

Einführung in die Geowissenschaften I

Mineralogie

Prof. Dr. K. Mengel und Dr. K.W. Strauß

Fachgebiet Mineralogie, Geochemie, Salzlagerstätten

| Gliederung | Seite |
|--|--------------|
| Vorwort | 2 |
| 1. Mineralogie nach äußeren Kennzeichen | 3 |
| 2. Kristalle | 5 |
| 3. Systematik der Minerale | 6 |
| 4. Nebenbestandteile | 7 |
| 5. Spezielle Mineralogie | 8 |
| 5.1. Gediogene Elemente | 8 |
| 5.2. Sulfide | 17 |
| 5.3. Halogenide | 29 |
| 5.4. Oxide | 33 |
| 5.5. Karbonate | 51 |
| 5.6. Sulfate und Wolframate | 60 |
| 5.7. Phosphate | 64 |
| 5.8. Silikate | 65 |

Vorwort:

Minerale sind homogene (= einheitliche) Festkörper, die unter *natürlichen*, physikalischen und chemischen Bedingungen entstanden sind, welche der jeweilige geologische Prozess vorgibt. Sie sind meist anorganischer Natur, fest und kristallin. Gegenwärtig sind knapp 5000 Mineralen bekannt; es werden pro Jahr circa 100 neue entdeckt. Nur wenige Minerale davon sind gesteinsbildend oder von wirtschaftlichem Interesse.

Die wichtigsten gesteins- und erzbildenden Minerale sind Gegenstand dieser Lehrveranstaltung. Ohne deren Kenntnis ist eine Befassung mit Gesteinen und Rohstoffen nicht möglich. In den Vorlesungen werden die Grundlagen der Mineralsystematik behandelt, ein Grundverständnis für das Vorkommen mineralischer Rohstoffe im Erz- und Gesteinsverband vermittelt und das mineralogische Grundwissen für weiterführende Veranstaltungen erschlossen.

In den vorlesungsbegleitenden Übungen wird der theoretische Stoff an praktischen Beispielen behandelt; hier wird vor allem die Bestimmung von Mineralen mit einfachen Hilfsmitteln gelehrt. Darüber hinaus werden ausgewählte Anteile der Vorlesung an Beispielen nochmals aufgearbeitet und vertieft.

Der hier entfaltete Stoffbestand der Mineralogie richtet sich nach den Erfordernissen mehrerer Studiengänge. Es ist nicht möglich, diesen Stoff weiter einzugrenzen; daher sind alle Minerale mit den im Skript angegebenen Informationen klausurrelevant. Neben dem Skript kann folgende Literatur zur Wiederholung oder Vertiefung herangezogen werden:

- MEYER, W. & MURAWSKI, H. (2010): Geologisches Wörterbuch, 12. Auflage; - Heidelberg (Spektrum)
- OKRUSCH, M. & MATTHES, S. (2010): Mineralogie – Eine Einführung in die spezielle Mineralogie, Petrologie und Lagerstättenkunde, 8. Auflage; - Berlin (Springer).
- PRESS F. & SIEVER R. (2007): Allgemeine Geologie, 5. Auflage; - Spektrum (Heidelberg)
- DEER, HOWIE, ZUSSMAN (1992): An introduction to rock-forming minerals; - Addison-Wesley (Wokingham)

1. Mineralogie nach äußeren Kennzeichen

Farbe und Strichfarbe: Ist ein Mineral „weich“, so kann man damit auf härterem Material einen Strich erzeugen. Ein alltägliches Beispiel ist der Graphit im Bleistift. Die so genannte **Strichfarbe** ist für manche Minerale sehr spezifisch, für andere hingegen nicht. Der Strich wird auf einer weißen Porzellanplatte ausgeführt. Meist gibt seine Farbe die des Minerals geschwächt wieder, jedoch sind Ausnahmen nicht selten. So ist der Strich des gelben Schwefels weißlich, beim gelben Pyrit jedoch schwarz. Die **Farbe** eines Minerals ist sehr stark von der Größe des Kristalls, von seiner Oberfläche und von internen Reflexen an Inhomogenitätsflächen abhängig. Deshalb gilt: Die **Strichfarbe** ist spezifischer als die Eigenfarbe des Minerals.

Neben der Farbe fallen die Formen der Minerale zuerst ins Auge. Diese äußeren Erscheinungsformen heißen **Habitus** und bilden im Idealfall den Aufbau des Kristallgitters nach. Die Namen für den **Habitus** sind von der Anschauung geprägt, z. B. säulig, faserig, prismatisch, tafelig, nadelig. Die äußere Form der Kristalle ist meist wenig hilfreich bei der Identifikation von Mineralen. Dennoch gehört ein gewisses Verständnis des inneren, atomaren bzw. ionaren Aufbaus von Kristallen zur Grundlage der Mineralogie.

Die **Spaltbarkeit** ist eine wichtige Eigenschaft von Mineralen. Durch eine Verschiebung bestimmter Gitterebenen gegeneinander (z. B. durch gerichteten Druck) kommt es z. B. beim Steinsalz zur Annäherung gleichgeladener Atome zweier Netzebenen und dadurch zu einer Abstoßung. Dies führt zu einer orientierten, makroskopisch erkennbaren Ablösung von Segmenten innerhalb eines Kristalls, so genannten Spaltebenen. Die alten Bergleute haben solche Minerale, die auffällig viele Spaltflächen zeigen, als *Späte* bezeichnet und zusammengefasst, obwohl die chemische Zusammensetzung und sonstige Kristalleigenschaften solcher *Spatminerale* sehr unterschiedlich sein können. So sind die *Feldspäte* Silikate mit geringer Dichte ($\approx 2,6 \text{ g/cm}^3$), *Zinkspat* aber gehört zu den Karbonaten (ZnCO_3) und besitzt eine viel höhere Dichte ($4,3 \text{ g/cm}^3$). Eine völlig andere Substanz ist der *Flussspat* (CaF_2). Bei einigen Mineralen ist die Spaltbarkeit eine direkte Folge des inneren Aufbaus, wie etwa bei Glimmern.

Die **Dichte** ist das nächst wichtige Kennzeichen eines Minerals. Die Dichte der Erzminerale beträgt mit durchschnittlich $4,5$ bis $7,5 \text{ g/cm}^3$ meistens das Doppelte bis Dreifache der Dichte

von Nicht-Erzmineralen, die im Allgemeinen eine Dichte von 2,5 bis 3,5 g/cm³ besitzen. Dadurch kann bei der Bestimmung des jeweiligen Minerals eine subjektive Einschätzung erfolgen, wie bei dem direkten Vergleich von Calcit (2,7 g/cm³) und Schwerspat (3 bis 3,5 g/cm³).

Ein anderes wichtiges Unterscheidungsmerkmal von Mineralen ist deren **Ritzhärte** (siehe Tabelle 1). Mit Hilfe eines Taschenmessers kann man die wichtigsten gesteinsbildenden Minerale an Hand ihrer Härte auseinander halten. Eine häufige Unterscheidung ist die des Kalkspats von Feldspat, da diese Minerale an der Erdoberfläche weit verbreitet sind und einander ziemlich ähnlich sehen. Kalkspat hat eine sehr viel geringere Härte und ist deshalb mit einer Messerklinge leicht zu ritzen. Feldspat dagegen hat die Härte von Stahl. In den die Vorlesung begleitenden Übungen wird häufig der Vergleich zwischen den Mineralen Flußspat und Quarz vorgenommen. Die Abfolge der Härten ist in der so genannten Mohs'schen Härteskala manifestiert. Die dort enthaltenen Härten von **1 bis 10 sind relative Härten** und meist gesteinsbildende Minerale belegt. Der Abstand zwischen den einzelnen Härtegraden variiert.

Tabelle 1: Mohs'sche Härteskala

| | | | |
|-----------|-----------------------|--------------------------|----------------|
| 1 | Talk | Mit Streichholz | ritzbar |
| 2 | Steinsalz/Gips | Mit Fingernagel | ritzbar |
| 3 | Calcit | Mit Kupfermünze | ritzbar |
| 4 | Flußspat | Mit Eisennagel | ritzbar |
| 5 | Apatit | Mit Eisennagel | ritzbar |
| 6 | Orthoklas | Mit Taschenmesser | ritzbar |
| 7 | Quarz | Ritzt Glas | |
| 8 | Topas | Ritzt Glas | |
| 9 | Korund | Ritzt Glas | |
| 10 | Diamant | Ritzt Glas | |

2. Kristalle

Kristalle bestehen aus regelmäßigen Anordnungen von Bausteinen. Diese können sein: ungeladene Teilchen (Atome), Kationen und Anionen. Die Bausteine liegen in einem so genannten Kristallgitter vor, wobei sie untereinander genau definierte Abstände besitzen und bei der Betrachtung ihrer räumlichen Anordnung im Kristallgitter stets im gleichen Winkel auftreten. Die Abstände von Ionen zueinander liegen innerhalb eines Kristallgitters in der Größenordnung von 1 \AA (100 pm). Die kleinste Einheit, in die sich ein Kristall zerlegen lässt, ist die Elementarzelle. Sie bildet mit ihren Kanten unter den Winkeln α , β , γ in einem Koordinatensystem in der Richtung a, b, c ein Raumgitter aus unendlich vielen Elementarzellen aus, die zusammen den Kristall ergeben. Die strenge Ordnung der Kristallbausteine wird manchmal auch in der äußeren Form von Kristallen sichtbar. Ein Realkristall hat immer kleine Baufehler; solche Kristalle können mikroskopisch klein oder mehrere Meter groß sein.

2.1 Achsensysteme

Die große Vielfalt verschiedener Kristallgitter lässt sich mathematisch vereinfachen und auf sieben kristallographische Achsensysteme beziehen. Im Gegensatz zu dem meist üblichen kartesischen Koordinatensystem sind die kristallographischen Koordinatensysteme im allgemeinen schiefwinklig und die Koordinaten der drei Achsen sind nicht gleichwertig. Nur das kubische Achsensystem entspricht dem kartesischen. Die sieben kristallographischen Achsensysteme sind hier kurz charakterisiert und dargestellt.

| Kristallsystem | | | Beispiel |
|-------------------------|-------------------|--|------------|
| kubisch | $a = b = c$ | $\alpha = \beta = \gamma = 90^0$ | Bleiglanz |
| tetragonal | $a = b \neq c$ | $\alpha = \beta = \gamma = 90^0$ | Zinnstein |
| hexagonal | $a = b \neq c$ | $\alpha = \beta = 90^0$ $\gamma = 120^0$ | Beryll |
| trigonal, rhomboedrisch | $a = b = c$ | $\alpha = \beta = \gamma \neq 90^0$ | Kalkspat |
| orthorhombisch | $a \neq b \neq c$ | $\alpha = \beta = \gamma = 90^0$ | Schwerspat |
| monoklin | $a \neq b \neq c$ | $\alpha = \gamma = 90^0$ $\beta \neq 90^0$ | Gips |
| triklin | $a \neq b \neq c$ | $\alpha \neq \beta \neq \gamma$ $\alpha, \beta, \gamma \neq 90^0$ | Albit |

3. Systematik der Minerale

Die Einteilung der Minerale in Gruppen wird nach chemischen Gesichtspunkten vorgenommen. Diese Systematik ist elementarer Lernstoff und bildet die Grundlage zum Verständnis der erz- und gesteinsbildenden Minerale.

| | | |
|-------------------------------|--|--------------------------|
| 1. Elemente | z. B. Gediegene Metalle | Cu, Ag, Au, Pt, Hg |
| | z. B. Nichtmetalle | C, S, Se, Te, As, Sb, Bi |
| 2. Sulfide | z. B. Bleiglanz PbS, Zinkblende ZnS | |
| 3. Halogenide | z. B. Steinsalz NaCl, Sylvin KCl, Flußspat CaF ₂ | |
| 4. Oxide, Hydroxide | z. B. Quarz SiO ₂ , Hämatit Fe ₂ O ₃ | |
| 5. Karbonate, Borate | z. B. Calcit CaCO ₃ , Dolomit CaMg(CO ₃) ₂ | |
| 6. Sulfate, Chromate | z. B. Schwerspat BaSO ₄ | |
| 7. Phosphate, Arsenate | z. B. Apatit Ca ₅ [(F,Cl,OH) (PO ₄) ₃] | |
| 8. Silikate | | |
| <i>Inselsilikate</i> | z.B. Olivin (Mg,Fe) ₂ [SiO ₄] | |
| <i>Gruppensilikate</i> | z.B. Epidot Ca ₂ (Fe,Al) Al ₂ [(O/OH)/SiO ₄ /Si ₂ O ₇] | |
| <i>Ringsilikate</i> | z.B. Beryll Be ₃ Al ₂ [Si ₆ O ₁₈] | |
| <i>Kettensilikate</i> | z.B. Diopsid CaMg [Si ₂ O ₆] | |
| <i>Schichtsilikate</i> | z.B. Muskovit KAl ₂ [(OH) ₂ AlSi ₃ O ₁₀] | |
| <i>Gerüstsilikate</i> | z.B. Alkalifeldspat (K,Na) [Si ₃ O ₈] | |
| 9. Organische Minerale | z.B. Whewellit Ca (C ₂ O ₄) · H ₂ O | |

4. Nebenbestandteile

Die chemischen Bestandteile eines Minerals sind in der Regel durch eine feste Formel definierbar, in der ein Ladungsausgleich zwischen negativ (Anionen) und positiv (Kationen) geladenen Kristallbausteinen realisiert und daher eine stöchiometrische Zusammensetzung garantiert ist.

Fast alle Minerale enthalten neben ihrem über die Formel definierten chemischen Stoffbestand noch Nebenbestandteile. Diese sind in Skript gesondert aufgeführt. Als Beispiel dient der Ersatz von Zink (Zn) durch Cadmium (Cd) im Mineral Zinkblende (ZnS). Das Cd hat einen ähnlichen Ionenradius und ist wie das Zn zweifach positiv geladen. Daher kann Cd auf dem Gitterplatz des Zn im Mineral ZnS vorkommen. Die Menge dieses Ersatzes richtet sich nach dem Angebot von Cadmium gegenüber Zink während des Bildungsprozesses des Minerals Zinkblende.

1. Elemente

Gold, Silber, Kupfer, Platin, Quecksilber, Schwefel, Kohlenstoff

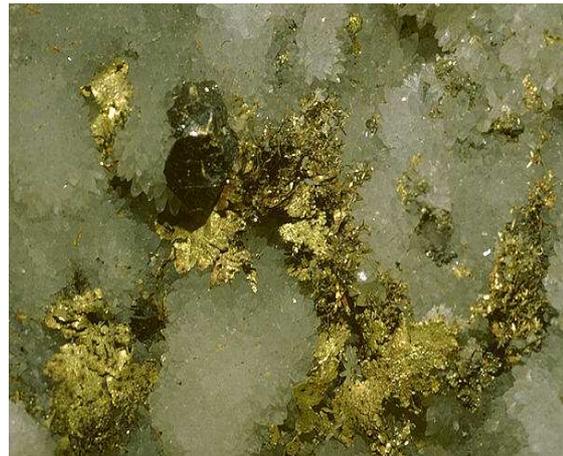
Es gibt etwa dreißig Elemente, die in der Natur als Minerale vorkommen. Die einzige Ausnahme ist Quecksilber, es ist sehr selten und kommt unter natürlichen Bedingungen im flüssigen Zustand vor.

Die Metalle sind in einer hohen Symmetrie kristallisiert. Die einzelnen Atome sind in dichtesten Kugelpackungen angeordnet. Dies bedingt eine allgemein hohe Leitfähigkeit, hohe Dichte und das charakteristische mechanische Verhalten.

Das Quecksilber (Hg) soll hier nur randlich erwähnt werden. Es kristallisiert bei -39 °C , hat eine Dichte von $13,6\text{ g/cm}^3$ und ist metallisch glänzend. Es kommt in kleinen Tröpfchen in den Verwitterungszonen von Zinnober-Lagerstätten (HgS) vor. Gegenüber dem Zinnober ist metallisches Quecksilber wirtschaftlich unbedeutend. Natürliches Amalgam ist eine Legierung des Hg mit Ag oder Au.

| | |
|--------------------------|-------------------------------|
| Gold | Au |
| Nebenbestandteile | Ag |
| Einschlüsse | FeS₂, FeAsS |

| | |
|----------------------|--|
| Bruch: | hakig, plastisch verformbar |
| Farbe: | gelber Metallglanz, durch Ag heller: keine Anlauffarben |
| Strich: | goldgelb, metallglänzend |
| Dichte: | 19 - 16 g/cm ³ mit Zunahme des Ag-Gehaltes |
| Härte: | 2,5 – 3 |
| Spaltbarkeit: | fehlt |



Idiomorphe Kristalle sind selten. Meist kommt das Gold in bizarren blech- oder drahtförmigen Aggregaten vor. Verbreitet ist es als Einschluss in sulfidischen Erzmineralen wie Pyrit (FeS₂) oder Arsenkies (FeAsS). Gediegen Gold enthält immer Anteile anderer Metalle, vor allem Silber. Gold kommt auf primären Lagerstätten in Erzgängen vor. Dort wird es aus einem hydrothermalen Fluid abgeschieden. Das natürliche Gold enthält meist 2-20 Gew.-% Silber.

Primäre Lagerstätten sind die alten Gold-Quarz-Gänge der Hohen Tauern und Siebenbürgens sowie die Porphyry-Copper-Lagerstätten an aktiven Plattenrändern (Anden, Papua). Auf sekundärer Lagerstätte ist das Gold als Schwermineral auf sog. Seifen angereichert. Dies sind Schwemm-Anhäufungen des exogenen Zyklus. Die berühmteste ist die fossile Seife von Witwatersrand in Südafrika.

Gold wird durch Amalgamierung oder das Zyanidverfahren aus den Erzen gewonnen. Verwendet wird Gold hauptsächlich als Währungsmetall, daneben unter anderem in der Medizin, der Elektronik und der Schmuckindustrie.

Silber

Ag

Nebenbestandteile

Au, Hg, Cu, Bi

| | |
|---------------|---|
| Bruch: | hakig, plastisch verformbar |
| Farbe: | frischer Bruch silberweißer Metallglanz, sonst gelblich bis schwarz anlaufend durch Silbersulfid |
| Strich: | silberweiß bis gelblich metallglänzend |
| Dichte: | 10 - 12 g/cm ³ |
| Härte: | 2,5 – 3 |
| Spaltbarkeit: | fehlt |



Gediegen Silber kommt meist in Form von draht-, haar- oder dendritischen Aggregaten vor. Es enthält immer etwas Au und in kleineren Anteilen auch Hg und Cu. Das Vorkommen von gediegen Silber beschränkt sich auf die oberflächennah veränderten Silber-Lagerstätten wie etwa den Vererzungen im Harzer oder im Erzgebirgischen Gangrevier. Silber wird selten gediegen abgebaut. Abbauwürdige Vorkommen bilden Ag-Erzminerale, wie etwa der Bleiglanz, aus.

Neben der Nutzung für Schmuck wird Silber unter anderem auch in der Elektrik, der Elektronik, der Optik, als Geschirr und als Legierung verwendet.

Kupfer

Cu

| | |
|---------------|---|
| Bruch: | hakig, dehnbar |
| Farbe: | roter Metallglanz, matte Anlauffarben durch Oxidschicht |
| Strich: | kupferrot, metallglänzend |
| Dichte: | 8,5 - 9 g/cm ³ |
| Härte: | 2,5 – 3 |
| Spaltbarkeit: | fehlt |



Wie Au und Ag tritt Kupfer in unregelmäßig geformten Aggregaten auf. Häufigstes Vorkommen ist die Verwitterungszone großer Cu-Lagerstätten, beispielsweise im Westen der USA (Bisbee, Arizona) sowie am Lake Superior. Der Hauptproduzent von Kupfer ist Chile (Stand: 2011), mit der größten im Tagebau betriebenen Kupfermine Chuquicamata.

Als Kupfererz ist gediegenes Kupfer von geringer Bedeutung, weil diese Vorkommen meist sehr kleinräumig sind. Hauptsächlich werden Kupfersulfide zur Kupfergewinnung abgebaut. Kupfer bildet eine Paragenese mit vielen sekundären Kupfermineralen wie etwa Azurit und Malachit und Mineralen wie Calcit, Quarz oder Silber. Kupfer wird unter anderem in der Elektrik, Elektronik und als Bestandteil von Legierungen verwendet. Als Kupferblech wird es für Dächer verwendet. Durch die sich bildende Patina schützt sich das Dach selbst vor einer weiteren Verwitterung.

Platin

Pt

Nebenbestandteile

Ir, Os, Rh, Pd, Cu, Au, Fe

| | |
|---------------|---|
| Farbe: | stahlgrau, metallisch glänzend, oxidiert nicht an der Luft |
| Strich: | silberweiß |
| Dichte: | 15 – 19 g/cm ³ , je nach Fe- Gehalt |
| Härte: | 4 – 4,5 |
| Spaltbarkeit: | fehlt |



Gediegenes Platin bildet immer Legierungen mit Eisen, dessen Anteil meist zwischen 4 - 11% beträgt, und es enthält immer andere seltene Elemente wie Ir und Os, aber auch etwas Cu und Au. Das Metall wird liquid-magmatisch als Frühkristallinat gebildet.

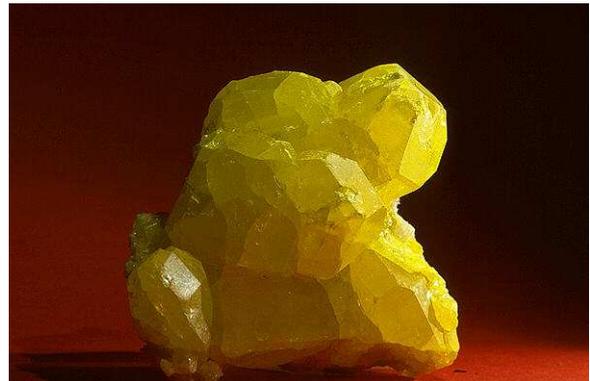
Das häufigste Vorkommen von Platin ist das in ultramafischen Magmatiten (Merensky Reef, Bushveld; Ural). Eine sekundäre Anreicherung auf Seifen ist ebenfalls von Bedeutung. Solche Seifen werden heute aber nur noch in Südafrika (Transvaal) abgebaut. Seifen mit Platin-Nuggets von beachtlicher Größe waren auf beiden Seiten des Urals in Ausbeutung. In den Ultramafititen ist Platin meist sehr fein im Gestein verteilt. Als Nebenprodukt vom Nickelabbau wird Platin in Sudbury (Ontario) und Norilsk (Russland) gefördert.

Iridium (Ir), **Osmium (Os)** und **Palladium (Pd)** kommen gelegentlich in Form von Nuggets als eigene Minerale auf Gold- und Platin-Seifen vor. Diese Elemente gehören mit zur Platingruppe.

Schwefel

S

| | |
|---------------|--------------------------------------|
| Farbe: | schwefelgelb, durch Bitumen braun |
| Strich: | weiß |
| Dichte: | 2,0 – 2,1 g/cm ³ |
| Härte: | 1,5 – 2 |
| Spaltbarkeit: | angedeutet |



Gediegen Schwefel (α -S) ist sehr häufig in vulkanischen Exhalationen vertreten. Bedeutungen haben bis heute die Lagerstätten in Agrigento, Sizilien. Der β -Schwefel (monoklin) existiert nur bei hohen Temperaturen ($> 95\text{ °C}$) in aktiven Vulkanbauten und geht bei Abkühlung in den α -Schwefel (orthorhombisch) über. Schwefel bildet sich auch bei der bakteriellen Reduktion durch das Schwefelbakterium *Desulfovibrio desulfuricans* von Sulfat-Schwefel in Sedimenten (Texas, Louisiana). Schwefel bildet oft hübsche Kristalle in bipyramidaler Erscheinung. In sedimentären Vorkommen ist Schwefel massig bis feinkörnig und xenomorph. Vulkanisch gebildeter Schwefel ist aus allen rezenten Vulkangebieten (z. B. Sizilien) bekannt. Weitere Funde gibt es im Gips, Anhydrit und Salz von Staßfurt (Sachsen-Anhalt).

Graphit

C

| | |
|---------------|---------------------------------------|
| Eigenschaft: | sehr gute Leitfähigkeit |
| Farbe: | schwarz, metallisch glänzend, opak |
| Strich: | schwarz |
| Dichte: | 2,25 g/cm ³ |
| Härte: | 1, schwarz abfärbend |
| Spaltbarkeit: | vollkommen |



Graphit besitzt eine für dieses Mineral sehr typische Schichtstruktur, in der in jeder Schicht ein C – Atom von 3 weiteren C-Atomen umgeben ist. Es werden so zweidimensional unendliche **hexagonale** Netze aufgespannt. Dies begründet seine sehr gute Leitfähigkeit.

Das häufigste Vorkommen ist das als Graphit-Schüppchen in metamorph überprägten Sedimenten. In metamorphen Flözen ist es zu großen Aggregaten von teilweise wirtschaftlicher Bedeutung gehäuft, seine Form ist immer xenomorph. Klassische Vorkommen sind die in Marmoren konservierten Graphite von Kropfmühl bei Passau und Pargas in Finnland. Gelegentlich enthalten sehr mafische Magmen Einschlüsse von Graphit (Beispiel: Harzburger Gabbro). Wichtige Vorkommen werden in British-Kolumbia (Kanada) im Slocan-Bergbaubezirk exploriert (Stand: 2011).

Verwendet wird Graphit unter anderem in der Atomindustrie, bei der Bleistiftherstellung, als Schmiermittel und in der Stahlindustrie.

Diamant

C

| | |
|---------------|----------------------------------|
| Eigenschaft: | sehr hohe Lichtbrechung |
| Farbe: | wertvolle Steine sind farblos |
| Strich: | weiß |
| Dichte: | 3,52 g/cm ³ |
| Härte: | 10 |
| Spaltbarkeit: | vollkommen |

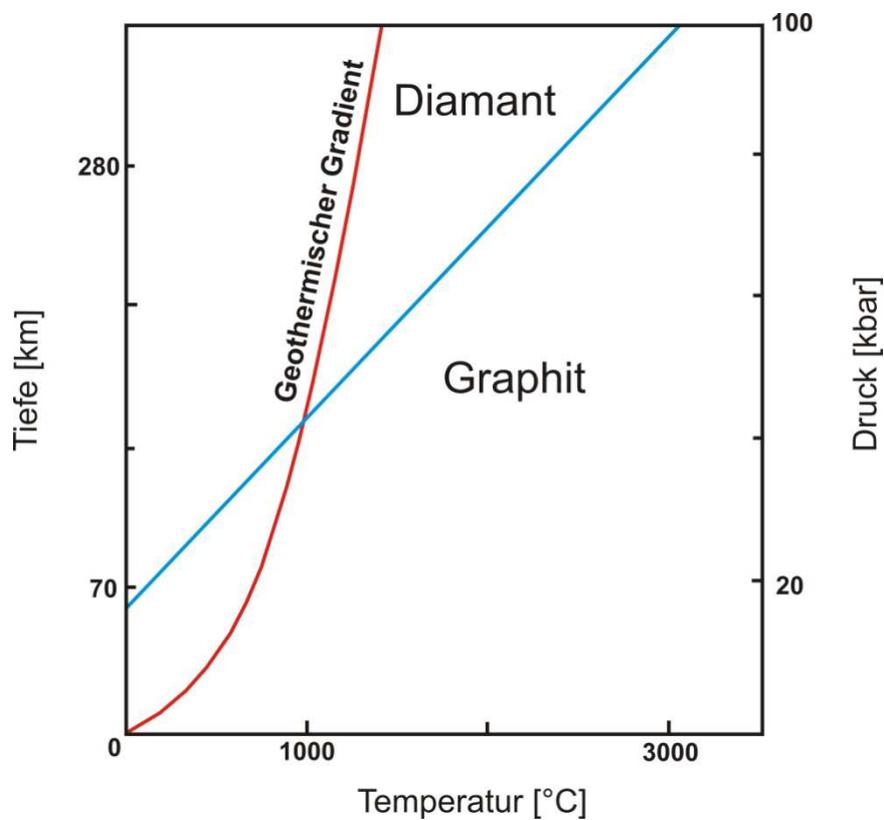


Diamant ist das härteste Mineral. Auf den verschiedenen Flächen und in den verschiedenen Richtungen auf einer gegebenen Fläche bestehen Härteunterschiede. Diamant kommt in Kimberlit-Lagerstätten in primärer Lagerung vor, aber auch die Anreicherung als Schwermineral auf Seifen ist von wirtschaftlicher Bedeutung. Diamant tritt meistens als Oktaeder und Würfel mit korrodierten Kanten auf. Andere komplizierte Wachstumsformen werden ebenfalls beobachtet.

Da die Diamanten an die Eruption von Kimberliten gebunden sind, werden nur in den Bereichen alter Kontinentalmassen, auf die diese Eruptivgesteine beschränkt sind, nennenswerte Funde erzielt. Die Gehalte von Diamant in Kimberlit können bis zu 200 Karat pro Tonne Gestein betragen. Die reichsten Vorkommen sind derzeit in Sibirien (Udachnaya, Mir) und in NW-Australien (Kimberley-Mine) in Abbau. Es werden regelmäßig neue Funde gemacht, so zum Beispiel bei Archangelsk, in Brasilien, in Indien und in Südafrika. Diamanten kommen auch in Seifen vor. Industrie-Diamanten können aus der Gasphase im Lichtbogen oder durch Glimmentladung erzeugt werden. Die größte im Abbau befindliche Diamantenmine ist die Diavik Mine in Kanada (Stand: 2010). Russland führt bei der Produktion von Naturdiamanten, die USA bei den synthetischen Diamanten (Stand: 2010).

Diamanten werden als Schmucksteine verwendet. Für die Verwendung als Schleifmittel, als Schutzschicht vor Abnutzung z. B. auf Bohrkronen und die Bearbeitung von Diamanten usw. werden hauptsächlich Industriediamanten eingesetzt.

Im unten stehenden P-T-Diagramm sind die Stabilitätsbereiche von Graphit und Diamant in der Erde aufgetragen. Zur Bildung der sehr dichten Diamant-Struktur benötigt man extrem hohe Drücke, wie sie innerhalb des Erdmantels nur in Tiefen > 130 bis 150 km verwirklicht sind. Nur die sehr schnelle Extrusion von Kimberlit-Magmen ermöglicht die oberflächennahe Konservierung dieses metastabilen Zustands.



2. Sulfide

Kupferglanz, Pentlandit, Bleiglanz, Zinkblende, Kupferkies, Magnetkies, Zinnober, Antimonglanz, Molybdänglanz, Pyrit, Markasit

Man unterscheidet die Sulfide chemisch nach dem Verhältnis des Metalls (Me) zum Schwefel (S). Es gibt Sulfide mit $\text{Me/S} > 1$ (Beispiel: Kupferglanz Cu_2S , Bornit Cu_5FeS_4), solche mit $\text{Me/S} = 1$ (Bleiglanz PbS , Zinkblende ZnS) und solche mit $\text{Me/S} < 1$ (Beispiel: Pyrit FeS_2 , Molybdänit MoS_2). Außerdem gibt es noch komplexe Sulfide, die sogenannten Sulfosalze, in denen außer Schwefel noch Sb und As auftreten (Beispiel: Fahlerze wie Tetraedrit $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ und Tennantit $\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$; Rotgültigerze wie Proustit Ag_3AsS_3 und Pyrargyrit Ag_3SbS_3).

Nicht besprochen werden die auch in die zweite Gruppe gehörenden Arsenide.

Kupferglanz (Chalkosin)



| | |
|---------------|---|
| Farbe: | bleigrau (frischer Bruch), an der Luft matt und schwarz anlaufend |
| Strich: | grauschwarz |
| Dichte: | 5,5 – 5,8 g/cm ³ |
| Härte: | 2,5 - 3 |
| Spaltbarkeit: | undeutlich |



Kupferglanz kommt in Form von bleigrauen, feinkristallinen Massen vor. Er wird als primäres Erzmineral hydrothermal abgeschieden. Große Lagerstätten dieses Typs waren die von Butte (Montana) und Tsumeb (Namibia). Sekundär tritt er in der Zementationszone von großen Kupferlagerstätten auf. Er findet sich auch als fein verteiltes Erzmineral in der Zechstein-Einheit Kupferschiefer in Mitteleuropa. Kupferglanz geht durch Verwitterung in Rotkupfererz (Cuprit) Cu_2O oder gediegen Kupfer über. Die Endprodukte der Verwitterung bilden Azurit und Malachit.

Pentlandit (Eisennickelkies)



| | |
|---------------|---------------------------|
| Farbe: | bronzegelb |
| Strich: | schwarz |
| Dichte: | 4,6 – 5 g/cm ³ |
| Härte: | 3,5 - 4 |
| Spaltbarkeit: | deutlich nach |



Pentlandit entsteht zusammen mit Magnetkies (Pyrrhotin) als liquidmagmatische Ausscheidung aus mafischen Schmelzen, wobei Pentlandit zumeist als Einschluss im Magnetkies auftritt. Diese Entstehung ist besonders gut belegt in der wichtigen Ni-Lagerstätte von Sudbury, Ontario (Kanada). Eine ähnliche Genese und Bedeutung hat das Bushveld-Massiv in Transvaal (Südafrika). Mit einem Nickelgehalt von ungefähr 34 % gehört Pentlandit zu einem der wichtigsten Nickelerze.

Nickel wird hauptsächlich zur Stahlveredelung und für Legierungen verwendet, in geringerem Maße auch in der chemischen Industrie und in der Galvanotechnik.

Bleiglanz (Galenit)**PbS****Nebenbestandteile****Ag, Au, Se****Einschlüsse****Ag₂S**

Farbe: bleigrau, starker Metallglanz
auf frischen Bruchflächen

Strich: grauschwarz

Dichte: 7,4 – 7,6 g/cm³

Härte: 2,5 – 3

Spaltbarkeit: vollkommen



Bleiglanz weist gewöhnlich einen geringen Gehalt an Silber auf. Dieser kommt hauptsächlich durch Einschlüsse verschiedener Silbersulfide zustande. Bei Bleiglanz handelt es sich um das wichtigste und häufigste Pb-Erzmineral, und auf Grund seiner weiten Verbreitung ist es auch das wichtigste Silbererz.

Bleiglanz entsteht häufig auf hydrothermalen Gängen. Auf Grund gleicher Bildungsbedingungen bildet Bleiglanz zusammen mit Zinkblende (ZnS) eine Paragenese. Bleiglanz tritt als sog. Durchläufer in fast allen Gangvererzungen des europäischen Grundgebirges (Harz, Erzgebirge etc.) auf. Mengenmäßig weniger bedeutend sind die Imprägnationen in Sandstein (Buntsandstein) und in Kalksteinen.

Neben der Verwendung im Strahlenschutz wird Blei auch als Metall oder Legierung genutzt. Auf Grund seiner Toxizität wird Blei nicht mehr zur Herstellung von Wasserrohren und Essgeschirr bzw. Trinkgefäßen verwendet. Weitere Verwendung findet Blei noch in einigen Ländern als Bestandteil von Kosmetik, Farben und Benzin.

Zinkblende (Sphalerit)



Nebenbestandteile

Fe, Cd, Mn

Eigenschaft: meist opak
Farbe: meist bräunlich-rot, gelb,
schwarz, starker Glanz
Strich: gelb bis braun
Dichte: $3,9 - 4,1 \text{ g/cm}^3$
Härte: 3,5 – 4
Spaltbarkeit: vollkommen



Fe ist ein Nebenbestandteil, der fast immer in Zinkblende vorhanden ist. Mit zunehmendem Fe-Gehalt wird die Zinkblende dunkler bis schwarz gefärbt. Neben Fe kommen auch Cd (circa 0,5 %) und Mn als Nebenbestandteile, sowie auch seltene Metalle wie In, Ga, Tl und Ge vor.

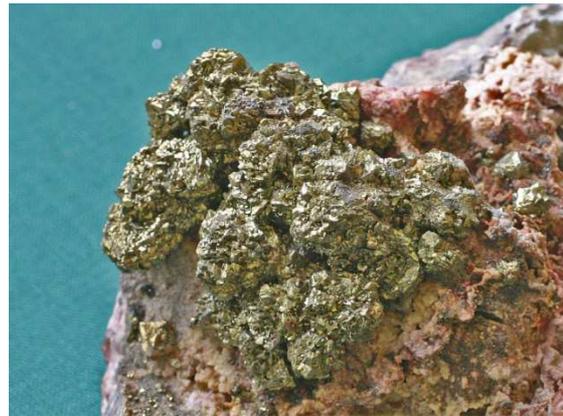
Zinkblende ist zusammen mit Bleiglanz auf fast allen hydrothermalen Gängen des europäischen Grundgebirges (Harz, Erzgebirge etc.) zu finden. Zinkblende ist das wichtigste Zinkerzmineral und von großer wirtschaftlicher Bedeutung. Eines der wichtigsten Vorkommen ist das von Broken Hill (Australien). Außerdem kommt es als synsedimentäre-exhalative Bildung in schichtgebundenen Lagerstätten vor, Beispiele hierfür sind der Rammelsberg in Niedersachsen und Meggen in Westfalen.

Zinkblende enthält als wichtiges Spurenelement das hoch toxische Cadmium. Dieses fällt als Metall bei der Verhüttung von Zinkerzen an und kann wegen seiner hohen Flüchtigkeit sehr leicht in der Umgebung verteilt werden.

Zink dient als Korrosionsschutz, wird für Batterien und die Herstellung von Zinkblech verwendet. Cadmium wird als Rostschutz, in Akkus, als Legierung und zum Färben von Glas verwendet.

Kupferkies (Chalkopyrit) CuFeS_2

| | |
|---------------|---|
| Farbe: | grünlich bis gelb, Metallglanz, bunt anlaufend |
| Strich: | schwarz |
| Dichte: | 4,1 – 4,3 g/cm^3 |
| Härte: | 3,5 – 4 |
| Spaltbarkeit: | fehlt |



Kupferkies ist das verbreitetste und mit bis zu 35 % Cu-Gehalt auch eines der wirtschaftlich wichtigsten Cu-Erzminerale. Kupferkies wird als magmatisches Frühkristallinat zusammen mit Magnetkies und Pentlandit gebildet. Es entsteht auch auf hydrothermalen Gängen, und rezent als submarine-exhalative Ablagerung an Mittelozeanischen Rücken. Kupferkies ist ein Durchläufermineral. Bei seiner Verwitterung entsteht ein inhomogenes Verwitterungserz (Kupferpecherz bzw. Ziegelerz), das aus Azurit $\text{Cu}_3[\text{OH}/\text{CO}_3]_2$, Malachit $\text{Cu}_2[(\text{OH})_2/\text{CO}_3]$, Rotkupfererz Cu_2O , Kupferindigo (Covellin) CuS , Buntkupferkies (Bornit Cu_5FeS_4), viel Brauneisenerz (Limonit FeOOH) und anderen Mineralen besteht.

Farbe und Habitus können zur Verwechslung mit Pyrit führen. Seltener ist die Verwechslung mit Gold.

Magnetkies (Pyrrhotin)**Nebenbestandteile****Ni, Co**

| | |
|---------------|--|
| Farbe: | hell bronzefarben, mattbraun anlaufend, Metallglanz |
| Strich: | grauschwarz |
| Dichte: | 4,6 – 4,7 g/cm ³ |
| Härte: | 4 |
| Spaltbarkeit: | deutlich |



Zusammen mit Pentlandit auf den großen magmatischen Lagerstätten wie Sudbury (Kanada) auftretend, dort wird es als Nickelerz abgebaut. Magnetkies entstand in dieser Lagerstätte als Entmischung des sulfidischen Anteils der mafischen Magmen in Frühstadien der Kristallisation. Pyrrhotin ist meist ferromagnetisch.

Wirtschaftlich hat Magnetkies eher geringe Bedeutung und wird nur selten als Eisenerz abgebaut. Verwendung findet es für die Herstellung von Eisenvitriol und als Grundstoff für Polierrot.

Zinnober (Cinnabarit)

HgS

| | |
|---------------|------------------------|
| Farbe: | rot, rotbraun, schwarz |
| Strich: | dunkelrot |
| Dichte: | 8,1 g/cm ³ |
| Härte: | 2 – 2,5 |
| Spaltbarkeit: | vollkommen |



Zinnober ist mit circa 87 % Hg-Gehalt das wichtigste Quecksilbererz, meist niedrigthermal ausgeschieden in jungen Vulkanen wie Monte Amiata (Umbrien). Eine große, seit dem Altertum ausgebeutete Lagerstätte ist die von Almadén (Spanien).

Als schwer wasserlösliches Farbpigment wird es in der Malerei verwendet. Hauptverwendung findet Hg als Legierungsmetall, u. a. als Silber-Amalgam in der Zahntechnik oder für die Goldwäsche.

Bedingt durch seine hohe Toxizität wird der Gebrauch von Quecksilber immer weiter eingeschränkt. Die Nutzungen als Flüssigkeit in Thermometern und „Energiesparlampen“ und als Heilmittel wurden bereits, bzw. sollten baldmöglichst eingestellt werden.

Antimonglanz (Stibnit, Antimonit) Sb_2S_3

| | |
|---------------|--------------------------------|
| Farbe: | bleigrau, buntfarbig anlaufend |
| Strich: | dunkelbleigrau |
| Dichte: | 4,5 – 4,6 g/cm ³ |
| Härte: | 2 – 2,5 |
| Spaltbarkeit: | sehr vollkommen nach {010} |



Wichtiges Antimonerzmineral, gelegentlich auf den Erzgängen Mitteleuropas. Gebildet wird Stibnit auf hydrothermalen Gängen, zwischen 300 und 1000°C. Große Lagerstätten liegen in China und Japan.

Verwendet wird Antimon als Legierungsmetall und als Zusatz zu Akkumulatorenblei sowie als reinstes Sb in der Halbleiterindustrie und im Brandschutz.

Molybdänglanz (Molybdänit) MoS_2

| | |
|---------------|--|
| Eigenschaft: | unelastisch biegsame Spaltplättchen |
| Farbe: | bleigrau, Metallglanz |
| Strich: | dunkelgrau |
| Dichte: | 4,7 – 4,8 g/cm^3 |
| Härte: | 1 – 1,5 |
| Spaltbarkeit: | vollkommen |



Molybdänglanz besitzt meist einen geringen Gehalt an Rhenium.

Einziges wichtiges Molybdän-Erzmineral, meist untergeordnet in pegmatitisch-pneumatolytischen Gängen und Porphyry-Cu-Lagerstätten (Anden). Eine größere Lagerstätte befindet sich in den Quarz-haltigen Erzen von Climax (Colorado). Er bildet häufig Paragenesen mit Wolframit.

MoS_2 findet als Schmierstoff Verwendung. Mo ist ein Stahlveredelungsmetall (Molybdänstahl).

In Farbe und Habitus kann Molybdänit mit Graphit verwechselt werden.

Pyrit (Eisenkies, Schwefelkies) FeS_2

Nebenbestandteile Ni, Co, Cu

Einschlüsse Au

Eigenschaft: opak

Farbe: messinggelber Metallglanz

Strich: grün- bis bräunlichschwarz

Dichte: 5 g/cm^3

Härte: 6 – 6,5

Spaltbarkeit: undeutlich



Pyrit ist ein außerordentlich weit verbreitetes Mineral, es handelt sich um ein typisches Durchläufermineral. Ausgedehnte Lagerstätten des sedimentär-exhalativen Typs sind in Meggen und am Rammelsberg in Abbau gewesen. Hauptsächlich wird Pyrit hydrothermal, seltener magmatisch gebildet.

Das Eisen in Pyrit kann durch kleinere Mengen von Nickel, Kobalt oder Kupfer ersetzt sein; mitunter auch kleinere Einschlüsse von Gediegen Gold. Pyrit kann ein wichtiger Goldträger sein und wird auch häufig mit Gold verwechselt, daher auch die Bezeichnung Katzensgold. Gold ist jedoch viel weicher und dehnbar und es hat goldgelben Strich.

Bedingt durch sein kubisches Kristallsystem bildet Pyrit meist Würfel aus, die im Normalfall eine typische Streifung (Wachstumsstreifung bzw. die sogenannte Kombinationsstreifung) aufweisen. Die häufigsten Formen sind neben dem Würfel der Oktaeder sowie vielfältige Verzwilligungen dieser Formen.

Pyrit wird zur Herstellung von Schwefelsäure (H_2SO_4) genutzt. Der dabei entstehende Abröstungsrückstand wird dann in der Eisengewinnung, als Polierpulver oder als Farbbestandteil verwendet. Je nach Gehalt der Nebenbestandteile wird Pyrit auch als Kupfer- oder Golderz abgebaut.

Markasit



| | |
|---------------|---|
| Eigenschaft: | opak |
| Farbe: | gegenüber Pyrit eher grünlichgelb, Metallglanz |
| Strich: | grünlich bis schwarzgrau |
| Dichte: | 4,8 – 4,9 g/cm ³ |
| Härte: | 6 – 6,5 |
| Spaltbarkeit: | unvollkommen |



Markasit besitzt eine niedrige Bildungstemperatur unter 300°C und entsteht meist aus sauren Lösungen. Oberhalb von ca. 400 °C geht der orthorhombische Markasit durch einen Umbau im Kristallsystem in den kubischen Pyrit über.

Markasit ist nicht so verbreitet wie Pyrit. Auf manchen hydrothermalen Erzgängen (Clausthal) und als Konkretionen in Sedimenten. Seine äußere Erscheinungsform ist sehr vielfältig. Sie reicht von sehr kleinen, himbeerartigen Gelausscheidungen in Sedimenten (sog. Framboiden) bis hin zu sehr komplizierten Durchwachsungszwillingen in sedimentären Konkretionen. Beim knollenförmigen Habitus zeigen Bruchflächen einen radialstrahligen internen Aufbau. Außerdem gibt es mannigfaltige Pseudomorphosen des Markasits nach den Formen anderer Minerale.

3. Halogenide

Halit, Sylvin, Carnallit, Fluorit

Die Minerale dieser Gruppe sind Chloride und Fluoride von Alkali- und Erdalkalielelementen. Brom und Iod bilden keine eigenen Verbindungen als Minerale. Die Kristallgitter der hier näher betrachteten Minerale Halit, Sylvin und Fluorit sind in der höchstmöglichen Symmetrie angeordnet. Diese Minerale zeigen eine ausgeprägte Spaltbarkeit. Sie sind entweder farblos oder allochromatisch, das heißt durch Fremdionen oder Fremdeinschlüsse gefärbt. Charakteristisch für diese Gruppe ist auch die geringe Dichte der einzelnen Minerale.

| | |
|--------------------------|-------------|
| Steinsalz (Halit) | NaCl |
| Nebenbestandteile | Br |

| | |
|--------------|--|
| Eigenschaft: | durchsichtig, leicht wasserlöslich, salziger Geschmack |
| Farbe: | farblos, bisweilen rot, gelb, braun, grau durch Beimengungen |
| Dichte: | 2,1 – 2,2 g/cm ³ |
| Härte: | 2 |



Die Färbung von Halit ist bei Einschlüssen von Limonit gelblich und durch Hämatit rötlich, grau durch Toneinschlüsse, braunschwarz durch Bitumen. Durch radioaktive Bestrahlung kann es zu Fehlern im Kristallgitter kommen, die als blaue oder violette Verfärbungen in Erscheinung treten.

Steinsalz ist das Hauptmineral in Evaporit-Lagerstätten. Diese entstehen, wenn in nahezu abgeschlossenen Meeresbecken die Verdunstung des Meerwassers größer ist als Zufluss plus Niederschlag und die im Meerwasser gelösten Ionen als Verbindungen ausfallen.

Verwendet wird Halit als Speisesalz und Streusalz.

Sylvin

KCl

Nebenbestandteile

Rb, Cs

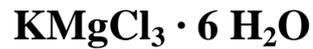
Eigenschaft: bitterer Geschmack
Farbe: mit Halit vergleichbar
Dichte: $1,99 \text{ g/cm}^3$, geringer als die
von Halit
Härte: 2
Spaltbarkeit: vollkommen



Unterscheidungskriterien gegenüber Halit sind der bittersalzige Geschmack und die rötlichviolette Flammenfärbung des Kaliums. Durch Farbe und Habitus kann Sylvin nicht von Halit unterschieden werden. Es können Spuren von Rb oder Cs eingebaut werden.

Wie Steinsalz ist der Sylvin ein Mineral der Evaporit-Lagerstätten und bildet sich dort als eines der letzten Minerale. Es kann entweder primär durch Evaporation oder aber sekundär aus Carnallit entstehen. Sylvin und Carnallit sind als Kalium-Träger von großer wirtschaftlicher Bedeutung und finden z. B. bei der Düngemittel- und in der Glasherstellung Verwendung.

Carnallit



| | |
|---------------|---|
| Eigenschaft: | stark hygroskopisch, starke Phosphoreszenz |
| Farbe: | farblos, meist aber weiß, rosa, grau, rot, braun, blau oder gelb, Fettglanz |
| Dichte: | 1,6 g/cm ³ |
| Härte: | 1,5 – 2 |
| Spaltbarkeit: | keine |



Carnallit bildet sich als eines der letzten Minerale in der Evaporit-Abfolge und zählt zu den Kalisalzen. Das Vorkommen ist auf sedimentäre Salzlagerstätten beschränkt. Er bildet zusammen mit Halit (NaCl), Kainit ($\text{KMg}[\text{Cl}|\text{SO}_4]\cdot 3\text{H}_2\text{O}$) und Kieserit ($\text{MgSO}_4\cdot \text{H}_2\text{O}$) plus Anhydrit (CaSO_4) das K-Salzgestein Carnallit (Kalisalz). Es ist das wichtigste primäre Kalisalz in den deutschen Kalisalzlagertstätten. Wichtige Fundorte sind auch Suria (Spanien), Kalusz (Ukraine) und Benghasi (Libyen).

Es hat einen stark bitteren Geschmack. An der Atmosphäre nimmt Carnallit Wasser aus der Luft auf und zerfließt unter Abscheidung von Sylvin. Austausch der Cl^- - Ionen durch Br^- - Ionen führt zur Varietät Bromcarnallit. Dieser wurde eine Zeit lang zur Gewinnung von Brom genutzt, dies ist jedoch nicht mehr wirtschaftlich. Carnallit wird zur Herstellung von Kaliumdünger verwendet.

Fluorit (Flussspat)



| | |
|---------------|---|
| Farbe: | in fast allen Farben vorkommend, meist grün, violett, farblos, gelb, rosa |
| Dichte: | 3 – 3,5 g/cm ³ |
| Härte: | 4 |
| Spaltbarkeit: | vollkommen |



Für die Farbunterschiede gibt es unterschiedliche Ursachen, z.B. Einbau von Spurenelementen oder radioaktive Bestrahlung.

Flussspat wird pneumatolytisch oder hydrothermal gebildet. Es kann schichtgebunden in Sedimenten auftreten. Im Abbau sind große Lagerstätten in China.

Fluorit wird zur Senkung von Schmelzpunkten in der Metallurgie, zur Herstellung von Fluorchemikalien (z. B. Flusssäure) und in der Glasindustrie verwendet.

4. Oxide, Hydroxide

4.1 XO₂-Verbindungen

Quarz, Rutil, Zinnstein, Pyrolusit, Pechblende, Wolframit

Quarz

SiO₂

Tief-Quarz:

Eigenschaft: Glasglanz, Fettglanz auf
Bruchflächen

Farbe: reiner Quarz ist farblos

Dichte: 2,65 g/cm³

Härte: 7

Spaltbarkeit: fehlt, bis auf seltene
Ausnahmen



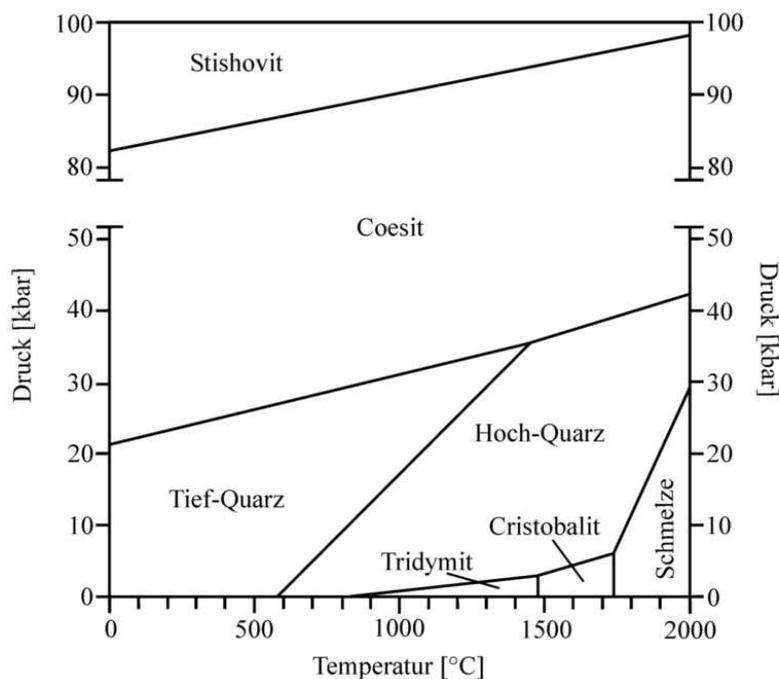
Quarz wird auf Grund seiner chemischen Zusammensetzung zu den Oxiden gestellt, dort gelegentlich auch als eigene Gruppe („Quarzgruppe“) geführt. Der innere Aufbau von Quarz entspricht der von Gerüstsilikaten (Tektosilikaten). Durch die elektrostatisch ausgeglichene Struktur kommt es zu keinem Einbau von Kationen in der Quarzstruktur.

Quarz ist ein sehr weit verbreitetes gesteinsbildendes Mineral der gesamten kontinentalen Erdkruste. Er kommt in felsischen Magmatiten (Granite etc.), Metamorphiten (Gneise etc.) und klastischen Sedimenten (Sandsteine etc.) vor. Dort ist er in der Regel xenomorph ausgebildet und fast immer ein wenig trüb durch Einschlüsse. Klare Kristalle kommen meist nur als sekundäre Bildungen auf Klüften und in Form anderer Neubildungen in Hohlräumen vor.

Die Quarzgruppe, SiO₂

| Modifikation | Kristallsystem | Dichte (g/cm ³) |
|---|----------------|-----------------------------|
| Tief-Quarz | trigonal | 2,65 |
| Hoch-Quarz | hexagonal | 2,53 |
| Tief-Tridymit | monoklin | 2,27 |
| Hoch-Tridymit | hexagonal | 2,26 |
| Tief-Cristobalit | tetragonal | 2,32 |
| Hoch-Cristobalit | kubisch | 2,20 |
| Coesit | monoklin | 3,01 |
| Stishovit | tetragonal | 4,35 |
| Opal (SiO ₂ · nH ₂ O) | amorph | 2,1 – 2,2 |

p-T-Diagramm der SiO₂-Modifikationen



Das Diagramm gibt an, bei welchem Druck und welchen Temperaturen eine bestimmte Modifikation stabil ist.

Nach Farbe, Ausbildung und anderen Aspekten werden unterschiedliche Varietäten des Tief-Quarzes unterschieden, wie zum Beispiel:

- Bergkristall: klar, durchsichtig
- Rauchquarz: rauchbraun
- Citrin: zitronengelb
- Amethyst: violett
- Rosenquarz: rosarot; Spuren von Ti⁴⁺ und Mn³⁺

Tigerauge: bronzegelb schillernd; Oxidation von enthaltenem Amphibolasbest
Milchquarz: milchig-trüb; Flüssigkeitseinschlüsse
Gemeiner Quarz: farblos, trüb, grau; durch das Wachstum weitere Unterteilungen in
Varietäten wie z. B. Kappenquarz, Sternquarz

Tridymit und **Cristobalit** sind selten. Sie kommen in manchen Vulkaniten vor und gelegentlich in Sedimenten. **Coesit** und **Stishovit** sind Hochdruck-SiO₂-Modifikationen. Stishovit entsteht durch den hohen Druck, der beim Aufprall eines Meteoriten in Impakt-Kratern auftritt. Coesit tritt in manchen Ultrahochdruckgesteinen auf.

Opal ist eine Gel-artige SiO₂-Modifikation, deren Vorkommen auf den sedimentären Bereich beschränkt ist. Dort findet man ihn in Form von Feuersteinen (Flint) und manchmal als Edelsteinvarietät in Mergeln (Australien). Die Farben des Edelsteins Opal werden hervorgerufen durch orientierte Einlagerungen von H₂O-Molekülen, die das typische Opalisieren bewirken.

Chalzedon ist schlecht kristallisierter, faserförmiger Tief-Quarz. Chalzedon-Aggregate in ehemaligen Blasenräumen von Vulkaniten werden als Achat bezeichnet.

Quarz wird in der Glasherstellung, als Baustoff (Sand) und das Silizium aus dem Quarz in der Halbleiterindustrie verwendet.

Rutil



Nebenbestandteile

Fe^{2+} , Fe^{3+} , Nb, Ta

| | |
|---------------|--|
| Farbe: | dunkelrot, braun, gelblich, seltener schwarz, durchscheinend |
| Strich: | gelblich bis bräunlich |
| Dichte: | 4,2 – 4,3 g/cm ³ |
| Härte: | 6 – 6,5 |
| Spaltbarkeit: | vollkommen |



Manche Rutilite weisen Gehalte von Fe^{2+} , Fe^{3+} , Nb und Ta auf. Modifikationen von Rutil sind der **Anatas** und der **Brookit**.

Rutil ist ein Durchläufer in vielen felsischen Magmatiten (Granite etc.), dabei ist er meist nur als ein mikroskopischer Gemengteil sichtbar, in Form dünner Nadelchen in Sedimentgesteinen wie Tonschiefern. In metamorphen Gesteinen können größere Kristalle wachsen, so auch in manchen Pegmatiten. Auf sekundärer Lagerstätte als Gemengteil von Sanden.

Rutil ist das wichtigste Ti-Mineral nach Ilmenit. Industriell hergestellt wird es als weißes Farbpigment (Titanweiß) genutzt. Synthetischer Rutil wird als Diamantersatz verwendet.

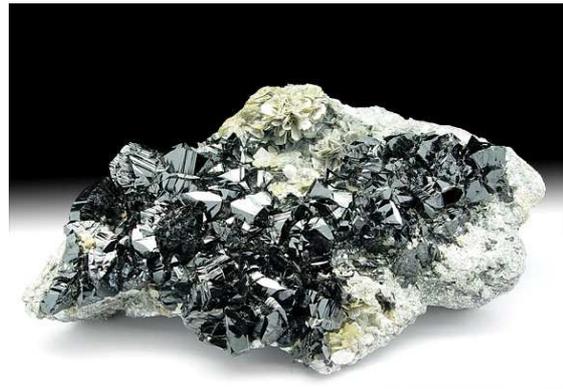
Kassiterit (Zinnstein)



Nebenbestandteile



| | |
|---------------|---|
| Farbe: | gelbbraun bis schwarzbraun, auf Bruchflächen Fettglanz |
| Strich: | gelb bis farblos |
| Dichte: | 6,8 – 7,1 g/cm ³ |
| Härte: | 6 – 7 |
| Spaltbarkeit: | bisweilen angedeutet |



Der Sn-Gehalt ist meist geringer als der theoretische Wert von 78,8 %. Dieses liegt am Austausch einiger Sn-Ionen durch Fremdionen wie Fe^{2+} , Fe^{3+} , Ti, Nb, Ta und Zr.

Zinnstein tritt in pneumatolytischen und in Pegmatit-Gängen auf. Weiträumig verteilt ist er in oberflächennahen Magmatiten vorhanden, kann jedoch auch in hydrothermalen Gängen zusammen mit Sulfiden (Bolivien) auftreten. Primär entsteht Zinnstein bei der Bildung von sogenannten Zinnreisen (wie z. B. in Portugal). Durch die hohe Dichte ist es als Schwermineral auf sekundärer Lagerstätte als Seifen-Zinn (Malaysia) angereichert. Es ist das wichtigste Zinn-Erzmineral. Idiomorphe Kristalle bilden Dipyramiden.

Zinn wird zur Herstellung von Weißblech, Lötzinn und als Bestandteil von Bronze verwendet.

Pyrolusit



(Braunstein, Schwarzer Glaskopf)

| | |
|---------------|---|
| Farbe: | dunkelgrau, Metallglanz, opak |
| Strich: | schwarz |
| Dichte: | 4,7 – 5,1 g/cm ³ je nach Beschaffenheit |
| Härte: | nicht bestimmbar, 2 – 6,5 |
| Spaltbarkeit: | deutlich |



Der Mn-Gehalt kann bis ca. 63 % betragen. Pyrolusit ist, oft in Paragenese mit Limonit, ein typischer Bestandteil von Verwitterungserzen. Er bildet sich auch sedimentär. Pyrolusit war ein bedeutendes Erzmineral im Ilfelder Becken, Harz. Aus Gelen gebildete Pyrolusite treten als sog. Schwarzer Glaskopf auf. Die häufigsten Braunstein-Lager befinden sich in Form von Mangan-Knollen auf dem Meeresboden fast aller Ozeane.

Es handelt sich um das wichtigste Mn-Erzmineral. Mangan wird als Stahlveredelungsmetall, für Legierungen und in der chemischen Industrie verwendet.

Uraninit



(Pechblende, Uranpecherz)

| | |
|---------------|--|
| Eigenschaft: | stark radioaktiv |
| Farbe: | schwarz, halbmatt bis pechartiger Glanz |
| Strich: | bräunlichschwarz |
| Dichte: | 10,6 g/cm ³ |
| Härte: | 5 – 6 |
| Spaltbarkeit: | deutlich |



Die Dichte dieses wichtigsten Uranerzes ist bedingt durch das hohe Atomgewicht des U. Traubig-nierig ausgebildetes Uranpecherz hat 6,5 – 8,5 g/cm³.

UO₂ ist oft an alte Sedimente des Proterozoikums gebunden. Seine Bildung beruht auf der guten Löslichkeit des Urans im 6-wertigen Zustand z. B. als Uranyl-Komplex (UO₂²⁺), welches beim Übergang in reduzierende Milieus als UO₂ abgeschieden wird.

Weitere wichtige Vorkommen sind an Granite gebunden (z. B. Limosin, Frankreich), auch als Gangvererzungen im Erzgebirge vorkommend.

Wolframit



| | |
|---------------|------------------------------|
| Farbe: | schwarz, blendeartiger Glanz |
| Strich: | braun bis braunschwarz |
| Dichte: | 6,7 – 7,5 g/cm ³ |
| Härte: | 4 – 4,5 |
| Spaltbarkeit: | vollkommen |



Wolframit ist ein Mischkristall mit den beiden Endgliedern FeWO_4 (Ferberit) und MnWO_4 (Hübnerit), wobei die reinen Endglieder eher seltener vorkommen. In älterer Literatur wird Wolframit zu den Wolframaten (6. Klasse Einteilung der Minerale: Sulfate, Chromate, Molybdate und Wolframate) gezählt. Auf Grund der inneren Struktur gehört dieses Mineral jedoch zu den 1:2 Oxiden.

Wolframit ist eines der bedeutendsten Wolframerzminerale. Wolframit entsteht in pneumatolytischen Gängen, gebunden an felsische Plutonite (Beispiel: Panasqueira, Portugal; China) in Paragenese mit Kassiterit. Begleitminerale sind Molybdänit und Pyrit. Als Schwermineral ist er auch sekundär in Seifen zu finden.

Wolfram findet Verwendung als Legierungsmetall und in Glühfäden. Als Wolframcarbid wird es für die Herstellung von Spezialbohrkernen genutzt.

4. Oxide, Hydroxide

4.2 X₂O₃-Verbindungen

Korund, Hämatit, Ilmenit

(gemeiner) Korund

Al₂O₃

| | |
|---------------|---|
| Farbe: | farblos bis gelblich- oder bläulichgrau (gemeiner Korund) Rubin: rot Saphir: blau |
| Dichte: | 3,9 – 4,1 g/cm ³ |
| Härte: | 9 |
| Spaltbarkeit: | sehr schlecht |



Korund kommt akzessorisch in Pegmatiten und in Gesteinen der Kontakt- und Regionalmetamorphose vor. Seine Bildung erfordert hohe Al-Gehalte im Gestein. Edle Varietäten (Rubin, Saphir) kommen in Metamorphiten (z. B. Kenia) und Kalksteinen vor, meist aber sekundär als Bestandteil von Edelsteinseifen (Sri Lanka) (Schwermineral, sehr hart, verwitterungsbeständig). Durch Chrom färbt sich der Korund rot, durch die Mischung von Eisen und Titan blau.

Korund wird als Schleifmittel und besonders reine Stücke als Edelsteine verwendet. Synthetische Korunde dienen als Schmucksteine.

Hämatit



(Eisenglanz, Roteisenerz)

| | |
|---------------|--|
| Farbe: | in dünnen Blättchen rot durchscheinend, sonst grau oder rotbraun |
| Strich: | kirschrot |
| Dichte: | 5,2 g/cm ³ |
| Härte: | 5 – 6 |
| Spaltbarkeit: | gut |



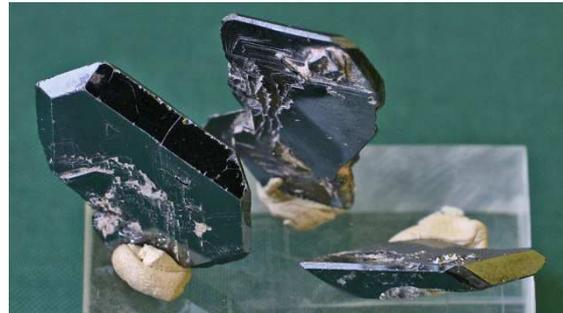
Kristalle rötlich-grau bis eisenschwarz, mitunter bunte Anlauffarben. Als rot färbendes Pigment gibt es zahlreichen Mineralen und Gesteinen ihre rötliche Färbung. Kristalle und Kristallaggregate besitzen Metallglanz und sind opak, die dichten und erdig-zerreiblichen Massen sind rot gefärbt und nichtmetallisch glänzend (Roter Glaskopf).

Hämatit kommt in hydrothermalen und pneumatolytischen Gängen vor und ist ein Gemengteil in Banded-Iron-Formationen (z.B. in Minas Gerais, Brasilien; Hamersley Range, Australien). Er bildet sich metasomatisch in Kalksteinen (z.B. auf der Insel Elba) oder entsteht sekundär aus Magnetit. Durch Verwitterung geht er langsam in das Mineral-Gemenge Limonit über.

Hämatit enthält in reinem Zustand ca. 70 % Fe. Er ist eines der wichtigsten Eisenerze und wird hauptsächlich zur Gewinnung von Stahl und Gusseisen, in geringerem Umfang als Grundlage für Farben verwendet.

Ilmenit (Titaneisenerz)**Nebenbestandteile****Mn, V, Al**

Farbe: braunschwarz bis grau, auf
frischem Bruch Metallglanz
Strich: schwarz
Dichte: $4,5 - 5 \text{ g/cm}^3$
Härte: 5 – 6
Spaltbarkeit: fehlt



Ilmenit ist das wichtigste Ti-Erzmineral. Es kommt als Kristallisationsprodukt mafischer magmatischer Gesteine (Tellnes, Norwegen), akzessorisch in vielen magmatischen Gesteinen vor und sekundär als Ilmenitsand an Meeresküsten (z.B. Sri Lanka).

Titan wird u.a. als Stahlveredelungsmetall, für Legierungen im Flugzeugbau und als schwarzes Farbpigment verwendet. Durch das enthaltene Titan wird Ilmenit selten als Eisenerz verarbeitet, da die Schlacke bei der Verhüttung zu viskos wird.

4. Oxide, Hydroxide

4.3 XY_2O_4 -Verbindungen

Spinell, Magnetit, Chromit

| | |
|--------------------------|-------------------------------|
| Spinell | $MgAl_2O_4$ |
| Nebenbestandteile | Fe, Cr, Ni |

| | |
|---------------|---|
| Farbe: | in vielen Farben durchsichtig bis durchscheinend, meist Glasglanz |
| Dichte: | 3,8 – 4,1 g/cm ³ |
| Härte: | 7,5 – 8 |
| Spaltbarkeit: | angedeutet |



Überwiegend als Durchläufer in metamorphen Gesteinen (z. B. in Sri Lanka und Thailand), als Schwermineral sekundäre Anreicherung in Seifen.

Durch die unterschiedlichen Farben gibt es verschiedene Varietäten. Der tiefrot gefärbte edle Spinell ist ein wertvoller Edelstein mit Namen Pleonast.

Chromit (Chromeisenerz) FeCr_2O_4

| | |
|---------------|------------------------------|
| Farbe: | schwarz bis bräunlichschwarz |
| Strich: | dunkelbraun |
| Dichte: | $4,6 \text{ g/cm}^3$ |
| Härte: | 5,1 |
| Spaltbarkeit: | fehlt |



Der Glanz des Chromits kann halbmatt bis metallisch sein; Chromit ist in dünnen Splintern durchscheinend. In ultramafischen Gesteinen tritt er als Bänderung oder in Nestern auf. Chromit wird als magmatisches Frühdifferentiat ausgeschieden und kann wegen seiner hohen Dichte in tiefen Bereichen von Magmakammern angereichert sein (z.B. Bushveld-Komplex, Südafrika). Es kann in Serpentiniten vorkommen. Mit Gediegen Platin tritt Chromit als Seifenmineral auf.

Chromit ist das wichtigste Chrom-Erzmineral. Chrom wird zur Stahlveredelung und zum Verchromen verwendet.

Magnetit



Nebenbestandteile

Mg, Al, Cr, Ti

Eigenschaft: stark ferromagnetisch
Farbe: schwarz, stumpfer Metallglanz
Strich: schwarz
Dichte: $5,2 \text{ g/cm}^3$
Härte: 6
Spaltbarkeit: andeutungsweise



Gesamt-Fe bis 72,4 %, häufig etwas Mg oder Mn anstelle von Fe.

Als Differentiationsprodukt mafischer Magmatite bildet Magnetit bedeutende Erzlagerstätten, aber auch mit Hämatit zusammen in BIFs, kontaktmetasomatisch in Skarnen. Ist als Nebengemengteil in vielen Gesteinen zu finden. Große Lagerstätten liegen in Nordschweden (Kiruna).

Durch seine weite Verbreitung und die magnetischen Eigenschaften dient er zur Rekonstruktion von Paläomagnetismus. Nach Hämatit ist Magnetit mit einem Eisengehalt von bis zu 70 % das zweitwichtigste Eisenerz.

4. Oxide, Hydroxide

4.4 Hydroxide

Goethit, Lepidokrokit

Mineralgemische: Limonit, Bauxit

Goethit (Nadeleisenerz)

α -FeOOH

Nebenbestandteile

Si, P, Mn, Al, V

| | |
|---------------|--|
| Farbe: | schwarzbraun bis lichtgelb, matt oder erdig, in Splittern braun durchscheinend |
| Strich: | braun bis gelblich |
| Dichte: | 4,5 g/cm ³ |
| Härte: | 5 – 5,5 |
| Spaltbarkeit: | vollkommen |



Als typische Verwitterungsbildung anderer Eisenminerale, daneben sedimentäre Eisensteine bildend. Besonders im „Eisernen Hut“ von primären Sulfid-Eisenerzlagern. Der Eisengehalt von 62 % wird durch absorbiertes und kapillar eingebautes Kristallwasser verringert.

Historisch als Eisenmineral von Bedeutung, mittlerweile unwirtschaftlich. Vorkommen gibt es z. B. in Salzgitter (Niedersachsen/Deutschland).

Lepidokrokit (Rubinglimmer)



| | |
|---------------|---|
| Farbe: | in Splittern gelbrot durchscheinend, metallischer Glanz |
| Strich: | bräunlichgelb bis orangebraun |
| Dichte: | 4,0 g/cm ³ |
| Härte: | 5 |
| Spaltbarkeit: | vollkommen |



Viele Eigenschaften sind denen des Goethit ähnlich, er ist aber seltener. Lepidokrokit entsteht als Verwitterungsprodukt Fe-haltiger Minerale und Gesteine, besonders im „Eisernen Hut“ von primären Sulfid-Eisenerzlagern.

Bei lokaler Anreicherung als Eisenerz abgebaut.

Mineralgemenge: Limonit (Brauneisenerz)

| | |
|---------|--------------------------------|
| Farbe: | hell- bis dunkelbraun, schwarz |
| Strich: | gelbbraun |
| Dichte: | ca. 4 g/cm ³ |
| Härte: | 5 – 5,5 |



Limonit ist ein Mineralgemenge aus FeOOH-Mineralen, Tonmineralen und amorphen Fe(OH)₃ · aq. Es entsteht durch Verwitterung von Eisenmineralen, typischerweise im Bereich des „Eisernen Hutes“ zu finden. Wird in subtropischen/tropischen Klimaten auch durch Verwitterung eisenhaltiger Carbonate und Silikate gebildet.

Das Mineral kann in schlackeartiger Form vorliegen als Brauner Glaskopf oder in derber Form als Brauneisenstein.

Der Eisengehalt ist mit 30 – 40 % meist sehr gering. Bei Chrombeimengung für die Verhüttung im Hochofen ungeeignet. Verwendet als Farbpigment (Brauner Ocker).

Mineralgemenge: Bauxit

Nebenbestandteile

Ga

| | |
|---------|----------------------------|
| Farbe: | meist braun, gelblichbraun |
| Strich: | gelblichbraun |
| Dichte: | variabel |
| Härte: | variabel |



Bauxit ist ein kompliziertes Mineralgemenge, das als Hauptbestandteile **Gibbsit** ($\text{Al}(\text{OH})_3$), **Diaspor** ($\gamma\text{-AlOOH}$) und **Böhmit** ($\alpha\text{-AlOOH}$), daneben Tonminerale und Limonit enthält. Bauxit bildet sich als Verwitterungsrückstand, welcher bei tropischen Bedingungen aus mafischen Magmatiten unter vollständiger Abfuhr des SiO_2 , großer Teile des Eisens und anderer Kationen entsteht. Heute wird Bauxit in großen Mengen in Queensland (Australien) und in Brasilien abgebaut.

Bauxit dient zur Gewinnung von Aluminium, außerdem wird es für die Herstellung synthetischen Korunds, von Spezialkeramik und von Schleif- oder Poliermitteln benötigt.

5. Karbonate

Calcit, Rhodochrosit, Siderit, Magnesit, Aragonit, Dolomit, Malachit, Azurit

| | | | Ionenradius |
|---------------------|---|------------------------|--------------------|
| Calcit | CaCO₃ | Ca²⁺ | 1,06 Å |
| Rhodochrosit | MnCO₃ | Mn²⁺ | 0,91 Å |
| Siderit | FeCO₃ | Fe²⁺ | 0,83 Å |
| Smithsonit | ZnCO₃ | Zn²⁺ | 0,83 Å |
| Magnesit | MgCO₃ | Mg²⁺ | 0,78 Å |
| Aragonit | CaCO₃ | Ca²⁺ | 1,06 Å |
| Dolomit | CaMg(CO₃)₂ | Mg²⁺ | 0,78 Å |

Calcit (Kalkspat)**Nebenbestandteile****Fe, Mn, Mg, Sr**

Eigenschaft: starke Doppelbrechung

Farbe: im allg. farblos, milchigweiß,
durchscheinend bis klarDichte: 2,71 g/cm³

Härte: 3

Spaltbarkeit: vollkommen



Calcit ist ein gesteinsbildendes Mineral in Kalksteinen, Marmoren und Karbonatiten und kann durch organische Einschlüsse eine braune bis schwarze Färbung aufweisen. Er kann in Kalksintern und Thermalabsätzen als Gemengteil auftreten. Calcit ist in Tropfsteinen, als Kluffüllung und in Erzlagerstätten als Gangmineral enthalten.

Calcit wird chemisch durch Evaporation ausgefällt oder bildet sich biogen als Hartteile von Organismen. Er reagiert heftig mit (verdünnter) Salzsäure unter Bildung von Kohlenstoffdioxid: $\text{CaCO}_3 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{CO}_2 + \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$.

Rhodochrosit (Manganspat)



| | |
|---------------|--|
| Farbe: | blassrosa über rosarot bis himbeerfarben (Himbeerspat) |
| Dichte: | 3,5 – 3,6 g/cm ³ |
| Härte: | 3,5 – 4 |
| Spaltbarkeit: | vollkommen |
| Strich: | weiß |



Vorkommen als hydrothermales Gangmineral, wie z. B. in Butte in Montana (USA). Produkt der Oxidationszone. Bildet Paragenesen unter anderem mit Baryt, Fluorit und Calcit. Rhodochrosit bildet eine Mischkristallreihe mit Smithsonit (Zinkspat $\text{Zn}[\text{CO}_3]$).

Selten als Schmuckstein verwendet. In abbauwürdigen Mengen wegen des hohen Mangangehaltes von ca. 47 % als Mn-Erz abgebaut.

Siderit (Eisenspat)

Nebenbestandteile

Mn, Ca, Mg

Farbe: graugelb, dunkelbraun
Dichte: 3,7 – 3,9 g/cm³
Härte: 3,5 – 4
Spaltbarkeit: vollkommen



Gewöhnlich liegt der Fe-Anteil bei 48,2 % mit zusätzlichen Gehalten von Mn und etwas Ca, teilweise auch Mg. Mit Rhodochrosit (MnCO_3) besteht eingeschränkte Mischbarkeit, mit Magnesit eine lückenlose Mischkristallreihe.

In hydrothermalen Gängen vorhanden, teilweise auch metasomatisch, metamorph oder sedimentär. Bei Verwitterung in Limonit übergehend. Lokal angereichert ein wichtiges Fe-Erz, da es leicht zu verhütten ist.

Magnesit



Farbe: farblos, grau - gelblichweiß,
grauschwarz auf Spaltflächen
Dichte: $3,0 \text{ g/cm}^3$
Härte: 4 – 4,5
Spaltbarkeit: vollkommen



Dieses Mineral besitzt einen Glas- oder Perlmutterglanz. Fe-haltiger Magnesit wird als Brunnerit bezeichnet.

Vorkommen als Spatmagnesit im Verband mit Dolomitgestein und Kalksteinen, als Gelmagnesit als Zersetzungsprodukt von Serpentinegesteinen in selbigen enthalten. Auf großen metasomatischen Lagerstätten aus der Reaktion von Dolomit nach: $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 + \text{Mg}^{2+} \rightarrow 2\text{MgCO}_3 + \text{Ca}^{2+}$.

Durch Brennen bei etwa $1800 \text{ }^\circ\text{C}$ wird Magnesit zu Periklas (MgO) geformt. Die Ziegel dienen zum Auskleiden von Hochöfen, da MgO ein sehr feuerfestes Material ist.

Magnesit wird nicht zur Gewinnung von Magnesium verwendet, denn dieses wird aus Rückständen der K-Mg-Salz-Verarbeitung oder aus dem Meerwasser gewonnen.

Aragonit



Nebenbestandteile

Sr

Farbe: farblos bis zart gefärbt,
durchscheinend

Dichte: $2,95 \text{ g/cm}^3$

Härte: 3,5 – 4

Spaltbarkeit: undeutlich



Durch die dichtere Kristallstruktur von Aragonit ist das Mineral im Vergleich zu Calcit bei gleicher Dichte etwas härter.

Aragonit ist die instabilere CaCO_3 -Modifikation und kommt daher seltener als Calcit in der Natur vor. Aragonit tritt in Hohlräumen vulkanischer Gesteine auf. Chemisch bildet sich Aragonit in Sinterkrusten oder als Sprudelstein (z.B. bei Geysiren), organogen als Perlmutterschicht (Perlen) und in Schalen mancher mariner Lebewesen.

Die Reaktion bei Kontakt mit verdünnter Salzsäure entspricht der von Calcit.

Dolomit (Bitterspat)**Nebenbestandteile****Fe, Mn**

Farbe: farblos, weiß, auch gelblich
bis bräunlich, manchmal
braunschwarz

Dichte: $2,9 - 3 \text{ g/cm}^3$

Härte: 3,5 – 4

Spaltbarkeit: vollkommen



Im Gegensatz zu Calcit wird der Dolomit kaum von kalten, verdünnten Säuren angegriffen.

Der Dolomit ist zusammen mit Calcit ein wichtiges gesteinsbildendes Mineral in Kalksteinen und Marmoren. Er entsteht als metasomatisches Verdrängungsprodukt in Kalkstein, wobei maximal die Hälfte der Ca-Ionen durch Mg-Ionen ausgetauscht werden kann. Dieser Vorgang wird als Dolomitisierung bezeichnet. Dolomite sind Produkte der Diagenese in offenen Systemen mit Meerwasserzufluss nach der Reaktion: $2\text{CaCO}_3 + \text{Mg}^{2+} \rightarrow \text{CaMg}(\text{CO}_3)_2 + \text{Ca}^{2+}$. Das Mineral wird als Rohstoff in der Feuerfest- und Baustoffindustrie verwendet. Da Dolomit sehr porös sein kann, ist er ein ideales Speichergestein für Kohlenstoffe.

Malachit



| | |
|---------------|--|
| Farbe: | dunkelgrün bis hellgrün, Glas- oder Seidenglanz |
| Dichte: | 4 g/cm ³ |
| Härte: | 3,5 – 4 |
| Spaltbarkeit: | deutlich |



Malachit ist ein verbreitetes Kupfermineral mit einem Cu-Gehalt von 57,4 %.

Es kommt als Sekundärmineral in Paragenese mit Azurit in der Oxidationszone von primären Kupfererzen vor, ist jedoch deutlich häufiger als dieser vorhanden. Weitere Vorkommen gibt es als Imprägnation von Sandsteinen.

Malachit wird als Schmuckstein und zur Herstellung von Ziergegenständen verwendet. Nur örtlich wichtiges Kupfererz.

Azurit



Farbe: azurblau bis hellblau,
Glasglanz
Dichte: $3,8 \text{ g/cm}^3$
Härte: 3,5 – 4
Spaltbarkeit: vollkommen



Azurit kommt sekundär als Oxidationsprodukt der Oxidationszone von Kupfererzen und als Imprägnation von Sandsteinen vor. Durch Wasseraufnahme kommt es häufig zu einem Übergang von Azurit zu Malachit. Es gibt Pseudomorphosen von Malachit nach Azurit. Im Mittelalter als Farbpigment verwendet. Sehr selten genutzt als Schmuckstein.

6. Sulfate, Wolframate

Baryt, Anhydrit, Gips, Scheelit

| | |
|---------------------------|-------------------------|
| Baryt (Schwerspat) | BaSO₄ |
| Nebenbestandteile | Sr |

| | |
|---------------|---|
| Farbe: | farblos, weiß oder in verschiedenen blassen Farben |
| Dichte: | 4,5 g/cm ³ |
| Härte: | 3 – 3,5 |
| Spaltbarkeit: | vollkommen |



Die Dichte von Baryt ist auffallend hoch und diagnostisch verwertbar. Meistens körnige, blättrige oder tafelige Kristalle. Bei der Bildung von Baryt kann Sr das Ba im begrenzten Umfang diadoch ersetzen.

Verbreitetes Mineral, entsteht hydrothermal bei niedrigen Temperaturen und ist Bestandteil von Erzgängen und submarin-vulkanogenen Sulfiderz-Lagerstätten, in flözartigen Lagen oder Nestern kann der Baryt durch Bitumengehalt grauschwarz gefärbt sein. Bildet Paragenesen mit dem Roten Glaskopf, mit Flussspat und mit Kupferkies aus. Sedimentär in Kalksteinen, Sandsteinen und Tonsteinen. In Deutschland ist ein Abbau aktiv (Grube Clara, Oberwolfach / Schwarzwald) und ein weiterer in Aufbau (Niederschlag / Erzgebirge).

Baryt ist ein Bestandteil des Bariumbetons und wird in Form von Bariummehl als Kontrastmittel in der Medizin verwendet. Es dient als Strahlenschutz in Reaktoren und wird zum Beschweren des Spülwassers (Bohrlochstabilisierung) bei Erdöl- und Gasbohrungen genutzt. Weiterhin findet es Verwendung in der Papier- und in der Kosmetikindustrie.

Anhydrit



| | |
|---------------|---|
| Eigenschaft: | auf Spaltfläche Perlmutterglanz |
| Farbe: | farblos-trübweiß, häufig bläulich, grau oder rötlich |
| Dichte: | 2,9 g/cm ³ |
| Härte: | 3 – 3,5 |
| Spaltbarkeit: | würfelige Spaltkörper |



Das Mineral kann durchsichtig bis durchscheinend sein, ist aber meist trüb und grau.

Vorkommen auf Salzlagerstätten neben Steinsalz. Unter dem Einfluss der Verwitterung wandelt sich Anhydrit bei Wasseraufnahme langsam in Gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) um, was zu einer Volumenzunahme von etwa 60 % führt.

Anhydrit wird zur Schwefelsäureherstellung verwendet, sowie als Zusatz zu Baustoffen, Anhydrit kommt besonders in salinaren Abfolgen vor.

Gips



| | |
|---------------|--------------------------------------|
| Farbe: | farblos, häufig gelblich, rötlich |
| Dichte: | 2,3 g/cm ³ |
| Härte: | 2 |
| Spaltbarkeit: | bildet biegsame Spalttafeln aus |



Das Mineral kann durchsichtig bis durchscheinend sein, sowie durch Bitumeneinschlüsse grau bis braun. Gips hat ein monoklines Kristallsystem. Die Kristalle sind meist tafelig ausgebildet. Gut ausgebildete Kristalldrüsen oder Kristallrasen in Hohlräumen. Größere durchsichtige Spalttafeln werden als Marienglas bezeichnet.

Vorkommen in Salzlagerstätten und sekundäre Bildung aus Anhydrit durch Wasseraufnahme. In Ton oder Mergel bildet Gips Konkretionen und ist als Ausblüfung aus sulfathaltigen Lösungen in Salzwüsten zu finden.

Durch Erhitzen verliert Gips Kristallwasser und geht dabei in Halbhydrat ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$) über. Halbhydrat wird zur Herstellung von Modell- und Stuckgips, sowie von Gipsplatten verwendet. Die unterschiedlichen Brenntemperaturen zur Steuerung des Wasserverlustes variieren je nach späterem Verwendungszweck. Als Alabaster im Kunsthandwerk genutzt.

Scheelit



| | |
|---------------|--|
| Eigenschaft: | prismatische Kristalle |
| Farbe: | gelblich-, grünlich- oder grauweiß; kantendurchscheinend |
| Dichte: | 6 g/cm ³ |
| Härte: | 4,5 - 5 |
| Spaltbarkeit: | deutlich |



Scheelit entsteht als Mineral der Zinnstein-Paragenese pegmatitisch-pneumatolytisch und kontaktpneumatolytisch und tritt schichtgebunden in metamorph veränderten unreinen Kalksteinen auf (Skarne).

Bei Einwirkung von kurzwelligem ultraviolettem Licht in der Dunkelheit ist eine starke blauweiße Fluoreszenz sichtbar; diese charakteristische Eigenschaft stellt in der Praxis eine wichtige diagnostische Methode dar. Auch diagnostisch wichtig ist die auffällig hohe Dichte.

Nach Wolframit das wichtigste Wolfram-Erzmineral.

7. Phosphate

Apatit

Apatit



Eigenschaft: prismatische Kristalle
Farbe: farblos und in vielen zarten Farbtönen
Dichte: $3,2 \text{ g/cm}^3$
Härte: 5
Spaltbarkeit: undeutlich



Bei den Färbungen kann gelblich-grün, bräunlich, blaugrün, violett, etc. auftreten. Auf manchen Kristallflächen tritt Glasglanz auf, Fettglanz auf Bruchflächen. Das Mineral ist klar durchsichtig bis kantendurchscheinend.

In Pegmatiten als akzessorischer Gesteinsgemengteil sehr verbreitet. Zu einer Anreicherung von Apatit kommt es in den sedimentären Phosphoritlagerstätten. Er ist eine Substanz von (fossilen) Knochen, Zähnen und Kotmassen (Guano) und Gemengteil pegmatitisch-pneumatolytischer Gänge und Imprägnationen. Auf Klüften und in Drusenräumen sind klare Apatitkristalle zu finden.

Rohstoff für Düngemittel. Gewinnung von Phosphorsäure und Phosphor.

8. Silikate

Früher wurden Silikate als Salze der Kieselsäure H_4SiO_4 bezeichnet. Solche Kieselsäure gibt es jedoch in der Natur nicht, schon gar nicht entstehen aus ihr die Silikate. Im deutschen Sprachgebrauch sind Worte wie 'kieselsauer' oder 'kieselig' nur schwer auszurotten. Kieselsäure bezieht sich aber auf immer denselben Begriff, nämlich die SiO_4^{4-} - Gruppe, aus der alle Silikate aufgebaut sind.

Silikate bilden die häufigste Mineralgruppe der Erde. Dies ist begründet in der kosmischen Häufigkeit der chemischen Elemente Si und O, die sehr hoch ist gegenüber den jeweils benachbarten Elementen. So konnte sich bereits in der Frühphase der Akkretion unseres Planeten ein silikatischer Mantel ausbilden, der im Laufe der geologischen Zeit die Erdkruste hervorgebracht hat.

Silizium nimmt zum Sauerstoff vier extrem stabile Bindungen auf. Dabei gehen vier O-Atome mit jeweils einer Bindung an das Si-Atom. Die Bindungen vom Si zu den 4 O-Atomen weisen in Richtung der Ecken eines Tetraeders, wobei das Si-Atom in der räumlichen Mitte des Tetraeders steht. Für die Darstellung von Silikaten in der Ebene bedient man sich der Projektion aus Richtung einer Tetraeder-Ecke auf die gegenseitige Basis-Fläche. Es bleibt also die Draufsicht auf ein Dreieck mit dem Si in der Mitte und den drei O-Atomen an den Spitzen. Die Striche, die das Dreieck aufspannen, stellen natürlich nicht die Bindungen des Si zum O dar. Vielmehr umreißen sie nur die SiO_4 -Gruppe als Baueinheit einfacher und komplizierter Silikate. Man kann mit Dreiecken als projizierten Tetraedern hantieren, wenn man nicht vergißt, daß immer eine O-Bindung senkrecht aus der Ebene ragt.

Da die Sauerstoffe mit jeweils nur einer Bindung am Si hängen, haben sie noch eine Valenz für Bindungen außerhalb des Tetraeders frei. Diese Valenzen können in zwei unterschiedlichen Weisen abgesättigt werden:

Durch Kationen wie Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Al^{3+} etc. oder durch Verknüpfung mit einem weiteren SiO_4 -Tetraeder, wobei ein Sauerstoff-Atom die Tetraeder über die gemeinsame Ecke verknüpft. Dieses O-Atom gehört dann den beiden benachbarten SiO_4 -Tetraedern jeweils zur Hälfte. Die Einheit hat die Formel $[\text{Si}_2\text{O}_7]^{6-}$. Es resultiert das Verhältnis $\text{Si}:\text{O} = 2:7$. Die $-\text{O}-\text{Si}-\text{O}-$ Verknüpfungen können räumlich ausgedehnte Formen erreichen. Diese Formen der SiO_4 -Polymerisierung sind die Grundlage für die Einteilung der Silikate in Insel-, Gruppen-, Ring- usw. -Silikate.

Bei **Insel-Silikaten** werden alle 4 O-Valenzen des Tetraeders von Mg^{2+} und Fe^{2+} gesättigt.

Formel: **M1 M2 SiO₄**

Beispiel: Mg Fe SiO₄ Olivin

In **Gruppen-Silikaten** sind 2 SiO₄-Tetraeder über ein O-Atom verknüpft. An den 6 freien O-Valenzen sitzen Kationen wie Ca(M1), Fe oder Al (M2).

Formel: **M1₂ M2 Al₂ [(OH) | O | / (SiO₄) (Si₂O₇)]**

Beispiel: Ca₂ (Al,Fe) Al₂ [(OH) | O | / (SiO₄) (Si₂O₇)] Epidot, Klinozoisit

Ring-Silikate bilden endlich große Tetraeder-Ringe. Bei 6 Tetraedern bleiben 12 Valenzen für die Kationenbesetzung.

Formel: **M1 M2 [Si₆O₁₈]**

Beispiel: Al₂ Be₃ [Si₆O₁₈] Beryll

Ketten-Silikate bestehen aus der endlosen Verknüpfung von SiO₄-Tetraedern in einer Richtung.

Formel: **M1 M2 [Si₂O₆]**

Beispiel: Ca Mg [Si₂O₆] Diopsid

Doppel-Ketten-Silikate.

Formel: **X₂ Y₅ [(OH)₂ / Si₈O₂₂]**

Beispiel: Ca₂ Mg₅ [(OH)₂ / Si₈O₂₂] Aktinolith

Schicht-Silikate enthalten zu unendlich zweidimensionalen Schichten verknüpfte SiO₄-Tetraeder.

Formel: **M1₆ M2₄ [(OH)₄ / Si₈O₂₀]**

Beispiel: Mg₆ [(OH)₄ / Si₈O₂₀] Talk

Beispiel: K₂ Al₄ [(OH)₄ / Al₂Si₆O₂₀] Glimmer

In **Gerüst-Silikaten** sind SiO₄-Tetraeder zu räumlichen Strukturen verknüpft, freie Valenzen der O-Atome werden durch Alkalien oder Erdalkalien gesättigt.

Formel: **M1 [AlSi₃O₈]**

M2 [Al₂Si₂O₈]

Beispiel: Na [AlSi₃O₈] Albit

Ca [Al₂Si₂O₈] Anorthit

8. Silikate

8.1 Nesosilikate

Olivin, Zirkon, Granat, Andalusit, Sillimanit, Disthen, Titanit, Topas, Staurolith

| | |
|--|---|
| Olivin | $(\text{Mg, Fe})_2 [\text{SiO}_4]$ |
| Forsterit | $\text{Mg}_2 [\text{SiO}_4]$ |
| Fayalit | $\text{Fe}_2 [\text{SiO}_4]$ |
| | |
| Zirkon | $\text{Zr} [\text{SiO}_4]$ |
| | |
| Granat-Gruppe | $\text{Al}_3^{2+} \text{B}_2^{3+} [\text{SiO}_4]_3$ |
| | |
| Al₂SiO₅-Gruppe: | |
| Andalusit | $\text{Al}^{[6]} \text{Al}^{[5]} [\text{O} / \text{SiO}_4]$ |
| Sillimanit | $\text{Al}^{[6]} \text{Al}^{[4]} [\text{O} / \text{SiO}_4]$ |
| Disthen (Kyanit) | $\text{Al}^{[6]} \text{Al}^{[6]} [\text{O} / \text{SiO}_4]$ |
| | |
| Titanit (Sphen) | $\text{CaTi} [\text{O} / \text{SiO}_4]$ |
| | |
| Topas | $\text{Al}_2 [(\text{F})_2 / \text{SiO}_4]$ |
| | |
| Staurolith | $\text{Fe}_2 \text{Al}_9 [\text{O}_6 (\text{O,OH})_2 / (\text{SiO}_4)_4]$ |

| | |
|--------------------------|--|
| Olivin | (Mg, Fe)₂SiO₄ |
| Endglieder: | Forsterit Mg₂SiO₄ Fayalit Fe₂SiO₄ |
| Nebenbestandteile | Mn, bis 0.5 Gew.-% Ni |

| | |
|---------------|--|
| Eigenschaft: | körnig, selten stengelig |
| Mg-Olivin: | olivgrün |
| Fe-Olivin: | dunkelgrün bis schwarz |
| Dichte: | 3,2 g/cm ³ (Forsterit) 4,3 g/cm ³ (Fayalit) |
| Härte: | 6,5 – 7 |
| Spaltbarkeit: | {010} deutlich |



Olivin bildet eine lückenlose Mischkristallreihe der beiden Endglieder Fayalit und Forsterit. Im Olivin überwiegt meist der Forsterit-Anteil gegenüber Fayalit. Es ist ein begrenzter Einbau von Ni anstatt Mg oder Mn anstelle von Fe möglich.

Es ist ein wichtiges gesteinsbildendes Mineral in ultramafischen Gesteinen, manchmal als Xenolith Bestandteil von Basalten. Oft Zonarbau mit Mg-reichem Kern. Olivin ist ein Hauptgemengteil im Material des Oberen Erdmantels und tritt als Gemengteil von Meteoriten auf. Unter Wasseraufnahme kommt es zu einer Umwandlung in Serpentinminerale.

Besonders reine Varianten (als Peridot bezeichnet) werden als Schmucksteine verwendet. In Duniten (Gesteine aus mehr als 90 % Forsterit-reichem Olivin) wichtiger Rohstoff für Forsterit-Ziegel.

Zirkon**Nebenbestandteile****Hf, Th, U**

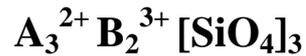
Farbe: gewöhnlich braun, farblos,
gelb, orangerot, seltener
grün
Dichte: 4,7 g/cm³
Härte: 7,5
Spaltbarkeit: unvollkommen



Zirkon ist als akzessorischer Gemengteil besonders in magmatischen Gesteinen weit verbreitet. In Pegmatiten kommt er in größeren Kristallen und lagerstättenkundlich bedeutsamer Anreicherung vor. Als Schwermineral wird er in Seifen angereichert. Durch radioaktive Einwirkung (Th, U) entstehen pleochroitische Höfe um mikroskopisch kleine Zirkoneinschlüsse in Glimmern.

Zirkon ist ein wichtiges Erz für die Zr- und Hf-Gewinnung. Hafnium wird hauptsächlich in der Kernenergie, seltener als Legierungsmetall verarbeitet.

Granat



Endglieder der „Pyralspit“-Gruppe:

Pyrop $Mg_3Al_2[SiO_4]_3$

Almandin $Fe_3Al_2[SiO_4]_3$

Spessartin $Mn_3Al_2[SiO_4]_3$

Endglieder der „Grandit“-Gruppe:

Grossular $Ca_3Al_2[SiO_4]_3$

Andradit $Ca_3Fe_2[SiO_4]_3$

Eigenschaft: je nach Mischkristall sind

Dichte und Härte

unterschiedlich

Farbe: meist rotbraun

Dichte: $3,5 - 4,5 \text{ g/cm}^3$

Härte: $6,5 - 7,5$

Spaltbarkeit: angedeutet



Die Färbung des Granats hängt von der Zusammensetzung der Mischkristalle ab. Pyrop-reicher Granat ist tiefrot, ein Almandin-reicher Granat ist bräunlichrot. Bei Spessartin-reichen Granaten gibt es eine gelbliche bis bräunliche Färbung.

Mischkristallreihen gibt es zwischen allen Endgliedern.

Granate sind wichtige gesteinsbildende Minerale, vorzugsweise in metamorphen Gesteinen der tieferen Erdkruste und in Granatperidotiten des Oberen Erdmantels. Schwarzer Ti-haltiger Melanit (= schwarzer Andradit) ist auf alkalireiche magmatische Gesteine beschränkt.

Granat wird als Schmuckstein und als Schleifmittel verwendet.

Al₂ [SiO₅]-Gruppe

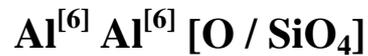
Andalusit



Sillimanit



Disthen (Kyanit)



Farbe: grau, rötlich, dunkelrosa
oder bräunlich, Glasglanz
Dichte: 3,2 g/cm³
Härte: 7,5
Spaltbarkeit: mitunter deutlich



Andalusit ist ein Gemengteil metamorpher Gesteine und bisweilen linsenförmig aggregiert. Er wandelt sich gelegentlich oberflächlich in feinschuppige Hellglimmer um und es können Pseudomorphosen von Hellglimmer nach Andalusit auftreten. In thermisch überprägten kohlenstoffhaltigen Tonschiefern bildet sich oft die Varietät Chiasmolith in langen säulenförmigen Kristallen mit kohlenstoffreichen Einlagerungen.

Farbe: weiß, gelblichweiß, grau,
bräunlich oder grünlich
Dichte: 3,2 g/cm³
Härte: 6,5
Spaltbarkeit: Prismen besitzen eine
Querabsonderung



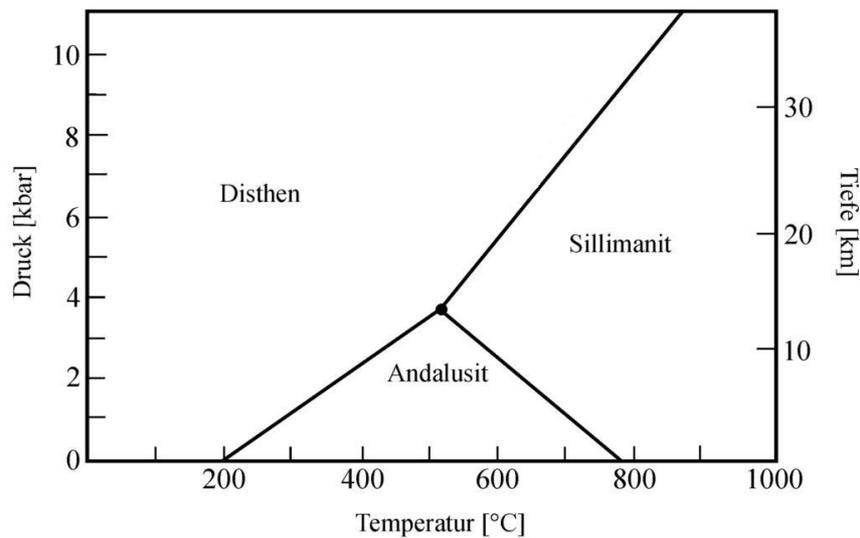
Sillimanit ist ein Gemengteil metamorpher Gesteine und wie Andalusit knoten- oder linsenförmig aggregiert.

| | |
|---------------|---|
| Farbe: | intensiv blau, blauviolett, grünlichblau, grünlich- bis bräunlichweiß |
| Dichte: | 3,7 g/cm ³ |
| Härte: | 4,5 – 6,5 |
| Spaltbarkeit: | vollkommen oder deutlich |



Disthen ist ausschließlich auf metamorphe Gesteine beschränkt, sekundär in manchen Sanden angereichert. Er besitzt eine ausgesprochene Anisotropie der Ritzhärte (Name!). Im Vergleich zu den anderen Polymorphen der Gruppe hat Disthen eine deutlich höhere Dichte.

Al₂ [SiO₅]-Gruppe



Die Modifikationen der Alumosilikate sind gute Indexminerale zur Bestimmung der Druck-Temperatur-Bedingungen, unter denen ein metamorphes Gestein gebildet wurde.

Verwendung finden Andalusit, Sillimanit und Kyanit als Bestandteil der Porzellan-Herstellung und bei der Produktion hitzeresistenter Materialien. Besonders reine Formen werden als Schmucksteine verwendet.

Titanit (Sphen)



Nebenbestandteile

**Y, Ce, weitere Selten-Erdelemente, Al,
Fe³⁺, Nb, Ta, U**

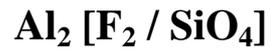
Farbe: gelbgrün bis grün (Sphen),
sonst braun, dunkelbraun;
selten farblos
Dichte: 3,4 – 3,6 g/cm³
Härte: 5 – 5,5
Spaltbarkeit: bisweilen deutlich



Dieses Mineral ist ein sogenannter Durchläufer in sehr vielen magmatischen, metamorphen und sedimentären Gesteinen, in denen es aber immer nur akzessorisch vorkommt. Gelegentlich tritt der Titanit als idiomorph ausgebildetes Mineral auf alpinen Zerrklüften auf. Das Kristallgitter kann z. T. erhebliche Mengen anderer Elemente aufnehmen wie z. B. Selten-Erd-Elemente oder Uran. Ein Sauerstoffatom wird oft durch F oder OH ersetzt.

Durch den Uraneinbau kann Titanit für Altersbestimmungen genutzt werden

Topas



Farbe: farblos, hellgelb,
weingelb, meerblau,
grünlich oder rosa
Dichte: $3,5 \text{ g/cm}^3$
Härte: 8
Spaltbarkeit: vollkommen



Topas ist ein typisches Mineral pneumatolytischer Vorgänge und tritt oft zusammen mit Kassiterit auf. Topas ist ein Drusenmineral und kann in großen Kristallen in Granitpegmatiten auftreten. Seine Eigenschaft als Schwermineral und die große Härte bewirken ein sekundäres Vorkommen in Seifen.

Topas wird als Edelstein verwendet.

Staurolith



Nebenbestandteile

Mg, Fe³⁺, Mn, Zn

Farbe: gelbbraun, braun bis
schwarzbraun, rotbraun
Dichte: 3,7 – 3,8 g/cm³
Härte: 7 - 7,5
Spaltbarkeit: bisweilen deutlich



Staurolith bildet einen typischen Gemengteil bestimmter metamorpher Gesteine und tritt häufig neben almandinreichen Granaten und Biotiten auf. Sekundär als Schwermineral in Sanden und Sandsteinen.

8. Silikate

8.2 Sorosilikate

Epidot

Epidot



Nebenbestandteile

Ti, Mn, Mg, Cr

Farbe: gelbgrün bis olivgrün,
kantendurchscheinend bis
durchsichtig
Dichte: 3,3 – 3,5 g/cm³
Härte: 6 – 7
Spaltbarkeit: vollkommen bis weniger
vollkommen



Verbreiteter Gemengteil in metamorphen Gesteinen, z.B. Grünschiefern. Epidot gehört zu den häufigsten Mineralen der ozeanischen Erdkruste, wo er zusammen mit Albit und Chlorit ein Produkt der hydrothermalen Überprägung der Basalte durch Meerwasser bildet. Als Kluftmineral mitunter in sehr gut ausgebildeten Kristallen.

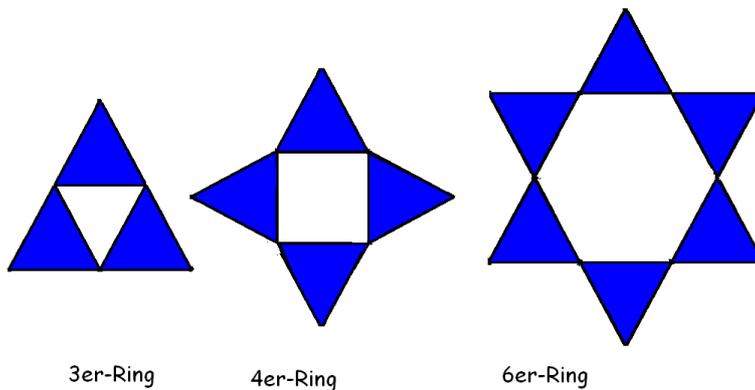
Die Färbung bei der Fe-reichen Varietät Pistazit ist schwarzgrün, während die Fe-arme Varietät Klinozoisit eine graue Färbung besitzt. Auf den Kristallflächen ist ein starker Glasglanz zu sehen.

8. Silikate

8.3 Cyclosilikate

Beryll, Turmalin

Die $[\text{SiO}_4]$ -Tetraeder sind zu Ringen verbunden, in denen jeder Tetraeder je ein Sauerstoffatom mit zwei benachbarten Tetraedern teilt. Der Silikatanteil wird durch die Formel Si_nO_{3n} beschrieben. Es gibt 3er-, 4er- und 6er-Ringe.



Beryll



Farbe: je nach Varietät farblos,
gelblich, grünlich, tiefgrün,
blassrosa und blaugrün

Dichte: $2,7 - 2,8 \text{ g/cm}^3$

Härte: 7,5 – 8

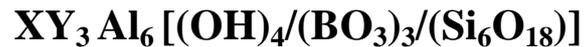
Spaltbarkeit: unvollkommen



Es gibt verschiedene Varietäten des Berylls, wie z.B. den Gemeinen Beryll, den Aquamarin, oder den Smaragd.

In Pegmatitkörpern oder in deren Umgebung kann der Beryll örtlich begrenzt massenhaft auftreten. Er kommt auch in Drusenräumen vor. Als Smaragd ist er in Einzelkristallen im Gestein anzutreffen.

Turmalin



In dieser Formel sind im Wesentlichen:

X = Na, Ca

Y = Al, Fe²⁺, Fe³⁺, Li, Mg, Ti⁴⁺, Cr³⁺

Al₆ = Al, Fe³⁺, Mn

Eigenschaft: Farbe wechselt stark mit der
Zusammensetzung

Dichte: 3,0 – 3,3 g/cm³

Härte: 7 – 7,5

Spaltbarkeit: mitunter Absonderung



Bei der Färbung gibt es sehr viele Nuancen, gesteinsbildend ist der Turmalin meist schwarz (Schörl). Durch die verschiedenen Färbungen zeigt der Turmalin oft einen gut sichtbaren Zonarbau, z.B. einen roten Kern und grünen Randsaum. Die Enden der Turmalinkristalle weisen ebenfalls häufig eine abweichende Färbung auf. Auf den Kristallflächen herrscht Glasglanz und der Kristall ist in Splintern durchsichtig bis kantendurchscheinend.

Als akzessorischer Gemengteil kann Turmalin in Pegmatiten oder pneumatolytisch beeinflussten Graniten auftreten. Er ist verschiedensten Gesteinen sehr verbreitet und kann als Mineralneubildung in Sedimenten enthalten sein. Als Schwermineral kann der Turmalin auch sekundär auftreten.

Nutzung als Schmuckstein.

8. Silikate

8.4.1 Kettensilikate (Pyroxene)

Die $[\text{SiO}_4]$ -Tetraeder sind zu Ketten oder Doppelketten verbunden. Bei einfachen Ketten teilt sich jeder Tetraeder Eckatome mit zwei anderen Tetraedern. Der Silikatanteil der Formel ist in diesem Fall Si_2O_6 .

Orthopyroxene:

Enstatit $\text{Mg}_2 [\text{Si}_2\text{O}_6]$

Ferrosilit $\text{Fe}_2 [\text{Si}_2\text{O}_6]$

Klinopyroxene:

Diopsid $\text{CaMg} [\text{Si}_2\text{O}_6]$

Hedenbergit $\text{CaFe} [\text{Si}_2\text{O}_6]$

Augit $(\text{Ca}, \text{Na}) (\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al}) [(\text{Si}, \text{Al})_2\text{O}_6]$

Pyroxene werden auf Grund ihres Kristallsystems aufgeteilt. Die Orthopyroxene kristallisieren orthorhombisch und die Klinopyroxene monoklin.

Alle Pyroxene können in einem Trapez dargestellt werden. Zwischen 5 % und 33 % Ca entstehen nur selten Pyroxene in der Natur, von 33 % bis 45 % Ca liegt eine Mischungslücke vor. Der Bereich oberhalb von 50 % Ca existiert praktisch nicht in der Natur. Die einzige Ausnahme bildet Wollastonit, das die Spitze des Dreiecks bildet. Dieses Mineral wird auf Grund des inneren Aufbaus der Einfachketten nicht zu den Pyroxenen gezählt, sondern als Pyroxenoid (Pyroxenverwandter) eingestuft.

Orthopyroxene

| | | |
|-------------|-------------------|---|
| Endglieder: | Enstatit | Mg₂ [Si₂O₆] |
| | Ferrosilit | Fe₂ [Si₂O₆] |

| | |
|---------------|----------------------------------|
| Eigenschaft: | matter Glanz auf Spaltflächen |
| Farbe: | graugrün, dunkelbraun |
| Dichte: | 3,2 – 3,6 g/cm ³ |
| Härte: | 5,5 - 6 |
| Spaltbarkeit: | deutlich |



Die Dichte nimmt mit steigendem Fe-Gehalt zu. Lückenlose Mischkristallreihe zwischen Enstatit und Ferrosilit. Reiner Ferrosilit wurde bislang noch nicht in der Natur beobachtet.

Die Mg-reicheren Glieder dieser Pyroxenreihe kommen in ultramafischen Gesteinen vor, ferner in ihren metamorphen Äquivalenten.

Klinopyroxene

Endglieder: **Diopsid** $\text{CaMg} [\text{Si}_2\text{O}_6]$

Hedenbergit $\text{CaFe} [\text{Si}_2\text{O}_6]$

Mischkristall: **Augit** $(\text{Ca,Na}) (\text{Mg,Fe,Al}) [(\text{Si,Al})_2 \text{O}_6]$

Farbe: grau-graugrün (Diopsid),
schwarzgrün (Hedenbergit)
Dichte: $3,2 \text{ g/cm}^3$ reiner Diopsid,
 $3,55 \text{ g/cm}^3$ reiner Hedenbergit
Härte: 5,5 – 6,5
Spaltbarkeit: unvollkommen



Die Varietät „Gemeiner Augit“ ist grün bis bräunlichschwarz, schwarz bei Fe- und Ti-reichem basaltischem Augit. Es existiert ein matter Glanz auf den Spalt- und Kristallflächen.

Klinopyroxene sind gesteinsbildende Minerale. Diopsid ist ein Gemengteil in metamorphen dolomitischen Kalksteinen und Hedenbergit tritt als Gemengteil in Fe-reichen kontaktmetasomatischen Gesteinen (Skarn) auf. Diopsid-Hedenbergit-Mischkristalle sind als dunkler Gemengteil in mafischen Magmatiten vorhanden, Augit besonders in basaltischen Gesteinen und Gabbros.

8-eckiger Kopfschnitt in Dünnschliffen sichtbar und zur Diagnose verwendbar.

8. Silikate

8.4.2 Doppelkettensilikate (Amphibol-Gruppe)

Doppel-Ketten entstehen, wenn zwei parallele Ketten über Tetraeder-Ecken verknüpft sind. Die Formel folgt dem Schema: $X_2 Y_5 [(OH)_2 / Si_8 O_{22}]$.

Aktinolith $Ca_2 (Mg, Fe)_5 [(OH)_2 / Si_8 O_{22}]$

Hornblende $A_{0-1} X_2 Y_5 [(OH)_2 / Z_8 O_{22}]$

Glaukophan $Na_2 (Mg, Fe)_3 Al_2 [(OH)_2 / Si_8 O_{22}]$

| | |
|-------------------|--|
| Aktinolith | $Ca_2 (Mg, Fe)_5 [(OH)_2 / Si_8 O_{22}]$ |
|-------------------|--|

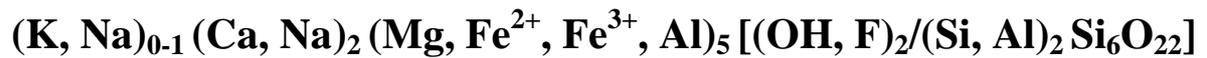
| | |
|---------------|---|
| Farbe: | hell-dunkelgrün, bei feinnadeliger Entwicklung auch blassgrün |
| Dichte: | 3,0 – 3,2 g/cm ³ |
| Härte: | 5 – 6 |
| Spaltbarkeit: | vollkommen |



Die Ausbildung des Aktinolith ist meist breitstengelig mit Querabsonderung. Büschelig, strahlig bis grabenförmig, teilweise auch feinnadelig und in wirr-faserig-verfilzten Massen angeordnet.

Aktinolith ist wie Tremolit ($[Ca_2Mg_5[(OH)_2/Si_8O_{22}]$) ein verbreiteter Gemengteil in metamorphen Gesteinen und tritt insbesondere in der splitisierten ozeanischen Kruste auf. Gelegentlich ist es als Kluftmineral ausgebildet. Tremolit wurde früher für die Herstellung von Asbesten verwendet.

Hornblende



| | |
|---------------|---|
| Farbe: | grün, dunkelgrün, kantendurchscheinend |
| Dichte: | 3,0 – 3,5 g/cm ³ |
| Härte: | 5 – 6 |
| Strich: | farblos |
| Spaltbarkeit: | vollkommen, Spaltwinkel von 124° |



Bei der Färbung der Hornblende gibt es auch dunkelbraune bis tiefschwarze Varietäten, bei denen es sich um „basaltische Hornblende“ handelt. Auf den Spalt- und Kristallflächen halbmattlicher Glanz. Bei Hornblende handelt es sich um einen Sammelbegriff für Ca-Amphibole, die eine Mischkristallreihe mit zahlreichen Endgliedern bilden. Die Zusammensetzung der Hornblende variiert stark.

Sie kommt in magmatischen Gesteinen vor. In feinfaseriger Ausbildung sekundär und pseudomorph nach Augit.

Glaukophan



Farbe: blau, dunkel- bis schwarzblau
mit Zunahme des Fe-Gehaltes

Dichte: $3,1 - 3,3 \text{ g/cm}^3$

Härte: $5,5 - 6$

Spaltbarkeit: vollkommen



Ausschließlich in metamorphen Gesteinen wie den Glaukophanschiefern (Blauschiefer) vorhanden. Er ist seiner Entstehung nach ein Hochdruck-Niedrigtemperatur-Mineral, das oft zusammen mit Jadeit auftritt.

8. Silikate

8.5 Phyllosilikate

Talk $\text{Mg}_3 [(\text{OH})_2 / \text{Si}_4\text{O}_{10}]$

Pyrophyllit $\text{Al}_2 [(\text{OH})_2 / \text{Si}_4\text{O}_{10}]$

Glimmer-Gruppe

Muskovit $\text{KAl}_2 [(\text{OH})_2 / \text{Si}_3\text{AlO}_{10}]$

Paragonit $\text{NaAl}_2 [(\text{OH})_2 / \text{Si}_3\text{AlO}_{10}]$

Phlogopit $\text{KMg}_3 [(\text{OH}, \text{F})_2 / \text{Si}_3\text{AlO}_{10}]$

Biotit $\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_3 [(\text{OH})_2 / \text{Si}_3\text{AlO}_{10}]$

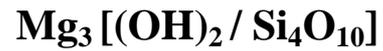
Lepidolith $\text{K}(\text{Li}, \text{Al})_{2-3} [(\text{OH}, \text{F})_2 / \text{Si}_3\text{AlO}_{10}]$

Chlorit $\{(\text{Mg}, \text{Fe})_3 [(\text{OH})_2 / (\text{Al}, \text{Si})_4\text{O}_{10}] \cdot (\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})_3 (\text{OH})_6\}$

Antigorit }
Chrysotil } $\text{Mg}_6 [(\text{OH})_8 / \text{Si}_4\text{O}_{10}]$
Lizardit }

Kaolinit $\text{Al}_4 [(\text{OH})_8 / \text{Si}_4\text{O}_{10}]$

Montmorillonit $(\text{Al}, \text{Mg})_2 [(\text{OH})_2 / \text{Si}_4\text{O}_{10}] (\text{Na}, \text{Ca})_x \cdot n\text{H}_2\text{O}$

Talk**Nebenbestandteile****Fe, Al**

Eigenschaft: Perlmutterglanz,
durchscheinend

Farbe: zart grün, grau oder silberweiß

Dichte: $2,7 \text{ g/cm}^3$

Härte: 1, fühlt sich fettig an

Spaltbarkeit: vollkommen

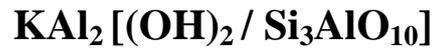


In Mg-reichen metamorphen Gesteinen, entsteht auch durch hydrothermale Umwandlung Mg-reicher, mafischer bis ultramafischer Gesteine; dabei verdrängt er Amphibole, Pyroxene oder Olivin.

Verwendung als Talkum, Schmiermittel, in der Papierindustrie, der Medizin und gebrannt in der Feinkeramik und Elektrokeramik.

Glimmer-Gruppe

Muskovit



Nebenbestandteile

Rb, Na, Cs, Mg, Fe

Farbe: hell silberglänzend, farblos,
gelblich, grünlich,
Perlmutterglanz auf den
Spaltflächen
Dichte: 2,8 – 2,9 g/cm³
Härte: 2 – 2,5
Spaltbarkeit: vollkommen



Muskovit hat nur eine geringe Mischbarkeit mit den anderen Gliedern der Glimmer-Gruppe. Es ist ein weit verbreitetes gesteinsbildendes Mineral. Eine Varietät ist als Sericit bekannt. Er ist häufig sekundäres Umwandlungsprodukt von Feldspäten. Illit, ein Hydromuskovit, entsteht durch Austausch von K^+ gegen H_3O^+ (Bestandteil von Tonen und Tonsteinen).

Glimmer-Gruppe

Biotit



| | |
|---------------|--|
| Farbe: | dunkelgrün, hellbraun, dunkelbraun bis schwarzbraun |
| Dichte: | 2,8 – 3,2 g/cm ³ |
| Härte: | 2,5 – 3 |
| Spaltbarkeit: | vollkommen, elastisch biegsame Plättchen |



Biotit bildet eine lückenlose Mischkristallreihe zwischen Phlogopit [$\text{KMg}_3(\text{F}, \text{OH})_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}$] und dem Fe-reichen Endglied Annit [$\text{KFe}_3^{2+}(\text{OH}, \text{F})_2\text{AlSi}_3\text{O}_{10}$]. Gegenüber Phlogopit ist ein Teil des Mg durch Fe^{2+} sowie durch Fe^{3+} , Al und Ti ersetzt.

Biotit ist ein in Magmatiten und Metamorphiten sehr verbreitetes gesteinsbildendes Mineral.

Glimmer-Gruppe

Lepidolith



Farbe: weiß bis blass-rosarot

Dichte: 2,8 – 2,9 g/cm³

Härte: 2,5 - 4

Spaltbarkeit: vollkommen



Zusammen mit anderen Li-haltigen Mineralen in Pegmatiten. Als Blättchen oder Schüppchen ausgebildet.

Erz zur Gewinnung von Lithium. Lithium wird für Legierungen, in der Pyrotechnik, für Akkus und für Spezialgläser genutzt.

Chlorit



Nebenbestandteile

Ti, Cr, Ni

Farbe: grün, durch Spurenelemente
mitunter abweichende
Färbungen

Härte: 2

Spaltbarkeit: sehr vollkommen



Wichtiges gesteinsbildendes Mineral in metamorphen Gesteinen; sekundäres Umwandlungsprodukt aus Biotit, Granat, Pyroxen oder Amphibol. Chamosit und Thuringit sind Fe^{3+} -reiche Chlorite.

Serpentin-Minerale



Modifikationen:

Chrysotil

Antigorit

Eigenschaft: Seidenglanz

Farbe: hell bis dunkelgrün, gelbgrün

Dichte: 2,5 – 2,6 g/cm³

Härte: 3 – 4

Spaltbarkeit: oft undeutlich (Chrysotil),
blättrig (Antigorit)



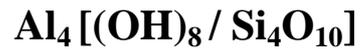
Serpentin bildet meist dichte Aggregate. Antigorit ist blättrig oder schuppig ausgebildet. Chrysotil ist faserig und bildet selten gute Kristalle aus. Es besteht ein begrenzter Einbau von Fe und Al.

Beide Serpentin-Arten sind häufige Reaktionsprodukte von Olivin mit hydrothermalen Lösungen, daneben auch von Pyroxen und Amphibol. Auf Klüften in Form von feinfaserigem Chrysotilasbest (häufig) oder blättrigem Kluft-Antigorit (seltener).

Chrysotil, Antigorit und der zu den Amphibolen zählende Aktinolith sind so genannte Asbest-Minerale. Asbest war ein geschätzter Werkstoff, weil es faserig, feuerfest, gut isolierend und mechanisch verspinbar ist. Die Gefährlichkeit von Asbest wurde erst später festgestellt. Chrysotil zum Beispiel kann sich in der Lunge festsetzen, da die Chrysotilröllchen am Ende kleine Haken ausbilden

Durch das enthaltene Mg^{2+} kommt es innerhalb der Oktaederschicht zur Aufweitung und damit passen die Gitterabstände von Tetraeder- und Oktaederschicht nicht mehr perfekt zusammen. Beim Chrysotil kommt es dadurch zur Krümmung und Einrollung der Schichten. Die Oktaederschicht befindet sich auf der Außenseite des Chrysotilröllchens. Antigorit hat demgegenüber eine wellenartige Struktur, die mit periodischem Umklappen der $[\text{SiO}_4]$ -Tetraeder zusammenhängt.

Kaolinit



Farbe: reiner Kaolinit ist weiß,
durch Beimengungen gelb,
grünlich oder bläulich
gefärbt

Dichte: 2,1 – 2,6 g/cm³

Härte: 1

Spaltbarkeit: vollkommen



Kaolinit ist ein sehr wichtiges und weit verbreitetes Tonmineral. Es ist ein Gemengteil von Kaolin (Porzellanerde) und vieler Tone und Tonsteine.

Bildung bei Verwitterungsprozessen oder durch Einwirkung (hydro-)thermalen Wässers auf Silikate, besonders Feldspäte.

Es wird zur Herstellung von Porzellan, in der Papierindustrie und als Bestandteil von Bohrspülungen verwendet.

Montmorillonit $(\text{Al, Mg})_2 [(\text{OH})_2 / \text{Si}_4\text{O}_{10}] (\text{Na, Ca})_x \cdot n\text{H}_2\text{O}$

| | |
|---------------|--|
| Eigenschaft: | Fettglanz |
| Farbe: | weiß, grauweiß, gelb, bräunlichgelb, grünlichgelb |
| Strich: | weiß |
| Dichte: | 2,35 g/cm ³ |
| Härte: | 1,5 – 2 |
| Spaltbarkeit: | vollkommen |



Montmorillonit ist ein Dreischichtsilikat mit variabler Zusammensetzung. Na wird zum Teil durch Ca ersetzt. Er ist vorherrschendes Tonmineral im Bentonit, der sich u. a. aus verwitterten vulkanischen Aschen bildet.

Montmorillonit besitzt eine ausgesprochen hohe Quellfähigkeit. Es wird für Bohrspülungen, zur Abwasserreinigung, zum Bleichen oder Entfärben und zur Abdichtung von Schadstoffdeponien eingesetzt.

8. Silikate

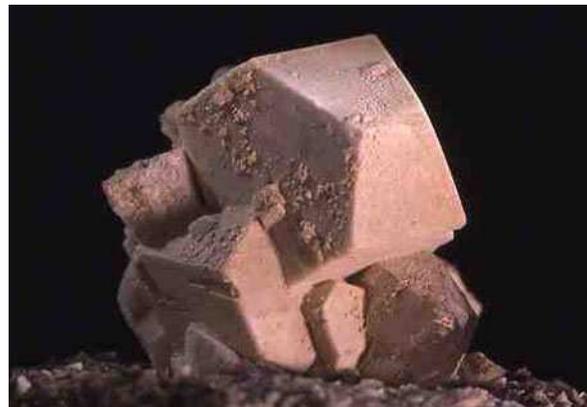
8.6 Tektosilikate

Die Gruppe der Gerüst-(Tekto-)Silikate gehört zu den wichtigsten des gesamten Lernstoffs. Insbesondere die Feldspäte sind wegen ihrer Häufigkeit in den Gesteinen der Erdkruste von großer Bedeutung. Die Gruppe der Gerüstsilikate lässt sich zum besseren Lernen in vier Gruppen unterteilen:

Feldspäte, Foide, Zeolithe, Skapolithe.

| | | |
|------------------------|--|--|
| Alkalifeldspäte | (K, Na) [AlSi₃O₈] | |
| Typen: | Sanidin | (K, Na) [AlSi₃O₈] |
| | Orthoklas | (K, Na) [AlSi₃O₈] |
| | Mikroklin | K [AlSi₃O₈] |

| | |
|---------------|---|
| Farbe: | durchscheinend bis durchsichtig, rot, meist weiß oder schwarz |
| Dichte: | 2,5 – 2,6 g/cm ³ |
| Härte: | ~ 6 |
| Spaltbarkeit: | vollkommen |



Sanidin (K, Na) [AlSi₃O₈], (K,Na)- Sanidin

Die farblosen bis grauen Kristalle sind dünn tafelig und trüb, seltener durchscheinend bis durchsichtig. Er kommt in felsischen Vulkaniten (Rhyolithe, Trachyte, Phonolithe) und in Kimberliten vor. Ausserdem tritt Sanidin in Gesteinen der Hochtemperatur-Metamorphose auf. Er ist als Hochtemperaturform von Alkalifeldspäten anzusehen.

Orthoklas (K, Na) [AlSi₃O₈], (K,Na)-Orthoklas

Durch seine Mittelstellung zwischen der Hochtemperaturform Sanidin und der Tieftemperaturform Mikroklin besitzt Orthoklas eine teilweise geordnete Al-Si-Verteilung. Das Mineral bildet spätige Kristalle von weißer oder roter Farbe. Diagnostisch ist eine einfache Verzwillingung der Kristalle. Orthoklas kommt in hellen Intrusivgesteinen (Graniten, Granodioriten, Syeniten) und in Metamorphiten vor. Weiterhin tritt er in Pegmatiten auf.

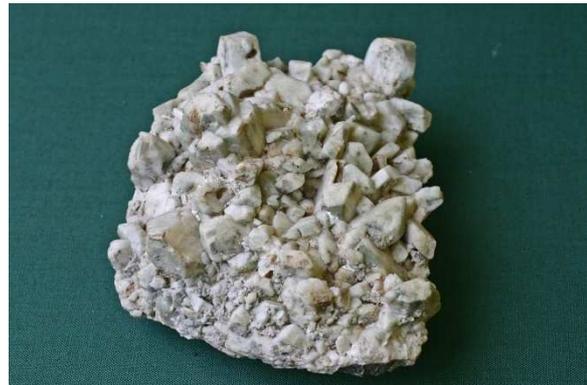
Mikroklin K [AlSi₃O₈]

Im Mikroklin als Tieftemperaturform des Kalifeldspats ist die Al-Si-Verteilung in höherem Grade geordnet. In Chemismus und Habitus besteht eine weitgehende Ähnlichkeit mit Orthoklas. Das Mineral tritt ebenfalls in hellen Intrusivgesteinen, in Sandsteinen und in Metamorphiten auf. Teilweise bildet es sich aus dem primären Orthoklas der felsischen Plutonite. Idiomorphe Kristalle findet man in alpinen Zerrklüften.

Plagioklas-Reihe

| | | |
|----------------------|-------------------|---|
| Bestandteile: | Albit | Na [AlSi₃O₈] |
| | Oligoklas | |
| | Andesin | |
| | Labradorit | |
| | Bytownit | |
| | Anorthit | Ca [Al₂Si₂O₈] |

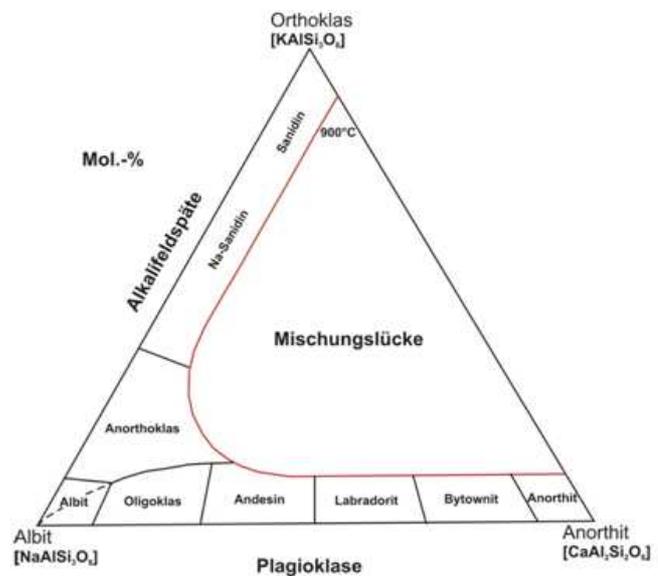
| | |
|----------------------|-------------------------------|
| Eigenschaft: | Glas- oder Perlmutterglanz |
| Farbe: | farblos, weiß, grau, rötlich |
| Strich: | weiß |
| Dichte: | 2,62 – 2,76 g/cm ³ |
| Härte: | 6 – 6,5 |
| Spaltbarkeit: | vollkommen |



Die Plagioklase bilden eine Mischkristallreihe Albit → Anorthit ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 \rightarrow \text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$), die nach dem Anorthitgehalt (An) folgendermaßen unterteilt wird:

| | |
|------------|--------------------------------------|
| Albit | An ₀ - An ₁₀ |
| Oligoklas | An ₁₀ - An ₃₀ |
| Andesin | An ₃₀ - An ₅₀ |
| Labradorit | An ₅₀ - An ₇₀ |
| Bytownit | An ₇₀ - An ₉₀ |
| Anorthit | An ₉₀ - An ₁₀₀ |

Die Plagioklase bilden spätige Kristalle von weißer, gelblicher, grünlicher, selten auch violetter Farbe. Diagnostisch ist eine polysynthetische Verzwilligung, häufig ist allerdings makroskopisch keine solche zu sehen.



Feldspatoide (Foide, Feldspatvertreter)

Leucit

K [AlSi₂O₆]

Eigenschaft: Glas- oder Fettglanz
Farbe: farblos, grauweiß bis weiß,
gelblich, trüb
durchscheinend
Dichte: 2,5 g/cm³
Härte: 5,5 – 6
Spaltbarkeit: fehlt



Leucit ist ein typisches Mineral SiO₂-untersättigter K-reicher vulkanischer Gesteine (z. B. am Vesuv). Häufig ist der Leucit idiomorph als „Leucitoeder“ ausgebildet. In Plutoniten und metamorphen Gesteinen fehlt Leucit völlig.

Feldspatoide (Foide, Feldspatvertreter)

Nephelin



Farbe: grau, grünlich oder rötlich,
auf Kristallflächen
Glasglanz, auf Bruchflächen
Fettglanz
Dichte: $2,6 \text{ g/cm}^3$
Härte: 5,5 – 6
Spaltbarkeit: unvollkommen



Wie Leucit ist auch Nephelin ein wichtiges gesteinsbildendes Mineral in SiO_2 -untersättigten magmatischen Gesteinen. Im Unterschied zu Leucit tritt Nephelin auch in seltenen Plutoniten wie Nephelinsyeniten und deren Pegmatiten auf.

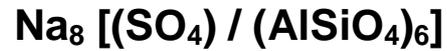
Feldspatoide (Foide, Feldspatvertreter)

Sodalith



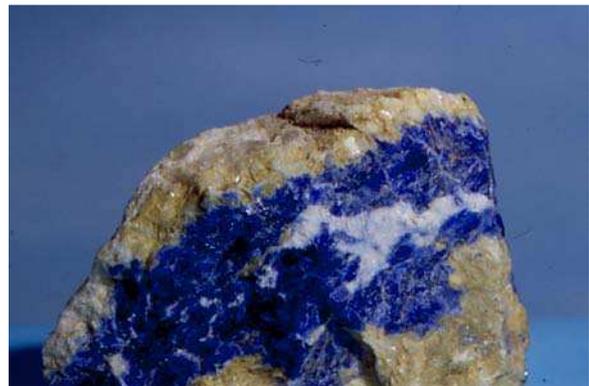
Merkformel: $6\text{Na}[\text{AlSiO}_4]$ (Nephelin) \cdot 2NaCl

Nosean



Merkformel: $6\text{Na}[\text{AlSiO}_4] \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4$

Farbe: farblos bis tiefblau
Dichte: $2,3 \text{ g/cm}^3$ Sodalith
 $2,3 - 2,4 \text{ g/cm}^3$ Nosean
Härte: 5 - 6
Spaltbarkeit: {110} vollkommen



Als Gemengteil besonders in alkalibetonten Plutoniten (Nephelinsyeniten und deren Pegmatiten), als mikroskopischer Gemengteil in vulkanischen Gesteinen (Phonolithen und Alkali-Basalten), aufgewachsene Kriställchen in vulkanischen Auswürflingen.

Zeolith-Gruppe

Beispiele:

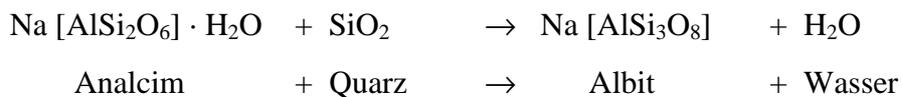
| | |
|------------------|--|
| Analcim | Na [AlSi₂O₆] · H₂O |
| Natrolith | Na₂ [Al₂Si₃O₁₀] · 2H₂O |
| Chabasit | Ca [Al₂Si₄O₁₂] · 6H₂O |

| | |
|---------------|---|
| Eigenschaft: | manchmal Glas- bis Seidenglanz |
| Farbe: | klar, weiß, farblos bis leicht gefärbt, durchscheinend |
| Dichte: | ~ 2,25 g/cm ³ |
| Härte: | ~ 5,5 |
| Spaltbarkeit: | fehlt |



Analcim

Analcim ist klar oder weiß und bildet auf Klüften in Tonsteinen gelegentlich Kristalle mit 24 gleichen Flächen, sog. Ikositetraeder. Analcim ist ein häufiges Mineral der sehr niedrig temperierten Metamorphose. Aus Analcim und Quarz bildet sich bereits bei ca. 150 °C das Mineral Albit nach der Gleichung:



Weiterhin kommt er in vulkanischen Gesteinen als Sekundärmineral vor. In tonigen Sedimenten kann er als authigenes Mineral auftreten.

Natrolith

Langprismatisch-nadelige und haarförmige Kristalle, meistens zu Büscheln oder radialstrahlig bis kugelig gruppiert. Muscheliger Bruch, meistens farblos, weiß, seltener zart gefärbt, Glas- bis Seidenglanz, durchsichtig bis durchscheinend. Natrolith tritt als hydrothermales Zersetzungsprodukt in vulkanischen Gesteinen auf.

Chabasit

Spaltbarkeit bisweilen deutlich, sonst muscheliger Bruch. Farblos oder weiß, seltener zart gefärbt. Glasglanz, durchsichtig bis durchscheinend. Ebenso wie Natrolith in vulkanischen Gesteinen, auf Kluftflächen und in Hohlräumen.

Skapolithe

Endglieder:

Marialith



Mejonit



Farbe: meist weiss oder grau, auch grünlich, rötlich, ziegelrot
Dichte: 2,5 – 2,8 g/cm³
Härte: 5 - 6



Die Gruppe der Skapolithe ist eine Mischung der beiden Endglieder Marialith und Mejonit. Mejonite können neben der CO₃-Komponente auch SO₄-Moleküle enthalten. Ausserdem kann in beiden Endgliedern das CO₃ und das Cl durch OH oder F ersetzt werden.

Am einfachsten kann man sich die Formeln an Hand der Genese dieser Endglieder in metamorphen Prozessen merken, bei denen Feldspat mit Halit oder Calcit reagiert:



Das Vorkommen von Marialith ist beschränkt auf Chlorid-reiche Sedimente und deren metamorphe Äquivalente. Mejonit-reicher Skapolith dagegen tritt häufig in mafischen Metamorphiten auf, deren Ausgangsgesteine etwas Calcit enthalten. Die Bildungstemperaturen von Mejonit nach der obigen Reaktionsgleichung betragen ca. 600 bis 700 °C. In magmatischen Gesteinen ist Skapolith praktisch nicht zu finden.