metamorphose) und Gesteinsaufschmelzung (Anatexis) stattfindet. Je nach plattentektonischer Situation kann die Umwandlung unter relativ hohen Drücken und relativ niedrigen Temperaturen (bei schneller Versenkung in Subduktionszonen), unter mittleren Druck- und Temperaturbedingungen (Thermo-Dynamo-Metamorphose) bzw. unter relativ niedrigen Drücken und relativ hohen Temperaturen (Thermometamorphose, z.B., wenn Gesteine durch die Wärmeabstrahlung heißen Magmas verändert werden) stattfinden.

Schmelzende Steine

Bei weiterem Ansteigen von Druck und Temperatur erreichen die Minerale nach und nach ihren Schmelzpunkt, sie gehen in den flüssigen Aggregatzustand über und werden Bestandteile eines neuen Magmas (Als Magma bezeichnet man eine silikatische Gesteinschmelze). Der Vorgang der Aufschmelzung vollzieht sich in langen Zeiträumen (Mio. Jahre) und schrittweise über einen weiten Temperatur- und Druckbereich. Dabei werden nach und nach alle mineralischen Komponenten erfasst, die sich in den Gesteinen befinden. Die *Anatexis*, so wird dieser Prozess auch bezeichnet, reicht von der teilweisen Aufschmelzung einzelner Komponenten (Minerale) des Gesteins (der partiellen Anatexis), bis zur vollständigen Aufschmelzung des Gesamtbestandes (der vollständigen Anatexis) und damit der Bildung eines neuen Magmas (Abb. 8).

Die Bedingungen für anatektische Prozesse wurden experimentell ermittelt, so liegen die minimalen Schmelztemperaturen für Gesteine mit einer durchschnittlichen Zusammensetzung von Verwitterungsschutt (z.B. Sandsteine) in einer Tiefe von ca. 25 - 30 km bei einer Temperatur von 650°-700°C. Das Diagramm in Abbildung 8 macht die Druck- und Temperaturbedingungen der Metamorphose deutlich. Es zeigt das Einsetzen der Metamorphose, die Bildungsbereiche typischer metamorpher Gesteine und den Bereich in dem sich neue Gesteinsschmelze bildet.

In dem neu gebildeten Magma kristallisieren Minerale aus und bilden Gesteine. Diese in der Tiefe gebildeten Gesteine bezeichnen wir als Tiefengesteine (Plutonite). Ein Beispiel ist der Granit in Abbildung 9, der - aus einer anderen Region - schon in Abbildung 3 gezeigt ist. Das Gefüge des Granits ist richtungslos und gleichkörnig.

Die einzelnen Bestandteile des Gesteins sind in einer Magmenkammer, über einen längeren Zeitraum und bei kontinuierlicher Temperaturabnahme auskristallisiert. Der Druck spielt bei diesem Prozess keine wesentliche Rolle für die Ausbildung des Gesteins.



Abbildung 8:
Granit mit Biotit, Muskowit,
Quarz und Feldspäten.
Das Gestein ist

- Voll auskristallisiert
- Richtungslos,
- Gleichkörnig
- Makrokristallin.

Die einzelnen Minerale haben eine halb eigengestaltig ausgebildete äußere Form (hypidiomorph).

Kann das Magma durch Schwächezonen oder Brüche in die obere Erdkruste aufsteigen, gelangt es durch vulkanische Prozesse an die Erdoberfläche. Dort fließt es in Form von Lava aus und bildet nach dem Erstarren **Vulkanite**. Sie sind wie die Plutonite Magmatische Gesteine. Im Unterschied zu den Plutoniten zeigen sie jedoch eine anderes Gefüge.

In der Magmakammer sind in der Tiefe bereits erste Minerale auskristallisiert. Sie zeigen häufig eine ideal ausgebildete Kristallform (idiomorphe Form). Die fertigen Kristalle werden mit dem Rest der Schmelze an die Erdoberfläche transportiert. Bei der vulkanischen Förderung erstarrt die heiße Restschmelze mit 800-1100°C im Kontakt mit der Temperatur an der Erdoberfläche zu einer meist einförmigen feinkristallinen oder amorphen Grundmasse („Schockgefrieren“), die die bereits fertigen Kristalle umschließt.

Das Ergebnis ist das typische Gefüge der Vulkanite:

Einsprenglinge in Grundmasse

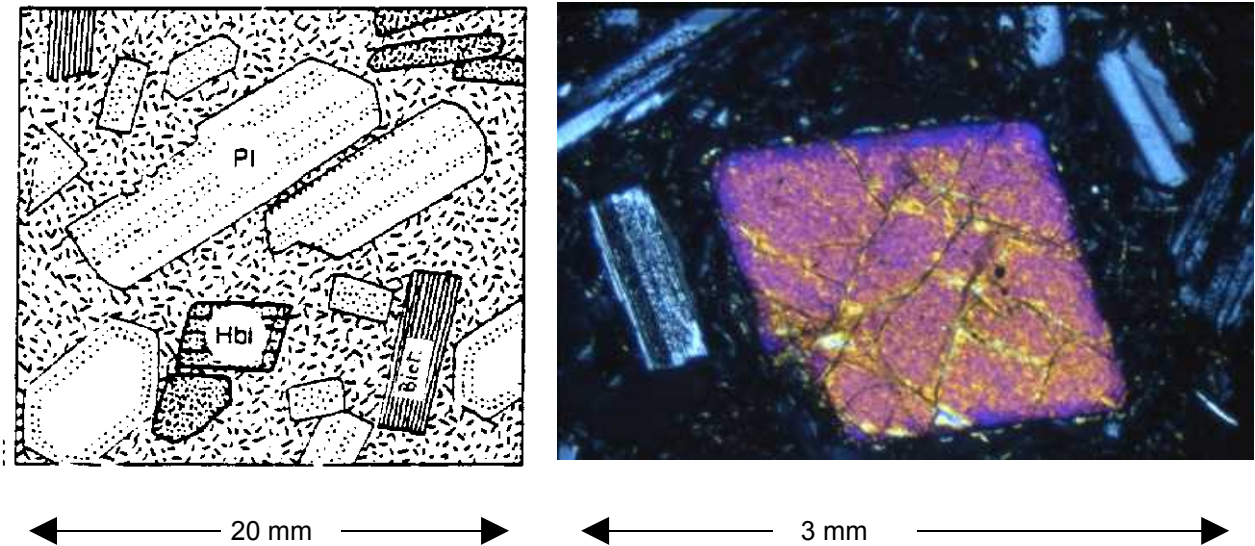


Abb. 9: Gefüge eines Vulkanit im Schema und im Dünnschliffbild aus einem Basalt.

Die folgende Abbildung zeigt einige typische Formen für das Eindringen von Plutonen in die Erdkruste.

Aus „Abzweigungen“ der Magmenkammern können sich die Reservoirs für den Vulkanismus entwickeln.

Die Abbildung zeigt dies an einem Beispiel verbunden mit der Erscheinungsform eines Stratovulkans. Das Beispiel könnte der z.B. Ätna oder der Vesuv sein.

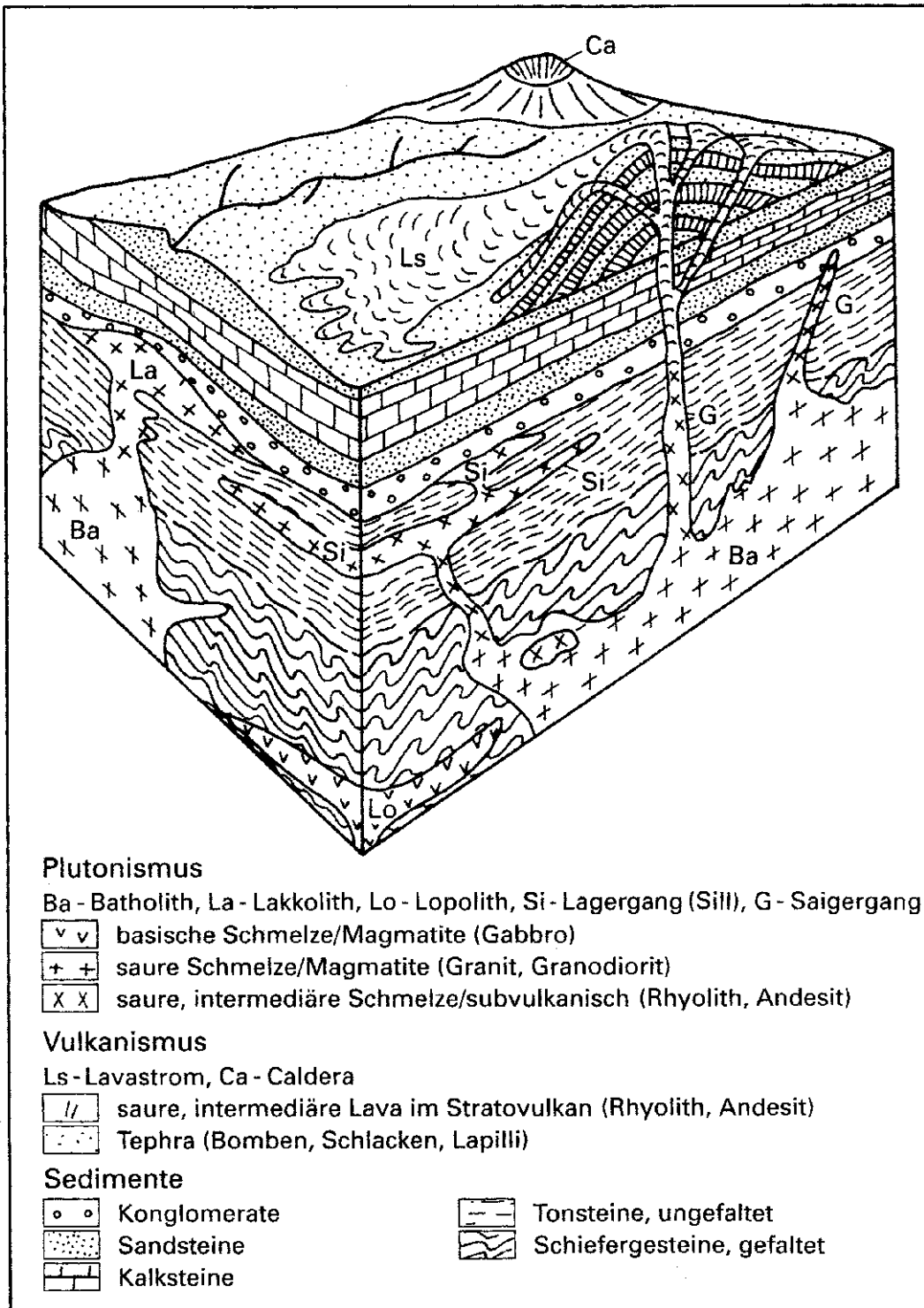


Abb.10: Erscheinungsformen des kontinentalen Plutonismus (nach Skinner und Porter 1992). aus : Hendl, M. & Liedtke, H. (Hg.) Lehrbuch der Allgemeinen Physischen Geographie. 3. Auflage, Gotha 1997; S. 55

Der Kreislauf ist geschlossen.

Der **Granit** wird durch die Plattentektonik in höhere Erdkrustenstockwerke und schließlich an die Erdoberfläche verfrachtet und die Verwitterung kann ihr Werk beginnen.