

HALLESCHES JAHRBUCH FÜR GEOWISSENSCHAFTEN

BEIHEFT 49



HERBERT PÖLLMANN

SYSTEMATISCHE MINERALOGIE

TEIL I

DIE EIGENSCHAFTEN DER MINERALE - EINFÜHRUNG



HALLE (SAALE) 2021

Azurit. Kerrouchem/Marokko. Bildbreite 10 cm

HALLESCHES JAHRBUCH FÜR GEOWISSENSCHAFTEN

Herausgeber

Institut für Geowissenschaften und Geographie
der Martin - Luther Universität Halle-Wittenberg

P. BAYER G. BORG
C. CONRAD J. EVERTS C. FÜRST B. MICHEL
H. PÖLLMANN M. STIPP

Schriftleitung

D. MERTMANN T. DEGEN S. STÖBER

BEIHEFT 49

Halle (Saale) 2021

Institut für Geowissenschaften und Geographie
der Martin - Luther Universität Halle-Wittenberg



Anschrift von Herausgebern und Schriftleitung:

Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Institut für Geowissenschaften und Geographie
Von Seckendorff - Platz 3/4
D-06120 Halle (Saale)

e-mail: hjg@geo.uni-halle.de

Schriftleitung:

D. Mertmann T. Degen S. Stöber

P-ISSN: 2193-1313, E-ISSN: 2196-3622

© 2021 im Selbstverlag des Instituts für Geowissenschaften und Geographie
der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Alle Rechte vorbehalten

Systematische Mineralogie

Teil I

Die Eigenschaften der Minerale - Einführung
Institut für Geowissenschaften und Geographie
Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Mineralogie/Geochemie



Teil I: Eigenschaften der Minerale

Diese Übersicht umfasst im Wesentlichen die wichtigen Minerale, die für die Bildung der Gesteine, der Erze und anderer wichtiger mineralogischer Phänomene als Basis notwendig sind. Dabei ist es auch wichtig, dass einige wichtige Fachbegriffe mit eingeführt werden, deren Bedeutung für die Mineralbeschreibung und Kenntnis wichtig sind. Das mit angeführte Bildmaterial zu den Mineralen kann und soll das direkte Bestimmen der Minerale nicht ersetzen. Es dient aber zusätzlich als wichtige Erinnerungsstütze. Bisweilen sind auch Mineralstücke mit angeführt, die sich durch ihre besondere Ausbildung und Größe bevorzugt eignen, um die wichtigen Eigenschaften eines Minerals darzustellen.

An einigen Stellen sind auch einige Begriffe aus der Kristallographie mit eingeführt, die bei der Bestimmung eines Minerals wichtig sein können. Zu diesen Ausführungen werden in Teil II diese wichtigen Minerale spezifisch vorgestellt.

Strukturen wurden mit den Programmen „Atoms“ und „CrystalMaker“ berechnet und gezeichnet.

Die jeweiligen Daten wurden durch Mitarbeiter/innen, Student/innen zusammengestellt. Einige sind nachstehend aufgeführt.

Prof. Dr. Dr. Herbert Pöllmann

Prof. Dr. Dorothee Mertmann

Unter Mitarbeit von

Cand. geol. Julia Woskowski

M.Sc. Rebecca Mensing

M.Sc. Simone Schiele

Cand. geol. Clemens Schwalber

Cand. geol. Kristin Schulz

Inhaltsverzeichnis

1. Die Mineralbildung	5
<i>Liquidmagmatische Mineralbildung</i>	7
<i>Pegmatite</i>	7
<i>Pneumatolytische Mineralbildung</i>	7
<i>Hydrothermale Mineralbildung</i>	8
<i>Metamorphe Mineralbildung</i>	9
<i>Sedimentäre Mineralbildung</i>	10
2. Mineraleinteilung und Klassifizierung	13
3. Mineralausbildung	16
<i>Morphologische Ausbildung</i>	21
<i>Nicht kristalline Ausbildung der Minerale im Mineralreich</i>	22
<i>Ausbildung und Form der Minerale</i>	22
<i>Mineralmodifikationen</i>	31
4. Mineralverwachsung	31
<i>Verwachsungen gleicher Minerale ohne eine dabei entstehende zusätzliche Symmetrie</i>	31
<i>Zwillinge</i>	31
<i>Mineralparamorphosen</i>	37
<i>Verwachsungen verschiedener Minerale – Paragenese</i>	37
<i>Epitaxie</i>	39
<i>Mineralparagenese</i>	40
<i>Mineralumwandlungen (Abb. 43-48)</i>	40
<i>Mineralperimorphosen (Abb. 49-52)</i>	45
<i>Lösungs- und Ätzfiguren</i>	46
<i>Mineralpseudomorphosen (Abb. 53-62)</i>	47
<i>Zonarbau (Abb. 63-64)</i>	53
5. Bestimmungsmerkmale	54
<i>Mineralhärte</i>	54
<i>Mineraldichte</i>	55
<i>Mineralbruch</i>	58
<i>Mineralspaltbarkeit</i>	59
<i>Mineralfarbe (Abb. 68-76)</i>	61
<i>Varietäten eines Minerals</i>	64
<i>Pleochroismus</i>	66

<i>Dichroismus/Trichroismus:</i>	67
<i>Mineral – Strichfarbe</i>	67
<i>Mineralglanz</i>	69
<i>Mineral - Durchsichtigkeit -- Transparenz</i>	71
<i>Doppelbrechung</i>	72
<i>Mineralmagnetismus</i>	72
<i>Mineral – Radioaktivität</i>	73
<i>Mineral – Tenazität Elastizität, Sprödigkeit, Plastizität</i>	73
<i>Mineral – elektrische Leitfähigkeit</i>	75
<i>Mineral - thermische Eigenschaften</i>	75
<i>Mineral – Lumineszenz (Abb. 81-84)</i>	75
6. Wichtige Minerale und ihre chemische Zusammensetzung	78
Zitierte und weiterführende Literatur	83

1. Die Mineralbildung

Minerale werden in der Natur in unterschiedlichster Weise gebildet. Spektakulär ist das Naturphänomen der Mineralbildung aus glutflüssigem Magma, das an die Erdoberfläche tritt und durch Temperaturerniedrigung zur Kristallisation der Minerale führt. Ist diese Abkühlung zu schnell, dann führt sie auch zur Gesteinsglasbildung. Die verschiedenen Mineralbildungsbereiche im magmatischen Milieu können anschaulich durch die Bowen'sche Reaktionsserie dargestellt werden (Abb. 1).

Ändern sich die Druck- und Temperaturverhältnisse oder allgemein die Umgebungsparameter, so gibt es weitere Bereiche der Mineralbildung, und die Minerale wandeln sich um. Dabei sind im Bereich der Verwitterung die Minerale, die bei den höchsten Temperaturen und Drucken gebildet wurden, dann wiederum als erste an den Umbildungsvorgängen beteiligt. Diese Umbildung wird durch die Goldich'sche Verwitterungsserie dargestellt. Umbildungen sind dabei nicht nur von einem Mineral in ein neues Mineral (Modifikation) möglich, sondern es ist, bedingt durch den Chemismus, auch möglich, dass sich mehrere neue Minerale bilden, aber auch Bestandteile in Lösung gehen können. Diese charakteristischen Mineralvergesellschaftungen werden als Paragenese bezeichnet und können dann zur Mineralidentifikation in allen Mineralbildungsbereichen mit herangezogen werden.

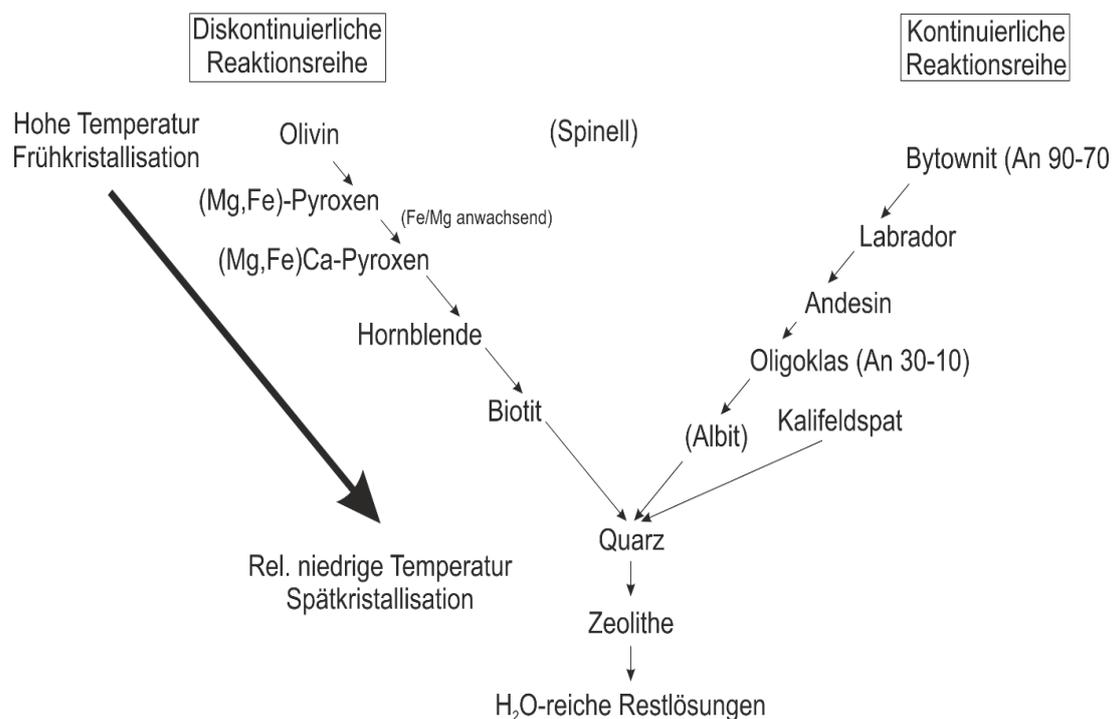


Abb. 1: Bowen'sches Reaktionsprinzip der Mineralausscheidung

Insgesamt können so vier wichtige Bereiche der Mineralentstehung bei unterschiedlichen geologischen Bedingungen unterschieden werden (Abb. 2):

1. Magmatische Mineralbildung: Mineralbildung aus Schmelzen, Gasen und Lösungen

2. Metamorphe Mineralbildung: Umbildung von Mineralen durch Änderung von Druck und Temperatur – isochemisch

3. Metasomatische Mineralbildung: Umbildung von Mineralen durch Änderung von Druck und Temperatur – allochemisch

4. Sedimentäre Mineralbildung: Mineralbildung bei niedrigen Druck und Temperaturen durch Verwitterung, Oxydation, Abtragung, Lösung, Transport und Ablagerung

Mineralbildung in unterschiedlichem Milieu – hier Mineralbildung in Gesteinen

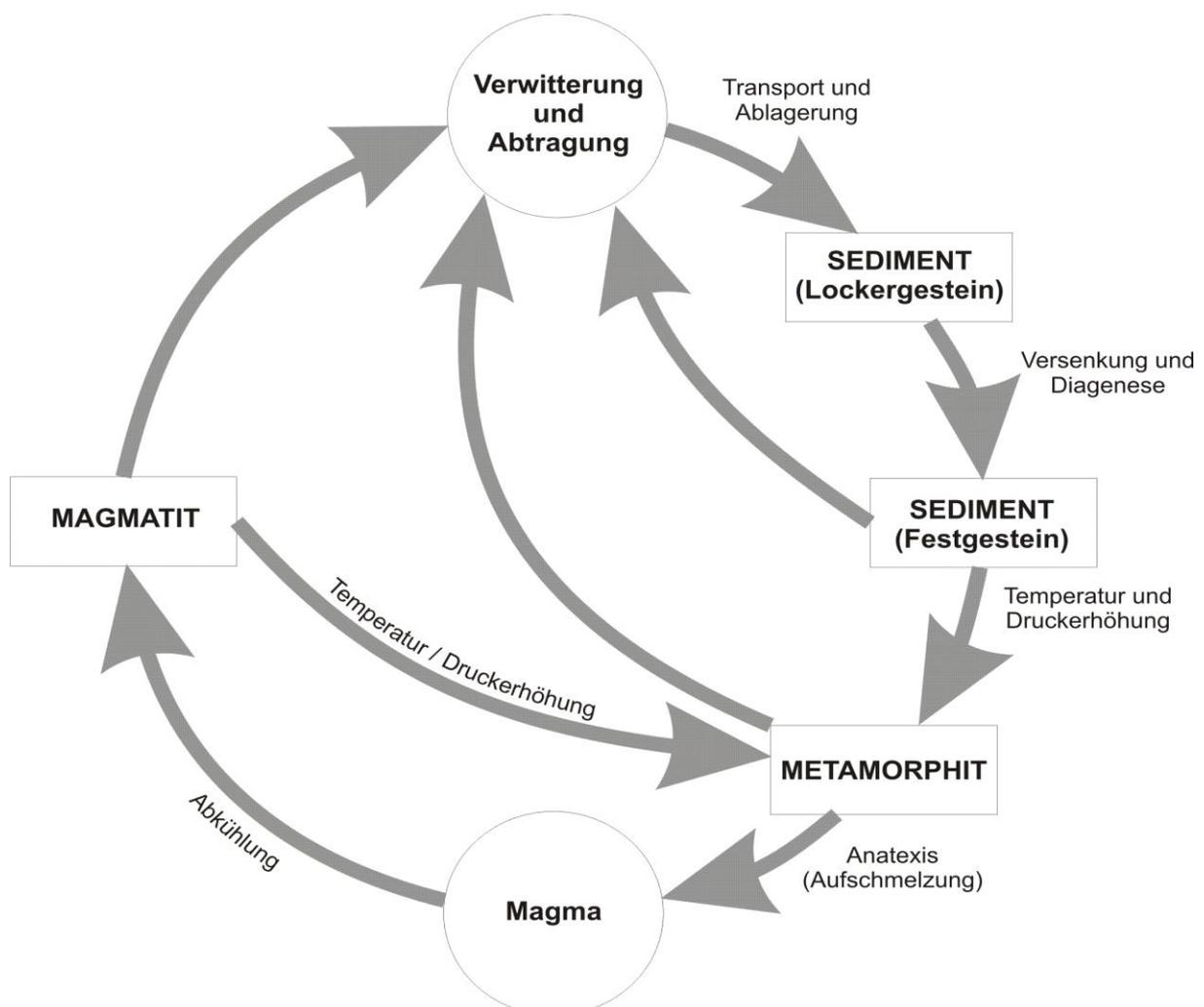


Abb. 2: Kreislauf der Gesteine

In diesen Mineralbildungsbereichen können verschiedene Mineralbildungen mit charakteristischen Mineralen jeweils unterschieden werden:

Liquidmagmatische Mineralbildung

Anreicherung von Mineralen in der Schmelze durch Dichteseparation oder Schmelzentmischung (Magnetit, Ilmenit, Pyrrhotin)

Mineralbildung aus Schmelzen – Plutonite, Vulkanite, Aplite, Ophite

Pegmatite

Anreicherung von Mineralen in granitischen Restschmelzen. Neben den Hauptmineralen Quarz, Feldspat und Glimmer werden weitere seltene Elemente in eigenen Mineralen angereichert. Die Ionenradien dieser Elemente sind zu klein oder zu groß, um in die gesteinsbildenden Minerale eingebaut zu werden. Typische angereicherte Elemente in eigenen Mineralen sind: Li, Be, B, P, Cs, Nb, Ta, W, SEE.

Pneumatolytische Mineralbildung

Mineralbildung durch Reaktion von freiwerdenden Gasen mit dem Nebengestein unter Bildung neuer Minerale. Folgende Reaktionen sind typisch:

- Silifizierung des Nebengesteins
- Zersetzung von Feldspäten
- Neubildung von Topas
- zinnerzführende Zone (Greisen)
- Mineralumbildung von Feldspat zu Topas und Fluorit.
- Anreicherungen auch von Sn und W.

Die Anreicherung von Mineralen wie Glimmern, Apatit, Cassiterit und Wolframit sowie das Verschwinden der Feldspäte wird als Greisen bezeichnet. Oft kommt es auch zu einer Silifizierung.

Hydrothermale Mineralbildung

Die Mineralbildungen in der hydrothermalen Phase basieren auf der Ausscheidung von Mineralen aus heißen Lösungen (500 °C und kälter). Diese Lösungen werden auf Gängen und Spalten im Nebengestein abgeschieden. Dabei werden die Minerale, die bei entsprechenden Temperaturen gebildet werden, zu Formationen zusammengefasst. Lagerstätten werden in hydrothermalen Gängen, Verdrängungslagerstätten, porphyry copper ores und massiven Sulfidlagerstätten gebildet. Eine Unterteilung der Mineralausscheidung in der hydrothermalen Phase findet auch in telethermal (0-100°C), epithermal (100-200°C), mesothermal (200-300°C) und katathermal (300-400°C) statt.

1. Gold-Quarz Formation - Quarz, Au, Pyrit,
2. Cu- und Kiesformation - Pyrit, Chalkopyrit, Quarz
3. Hochthermale Kupfer-Arsen Formation - Chalkosin, Tetraedrit, Tennantit, Arsenopyrit
4. Bleiglanz-Zinkblende Formation - Galenit, Sphalerit, Chalkopyrit
5. Co-Ag-Ni-Bi-U-Formation - Argentit, Co-, Ni-Minerale, Pechblende
6. Sn-Ag-Bi-W-Formation - Cassiterit, Ag-Erze
7. Sb-Hg-As-Se-Formation - Cinnabarit, Stibnit, Realgar
8. Oxidische Fe-Mn-Mg-Formation - Siderit, Hämatit
9. Erzfreie Formation - Quarz, Fluorit, Baryt, Siderit
10. Vulkanische Exhalationen, Solfatare, Mofetten - Schwefel, Alaun

Hier wurden für die Erzminerale von den alten Bergleuten typische Bezeichnungen vergeben, die sich aus ihren Eigenschaften ableiten lassen:

Kiese: sulfidische Minerale mit hoher Härte, Metallglanz, oft goldfarben. Beispiele: Eisenkies = Pyrit, Kupferkies = Chalkopyrit

Fahle: sulfidische Minerale mit fahlem metallischem Glanz, meist grauer Farbe und geringer Härte. Beispiele: Fahlerz = Tetraedrit, Tennantit und andere

Glanze: sulfidische Minerale mit metallischem Glanz, geringer Härte, guter Spaltbarkeit und dunkler Farbe. Beispiele: Bleiglanz = Galenit, Kupferglanz = Chalkosin

Blenden: sulfidische Minerale mit nichtmetallischem Glanz, guter Spaltbarkeit und geringer Härte. Beispiele: Zinkblende = Sphalerit, Manganblende = Alabandin

Gangart: Minerale, die keine Metalle führen und in Paragenese mit den Erzmineralen auftreten können. Beispiele: Quarz, Calcit, Dolomit, Rhodochrosit

Metamorphe Mineralbildung

Bei der metamorphen Mineralbildung werden verschiedene geologische Verhältnisse für eine nähere Klassifizierung der Mineralbildung verwendet. Mineralogisch werden sie durch entsprechende Mineralparagenesen der Bildungsbedingungen in verschiedenen Darstellungen klassifiziert (Abb. 3). Druck- und Temperaturbedingungen können anhand von Modifikationsänderungen einzelner Minerale, aber auch durch Mineralumbildungen der verschiedenen Paragenesen eingegrenzt werden. Diese Zuordnung macht sich die Geothermobarometrie zu Nutzen. Anhand verschiedener Minerale werden auch vereinfacht metamorphe Fazies definiert.

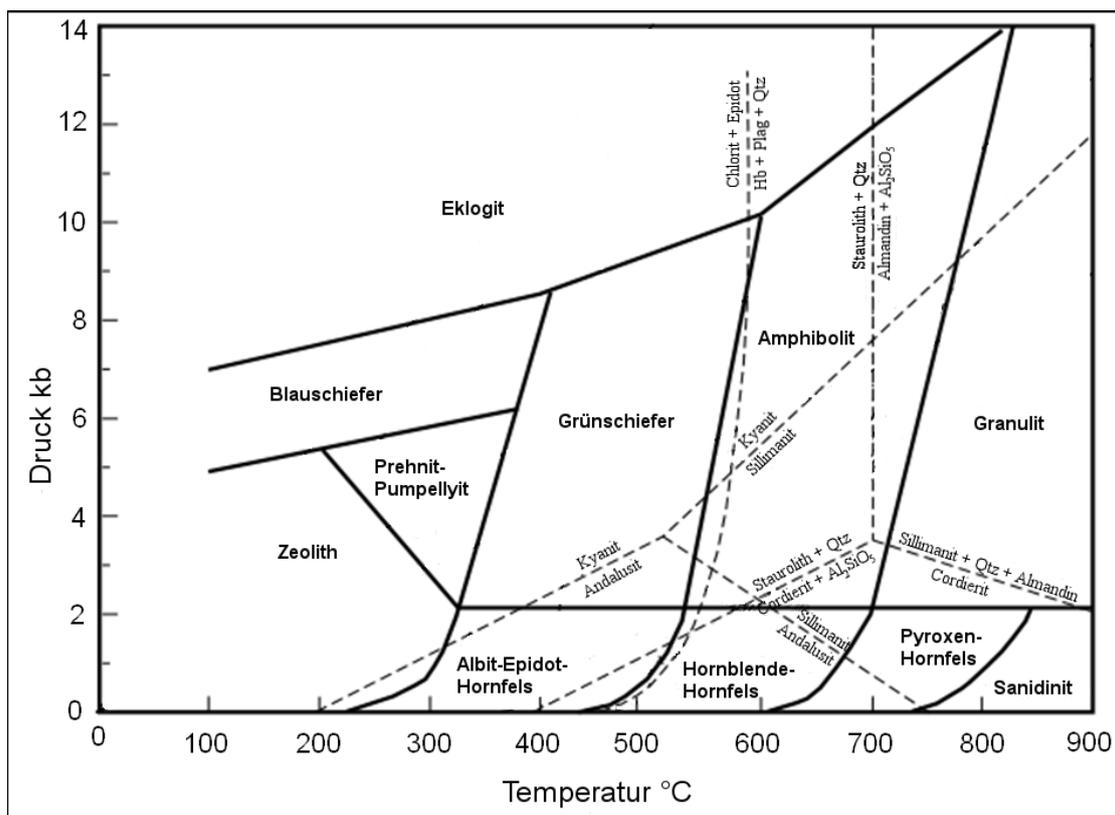


Abb. 3: Druck/Temperaturdiagramm der verschiedenen metamorphen Fazies mit ausgewählten Mineralumwandlungen und Stabilitätsgebieten

Folgende wichtige Bereiche der Metamorphose können unterschieden werden:

Regionalmetamorphose

Mineralumwandlung durch Änderung von Druck und Temperatur – keine Änderung des Chemismus

Hochdruckmetamorphose

Mineralumwandlung durch starke Änderung von Druck oft begleitet auch durch Temperaturerhöhung – keine Änderung des Chemismus

Kontaktmetamorphose

Mineralneubildung in der Nähe von heißen Gesteinsschmelzen am Kontakt zum Nebengestein – meist geringer Druck

Impaktmetamorphose

Mineralneubildung bei Meteoriteneinschlägen – hohe Druck und Temperaturbedingungen

Sedimentäre Mineralbildung

Die Minerale werden auf Grund von chemischen, physikalischen oder biologischen Verwitterungsprozessen angereichert oder zerstört. Die Veränderung der Gesteine nahe der Oberfläche bei geringen Drücken und Temperaturen von lockeren Sedimenten zu Sedimentgesteinen wird als Diagenese bezeichnet.

Zerstörung von Mineralen/Gesteinen – Transport (z.T.) – Sedimentation

Faktoren bei der Zerstörung von Mineralen/Gesteinen:

- Chemische Faktoren
 - Wasser
 - in Wasser gelöste Komponenten
 - Sauerstoff
- Mechanische Faktoren
 - z.B.: Frostsprengung, Gletscherschliff, Windschliff, fließendes Wasser
- Biologische Faktoren
 - Tätigkeit von Bakterien, Archaea, Flechten und anderen Lebewesen

Die Mineralumbildungstendenz kann über die Goldich'sche Verwitterungsreihe dargestellt werden (Abb. 4). Dabei sind die zuletzt auskristallisierten Minerale die stabilsten, während die bei hoher Temperatur zuerst auskristallisierten Minerale am schnellsten verwittern. Werden die Sedimente an Ort und Stelle gebildet, ohne Transport, so wird von **autochthoner** Mineralbildung gesprochen. Ist das Sediment hingegen transportiert worden, wird von **allochthoner** Mineralbildung gesprochen. Neben Mineralneubildungen werden verschiedene Elemente oder Ionen auch gelöst und weitertransportiert, an anderer Stelle ausgefällt oder nehmen dann an Mineralneubildungen teil. Am Beispiel der Alkalien Natrium und Kalium soll dies stellvertretend aufgezeigt werden. Während Natriumionen, im Wasser gelöst, bis ins Meer transportiert werden, sind Kaliumionen schnell adsorptiv an Tonminerale gebunden und stehen dann für das Pflanzenwachstum zur Verfügung.

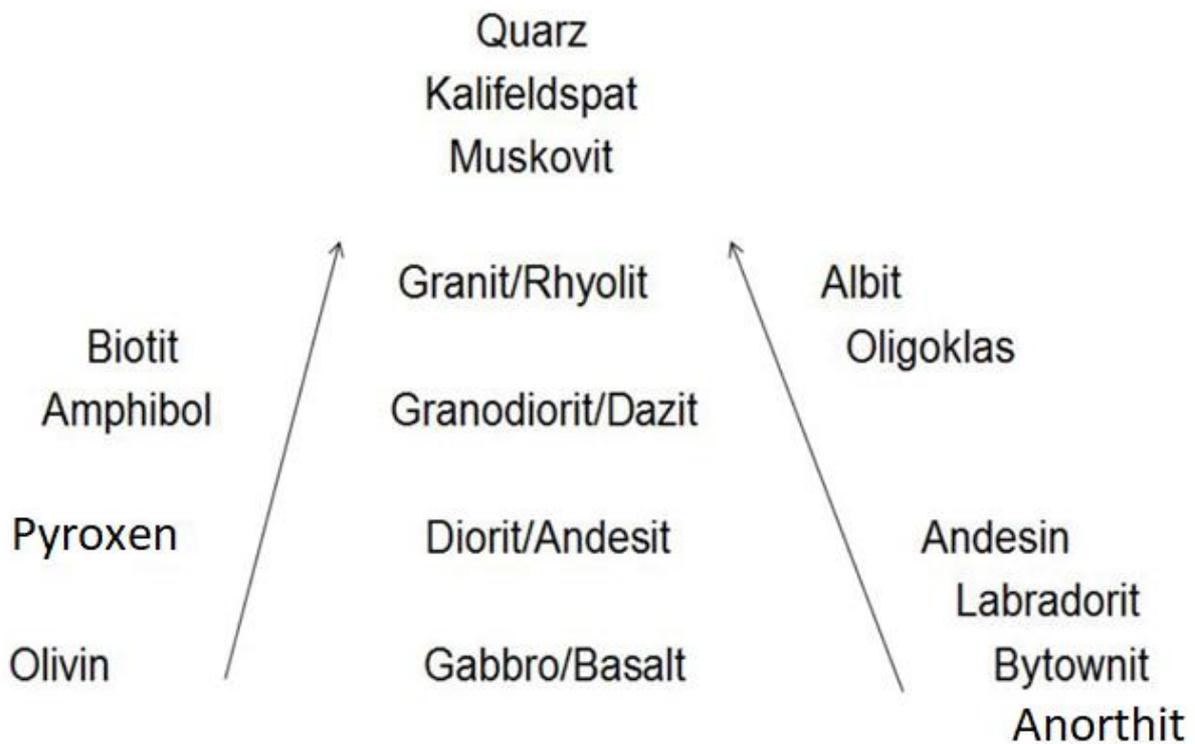


Abb. 4: Goldich'sche Verwitterungsreihe

Für die sedimentäre Mineralbildung können folgende Mineralbildungsbereiche unterschieden werden:

1. Neubildung von Tonmineralen
2. Nicht umgewandelte Minerale - Resistate
3. Mineralneubildungen
4. Minerale aus Lösungskristallisation
5. Typische Umbildungsminerale

Die dabei gebildeten Gesteine können wie folgt zusammengefasst und unterteilt werden:

- Klastische Sedimente
- Chemische Sedimente
- Biogene Sedimente
- Verwitterungsreste
- Verwitterungsneubildungen
- Umbildungen, Kolloide etc.

Typische Minerale, die in der Sedimentationsabfolge eine wichtige Rolle spielen, sind Tonminerale, Oxydationsminerale, Carbonate, Oxyde und Hydroxyde, Sulfate und Halitminerale. Dazu kommen die typischen Minerale der **Resistate**, d.h. der Minerale, die bei intensiven Verwitterungsvorgängen stabil bleiben und zum Beispiel in Seifen angereichert werden. Im Verwitterungsbereich werden auch die **siallitische** bzw. **allitische** Verwitterung unterschieden, d.h. SiO_2 und Al_2O_3 reagieren gemeinsam, zw. durchlaufen separate Wege der Verwitterung.

Typische Lagerstätten, die im Verwitterungsbereich gebildet werden sind:

1. Seifenlagerstätten
2. Salzlagerstätten
3. Tonminerallagerstätten
4. Bauxitlagerstätten
5. Nickellagerstätten
6. Anhydrit-, Gipslagerstätten
7. Carbonatmineral-Lagerstätten

In sulfidischen Lagerstätten kommt es zu Umbildungen und der Formation von Oxydations- und Zementationszonen.

2. Mineraleinteilung und Klassifizierung

Die verschiedenen Gruppen der Minerale werden wie folgt, nach chemischen Gesichtspunkten, eingeteilt (Einteilung nach Strunz):

Minerale werden nach ihrer chemischen Zusammensetzung und ihren Eigenschaften eingeteilt und können auch so bestimmt werden. Für ihre natürliche Bildung werden geologisch verschiedene Bereiche unterschieden. In Abbildung 5 ist die Einteilung der Minerale nach chemischen Gesichtspunkten mit Mineralbeispielen zusammengestellt. Die organische Gruppe der Minerale ist dort wegen der Seltenheit der auftretenden Minerale nicht enthalten.

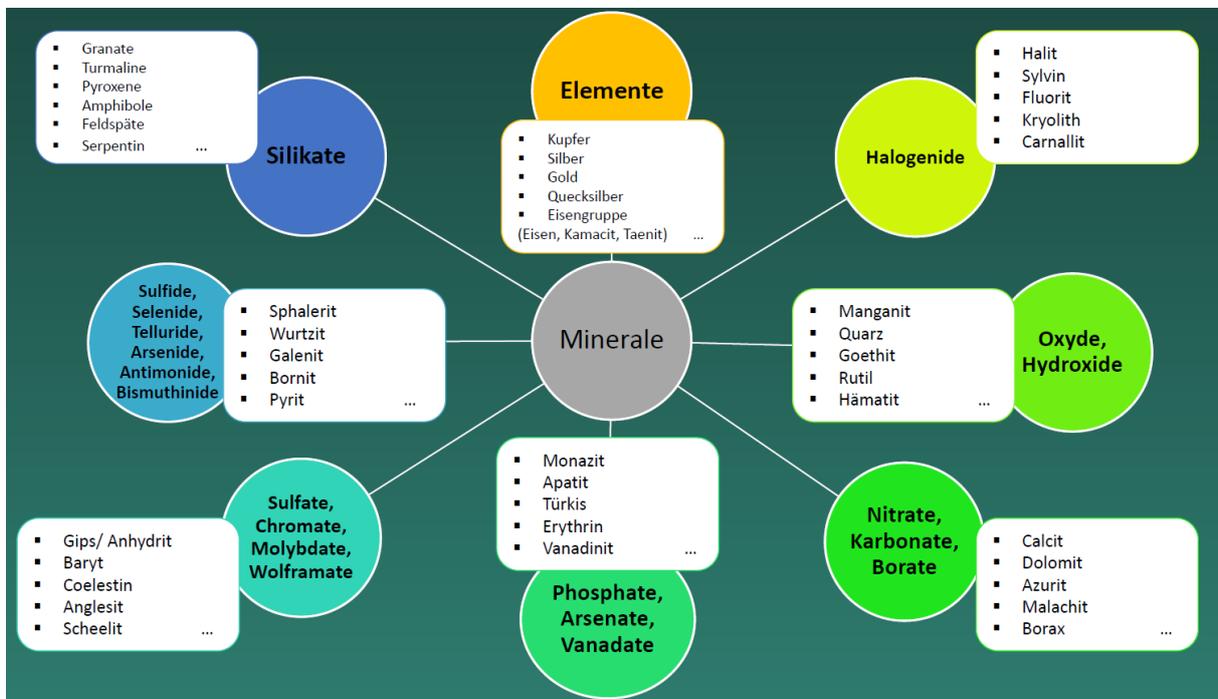


Abb. 5: Einteilung der Minerale nach chemischen Gesichtspunkten mit Mineralbeispielen

Weitere Untereinteilungen, ebenfalls nach chemischen Gesichtspunkten, sind darüber hinaus in Untergruppen möglich.

Die verschiedene Bildungsweise der Minerale im geologischen Umfeld wird in Abbildung 6 zusammengestellt. Hier werden typische Minerale aus unterschiedlichen Mineralbildungsbereichen dargestellt.

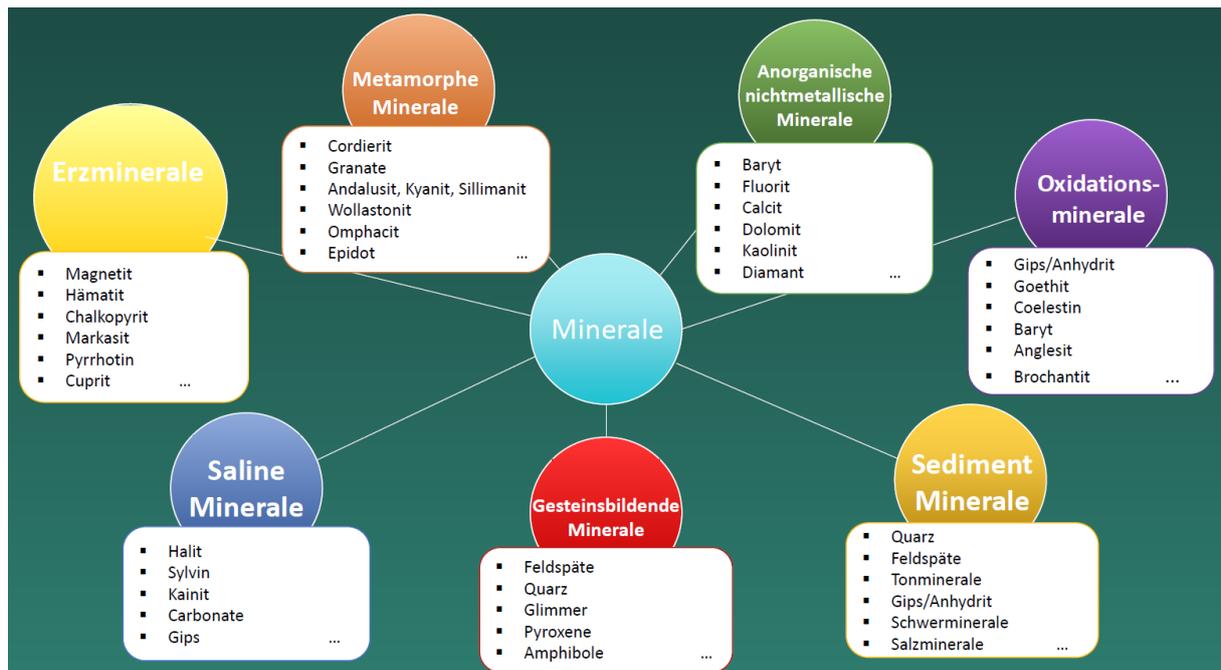


Abb. 6: Bildungsbereiche der Minerale mit Mineralbeispielen

Die wichtigsten Minerale der verschiedenen Bildungsgebiete werden in den drei folgenden Abbildungen mit Mineralnamen aufgeführt (Abb. 7-9). Wichtig ist dabei, dass heute Minerale auch wichtig sein können, die in der zusammenfassenden Darstellung noch nicht enthalten sind, Zum Beispiel seltene Minerale mit Lithium (wichtig für Batterien), spezielle Salzminerale oder auch andere Erze mit wesentlichen, technisch verwertbaren Elementen, wie zum Beispiel Minerale mit den Elementen Wolfram, Nickel, Seltene Erden. Aber auch andere Elemente, wie Strontium oder Cäsium, können eigene Minerale bilden und wichtig sein.

In dieser Beschreibung werden auch die paragenetisch auftretenden Minerale entsprechend erwähnt, da sie als Indiz für eine Mineralansprache herangezogen werden können. Es gibt für bestimmte Bildungsgebiete ganz typische Minerale, es gibt aber auch solche, die in vielen Bereichen (Durchläuferminerale) gebildet werden können.

Elemente	Halogenide	Oxyde, Hydroxide	Oxyde, Hydroxide
<ul style="list-style-type: none"> • Kupfer • Silber • Gold • Quecksilber • <i>Eisengruppe</i> <ul style="list-style-type: none"> • Eisen • Kamacit • Taenit • Blei • Platin • Iridium • Arsen • Antimon • Wismut • Diamant • Graphit • Schwefel • Moissanit 	<ul style="list-style-type: none"> • Halit • Sylvin • Fluorit • Kryolith • Carnallit 	<ul style="list-style-type: none"> • Cuprit • <i>Spinellgruppe</i> <ul style="list-style-type: none"> • Spinell • Magnetit • Chromit • Hausmannit • Chrysoberyll • Korund • Hämatit • Ilmenit • <i>SiO₂</i> <ul style="list-style-type: none"> • Quarz • Hochquarz • Tridymit • Cristobalit • Coesit • Stishovit • Opal 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>TiO₂</i> <ul style="list-style-type: none"> • Rutil • Anatas • Brookit • Cassiterit • Pyrolusit • Uraninit • Columbit • Brucit • Gibbsit • Diaspor • Böhmit • Goethit • Lepidokrokit • Sassolin

Abb. 7: Minerale der Elemente, Halogenide und Oxyde/Hydroxyde

Nitrate, Karbonate, Borate	Phosphate, Arsenate, Vanadate	Sulfate, Chromate, Molybdate, Wolframate	Sulfide, Selenide, Telluride, Arsenide, Antimonide, Bismuthinide
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Nitrate</i> <ul style="list-style-type: none"> • Nitronatrit • <i>Karbonate</i> <ul style="list-style-type: none"> • Calcit • Magnesit • Siderit • Rhodochrosit • Smithonit • Witherit • Cerussit • Dolomit • Ankerit • Azurit • Malachit • <i>Borate</i> <ul style="list-style-type: none"> • Borax • Ulexit • Colemanit 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Phosphate</i> <ul style="list-style-type: none"> • Monazit • Apatit • Pyromorphit • Vivianit • Türkis • Torbernit • Autunit • <i>Arsenate</i> <ul style="list-style-type: none"> • Mimetesit • Annabergit • Erythrin • <i>Vanadate</i> <ul style="list-style-type: none"> • Vanadinit 	<ul style="list-style-type: none"> • Anhydrit • Coelestin • Baryt • Anglesit • Gips • Krokoit • Wulfenit • Scheelit 	<ul style="list-style-type: none"> • Sphalerit • Wurzit • Chalkopyrit • Galenit • Cinnabarit • Pyrrhotin • Nickelin • Covellin • Chalkosin • Bornit • Akanthit/ Argentit • Pentlandit • Antimonit • Pyrit • Markasit • Löllingit • Molybdänit • Tetraedrit • Tennantit • Proustit • Pyrargyrit • Realgar • Auripigment

Abb. 8: Minerale der Carbonate, Phosphate, Sulfate und Sulfide

Inselsilikate, Gruppensilikate	Ringsilikate, Ketten-, Band-silikate	Schichtsilikate	Gerüstsilikate
<ul style="list-style-type: none"> • Inselsilikate • Olivin • <i>Granat-Gruppe</i> • Pyrop • Almandin • Spessartin • Uwarowit • Grossular • Andradit • Zirkon • Andalusit • Sillimanit • Disthen • Topas • Titanit • Gruppensilikate • Epidot • Vesuvian • Melilith 	<ul style="list-style-type: none"> • Ringsilikate • Beryll • Cordierit • <i>Turmalin-Gruppe</i> • Schörl • Dravit • Elbait • Kettensilikate • <i>Pyroxene</i> • Ferrosilit • Diopsid • Hedenbergit • Augit • Omphacit • Aegirin • Jadeit • Spodumen • <i>Amphibole</i> • Anthophyllit • Cummingtonit • Tremolith • Aktinolith • Hornblende • Glaucophan • Wollastonit 	<ul style="list-style-type: none"> • Kaolinit • <i>Serpentin-Gruppe</i> • Chrysotil • Antigorit • Pyrophyllit • Talk • Muskovit • Biotit • Lepidolith • Montmorillonit • Klinochlor • Chamosit 	<ul style="list-style-type: none"> • Nephelin • Leucit • Analcim • <i>Feldspäte</i> • Sanidin • Orthoklas • Mikroklin • Plagioklas • Albit • Oligoklas • Andesin • Labradorit • Bytownit • Anorthit • <i>Sodalith-Gruppe</i> • Sodalith • Nosean • Hauyn • Lasurit • <i>Zeolith</i> • Natrolith • Chabasit • Stilbit

Abb. 9: Minerale der Silikate

Neben der chemischen Einteilung ist die äußere Erscheinungsform der Minerale ein wichtiges Kriterium und soll im Folgenden detaillierter beschrieben werden.

Dazu werden die verschiedenen Mineraleigenschaften zusammengefasst. Mineralparagenesen beruhen auf den entsprechenden Mineralbildungsbedingungen in verschiedenen Bereichen und Ausscheidungsformen.

3. Mineralausbildung

Die Minerale können mit einer äußeren Kristallform, oder Teilen davon, aber in manchen Fällen auch amorph (d.h. ohne kristallinen Aufbau) auftreten. Die Einteilung der Minerale folgt der Symmetrie entsprechend den sieben Kristallsystemen (Variation der Einheiten der Elementarzellen und den entsprechenden Zwischenwinkeln) (Abb. 10).

a) Kristallform (Kristalltracht und Kristallhabitus)

A1) Gesamtheit der an einem Kristall entwickelten Flächen - **Tracht**

A2) Relative Größenverhältnisse der Flächen zueinander - **Habitus**

Die Definition der 7 Kristallsysteme für die Mineralbestimmung

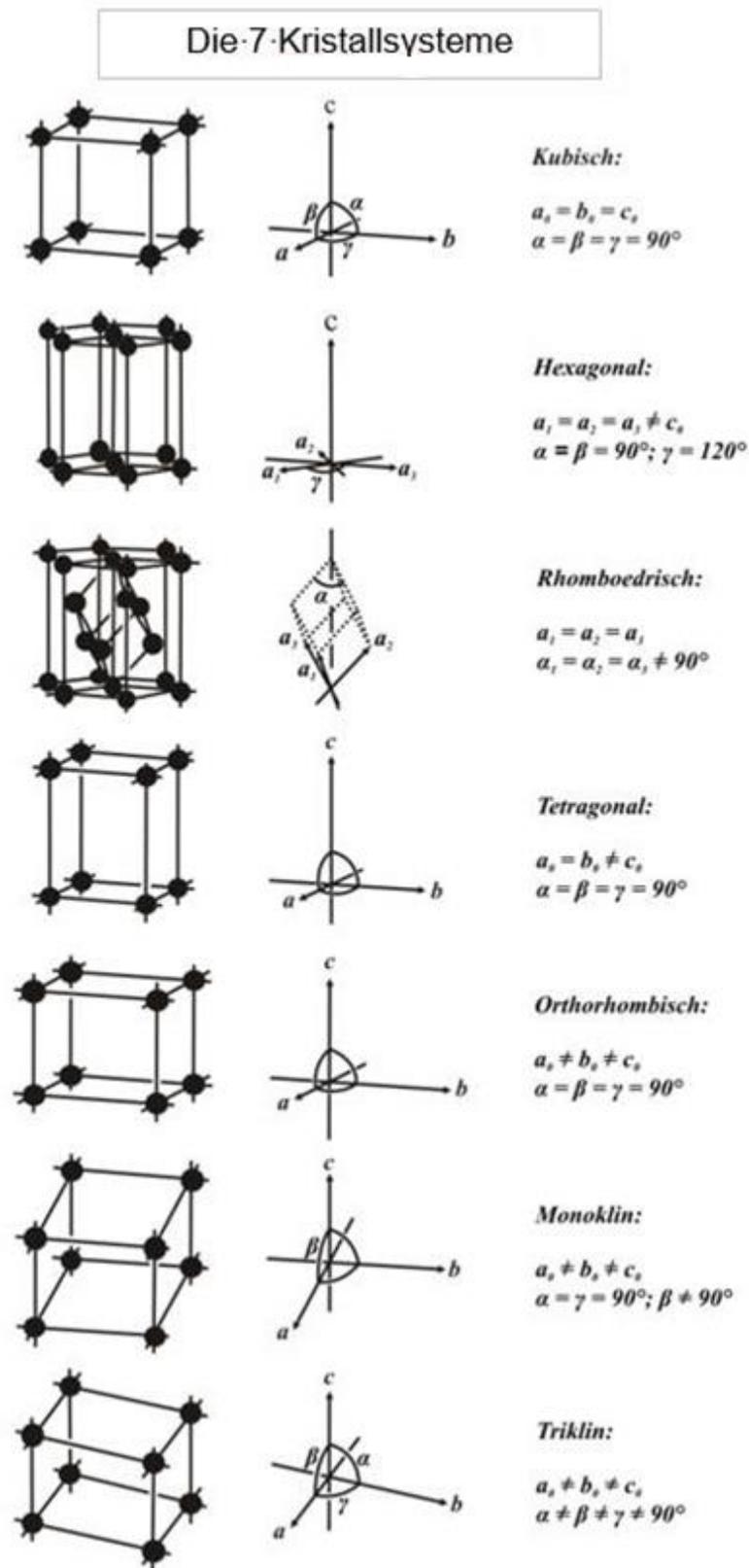


Abb. 10: Kristallsysteme für die Mineralbestimmung

A1: Tracht der Kristalle

Nachfolgend ist der Wechsel und die Kombination von Oktaeder und Würfel. beim Mineral Fluorit aufgezeigt (Abb. 11).

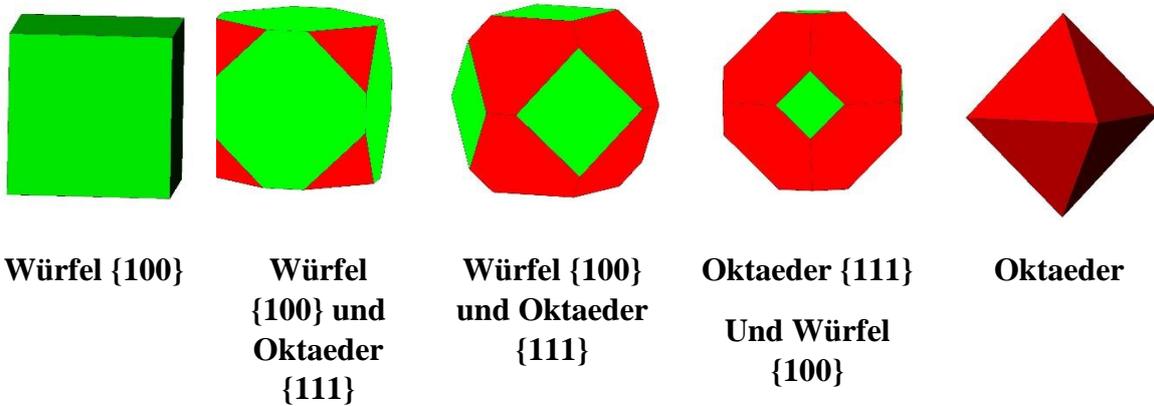
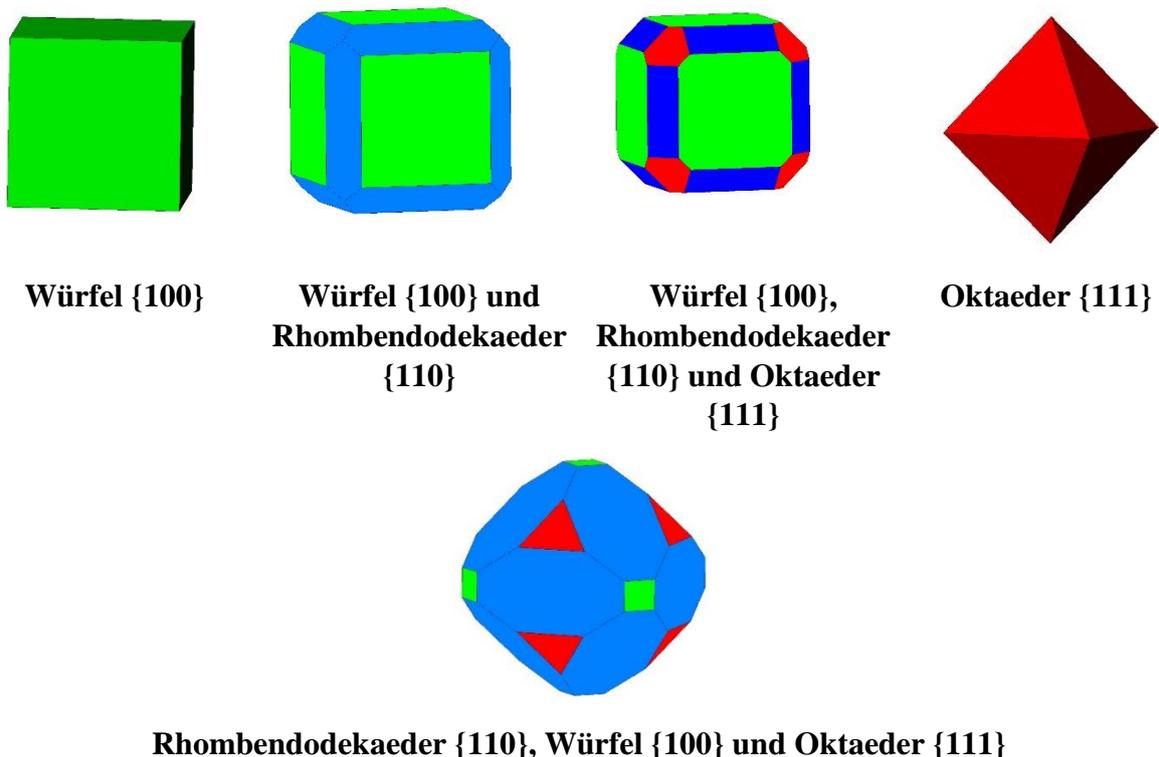


Abb. 11: Wechsel von **würfeligem Tracht** zu **oktaedrischer Tracht**

Nimmt man als weitere kristallographische Form dann noch den Rhombendodekaeder dazu, dann ergibt sich eine Anordnung der Flächen, wie sie in Abbildung 12 aufgezeigt ist.





Rhombendodekaeder {110}

Abb. 12: Kombination von Würfel, Oktaeder und Rhombendodekaeder, **Tracht:** würfelig, oktaedrisch bis rhombendodekaedrisch

A2: Habitus: in allen Fällen isometrisch

Verschiedene Möglichkeiten des Habitus (Abb. 13, 14)

- a) Isometrische kristallographische Formen, die in allen drei Raumrichtungen gleich sind
- b) Blättrig, tafelige kristallographische Formen, die in zwei Raumrichtungen bevorzugt ausgebildet sind
- c) Prismatisch, nadelig, faserig kristallographische Formen, die in einer Richtung besonders ausgebildet

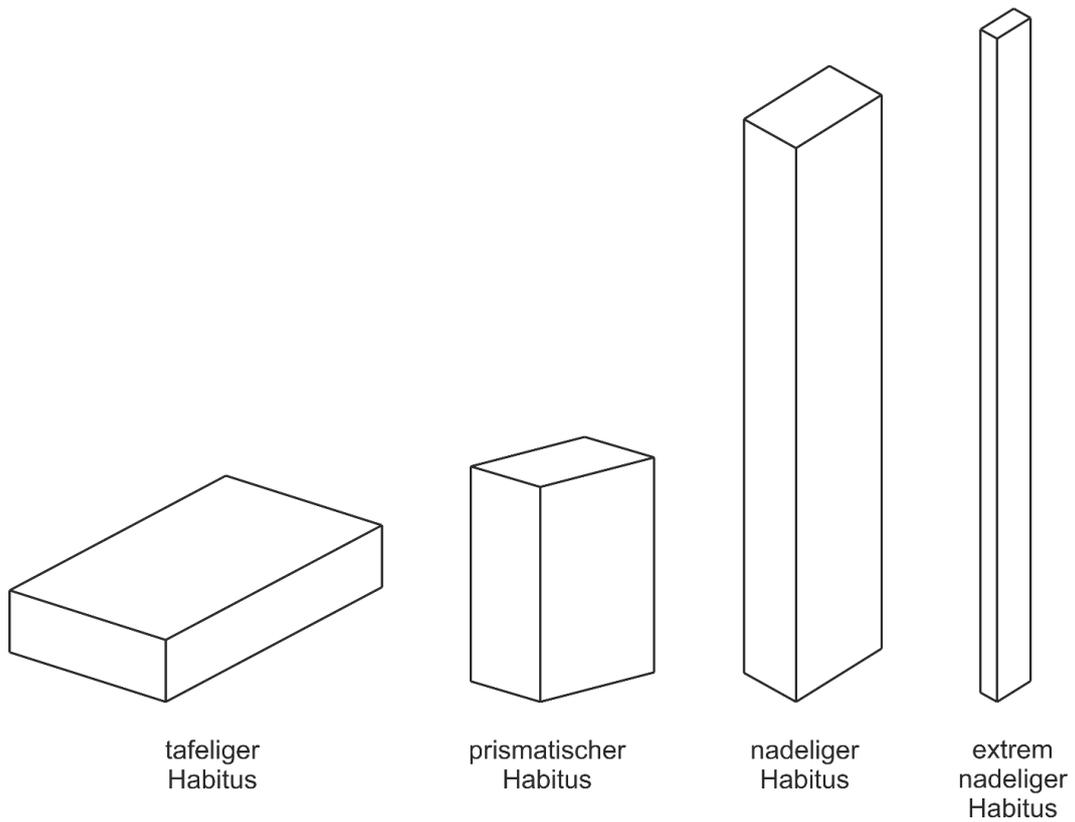


Abb. 13: Beispiele für Habitus von Mineralen

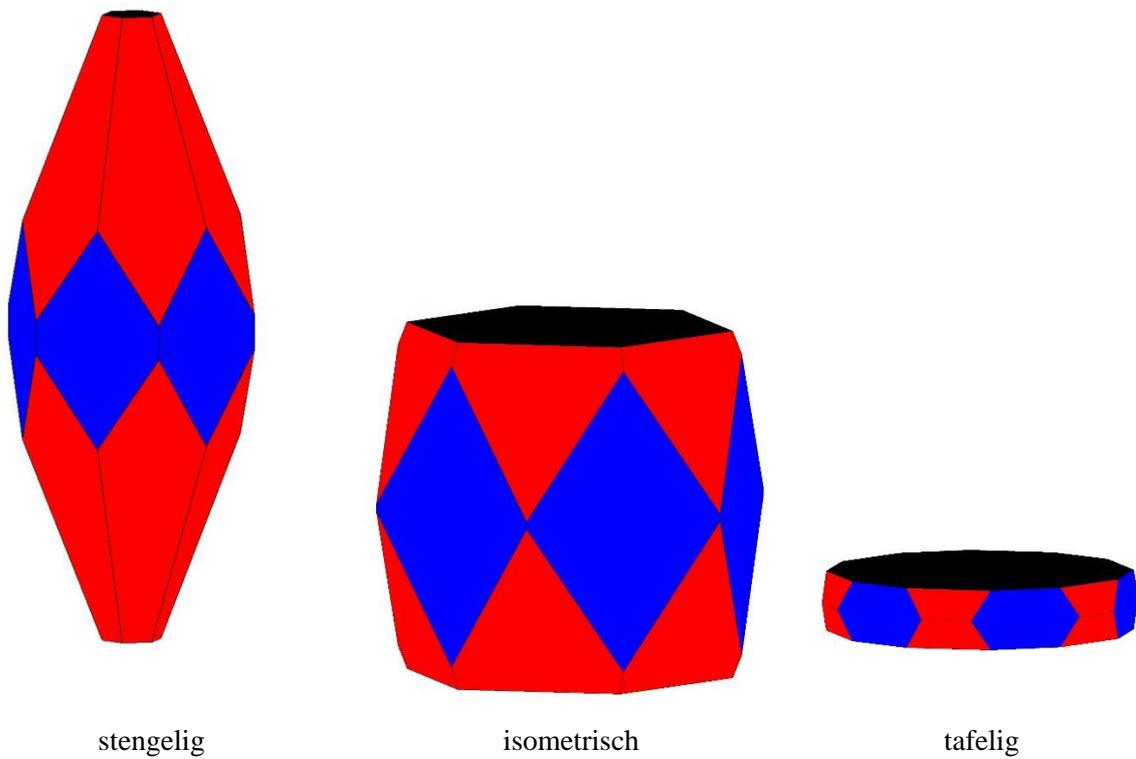


Abb. 14: Beispiele für Habitusänderungen an einem hexagonalen Kristall – Kristallformen $\{001\}$, $\{111\}$, $\{100\}$

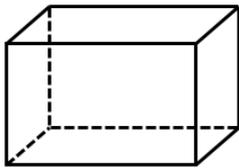
Morphologische Ausbildung

Bei kristallinen Stoffen handelt es sich um die relative äußere Flächenausbildung (Abb. 15).

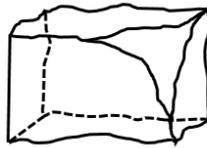
Idiomorphe Kristalle: Vollständige bis fast vollständige Ausbildung der Kristallform

Hypidiomorphe Kristalle: Teilweise Ausbildung der Kristallform

Xenomorphe Kristalle: Keine äußere Ausbildung von Kristallformen und Flächen



Idiomorph



Hypidiomorph



Xenomorph

Abb. 15: Morphologische Ausbildung

Der Grad der Kristallinität (Abb. 16) wird unterteilt in:

- a) **Holokristallin** - vollständig kristallisiert
- b) **Hypokristallin** - teils kristallin, teils glasig aufgebaut
- c) **Hyalin** - ganz oder im Wesentlichen glasig aufgebaut

Nicht kristalline Ausbildung der Minerale im Mineralreich

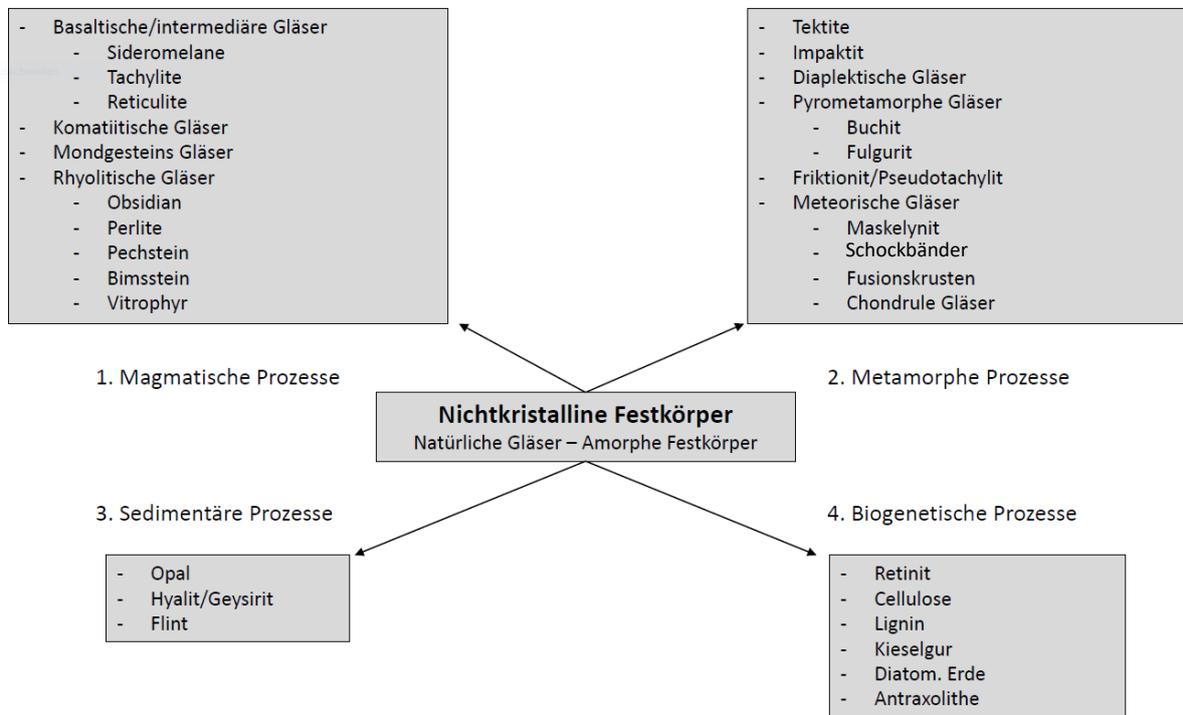


Abb. 16.: Nomenklatur von nichtkristallinen Festkörpern in der Natur (nach Heide & Heide 2011)

Ausbildung und Form der Minerale

Arten der Mineralausbildung (Abb. 17-31):

Drahtförmig, haarförmig, dendritisch, lockenförmig, faserig, nadelig, Bleche, Glaskopf, kugelig, sphärolithisch, Rosettenartig, botryoidal, dendritisch, Negativbildung, porös.

Glaskopf

Kugelige und oft radialstrahlige Aggregate mit glasartiger Oberfläche



Abb. 17: Glaskopf – Limonit. Harz. Bildbreite 5cm

Man unterscheidet, je nach Farbe:

- a) Brauner Glaskopf → Eisenhydroxid - Goethit
- b) Roter Glaskopf → Eisenoxyd - Hämatit
- c) Schwarzer Glaskopf → Manganoxyde und Hydroxyde
- d) Grüner Glaskopf → Phosphate - Rockbridgeit



Abb. 18: Schwarzer Glaskopf – Lithiophorit. Oelsnitz/Vogtland. Bildbreite 5 cm

Sphärolith – kugeliges Mineralaggregat, z.T. radialstrahlig oder kugelschalig aufgebaut



Abb. 19: Sphärolithisch – Thomsonit. Tschechien. Bildbreite 10 cm



Abb. 20: Kugelglimmer – Lepidolith. Minas Gerais/Brasilien. Bildbreite 10 cm

Körnige Aggregate: Einzelne Mineralkörner haben im Verband keine erkennbaren Kristallformen.

Faserige Aggregate: Minerale sind in ihrem Habitus langstengelig bis feinfaserig.



Abb. 21: Dünnstengelig bis faserig – Fasergips. Harz. Bildbreite 8 cm

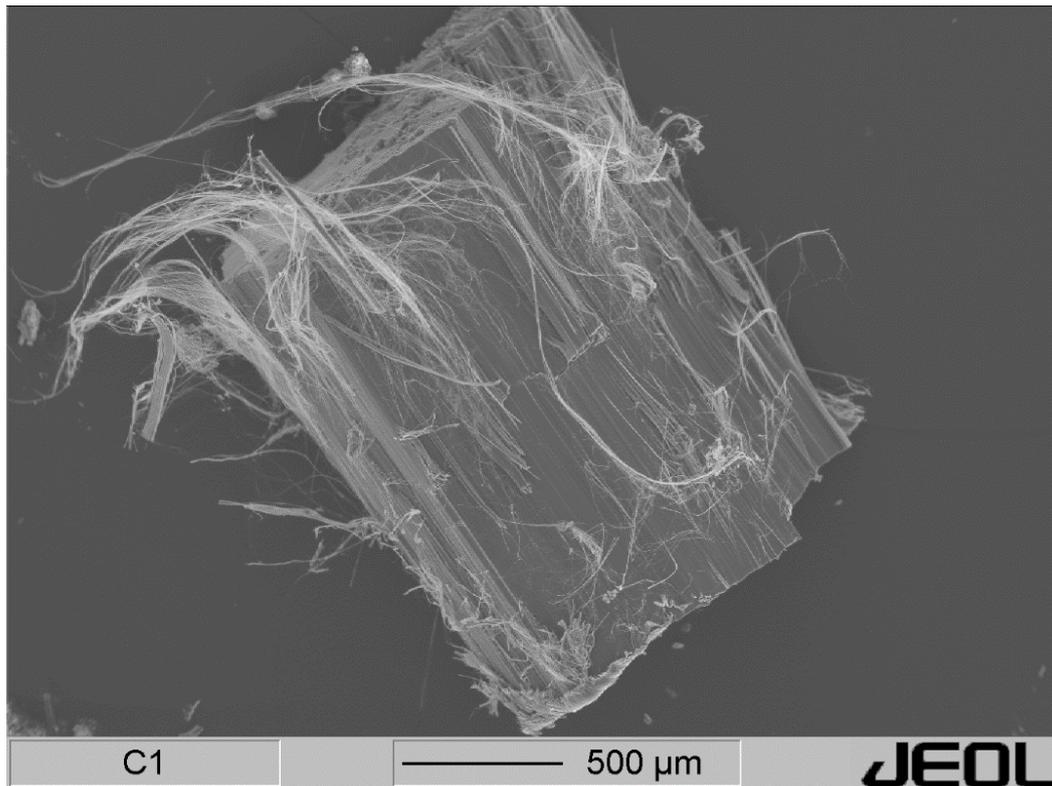


Abb. 22: Haarförmig – Chrysotil. Australien

Konkretionen: Kugelige bis rundliche rosettenartige Gebilde, die sich im sedimentären Bereich bilden, z. Bsp. Sandrosen



Abb. 23: Barytose. Rockenberg/Hessen. Bildbreite 6 cm

Dendritische Aggregate



Abb. 24: Dendritische Silberaggregate. Pöhla/Erzgebirge. Bildbreite 5 cm

Rosettenartige Mineralbildung



Abb. 25: Rosettenartige Kristalle von Natrolith in Basalt. Maroldsweisach/Unterfranken.
Bildbreite 6 cm



Abb. 26: Turmalinrosetten in Kalifeldspat. Paraiba/Brasilien. Bildbreite 3 cm

Fulgurit: Schmelzkonkretion aus aufgeschmolzenem Quarz, der Quarzkörner verkittet – entstanden durch Blitzeinschlag in Sand.



Abb. 27: Fulgurit (Blitzeinschlagröhren im Sand). Sahara. Bildbreite 3 cm

Botryoidal: Traubig, rundliche Ausbildung eines Minerals.



Abb. 28: Malachit. Kolwezi/Kongo. Bildbreite 30 cm

Blechartige Ausbildung: Tritt häufig bei Metallen auf, aber auch bei einigen anderen Mineralen.



Abb. 29: Blechartige Aggregate – gediegen Kupfer. Keweenaw Halbinsel/USA.
Bildbreite 10 cm

Effloreszenz: Ausblühung und korallenartige Verwachsung



Abb. 30: Effloreszenz von Mirabilit/Thenardit. Teutschenthal/Sachsen-Anhalt.
Bildbreite 20 cm

Porös-glasig

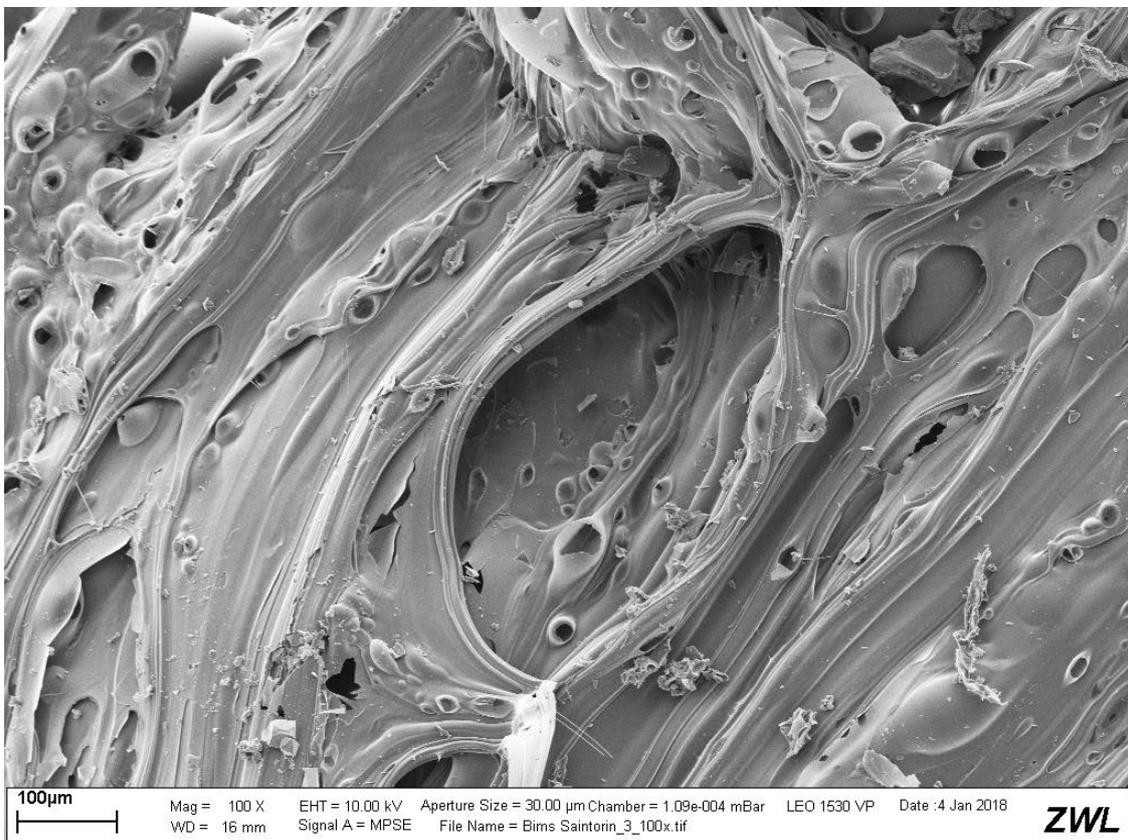


Abb. 31: Porös-glasige Ausbildung eines Bimssteins. Santorin/Griechenland

Mineralmodifikationen

Treten Minerale gleicher chemischer Zusammensetzung in verschiedenen kristallinen Gittern (Modifikationen) auf, so spricht man von polymorphen Modifikationen.

Beispiele:

Chemische Zusammensetzung	Modifikation	Modifikation	Modifikation
C	Graphit	Diamant	
CaCO₃	Calcit	Aragonit	Vaterit
TiO₂	Rutil	Anatas	Brookit
Al₂SiO₅	Andalusit	Sillimanit	Disthen
FeS₂	Pyrit	Markasit	
ZnS	Sphalerit	Wurzit	

4. Mineralverwachsung

Verwachsungen gleicher Minerale ohne eine dabei entstehende zusätzliche Symmetrie

Die Minerale sind durch ihre Bildung miteinander verwachsen. Oft kann man daraus auch eine Bildungsabfolge in der Reihenfolge der Ausscheidung ablesen.

Zwillinge

Orientierte Verwachsung von zwei oder mehreren Kristallindividuen mit definierter kristallographischer Orientierung (Abb. 32-39).

Es werden folgende Typen unterschieden:

a) Kontaktzwillinge

Zwillingsindividuen haben definierte Zwillings Ebenen zueinander

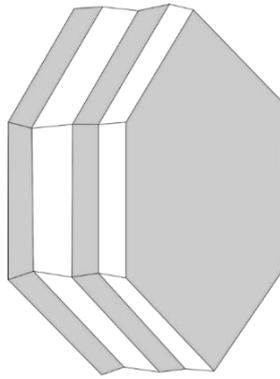


Abb. 32: Kontaktzwillinge von Plagioklas

b) Durchdringungszwillinge

Die Zwillingsindividuen durchdringen sich gegenseitig nach einem bestimmten Verwachsungsgesetz.

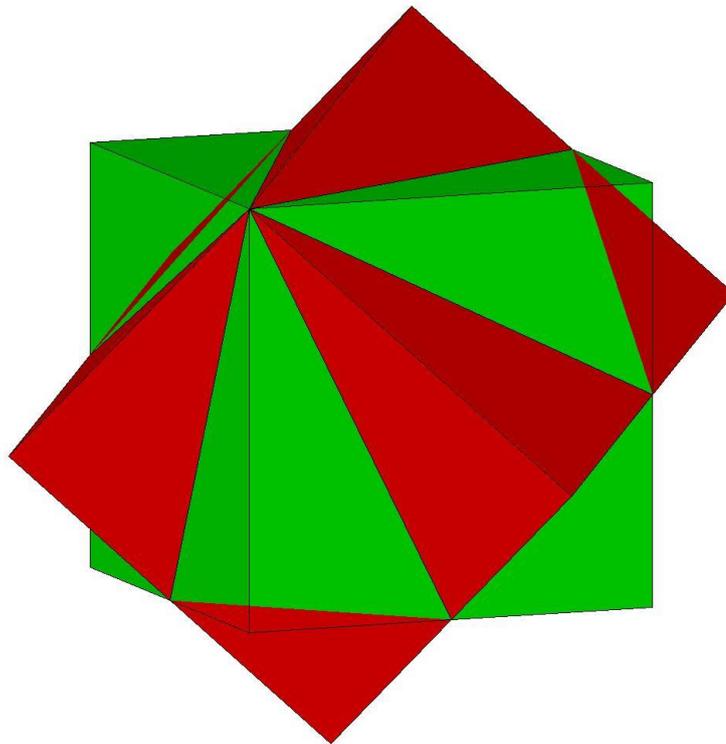


Abb. 33: Durchdringungszwilling von Fluorit (111)

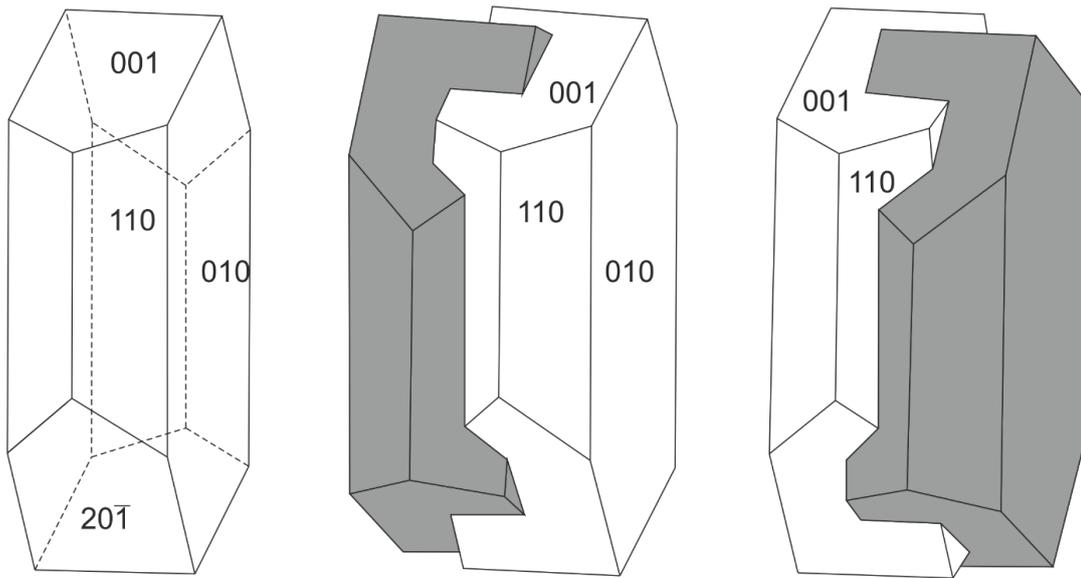
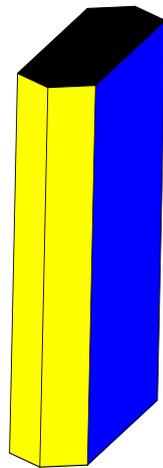


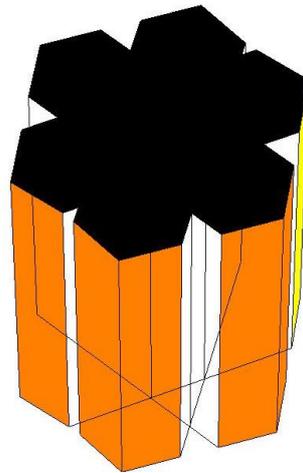
Abb. 34: Feldspatzwillinge nach dem **Karlsbader Gesetz**

c) **Ergänzungszwilling**

Kristalle mit niedrigerer Symmetrie ergänzen sich miteinander zu höherer Symmetrie.



Aragonit



Aragonitdrilling nach (110)

Abb. 35: Aragonit und Drilling von Aragonit

Bei Einwirkung von gerichtetem Druck auf Kristalle werden besondere Zwillingstypen gebildet:

1. **Wachstumswilling**
2. **Umwandlungswilling**
3. **Rekristallisationswilling**
4. **Bei der Sammelkristallisation von Kristalliten werden Zwillinge gebildet**
5. **Gleitzwilling**

Geometrisch können Zwilling auch kristallographisch wie folgt bezeichnet werden:

1. **Ebenenzwilling**
2. **Achsenzwilling**
3. **Inversionszwilling**

Durch die Zwillinge werden zusätzliche Symmetrien erzeugt, die sich am Einzelkristall nicht finden.

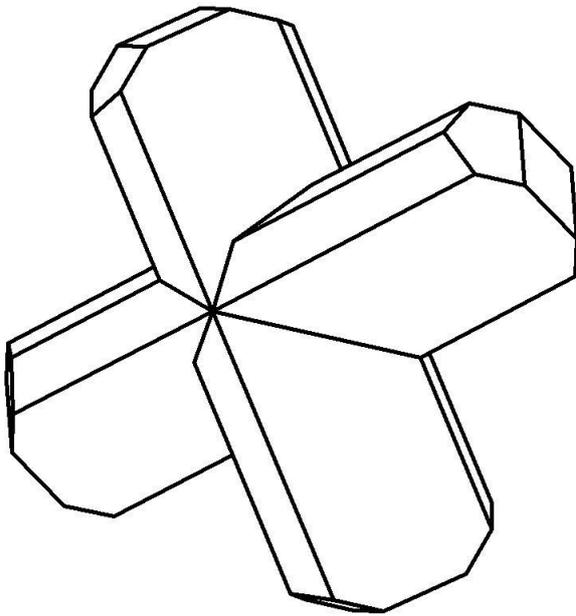
Bei der meroedrischen Verwachsung gehören Symmetrieelemente für das Gitter nicht zur Punktsymmetrie des Kristalls. Folgende Möglichkeiten werden beschrieben:

- a) **Meroedrie** - komplette und exakte Überlappung der Gitter der Zwillingskristalle
- b) **Pseudomeroedrie** - Komplette, aber ungefähre Überlappung; Mallard-Gesetz

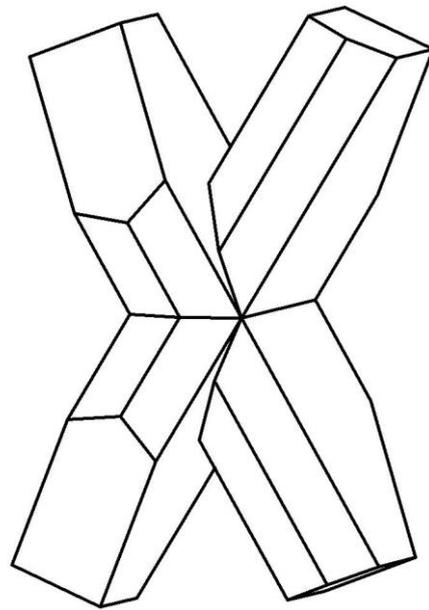
- c) **Reticulare Meroedrie** - Teilweise aber exakte Überlappung
- d) **Reticulare Pseudomeroedrie** - Teilweise und ungenügende Überlappung

Mineralbeispiele:

- a) Staurolithzwillinge



Staurolithzwilling nach (032)

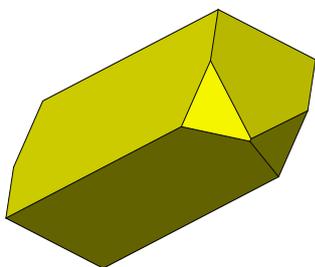


Staurolithzwilling nach (232)

Abb. 36: Staurolithzwillinge

- b) Feldspatzwillinge Orthoklas

A1) **Karlsbader Zwillinge** A2) **Bavenoer Zwillinge** A3) **Manebach Zwillinge**



Orthoklas- Einzelkristall

Orthoklas-Einzelkristall

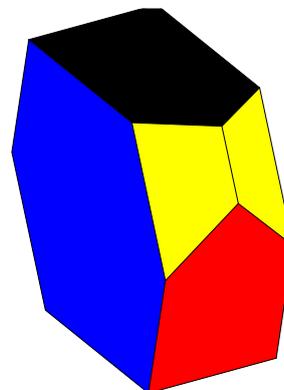


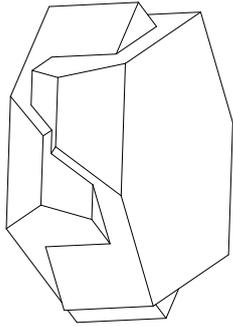
Prisma (110)

Pinakoid (010)

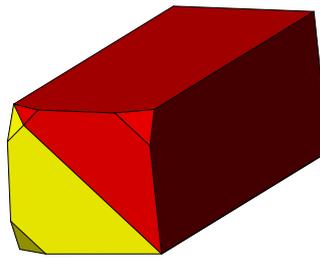
Basispinakoid (001)

Pinakoid (20-1)

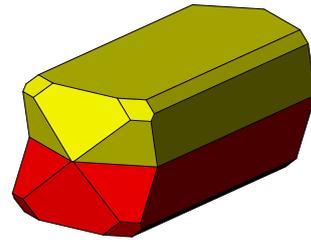




Orthoklas – Karlsbader
Zwilling

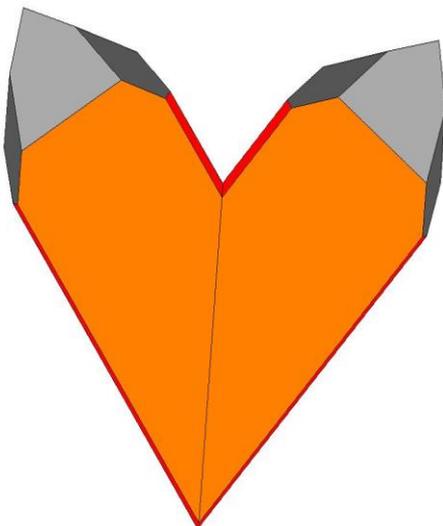


Orthoklas – Bavenoer-
Zwilling

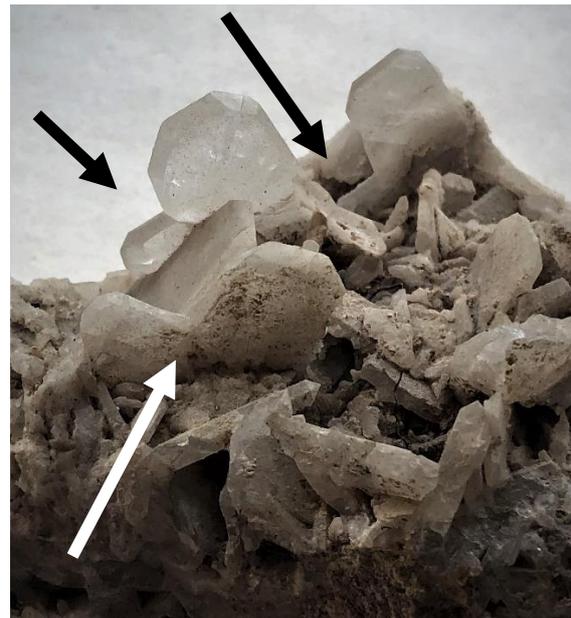


Orthoklas – Manebacher
Zwilling

Abb. 37: **Kalifeldspatzwillinge**



Japanerzwilling – Computerberechnung
(Shape)



Japanerzwilling. USA. Bildbreite 4 cm

Abb.38: **Japanerzwillinge** von Quarz, Kontaktzwilling nach (112)

Durch die Verwachsung von einem „Links“-quarz und einem „Rechts“-quarz kommt es zur Bildung eines Brasilianerzwillinges.

Enantiomorphie: Verhalten sich wie Spiegelbilder zueinander (z.B. Rechts- und Linksquarz).
Treten in Kristallklassen ohne Symmetriezentrum und Symmetrieebene auf.

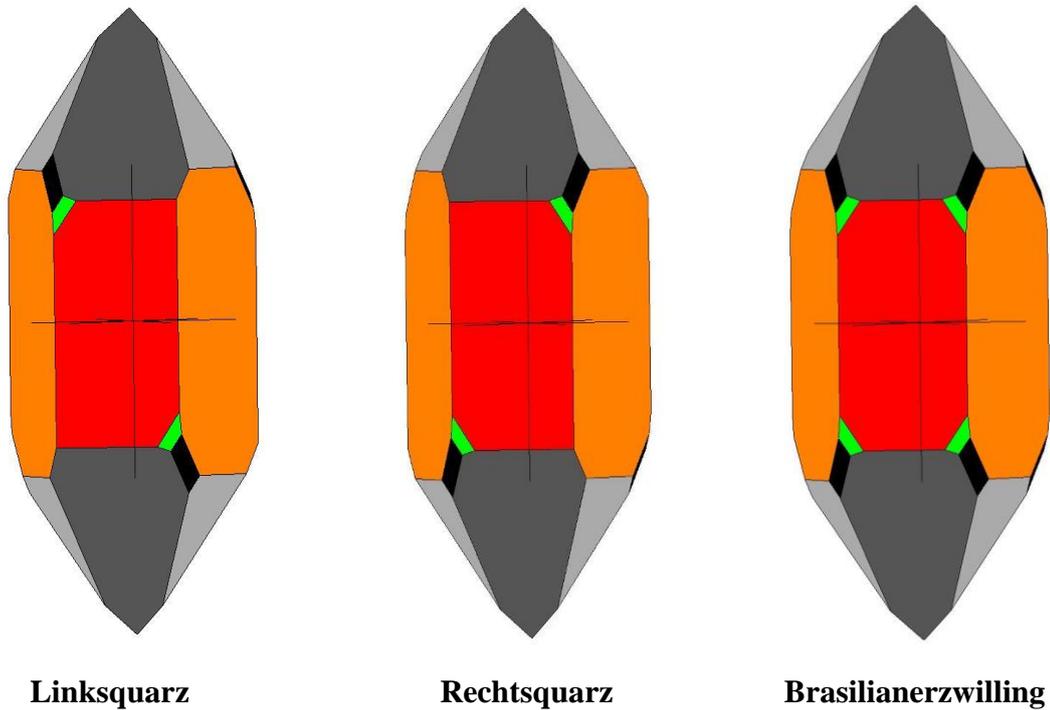


Abb. 39: Linksquarz, Rechtsquarz und Brasilianerzwilling von Quarz

Mineralparamorphosen

Es handelt sich um Umwandlungen, bei denen die äußere Gestalt des Minerals erhalten bleibt. Die Struktur der Phasen kann sich jedoch ändern.

Hochquarz (hexagonal) \Rightarrow Tiefquarz (trigonal) ($T_U = 573^\circ\text{C}$), **displazive** Phasenumwandlung

Verwachsungen verschiedener Minerale – Paragenese

Minerale werden nacheinander oder miteinander gebildet oder umgebildet, abhängig von den Bildungsbedingungen und sind dann miteinander verwachsen (Abb. 40-42). Es gibt verschiedene Minerale, die für entsprechende Bildungsbedingungen typisch sind. Es gibt aber auch Minerale, die in verschiedenen Bildungsbereichen auftreten können.



Sphalerit, Quarz, Siderit, Calcit. Příbram/
CSSR. Bildbreite 6 cm



Beryll mit Quarz. Rio Grande do Norte/
Brasilien. Bildbreite 15 cm



Schriftgranit – Verwachsung von Quarz und
Feldspat. Rio Grande do Norte/Brasilien.
Bildbreite 10 cm



Granat mit Muskowit –
Granatglimmerschiefer. Oberpfalz.
Bildbreite 10 cm



Hydrothermales Gangerzstück –
Chalkopyrit, Sphalerit, Galenit, Quarz,
Calcit. Bad Grund/Harz. Bildbreite 12 cm



Bauxit – Goethit, Hämatit, Kaolinit, Gibbsit.
Paragominas/Brasilien. Bildbreite 14 cm

Abb. 40: Verwachsungen verschiedener Minerale

Epitaxie

Gesetzmäßige Verwachsung von zwei verschiedenen Mineralphasen.

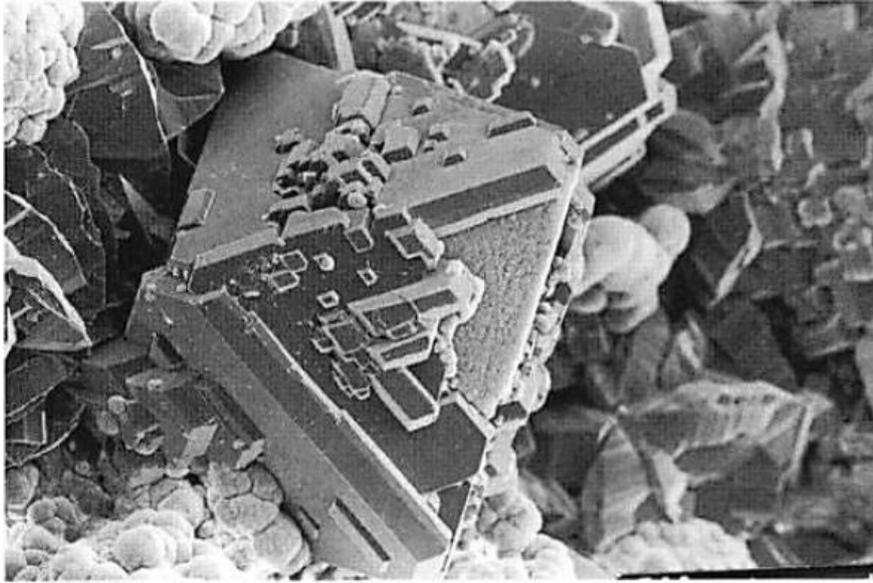


Abb. 41: Epitaxie von Phillipsit auf Giesmondin (aus Pöllmann & Keck 1995)

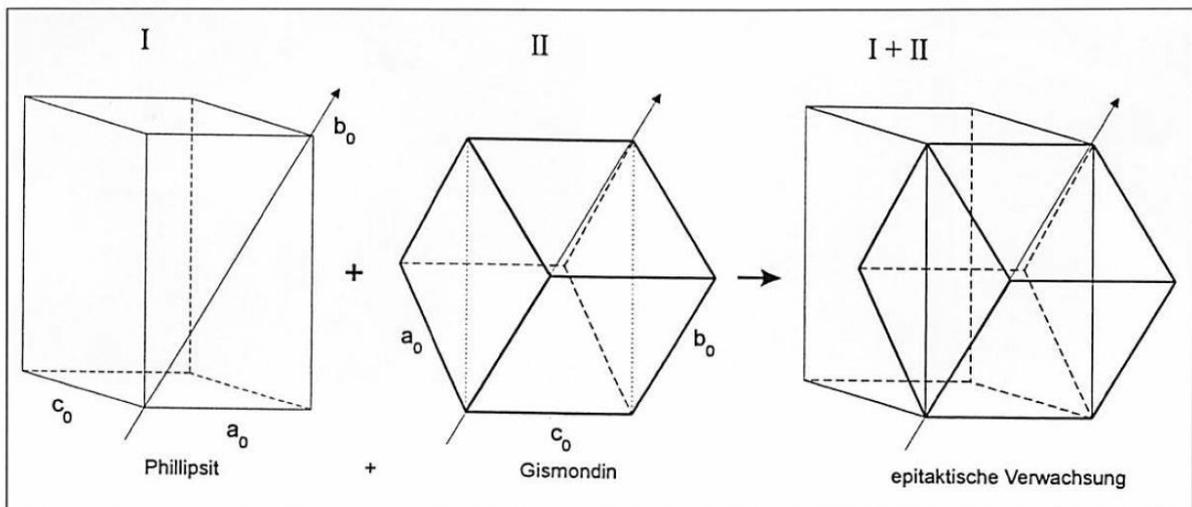


Abb. 42: Translation von I= Phillipsit, II = Giesmondin: I und II ineinander gestellte Elementarzellen von Giesmondin und Phillipsit bei epitaktischer Verwachsung (aus Pöllmann & Keck 1995)

a) Topotaxie

Die gesetzmäßige kristallographische Beziehung (strukturelle Orientierung) in Kristallen, die zwischen Reaktionsprodukt und Ausgangsprodukt besteht.

b) Distaxie

Verwachsung zweier Minerale, wobei der Kern nicht mit dem äußeren Mineral kristallographisch in Beziehung steht.

c) Endotaxie

Bildung orientierter Ausscheidungen in Kristallen, wenn deren Löslichkeitsbereich im Kristall überschritten wird.

Mineralparagenese

Sie gibt die typischen Begleitminerale an, die für die jeweiligen Bildungsbedingungen typisch sind. Dabei kann es sich auch um sogenannte Durchläuferminerale (Minerale, die in weiten Bereichen der Bildungsbedingungen vorkommen) handeln.

Mineralumwandlungen (Abb. 43-48)

a) Serpentinisierung

Umwandlung von Olivin in Minerale der Serpentinegruppe



Der Eisenanteil im Olivin wird oft als Eisenhydroxid mit abgeschieden und führt dann zu einer rötlich-braunen Verfärbung. **Iddingsit**: Umbildung von Olivin mit Oxydation von Eisen (Goethit, Serpentin).

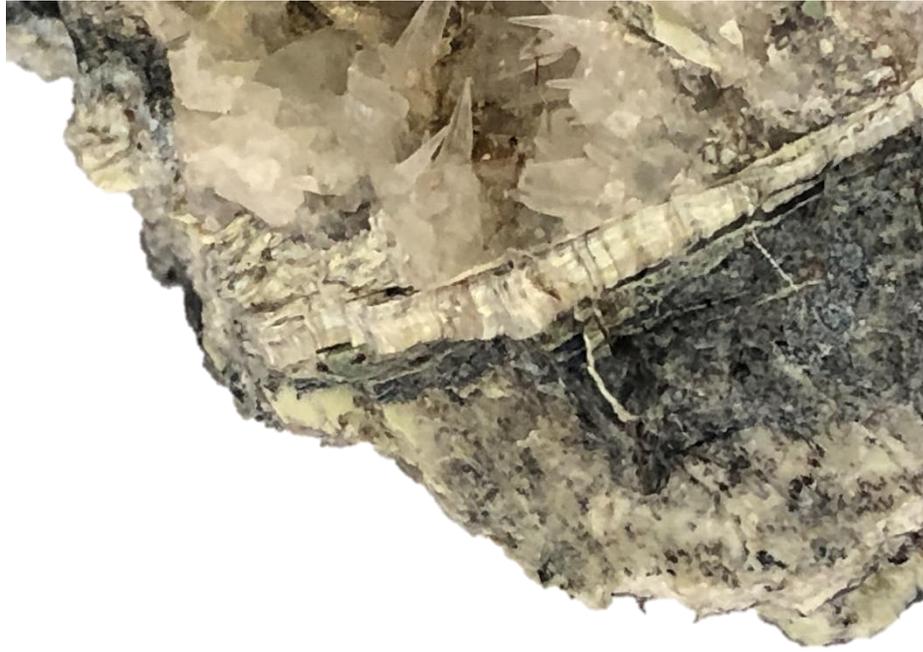


Abb. 43: Serpentin mit Chrysotil und Calcit xx. Bildbreite 5 cm



Abb. 44: Iddingsitisation von Olivin. Teichelberg/Oberfranken. Bildbreite 2 m

b) Saussuritisierung

Hydrothermale oder thermometamorphe Mineralumbildung von Plagioklas nach „Saussurit“ (Gemenge von grünen Mineralen wie Epidot und Zoisit, aber auch Glimmer und weitere Minerale)

Bei Plagioklasumwandlung wird dabei zum Teil nur die Anorthitkomponente umgewandelt, während die Albitkomponente stabil bleibt.

c) Kelyphit

Umbildung von Granat in Amphibole/Pyroxene durch thermische Energie



Abb. 45: Amphibolumrandung von Granat – retrograde Metamorphose. Gore Mountain/USA. Bildbreite 20 cm

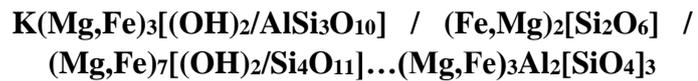
d) Epidotisierung

Umwandlung von Pyroxen oder Plagioklas in Epidot, dabei wird der Plagioklas Albitreich, da nur die Anorthitkomponente reagiert.

Epidot: $\text{Ca}_2(\text{Fe}^{3+}\text{Al})\text{Al}_2[\text{O}|\text{OH}|\text{SiO}_4|\text{Si}_2\text{O}_7]$

e) Chloritisierung

Hydrothermale Mineralumwandlung zu Mineralen der Chloritgruppe, z.B. aus Biotit, Pyroxen, Amphibol oder Granat. Typisch für die Grünschieferfazies, oft auch retrograde Bildung aus höher metamorphen Mineralen



**Biotit
Amphibol**

**Pyroxen
Granat**



Chloritisierung



**(Mg,Al,Fe)₆[(OH)₈/Si₄O₁₀]
Chlorit**

f) Serizitisation

Umwandlung von Feldspäten und anderen Mineralen in feinkörnigen Glimmer



g) Propylitisation

Hydrothermale Umwandlung des Nebengesteins in Minerale wie Chlorit, Epidot, Albit, Calcit, Tonminerale. Hydrothermaler Alterationsprozess bei porphyry copper ores verknüpft mit der Neubildung von Mineralen

h) Kaolinisierung

Umwandlung von Feldspäten in Tonminerale wie Kaolinit





Abb. 46: Kaolinbildung aus Feldspat in einem Pegmatit.
Minas Gerais/Brasilien. Bildbreite 30 m

i) Silifizierung

Zufuhr von SiO_2 aus hydrothermalen Vorgängen oder durch Mineralumbildung.
Nebengestein wird verkieselt.

j) Topasierung

Umbildung von Feldspat im pegmatitisch-pneumatolytischem Bereich zu Topas.



Dabei können durch pneumatolytische Vorgänge auch Pseudomorphosen von Topas nach Feldspat gebildet werden (Pykmit/Erzgebirge).



Abb. 47: Pykmit/ Topas-Pseudomorphose von Topas nach Feldspat.
Altenberg, Erzgebirge. Bildbreite 10 cm

k) Turmalinisierung

Neubildung von Turmalin im Bildungsbereich der Pneumatolyse – Umbildung von Biotit bei Zufuhr borhaltiger Lösungen. Verwachsung von Turmalin mit Feldspat oder Quarz in Pegmatiten.



Abb. 48: Schriftgranitische Verwachsung von Turmalin und Quarz. Paraiba/Brasilien.
Bildbreite 10 cm

Mineralperimorphosen (Abb. 49-52)

Umwachsung eines Kristalls durch ein anderes Mineral.



Abb. 49: Perimorphose von Quarz nach Fluorit. Bildbreite 3 cm

Lösungs- und Ätzfiguren

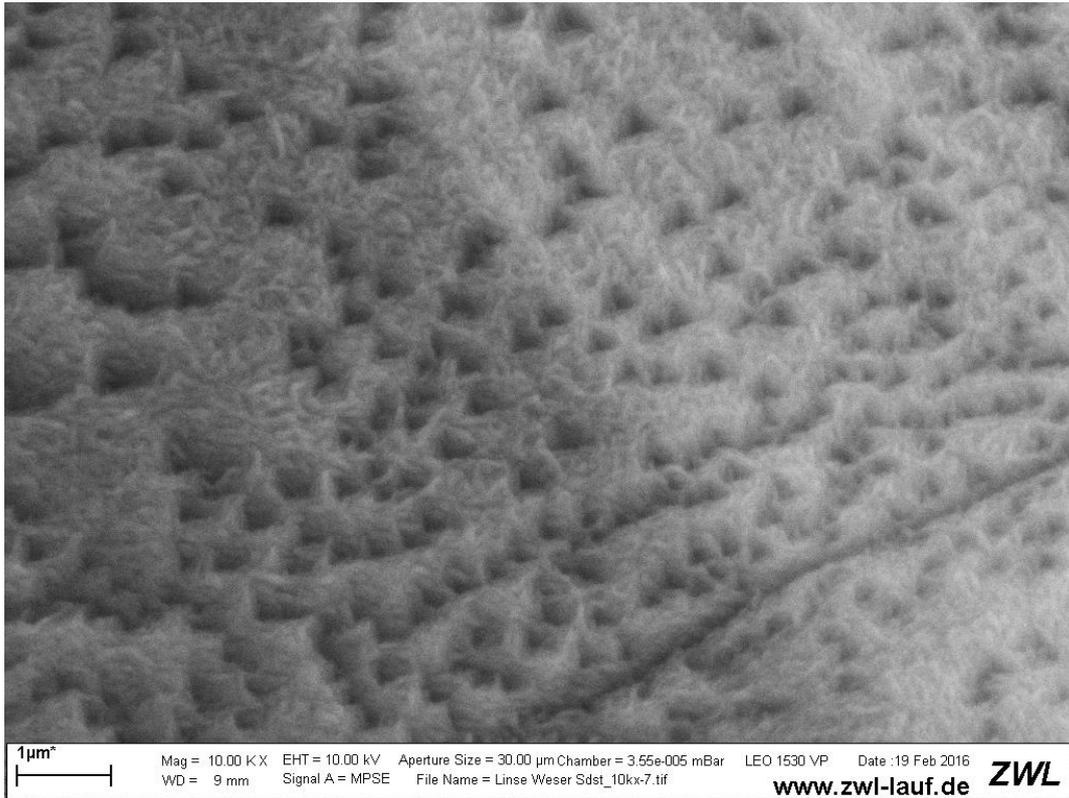


Abb. 50: Ätzfiguren auf Quarzoberfläche (Wesersandstein)

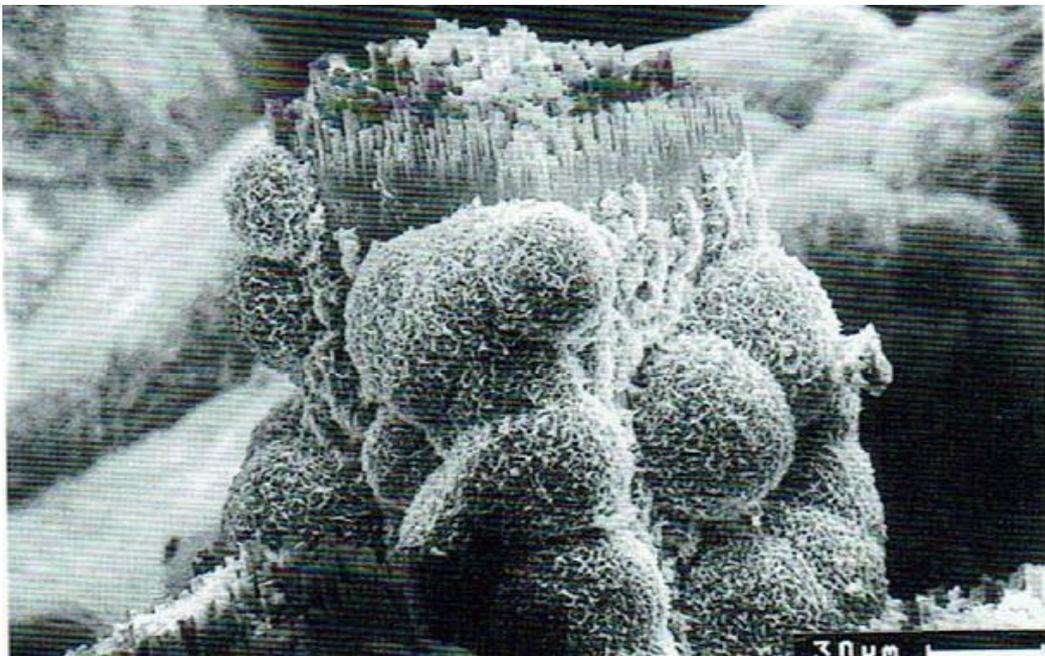


Abb. 51: Perimorphose von Smectit nach Natrolith (aus Pöllmann & Keck 1995)

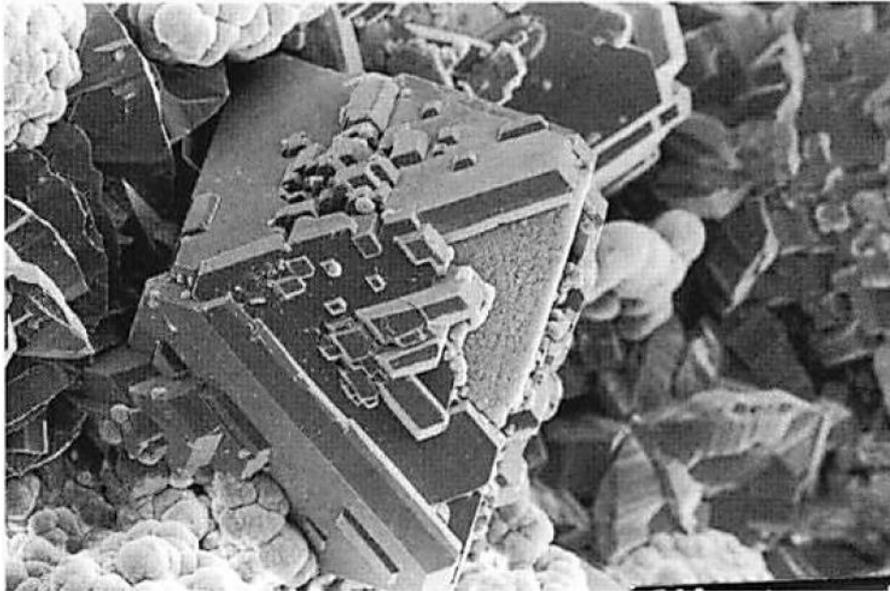


Abb. 52: Perimorphose von Phillipsit nach pseudomorphisiertem Gips (aus Pöllmann & Keck 1995)

Mineralpseudomorphosen (Abb. 53-62)

Umwandlung eines Minerals unter Erhaltung der äußeren Form des ursprünglichen Minerals

a) Verdrängungspseudomorphosen

Ein Mineral wird unter Beibehaltung seiner äußeren Form durch ein anderes Mineral ersetzt.

Beispiele:

Pseudomorphose von Quarz nach Aragonit

Pseudomorphose von Steatit nach Quarz

Pseudomorphose von Steatit nach Dolomit

Pseudomorphose von Steatit nach Tremolit

Pseudomorphose von Malachit nach Cuprit

Pseudomorphose von Quarz nach Halit

Pseudomorphose von Klinochlor nach Granat

Pseudomorphose von Calcit nach Glauberit

Hohlraum-Pseudomorphose von Saponit nach Phillipsit

Pseudomorphose von Saponit nach Gips



Abb. 53: Pseudomorphose von Quarz nach Aragonit. Agrigento/Sizilien. Bildbreite 50 cm



Abb. 54: Mineralpseudomorphose von Speckstein nach Quarz. Göpfersgrün/Fichtelgebirge. Bildbreite 3 cm



Abb. 55: Pseudomorphose von Steatit nach Dolomit. Göpfersgrün/Fichtelgebirge.

Bildbreite 4 cm



Abb. 56: Pseudomorphose von Steatit nach Tremolit. Göpfersgrün/Fichtelgebirge.

Bildbreite 3 cm



Abb. 56: Pseudomorphose von Klinochlor nach Granat. Zöblitz/Sachsen. Bildbreite 10 cm

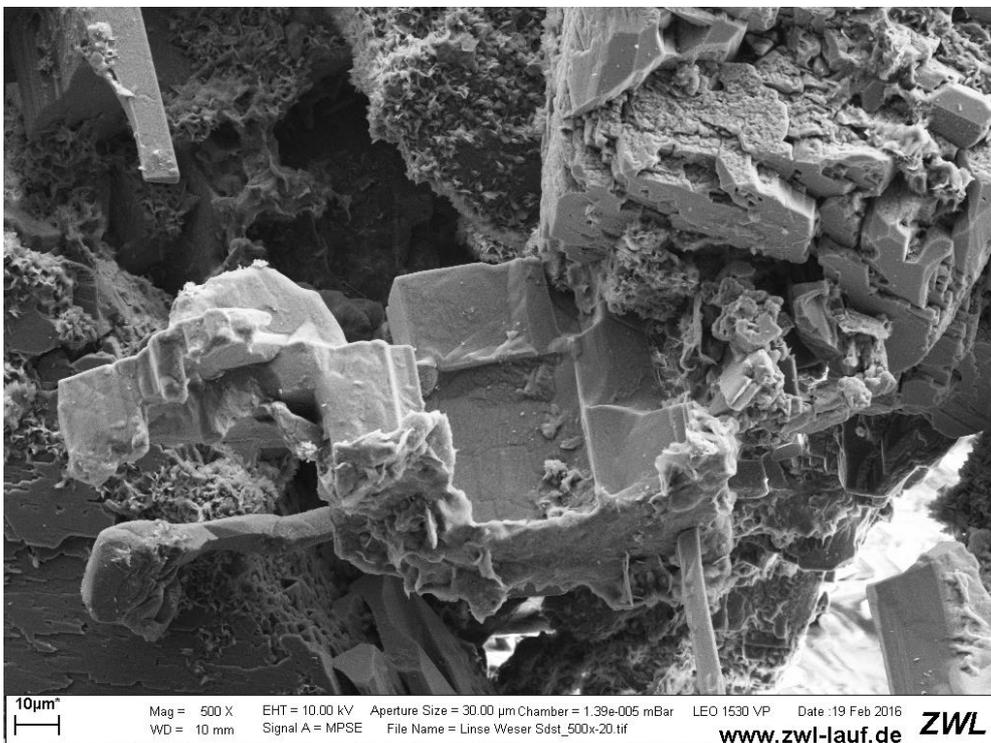


Abb. 58: Pseudomorphose von Quarz nach Halit (Wesersandstein)



Abb. 59: Pseudomorphose von Calcit nach Glauberit. Camp Verde/Yavapai County/Arizona/USA. Bildbreite 3 cm



Abb. 60: Hohlraum-Pseudomorphose von Saponit nach Phillipsit, eine Ecke des pseudomorphen Kristalls ist abgebrochen (aus Pöllmann & Keck 1995)



Abb. 61: Paramorphose/Pseudomorphose von Saponit nach Gismondin (aus Pöllmann & Keck 1995), Bildbreite 2 cm

b) Entmischungspseudomorphosen

Perthite entstehen durch die Entmischung eines Mischkristalls bei sinkender Temperatur.



Abb. 62: Perthit (Amazonit/Albit). Minas Gerais/Brasilien. Bildbreite 12 cm

Zonarbau (Abb. 63-64)

Unterschiedlich zusammengesetzte Bereich in einem Kristall bedingt durch die Ausscheidungsfolge.

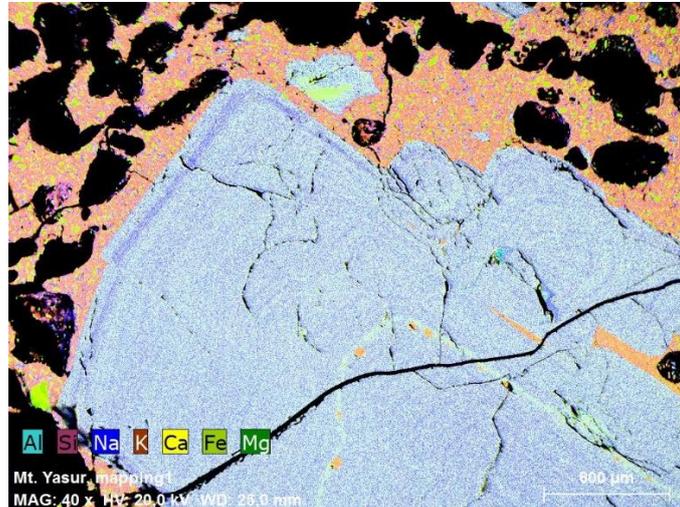


Abb. 63: REM-Aufnahme der Elementverteilung eines Feldspats mit Zonarbau aus einem Vulkanit. Mt. Yasur /Vanuato.



Abb. 64: Zonarbau Quarz/Amethyst. Brasilien. Bildbreite 30 cm

5. Bestimmungsmerkmale

Mineralhärte

Bei Härte wird der Widerstand eines Minerals gegenüber einer mechanischen Einwirkung gemessen. Eine einfache Methode ist die Mohs'sche Härteskala, bei der das Ritzen des härteren Minerals in das weichere die Härte begründet (Abb. 65).

Mohs'sche Härteskala

Talk, Gips, Calcit, Fluorit, Apatit, Feldspat, Topas, Korund, Diamant

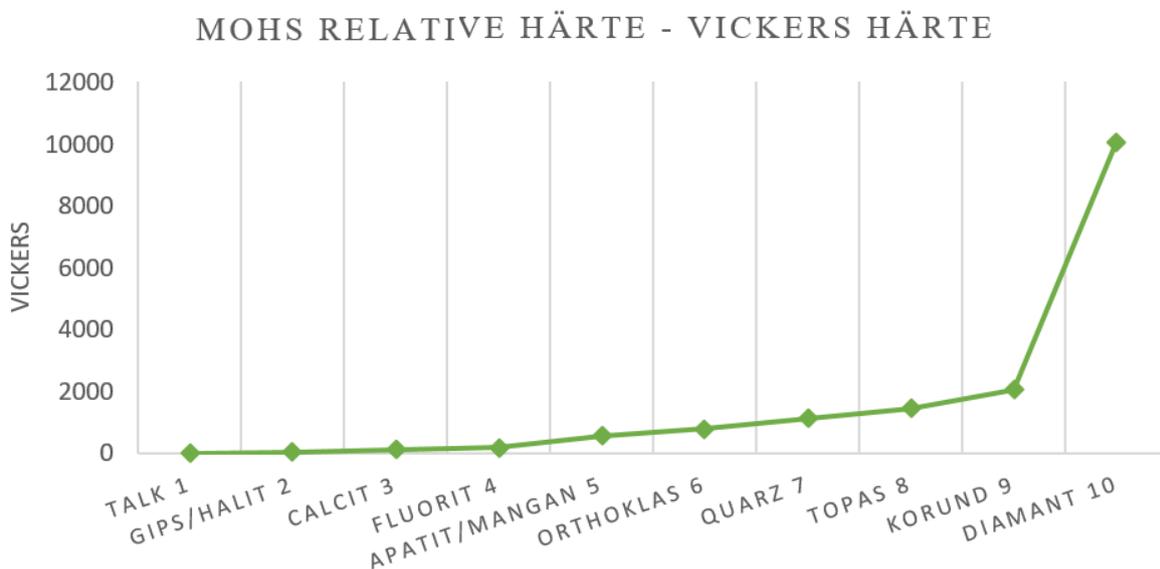


Abb. 65: Vergleich der Mohs'schen Härteskala mit der Vickershärte

Es gibt weitere unterschiedliche Härte-Bestimmungsmethoden an Festkörpern:

Eindruckhärte: (Vickers, Brinell, Rockwell, Knoop)

Schleifhärte (Rosival)

Korrosionshärte (Eppler)

Rückprallhärte (Shore)

Besonders zu berücksichtigen ist die Härteanisotropie, d.h. die Abhängigkeit der Härte von der Ritzrichtung.

Mineraldichte

$$D = m/V$$

m = Masse, V=Volumen

Den Angaben für das spezifische Gewicht (Nummer in der Klammer) liegt jeweils eine Untersuchung des reinen Minerals zu Grunde. Minerale sind jedoch meist mit Nebengemengteilen verunreinigt. Dies gilt besonders für 10. bis 13. Und 15. Daher kommt es zu Abweichungen.

1. Carnallit (1,6)



2. Opal (1,9-2,2)



3. Mikroklin (2,5)



4. Calcit (2,72)



5. Fluorit (3,18)



6. Auripigment (3,49)



7. Sphalerit (3,9-4,1)



8. Baryt (4,5)



9. Pyrit (5,02)



10. Arsen (5,7)



11. Arsenkies (6,07)



12. Skutterudit (6,5)



13. Wolframit (7,0-7,5)



14. Bleiglanz (7,4-7,6)



5. Zinnober (8,10)



Abb. 66: Minerale und ihr spezifisches Gewicht

Beispiel für Mineraldichten

Eis 0.9 g/cm^3 , Quarz 2.65 g/cm^3 , Baryt 4.48 g/cm^3 , Hämatit 5.3 g/cm^3 , Galenit 7.3 g/cm^3 ,
Gold 19.3 g/cm^3 , Platin 21.5 g/cm^3

Mineralbruch

Richtungslose Zerstörung des Mineralgitters wegen mechanischer Belastung.

1. Muscheliger Bruch (Bergkristall)



2. Plattiger (ebener) Bruch (Kalkstein)



3. Unebener Bruch (Pyrit)



4. Hakiger Bruch (Kupfer)



5. Splitteriger Bruch (Aktinolith)



6. Erdiger Bruch (Bauxit)



Abb. 67: Minerale und ihr Bruchverhalten

Mineralspaltbarkeit

Mechanische Zerstörung des Gitters entlang von kristallographisch vorgegebenen Richtungen und Ebenen.

Kubisches System

1. Galenit

Spaltbarkeit nach (100)



2. Halit

Spaltbarkeit nach (100)



3. Fluorit

Spaltbarkeit nach (111)



Tetragonales System

4. Rutil

Spaltbarkeit nach (110)



Trigonales System

5. Calcit

Spaltbarkeit nach dem
Rhomboeder (10 $\bar{1}1$)



6. Dolomit

Spaltbarkeit nach
dem Rhomboeder (10 $\bar{1}1$)



Orthorhombisches System

7. Baryt

Spaltbarkeit nach (001) und (210)



9. Muskovit

Spaltbarkeit nach (001)



11. Hornblende

Spaltbarkeit nach (110)



Monoklines System

Biotit

Spaltbarkeit nach (001)



Triklines System

10. Gips

Spaltbarkeit nach (010)



12. Mikroklin

Spaltbarkeit nach
(001) und (010)



Abb. 68: Minerale und Spaltbarkeit (Fa. Krantz)

Mineralfarbe (Abb. 68-76)

a) **Idiochromatische Minerale**

Farblose Minerale Halit, Sylvin, Fluorit, Calcit



Abb. 69: Halit. Sammlung Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. Bildbreite 6cm

Malachit (grün)



Abb. 70: Malachit (grün). Kongo. Bildbreite 30 cm

Azurit - blau



Abb. 71: Azurit. Kerrouchen/Marokko Bildbreite 10 cm

Krokoit - (rot)



Abb. 72: Krokoit. Dundas/Tasmanien/ Australien. Bildbreite 30 cm

Schwefel - (gelb)



Abb. 73: Schwefel (gelb). Vulcano/Italien. Bildbreite 10 cm



Abb. 74: Auripigment. China. Bildbreite 10 cm

b) Allochromatische Minerale

Durch geringe Fremd Beimengung gefärbte Minerale

Varietäten eines Minerals

Beryll (rot) Morganit

Beryll (blau) Aquamarin

Beryll (gelbgrün) Gemeiner Beryll

Beryll (grün) Smaragd



Morganit.
Ambatofinan-
drahana/
Madagaskar.
Bildbreite 3cm



Beryll. Rio
Grande do
Norte/Brasilien.
Bildbreite 15 cm



Aquamarin.
Paraiba/Brasilien.
Bildbreite 12 cm



Smaragd.
Bahia/Brasilien.
Bildbreite 20 cm

Abb. 75: Verschiedene Farben des Minerals Beryll

Quarz (SiO_2), Prasem grün, Amethyst violett, Milchquarz weiß, Bergkristall (farblos), Morion schwarz, Rauchquarz rauchfarben, Citrin gelb, Rosenquarz rosa



Quarzkristalle auf Albit – Pegmatit. Minas
Gerais/Brasilien. Bildbreite 1 m



Rauchquarz/Morion. Minas
Gerais/Brasilien. Bildbreite 30 cm

Abb. 76: Varietäten von Quarz



Große Druse mit Citrin, in diesem Fall gebrannter Amethyst. Rio Grande do Sul/Brasilien. Höhe 3 m



Amethyst. Rio Grande do Sul/Brasilien. Höhe 1.5 m



Prasem. Serifos/Kykladen. Breite 3 cm



Milchquarz. Paraiba/Brasilien. Breite 10 cm

Abb.77 Fortsetzung: Varietäten von Quarz

Viele Minerale können unterschiedliche Farben aufweisen – deshalb ist die Farbe kein absoluter Bestimmungshinweis. Zum Beispiel weist Flussspat, eigentlich farblos, ganz verschiedene Farben von gelb, weiß, blau, grün, rosa bis schwarz auf.

Mineralfarben von Fluorit (allochromatisch)



Fluorit. Madagaskar. Bildbreite
25 cm



Fluorit. Strassberg/Harz.
Bildbreite 10 cm



Fluorit. Blanchard
Mine/USA. Bildbreite
5 cm



Fluorit. Fundort unbekannt.
Bildbreite 6 cm



Fluorit/Baryt. Hunan/China.
Bildbreite 5 cm

Abb. 78: Unterschiedlich gefärbte Fluorite

Anisotropie der Farbe: **Pleochroismus, Dichroismus**

Pleochroismus

Mehrfarbigkeit der Minerale, die auf Grund der Absorption des Lichts in der Kristallstruktur unterschiedliche Farben aufweisen.

Dichroismus/Trichroismus:

Erscheinen bei Betrachtung aus unterschiedlichem Blickwinkel durch Lichtabsorption unterschiedlich.

Anlauffarben: Interferenz durch oberflächliche Oxydation

Mineral – Strichfarbe

Die Minerale werden als feine Pulver oder direkt auf eine unglasierte Porzellantafel gestrichen.

Nur eigengefärbte Minerale erzeugen einen farbigen Strich auf der Tafel.

1. Pyrolusit (schwarz)



2. Galenit (grau)



3. Chromit (braun)



4. Hämatit (rotbraun)



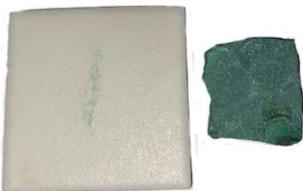
5. Cinnabarit (rot)



6. Schwefel (gelb)



7. Malachit (grün)



8. Azurit (blau)



9. Gips (farblos)



Abb. 79: Strichtafel (Porzellan) mit Pyrolusit, Galenit, Chromit, Hämatit, Cinnabarit, Schwefel, Malachit, Azurit, Gips

Beispiele für Strichfarben

Mineral	Strichfarbe	Mineral	Strichfarbe
Hämatit	rot	Malachit	grün
Pyrit	schwarz	Azurit	blau
Magnetit	schwarz	Apatit	farblos/weiß
Chromit	braun	Auripigment	gelb

Mineralglanz

a) Metallglanz

Metalle – Gold, Silber, Kupfer, Sulfidminerale --- Galenit, Antimonit, Chalkopyrit

b) Diamantglanz

Diamant, Sphalerit

c) Fettglanz

Schwefel,

d) Glasglanz

Quarz, Fluorit

e) Seidenglanz

Gips als Fasergips, Chrysotil, Ulexit

Glanzarten

1. Metallischer Glanz (Galenit)



2. Diamantglanz (Sphalerit)



3. Glasglanz (Quartz)



4. Harzglanz (Bernstein)



5. Fettglanz (Nephelin)



6. Perlmutterglanz (Talk)



7. Seidiger Glanz (Fasergips)



Grad des Glanzes

8. Hochglanz (Magnetit)



9. Glänzend (Calcit)



10. Glitzernd (Chalkopyrit)



11. Schimmernd (Chert / Radiolarit)



12. Matt (Kreide)



Abb.80: Minerale: optische Eigenschaften - Glanz

Mineral - Durchsichtigkeit -- Transparenz

- a) Transparent - durchsichtig
- b) Translucent - durchscheinend
- c) Trüb - undurchsichtig
- d) opak

Bergkristall, Diamant, Fluorit, Sphalerit, Galenit, Hämatit

Doppelbrechung

Mineraleigenschaft, die bei optisch anisotropen Mineralen Licht in 2 senkrecht zueinander polarisierte Lichtstrahlen trennt. Doppelbrechung tritt bei optisch isotropen Mineralen dann auf, wenn Spannungen, elektrische oder magnetische Felder das Material beeinflussen.



Abb. 81: Calcitkristall – Doppelbrechung der Schrift (Aufspaltung des Lichtstrahls in einen ordentlichen und außerordentlichen Strahl)

Mineralmagnetismus

a) **Ferromagnetismus**

Zeigen permanenten Magnetismus unterhalb der Curie-Temperatur

Minerale: Magnetit, Pyrrhotin

b) **Antiferromagnetisch:** Ausrichtung benachbarter magnetischer Momente entgegengesetzt, deshalb kein magnetisches Moment.

Minerale: Hämatit: Fe_2O_3 , Wüstit: FeO

c) **Ferrimagnetismus** magnetische Momente der Atome sind jeweils antiparallel ausgerichtet, jedoch heben diese sich nicht vollständig auf.

Minerale: Trevorit: NiFe_2O_4 , Magnesioferrit: MgFe_2O_4

d) **Diamagnetismus**

Minerale werden von einem äußeren Magnetfeld abgestoßen

Minerale: Calcit, Galenit, Fluorit

e) **Paramagnetismus**

Ohne äußeres Magnetfeld zeigen die Minerale keine magnetische Ordnung, werden in ein Magnetfeld hineingezogen.

Minerale: Olivin, Siderit

Mineral – Radioaktivität

a) Gitterzerstörung durch **Metamiktisierung**

b) Bildung von **pleochroitischen Höfen**

Mineral – Tenazität Elastizität, Sprödigkeit, Plastizität

Spröde – beim Ritzen entsteht Staub – Pyrit, Orthoklas

Sektil, schneidbar - Talk, Realgar

Duktil, geschmeidig - Gold, Silber

Elastisch biegsam – Glimmer

Unelastisch biegsam – Klinochlor

1. Schwefel

Spröde, bricht bei Erwärmung



2. Sphalerit

spröde



3. Vermiculit

plastische Deformation



4. Gips (Marienglas)

Plastische Deformation



5. Chlorit

plastische Deformation



6. Muskovit

elastische Deformation



7. Biotit

Elastische Deformation



Abb. 82: Minerale und ihre Tenazität

Mineral – elektrische Leitfähigkeit

- a) elektrische Leitfähigkeit
- b) Halbleiter
- c) Nichtleiter
- d) Piezoelektrizität: elektrische Aufladung in definierten kristallographischen Richtungen durch Druck.

Mineral: Quarz

- e) Pyroelektrizität: elektrische Aufladung definierter Kristallrichtungen durch Temperatur.

Minerale: Turmalin, Rohrzucker

Mineral - thermische Eigenschaften

- a) Wärmeleitung
- b) thermische Ausdehnung
- c) Schmelzen
- d) Phasenumwandlungen
- e) Thermische Zersetzung

Mineral – Lumineszenz (Abb. 81-84)

Emission von Licht nach vorheriger Anregung – z. Bsp. UV-Anregung

- a) Fluoreszenz: Energieabgabe sofort, Minerale leuchten nur bei direkter UV-Bestrahlung
- b) Phosphoreszenz: verzögerte Energieabgabe, Minerale leuchten für kurze Zeit noch nach



Abb. 83: Calcit, Willemit und Franklinit im Normallicht. Franklin/New Jersey/USA.
Bildbreite 15 cm

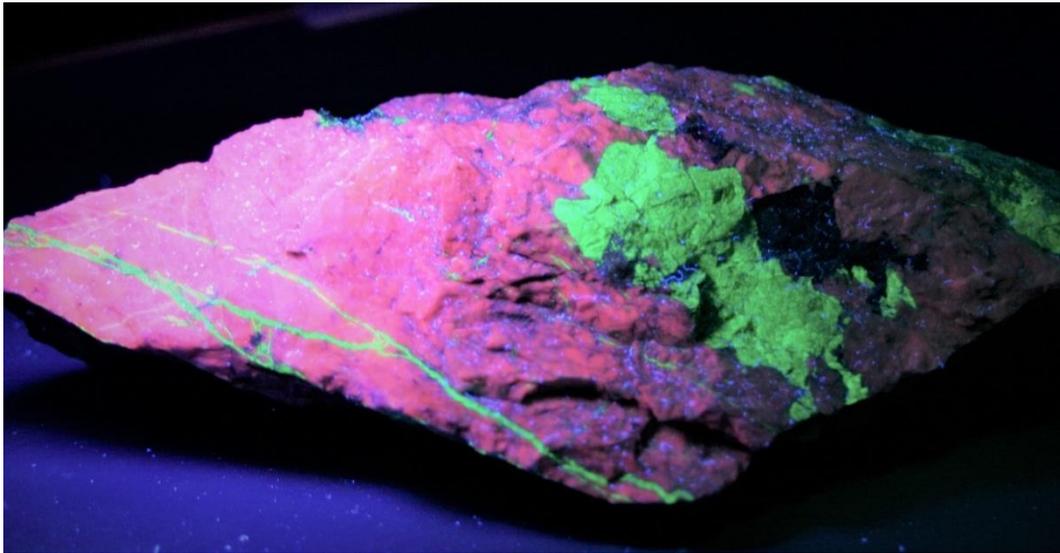


Abb. 84: Calcit (rot), Willemitt (grün), Franklinit (schwarz) im kurzwellig ultraviolettem Licht. Franklin/New Jersey/USA. Bildbreite 15 cm



Abb. 85: Calcit, Willemitt und Franklinit im Normallicht. Franklin/New Jersey/USA. Bildbreite 20 cm

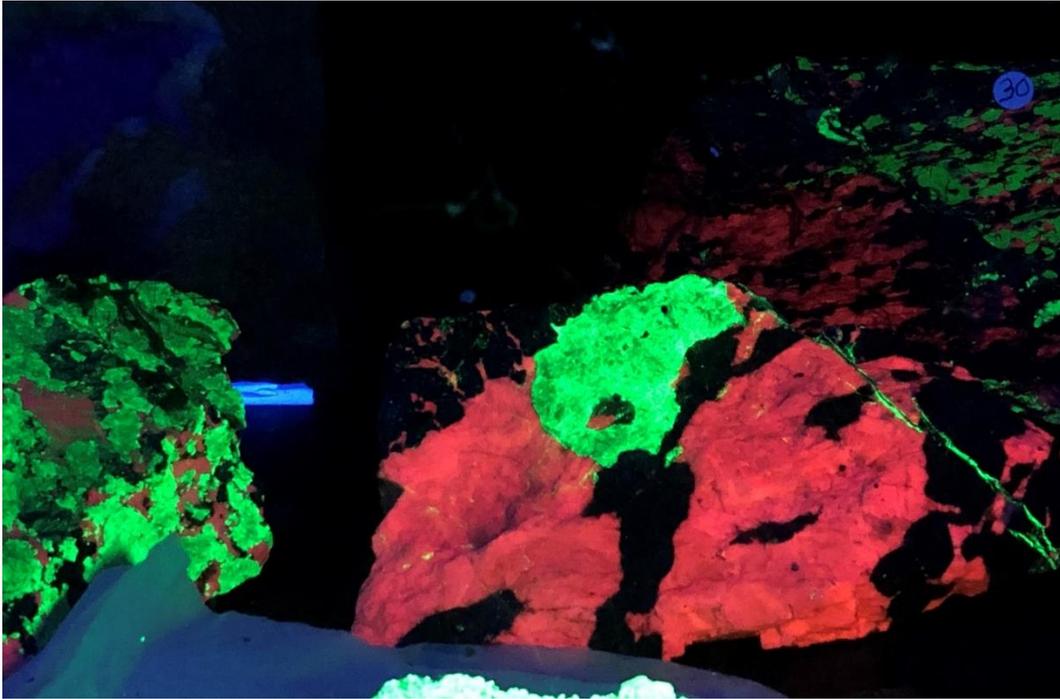


Abb. 86: Calcit (rot), Willemit (grün), Franklinit (schwarz) im kurzwellig ultraviolettem Licht. Franklin/New Jersey/USA. Bildbreite 20 cm

6. Wichtige Minerale und ihre chemische Zusammensetzung

Element/Formel	Name	Formel
Ag	gediegenes Silber	Ag
Ag-S	Akanthit	Ag ₂ S
	Argentit	Ag ₂ S
Ag-As-S	Proustit	Ag ₃ [AsS ₃]
Ag-Sb-S	Pyrrargyrit	Ag ₃ [SbS ₃]
Al		
Al-O	Korund	Al ₂ O ₃
Al-O-H	Gibbsit	γ-Al(OH) ₃
	Diaspor	α-AlO(OH)
	Böhmit	γ-AlO(OH)
Al-Si-O	Andalusit	Al ₂ [O SiO ₄]
	Sillimanit	Al ₂ [O SiO ₄]
	Disthen	Al ₂ [O SiO ₄]
Al-Be-Si-O	Beryll	Al ₂ Be ₃ [Si ₆ O ₁₈]
Al-H-Si-O	Kaolinit	Al ₂ [(OH) ₄ Si ₂ O ₅]
	Pyrophyllit	Al ₂ [(OH) ₂ Si ₂ O ₅]
Al-F-O-H-Si	Topas	Al ₂ [(F,OH) ₂ SiO ₄]
As		
As-S	Arsen	As
	Realgar	AsS/α-As ₄ S ₄
	Auripigment	As ₂ S ₃
Au		
	gediegenes Gold	Au
B		
B-O-H	Sassolin	H ₃ [BO ₃]
Ba		
Ba-S-O	Baryt	Ba[SO ₄]
Ba-C-O	Witherit	Ba[CO ₃]
Be		
Be-Al-O	Chrysoberyll	BeAl ₂ O ₄
Bi		
	gediegenes Wismut	Bi
C		
	Graphit	C
	Diamant	C
Ca		
Ca-F	Fluorit	CaF ₂
Ca-Mg	Tremolith	Ca ₂ Mg ₅ (OH) ₂ [Si ₈ O ₂₂]
Ca-C-O	Calcit	Ca[CO ₃]
Ca-S-O	Anhydrit	Ca[SO ₄]
Ca-W-O	Scheelit	Ca[WO ₄]
Ca-Si-O	Wollastonit	Ca ₃ [Si ₃ O ₉]
Ca-Mg-C-O	Dolomit	CaMg[CO ₃] ₂
Ca-Fe-C-O	Ankerit	CaFe[CO ₃] ₂
Ca-B-O-H	Colemanit	Ca[B ₃ O ₄ (OH) ₃]·H ₂ O
Ca-Al-Si-O	Anorthit	Ca[Al ₂ Si ₂ O ₈]
	Grossular	Ca ₃ Al ₂ [SiO ₄] ₃

Ca-S-O-H	Gips	$\text{Ca}[\text{SO}_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
Ca-Cr-Si-O	Uwarowit	$\text{Ca}_3\text{Cr}_2[\text{SiO}_4]_3$
Ca-Fe-Si-O	Andradit	$\text{Ca}_3\text{Fe}^{3+}_2[\text{SiO}_4]_3$
Ca-Ti-Si-O	Titanit	$\text{CaTi}[\text{O} \text{SiO}_4]$
Ca-Mg-Si-O	Diopsid	$\text{CaMg}[\text{Si}_2\text{O}_6]$
Ca-Na-Al-Si-O	Plagioklas	$(\text{Ca},\text{Na})[\text{Al}_{(2-x)}\text{Si}_{(2+x)}\text{O}_8]$ $0 < x < 1$
	Oligoklas	$(\text{Ca},\text{Na})[\text{Al}_{(2-x)}\text{Si}_{(2+x)}\text{O}_8]$ $0,9 < x < 0,7$
	Andesin	$(\text{Ca},\text{Na})[\text{Al}_{(2-x)}\text{Si}_{(2+x)}\text{O}_8]$ $0,7 < x < 0,5$
	Labradorit	$(\text{Ca},\text{Na})[\text{Al}_{(2-x)}\text{Si}_{(2+x)}\text{O}_8]$ $0,5 < x < 0,3$
	Bytownit	$(\text{Ca},\text{Na})[\text{Al}_{(2-x)}\text{Si}_{(2+x)}\text{O}_8]$ $0,3 < x < 0,1$
Ca-Na-B-O-H	Ulexit	$\text{CaNa}[\text{B}_5\text{O}_6(\text{OH})_6] \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$
Ca-U-O-P-H	Autunit	$\text{Ca}[(\text{UO}_2)(\text{PO}_4)]_2 \cdot 11\text{H}_2\text{O}$
Ca-Mg-Fe-Si-O	Hedenbergit	$\text{Ca}(\text{Fe},\text{Mg})[\text{Si}_2\text{O}_6]$
	Augit	$(\text{Ca},\text{Fe})(\text{Mg},\text{Fe})[\text{Si}_2\text{O}_6]$
Ca-F-Cl-O-H-P	Apatit	$\text{Ca}_5[(\text{F},\text{Cl},\text{OH}) (\text{PO}_4)_3]$
Ca-Fe-Al-H-Si-O	Epidot	$\text{Ca}_2(\text{Fe}^{3+},\text{Al})\text{Al}_2[\text{O} \text{OH} \text{SiO}_4 \text{Si}_2\text{O}_7]$
Ca-Na-Mg-Al-Si-O	Melilith	$(\text{Ca},\text{Na})_2(\text{Al},\text{Mg},\text{Fe}^{2+})[(\text{Si},\text{Al})_2\text{O}_7]$
Ca-Mg-Fe-H-Si-O	Aktinolith	$\text{Ca}_2(\text{Mg},\text{Fe})_5[\text{OH} \text{Si}_4\text{O}_{11}]_2$
Ca-Na-Mg-Fe-Al-Si-O	Omphacit	$(\text{Ca},\text{Na})(\text{Mg},\text{Fe},\text{Al})[\text{Si}_2\text{O}_6]$
Ca-Mg-Fe-Al-Si-O-H-F	Hornblende	$(\text{Ca},\text{Na})_{2-3}(\text{Mg},\text{Fe},\text{Al})_5[(\text{Al},\text{Si})_8\text{O}_{22}(\text{OH},\text{F})_2]$
Ca-K-Na-Mg-Al-Si-O-H	Chabasit	$(\text{Ca},\text{K}_2,\text{Na}_2,\text{Mg})\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
Ca-Na-Al-Mg-Fe-Si-O-H-F	Vesuvian	$(\text{Ca},\text{Na})_{19}(\text{Al},\text{Mg},\text{Fe})_{13}(\text{SiO}_4)_{10}(\text{Si}_2\text{O}_7)_4(\text{OH},\text{F},\text{O})_{10}$
Ce		
Ce-P-O	Monazit	$(\text{Ce},\text{La},\text{Nd},\text{Th})[\text{PO}_4]$
Co		
Co-As-O-H	Erythrin	$\text{Co}_3[\text{AsO}_4]_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
Cu		
gediegenes Kupfer		
Cu-S	Covellin	CuS
	Chalkosin	Cu_2S
Cu-O	Cuprit	Cu_2O
Cu-S-As	Tennantit	$\text{Cu}_{12}[\text{S}(\text{AsS}_3)_4]$
Cu-Fe-S	Chalkopyrit	CuFeS_2
	Bornit	Cu_5FeS_4
Cu-C-O-H	Azurit	$\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$
	Malachit	$\text{Cu}_2[(\text{OH})_2 \text{CO}_3]$
Cu-Zn-Sb-S	Türkis	$\text{Cu}(\text{Al},\text{Fe})_6(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_8 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$
Cu-Al-P-O-H	Torbernit	$\text{Cu}[\text{UO}_2 \text{PO}_4]_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$
Cu-U-O-P-H	Tetraedrit	$\text{Cu}_{12}[\text{S}(\text{SbS}_3)_4]$
Fe		
gediegenes Eisen		
Fe-Ni	Kamacit	$\alpha\text{-(Fe,Ni)}$
	Taenit	$\gamma\text{-(Fe,Ni)}$
Fe-O	Magnetit	Fe_3O_4
	Hämatit	Fe_2O_3
Fe-S	Pyrrhotin	Fe_7S_8
	Pyrit	FeS_2
	Markasit	FeS_2

Fe-As	Löllingit	FeAs_2
Fe-C-O	Siderit	$\text{Fe}[\text{CO}_3]$
Fe-O-H	Goethit	$\alpha\text{-Fe}^{3+}\text{O}(\text{OH})$
	Lepidokrokit	$\gamma\text{-Fe}^{3+}\text{O}(\text{OH})$
Fe-Ti-O	Illmenit	FeTiO_3
Fe-Ni-S	Pentlandit	$(\text{Fe},\text{Ni})_9\text{S}_8$
Fe-Mg-Si-O	Ferrosilit	$(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg})_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$
Fe-Cr-Mg-O	Chromit	$(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg})\text{Cr}_2\text{O}_4$
Fe-P-O-H	Vivianit	$\text{Fe}^{2+}_3[\text{PO}_4]_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$
Fe-Al-Si-O	Almandin	$\text{Fe}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$
Fe-Mg-Mn-Nb-O	Columbit	$(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg}, \text{Mn}^{2+})\text{Nb}_2\text{O}_6$
Fe-Mg-Al-H-Si-O	Chamosit	$(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg}, \text{Fe}^{3+})_5\text{Al}[(\text{OH}, \text{O})_8 \text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$
Hg	element. Quecksilber	Hg
Hg-S	Cinnabarit	HgS
Ir	gediegenes Iridium	Ir
K		
K-Cl	Sylvin	KCl
K-Al-Si-O	Leucit	$\text{K}[\text{AlSi}_2\text{O}_6]$
	Orthoklas	$\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$
	Mikroklin	$\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$
K-Mg-Cl-H-O	Carnallit	$\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
K-Na-Si-Al-O	Sanidin	$(\text{K}, \text{Na})[(\text{Si}, \text{Al})_3\text{O}_8]$
K-Al-H-F-Si-O	Muskovit	$\text{KAl}_2[(\text{OH}, \text{F})_2 \text{AlSi}_3\text{O}_{10}]$
K-Li-Al-F-H-Si-O	Lepidolith	$\text{K}(\text{Li}, \text{Al})_3[(\text{F}, \text{OH})_2 (\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}]$
K-Mg-Fe-Mn-H-F-Al-Ti-Si-O	Biotit	$\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+}, \text{Mn}^{2+})_3[(\text{OH}, \text{F})_2 (\text{Al}, \text{Fe}^{3+}, \text{Ti}^{3+})\text{Si}_3\text{O}_{10}]$
Li		
Li-Al-Si-O	Spodumen	$\text{LiAl}[\text{Si}_2\text{O}_6]$
Mg		
Mg-C-O	Magnesit	$\text{Mg}[\text{CO}_3]$
Mg-Al-O	Spinell	MgAl_2O_4
Mg-O-H	Brucit	$\text{Mg}(\text{OH})_2$
Mg-Al-Si-O	Cordierit	$\text{Mg}_2\text{Al}_3[\text{AlSi}_5\text{O}_{18}]$
	Pyrop	$\text{Mg}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$
Mg-Si-O-H	Chrysotil	$\text{Mg}_3[(\text{OH})_4\text{Si}_2\text{O}_5]$
	Antigorit	$\text{Mg}_3[(\text{OH})_4\text{Si}_2\text{O}_5]$
	Talk	$\text{Mg}_3[(\text{OH})_4\text{Si}_2\text{O}_5]$
	Lizardit	$\text{Mg}_3[(\text{OH})_4\text{Si}_2\text{O}_5]$
Mg-Fe-Mn-S-O	Olivin	$(\text{Mg}, \text{Mn}, \text{Fe})_2[\text{SiO}_4]$
Mg-Fe-H-Si-O	Anthophyllit	$(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_7[\text{OH} \text{Si}_4\text{O}_{11}]_2$
	Cummingtonit	$(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_7[\text{OH} \text{Si}_4\text{O}_{11}]_2$
Mg-Fe-Al-H-Si-O	Klinochlor	$(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+}, \text{Al})_3[(\text{OH})_2 \text{AlSi}_3\text{O}_{10}] \cdot (\text{Mg}, \text{Fe}^{2+}, \text{Al})_3(\text{OH})_6$
Mn		
Mn-O	Hausmannit	$\text{Mn}^{2+}\text{Mn}^{3+}_2\text{O}_4$
	Pyrolusit	$\beta\text{-MnO}_2$
Mn-C-O	Rhodochrosit	$\text{Mn}[\text{CO}_3]$

Mn-Al-Si-O	Spessartin	$Mn_3Al_2[SiO_4]_3$
Mo		
Mo-S	Molybdänit	MoS_2
Na		
Na-Cl	Halit	NaCl
Na-N-O	Nitronatrit	$Na[NO_3]$
Na-Al-F	Kryolith	$Na_3[AlF_6]$
Na-Al-Si-O	Jadeit	$NaAl[Si_2O_6]$
Na-B-O-H	Borax	$Na_2[B_4O_5(OH)_4] \cdot 8H_2O$
Na-Fe-Si-O	Aegirin	$NaFe^{3+}[Si_2O_6]$
Na-K-Al-Si-O	Nephelin	$(Na,K)[AlSiO_4]$
Na-Al-Si-O-H	Analcim	$Na[AlSi_2O_6] \cdot H_2O$
	Natrolith	$Na_2[Al_2Si_3O_{10}] \cdot 2H_2O$
Na-Cl-Al-Si-O	Sodalith	$Na_8[Cl_2](AlSiO_4)_6]$
Na-S-O-Al-Si-H	Nosean	$Na_8[SO_4 Al_6Si_6O_{24}] \cdot H_2O$
Na-Ca-Si-Al-O-S	Lasurit	$(Na,Ca)_8[S_2 (AlSiO_4)_6]$
Na-Ca-K-Si-Al-O-H	Stilbit	$(Ca,Na_2,K_2)[Al_2Si_7O_{18}] \cdot 7H_2O$
Na-Fe-Al-Si-O-B-H	Schörl	$NaFe_3Al_6[(OH,F)_4 BO_3]_3 Si_6O_{18}]$
Na-Mg-Al-Si-O-B-H	Dravit	$NaMg_3Al_6[(OH)_4 (BO_3)_3 Si_6O_{18}]$
Na-Li-Al-Si-O-B-H	Elbait	$Na(Li,Al)_3Al_6[(OH)_4/(BO_3)_3 Si_6O_{18}]$
Na-Mg-Fe-Al-H-Si-O	Glaucophan	$\square Na_2(Mg,Fe)_3Al_2[(OH)_2 Si_8O_{22}]$
Na-Ca-Al-Mg-Si-O-H	Montmorillonit	$(Na,Ca_{0,5})_{0,3}(Al,Mg)_2[(OH)_2 Si_4O_{10}] \cdot 4H_2O$
Na-Ca-S-O-Cl-Al-Si	Hauyn	$Na_{5-6}Ca_2[(SO_4,Cl)_2 Al_6Si_6O_{24}]$
Ni		
Ni-As	Nickelin	NiAs
Ni-As-O-H	Annabergit	$Ni_3(AsO_4)_2 \cdot 8H_2O$
Pb		
Pb-S	gediegenes Blei	Pb
Pb-S	Galenit	PbS
Pb-C-O	Cerussit	$Pb[CO_3]$
Pb-S-O	Anglesit	$Pb[SO_4]$
Pb-Cr-O	Krokoit	$Pb[CrO_4]$
Pb-Mo-O	Wulfenit	$Pb[MoO_4]$
Pb-Cl-P-O	Pyromorphit	$Pb_5[Cl (PO_4)_3]$
Pb-Cl-As-O	Mimetesit	$Pb_5[Cl (AsO_4)_3]$
Pb-Cl-V-O	Vanadinit	$Pb_5[Cl (VO_4)_3]$
Pt		
	gediegenes Platin	Pt
S		
	Schwefel	S
Sb		
Sb-S	Antimon	Sb
Sb-S	Stibnit/Antimonit	Sb_2S_3
Si		
Si-O	Quarz	SiO_2
	Hochquarz	SiO_2
	Tridymit	SiO_2
	Cristobalit	SiO_2
	Coesit	SiO_2
	Stishovit	SiO_2

Si-C	Moissanit	SiC
Si-O-H	Opal	SiO ₂ ·nH ₂ O
Sn		
Sn-O	Cassiterit	SnO ₂
Sr		
Sr-S-O	Coelestin	Sr[SO ₄]
Ti		
Ti-O	Rutil	TiO ₂
	Anatas	TiO ₂
	Brookit	TiO ₂
U		
U-O	Uraninit	UO ₂
Zn		
Zn-S	Sphalerit	ZnS
	Wurtzit	β-ZnS
Zn-C-O	Smithsonit	Zn[CO ₃]
Zr		
Zr-Si-O	Zirkon	Zr[SiO ₄]

Zitierte und weiterführende Literatur

- Brandstetter, R., Currier, R. & Frey, W.G. (2012): Pseudomorphosen. Extra Lapis, No. 43, 100.
- Goldschmidt, V. (1905): Über die Zwillingsgesetze des Quarz. Tschermaks Min. Petr. Mitt., 24, 167-182.
- Heide, K & Heide, G. (2011): Vitreous state in nature – origin and properties. Chemie der Erde, 71, 305-335.
- Jones, R.W. (1964): Nature´s Hidden Rainbows, Fluorescent Minerals of Franklin, New Jersey.
- Kloprogge, J. Th. & Lavinsky, R. (2017): Photo Atlas of Mineral Pseudomorphism., Elsevier, 97
- Kozu, S. (1952): Japanese Twins of quarz. Amer. Journ. Sience, Blowen Vol. 1, 281-292.
- Kozu, S. (1952): Japanese Twins of quarz. Amer. Journ. Sience, Blowen Vol. 24, 509-517.
- Lenart, A., Samardzija, Z., Godec, M., Mirtic, B. & Šturm, S. (2012): Twin-boundary formation in Japan-law twinned quartz crystals. Eur. J. Mineral., 24 (3), European Journal of Mineralogy, 509–517.
- Offermann, E. (2004): Kristalle und ihre Formen. Band I, Kristallo Grafik Verlag. 184.
- Offermann, E. (2004): Kristalle und ihre Formen. Band II, Kristallo Grafik Verlag, 169.
- Offermann, E. (2009): Kristalle und ihre Formen. Band III, Kristallo Grafik Verlag, 270.
- Pöllmann, H. & Keck, E. (1995): Epitaxien und Pseudomorphosen von Zeolithen vom Großen Teichelberg bei Pechbrunn/Opf. Aufschluss, 46, 75-83.
- Pöllmann, H. & Keck, E. (1993): Replacement and Incrustation Pseudomorphs of Zeolites. N. Jb. Min. Mh., Neues Jahrbuch für Mineralogie Monatshefte, 529-541.
- Robbins, M. (1994): Fluorescence: Gems and Minerals under Ultraviolet Light. 374.
- Schneider, H.G. (1970): Epitaxie, Endotaxie., VEB Verlag, 225.
- Schneider, S. (2006): The world of fluorescent minerals., Schiffer pub LTD, 192.
- Strunz (1982): Pseudomorphosen - Der derzeitige Kenntnisstand. Versuch einer Klassifikation. Aufschluss, 33, 313-342.
- Warren. T.S., Gleason S., Bostwick R.C., Verbeek E.R., 1999: Ultraviolet light and fluorescent minerals. Gem Guides Book Co

