

Weiterführende Erläuterungen zu den Mineralbestimmungsübungen

(LVA Nr. 220.001 Geologie VU)

Andreas Rohatsch

Institut für Geotechnik
FB-Ingenieurgeologie

<http://www.ig.tuwien.ac.at/home.html>

1 Grundlagen der Mineralogie

Der Begriff **Mineralogie** wird vom lateinischen *mina = Schacht* oder von *minare = Bergbau treiben* und dem griechischen *logos = Kunde, Wissenschaft* abgeleitet. Die Mineralogie befasste sich ursprünglich mit den natürlichen anorganischen Verbindungen, den Mineralen.

Der Begriff **Mineral** beschreibt chemisch-physikalisch, homogene, meist feste Körper, die stofflich und strukturell gleichartig aufgebaut sind und im natürlichen Kreislauf gebildet werden. Die räumlich gleichmäßige Anordnung von Elementen und Molekülen in einem **Kristallgitter** ist verantwortlich für die physikalischen Eigenschaften (Härte, Spaltbarkeit, Lichtbrechung, Wärmeleitfähigkeit, Dichte, etc.).



Abb. 1: links: kubisches Kristallgitter von Diamant (C), dem härtesten Mineral mit Ritzhärte 10 nach MOHS; daneben ein typischer Diamantoktaeder (aus: <http://de.wikipedia.org/wiki/Diamant>); rechts: hexagonales Kristallgitter von Graphit (C) dem weichsten Mineral mit Ritzhärte 1 nach MOHS (aus: <http://www.mineralienwissen.de/graphit.html>); - beide Minerale bestehen aus dem Element Kohlenstoff (C), der Härteunterschied ergibt sich aus der unterschiedlichen räumlichen Anordnung der Kohlenstoffatome, beim Graphit sind die einzelnen oben dargestellten Ebenen leicht gegeneinander verschiebbar, beim Diamant liegt eine kubische Dichtestpackung der C-Atome vor, die ihm große Härte, aber auch eine gute Spaltbarkeit senkrecht auf die Oktaederfläche verleiht

Der Begriff **Kristall** stammt von dem griechischen Wort κρύσταλλος (krýstallos, zu κρύος krýos „Eiseskälte, Frost, Eis“) und wurde im speziellen für Bergkristalle angewandt, die man für Eiskristalle hielt, die bei so tiefen Temperaturen gefroren, dass sie nicht mehr auftauen konnten.

Heute verstehen wir unter Kristall ein Mineral, welches ausreichend Platz hatte, die seiner kristallographischen Natur entsprechenden gesetzmäßigen Außenbegrenzungen (Flächen, Spitzen, etc.) auszubilden.

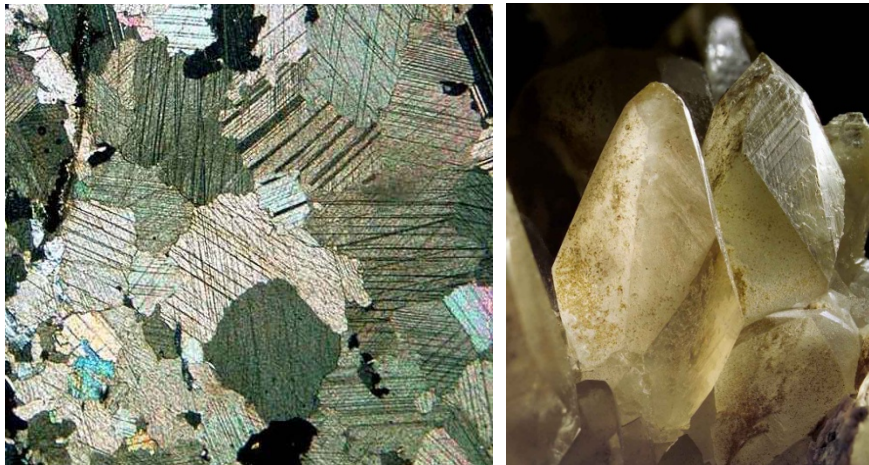


Abb. 2: links: Dünnschliffaufnahme eines Marmors, der aus dem **Mineral** Kalzit (Kalkspat) aufgebaut wird; die Korngrenzen benachbarter Kalzite greifen lobat ineinander; gut erkennbar sind auch Zwillingslamellen und Spaltflächen (Aufnahme mit gekreuzten Polarisatoren; Bildausschnitt ca. 10x10 mm; Foto: Rohatsch); rechts: Kalkspat**kristalle** (Skalenoeder), die frei wachsen konnten (aus: http://www.berthold-weber.de/w_skal.htm)



Abb. 3: Gipskristalle in einem Hohlraum einer Silber – Zinkmine bei Naica/Chihuahua in Mexico (aus: <http://www.galleries.com/minerals/sulfates/gypsum/gypsum.htm>)

Die systematische Einteilung im Mineralreich erfolgt einerseits hinsichtlich der chemischen Zusammensetzung (z.B. Silikate, Karbonate, etc.) und andererseits aufgrund ihrer kristallographischen, geometrischen Symmetriemerkmale

(Kristallsysteme: kubisch, trigonal, hexagonal, etc.), sowie ihren physikalischen Eigenschaften (Härte, Dichte, Spaltbarkeit, Lichtbrechung, etc.).

Einige Beispiele für wichtige Minerale auf chemischer Grundlage (kleine Auswahl):

Elemente – Gold, Kupfer, Diamant, Graphit

Sulfide – Pyrit, Markasit

Halogenide – Steinsalz, Flussspat

Oxide – Quarz, Korund, Magnetit, Hämatit

Hydroxide - Limonit

Karbonate – Kalzit, Dolomit, Magnesit, Ankerit

Sulfate – Gips, Anhydrit, Ettringit, Epsomit, Baryt

Phosphate – Türkis

Silikate – Feldspat, Biotit, Muskovit, Turmalin, Olivin, Amphibole, Pyroxene, Tonminerale

Die vorkommenden geometrischen Symmetriemerkmale werden anhand von insgesamt 7 Kristallsystemen beschrieben.











































kubisch							
tetragonal							
hexagonal / trigonal							
rhombisch							
monoklin							
triklin							

Abb. 4: Die sieben Kristallsysteme und häufig vorkommende Kristallformen (aus: <http://www.mineralogie-erleben.de/sys.htm>)

Die in der Mineralogie verwendeten Begriffe **Tracht** und **Habitus** dienen der Beschreibung von Kristallen, wobei unter Tracht die Gesamtheit aller am Kristall ausgebildeten und kombinierten Flächen zu verstehen ist und unter Habitus das allgemeine äußere Erscheinungsbild, also körnig, säulig, langstängelig, kurzstängelig, blättrig, faserig, etc. beschrieben wird.

1.1 Praxisrelevante Bestimmungsmerkmale

Die im Folgenden erläuterten einfachen Bestimmungsmethoden zur Erfassung von wesentlichen physikalischen und chemischen Eigenschaften, ersetzen natürlich keine naturwissenschaftlichen Untersuchungsmethoden zur korrekten Klassifikation von Mineralen, liefern aber dem Praktiker (Bauingenieur/in, Architekt/in, Steinmetz/in, Bildhauer/in, Restaurator/in, etc.) wichtige Anhaltspunkte und erlauben die grobe Zuordnung zu einer Mineralgruppe. Für die Praxis ist es meist nicht von entscheidender Bedeutung, ob es sich bei einem Feldspat, um einen Mikroklin, Orthoklas, Albit, Bytownit, Oligoklas oder einen sonstigen Vertreter dieser Gruppe handelt, sondern entscheidend ist in technischer Hinsicht die Korngröße, die Härte, die Spaltbarkeit und

der Grad einer eventuellen Umwandlung, durch Verwitterungsprozesse (z.B. Kaolinitisierung, etc.), also ob es sich um ein „Mürbkorn“, oder um ein „unverwittert frisches“ Mineral handelt.

Härte ist der mechanische Widerstand, den ein Körper dem Eindringen eines anderen Körpers entgegensetzt. Allgemein gebräuchlich und international bekannt zur Bestimmung der Mineralhärte ist die relative Härteskala nach Friedrich Mohs (Mineraloge, 1773-1839). Sie beruht auf der Erkenntnis, dass härtere Stoffe weichere Stoffe ritzen können. So ordnete Mohs 10 Mineralien entsprechend ihrer Ritzhärte, die vom weichsten Mineral (Talk) mit Härte 1 bis zum härtesten Mineral (Diamant) mit Härte 10 reicht.

Mineral	Mohs relative Härte	Ritzprobe	Rosiwal absolute Härte	Vickers kp / mm^2
Talk	1	mit Fingernagel schabbar	0,03	2,4
Gips	2	mit Fingernagel ritzbar	1,25	36
Calcit	3	mit Kupfermünze ritzbar	4,5	109
Fluorit	4	mit Messer leicht ritzbar	5	189
Apatit	5	mit Messer noch ritzbar	6,5	536
Orthoklas	6	mit Stahlfeile ritzbar	37	795
Quarz	7	ritzt Fensterglas	120	1.120
Topas	8	ritzt Quarz	175	1.427
Korund	9	ritzt Topas	1.000	2.060
Diamant	10	ritzt Korund	140.000	10.060



Abb. 5: links: Ritzhärte nach Friedrich MOHS (aus: http://www.realgems.org/mohs_de.html); rechts: handelsübliche „Härteskala“ nach MOHS mit Referenzmineralen, Strichtafel, Messer und Magnet zur Bestimmung grundlegender physikalischer Eigenschaften von Mineralen (Foto: Rohatsch)

An weiteren Härtebestimmungsmethoden sind die Schleifhärte nach ROSIWAL⁵, sowie die Eindringhärtebestimmungen nach VICKERS, KNOOP, BRINELL und ROCKWELL⁶ zu nennen, die in der Werkstoffprüfung, vor allem in der Metallurgie Anwendung finden. Die Schleifhärte, eigentlich Schleifwiderstand nach ROSIWAL ist ebenso wie die Ritzhärte nach MOHS dimensionslos. Die in Tab. 2.1 zu Vergleichszwecken angeführte Härte nach VICKERS beruht auf dem Eindringverhalten einer gleichseitigen Diamantpyramide mit 136° Öffnungswinkel bei einer definierten Prüfkraft. Mit der, unter dem Mikroskop gemessenen Diagonale des im Werkstoff eingepprägten Pyramideneindrucks wird die Oberfläche des Eindrucks errechnet. Das Verhältnis von Prüfkraft (kp) und Eindruckoberfläche (mm²) ergibt mit dem Faktor 0,1891 multipliziert die Vickershärte HV.

Die **Dichte** ρ (Rho) eines Körpers ist das Verhältnis seiner Masse (M) zu seinem Volumen (V).

$$\rho = \frac{M}{V} \quad [g/cm^3, kg/m^3]$$

Nach dem Prinzip von Archimedes erfährt ein vollständig in einer Flüssigkeit eingetauchter Körper eine Auftriebskraft, die der Gewichtskraft des Volumens der verdrängten Flüssigkeit entspricht. Die zur Massebestimmung verwendete Waage muss auf mindestens 0,1 g genau ablesbar sein.

⁵ http://de.wikipedia.org/wiki/August_Rosiwal

⁶ Eine übersichtliche Beschreibung der Prüfmethode findet sich z.B. bei <http://www.hegewald-peschke.de/info-bereich/wissenswert.html>

Das Volumen errechnet sich aus der Differenz der Masse (M) in trockenem Zustand und der Masse unter Auftrieb (Ma) dividiert durch die Dichte der Prüfflüssigkeit (ρ_F)

$$V = \frac{M - M_a}{\rho_F}$$

In den meisten Fällen wird als Prüfflüssigkeit Leitungswasser verwendet, mit Ausnahme bei der Dichtebestimmung von leicht wasserlöslichen Mineralen (Gips, Steinsalz, etc.). Für die Praxis ist es völlig ausreichend die, an sich von der Temperatur und vom Salzgehalt abhängige Dichte des Wassers mit 1 g/cm^3 anzusetzen.

Mineral	$\rho_{\min} [\text{g/cm}^3]$	$\rho_{\max} [\text{g/cm}^3]$
Quarz		2,65
Feldspat	2,56	2,76
Hellglimmer	2,80	2,90
Biotit	2,80	3,20
Olivin	3,20	4,30
Amphibol (Hornblende)	3,00	3,40
Pyroxen	3,20	3,60
Granat	3,50	4,50
Magnetit		5,20
Pyrit		5,00
Kalzit (Kalkspat)		2,70
Dolomit		2,90
Gips		2,30
Anhydrit	2,98	3,00
Halit (Steinsalz)	2,10	2,20

Tab. 1: Die Dichte von einigen wichtigen Mineralen (nach: MATTHES 2001); die bei manchen Mineralen angeführten recht weiten Dichtebereiche (z.B. Granat, Feldspat, etc.) sind auf die Tatsache zurückzuführen, dass es sich hierbei um komplexe Mischkristallreihen handelt, die aufgrund ihrer unterschiedlichen chemischen Zusammensetzung auch unterschiedliche physikalische Eigenschaften besitzen können – korrekterweise müsste man den Begriff „Granat“ durch „Granatgruppe“ (Pyrop, Almandin, Grossular, Spessartin, Uwarowit, Andradit, u.v.a.m.) ersetzen.

Spaltbarkeit und Bruch

Als Spaltbarkeit wird bei Mineralen und Kristallen die Ausbildung ebener, glänzender Flächen bei mechanischer Beanspruchung (z.B. Hammerschlag) bezeichnet. Die Spaltbarkeit ist demnach eine Sonderform des Bruches. Die Qualität der Spaltbarkeit wird verbal mit den Begriffen vollkommen, gut, undeutlich oder keine Spaltbarkeit beschrieben. In Abhängigkeit von der Kristallstruktur (Kristallgitter) kann die Spaltbarkeit in einer, zwei oder drei Ebenen ausgebildet sein. Beispielweise sind Glimmerminerale und Gipskristalle vollkommen in einer Ebene spaltbar, Kalzit (Kalkspat) und Diamant

hingegen in 3 Ebenen. Beim Feldspat ist die Spaltbarkeit in 2 Ebenen des Raums gut ausgebildet, in einer Richtung ist ein unebener Bruch zu beobachten. Bei manchen Mineralen ist die Spaltbarkeit ohne mikroskopische Untersuchungsmethoden kaum erkennbar, wie zum Beispiel bei den langstängeligen Hornblenden (Amphibole). Minerale die keine Spaltflächen ausbilden brechen bei mechanischer Beanspruchung unregelmäßig, uneben (z.B. Granat) oder muscheliger (z.B. Quarz).



Abb. 6: links: Biotit in einer Ebene vollkommen spaltbar (Foto: Rohatsch); Mitte: Kalzit in 3 Ebenen vollkommen spaltbar (aus: http://www.kristalle.ch/strahlen/kristallhoehle_kobelwald.asp, Foto: Schüpbach); rechts: Granat nicht spaltbar (aus: <http://www.kristallin.de/Metamorphite/Granatgneise-druck.htm>)

Bei der Beurteilung der **Farbe** von Mineralen unterscheidet man zwischen „**eigengefärbten**“ (idiochromatischen) und „**fremdgefärbten**“ (allochromatischen) Mineralen, wobei bei idiochromatischen Mineralen die farbgebenden Atome am chemischen Aufbau des Minerals beteiligt sind und bei allochromatischen Mineralen die Färbung auf „*Fremdatome*“ zurückgeführt wird, die vereinzelt im Kristallgitter eingebaut wurden. Idiochromatische Minerale eignen sich daher zu Herstellung von relativ farbkonstanten Pigmenten, die z.B. in der Wandmalerei eingesetzt werden (Malachit, Lapislazuli, Auripigment, etc.). Allochromatische Minerale wären an sich farblos, jedoch besitzen die im Kristallgitter eingebauten „*Fremdatome*“ eine teilweise intensive Färbewirkung. Beispielsweise wird der „*reine*“ farblose Quarz als Bergkristall bezeichnet. Wurden bei der Entstehung jedoch vereinzelt Eisenatome (Fe) anstelle von Silizium (Si) im Kristallgitter eingebaut und dieser Quarz (SiO_2) dann einer Bestrahlung mit Gammastrahlen ausgesetzt, entsteht die violette Quarzvarietät Amethyst mit, für den Praktiker, keinen nennenswerten Unterschieden hinsichtlich ihrer physikalischen Eigenschaften (z.B. Härte: H 7 nach MOHS, muscheliger Bruch, Dichte: $2,65 \text{ g/cm}^3$).

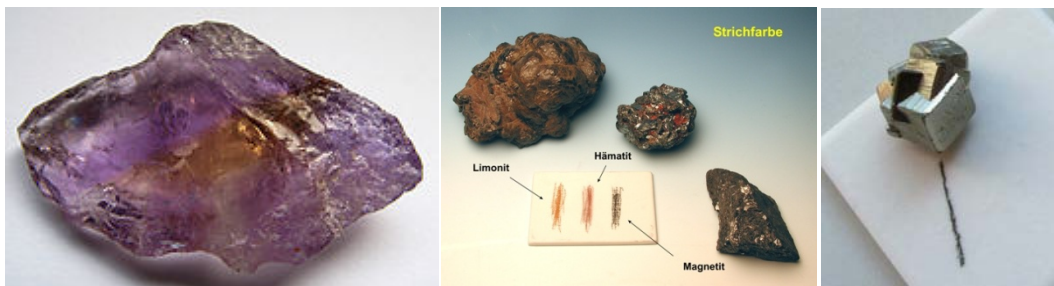


Abb. 7: links: allochromatischer „*Ametrin*“ aus Bolivien – dreifärbige Quarzvarietät (aus: <http://de.wikipedia.org/wiki/Quarz>); Mitte: Strichfarbe von Hämatit - Fe_2O_3 , Limonit - FeOOH und Magnetit - Fe_3O_4 (aus: <http://www.gmg.ruhr-uni-bochum.de/petrologie/strichfarbe.html>) – rotbraun; rechts: Strichfarbe von Pyrit (FeS_2) – dunkelgrau/schwarz (verändert, aus: <http://de.wikipedia.org/wiki/Strichfarbe>)

Der Begriff **Strichfarbe** (oder Strich) bezeichnet die Farbe des Mineralpulvers, das durch reiben an einer nicht glasierten weißen Porzellantafel (Strichtafel) erzeugt wird. Die meisten allochromatischen Minerale besitzen einen weißen oder nur ganz schwach gefärbten Strich. Bei idiochromatischen Mineralen entspricht die Farbe des Mineralpulvers häufig der Farbe des untersuchten Minerals.

Als einfache und unverzichtbare chemische Untersuchungsmethode zur Bestimmung und Unterscheidung von Kalzit und Dolomit, sowie kalkhaltiger Gesteine ist die **Salzsäurereaktion** zu bewerten. Träufelt man konzentrierte Salzsäure (HCl) auf Kalzit (CaCO_3) so wird bei der chemischen Reaktion das Kohlendioxid (CO_2) freigesetzt und diese Entgasung ist mit einem deutlich sichtbaren aufschäumen oder aufbrausen verbunden. Die chemische Reaktion läuft nach folgender Gleichung ab:



Da bei der Verwendung von konzentrierter, rauchender Salzsäure auch das Mineral/Gestein Dolomit ($\text{CaMg}[\text{CO}_3]_2$) eine deutliche Reaktion zeigen würde, hat es sich bewährt die Salzsäure im Verhältnis 1:5 mit Wasser (Leitungswasser oder demineralisiertes Wasser) zu verdünnen. Rauchende Salzsäure wirkt zudem stark ätzend auf die Schleimhäute, sodass das Hantieren mit konzentrierter Säure nur unter Beachtung der entsprechenden Sicherheitsvorkehrungen (Abzug, Atemschutz, Schutzbrillen, Handschuhe, etc.) gestattet ist! Die oben beschriebene Verdünnung (1RT $\text{HCl}_{\text{konz.}}$:5RT H_2O) besitzt zudem den großen Vorteil, dass in einem Arbeitsgang auch der Dolomit bestimmt werden kann. Dolomit braust mit verdünnter Salzsäure nicht auf. Damit trotzdem eine Reaktion bei einer Probe, bei welcher der Verdacht naheliegt, dass es sich um Dolomit handeln könnte nachgewiesen werden kann, ist es notwendig die Reaktionsoberfläche durch Herstellung eines Mineral- oder Gesteinspulvers zu vergrößern. Die dann beim Dolomit beobachtbare Brausreaktion kann aber relativ schlecht sichtbar sein, sodass es sich empfiehlt die Probe auch ans Ohr zu halten, da die Reaktion oft besser zu hören, als zu sehen ist.

Eine weitere einfache, aber für den Techniker wichtige Untersuchungsmethode ist der „**Kristallwassertest**“. Diese, auch auf der Baustelle durchführbare Untersuchung gibt Auskunft darüber ob es sich bei einem Mineral oder Gestein um Gips ($\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$) handeln könnte. Mit Hilfe einer Epruvette, eines handelsüblichen Feuerzeugs und einer zerriebenen Probe des fraglichen Materials kann dieser Test nach folgendem Reaktionsprinzip (Gipsbrennen!) durchgeführt werden:

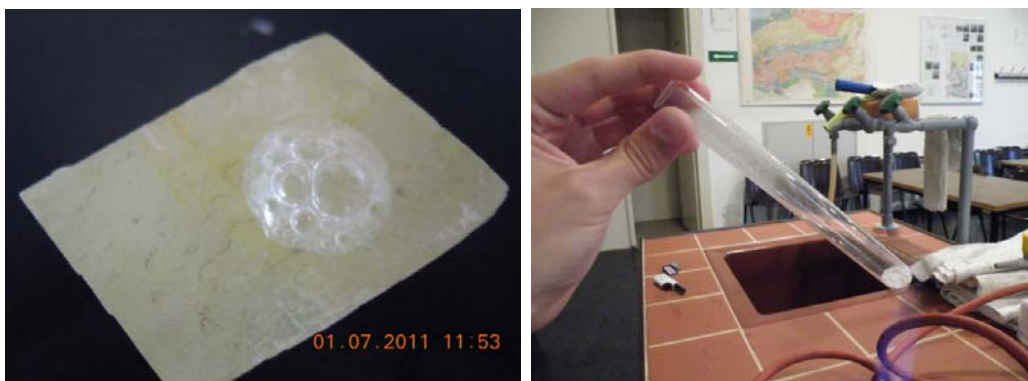
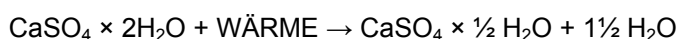


Abb. 8: links: Salzsäurereaktion mit Kalkspat; rechts: Kristallwasserprobe bei Gips (Fotos: Rohatsch)

Die schräg gehaltene Epruvette mit dem Mineralpulver wird erhitzt, das ausgetriebene Kristallwasser sublimiert an den kühlen Stellen des Reagenzglases und bildet deutlich erkennbare Wassertröpfchen.

VEREINFACHTER MINERALBESTIMMUNGSSCHLÜSSEL

Stellen Sie fest, ob es sich um ein einzelnes Mineral oder um Mineralaggregate handelt!

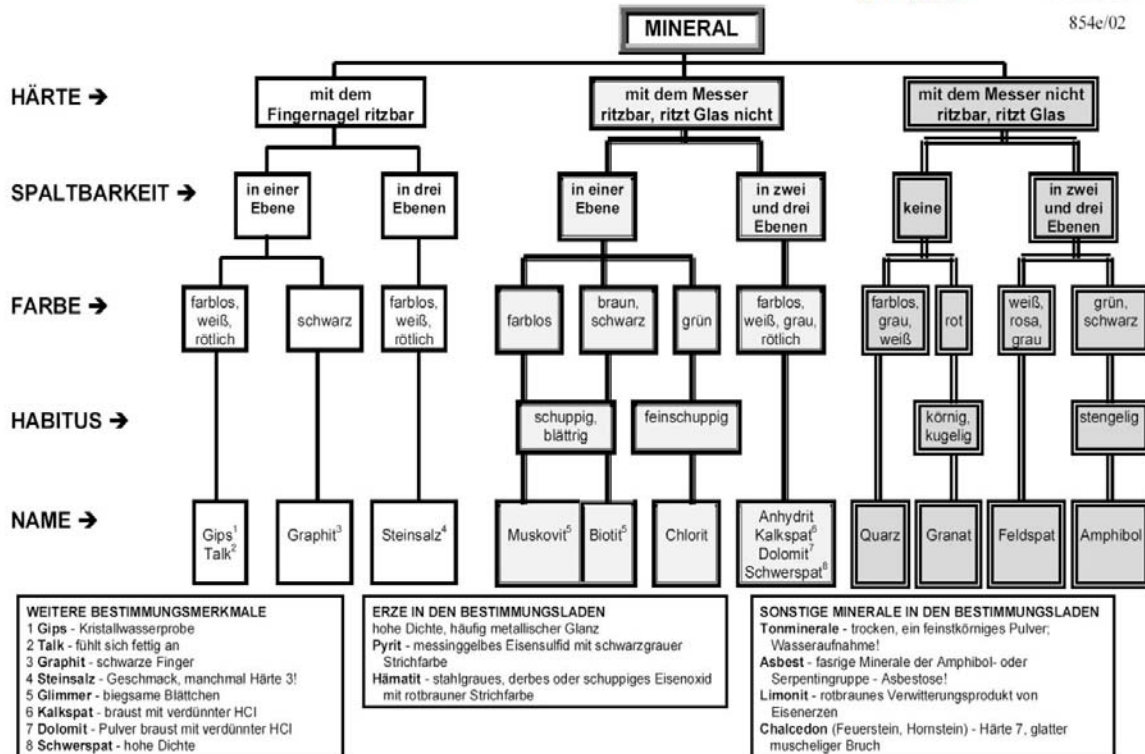


Abb. 9: stark vereinfachter Bestimmungsschlüssel für einige wichtige und häufige gesteinsbildende Minerale (Vorlesungsunterlagen des Instituts für Geotechnik/FB-Ingenieurgeologie; TU-Wien, Rohatsch 1999)

1.2 Minerale und ihre technische Relevanz

Minerale besitzen aufgrund ihrer chemischen und physikalischen Eigenschaften für unterschiedlichste Aufgabenbereiche ihre Anwendung, vom einfachen Blumentopf über hochwertiges Porzellan oder Füllstoffe für Papier und Gummi bis hin zu Hightech-Anwendungen in der modernen Elektronik- und Unterhaltungsindustrie. Für das Bauwesen im weitesten Sinn, ist die Kenntnis der Eigenschaften auf eine relativ geringe Anzahl von Mineralen beschränkbar, nämlich auf jene, die einen wesentlichen Einfluss auf die Qualität und Dauerhaftigkeit von Baustoffen und Bauwerken in Hinsicht z.B. auf ihre Bearbeitbarkeit, Verarbeitungsmöglichkeiten, Festigkeit, Härte, etc. besitzen, kurz jene Eigenschaften, die für den jeweiligen Anwendungszweck günstige oder auch ungünstige, oft sogar schädliche Auswirkungen besitzen - wobei die subjektive Wertung einer Auswirkung, günstig oder schädlich, sich ausschließlich auf die jeweilige Verwendung beziehen muss und nicht auf das Mineral an sich. Beispielsweise wirken sich die für die Ziegel- und Keramikindustrie so günstigen Eigenschaften von Tonmineralen in Tunnelbauwerken oder auch bei Bau- und Dekorgesteinen überaus schädlich und zerstörend aus. Bei einigen Mineralen überwiegen jedoch die gesundheitsgefährdenden Eigenschaften die technischen positiven Einsatzmöglichkeiten, wie z.B. beim „*Wundermineral*“ der 1970er Jahre - dem Asbest, mit seinen positiven Eigenschaften, wie Feuerbeständigkeit, oder seine Funktion als Zugbewehrung in zementgebundenen Plattensystemen oder als Zuschlag für

Bremsbeläge von Kraftfahrzeugen, bis hin zur medizinischen Anwendung – kurz gesagt in fast jedem österreichischen Haushalt gab es damals Gewebe und Baustoffe, die Asbest enthielten. Erst nachdem erkannt wurde, dass die feinen spröden Nadeln der Asbestfasern in die Lungenbläschen eindringen, sich inkapseln und Lungenkrebs verursachen können, wurde die Anwendung von Asbest generell verboten. Noch heute beschäftigt die Nachsorge und Entsorgung von asbesthaltigen Baustoffen die Öffentlichkeit, wie z.B. der von der „Europäischen Kommission für Gesundheit, Sicherheit und Hygiene am Arbeitsplatz“ publizierte Leitfaden „Asbest“⁷ belegt. Ausgehend von den Eigenschaften sollte der Praktiker über die im Folgenden beschriebenen Minerale zumindest fundamentale Kenntnisse besitzen.

„Harte Minerale“

Der Begriff „harte Minerale“ ist im Sinne von „*härter als Werkzeugstahl*“ zu verstehen. Diese harten Minerale werden in der Praxis auch als „*schleiß-scharfe Minerale*“, im Hinblick auf Abrasivität, Werkzeugverschleiß, Bohrwiderstand, Politurbeständigkeit, Abriebwiderstand etc., bezeichnet. Ein in der Tunnelbaupraxis häufig angewandter Test zur Abschätzung der Abrasivität von Fels ist der *CERCHAR-Abrasivitäts-Index* (CAI; CERCHAR 1986, vergl. auch: PLINNINGER et al. 2003, THURO et al. 2003), sowie die Ermittlung des Quarzäquivalenzwertes, also die Härte unterschiedlicher Minerale bezogen auf die Härte von Quarz (Mohs-Härte 7), die als 100% angesetzt wird.

Quarz	100%
Feldspat	70-80%
Olivin	57-60%
Pyroxene	50-53%
Amphibole	47-53%
Serpentinit	23-30%
Kalzit, Dolomit	17-34%

Tab. 2: Richtwerte zur Abschätzung des Quarzäquivalenzwertes

Quarz

Das Mineral Quarz – eigentlich Tiefquarz (α -Quarz) – ist einer der wichtigsten und am häufigsten vorkommenden Vertreter der „*harten, schleiß-scharfen Minerale*“ und ist aufgrund dieser seiner Eigenschaften auch ein wichtiges Referenz- und Bezugsmineral zur Beurteilung der Abrasivität von Gesteinen in Hinsicht auf die Abnutzung von Werkzeugstahl (z.B. Quarzäquivalenz, Cerchar-Abrasivitätsindex → siehe dort)

Chemische Formel:	SiO ₂
Mineralklasse:	Oxide ⁸
Kristallsystem:	trigonal
Härte nach MOHS:	7
Dichte:	2,65 g/cm ³
Farbe:	farblos, weiß, grau, (violett, gelb, braun, etc. fast alle Farben möglich)
Strichfarbe:	weiß
Bruch:	muschelig, spröde
Spaltbarkeit:	keine
Habitus:	prismatisch, stängelig, körnig, mikrokristallin

⁷ http://www.arbeitsinspektion.gv.at/NR/rdonlyres/0B28C0C7-D2E0-46BE-9C3C-A472CE1B6700/0/Leitfaden_Asbest.pdf

⁸ Streng genommen ist man sich auch in der Fachwelt über die Zuordnung von Quarz nicht wirklich einig; in der deutschsprachigen Literatur wird Quarz meist zu den Oxiden gestellt, in der anglikanischen Literatur zu den Silikaten (Gerüstsilikate). Silikate sind aber per definitionem Salze und Ester der ortho-Kieselsäure (Si(OH)₄) und deren Kondensate, wobei unverknüpfte Stellen der SiO₄-Tetraeder mit Metallkationen und eventuell mit OH-Gruppen besetzt werden. Da Silizium ein Halbmetall ist, ist Quarz also kein Silikat sondern eben ein Oxid.

Quarz besitzt neben seiner hohen Härte auch noch einige andere Besonderheiten, die ihn zu einem in technischer Hinsicht relevanten Mineral machen.

Bei einer Erhitzung über 573°C erfährt Quarz eine Phasenumwandlung zum hexagonalen Hochquarz (β -Quarz). Diese, auch Quarzsprung genannte Umwandlung führt bei 573°C zu einer Volumszunahme von 0,8%. Diese an sich relativ geringe Änderung, die auch bei Abkühlung wieder rückgängig gemacht wird, führt jedoch zu einer irreversiblen Gefügebrauchung bei dichten quarzhaltigen Gesteinen, wie z.B. bei Graniten, Gneisen, Quarziten, dichten Quarzsandsteinen, etc.

Auf der einen Seite nutzt man diese Eigenschaft, um durch flämmen der Oberfläche von Fußbodenplatten, die im öffentlichen Bereich eingesetzt werden, eine entsprechende Rauigkeit herzustellen – also Rutschsicherheit zu gewährleisten. Auf der anderen Seite müssen derartige dichte quarzhaltige Gesteine im Sinne des Brandschutzes – Brandwiderstandes jedenfalls auf ihre Eignung zur Verwendung, beispielsweise für Stiegenstufen überprüft werden.

Eine weitere technisch nutzbare Eigenschaft ist der starke piezoelektrische Effekt senkrecht zur Prismenachse entlang der a-Achsen. Auf Druck oder Zug reagiert ein Quarzkristall mit einer elektrischen Polarisierung entlang der Krafrichtung. Umgekehrt dehnt sich der Quarzkristall aus oder schrumpft durch Anlegen einer elektrischen Gleichstromspannung. Mittels Wechselstrom können Resonanzschwingungen angeregt werden. Da die Genauigkeit und Regelmäßigkeit dieser Schwingungen sehr exakt, ist werden synthetisch hergestellte Schwingquarze als Taktgeber für Computer, Uhren, etc. verwendet. Synthetisch hergestellte Quarze besitzen den Vorteil, dass sie hochrein und ohne Baufehler im Kristallgitter hergestellt werden können, Eigenschaften, die natürlich vorkommende Quarzkristalle meist nicht besitzen.

Feinstkörniger Quarzstaub besitzt zudem die unangenehme Eigenschaft in den Lungen abgelagert zu werden und sich einzukapseln und eine Erkrankung namens **Silikose** oder Staublunge zu verursachen. Betroffene Berufsgruppen dieser Erkrankung, die zu Atemnot, chronischer Bronchitis und zum Tod durch ersticken führen kann sind unter anderem, Bergleute, Steinbrucharbeiter, chinesische Edelsteinschleifer, etc. Entsprechende Vorkehrungen, wie Staubmasken, Absaugvorrichtungen, nassen von ungebundenen Verkehrswegen in Steinbrüchen u.a.m. zum Schutz der Arbeitnehmer und Anrainer gehören zu den unverzichtbaren Schutzmaßnahmen.

Von technischer Bedeutung sind auch die **mikro- und kryptokristallinen Varietäten** des „Quarzes“, wie Chalcedon (Hornstein, Feuerstein, chert), Achat und der amorphe Opal, der zwar die chemische Formel SiO_2 besitzt aber eine nicht gesetzmäßige, „löchrige“ Anordnung der SiO_4 – Tetraeder in seiner Gitterstruktur (kein Kristallgitter!) aufweist. Feuerstein (Abb. 2.10) wurde schon recht früh in der Geschichte der Menschheit aufgrund seiner Härte und relativ einfachen Bearbeitbarkeit zur Herstellung von Werkzeugen und Waffen verwendet, später auch zum Feuermachen, da der Feuerstein auf Stahl geschlagen Funken gibt, die sich mit einem geeigneten Zundermaterial (Zunderschwamm, Birkenrinde, Schwarzpulver, etc.) leicht entflammen lassen. Überregional bedeutsame Feuersteinvorkommen befinden sich vor allem in den Kreidesedimenten von Norddeutschland, Dänemark, Südengland und dem Pariser Becken, die schon in der Jungsteinzeit europaweit z.B. über die Bernsteinstraßen verhandelt wurden. In Österreich wurde ein neolithischer Bergbau auf Hornstein im

Zuge von Steinbrucharbeiten 1929/30 auf der Antonshöhe bei Mauer nächst Wien entdeckt (BAYER 1930, ROSKOSNY 1964).



Abb. 10: Feuersteine: links für Steinschlossflinten des 18. Jahrhunderts (Fundort: Schloss Neugebäude, Wien XI); rechts: jungsteinzeitliche Feuersteinklinge (Fundort: unbekannt)

Die heutige Relevanz dieser mikrokristallinen und amorphen SiO_2 -Modifikationen liegt in ihrer Anfälligkeit für chemische Umwandlungsprozesse (Alkaliaggregatreaktion, AAR → siehe dort) im stark basischen Milieu von Frischbeton.

Feldspatgruppe

Die Vertreter der Feldspatgruppe aus der Mischungsreihe zwischen K-reichem Orthoklas, Na-reichem Albit und Ca-reichem Anorthit (siehe Abb. 2.11) sind wichtige und sehr häufige gesteinsbildende Minerale bei magmatischen Gesteinen (Granit, Diorit, etc.) und höhergradigen Metamorphiten (Gneise, etc.).

chemische Formel (Endglieder):	Albit - $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ Orthoklas - KAlSi_3O_8 Anorthit - $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$
Mineralklasse:	Silikate (Gerüstsilikate)
Kristallsystem:	triklin oder monoklin
Härte nach MOHS:	6 – 6½
Dichte:	2,5 – 2,8 g/cm^3
Farbe:	weiß, grau, rosa, blau, braun, etc.
Strichfarbe:	weiß
Spaltbarkeit:	vollkommen in 2 Ebenen
Habitus:	prismatisch, tafelig

Die Klassifikation erfolgt anhand der chemischen Zusammensetzung, wobei als Untergruppen die Alkalifeldspäte und die Plagioklase unterschieden werden (siehe auch OKRUSCH & MATTHES 2005).

Die **Alkalifeldspäte** sind Mischkristalle der Endglieder Albit ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) und Orthoklas (KAlSi_3O_8). Die **Plagioklase** sind Mischkristalle der Endglieder Albit und Anorthit ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$).

Ihre praktische und technische Bedeutung liegt einerseits darin, dass sie wichtige Rohstoffe der keramischen Industrie und Glasindustrie darstellen, und andererseits dass sie aufgrund ihrer Eigenschaft der Spaltbarkeit die bruchmechanischen Eigenschaften von Gesteinsbaustoffen, in Abhängigkeit zu ihrer Korngröße, wesentlich beeinflussen. Grobkörnige Feldspäte reduzieren im Allgemeinen die Gesteinsfestigkeit.

Aufgrund ihrer Härte zählen die Vertreter der Feldspatgruppe ebenfalls zu den abrasiven, schleiß-scharfen Mineralen.

Ein weiterer wesentlicher Gesichtspunkt ist ihre Verwitterungsanfälligkeit, allerdings in fast „geologischen Zeiträumen“, unter sauren, tropisch-feuchten Verwitterungsbedingungen, wobei durch **Hydrolyse** (→ siehe dort) die Umwandlung zu Tonmineralen (Kaolinit) stattfindet. Kaolinitlagerstätten, als Rohstoffe für die keramische Industrie (z.B. Porzellan, Füllstoffe, etc.) finden sich beispielweise in Oberösterreich bei Schwertberg und Aisthofen. Das Ausgangsgestein – ein Granit der Böhmisches Masse – wurde im Paläogen und Neogen durch Hydrolyse, mit Ausnahme des praktisch inerten Quarzes, vollständig in eine Tonminerallagerstätte umgewandelt.

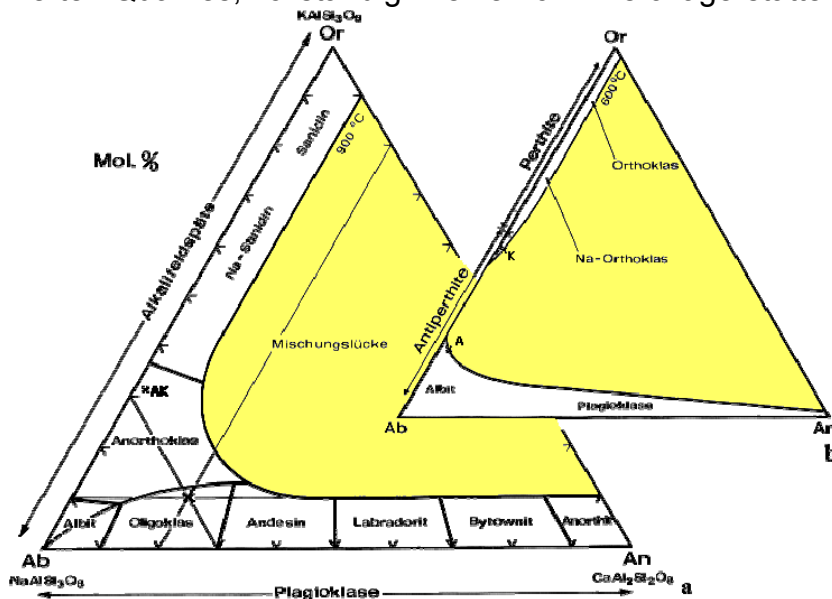


Abb. 11: Feldspat-Dreiecksdiagramm gelb - Mischungslücke (links bei 900°C, rechts bei 600°C; aus: <http://www.geologieinfo.de/mineralgruppen/feldspaete.html>)

Granatgruppe

Die Minerale der Granatgruppe kommen überwiegend in metamorphen Gesteinsserien vor und weisen ein breites chemisches Spektrum auf. Auch bei diesen Mineralen erfolgt die Klassifikation anhand der chemischen Zusammensetzung. Einige sehr häufig vorkommende Vertreter dieser Gruppe sind in der untenstehenden Liste aufgeführt (siehe auch OKRUSCH & MATTHES 2005).

chemische Formel (Auswahl):	Pyrop - $Mg_3Al_2(SiO_4)_3$ Almandin - $Fe_3Al_2(SiO_4)_3$ Grossular - $Ca_3Al_2(SiO_4)_3$
Mineralklasse:	Silikate (Inselsilikate)
Kristallsystem:	kubisch
Härte nach MOHS:	6½ - 7½
Dichte:	3,5 - 4,3 g/cm ³
Farbe:	häufig rot, rotbraun, gelbgrün, schwarz
Strichfarbe:	weiß
Spaltbarkeit:	keine
Habitus:	körnig, gedrungen

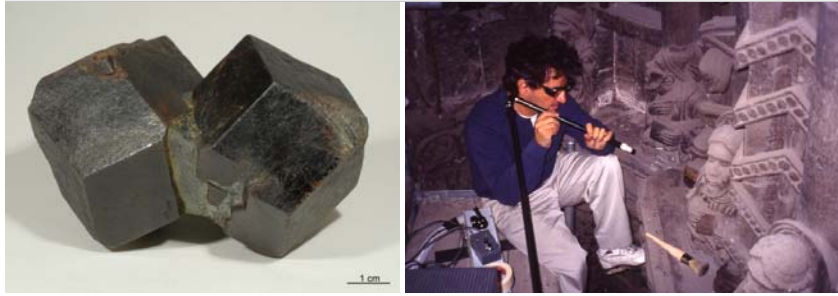


Abb. 12: links: charakteristische Kristallform (Rhombendodekaeder) von Granat (aus: <http://www.kristallin.de/Metamorphite/Granatgneise-druck.htm>); rechts: Reinigung der romanischen Bauplastik am Riesentor des Wiener Stephansdom, mit Hilfe eines Nd-YAG Lasers⁹ (Foto: Rohatsch)

Von praktischer Relevanz ist in erster Linie wiederum die Härte, welche, bei entsprechender Häufigkeit dieser Minerale die Bohr-, Schneid- und Lösarbeit von Fels und Gestein (z.B. Granatglimmerschiefer) wesentlich verteuern kann.

Andererseits wird Granatsand aufgrund seiner Härte gerne als abrasives Additiv beim Sandstrahlen und Wasserstrahlschneiden im Steinmetzgewerbe, zur Herstellung von Ausnehmungen in Küchenarbeitsplatten oder für Steinintarsienarbeiten eingesetzt. Synthetisch hergestellter Granat wird in feinmechanischen und optischen Instrumenten eingesetzt, z.B. als Laserkristall beim Nd-YAG Laser (Neodym – Yttrium Aluminium Granat – Laser), der in der Denkmalpflege zur Reinigung sensibler und historisch wertvoller Natursteinoberflächen eingesetzt wird (Abb. 2.12).

Amphibolgruppe (Hornblende)

Die überaus große und chemisch vielfältige Gruppe der Amphibole (Hornblenden) auch nur annähernd umfassend behandeln zu wollen, ist in diesem Rahmen eine Illusion und auch nicht sinnvoll. Hierfür wird für näher Interessierte auf die entsprechende umfangreiche Fachliteratur verwiesen (LEAKE et al. 1997, 2003; BURKE & LEAKE 2004; RAMDOHR & STRUNZ 1978, OKRUSCH & MATTHES 2005).

chemische Formel (Auswahl):	Anthophyllit - $Mg_7Si_8O_{22}(OH)_2$ Tremolit - $Ca_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2$ Ferro-Aktinolith - $Ca_2Fe^{2+}_5Si_8O_{22}(OH)_2$ Glaukophan - $Na_2(Mg_3Al_2)Si_8O_{22}(OH)_2$
Mineralklasse:	Silikate (Kettensilikate, Bandsilikate)
Kristallsystem:	monoklin oder orthorhombisch
Härte nach MOHS:	5 - 6
Dichte:	3 – 3,6 g/cm ³
Farbe:	variabel, häufig dunkelgrün, schwarz
Spaltbarkeit:	vollkommen, aber makroskopisch meist nicht erkennbar
Habitus:	recht unterschiedlich, häufig aber stängelig, faserig (Asbest!)

Hornblenden kommen meist in magmatischen und metamorphen Gesteinen (z.B. Amphibolit) vor. Von praktischer Relevanz sind die Härte (Abrasivität) und die Ausbildung diverser Asbestminerale, die zu Lungenkrankheiten, wie Asbestose führen können.

⁹ Der Lasereinsatz am Riesentor von St. Stephan für die Steinreinigung war zu Beginn der 1990er Jahre einer der Ersten in Österreich. Damals war es noch weitgehend unbekannt, dass durch die punktuell sehr starke Hitzebelastung stark gesundheitsschädliche, toxische Aerosole gebildet werden und die ausführenden Restauratoren daher mit entsprechender Schutzkleidung und Gasmaske arbeiten müssen.



Abb. 13: charakteristische Ausbildung einer Hornblende (Aktinolith;
aus: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Actinolite-247712.jpg>)

„Weiche Minerale“

Der Begriff „weiche Minerale“ ist im Sinne von „Fensterglas und Werkzeugstahl wird nicht geritzt“, sowie im Hinblick auf Verformungen, geringem Reibungswiderstand (Gleitung), aber auch leichte Löslichkeit, geringem Abriebwiderstand und mangelnde Politurbeständigkeit zu verstehen.

Neben **Talk** (Steatit: $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$) und **Graphit** (C), die wenn sie in größerer Menge vorkommen, Probleme z.B. für die Standsicherheit von Böschungen, Tunnelbauwerken und Kavernen verursachen können, sind vor allem die häufig vorkommenden und weit verbreiteten Tonminerale in vielerlei Hinsicht von großer praktischer Bedeutung für das Bauwesen (Tiefbau, Hochbau, Denkmalpflege, etc.).

Ton-Tonminerale

Der Sammelbegriff **Ton** bezeichnet einerseits Minerale, die überwiegend sehr feinkörnig mit einer Korngröße $< 2 \mu m$ vorkommen und andererseits Schichtsilikate, die ebenfalls sehr feinkörnig sind. Die Bezeichnung „Ton“ ist also lediglich Korngrößenabhängig. Es fällt in diesen Tonbegriff („**Rohton**“) sowohl die, durch mechanische Zerkleinerung entstandene Mineralfraktion beliebiger Zusammensetzung (z.B. Kalkspat bei alpinen „Seetonen“), als auch die Gruppe, der durch chemische, z.B. hydrothermale oder hydrolytische Umwandlungsprozesse von diversen Silikatmineralen (z.B. Feldspat, Biotit, etc.) entstandenen **Tonminerale**.

Tonminerale sind sehr weich und reagieren plastisch bei mechanischer Beanspruchung, außerdem besitzen sie eine große spezifische Oberfläche (bis zu 400–600 m^2/g), bei geringer Wasserdurchlässigkeit und hoher Kationenaustauschkapazität.

Suspensionen von Tonmineralen („**Bentonite**“) reagieren aufgrund ihrer Quellfähigkeit thixotrop und finden daher ihre Anwendung im Bauwesen u.a. für Schmalwände, als Dichtmaterial im Dammbau, sowie als Stützflüssigkeit bei Bohrungen und Schlitzwänden. Diese Quellfähigkeit, z.B. bei den Smektiten bedeutet, dass sie in den Zwischenschichten anorganische und organische Kationen und Moleküle sowie Flüssigkeiten und gasförmige Substanzen einlagern können, dabei expandieren die Schichtpakete von ca. 14 Å auf 17 Å¹⁰.

Weitere, wirtschaftlich wichtige Anwendungsbereiche von tonmineralreichen Gesteinen (Ton, Mergel, Mergelkalk, etc.) liegen bei der Zementerzeugung, in der keramischen Industrie, in der Lebensmittelindustrie (z.B. Schönung von Wein und Fruchtsäften,

¹⁰ 1Å (Ångström) = $10^{-4} \mu m = 10^{-7} mm = 10^{-10} m$

Trennmittel, etc.), in der Papierindustrie (Füllstoff), in der Kosmetik- und Hygieneindustrie (Katzenstreu, Waschmittel, Träger für Düfte und Farbstoffe, z.B. Lippenstift, etc.), als Zusatz für Farben und Lacke und vielen anderen Bereichen des täglichen Lebens.

Gerade diese in vielen Bereichen günstige und erwünschte Quellfähigkeit¹¹, kann aber auch zu großen Problemen u.a. im Tunnelbau, in Hinsicht auf die Standsicherheit von Hängen und Böschungen (z.B. Massenbewegungen in der Flyschzone, etc.), aber auch im Hinblick auf die Verwitterungsbeständigkeit von Bau- und Dekorgesteinen führen. Die Grundbausteine der Tonminerale sind SiO_4 – Tetraeder und $[\text{Mg}(\text{O},\text{OH})_6]$ -Oktaeder. Aus je einer Tetraeder- und Oktaederschicht werden die Zweischichttonminerale (1:1 Schichtsilikate) aufgebaut, aus je 2 Tetraederschichten und einer Oktaederschicht die Dreischichttonminerale (2:1 Schichtsilikate). Kombinationen aus Zweischicht- und Dreischichtlagen werden als „mixed layer“-Tonminerale bezeichnet.

Einige Beispiele (Auswahl):

Zweischichttonminerale: Kaolinit - $\text{Al}_4[(\text{OH})_8]\text{Si}_4\text{O}_{10}]$ (Rohstoff für Porzellan, Füllstoff für Gummi, Papier, etc.)

Dreischichttonminerale: Smektite (Montmorillonit - $\text{Al}_{1,67}\text{Mg}_{0,33}[(\text{OH})_2]\text{Si}_4\text{O}_{10}] \times \text{Na}_{0,33}(\text{H}_2\text{O})_4$, Illit, etc. (quellfähig, Ionentauscher, Trinkwasseraufbereitung, Katzenstreu)

„mixed layer“: z.B. Kaolinit/Smektit; Illit/Smektit

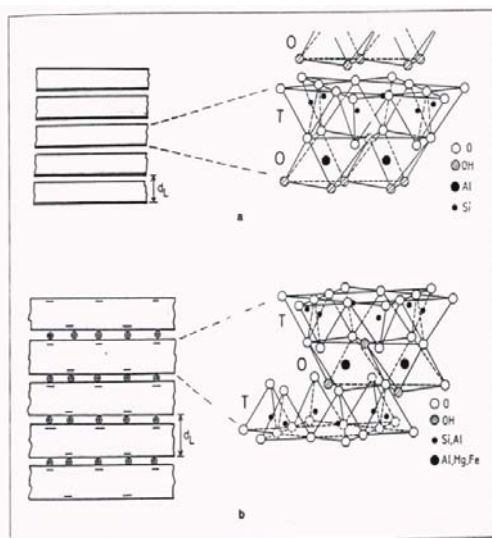


Abb. 14: Räumliche Darstellung der Tonminerale; a – Zweischicht-Tonminerale z.B. Kaolinit; b – Dreischicht-Tonminerale z.B. Illit (aus: JASMUND & LAGALY 1993)

Halit (Steinsalz)

Halit¹² ist ein in marinen Sedimentgesteinen, häufig vorkommendes, auch lagerstättenbildendes Mineral, das durch Verdunstung (Evaporation) des Meerwassers gebildet wurde. Steinsalz war schon in der Frühzeit ein wichtiges Handelsgut („weißes Gold“) und auch in Österreich gibt es bedeutende Lagerstätten (Hallstatt, Hallein, Bad Hall, etc. – beachte die Silbe „half“ = Salz), wo auch heute noch untertage durch

¹¹ Unterscheidung: Quellen/Schwellen

Quellen = physikalischer Vorgang bei Tonmineralen

Schwellen = chemischer Vorgang bei Sulfaten

¹² griech.: halos – Salz; lithos – Stein

Laugungsprozesse Salzsole gewonnen wird. Vergesellschaftet ist Halit mit zahlreichen anderen Evaporitmineralen, die in Abhängigkeit ihrer Löslichkeit aus dem verdunstenden Meerwasser abgeschieden wurden:

zuerst die schwer löslichen: Karbonate (Kalkstein, Dolomit)
dann: Sulfate (Gips, Anhydrit)
dann: Halogenide (Halit, Sylvin)
zuletzt: Kali- und Magnesiumsalze (Carnallit, Sylvinit, etc.)

Von praktischer Bedeutung ist Steinsalz einerseits aufgrund seiner Verwendungsmöglichkeiten in der Nahrungsmittelindustrie und für den Winterstreudienst und andererseits wegen seines Potentials, Schäden durch Stahlkorrosion oder Salzkristallisation zu bewirken. Ebenso gehören die alpinen Regionen Österreichs, in denen Steinsalzlagerstätten („*Haselgebirge*“ – Mischung aus Steinsalz, Tongesteinen, Gips, Anhydrit, etc.) vorkommen, in geologischer und bautechnischer Hinsicht zu den sensiblen Gebieten, in denen auf die Gefahr von Massenbewegungen (Hangrutschungen), Erdfällen, Gipskarst, etc. besonderes Augenmerk zu richten ist.

chemische Formel:	NaCl
Mineralklasse:	Halogenide
Kristallsystem:	kubisch
Härte nach MOHS:	2 - 3
Dichte:	2,1 – 2,2 g/cm ³
Farbe:	farblos, weiß, orange, blau (bei radioaktiver Bestrahlung)
Spaltbarkeit:	vollkommen
Habitus:	Würfel
sonstige Eigenschaften:	leicht wasserlöslich (Geschmacksprobe!)



Abb. 15: Charakteristische würfelförmige Steinsalzkristalle (aus: <http://de.wikipedia.org/wiki/Halit>)

Gips - Anhydrit

Die Sulfatminerale Gips und Anhydrit zählen wie das Steinsalz zu den Evaporiten und treten sowohl fein verteilt in Sedimentgesteinen, als auch in gesteinsbildender Häufigkeit als Gipsstein oder Anhydritstein auf (z.B. Lagerstätten Preinsfeld bei Heiligenkreuz NÖ, Wien am Grundlsee OÖ, etc.).

Gips:

chemische Formel:	CaSO ₄ × 2H ₂ O
Mineralklasse:	Sulfate
Kristallsystem:	monoklin
Härte nach MOHS:	2
Dichte:	2,31 g/cm ³

Farbe:	farblos, weiß, orange, gelblich, rötlich
Spaltbarkeit:	vollkommen in einer Ebene
Habitus:	tafelig, prismatisch, nadelig, körnig
sonstige Eigenschaften:	wasserlöslich (Kristallwasserprobe!)

Anhydrit:

chemische Formel:	CaSO ₄
Mineralklasse:	Sulfate
Kristallsystem:	orthorhombisch
Härte nach MOHS:	3 – 3 ½
Dichte:	2,98 g/cm ³
Farbe:	farblos, weiß, grau, rosa
Spaltbarkeit:	gut
Habitus:	körnig, massige Aggregate
sonstige Eigenschaften:	wandelt sich bei Wasserzutritt langsam zu Gips um

Gips und Anhydrit sind wichtige mineralische Rohstoffe, die bergmännisch gewonnen werden, wobei Gips als Abfallprodukt aus Rauchgasentschwefelungsanlagen die Bedeutung des bergmännisch gewonnenen Gipses immer stärker herabsetzt. Durch die Eigenschaft des Gipses bei Erhitzung sein Kristallwasser teilweise oder vollständig abzugeben (siehe auch Kristallwasserprobe) und nach dem Brennvorgang auch wieder aufzunehmen eignet sich Gips als Bindemittel für unterschiedliche Einsatzbereiche im Bauwesen (Stuckgips, Anhydritestrich, Zusatz für Zement, etc.).

Unterschiedliche Brenntemperaturen bewirken beim Endprodukt unterschiedliche Eigenschaften hinsichtlich seiner Reaktivität mit Wasser und seiner erzielbaren Härte und Festigkeit.

Gips- und Anhydritvorkommen in Gesteinsformationen führen im Bauwesen immer wieder zu großen Problemen, einerseits weil Gips relativ leicht wasserlöslich ist (~2g/l Wasser bei 20°C) und sulfathaltige Formationswässer Beton angreifen (→ Ettringitbildung - Sulfatreiben) und andererseits weil sich fein verteilter Anhydrit bei Wasserzufuhr, beispielsweise in Tunnelbauwerken, unter Volumszunahme um bis zu 61% in Gips umwandelt und dies zu starken Sohlhebungen im Tunnelbauwerk führen kann. Eine aktuelle Darstellung und Diskussion dieser Problematik für den Tunnelbau gaben jüngst ZETTLER, POISEL, PREH & KONIETZKY (2010).



Abb. 16: Erdfall von Schmalkalden in Thüringen der durch Gipslösungsprozesse im Untergrund verursacht wurde (aus: <http://news.de.msn.com/panorama/bilder.aspx?cp-documentid=155141066&page=9>)

Ettringit

Entdeckt wurde dieses Mineral in vulkanischen Gesteinen bei Ettringen in der Eifel und wurde auch nach diesem Fundort benannt. Die Erstbeschreibung erfolgte durch LEHMANN (1874).

chemische Formel:	$\text{Ca}_6\text{Al}_2[(\text{OH})_{12}\text{I}(\text{SO}_4)_3] \times 26 \text{H}_2\text{O}$ $3 \text{CaO} \times \text{Al}_2\text{O}_3 \times 3\text{CaSO}_4 \times 32 \text{H}_2\text{O}$ (bauchemische Schreibweise)
Mineralklasse:	Sulfate
Kristallsystem:	trigonal, pseudohexagonal
Härte nach MOHS:	2 – 2½
Dichte:	1,8 g/cm ³
Farbe:	farblos, weiß, gelblich
Spaltbarkeit:	vollkommen
Habitus:	kleine prismatische oder nadelige Kristalle
sonstige Eigenschaften:	leicht wasserlöslich – Sulfatreiben bei Beton

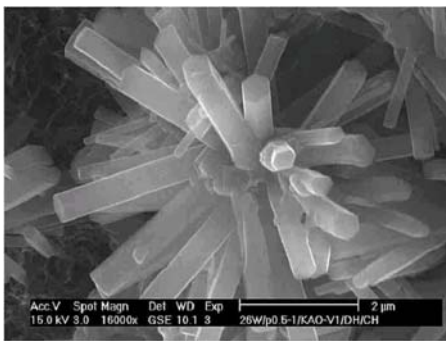


Abb. 17: Ettringitkristalle im Rasterelektronenmikroskop (aus: http://www.uni-weimar.de/Bauing/fib/forschung/fo_shz.htm)

Neben den mittlerweile zahlreichen natürlichen Vorkommen dieses Minerals, bildet sich Ettringit in Beton, durch die Verwendung oder das Eindringen von sulfathaltigen Wässern. Bei der Kristallisation kommt es durch extrem hohen Anteil von Kristallwasser, das bis rund 80°C gebunden ist, zu einer Verdreifachung des Volumens und somit zur Schädigung des Betons, die Sulfatreiben bezeichnet wird. Synthetisch hergestellter Ettringit wird aufgrund seiner Eigenschaften zur Herstellung von Quellschichten und Brandschutzputzen, sowie als Füllstoff in der Papierindustrie und für Dispersionsfarben verwendet.

Kalzit - Dolomit

Die Karbonatminerale Kalzit und Dolomit gehören zu den wichtigen gesteinsbildenden Mineralen und besitzen eine hohe praktische Relevanz als Rohstoffe für das Bauwesen, aber auch für andere Industriezweige (z.B. in der Papierindustrie als Füllstoff, etc.). Die Bestimmung und Unterscheidung erfolgt in der Praxis mit Hilfe der Salzsäurereaktion (→ siehe dort).

Kalzit:

chemische Formel:	CaCO_3
Mineralklasse:	Karbonate
Kristallsystem:	trigonal
Härte nach MOHS:	3
Dichte:	2,71 g/cm ³
Farbe:	farblos, weiß, orange, gelblich
Spaltbarkeit:	vollkommen in drei Ebenen
Habitus:	tafelig, prismatisch, nadelig, körnig

sonstige Eigenschaften:	braust mit verdünnter Salzsäure
Dolomit:	
chemische Formel:	CaMg(CO ₃) ₂
Mineralklasse:	Karbonate
Kristallsystem:	trigonal
Härte nach MOHS:	3 ½ - 4
Dichte:	2,9 g/cm ³
Farbe:	farblos, weiß, gelblich, grau
Spaltbarkeit:	vollkommen
Habitus:	tafelig, körnig
sonstige Eigenschaften:	das Mineralpulver braust mit verdünnter Salzsäure

Quellenverzeichnis

- BAYER, J. (1930): Ein Feuersteinbergwerk aus der jüngeren Steinzeit auf der Antonshöhe bei Mauer. In: Heimatjahrbuch der Pfarrgemeinde Mauer, **7**, S. 17–22.
- BURKE, E.A.J. & LEAKE, B.E. (2004): Named Amphiboles: A new category of amphiboles recognized by the international mineralogical association (IMA), and the proper order of prefixes to be used in amphibole names. *Can. Mineral.*, **42**, pp. 1881–1883.
- CERCHAR - Centre d'Études et Recherches de Charbonnages de France (1986): The Cerchar Abrasiveness Index. – 12 S., Verneuil.
- EUROPÄISCHE KOMMISSION GESUNDHEIT, SICHERHEIT UND HYGIENE AM ARBEITSPLATZ
(Hrsg.): Ein praxisbezogener Leitfaden zu den optimalen Verfahren zur Verhinderung oder Minimierung von asbestbezogenen Risiken bei Arbeiten, die im Zusammenhang mit Asbest stehen (oder stehen können) – für Arbeitgeber, Arbeitnehmer und Arbeitsaufsichtspersonen (http://www.arbeitsinspektion.gv.at/NR/rdonlyres/0B28C0C7-D2E0-46BE-9C3C-A472CE1B6700/0/Leitfaden_Asbest.pdf).
- JASMUND, K. & LAGALY, G. (1993, eds.): Tonminerale und Tone. Struktur, Eigenschaften, Anwendung und Einsatz in Industrie und Umwelt. - 490 S., Darmstadt (Steinkopff).
- LEAKE, B. E. et al. (2003): Nomenclature of amphiboles: additions and revisions to the International Mineralogical Association's 1997 recommendations. *Can. Mineral.*, **41**, 1355–1362.
- LEHMANN, J. (1874): Über den Ettringit, ein neues Mineral in Kalkeinschlüssen der Lava von Ettringen (Laacher Gebiet), *N. Jahrb. Mineral. Geol. Paläont.*, 273-275.
- MATTHES, S. (2001): Mineralogie. - Berlin (Springer Verlag).
- MOHS, F. (1836): Leichtfaßliche Anfangsgründe der Naturgeschichte des Mineralreiches. - 1. Theil, 2. Aufl., S. 304 - 309, Wien 1836.
- OKRUSCH, M. & MATTHES, S. (2005): Mineralogie - Eine Einführung in die spezielle Mineralogie, Petrologie und Lagerstättenkunde. - 7. überarb. Aufl., 522 S. (Springer Verlag).
- PRESS, F. & SIEVER, R. (1995): Allgemeine Geologie. – Heidelberg-Berlin-Oxford (Spektrum Akademischer Verlag).
- RAMDOHR, P. & STRUNZ, H. (1978): Lehrbuch der Mineralogie. 16. Aufl., Stuttgart (Ferd. Enke Verlag).
- ROSKOSNY, J. (1964): Das Hornsteinbergwerk auf der Antonshöhe bei Mauer. In: *Unsere Heimat*, Jg.35 (1964), Nr. 1/3, S. 34–38
- SCHUMANN, W. (2007): Der große BLV Steine- und Mineralienführer. – BLV Buchverlag, München.
- SEBASTIAN, U. (2009): Gesteinskunde - Ein Leitfaden für Einsteiger und Anwender. - Heidelberg (Spektrum Akademischer Verlag).
- Normen
ÖNORM EN 101: Keramische Fliesen und Platten - Bestimmung der Ritzhärte der Oberfläche nach Mohs. 1992 04 01