

# Inhaltsverzeichnis

|   |    |
|---|----|
| 1. Einteilung der Mineralogie.....  | 2  |
| 2. Geschichte der Mineralogie.....  | 2  |
| 3. Was ist ein Mineral?.....  | 4  |
| 4. Mineralnamen .....   | 5  |
| 5. Ausbildungsform der Minerale.....  | 7  |
| 6. Indizierung/Indizes.....   | 10 |
| 7. Stereographische Projektion.....   | 12 |
| 8. Bravais - Gitter .....   | 16 |
| 9. Allgemeine Mineraleigenschaften.....                                       | 18 |
| 10. Entstehung von Mineralien, Gesteinen und Lagerstätten.....                | 20 |
| 11. Lagerstätten und Minerale der liquidmagmatischen Frühkristallisation..... | 24 |
| 12. Silikatsystematik.....  | 26 |
| 13. Wiederaufnahme der magmatischen Differentiationsreihe.....                | 30 |
| 14. Sedimentäre Abfolge.....  | 32 |
| 15. Metamorphe Abfolge.....   | 36 |

# 1. Einteilung der Mineralogie

a) allgemeine Mineralogie:

- Kristallographie
- Mineralphysik
- Mineralchemie
- allgemeine Eigenschaften der Minerale

b) spezielle Mineralogie:

- Mineralsystematik (orientiert sich an der chemischen - kristallographischen Bauweise; beschäftigt sich auch mit der Mineralgenese - genetische Betrachtungsweise der Mineralien; wie entstehen Mineralien und unter welchen Gesetzmäßigkeiten treten sie auf?)
- Paragenese (gemeinsames Vorkommen von Mineralien; z.B das Gemenge Granit besteht aus Feldspat, Quarz und Glimmer)
- Gesteinskunde
- Petrographie (Lagerstättenkunde)

# 2. Geschichte der Mineralogie

Steinzeitmensch:

- war 1. Bergmann und Mineraloge
- es gibt Artefakte aus Feuerstein, Hornstein und Serpentin
- hat schon Mineralien und Gesteine für Werkzeuge gesucht und abgebaut - neolithisches Bergwerk in Mauer bei Wien
- Oberösterreich: Ramesch - Höhle (30.000 Jahre), Mauthausen, Gusen, Gauneukirchen (5.000 Jahre)

Kelten, Illyrer und Römer:

- haben bereits richtigen Bergbau betrieben
- das "Tauerndgold" wurde bereits von STRABO (antiker Schriftsteller) erwähnt
- Salzbergbau (Hallstatt, Dürnberg bei Hallein)
- Eisenbergbau (Hüttenberg/Känten, ferrum noricum - Norisches Eisen - wurde bereits in Schriften erwähnt - mußte nicht veredelt werden - enthält Mn)
- der steirische Erzberg war zu Römerzeiten noch nicht bekannt
- Kupferbergbau (Mühlbach und Mitterberg(Salzburg), Kjtzbüchel/Kelchalm)

Völkerwanderungszeit:

- politischer Niedergang und damit auch Niedergang des Bergbaus

Mittelalter – Neuzeit:

- ab dem 12. und 13. Jahrhundert beginnt sich die Mineral/Bergbaukunde wieder zu erholen - ab dem 15. Jahrhundert (spätes Mittelalter) gab es ein erhebliches Wissen im Bergbau und in der Mineralkunde

- Georgius AGRICOLA (1556:"Vom Bergwerkh XII Bücher" Bergbau-Bibel)

- deutsche Bergleute hatten bereits einen hohen Stellenwert, was sich auf die Politik auswirkte (sind von Engländern, Ungarn und der Slowakei geholt worden)

- ab diesem Zeitpunkt kam es zu einem großen Aufschwung bis zum Nationalismus im 19. Jahrhundert.

Relativ spät wurde ein Institut in Österreich gegründet (Montanschule in Leoben durch Erzherzog Johann).

### 3. Was ist ein Mineral?

Ein Mineral ist ein chemisch einheitlicher, fester, natürlich entstandener Bestandteil der Erdkruste.

„chemisch einheitlich“: Reinstoffe, aus einer (Element) oder mehreren Atomsorten (chem. Verbindung). Minerale aus chem. Verb. sind weit in der Überzahl. Nur sehr wenige Minerale bestehen aus Elementen, z.B.  $\alpha$ -Schwefel oder Kohlenstoff in den Modifikationen Graphit oder Diamant.

Metalle treten öfter rein ("gediegen") auf, z.B. Gold, Silber, Kupfer, Platin, Wismut, Arsen, Blei, .... Gediegenes Eisen kann extraterrestrischen Ursprungs (Meteoreisen) oder durch einen natürlichen Hochofenprozeß reduziert sein.

„fest“: Nicht zu den Mineralen gehören: Lösungen, Schmelzen (auch Magma) und Gase. Ausnahme: Quecksilber. Kommt immer mit Zinnober vor, manchmal auch gediegen.

„natürlich“: nicht eindeutig definiert, jedoch ohne Zutun des Menschen. Kunstprodukte sind keine Minerale, wie z.B. Schlacken, gezüchtete Kristalle, künstliche Rubine usw. Grauzone: In antiken Schlacken entstehen durch Oberflächeneffekte neue Minerale. In Griechenland z.B. seltene Chloride, weil die heiße Schlacke in das Meer gekippt wurde.

Es gibt zur Zeit ca. 3500 Mineralspezies, davon jedoch nur 200 häufige oder technisch wichtige. Viele der neu entdeckten Minerale sind undurchsichtig (opak) und nur kleine Einschlüsse in schon bekannten Mineralen.

## 4. Mineralnamen

viele enden auf -it. Bei neuen Namen ist diese Endung verbindlich. Viele historische Namen sind jedoch erhalten geblieben.

|                    |                     |
|--------------------|---------------------|
| Formel:            | NaCl                |
| Mineralname :      | Halit               |
| Trivialname :      | Steinsalz, Kochsalz |
| chem. Bezeichnung: | Natriumchlorid      |

Auch werden Abarten von Mineralen oft fälschlich gebraucht, so wäre es korrekt zu sagen : Quarz, Varietät Bergkristall / Rosenquarz. Der Baryt (Schwerspat) hat seine Endung vom gr. *barytos* (schwer), der Aktinolith (eine Hornblende) vom gr. *lithos* (Stein).

Namensherleitung :

- aus griechischen oder lateinischen Bezeichnungen  
    Calcit von Kalk, dieser wiederum von lat. calx
- nach enthaltenen Elementen  
    Fluorit, Niobit, Wolframit
- nach dem Fundort  
    Scotlandit (1983), erstes Sulfidmineral i.d. Natur (PbS<sub>03</sub>)  
    Aragonit, Schwazit (Tirol), Freibergit
- nach Persönlichkeiten  
    Goethit, Millerit, Willenit, Wulfenit
- Kombinationen

Alte deutsche Mineralnamen sind heute noch vielfach in Gebrauch, vor allem bei Sulfiden die Kiese, Glanze, Blenden und Fahle (klassische Einteilung).

Eisenkies = Pyrit (FeS<sub>2</sub>), Kupferkies = Chalkopyrit (CuFeS<sub>2</sub>), Bleiglanz = Galenit (PbS), Zinkblende = Sphalerit (ZnS), Flußspat = Fluorit (CaF<sub>2</sub>)

Die sog. Spate haben chemisch wenig gemeinsam, der Name wurde wahrscheinlich wegen ihrer leichten Spaltbarkeit gewählt.

Petrographie: ist die Gesteinskunde, manchmal auch Petrologie genannt. Ein Gestein ist ein Gemenge von Mineralen. Die Petrochemie wäre die Lehre vom Chemismus der Gesteine, die sog. Petrochemie müßte eigentlich Petrolchemie heißen.

Die Mischung der Minerale Quarz, Feldspat und Glimmer führt zum Gestein Granit, einem sog. polymineralischem Gestein. Monomineralische Gesteine sind fast oder ausschließlich aus einem Mineral aufgebaut. Warum nennt man reinen Kalk nicht gleich Calcit ? Die Größe für Minerale liegt zwischen mm und dm, die für Gesteine im m bis km Bereich.

## 5. Ausbildungsform der Minerale

Minerale bilden sich entweder in kristallisiertem Zustand (definiertes Kristallgitter) oder amorph (keine Gitterordnung, selten). Amorphe Minerale sind z.B.

gewöhnlicher Opal ( $\text{SiO}_2 \cdot x \text{H}_2\text{O}$ )

"Shungit", aus Kohlenstoff

Kristallisierte Minerale treten auf als

- Kristalle (gerade Flächen, Kanten)
- derb o. dicht (feinkristallines Gefüge, häufig)

Man unterscheidet zwischen Idealkristall und Realkristall. Idealkristalle werden von gleichmäßigen Flächen begrenzt, kommen in der Natur kaum vor (Fehler durch unregelmäßige Stoffzufuhr, Fehler im Gitterbau)

Kristallwachstum ist sog. Appositionswachstum; kleinste Bausteine werden an einen Kristallkeim angelagert.

Phantom-Quarz: entsteht durch Auflagerung an einen älteren Kristall (bes. häufig bei Quarz)

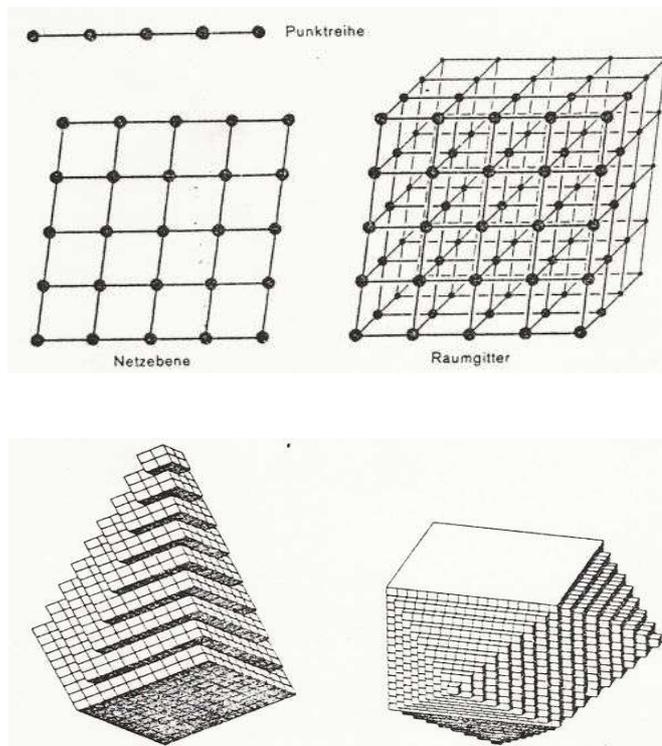
Szepter-Quarz: (fertig ausgebildeter) Quarzkristall wird zum Teil begraben, der vorstehende Teil kann als Keim für einen neuen Kristall dienen.



Gesetz der Winkelkonstanz (N. Steno, 17. Jhd.): Analoge Flächen der selben Mineralart schließen immer den gleichen Winkel ein. Dies gilt sowohl für Ideal- als auch für Realkristalle; d. h. die Winkel zwischen den einzelnen Flächen sind charakteristisch für eine Mineralart  
Messung der Winkel: Anlegegoniometer (bei größeren Exemplaren), Reflexionsgoniometer, Wulffsches Netz

Ursache der regelmäßigen Form: Raüy (1781): Kristalle entstehen durch regelmäßiges Aneinanderfügen kleinster Bausteine (fortgesetzte Translation der Gitterpunkte, Abstände zwischen den Punkten sind Stoffkonstanten): Punktreihe (1-Dim.) - Netzebene (2-Dim.) - Raumgitter (3-Dim.)

Im einfachsten Fall entstehen so Parallelepipede (3 schiefe Winkel, 3 verschieden lange Abstände)



Definition des Kristalls : regelmäßig gebauter Naturkörper mit geraden Kanten und ebenen Flächen (Satz von Euler:  $E + F = K + 2$ )

Offene und geschlossene Formen:

Offene Formen sind Formen, die für sich all eine keine geschlossenen Polyeder bilden können (sozusagen Polyeder, denen Flächen fehlen; z. B. Pyramide ohne Basisfläche, Prisma = Quader ohne Grund- und Deckfläche); durch Kombination von offenen Formen nach bestimmten Gesetzmäßigkeiten erhält man geschlossene Formen. Beispiele für geschlossene Formen: Würfel, Oktaeder, Tetraeder (Anm.: auch geschlossene Formen können kombiniert werden)

Kristallographische Urformen:

- a) Pedion (Fußfläche): eine einzelne Fläche
- b) Pinakoid (Flächenpaar): zwei parallele, gleichartige Flächen
- c) Doma (Dach): zwei gleiche Flächen, die an einer Kante aneinanderstoßen (Symmetrieebene!)
- d) Sphen (Keil): zwei gleiche Flächen, die an einer Kante aneinanderstoßen (zweizähl. Symmetrieachse !)
- e) Prisma: eine Form aus mind. drei Flächen, die sich in parallelen Kanten schneiden

Alle fünf kristallographischen Urformen sind offene Formen. Durch Kombinationen der kristallographischen Urformen entstehen die kristallographischen Formen, die sich auf Grund der ihnen eigenen Symmetrieelemente in eine der 32 Kristallklassen einordnen lassen (die wiederum Untergruppen der sieben Kristallsysteme sind) .

Makroskopische Symmetrieelemente (mit freiem Auge erkennbar)

1. Symmetrie- oder Spiegelebene: E

Fläche, die einen Kristall spiegelbildlich in zwei gleiche Hälften teilt (ein Kristall kann 0,1,3,5,7 oder 9 Spiegelebenen besitzen)

Haupt- (bzw. Neben-)symmetrieachsen: liegen parallel (bzw. normal) zu den Raumrichtungen des Achsenkreuzes

2. Symmetrie - oder Drehachse, Gyre: A(n)

Bei Drehung um den Winkel  $360/n$  um diese Achse wird der Kristall mit sich selbst zur Deckung gebracht ( $n = 2, 3, 4, 6$ ; nicht  $5, 7, 8, 9$  usw.)

3. Symmetrie- oder Inversionszentrum: Z

Wenn zu jeder Fläche eine gleichwertige, parallele Gegenfläche existiert, hat der Kristall ein Symmetriezentrum. (Falls man den Kristall mit einer Fläche so auf eine ebene Unterlage legen kann, daß eine andere Fläche parallel zur Unterlage ist.)

4. Inversions- oder Drehspiegelachse: I

Protoprisma: Achsen  $a_1$  und  $a_2$  verlaufen durch senkrechte Kanten

Deuteroprisma: Achsen  $a_1$  und  $a_2$  verlaufen durch senkrechte Flächen

## 6. Indizierung/Indizes

- Kurzbezeichnung von Kristallflächen (welche Lage in Bezug auf die Achsen)

a) Fläche in allgemeiner Lage:

- alle 3 Achsen des Achsenkreuzes werden geschnitten  
- genauer: alle 4 Achsen des Achsenkreuzes werden geschnitten (gilt für die trimetrischen Systeme)

b) Fläche, die zwei Achsen schneidet und zur dritten parallel verläuft

c) Fläche, die eine Achse schneidet und zu den anderen beiden parallel verläuft

Die Lage der Fläche wird durch die Angabe der Achsenabschnitte definiert (Parameterverhältnis).

Beispiel: Oktaeder

- hat Flächen in allgemeiner Lage  
- Voraussetzung: alle Achsenabschnitte sind gleich lang; egal wie groß der Oktaeder ist

a) Weiß'sche Indizes: 1816

- eine Fläche schneidet alle 3 Achsen a, b, c; das Parameterverhältnis ist  $a:mb:nc$  für  $m, n = 1, 2, \dots$   
- Index unendlich bedeutet, daß die Fläche nicht geschnitten wird

b) Miller'sche Indizes: 1839

- werden aus den reziproken Werten der Weiß'schen Indizes gebildet  
- unendlich  $\rightarrow 1/\infty = 0$  (Fläche wird nicht geschnitten)  
- z.B. (100) - a - Achse wird geschnitten, b- und c - Achse nicht

Beispiel:

- das Weiß'sche Achsenabschnittverhältnis sei:  $1a : \frac{3}{2}b : 3c$   
Miller'sches Achsenabschnittverhältnis:  $1 : \frac{2}{3} : \frac{1}{3}$   
Miller'sche Indizes: (321)

- die Fläche (321) schneidet die a - Achse in einem Drittel des Abstandes der c - Achse

Beispiel: Würfel

- Achsenabschnittverhältnis nach Weiß:  $1a : \inf b : \inf c$
- Achsenabschnittverhältnis nach Miller:  $1 : 1/\inf : 1/\inf$
- Miller'sche Indizes: (100)

Indizes sind ganze rationale Zahlen und gehen selten über 7 hinaus.

Die Oktaederfläche schneidet a,b,c im gleichen Abstand, die Miller'schen Indizes sind (111). (111) wird auch Einheitsfläche genannt. Für jedes System gibt es eine Einheitsfläche, nur die Lage ist in den einzelnen Systemen unterschiedlich.

Beispiel: triklines System

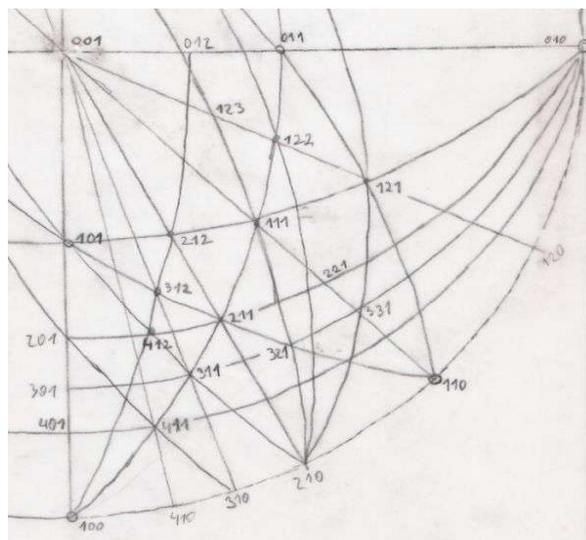
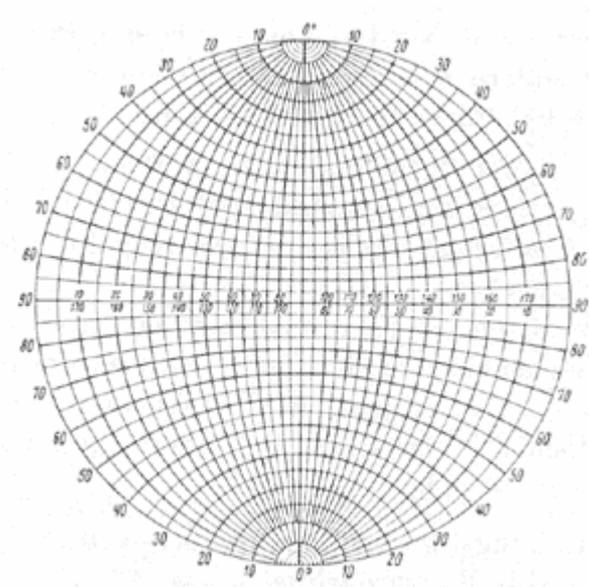
- man hat Flächen wie (h0l), (hk0), (0kl) oder (hkl)
- die Abschnitte auf den einzelnen Achsen sind nicht genau festgelegt

Beispiel: Würfel

- Fläche vorne: (100)
- Fläche hinten: (-100)
- Deckfläche (001)
- Bodenfläche (00-1)
- Seitenflächen (010) bzw. (0-10)
- {100} charakterisiert den gesamten Würfel

Für das regelmäßige Oktaeder gilt {111}, für das Rhombendodecaeder {110} und für das Pentagondodecaeder {210}





Positionswinkel: Jede Fläche (mit ihren Indizes) entspricht genau einem Punkt auf dem Wulff'schen Netz. Dieser kann auch durch die Positionswinkel angegeben werden (würden der geogr. Länge u. Breite entsprechen).

Bezeichnung :  $\varphi$  und  $\rho$

$\varphi$  : Abschnitt auf dem Großkreis

$\rho$ : Radius

|           | - ( 001 ) - | - ( 010 ) - | - ( 100 ) - |
|-----------|-------------|-------------|-------------|
| $\varphi$ | 0°00′       | 0°00′       | 90°         |
| $\rho$    | 0°00′       | 90°         | 90°         |

Begriffe:

Formenreihe: Gesamtart der an einer Kristallart möglichen Flächen

Tracht: tatsächliches Erscheinungsbild, Flächeninventar (Blatt 16)

Habitus: äußeres Erscheinungsbild, Eindruck (pyramidal, kurzprismatisch , ...)

Zone: Gesamtheit der Flächen, die untereinander parallele Kanten bilden. Ein Würfel hat z.B. 3 Zonen. In der stereographischen Proj. sind Zonen gerade Striche oder Bögen (wenn nicht parallel zu den Achsen).

Indizes für eine Zone bzw. Zonenachse :  $[uvw]$  ; im Gegensatz zu Fläche  $(hkl)$  und kompletter Form  $\{mno\}$ .

Zonengleichung :

für eine zu einer Zone gehörige Fläche muß gelten

$$hu + kv + lw = 0$$

Beispiele

a) liegt  $(201)$  in  $[-112]$  ?

$$2*(-1)+0*1+1*2 = 0 \text{ ja}$$

b) gegeben sind (1-12) und (-100), gesucht wird [uvw]

Determinantenmethode

|    |    |
|----|----|
| 1  | 1- |
| 1- | 0  |
| 2  | 0  |

$$u = -1 * 0 + 2 * 0 = 0$$

$$v = -(1 * 0 - 2 * (-1)) = -2$$

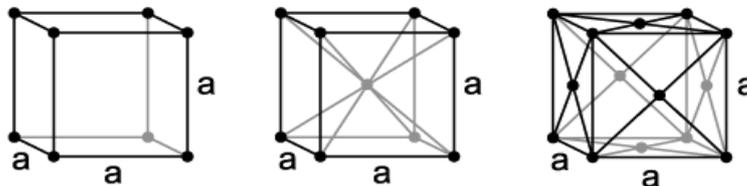
$$w = 1 * 0 - (-1) * (-1) = 1$$

---> [0-2-1]

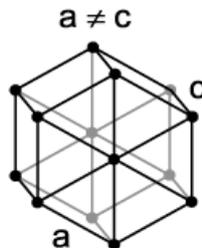
## 8. Bravais - Gitter

Die 14 Bravais-Gitter ergeben sich aus den 5 planaren Translationsgruppen. Aus den Bravais-Gittern lassen sich noch nicht die 32 Symmetrieklassen ableiten. Man benötigt weitere Symmetrieelemente die mit freiem Auge nicht mehr erkannt werden : "Mikrosymmetrie " (Translation, Schraubachsen, Gleitspiegelebenen). Diese führen zu den 230 Raumgruppen, die jedoch nur in der Röntgenstrukturanalyse relevant sind.

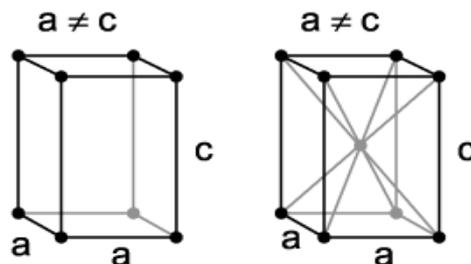
|         |   |                  |   |                              |
|---------|---|------------------|---|------------------------------|
| Kubisch | 3 | eckenzentriert   | P | (einfach kubisch)            |
|         |   | raumzentriert    | I | (innenzentriert)             |
|         |   | flächenzentriert | F | (allseitig flächenzentriert) |



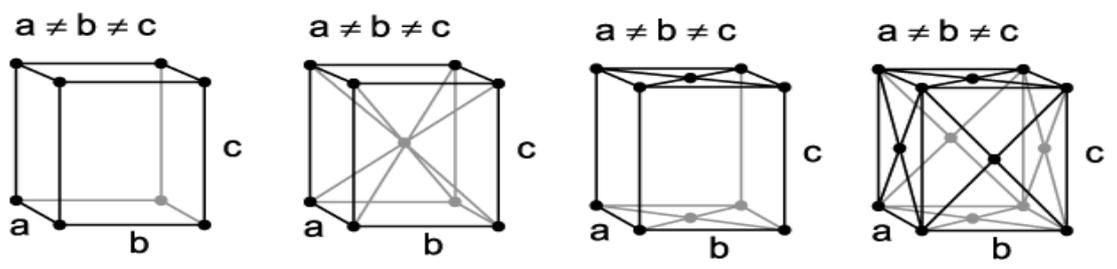
|             |   |                    |   |                          |
|-------------|---|--------------------|---|--------------------------|
| Trimetrisch | 2 | hex.-prismatisch   | P | (halbiertes hexagonales) |
|             |   | hex.-rhomboedrisch | R |                          |



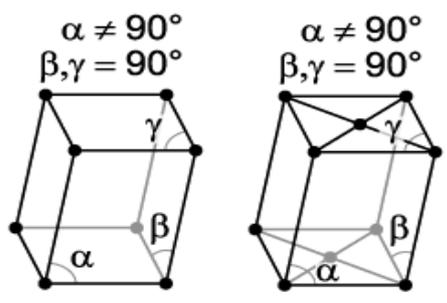
|            |   |                      |   |
|------------|---|----------------------|---|
| Tetragonal | 2 | tetr.-eckenzentriert | P |
|            |   | tetr.-raumzentriert  | I |



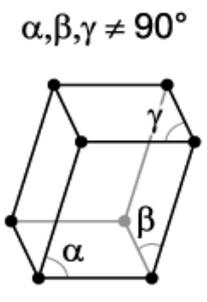
Orthorhombisch 4  
 o.-eckenzentriert P  
 o.-raumzentriert I  
 o.-einzelflächenzentr. C  
 o.-flächenzentriert F



Monoklin 2  
 mo.-eckenzentr. P  
 mo.-einzelflächenzentr. C



Triklin 1  
 tri.-eckenzentriert P



## 9. Allgemeine Mineraleigenschaften

Tracht: Gesamtheit der vorhandenen Flächen (einfach oder kompliziert)

Habitus: sozusagen der Schattenriß des Kristalls; grobe Beschreibung des allgemeinen Erscheinungsbildes

Mineralstufe: Mineralprobe, die natürlich entstandenen Flächen zeigt (keine Stufe ist z. B. Kristallpulver)

Auf- oder eingewachsener Kristall (z. B. Pyrit in Biotit, Granat in Chlorit oder Muskovit)

Druse: mehrere Kristalle, die auf einer gemeinsamen Unterlage (meist regellos) verwachsen sind (häufig in alpinen Klüften)

Geode: rundlich abgekapselter Hohlraum, an dessen Innenwänden Kristalle gewachsen sind; nur in vulkanischen Gesteinen (Gasblasen)

Streifung: (vgl. Diskrepanz zwischen Idealkristall und Realkristall) kann als Bestimmungsmerkmal dienen (z. B. bei Quarz an den Prismenflächen, bei Pyrit an den Würfelflächen, bei Turmalin an den Prismenflächen)

Epitaxien: orientierte Verwachsungen, nur zwischen chemisch ähnlichen (Gitterbau, Ionenradien) Mineralen, gesetzmäßig

Pseudomorphose (Truggestalt): Auftreten eines Minerals in einer atypischen Kristallform, Erklärung der Entstehung oft schwierig; z. B. Talk nach Quarz: chemisch Talk, zeigt aber Quarzflächen

Paramorphose : Änderung der Modifikation, (keine stoffliche Änderung), z.B.  $\alpha$ -S (orthorh.) -->  $\beta$ -S (monokl.) (mögliche Entstehung: monokliner Kristall aus  $\beta$ -S entsteht bei höheren Temperaturen, Temperatur sinkt unter Umwandlungspunkt, Kristallgitter lagert sich zu rhombischem um, monokline äußere Kristallform bleibt aber erhalten); Identifikation als  $\alpha$ -S mit Röntgen-Methoden möglich.

Umwandlungspseudomorphose: teilweise Stoffänderung unter Beibehaltung der Kristallform, z. B. Bleiglanz nach Pyromorphit (durch sukzessiven Austausch von Phosphat- gegen Sulfidionen), Limonit nach Pyrit, Chlorit nach Granat

Verdrängungspseudomorphose (völlige Änderung der chemischen Zusammensetzung): z. B. Quarz nach Calcit (es entstehen Quarz-Rhomboeder)  
 Hohlmühlungspseudomorphose, Auffüllungspseudomorphose: z. B. Quarz nach Fluorit; selten

Viellingsbildung: orientierte Verwachsungen von mehreren Kristallen der selben Mineralart (Zwillinge, Drillinge, Vierlinge, usw. usf.), i. a. selten, bei einigen Mineralen aber häufig (z. B. Gips, Pyrit)

Kennzeichen ist das Auftreten von einspringenden Winkel (kein 100 %iges Kriterium!) Zwillingsgesetz: Angabe der Zwillingsenebene oder -achse (Zwillingsenebene ist indizierbar und entspricht meist einer möglichen Kristallfläche). Zur Ermittlung der Symmetrie eines "verzwillingten" Kristalls muß man die Verwachsung (gedanklich) rückgängig machen.

wichtige Bsp.: Cassiterit, Staurolith, Pyrit, Quarz, Aragonit, Gips (Schwalbenschwanz-), Karlsbader Zwilling (Orthoklas)  
 Rechts- / Links-Quarz: Spitze der abschrägendden Rhomboeder zeigt nach links oder rechts (Brasilianer-Gesetz: Rechts- Links- Zwilling; Rechts- Rechts- oder Links-Links- Zwilling: Dauphine-Gesetz)

Härte: Mohs'sche Härteskala - zehnteilig, relativ

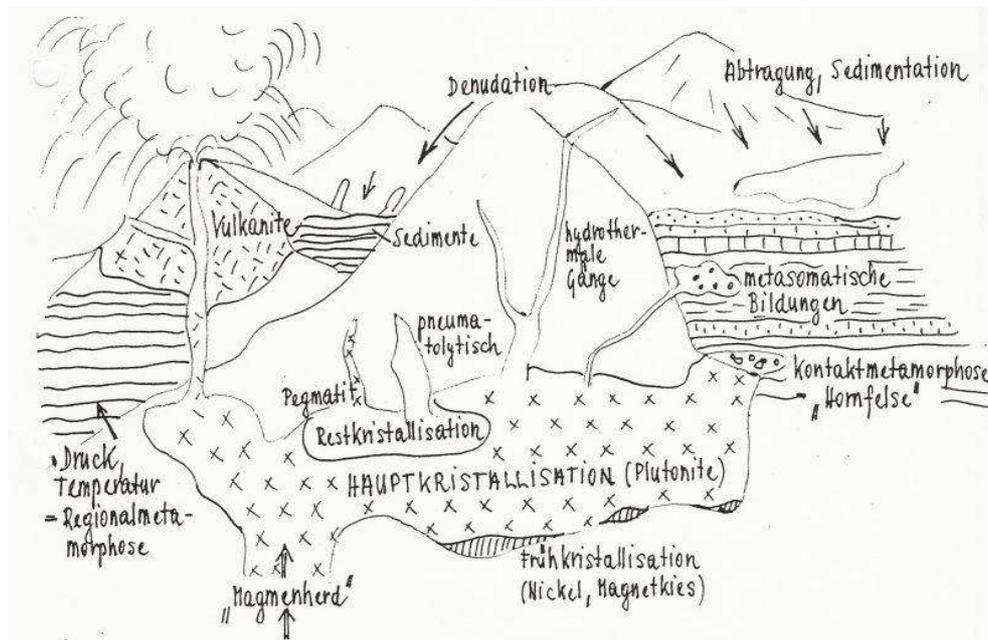
| Härte | Mineral   | absolute Härte | Vickershärte in HV | Bemerkungen   |
|-------|-----------|----------------|--------------------|---|
| 1     | Talk      | 0,03           | 2,4                | mit Fingernagel schabbar  |
| 2     | Halit     | 1,25           | 36                 | mit Fingernagel ritzbar   |
| 3     | Kalzit    | 4,5            | 109                | mit Kupfermünze ritzbar   |
| 4     | Fluorit   | 5,0            | 189                | mit Messer leicht ritzbar   |
| 5     | Apatit    | 6,5            | 536                | mit Messer noch ritzbar   |
| 6     | Orthoklas | 37             | 795                | mit Stahlfeile ritzbar  |
| 7     | Quarz     | 120            | 1120               | ritzst Fensterglas  |
| 8     | Topas     | 175            | 1427               |   |
| 9     | Korund    | 1000           | 2060               |   |
| 10    | Diamant   | 140.000        | 10060              | härtestes natürlich vorkommendes Mineral; nur von sich selber ritzbar |

## 10. Entstehung von Mineralien, Gesteinen und Lagerstätten

Mineralgenese :

Es gibt 3 Möglichkeiten der Mineral-, Gestein- und Lagerstättenbildung :

- magmatisch
- sedimentär
- metamorph



Magmatisch bedeutet: aus der Schmelze entstanden (primäre Mineralbildungsphasen). Es ergeben sich Minerale der sog. "magmatischen Abfolge". Sedimentäre und metamorphe Bildung haben weitaus weniger Umfang und Bedeutung.

Magmatisches Gestein kann auch wiederaufgeschmolzen sein (daher ist der Begriff "Urgestein" sehr irreführend). Aufschmelzungsprozesse sind von Druck und Temperatur abhängig, i.a. findet der Aufschmelzungsbeginn jedoch in 12 - 15 km Tiefe statt. Erstarrtes Gestein wird herausgehoben und die darüberliegende Gesteinsschwarte abgetragen. Je nach der Tiefe der Erstarrung unterscheidet man:

- Tiefengesteine (Plutonite): 1100 -700°C Erstarrungstemperatur, z.B. Granit. Langsame Abkühlung ---> große Mineralkörner

- Ergußgesteine (Vulkanite): schnelle Abkühlung, daher feinkörnig. Teilweise überhaupt keine Kristallbildung, z.B. vulkanisches amorphes Glas (Obsidian)

Im Magma gibt es eine "Ausscheidungsfolge" als sog. magmatische Differentiationsreihe. Magma ist ein Sammelsurium von verschiedensten Ionen, man spricht von saurem ( $\text{SiO}_2$  reich) und basischem Magma (Auch saure und basische Gesteine u. Minerale). Die Ausscheidungsfolge ist grob vorhersehbar, sie erfolgt von basisch nach sauer. Quarz wird also zuletzt ausgeschieden. Minerale mit dem niedrigerem Schmelzpunkt scheiden sich zuerst aus. (!!!) Basische Minerale sind eher dunkel, die sauren hell.

Reihenfolge: Olivin ( $\text{SiO}_4$ - Gruppen, basisch) --> Diopsid --> Angit --> Biotit-->  
... Feldspate ... --> Quarz            1

Kristalle, die zuerst auskristallisieren, sind idiomorph, d.h. sie können ihre eigenen Kristalle aus der Schmelze aufbauen. Spätere Kristalle müssen den übriggebliebenen Platz ausfüllen (z.B. Quarz), man nennt sie xenomorph. Daher gibt es im Granit keine Bergkristalle.

Würde Magma augenblicklich erstarren, wären alle technisch bedeutsamen Elemente unaufschließbar, da sie völlig zufällig verteilt wären und selten vorkommen. In den Bildungsphasen der magmatischen Abfolge reichern sich jedoch unter bestimmten Bedingungen einzelne Minerale an. Vorkommen in der Erdkruste:

|                 |                          |                  |                             |                          |
|-----------------|--------------------------|------------------|-----------------------------|--------------------------|
| 1. Sauerstoff   | 49,4 %                   | } 99,50%         | 49. Uran                    | 4 · 10 <sup>-4</sup> %   |
| 2. Silicium     | 25,75 %                  |                  | 50. Erbium                  | 4 · 10 <sup>-4</sup> %   |
| 3. Aluminium    | 7,51 %                   |                  | 51. Argon                   | 3,6 · 10 <sup>-4</sup> % |
| 4. Eisen        | 4,7 %                    |                  | 52. Praseodym               | 3,5 · 10 <sup>-4</sup> % |
| 5. Calcium      | 3,39 %                   |                  | 53. Lutetium                | 1 · 10 <sup>-4</sup> %   |
| 6. Natrium      | 2,64 %                   |                  | 54. Germanium               | 1 · 10 <sup>-4</sup> %   |
| 7. Kalium       | 2,40 %                   |                  | 55. Selen                   | 8 · 10 <sup>-4</sup> %   |
| 8. Magnesium    | 1,94 %                   |                  | 56. Cäsium                  | 7 · 10 <sup>-4</sup> %   |
| 9. Wasserstoff  | 0,88 %                   |                  | 57. Terbium                 | 7 · 10 <sup>-4</sup> %   |
| 10. Titan       | 0,58 %                   |                  | 58. Holmium                 | 7 · 10 <sup>-4</sup> %   |
| 11. Chlor       | 0,19 %                   |                  | 59. Thulium                 | 7 · 10 <sup>-4</sup> %   |
| 12. Phosphor    | 0,12 %                   |                  | 60. Niob                    | 4 · 10 <sup>-4</sup> %   |
| 13. Kohlenstoff | 0,087 %                  | 61. Antimon      | 2,3 · 10 <sup>-4</sup> %    |                          |
| 14. Mangan      | 0,085 %                  | 62. Platin       | 2 · 10 <sup>-4</sup> %      |                          |
| 15. Schwefel    | 0,048 %                  | 63. Europium     | 1,4 · 10 <sup>-4</sup> %    |                          |
| 16. Barium      | 0,047 %                  | 64. Tantal       | 1,2 · 10 <sup>-4</sup> %    |                          |
| 17. Chrom       | 0,033 %                  | 65. Cadmium      | 1,1 · 10 <sup>-4</sup> %    |                          |
| 18. Stickstoff  | 0,030 %                  | 66. Indium       | 1 · 10 <sup>-4</sup> %      |                          |
| 19. Fluor       | 0,027 %                  | 67. Thallium     | 1 · 10 <sup>-4</sup> %      |                          |
| 20. Zirkonium   | 0,023 %                  | 68. Jod          | 6 · 10 <sup>-4</sup> %      |                          |
| 21. Zink        | 0,02 %                   | 69. Palladium    | etwa 5 · 10 <sup>-4</sup> % |                          |
| 22. Nickel      | 0,018 %                  | 70. Osmium       | etwa 5 · 10 <sup>-4</sup> % |                          |
| 23. Strontium   | 0,017 %                  | 71. Ruthenium    | etwa 5 · 10 <sup>-4</sup> % |                          |
| 24. Vanadium    | 0,016 %                  | 72. Silber       | 4 · 10 <sup>-4</sup> %      |                          |
| 25. Kupfer      | 0,010 %                  | 73. Wismut       | 3,4 · 10 <sup>-4</sup> %    |                          |
| 26. Wolfram     | 0,0055 %                 | 74. Quecksilber  | 2,7 · 10 <sup>-4</sup> %    |                          |
| 27. Yttrium     | 0,005 %                  | 75. Iridium      | etwa 1 · 10 <sup>-4</sup> % |                          |
| 28. Lithium     | 0,005 %                  | 76. Rhodium      | etwa 1 · 10 <sup>-4</sup> % |                          |
| 29. Rubidium    | 0,0034 %                 | 77. Tellur       | etwa 1 · 10 <sup>-4</sup> % |                          |
| 30. Hafnium     | 0,0025 %                 | 78. Gold         | 5 · 10 <sup>-7</sup> %      |                          |
| 31. Thorium     | 0,0025 %                 | 79. Neon         | 5 · 10 <sup>-7</sup> %      |                          |
| 32. Cer         | 0,0022 %                 | 80. Helium       | 4,2 · 10 <sup>-7</sup> %    |                          |
| 33. Blei        | 0,002 %                  | 81. Rhenium      | etwa 1 · 10 <sup>-7</sup> % |                          |
| 34. Kobalt      | 0,0018 %                 | 82. Krypton      | 1,9 · 10 <sup>-8</sup> %    |                          |
| 35. Bor         | 0,0014 %                 | 83. Xenon        | 2,4 · 10 <sup>-8</sup> %    |                          |
| 36. Neodym      | 0,0012 %                 | 84. Radium       | 7 · 10 <sup>-18</sup> %     |                          |
| 37. Molybdän    | 7,2 · 10 <sup>-4</sup> % | 85. Protactinium | 6 · 10 <sup>-18</sup> %     |                          |
| 38. Brom        | 6 · 10 <sup>-4</sup> %   | 86. Aktinium     | 3 · 10 <sup>-18</sup> %     |                          |
| 39. Zinn        | 6 · 10 <sup>-4</sup> %   | 87. Polonium     | 1,5 · 10 <sup>-18</sup> %   |                          |
| 40. Scandium    | 6 · 10 <sup>-4</sup> %   | 88. Radon        | 4 · 10 <sup>-17</sup> %     |                          |
| 41. Arsen       | 5,5 · 10 <sup>-4</sup> % | 89. Plutonium    | < 8 · 10 <sup>-18</sup> %   |                          |
| 42. Beryllium   | 5 · 10 <sup>-4</sup> %   | 90. Francium     | 7 · 10 <sup>-28</sup> %     |                          |
| 43. Gallium     | 5 · 10 <sup>-4</sup> %   | 91. Astatin      | 4 · 10 <sup>-28</sup> %     |                          |
| 44. Lanthan     | 5 · 10 <sup>-4</sup> %   |                  |                             |                          |
| 45. Samarium    | 5 · 10 <sup>-4</sup> %   |                  |                             |                          |
| 46. Gadolinium  | 5 · 10 <sup>-4</sup> %   |                  |                             |                          |
| 47. Dysprosium  | 5 · 10 <sup>-4</sup> %   |                  |                             |                          |
| 48. Ytterbium   | 5 · 10 <sup>-4</sup> %   |                  |                             |                          |

Erz:

(mineralogisch, petrographisch) metallisch glänzender, meist schwerer, nicht opaker Bestandteil von Gesteinen, z.B. Rutil TiO<sub>2</sub> im Granit.

(lagerstättenkundlich) Vorkommen von Mineralen, Gemengen oder Gesteinen, aus denen ein Metall wirtschaftlich gewonnen werden kann.

Lagerstätte: Die Wirtschaftlichkeit erhebt ein bloßes Vorkommen zur Lagerstätte.

Parameter sind: Weltmarktpreis  
 Art des Abbaus (Tag o. Grubenbau)  
 Komplexität der Lagerstätte (Paragenesen)  
 Infrastruktur (Verkehrsverbindung, Energieversorgung)  
 Arbeitskräfte

Steigende Preise können die Reserven erhöhen, da Vorkommen zu Lagerstätten gemacht werden. Am wesentlichsten ist für Erzlager die Anreicherung gegenüber dem Durchschnitt in den Magmagessteinen.

|    |                     |  |
|----|---------------------|--|
| Fe | 4,7%                | 40 % (mind. 20 %), steir. Erzberg : 31 %               |
| Zn | 0,02%               | 5%   |
| Cu | 0,01 %              | 0,5 - 2 %  |
| Pb | 0,002 %             | 2-5%   |
| Cr | 0,033 %             | 30%  |
| Au | $5 \cdot 10^{-7}$ % | $5 \cdot 10^{-6}$ - $8 \cdot 10^{-6}$ % (5-8 ppm, g/t) |

In den Tauerngoldgängen 10 - 12 ppm (Gastein, Rauris). Jedoch zu teure  
Arbeitskraft und Gänge nur meterbreit. Vorräte im Wert von 10 Milliarden Euro.

## 11. Lagerstätten und Minerale der liquidmagmatischen Frühkristallisation

Die Frühkristallisation entspricht der 1. Bildungsphase von Lagerstätten. Es kommt zur Bildung von basischen ( $\text{SiO}_2$  - armen) Gesteinen (z.B. Olivingesteine = Norite, Gabbros,...). Liquidmagmatisch bedeutet: aus der Schmelze heraus gebildet.

### 1) Chromit - Lagerstätten:

Chromit:  $(\text{Fe},\text{Mg})\text{Cr}_2\text{O}_4$  (einzig bedeutendes Chromerz)

Yugoslawien, Griechenland, Türkei (Guleman - Bezirk), Iran, Simbabwe (Great Dyke), Südafrika, USA

Es gibt auch Chromitvorkommen in Österreich (Kraubather Serpentin - Dunitserpentinit; Ortschaft Chromwerk, Abbau im 19. Jahrhundert)

### 2) Platinmetall - Lagerstätten:

gediegen Pt, auch Seifenlagerstätten sind wirtschaftlich bedeutsam (Ural/Russland, Südafrika). Seifenlagerstätten (z.B. auch Schotter- oder Goldlagerstätten) sind Verwitterungslagerstätten (primäre Lagerstätten verwittern, werden abgetragen oder zerkleinert und dann als sekundäre Lagerstätten wieder abgeschieden)

Es gibt Pt - Nuggets bis zur Kinderfaustgröße. Nuggets sind Zusammenlagerungen von Metall.

### 3) Titanomagnetit - Lagerstätten:

Magnetit  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  mit mikroskopisch kleinen Einlagerungen von Ilmenit  $\text{FeTiO}_3$  (wichtigstes Ti - Erz)

Schweden, Russland (Ural- Ilmengebirge), USA, Kanada

### 4) Nickelmagnetkies - Lagerstätten:

Ganz überragend ist der Typ Sudbury (Kanada: liquide Entmischung aus Magnetkies  $\text{FeS}$  und Pentlandit - Eisennickelkies  $(\text{Ni},\text{Fe})_9\text{S}_8$  mit 2 - 5% Ni

Sudbury: 1939 155.000 t Ni, 1960 160.000 t Ni

Es gibt neben Sudbury auch zahlreiche kleinere Vorkommen, u.a. in Südafrika.

## 5) Diamant - Lagerstätten:

Indien - Brasilien (19. Jhd.) - Südafrika/Afrika (1890 - 1900 auf Seifenlagerstätten)  
- UdSSR (Jakutien, nach dem 2. Weltkrieg) Primärvorkommen in "pipes" - relativ begrenzte "Durchschläge" ultrabasischer Gesteine (Kimberlit: "blue/yellow ground")  
Diamant ist erst in großen Tiefen (20 - 50 km Tiefe) auffindbar  
(Hochdruckmodifikation von Kohlenstoff).

Unverwitterten Kimberlit nennt man blue ground, verwitterter Kimberlit heißt yellow ground. Die Pfeifen (vulkanische Durchschlagröhren) baut man ab, indem man neben der Pfeife einen Schacht baut und dann horizontal das Gestein abtransportiert. Weiters gibt es noch zahlreiche Seifenlagerstätten (Witwatersrand - Konglomerat) - enorme Kosteneinsparung (Gestein befindet sich schon zerkleinert an der Oberfläche)

## 6) Magnetit - Apatit - Lagerstätten:

Magnetit:  $\text{Fe}_3\text{O}_4$

Bilden zum Teil die größten Metallkonzentrationen der Erdrinde.  
Schweden (Kiruna), Mexico (Durango), Chile

## 7) Apatit - Nephelin - Lagerstätten:

Halbinsel Kola, Russland; 15 - 27%  $\text{P}_2\text{O}_5$

Hauptkristallisation:

Die Hauptkristallisation ist nur mengenmäßig am größten, nicht aber am bedeutendsten. Sie ist hauptsächlich granitisch (aus der Schmelze bilden sich Glimmer, Feldspate und Quarz).

Weitere wichtige Elemente werden erst nach der Hauptkristallisation wieder ausgeschieden (pegmatitische, pneumatologische und hydrothermale Phasen). Die Hauptkristallisation liefert keine wichtigen Lagerstätten, sondern bildet nur eine taube Phase.

Pegmatitische, pneumatolytische und hydrothermale Kristallisation:

Nach der Hauptkristallisation bleibt nur mehr wenig Schmelze übrig - aber mit Elementen in konzentrierter Form.

## 12. Silikatsystematik

Silikate werden oft als Salze der Kieselsäure bezeichnet. Diese Aussage führte nicht zu zufriedenstellenden Ergebnissen - komplizierte Säuren mußten postuliert werden.

### 1) Silikatbau:

"1. Entwurf zur Ordnung der Silikate" - Friedrich Machatschki 1928

Das Zentrum stellt der  $\text{SiO}_4^{4-}$  - Tetraeder dar (alle Silikatminerale lassen sich durch dieses Kernstück aufbauen)

### a) Inselsilikate:



Olivinreihe

Granatreihe:

Pyralspitreihe

Pyrop - Magnesiotongranat

Almadin - Eisentongranat

Spessartin - Mangantongranat

Ugranditreihe

Grossular

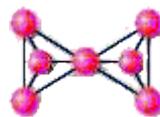
Andratit

Uwarowit

Eisentongranat ist mit Abstand am häufigsten. Sillimanit, Andalusit und Disthen unterscheiden sich nur in ihrer Struktur, sie haben die gleiche Summenformel.

Verhältnis Si:O = 1:4

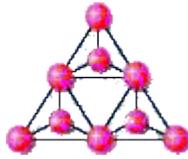
### b) Gruppen - oder Sorosilikate:



Epidot ( $\text{SiO}_4/\text{Si}_2\text{O}_7$  - Gemisch) - monoklin, dunkelgrün/schwärzlich

Verhältnis Si:O = 1:3,5

c) Ring- oder Cyclosilikate:



Dreier Ringe:  $[\text{Si}_3\text{O}_9]^{6-}$

Vierer Ringe:  $[\text{Si}_4\text{O}_{12}]^{8-}$

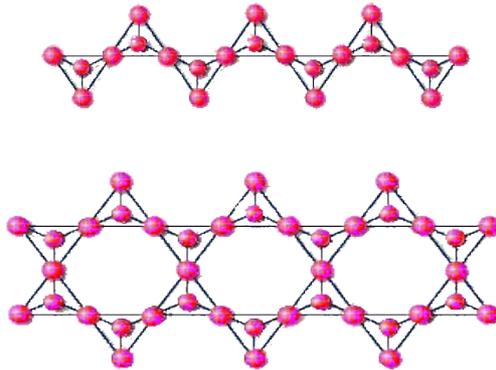
Sechser Ringe:  $[\text{Si}_6\text{O}_{18}]^{12-}$

Es gibt keine 5er- oder 7er Ringe.

Beryll ist hexagonal (leicht grünlich oder gelbliche Kristalle)

Turmalinreihe: Elbait, Dravit, Schörl, Uvit

d) Ketten- und Bandsilikate: (Fasersilikate oder Inosilikate)



Bei einem Band sind zwei Ketten miteinander verbunden. Beispiele für Ketten:

$\text{CaSiO}_3$ ,  $\text{Ca}_2\text{Si}_2\text{O}_6$

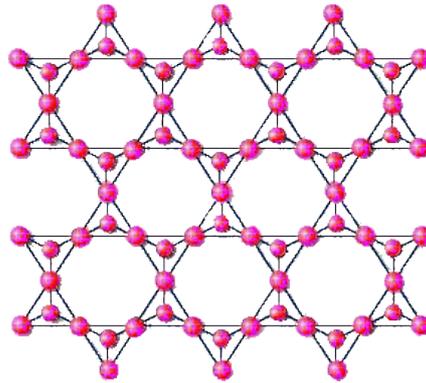
Dreierkette:  $\text{Si}_3\text{O}_9$

Fünferkette:  $\text{Si}_5\text{O}_{15}$

Siebenerkette:  $\text{Si}_7\text{O}_{21}$

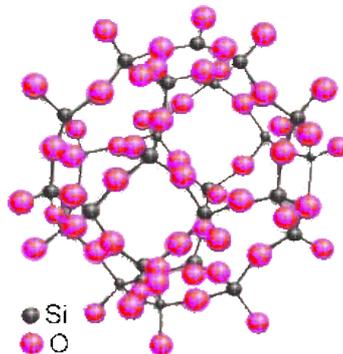
Verhältnis  $\text{Si}:\text{O} = 1:3$ . Bei Bandsilikaten hat man ein  $\text{Si}:\text{O}$  – Verhältnis  $< 1:3$  (z.B.  $\text{Si}_4\text{O}_{11}$ ). Amphibol - Familie (Hornblende, sind gesteinsbildend mit dunkelgrünen stängeligen Mineralen)

e) Schichtsilikate oder Phyllosilikate: (Blattsilikate)



Schichtsilikate bilden zweidimensionale flächige Strukturen aus zusammenhängenden  $\text{SiO}_4$  Tetraedern. Daraus ergeben sich  $\text{Si}_4\text{O}_{10}$  oder  $\text{AlSi}_3\text{O}_{10}$  oder  $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_{10}$  - Formen. Al und Si sind austauschbar (haben ähnliche Ionenradien, die Wertigkeit spielt keine Rolle)

f) Gerüstsilikate:



Gerüst aus  $\text{SiO}_4$  - Tetraedern. Das Verhältnis von Si:O wird noch geringer; bei Quarz  $\text{Si}:\text{O} = 1:2$ . Quarz ist also ein Gerüstsilikat, wird aber traditionell zu den Oxiden gezählt.

2) Die Feldspat - Gruppe:

Feldspate sind Gerüstsilikate. Jeder  $\text{SiO}_4$  - Tetraeder ist über eine Sauerstoffecke mit dem nächsten verbunden ( $\text{SiO}_{4/2} \rightarrow \text{SiO}_2$ ). Quarz wäre damit das einzig echte Gerüstsilikat. Es besteht die Möglichkeit Si - Ionen durch Al - Ionen zu ersetzen:



z.B. Kalifeldspat  $K[AlSi_3O_8]$ , Natronfeldspat  $Na[AlSi_3O_8]$  (zwischen diesen beiden besteht keine Mischbarkeit).

Natron- und Kalifeldspat sind nicht mischbar; wenn die Schmelzen vermischt werden, kommt es bei der Erstarrung zur Entmischung (Bildung von Entmischungslamellen; Pertit - Anitpertit). Feldspate sind wichtig, weil sie mengenmäßig einen großen Anteil der magmatischen Gesteine ausmachen. Bedeutendster Feldspat-Mineraloge: A. Köhler

Kalifeldspat als Mineral an sich existiert nicht, das Wort bezeichnet zwei verschiedene Minerale:

Orthoklas: monoklin, alpines Kluftmineral (Varietät Adular),  
auch in vulkanischen Gesteinen (Var. Sanidin)

Mikroclin: triklin (grüne Var. Amazonit, Schmuckstein)

Natronfeldspat und Kalkfeldspat bilden eine lückenlose isomorphe Mischungsreihe, gemeinsamer Name: Kalknatronfeldspat(e)  $Ca[Al_2Si_3O_8]$

### 13. Wiederaufnahme der magmatischen Differentiationsreihe

Die relativ geringen Magmamengen, die nach der Hauptkristallisation übrigbleiben, sind stark mit Metallionen angereichert; daher sind "spätkristallisierte" (in der pegmatitisch-pneumatolytischen bzw. in der hydrothermalen Phase kristallisierte) magmatische Gesteine wichtige Metallvorkommen.

Druck-/Temperaturverhältnisse im Verlauf der magmatischen Gesteinsbildung: SB 30 Während der Hauptkristallisation nimmt der Druck in der Schmelze durch die zunehmende Menge an fester Phase zu; dadurch werden sehr große Mineralkörner gebildet.

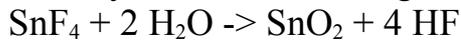
a) pegmatitische Lagerstätten (Ausscheidung bei 700 - 550 °C)

"Riesenkonglomerat", gang- oder stockförmig div. Nebengesteine durchdringend. Kristalle bis in den m<sup>3</sup>-Bereich; Vorkommen z. T. für Industrie interessant (Feldspat - Porzellan, Quarz - Glas) In Drusen und Miarolen oft freistehende Kristalle. Vorkommen in den Randgebieten der Granitmassive.

1. Zinn-Pegmatite mit Cassiterit SnO<sub>2</sub>, Topas Al<sub>2</sub>[F<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>],  
Wolframit: Ferberit FeWO<sub>4</sub> - Hübnerit MnWO<sub>4</sub>, Fluorit CaF<sub>2</sub>
2. Glimmer-Pegmatite mit Uran- und Thorium-Mineralen
3. Niob-/Tantal-Pegmatite mit Columbit: Niobit (Fe,Mn)Nb<sub>2</sub>O<sub>6</sub> - (Fe,Mn)Ta<sub>2</sub>O<sub>6</sub>
4. Leichtmetall-Pegmatite mit Lepidolith, Zinnwaldit, Spodumen, Beryll
5. Edelstein-Pegmatite mit Rosenquarz, Turmalin, Topas,  
Aquamarin, Kunzit (Edelsteinvar. des Spodumen)
6. Feldspat-Pegmatite mit Phosphaten
7. Graphit-Pegmatite mit Graphit

b) pneumatolytische Lagerstätten (Ausscheidung bei 550 - 374 °C) Bildung durch heiße, aggressive Gase, die das Nebengestein zersetzen

1. pneumatolytische Zinnerz-Lagerstätten



HF attackiert Nachbargestein (Zinnstein-Greisen), dieses wird leichter verwittert, dadurch oft Bildung von Zinnstein-Seifen. Typische Paragenesen: Zinnstein + Turmalin/Fluorit/Topas/Wolframit/Scheelit/Quarz/ Apatit

2. pneumatolytische Wolframit-Lagerstätten

oft in fast reinen Wolframit-Gängen (z. B. im Erzgebirge)

3. pneumatolytische MoS<sub>2</sub>- Lagerstätten

4. Kontaktpneumatolytische Verdrängungslagerstätten

entstanden durch Kontaktmetasomatose

"skårn"-Lagerstätten (in Nordeuropa), Scheelit-, Magnesit-Lagerstätten

c) hydrothermale Lagerstätten (ab 374 °C)

374 °C ist kritische Temperatur des Wassers, darüber existieren keine wäßrigen Lösungen. Hydrothermale Lösungen sind heißgesättigte Lösungen von verschiedensten Ionen; setzen sich von Magmenherden aus fort und durchdringen das Nebengestein, bei Abkühlung kommt es zur Abscheidung der gelösten Ionen und zur Ablagerung von Mineralen (wichtig: die Beeinflussung der Löslichkeit durch die Lösungsgenossen). Auf diese Weise entstanden viele wirtschaftlich bedeutende Lagerstätten. (Fe,Ag,Au,Pb,Sb,Mn,Cu,U,Ni,Co,...)

Mächtigkeit der Gänge im cm - bis m-Bereich.

Gangfolge: Abfolge der Minerale in einem Gangquerschnitt von außen nach innen

Gangart: taube Füllung des Erzganges, wird z. T. selbst als Erz abgebaut. (SB 33-35)

Einteilung der Lagerstätten nach gewinnbaren Metallen in Formationen

ad Metasomatose

vermutlicher Ablauf:  $\text{CaCO}_3 + \text{Fe(II)} \rightarrow \text{FeCO}_3 + \text{Ca(II)}$

ungeklärt: Erzbringer, Zeitpunkt

auch unvollständiger Austausch möglich:  $\rightarrow$  Ankerit  $\text{CaFe(CO}_3)_2$

geringerer Eisengehalt; z. B. Erzberg

## 14. Sedimentäre Abfolge

Definition:

Gesamtheit der Verwitterungs- und Sedimentationsvorgänge. Man muß auf etwas zurückgreifen können, welches verwittert, zerstört und anschließend sedimentiert wird.

Herrschende Bedingungen:

- niedriger Druck (ca. 1000 mbar)
- Temperaturwechsel Tag/Nacht (wesentlich bei Wüstengebieten, schnellere Zerstörung bei großen Temperaturunterschieden)
- Wind, Eis, Gravitation, fließendes Wasser, lebende Organismen
- O<sub>2</sub> (Luft), oxidierende Bedingungen ---> Oxide
  - H<sub>2</sub>O ---> Hydroxide
  - CO<sub>2</sub> ---> Carbonate

Die Tendenz beim Abbau geht zu größeren Einheiten, auch wenn man damit geringere Konzentrationen in Kauf nehmen muß.

Einteilung der Sedimente nach der Korngröße:

a) Psephite:

Korngröße > 2mm (Steine, Grob- und Feinkies, Schotter, Grobsand, Schutt)

Breccie: verwitterter Schutt mit eckigen Komponenten

Konglomerat: verfestigter, abgerundeter Schutt, je länger der Transport dauert, desto runder und feiner wird der Schutt

b) Psammite:

Korngröße: 2 - 0,06mm ("Sand")

Lockersediment: Sand

verfestigt: Sandstein (hängt von weiteren Komponenten, z.B. Quarz, ab:  
Quarzsandstein verwittert weniger leicht als Kalksandstein)

c) Pelite:

Korngröße: 0,06 - 0,002 mm (Schluff, Silt - enthält noch feinste Quarzkörner)

Korngröße: < 0,002 mm (Ton - enthält Tonminerale - diese sind in 1. Linie Phyllosilikate; es gibt Tonminerale mit Kaolinit, Nakvit, Montmorillonit)

Technisch wertvolle Lagerstätten der sedimentären Abfolge:

a) Verwitterung älterer Erzlager mit einer Oxidations- und Zementationszone:

Es existiert z.B. ein hydrothermaler Erzgang. Durch Abtragung kommt der Erzgang an die Erdoberfläche und beginnt unter Einwirkung von Wasser und Luft zu verwittern.

Der Erzgang ist umgeben von taubem Gestein. Die Verwitterung mit chemischer Umsetzung entspricht der Oxidationszone.

Beispiele für die Oxidationszone:

Pyrite können zu Limonit  $\text{FeOOH}$  verwittern (braun gefärbt). Diese Vorkommen bezeichnet man als "Eisernen Hut" der Lagerstätte. In dieser Oxidationszone sind Erze häufig angereichert und leichter abbaubar (poröses Gestein).

$\text{PbS} \rightarrow \text{PbCO}_3$

$\text{ZnS} \rightarrow \text{ZnCO}_3$  Smithsonit

$\text{PbS} \rightarrow \text{PbSO}_4$  Anglisit

$\text{Cu}_x\text{S}_y \rightarrow$  Malachit (grün) und Azurit (blau) - Kupferhydroxylcarbonate

$\text{As} \rightarrow$  Arsenate

Weitere Möglichkeit der Verwitterung: Erzberg, Hüttenberg.

$\text{FeOOH}$  ist das Verwitterungsprodukt von  $\text{FeCO}_3$  und bildet eine Schicht über dem primären Erz. Diese  $\text{FeOOH}$  - Schicht ist leicht abbaubar (mürbes, bröseliges Gestein). Der "Eiserne Hut" ist am Erzberg praktisch vollständig abgebaut.

Zementationszone:

Die Zementationszone ist ein sehr kleiner Bereich an der Grenze zum primären Erz. Durch Änderung des pH - Wertes und Sauerstoffgehaltes (häufig unter dem Grundwasserspiegel) kommt es zur zementativen Anreicherung: seltenerer Metalle aus der Oxidationszone werden ausgewaschen und in der Zementationszone angereichert (z.B. Anreicherung von gediegenem Au, Ag und Cu)

b) mechanisch aufbereitete Verwitterungsreste - Seifen:

Diese Seifen entstehen durch Verwitterung, Abtragung und Ablagerung. Vor allem bei Schotter und Sanden, in denen sich ganz bestimmte Minerale (Seifenminerale) angereichert haben (z.B. Gold - Goldseifen, Diamant - Diamantseifen, Rubin, Saphir - allgemein Edelsteinseifen, Cassiterit  $\text{SnO}_2$  Zirkon  $\text{ZrSO}_4$ , Rutil  $\text{TiO}_2$ ).

Seifenminerale müssen chemisch inert und relativ stabil sein, sie haben auch eine relativ hohe Dichte und lagern sich deshalb in bestimmten Strömungszonen bevorzugt ab.

Beispiel: Gold

- hydrothermal: Tauern

- sekundär: Waschgold, Seifengold: Inn, Salzach, Donau

- in Australien gibt es Gold-Nuggets mit mehreren Kilogramm (sind durch Aggregation des feinverteilten primären Golds entstanden)

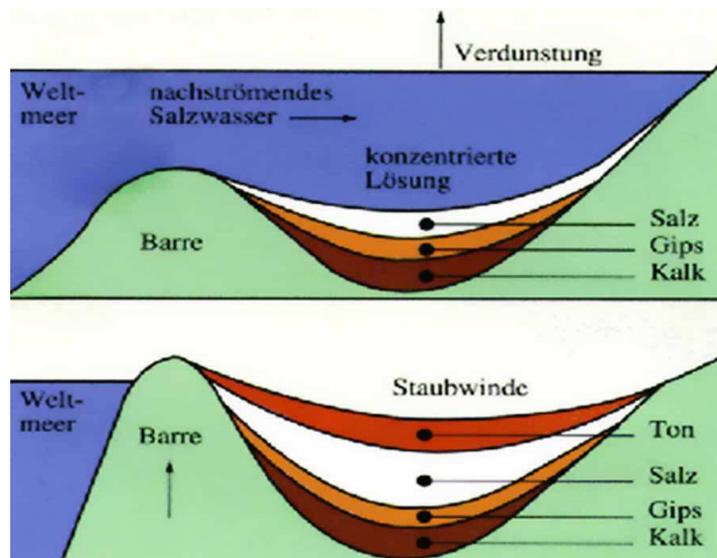
c) Verwitterungslagerstätten auf dem Festland:

z.B. Bildung von Kaolin (Tonmineral) aus Feldspaten durch chemische Umsetzung. Es kann auch Granit kaolinisiert werden (Glimmer ist bereits verwittert, der Feldspat wird chemisch umgesetzt, der Quarz bleibt erhalten - Abtrennung durch Auswaschen)

d) Ausscheidungslagerstätten in Binnengewässern und Meeren:

Marine Ausscheidungsformen sind sehr bedeutend. Das Meerwasser enthält ca. 3,5% gelöste Feststoffe ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ), welche durch Auswaschung und Mitführung mit Flüssen ins Meer gelangen.

Barrentheorie nach Ochsinius: Wenn es zur Fast - Abtrennung vom offenen Meer kommt, dann findet in einer Bucht eine extreme Verdunstung von Wasser statt; vom Meer kommt immer wieder neuer Nachschub von Ionen; im Laufe der Zeit haben sich auf diese Weise mehrere 100m dicke Salzsichten gebildet. Es kommt zu einer bestimmten Ausscheidungsabfolge: zuerst fallen schwerlösliche Salze aus, dann die leichtlöslichen: Carbonate  $\text{CaCO}_3$  ---> Sulfate Gips, Anhydrit --->  $\text{NaCl}$  ---> leicht lösliche Chloride und Sulfate: Abraumsalze (müssen erst abgeräumt werden, um zu den eigentlichen Salzlagerstätten zu kommen). Abraumsalze waren früher störend, heute sind sie wichtig für Düngemittel (enthalten Kalium und Magnesium, Umschwung nach Liebigs Düngerlehre ).



Im alpinen aber Vermischung durch tektonische Bewegungen, es entstand Breccie. Alle Salze mit Ton vermischt, Bergmannsausdruck : "Hasel" (Haselgebirge) NaCl-Gehalt 30-65%. Seit alters her angewandte Methode der Gewinnung: herauslaugen (Sole) und zur Saline führen. In Sudpfannen wird dann das Wasser verdunstet.

## 15. Metamorphe Abfolge

Metamorphose: Umwandlung durch erhöhten Druck und Temperatur. Ist eine sekundäre Bildung, man braucht Ausgangsgesteine.

Man unterscheidet zwei Arten der Metamorphose:

### 1. Kontaktmetamorphose: (weniger wichtig)

Magma dringt in kältere Gesteine, mehr temperatur-, weniger druckbezogen. Es entstehen massige, ungeschieferte Gesteine (sog. Hornfelse, z.B. Kalksilikathornfelse aus tonhältigen Carbonaten). Je nach Intensität verschiedene Kontakthöfe, meist jedoch kleinräumig.

Es gibt auch Kontakt-Metasomatose (Stoffaustausch, erhebliche Änderung im Chemismus). Im Grunde ist Metamorphose ein isochemisches Ereignis: die chem. Zusammensetzung bleibt gleich, aber es entstehen andere Minerale. Die Metamorphose geht im festen Zustand vor sich.

### 2. Regionalmetamorphose :

meist durch orogene Vorgänge (Tiefenverlagerung, Überlagerung, Faltung). Die Bezeichnung regional ist sehr irreführend, da sie sehr große Zonen betrifft. (100erte km, z.B. Zentralalpen).

Die Regionalmetamorphose ist mehr druck-, weniger temperaturbezogen. Durch hohen Druck entstehen meist deutlich geschieferte Gesteine, die zusammenfassend als kristalline Schiefer bezeichnet werden. Die Schieferung verläuft senkrecht zur Druckrichtung.

Die kristallinen Schiefer zeigen ein auch makroskopisch sichtbares, durch kinetische Beanspruchung verursachtes, parallel gerichtetes Gefüge. Sie sind meist gut in Platten spaltbar, Z.B. "Rauriser Plattengneise" .

Die Ausnahme ist Marmor  $\text{CaCO}_3$  (monomineralisch), er ist äußerst selten geschiefert. Jedoch ändert sich das Gefüge, wenn Kalkstein ---> Marmor. Aber Vorsicht: Der Steinmetz-Begriff "Marmor" bezeichnet alle schleiffähigen Gesteine. So ist der Untersberger Marmor eine feinkörnige Breccie verschiedener Kalke. Italienischer Carara-Marmor ist auch mineralogisch ein Marmor.

## Einteilung der Metamorphose-Stadien

1. Epizone:           geringer Druck, 100-300°C, wenig intensive Durchbewegung  
(geringer Streß)

Gesteine: Phyllite (Chlorit- u. Talkschiefer), Marmor, Quarzitschiefer  
Minerale: Aktinolith, Chlorit, Talk, Albit, Epidot, Granat, Hornblende

2. Mesozone:        300-500°C, mittlerer Druck, stärkere Stoffverschiebungen,  
intensive Durchbewegung.

Gesteine: Glimmerschiefer, Amphibolschiefer, Quarzit, Marmor  
Minerale: Staurolith, Muskovit, Plagioklas, Cyanit, Almandin (Silikate)

3. Katazone:        500-800°C, hoher Druck, starke Stoffverschiebungen,  
Neubildungen und Sammelkristallisation.

Gesteine: Gneise, Amphibolit, Quarzit, Marmor, Eklogit  
Minerale: Sillimanit, Anorthit, Wollastanit

In allen Zonen Quarz und Calcit (---> Quarzit und Marmor) als Durchläufer. Aus  
SiO<sub>2</sub> und CaCO<sub>3</sub> kann nicht viel anderes werden.

Aus   Sedimenten entstehen   Paragesteine.  
      Magmatiten               Orthogesteine.