

# 060098 UE Übung Steinrohstoffe Wintersemester 2015/16

2 Stunde(n), 3,0 ECTS credits. Kapitel: 6.01.

Studienprogrammleitung [Ägyptologie, Judaistik, Urgeschichte und Historische Archäologie](#),  
Universität Wien, Mi., 14.30 – 17.00 Uhr

**Gerhard Trnka, Michael Götzinger, Michael Brandl**

## **Mineralische Rohstoffe und Gesteine für die Herstellung von Steinwerkzeugen; Überblick und Bestimmungsmethoden**

M. A. Götzinger (Institut für Mineralogie und Kristallographie)

Althanstraße 14 - Geozentrum, A-1090 Wien [michael.goetzing@univie.ac.at](mailto:michael.goetzing@univie.ac.at)

mit Beiträgen von Michael Brandl und Gerhard Trnka (Version Okt. 2015)

### **Themenübersicht:**

#### **1.) Einleitung und Überblick**

#### **2.) Mineralische Rohstoffe**

#### **3.) Gesteine**

**3.1 Magmatische Gesteine** (igneous rocks; Plutonite, Vulkanite)

**3.2 Sedimentäre Gesteine** (sedimentary rocks)

**3.3 Metamorphe Gesteine** (metamorphic rocks)

#### **4.) Untersuchungs- und Bestimmungsmethoden**

**4.1 Zerstörungsfreie Methoden**

**4.2 Andere Methoden**

#### **5.) Literaturhinweise**

### **1.) Einleitung und Überblick**

Natürliche anorganische Rohstoffe müssen bestimmte Eigenschaften aufweisen, um für die Herstellung von Steinwerkzeugen geeignet zu sein. Dazu kommt noch eine gewisse Häufigkeit und Einfachheit in der Auffindung bzw. Gewinnung (z. B. Flussschotter), wobei lokale „Spezialitäten“ ebenfalls ihre Bedeutung hatten. Der (über)regionale Handel mit Rohstoffen und Fertigprodukten hat dabei einen wichtigen Einfluss.

Besondere Eigenschaften für die Verwendung sind Härte und Zähigkeit in Abhängigkeit von Kornverband und Feinkörnigkeit. Gewünscht sind gute und „berechenbare“ Zurichtbarkeit und Schneidhaltigkeit bei möglichst geringer Sprödigkeit.

### **Minerale - Gesteine:**

**Minerale** sind natürlich vorkommende, homogene Festkörper, anorganisch entstanden, mit einer definierten chemischen Zusammensetzung und mit einem geordneten atomaren Aufbau (Ausnahmen: Quecksilber, manche Opale).

Minerale werden charakterisiert (Materialparameter und relative Kennzahlen bzw. Eigenschaften), damit sie international verglichen und identifiziert werden können.

Die Angaben der **Härte** (H) von Mineralen erfolgt nach der 10-teiligen Mohs'schen Härteskala:

1 = Graphit/Talk, 2 = Gips/Steinsalz, 3 = Calcit, 4 = Fluorit, 5 = Apatit,

6 = K-Feldspat (Orthoklas, Mikroklin), 7 = Quarz, 8 = Topas, 9 = Korund, 10 = Diamant

(wobei der Anstieg der tatsächlichen Härte hier nicht linear erfolgt). Die Härteskala nach Mohs ist eine relative Skala. Die Verwendung eines Stahlstiftes (Nagel) oder eines Stahlmessers ist hilfreich; Stahl besitzt etwa H 6, ein Kupfernagel die H 4.

Die **Dichte** von Mineralen und Gesteinen ist eine weitere Kennzahl für die Charakterisierung. Sie ist bei größeren Stücken (ca. 50g) relativ leicht zu bestimmen: die Dichte  $\rho$  (rho) ist Masse durch Volumen (in  $\text{g/cm}^3$ ;  $\text{kg/l}$  bzw.  $\text{dm}^3$ ;  $\text{t/m}^3$ ):  $\rho = m/V$ .

**Gesteine** sind Mineralverbände und bestehen aus einem (monomineralisch, z. B. Quarzit), oder mehreren Mineralen in einem Kornverband (z. B. Granit: Feldspat, Quarz und Glimmer; Amphibolit: Amphibol, Plagioklas, Erz/meist Ilmenit).

## 2.) Mineralische Rohstoffe

Abgesehen von den Metallen und Erzmineralen sind folgende Minerale, manche nur im Gesteinsverband, für die Herstellung von Steinwerkzeug interessant bzw. standen in Gebrauch:

**Quarz**,  $\text{SiO}_2$ , H 7;  $\rho = 2,65$ ; muscheliger Bruch, keine Spaltbarkeit (⊥) mit Farbvarietäten bzw. grobkörnigen (z. B. Bergkristall, Rauchquarz, Amethyst, Gangquarz etc.) und fein(st)körnigen Varietäten (z. B. Hornstein, Feuerstein, Flint, Radiolarit etc.), sowie mit unterschiedlichen Bildungsvorgängen (z. B. hydrothermale, sedimentäre, verwitterungsbedingte Bildung). Daneben waren auch Chalcedon und fremdfärbige Varietäten (z. B. Jaspis, Karneol, Chrysopras u. a.) in Verwendung.

**Opal**,  $\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  in verschiedenen Ausbildungsformen mit unterschiedlichen Färbungen (Edelopal, Milch- und Honigopal); H 6,5;  $\rho = 2,2$ ; keine ⊥, meist tiefhydrothermale Verwitterungsbildungen, besitzt jedoch nicht so scharfe und schneidhaltige Kanten wie Quarz.

**Olivin**:  $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$ , meist (flaschen)grün, körnig, Glasglanz, keine ⊥, H 7,  $\rho = 3,4$ ; oft eingewachsen in basaltischen Gesteinen oder so genannte „Olivinbomben“ bildend; auch in monomineralischen Gesteinen auftretend (Dunit, Peridotit), diese sind Vorläufer von Serpentiniten.

**Granate**: Mineralgruppe, 2 wichtige Vertreter: **Pyrop**  $\text{Mg}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$  (rot, „Böhmischer Granat“ in Pyrop-Serpentiniten/Granatperidotiten und in Granat-Pyroxeniten) und **Almandin**  $\text{Fe}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$  (rotbraun, in Granatglimmerschiefern und Granat-Amphiboliten), meist körnig, H 7 (6,5 - 7,5),  $\rho = 3,5 - 4$

**Epidot(-Gestein)**, ein Ca-Al-Fe-Silikat, (hell)grün - pistaziengrün, H 6,5;  $\rho = 3,4$ ; monomineralisch eher selten, meist im Gesteinsverband (Grünschiefer, Albit-Epidot-Schiefer, Epidot-Chloritschiefer, Epidot-Quarz-Gesteine als Flusskiese)

**Andalusit, Sillimanit** (-Gestein),  $\text{Al}_2\text{O}(\text{SiO}_4)$ , grau, weiß, braunrosa; H 7 bzw. 6,5;  $\rho = 3,2$ ; oft unscheinbarer Bestandteil von Kontakthornfelsen bzw. Granuliten (S.), Verwendung von dichten, feinfilzigen Aggregaten (bes. Sillimanit)

**Pyroxene: Diopsid, Augit**(-Gestein), ein Ca-Mg-Fe-Kettensilikat, Klinopyroxen, grün bis schwarz, H 6;  $\rho = 3,2 - 3,4$ ; gute ⊥ mit zueinander rechtwinkligen Flächen; Verwendung als Gestein (siehe Pyroxenit, Dolerit); Omphazit in Eklogiten, Granatpyroxeniten

**Jadeit**,  $\text{Na Al}(\text{Si}_2\text{O}_6)$ , ein Alkali-Pyroxen, hellgrün (z. B. in der chinesischen Jade), sehr feinkörnig und verfilzt, H 6,5;  $\rho = 3,4$ ; im Aussehen ähnlich Nephrit (ein Amphibol)

**Enstatit - Bronzit** (Mischkristallreihe),  $(\text{Mg, Fe})_2(\text{Si}_2\text{O}_6)$ , Orthopyroxene, graugrün bis graubraun, H 6;  $\rho = 3,2$ ; gute ⊥; Verwendung als Gestein (siehe Pyroxenit, Bronzitfels)

**Amphibole: Aktinolith** (Strahlstein), ein Ca-Mg-Fe-Bandsilikat, grün, H 6;  $\rho = 2,9 - 3,3$ ; gute ⊥ mit  $60^\circ$  bzw.  $120^\circ$  zueinander stehenden Flächen; Verwendung als Gestein bzw. im Gesteinsverband (u. a. im Amphibolit)

**Amphibol, Hornblende**(-Gestein), ein Ca-Mg-Fe-Silikat, grün bis dunkelgrün, H 6; gute ⊥; Verwendung als Gestein bzw. im Gesteinsverband (siehe Amphibolit)

**Nephrit**, eine feinfilzige, dichte Amphibol-Varietät (von Aktinolith, Strahlstein), lauchgrüne bis grasgrüne Farbe; H = 6;  $\rho = 3,1$ ; im Aussehen ähnlich Jadeit (ein Pyroxen)

**Glimmer:** Schichtsilikate mit guter  $\parallel$ , H 2 - 2,5;

**Muskovit**, ein K-Al-Schichtsilikat, farblos bis (hell)grau,  $\rho = 2,8$ ; häufig in Graniten, (Kalk)-Phylliten und Glimmerschiefern, auch feinkörnig (Serizit);

**Biotit**, ein K-(Mg,Fe)-Schichtsilikat, (dunkel)braun, selten dunkelgrün bis schwarz,  $\rho = 2,8 - 3,2$ ; häufig in Glimmerschiefern, Graniten bis Dioriten

**Antigorit-Serpentin**,  $Mg_6(OH)_8(Si_4O_{10})$ , ein Schichtsilikat mit H 4, jedoch bei feinkörnig-verfilzter Ausbildung recht zäh, hellgrün bis dunkelgrün;  $\rho = 2,5 - 2,6$ ; enthält häufig schwarzen **Magnetit** ( $Fe_3O_4$ ;  $\rho = 5,2$ ) und ist daher stellenweise magnetisch.

**Chlorit:** (Mg, Fe)-Schichtsilikate, häufig grün, oft feinkörnig, H 2 - 3;  $\rho = 2,7$ ; häufiger Bestandteil von Grünschiefern (Epidot-Chloritschiefer)

**Feldspäte: K-Feldspat** (Orthoklas, Mikroklin),  $KAl(Si_3O_8)$  und **Plagioklase** (Na-Ca-Fsp., Mischkristalle Albit - Anorthit) sind wichtige und häufigste Minerale in der oberen Erdkruste, Bestandteile vieler Gesteine, weiß, rosa, grau (z. B. Granite, Diorite, Gabbros, in vielen Vulkaniten; Sandsteine und Arkosen; Gneise, Amphibolite, ...), H 6;  $\rho = 2,6$ ; gute  $\parallel$  (Name !)

**Cordierit**(-Gestein), ein Mg-Al-Silikat, bläulich-bräunlich-gelblich (Pleochroismus), Glasglanz; Bestandteil von Gneisen und Kontakthornfelsen, H 7;  $\rho = 2,6$ ; keine  $\parallel$

**Pyrit** ( $FeS_2$ , kub.) und **Markasit** ( $FeS_2$ , rh.) beide messinggelb, **P.:** oft würfelige Kristalle, auch Pentagondodekaeder; **M.:** strahlig, derbe Knollen bildend; H 6,  $\rho = 5,1$  bzw. 4,9; geben mit Feuerstein angeschlagen brennbare Funken ( $FeS_2$  verbrennt zu FeS und  $SO_2$  - stinkt).

Zum Thema Geschichte des Feuermachens:

[www.pfadfinder-oth.de/Allgemeines/Daten\\_Berichte/Schriften/feuer/feuer.html](http://www.pfadfinder-oth.de/Allgemeines/Daten_Berichte/Schriften/feuer/feuer.html)

[www.ijon.de/sonst/feuerg.html](http://www.ijon.de/sonst/feuerg.html)

**Hämatit** („Blutstein“)  $Fe_2O_3$ , H 6,5,  $\rho = 5,2$ , ist Hauptbestandteil von „Rötel“, ein Mineralpigment; radialstrahlig bis erdig, verschiedene Vorkommenstypen (hydrothermal bis sedimentär), ist weit verbreitet.

**Limonit:** Mineralgemenge, etwa  $FeO(OH)$  - Goethit, braun, oft feinkörnig, weich und erdig,  $\rho = 4,3$  (Mineralpigment und Eisenerz: „Toneisenstein“, „Eisennieren“, „Raseneisenerz“), oftmals als Verwitterungsprodukt von Pyrit und Markasit (etwa in Sedimenten)

**Apatit**,  $Ca_5(OH,F)(PO_4)_3$ , als Mineral viele Farben (grün, blau, rosa, gelblich, ...), Gebrauch meist in Form von Knochen, H 5 (als Kristall);  $\rho = 3,2$

**Graphit:** C, schwarz, glänzend, weich: H 1,  $\rho = 2,2$ ; leicht abfärbend, Mineralpigment, Zusatz bzw. Magerungsmittel in der Keramik

*Abb.1: Minerale und Gesteine (Kristallisationsfolge)*

### 3.) Gesteine (rocks)

Nach der üblichen petrogenetischen Einteilung unterscheidet man **magmatische**, **sedimentäre** und **metamorphe** Gesteine; sie bilden die Erdkruste, die zwischen 5 und 50 km dick ist. In der oberen Erdkruste herrschen die Elemente Si und Al vor (Sial), in der Unterkruste die Elemente Si und Mg (Sima). Darunter folgen Erdmantel und Erdkern.

### 3.1 Magmatische Gesteine (igneous rocks; Plutonite und Vulkanite)

sind in den meisten Fällen Kristallisationsprodukte aus einer natürlichen silikatischen Schmelze (Magma). Die Kristallisation kann in der Tiefe erfolgen (Plutonite, Tiefengesteine zw. etwa 700 und 1200°C) oder an der Erdoberfläche bzw. knapp darunter (Vulkanite, vulkanische Gesteine bei ca. 1000°C). Bei manchen Vulkaniten erfolgt die Abkühlung so schnell, dass sie kaum kristallisieren, sondern als (Gesteins)Glas erstarren (z. B. Rhyolith, Obsidian).

Je nach der Höhe des SiO<sub>2</sub>-Gehaltes (der Gesamtanalyse) unterscheidet man **saure**, **intermediäre** und **basische** (bis ultrabasische) **Gesteine**:

**Saure** (leukokrate) **Gesteine** haben einen SiO<sub>2</sub>-Gehalt von etwa 70 Gew.% und sind meist hell gefärbt, weil Minerale mit färbenden Ionen (z. B. Eisen) fehlen oder nur in geringer Menge vorhanden sind (z. B. Biotit/Glimmer).

**Basische** (melanokrate) **Gesteine** zeigen einen SiO<sub>2</sub>-Gehalt von etwa 50 Gew.% und sind meist dunkel gefärbt, weil viele Minerale mit Fe (als färbendem Ion) vorhanden sind, bzw. dunkle/schwarze Erze (z. B. Magnetit, Ilmenit) am Aufbau des Gesteins beteiligt sind.

In der Regel sind die für die Herstellung von Werkzeugen verwendeten Gesteine (speziell basische Vulkanite) sehr feinkörnig, sodass ohne Lupe oder Binokular nur wenige Minerale mit freiem Auge zu sehen sind. Da die Hauptgemengteile silikatischer Zusammensetzung sind, können diese Gesteine mit einem Stahlnagel kaum bzw. nicht geritzt werden. Grünschiefer bzw. Chloritschiefer und Serpentinite sind jedoch weich und können geritzt werden.

Häufige und wichtige **Plutonite** (der Kalkalkali-Reihe: Ca-Na/K) von sauer bis basisch sind:

Granit, Granodiorit, Diorit, Gabbro; Peridotit und Pyroxenit sind Ultrabasite.

Die wichtigsten **Vulkanite** (der Kalkalkali-Reihe) von sauer bis basisch sind:

Rhyolith, Rhyodacit, Dacit, Trachyt, Andesit, Tholeiitbasalt/Diabas, Pikrit.

#### Beispiele für Plutonite (als Steinrohstoffe):

**Granit**: K-Feldspat, Plagioklas, Quarz, Glimmer (hell: Muskovit, braun: Biotit), Apatit

**Aplit**: feinkörniges, granitisches Ganggestein

**Granodiorit**: Plagioklas, K-Feldspat, Quarz, Biotit, Hornblende, Pyroxen, Apatit  
Granitporphyr, Lamprophyr und Kersantit sind intermediäre Ganggesteine mit porphyrischer Ausbildung (Kristall-Einsprenglinge in mehr minder feinkörniger/glasiger Matrix)

**Diorit**: Plagioklas, Hornblende, Pyroxen, (Biotit, K-Feldspat, Quarz), Apatit, Erz

**Gabbro**: Plagioklas, Klinopyroxen/Augit, Orthopyroxen (Bronzit), Olivin, Amphibol/Hornblende, Erze (z. B. Magnetit, Ilmenit)

**Anorthosit** (Plagioklasit): Plagioklas (weitgehend ohne mafische Bestandteile), Pyroxen

**Peridotit**: Olivin (Serpentin), Pyroxene, Spinell, Granat (im Granatperidotit)

**Pyroxenit**: Pyroxene, Plagioklas, Granat (im Granatpyroxenit)

#### Beispiele für Vulkanite (als Steinrohstoffe):

**Obsidian**: kompaktes Gesteinsglas (nach dem Römer Obsius benannt), oft rhyolithischer (saurer) Zusammensetzung; grau bis schwarz, auch rötlich, randlich durchscheinend

**Rhyolith**: K-Feldspat, Quarz, Plagioklas, Biotit, Apatit; oft hoher Glasanteil und nur einzelne Kristall-Einsprenglinge sichtbar; **Rhyodacit** mit Plagioklas-Vormacht

**Trachyt - Phonolith**: K-Feldspat, Plagioklas, (Quarz), Hornblende, Pyroxen, Biotit, Apatit

**Andesit**: Plagioklas, K-Feldspat, Hornblende, Pyroxen, Biotit, Olivin, Magnetit, Apatit, (Quarz)

**Basalt/Tholeiit** (und **Basanit**): Plagioklas, (Nephelin), Hornblende, Pyroxene, Olivin, Magnetit, Ilmenit;

**Dolerit**: grobkörniger Basalt; **Tholeiit**: Ol-freier Basalt;

**Diabas**: gang- und stockförmige, alte basaltische Gesteine („Paläobasalt“), meist sekundär umgewandelt (dunkelgrün bis graugrün durch Chlorit und/oder Serpentin)

**Pikrit:** fein- bis mittelkörnig, Pyroxen, Olivin, Hornblende, Chlorit, daher oft grünlich

Häufig für die Herstellung meist grober Steinwerkzeuge (Schlägel etc.) wurden feinkörnige Granite, Granodiorite, Diorite und Gabbros, Peridotit - Serpentin (metamorph) sowie Andesite und Basalte verwendet. Glasige Rhyolithe und Rhyodacite eignen sich für Klingen. Gesteinsglas (Obsidian) springt wie Glas und gibt sehr scharfe Splitter (Abschläge). Die meist feinkörnig-zähen Diabase und Dolerite waren Rohstoffe für Steinbeile. Gelegentlich wurden auch feinkörnige Aplite (saure Ganggesteine) verwendet.

Für besonders harte und zähe Reibplatten dienten (Granat)Pyroxenite.

### 3.2 Sedimentäre Gesteine (sedimentary rocks)

sind Produkte von Verwitterung, Abtragung, Transport, Ablagerung bzw. Ausscheidung und Diagenese (führt zur Verfestigung). Nicht unerwähnt soll bleiben, dass Steinwerkzeuge (einige 1000 Jahre) im Boden liegen und auch der Verwitterung ausgesetzt sind („Patina“, „Sinter“). Unter diesen Sedimentgesteinen finden sich zwar nur sehr wenige, aber sehr wichtige Rohstoffe, die für das Leben (z. B. Salz) und für die Werkzeugherstellung (Hornstein, Feuerstein, Flint, Radiolarit, ...) wichtig waren (und sind).

Bei der **Verwitterung von Silikatgesteinen** kann es zur (anorganischen) Ausfällung von  $\text{SiO}_2$  in Form von Knollen und unregelmäßigen Massen kommen, die aufgrund mitgefällter Ionen (z. B. Fe) dementsprechend (rotbraun) gefärbt sind (gelblich, rötlich, grün). Mineralogisch bestehen diese Knollen aus Quarz (mit Varietäten, z. B. Chalcedon, ...), Opal oder selten Moganit. Die Bestimmung ist praktisch nur mit Röntgenmethoden (auch mit Raman-Spektroskopie) möglich. Verfestigte (und silifizierte) **Quarzsandsteine** (grob- bis feinkörnig) sind Abtragungsprodukte von meist sauren magmatischen sowie metamorphen Gesteinen (z. B. Granite, Gneise). Sie geben hervorragende Rohstoffe für die Herstellung von Steinwerkzeugen, Reib- und Schleifsteinen (z. B. Arkosesandstein der O-Trias; Q-Sandsteine der Flyschzone). Bis in die jüngste Zeit wurden solche Gesteine zur Gewinnung von Wetzsteinen (auch Schleifsteine, Mahl- und Mühlsteine) abgebaut (z. B. Waidhofen/Sonntagberg, NÖ., Hadersfeld, NÖ., Flyschzone). Bei Gosau (OÖ.) werden heute noch feinkörnige Sandsteine dafür abgebaut.

**Karbonatgesteine** (Kalk/limestone, Dolomit/dolomite, Kieselkalke/siliceous limestone) bestehen hauptsächlich aus **Calcit** ( $\text{CaCO}_3$ , H 3;  $\rho = 2,7$ ) und **Dolomit** ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ , H 3,5;  $\rho = 2,9$ ), können aber  $\text{SiO}_2$  als feinkristallinen Quarz enthalten, fein verteilt und/oder in Form von Knollen oder Lagen (Platten). Die fein dispers verkieselten Karbonatgesteine können hart (über 3) und zäh sein (z. B. Lias-Kieselkalke des U-Jura). Es gibt gleitende Übergänge zu den **Kieselgesteinen!**

Die **Kieselgesteine** werden gegliedert in:

3.2.1 Radiolarit-Hornstein: reich an organischen Resten, aus Radiolarienschalen bestehend, aus Radiolarienschlamm entstanden (z. B. Jura)

3.2.2 Spongilit-Hornstein: fest bis locker, aus den Nadelchen von Kieselschwämmen;

3.2.3 Flint, Feuerstein: feinstkörnige Quarzknollen und Knollenhorizonte (etwa aus Radiolariten, Spongiliten) in Kalksteinen, häufig in der Kreide N-Europas („Nordischer Flint“);

3.2.4 Diatomit, Kieselgur, Tripel: leichte und poröse Gesteine, aus Diatomeen (Kieselalgen) gebildet, bestehend aus Chalcedon, C-T-Opal (Cristobalit-Tridymit; „Menilith“);

3.2.5 Opoka: hellgrau bis schwarz, feinkörnig, Opal, Quarz, Feldspat, Glimmer, Glaukonit/Tonminerale;

3.2.6 Geyserit, Kieselsinter: Ablagerungen von Sintermassen aus (heißen) Kieselsäurewässern, bestehen häufig aus Opal.

3.2.7 Kieselschiefer (Lydite) sind dichte, feinkörnige, manchmal gebänderte (bzw. geschieferte) Kieselgesteine, die aus Radiolarienschlamm hervorgegangen sind (durch schwache Metamorphose).

### **Einige Begriffe zur Klärung:**

Chalcedon ist feinstkörniges, faserförmiges SiO<sub>2</sub> (Quarz) anorganischer Bildung, bildet kompakte (lagige) Massen in Hohlräumen (mit glatter, traubig-nieriger Oberfläche).

Varietäten sind Achat (gebändert), Carneol (rot), Chrysopras (grün), Heliotrop (dunkelgrün mit roten Punkten), Jaspis (gelb, rot, braun), Onyx (schwarz), Plasma (lauchgrün), Sarder (dunkelbraun); diese Varietäten sind häufig durch Fremdminerale gefärbt.

Der (veraltete) Begriff "Silex" wurde (wird?) für SiO<sub>2</sub>-Varietäten unterschiedlichster Bildung gebraucht und ist oft eine begriffliche „Notlösung“!

Chert: engl. Bez. für SiO<sub>2</sub>-reiches (Quarz-)Gestein bzw. Quarzit (feinkörnig, sedimentär, z. B. in den banded iron formations/BIF), „black chert“ is(t) flint (!).

Chert als petrographischer Begriff fasst sämtliche **mikro- bis kryptokristalline sedimentäre SiO<sub>2</sub>-Gesteine** zusammen. Das Alter der Gesteine ist dabei unerheblich (wird von den deutschsprachigen Archäologen als **das** Unterscheidungsmerkmal zwischen Hornstein und Flint angesehen).

**Feuerstein/Flint** ist ein Hornstein (*chert*) aus Kreidesedimenten (O-Kreide, 70 - 80 Mio. J.) besonders aus Nordeuropa (Baltikum, Rügen, Dänemark, Belgien, Frankreich, England). Diese feinen (Schreib-)Kreidesedimente enthalten Feuersteinknollen, teilweise in Form von Makrofossilien (Seeigel, Belemniten, ...).

**Hornsteine** sind graue bis gelblichbraune, rötliche, verunreinigte feinst (mikro-) kristalline Ausbildungen von SiO<sub>2</sub> (oft Chalcedon) biogener - diagenetischer Herkunft, als Konkretion in Kalken.

**Kieselschiefer** (Lydit) ist ein meist schwarzes, dichtes SiO<sub>2</sub>-reiches Gestein, metamorph (mit kohligen Substanzen, meist Graphit), kann auch Pyrit enthalten.

**Hornstein, Flint, Radiolarit, Spongilit:** Stratigraphisch handelt es sich bei den **primären Vorkommen** in den Nördlichen Kalkalpen und in den Klippenzonen (z. B. Antonshöhe in Wien 23., Mauer) üblicherweise um vier unterschiedlich alte Schichtglieder (ca. Alter in Mio. Jahren):

Aptychenschichten/Hornstein-Kalkmergel (hellgrau) des „Neocom“, Ober-Jura bis Unter-Kreide (130 - 155)

Kieselschichten und Hornsteinkalke/Radiolarite (rötlich, bräunlich, ocker, grünlichgrau) des Malm, Ober-Jura (146 - 161)

Kieselkalke und Allgäuschichten des Lias, U-Jura (175 - 200)

Reiflinger Kalk mit Hornsteinkugeln und -lagen des Ladin, Mittel-Trias (230 - 240)

Zusätzlich kommen harte Glaukonitquarzite des „Gault“ (Apt/Alb; 105 -115, Unter-Kreide) in basalen Bereichen der Flyschzone vor.

Bezüglich **Stratigraphie/Erdzeitalter** siehe auch folgende internet-Seiten (Auswahl):

[www.alces-alces.com/entwicklung/erdzeitalter/erdzeitalter.htm](http://www.alces-alces.com/entwicklung/erdzeitalter/erdzeitalter.htm)

[www.faunistik.net/BSWT/ GEOLOGY/erdzeitalter.html](http://www.faunistik.net/BSWT/ GEOLOGY/erdzeitalter.html)

[www.sauti.de/lebensweg.html](http://www.sauti.de/lebensweg.html) („Zeitspirale“)

[www.tiere-online.de/Erdzeitalter.htm](http://www.tiere-online.de/Erdzeitalter.htm)

„Zeitspirale“ Krahuletz-Museum und Wienerwaldmuseum (Steininger/Zirbs)

**Terminologie (Michael Brandl):**

	Material	Name	Type	Petrological genesis	Structure	Genesis
	Quartz	historic	mineral	primary igneous; can have metamorphic or sedimentary origin as well	macro- fine-crystalline	inorganic
	Chalcedony	historic	mineral	chemical sedimentary, hydrothermal	cryptocrystalline	inorganic
	Jasper	historic	mineral	chemical sedimentary, hydrothermal	cryptocrystalline	inorganic
	Agate	historic	mineral	hydrothermal	cryptocrystalline	inorganic
<i>chert - group</i>	Flint	historic	rock	sedimentary (cretaceous)	crypto-microcrystalline	organic
	Chert	depending on index - fossilation	rock	sedimentary (jurassic)	crypto-microcrystalline	organic
	Siliceous limestone	after rock consistence	rock	sedimentary (jurassic)	fine - crystalline	organic
	Lydite	historic	rock	metamorphic (origin: sedimentary rocks)	fine - crystalline	mainly organic
	Opal	historic	mineral	metamorphic, sedimentary or hydrothermal	amorphous, partly crystalline	inorganic / organic
	Petrified wood	after source material	mineral (if petrified as quartz or opal)	Pseudomorphosis	depending on petrifying material	inorganic / organic

**Einschlüsse in chert:**

- fossile (Radiolarien, Spiculae, Spongienreste, Foraminiferen, Bryozoen, Muschelschalen, Seeigelstacheln, mariner Detritus u. v. m.; bei lakustrinen Bildungen auch Pflanzenreste und Algen!) Zur Mikropaläontologie und Einführung zur generellen Bestimmung von Fossileinschlüssen in chert siehe MIRACLE (microfossil image recovery and circulation for learning and education, University College London, Micropalaeontology Unit), [www.ucl.ac.uk/GeolSci/micropal/](http://www.ucl.ac.uk/GeolSci/micropal/).
- nicht fossile (Aufarbeitungspartikel - Intraklasten, Fremdminerale (z.B. Glimmer, Turmalin, Calcit, u. v. m.), Holzkohlefliitter, usw.).

**Sekundäre Lagerstätten** von Hornsteinen unterschiedlichen Bildungsalters sind bekannt (z. B. „Hollabrunner Schotter“ der Hollabrunn-Mistelbach-Formation, NÖ.; Krumlovský les/Kromauer Wald, (Südmähren, CZ) und wurden in großem Stil abgebaut. Diese Lagerstätten enthalten meist ein Spektrum verschiedener Gesteine unterschiedlicher Herkunft. Durch Verwitterung (ihrer Trägergesteine) sind diese Knollen und Platten oft freigelegt und daher leicht gewinnbar.

Fluviatile **Schotter** (Flussschotter und Kiese) und marine **Schotterablagerungen** sind seit jeher wichtige Rohstofflieferanten. Der Rundungsgrad gibt Auskunft über die Härte und Transportlänge.

Der Schotterinhalt (Gesteinsinventar) gibt Hinweise auf die Geologie des Einzugsgebietes: So liefern Donau (SG. Haslau, NÖ.) und March (SG. Marchegg, NÖ.) völlig unterschiedliche Gesteinsspektren. Durch sekundäre Einwirkungen können manche Gesteine selektiv herausgelöst sein; dies ergibt die so genannten „Quarzrestschotter“.

**Seifen** sind ebenfalls sekundäre Lagerstätten (fluviatil, marin). In ihnen reichern sich besonders „schwere“ Minerale (mit hoher Dichte, über 3; Schwermineralseifen mit Rutil und Ilmenit, Gold- und Platinseifen, Kassiterit-/Zinnsteinseifen) aber auch besonders widerstandsfähige bzw. harte Minerale an (Diamant, weitere Edelsteine wie Spinell, Granat und Zirkon), Quarze aller Art, u. a.

Viele **mineralische Farben** (Mineralpigmente) sind Verwitterungsprodukte: Rötel und Ocker (Eisen-Oxide und Hydroxide; Limonit, Goethit), Tonminerale, Malachit (grün), Azurit (blau), Jarosit (ein K-Al,Fe-Sulfat, strohgelb); siehe dazu Göttinger (2013)

Sowohl in der Oxidationszone als auch in der Zementationszone (reduzierendes Milieu) von Erzlagerstätten sind leicht verhüttbare Erzminerale (Sekundärminerale) angereichert.

Die **Evaporite** (evaporare = verdunsten) sind wichtige Sedimentgesteine. Zu ihnen gehören u. a. Dolomit, Gips und Anhydrit sowie die Salze (u. a. Steinsalz/Halit, NaCl): hal (indogermanischen Ursprungs) - sal - salt - Salz; wovon die Orte Hallstatt, Bad Hall, Hall in Tirol, Hallein, Salzburg, ... ihre Namen tragen) - damals wie heute ein lebenswichtiger Rohstoff.

### 3.3 Metamorphe Gesteine (metamorphic rocks)

Aus der Unzahl metamorpher Gesteine sind nur wenige so beschaffen, dass sie für die Herstellung von Steinwerkzeugen in Frage kommen. Dabei gelten auch hier die in der Einleitung angeführten Kriterien (z. B. feinkörnig, homogen und zäh).

Metamorphe Gesteine bilden sich bei steigender Temperatur und steigendem Druck (prograde Metamorphose) aus magmatischen, sedimentären oder anderen metamorphen Gesteinen, wobei sich in Abhängigkeit von Druck und Temperatur neue Minerale bilden, die unter den jeweils gegebenen p-T-Bedingungen stabil sind.

Man unterscheidet **3 Arten der Metamorphose**: Kontaktmetamorphose, Dislokations- oder Dynamometamorphose, Regionalmetamorphose. Während die Produkte der Kontakt- und Dynamometamorphose räumlich eher beschränkt sind, erfasst die Regionalmetamorphose große Grundgebirgseinheiten.

*Abb. 2: Die Gesteinsmetamorphose (aus Matthes, 2001/394)*

Gesteine der **Kontaktmetamorphose** entstehen beispielsweise beim Aufdringen von Gesteinschmelzen (z. B. Granit) in andere (reaktionsfreudige) Gesteine (etwa Karbonatgesteine). Durch die Wärme und die Zufuhr von Fluiden (Wasser, CO<sub>2</sub>, ...) entstehen neue Minerale, die spezielle Gesteine in diesem Kontakthof aufbauen. Die Bildungstemperaturen liegen zwischen 880°C (gabbroide Magmen) und etwa 650°C (granitische Magmen, wasserreich).

In der unmittelbaren Nähe des intrudierenden Gesteins sind die Metamorphosetemperaturen am höchsten. Dort können so genannte **Hornfelse** entstehen (z. B. Andalusit-Cordierit-Hornfels). Diese Gesteine zeichnen sich durch eine charakteristische Feinkörnigkeit und Zähigkeit aus. Sie sind dunkel hornfarben (Name!), fleckig-streifig und können splittrig brechen.



Temperaturen bis 1000°C können bei **Lavaergüssen** (z. B. an der Basis von Basaltdecken) auftreten („Pyrometamorphose“). Geringer Druck aber hohe Temperaturen können zur Gesteinsfrittung führen (randliche Aufschmelzung von Mineralkörnern). Partielles Aufschmelzen von Tonschiefern führt zu dichten, bräunlichgrauen Gesteinen, die splittrig brechen („Basaltjaspis“; diese Bezeichnung ist irreführend und sollte daher nicht verwendet werden). Auch die **Sili(zi)fizierung** von Tonschiefern kann im Zuge vulkanischer Aktivitäten vorkommen; es entstehen splittrig brechende, meist feinkörnige, graue Gesteine („Porzellanjaspis“ - auch kein glücklicher Name!), „Porzellanit“.

Durch eine meist lokal begrenzte **Dynamometamorphose** unter hohem Reibungsdruck ist eine partielle Aufschmelzung möglich (Mylonite und Ultramylonite werden zu Hyalomyloniten oder Pseudotachyliten). Teilweise kann die Kristallisation in diesen Schmelzen unterbleiben und es entsteht schwarzes Gesteinsglas (Tachylit). Diese Gesteine geben beim Zerschlagen scharfe Splitter.

In bzw. an den Rändern von **Impaktkratern** (Einschlagkrater von Meteoriten) entstehen ebenfalls (polymikte) Breccien und Gesteinsgläser, die häufig mit Lokalnamen bedacht wurden (z. B. Suevit im Bereich Nördlinger Ries, BRD; „Bimsstein“ von Köfels, Tirol).

Die **Regionalmetamorphose** produziert riesige Mengen von Gesteinsmaterial, ja ganze geologische Körper im km<sup>3</sup>-Ausmaß. Bei steigender Metamorphose entstehen aus demselben Ausgangsmaterial unterschiedliche Gesteine mit unterschiedlicher mineralogischer Zusammensetzung. So kann aus einem (marinen) Ton (Pelit) zuerst ein Tonschiefer, Phyllit, dann Glimmerschiefer und letztlich ein Paragneis entstehen.

Paragesteine entstehen aus sedimentären Gesteinen, Orthogesteine aus magmatischen Gesteinen; eine Unterscheidung ist nicht immer einfach (etwa mittels Geochemie).

Als Beispiele für Metamorphite bestimmter Ausgangsgesteine seien genannt:

<b>Ausgangsgestein:</b>		<b>Metamorphite:</b>	
Granit		Granitgneis (Orthogneis)	
Gabbro, Basalt		Grünschiefer	Amphibolit
Olivinfels, Dunit			Eklogit
Quarzsand(stein)		Serpentinit (retrograde Metamorphose)	
Kalkstein		Quarzit	
Braunkohle	Steinkohle	Marmor	
		Anthrazit	Graphit

**Granitgneise** sind mineralologisch ihrem Ausgangsgestein ähnlich, zeigen jedoch Rekristallisation und Schieferung.

**Grünschiefer** bestehen aus Chlorit, Epidot, Albit (und Erz) und stellen (relativ) niedrig metamorphe basische Vulkanite dar. Manche Grünschiefer führen Magnetit.

**Amphibolite** sind stärker metamorph und bestehen aus Amphibol(en) und Plagioklas (Anorthitreich) sowie Erz (häufig Ilmenit - und daher nicht magnetisch).

**Eklogite** sind hochdruck-metamorphe Gesteine und bestehen aus grünem Pyroxen (Omphacit), Plagioklas, Granat (rot) und manchmal Disthen (blau).

**Serpentinite** sind (retrograd) umgewandelte Olivinfelse bzw. Peridotite, wobei Olivin und Serpentin nebeneinander vorkommen können (+ Pyroxen etc.). Sie enthalten häufig auch Spinelle (u. a. schwarzen Magnetit: → magnetisch).

**Quarzite** sind metamorphe Quarz-Sandsteine (Quarz/SiO<sub>2</sub>-reich); ihre Zusammensetzung richtet sich stark nach der Zusammensetzung des Ausgangsmaterials. Manchmal führen sie feinkörnigen Glimmer (Muskovit).

**Silikatmarmore** können z. B. aus Kieselkalken entstehen, wobei der ehemals fein verteilte Quarz mit den anderen Komponenten reagiert und eigene Silikat-Mineralie bildet, die jedoch nicht mehr homogen im Gestein verteilt sein müssen. Es bestehen Übergänge zu Kalksilikatgesteinen (mit Epidot, Amphibol, Pyroxen, Glimmer etc.).

**Granulite** (Quarz, K-Feldspat, Plagioklas, Granat, Disthen) sind sehr hoch metamorphe, oft feinkörnige (Name!) Gesteine und können aus mehreren Ausgangsgesteinen geeigneter Zusammensetzung entstehen. Pyroxengranulite sind hoch metamorphe Metabasite.

**Migmatite** und **Anatexite** sind Gesteine mit partieller Aufschmelzung.

#### 4.) Untersuchungs- und Bestimmungsmethoden

Es erhebt sich berechtigterweise die Frage, wie genau ein Steinwerkzeug einem Mineral bzw. Gestein zugeordnet werden soll. Die Frage ist: Was will ich wissen? Genügt ein visueller Vergleich oder ist eine genaue Untersuchung bezüglich mineralogischer oder sogar (geo)chemischer Zusammensetzung (Haupt- und Spurenelemente) erwünscht bzw. sinnvoll, etwa im Hinblick auf die mögliche Herkunft.

Dementsprechend wird die Wahl der Methoden ausfallen: zerstörungsfrei oder eben verbunden mit Materialverlust, aber auch mit mehr Informationsgewinn.

##### 4.1 Zerstörungsfreie Methoden

Einfache Hilfsmittel: Lupe, Binokular, Ritzversuch/Härte, Dichtebestimmung; Verwendung von Vergleichsstücken und Abbildungen in Bestimmungsbüchern.

Die Bestimmung bzw. die Zuordnung eines Steinwerkzeuges zu einer bestimmten Rohstoffgruppe kann von „sehr einfach und eindeutig“ bis „unmöglich“ variieren! Feinkörnigkeit und der Erhaltungszustand der Oberfläche sind wesentliche Kriterien des Erfolges oder Misserfolges. Mittel- bis grobkörnige (über 1 mm) Werkstücke mit gut erkennbarer mineralogischer Zusammensetzung können meist mit freiem Auge lithologisch eingeengt bzw. auch bestimmt werden. Eine „Patina“ oder andere oberflächliche Veränderungen (z. B. Feuereinwirkung) können die Zuordnung bzw. Bestimmung sehr erschweren oder gar unmöglich machen.

Für die **Zuordnung von Werkstücken** aus feinkörnigem Gestein ist die Betrachtung mit der Lupe bzw. unter dem Binokular unumgänglich:

Massige Gesteine mit richtungslosem Korngefüge (keine Schieferung oder Vorzugsrichtung), holokristallin (nur Kristalle sichtbar) kann man den Tiefengesteinen (Plutoniten) zuordnen. Der Farbeindruck weist mit hellen Farben in den (sauren) Bereich der Granite bzw. Granodiorite, mit dunklen Farben zu (basischen) Gesteinen wie Diorite und Gabbros.

Massige Gesteine, richtungslos, in denen nur wenige oder gar keine Kristalle mit freiem Auge/ mit der Lupe zu sehen sind, bereiten gewisse Schwierigkeiten: Möglicherweise handelt es sich um Vulkanite (hell/sauer: Rhyolithe; dunkel/basisch: Basalte; dunkel grünlich: Diabase) oder es sind heterogen aufgebaute Quarzgesteine (auch Sandsteine) oder Serpentin (hell- bis dunkelgrün).

Sedimentgesteine (z. B. Quarzsandsteine) weisen häufig eine Schichtung auf. Karbonatgesteine sind üblicherweise relativ weich (H 3 – 4). Verkieselte Karbonat-Sedimente sind härter.

Metamorphe Gesteine lassen ihre Entstehung häufig durch eine Schieferung und Mineral-einregelung erkennen. Helle (saure), geschieferte Gesteine (holokristallin) sind den Gneisen zuordenbar, dunkle geschieferte, gebänderte Gesteine (holokristallin) sind etwa Grünschiefern (meist feinkörnig) oder Amphiboliten (fein- und grobkörnig) zuordenbar.

Der **Ritzversuch** mit dem Stahlnagel (an unauffälliger Stelle) kann bei der Zuordnung weiterhelfen.

Bezüglich Zuordnung der feinkörnigen Quarze bzw. Opale siehe unter Kapitel 2 oder 3.2 - Kieselgesteine.

Für die **Bestimmung der Dichte** von Mineralen und Gesteinen eignen sich Stücke im Zentimeter- bzw. Gramm-Bereich. Dichte = Masse/Volumen ( $\rho = m/V$ ).

Die Probe wird (trocken) gewogen und nachher ihr Volumen durch die Wasserverdrängung in einem Messzylinder bestimmt. Je enger der Durchmesser des Messzylinders ist, umso genauer kann man das Volumen ablesen. Üblicherweise wählt man die Einheit  $g/cm^3$  oder  $kg/m^3$ .

Eine weitere Möglichkeit besteht in der Nutzung des Auftriebes:

Die Dichte berechnet sich wie folgt:

$$\rho = \frac{\text{Gew}_{(L)}}{\text{Gew}_{(L)} - \text{Gew}_{(W)}} \quad \begin{array}{l} \text{Gew}_{(L)} = \text{Gewicht in Luft} \\ \text{Gew}_{(W)} = \text{Gewicht in Wasser} \end{array}$$

(Auftrieb)

Um das Gewicht in Wasser zu messen, benötigt man eine Balkenwaage: Man hängt das Probe-stück mit einem dünnen Faden oder Draht (Cu-Litze) unten an die Balkenwaage und misst die im Wasser vollkommen eingetauchte Probe.

**Spektroskopische Methoden:** Infrarot- und Ramanspektroskopie ermöglichen eine Mineral-identifizierung aufgrund von charakteristischen Absorptionen oder Bandenverschiebungen. Dabei ist bei kleineren Objekten (im cm-Bereich) auch eine zerstörungsfreie Untersuchung möglich, weil auf das Objekt direkt aufgestrahlt wird (mit IR-Strahlen bzw. Laserstrahl). Eine geringfügige Erwärmung dabei ist vernachlässigbar. Es können auch organische Substanzen untersucht werden.

Für IR-Messungen im Durchlicht können auch sehr geringe Substanzmengen mit KBr verpresst werden, um mineralspezifische Ergebnisse zu erhalten.

Die **Mikro-RFA** (Röntgenfluoreszenzanalyse) ermöglicht eine halbquantitative bis quantitative chemische Analyse. Sie basiert auf der Anregung der Elemente mittels Röntgenstrahlen. Die Elemente Al bis U sind gut messbar, Na, Mg und die weiteren leichten Elemente sind bei niedriger Anregung (und Vakuum) auch gut messbar. Die mittelschweren und schweren Elemente (Ti bis Bi) sind auch im Spurenbereich ( $ppm = g/t$ ) quantitativ erfassbar.

Die Probe wird auf ein Messfenster (ca. 8 x 5 mm) gelegt und binnen 30 sec. erhält man ein für diese Probe charakteristisches Elementspektrum. Diese Methode arbeitet üblicherweise zerstörungsfrei, bei röntgenaktiven Substanzen sind allerdings Verfärbungen möglich (z. B. bei Fluorit). Das Gerät ist auch transportabel und kann zum Objekt hin gebracht werden.

## 4.2 Andere Methoden

Materialverbrauchende Bestimmungs- bzw. Identifizierungsmethoden sind etwa folgende:

Herstellung und Auswertung von **petrologischen Dünnschliffen**: optische Eigenschaften und Kornform ermöglichen eine Mineralzuordnung im Polarisationsmikroskop (Übung/Erfahrung erforderlich). Es ist dies die klassische Gesteinsbestimmung.

**Röntgenpulverdiffraktometrie (RDA/PXRD)** gibt Hinweise auf die Mineralphasen. Die Probe muss fein gepulvert werden (ca. 100mm<sup>3</sup>; Achatreibschale), es sind aber auch geringere Mengen ausreichend (etwa Abstrich auf rauher Glasplatte).

Feinkörnige Gesteine können bei geeigneter Geometrie direkt bestrahlt werden.

Die Auswertung kann „händisch“ oder elektronisch erfolgen.

**Rasterelektronenmikroskopie (REM) mit energiedispersiver Röntgenanalyse (EDX):**

Kleine Mineral- und Gesteinsbruchstücke werden mit Leitkohlenstoff auf entsprechenden (leitenden) Probenhaltern montiert und können bezüglich Kornform und chemischer Zusammensetzung untersucht werden.

In Sonderfällen bzw. mit speziellen Geräten ist bei kleineren Objekten und geringer Anregungsspannung auch ein zerstörungsfreies Arbeiten möglich (ohne Bedampfung).

**Spektroskopische Methoden:** Infrarot- und Ramanspektroskopie (siehe oben)

Für IR-Messungen (Durchlicht) werden mit sehr geringen Substanzmengen KBr-Presslinge erzeugt und die für Minerale charakteristischen Absorptionsbanden gemessen.

## **5.) Literaturhinweise - Bestimmungshilfen/-bücher, Lehrbücher:**

Brandl, M. (2013-2014): Genesis, Provenance and Classification of Rocks within the Chert Group in Central Europe, Arch. Austriaca 97-98, 2013-2014, 33-58.

Götzinger, M. (2013): Farben der Erde in Kulturepochen und Ökotrends, Schriften Verein zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse **151–152**, 69–78

[http://www.univie.ac.at/Verbreitung-naturwiss-Kenntnisse/docs/Goetzinger\\_Mineralpigmente.pdf](http://www.univie.ac.at/Verbreitung-naturwiss-Kenntnisse/docs/Goetzinger_Mineralpigmente.pdf)

Hochleitner, Rupert (2002): MINERALIEN Bestimmen Kennenlernen Sammeln. Gondrom Verlags GmbH Bindlach - Lizenzausgabe, 240 S

Matthes, Siegfried (2001): Mineralogie (unter Mitarb. v. Martin Okrusch). Springer Verlag Berlin Heidelberg New York, 507 S, 6. Aufl.

Mateiciucová, I., Trnka, G., Götzinger, M. (2006): Zur Rohstoffverteilung und -verfügbarkeit in der westlichen Lengyel-Kultur. *Archäologie Österreichs*, Wien, , Austria. ISSN 1018-1857, 2006, vol. 17, no. 2, pp. 82-89.

Medenbach, Olaf u. Ulrike (2001): Mineralien Erkennen & bestimmen. Steinbachs Naturführer, Mosaik Verlag, Verlagsgruppe Falken/Mosaik, Niedernhausen, 191 S

Pellant, Chris (2002): Steine und Minerale. Urania Naturführer, 1992 by Dorling Kindersley Limited, London, 256 S, 4. Aufl.

Pellant, Chris (2006): Steine und Minerale. DK Naturbibliothek, 1992 by Dorling Kindersley Limited, London, 256 S.

Přichystal, A. (2000): Stone raw materials of Neolithic-Aeneolithic polished artefacts in the Czech Republic: The present state of knowledge. *Krystalinikum* 26, 119-136, Brno

Přichystal, A. (2009): Kamenné suroviny v pravěku. Východní části střední Evropy, Masarykova univerzita, Brno.

Přichystal, A. (2012): Lithic Raw Materials in Prehistoric Times of Eastern Central Europe, Masarykova univerzita, Brno.

Schumann, Walter (1991): Der neue BLV Steine- und Mineralienführer. BLV Verlagsgesellschaft mbH, München - Wien - Zürich, 3. durchges. Aufl., 383 S.

Schumann, Walter (1997): Mineralien, Gesteine Merkmale, Vorkommen und Verwendung. BLV Naturführer München, Wien, Zürich, 127 S

### **Skripten/internet:**

Götzinger, Michael: Skripten zu Lehrveranstaltungen, Univ. Wien, unter

[www.univie.ac.at/Mineralogie](http://www.univie.ac.at/Mineralogie) (downloads)

Hovorka (Bratislava), Illasova (Nitra): Abiotic raw materials of the stone age

Trnka, Gerhard: Steinrohstoffe und deren Gewinnung (Altsteinzeit), Univ. Wien

**Tabelle 1: Dichte ( $\rho = m/V$ ) von Gesteinen und Mineralen (in  $g/cm^3$ )**

Granit	2,6 - 2,7	Die vulkanischen Äquivalente	
Diorit	2,7 - 2,9	besitzen eine etwas geringere Dichte	
Gabbro	2,9 - 3,1	als die entsprechenden Plutonite (Glasanteil).	
Diabas, Dolerit	2,9 - 3,2		
Kalkstein, Marmor	2,7 - 2,8	Kalksandstein	ca. 2,6
Quarzsandstein	ca. 2,5	Radiolarit, Quarz	ca. 2,55 - 2,65
Chalcedon	ca. 2,6	Opal	ca. 2,2
Gneis	2,6 - 2,8	Amphibolit	2,7 - 3,0
Kristalline Schiefer	2,4 - 2,8	Serpentinit	2,9 - 3,2

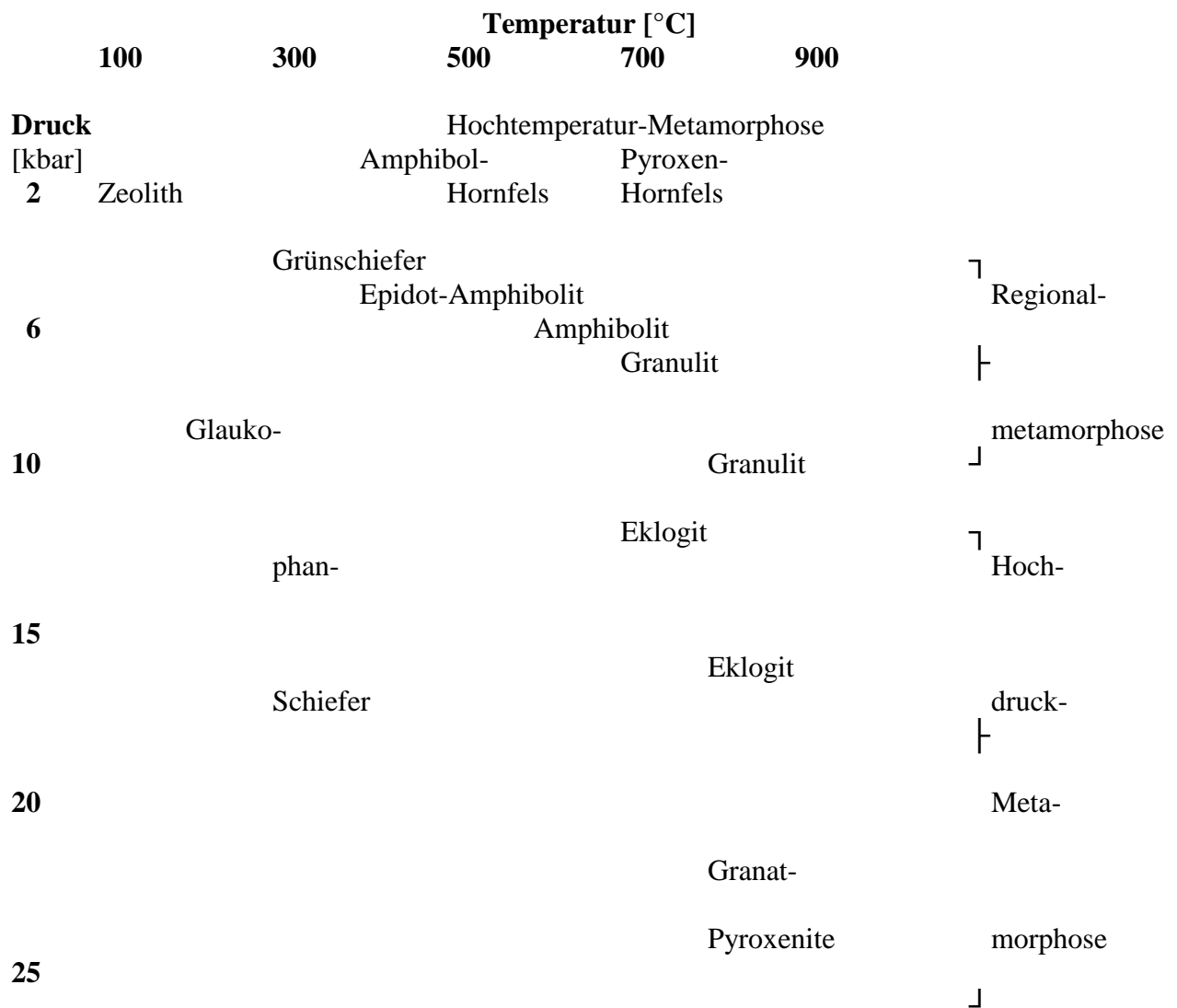
<b>Beispiele:</b>	<b>Masse [g]</b>	<b>Volumen [<math>cm^3</math>]</b>	<b>Dichte [<math>g/cm^3</math>]</b>
Hornstein, Polen	60,5	23,5	2,57
Hornstein, Mauer	48,9	18,9	2,59
Serpentinbeil, NÖ.	59,2	20,9	2,83 (Luftblasen !)
? -Beil, NÖ.	55,5	17,5	3,17 (Serp. ?)

<b>Temperaturbereich</b>	<b>Reaktionsreihe (Rosenbusch-Bowen)</b>		<b>Gestein (Plutonit, Vulkanit)</b>
hoch (ca. 1200°C)	Olivin		ultrabasisch (Peridotit)
	Pyroxene	Ca-Plagioklas	basisch (Gabbro, <i>Basalt</i> )
(ca. 800°C)		Amphibole, K-Feldspat, Ca-Na-Plagioklas	intermediär (Diorit, <i>Andesit</i> )
niedrig (ca. 650°C)		Glimmer, Quarz, K-Fsp., Na-Plag.	sauer (Granit, <i>Rhyolith</i> )

**Abb.1: Minerale und Gesteine (Kristallisationsfolge)**

(nach Jakobshagen et al., 2000)

Dieses Diagramm veranschaulicht die Reihenfolge, in der die Minerale bei sinkender Temperatur auskristallisieren. Auf der rechten Seite stehen die daraus entstehenden Gesteinsgruppen, die aus den ungefähr gleichzeitig kristallisierenden Mineralen aufgebaut sind.



**Abb. 2: Die Gesteinsmetamorphose (aus Matthes, 2001/394)**

Die Abbildung zeigt die Bereiche der Niedrig-Druck- bzw. Hochtemperatur-Metamorphose (Hornfelsfacies), der Regionalmetamorphose und der Hochdruck-Metamorphose (Glaukophanschiefer-/Blauschiefer-Facies) im p-T-Diagramm.