
Einführung in die Petrographie/Petrologie

G. Kloess

Kapitel E

Akzessorische Minerale

Die Mineral- und Gesteinsfotos sind, wenn nicht anders gekennzeichnet, Aufnahmen von Stücken aus der Sammlung der Universität Leipzig (Kustos H.-J. Höbler).

Akzessorische Minerale

Als **Akzessorium** bezeichnet man einen mineralischen „Übergemengteil“ in Gesteinen, der in der Regel weniger als 1% des Gesteines ausmacht, oft aber gesteinstyp-nomenklatorische Bedeutung hat.

Wichtige akzessorische Minerale in Magmatiten sind:

- 9 Magnetit
- 10 Apatit
- 11 Zirkon
- 12 Monazit
- 13 Xenotim
- 14 Chromit
- 15 Ilmenit
- 16 Titanit

10. Apatit

Häufigster Vertreter der Mineralklasse der Phosphate.

Chemismus: $\text{Ca}_5[(\text{F}, \text{OH}, \text{Cl})|(\text{PO}_4)_3]$

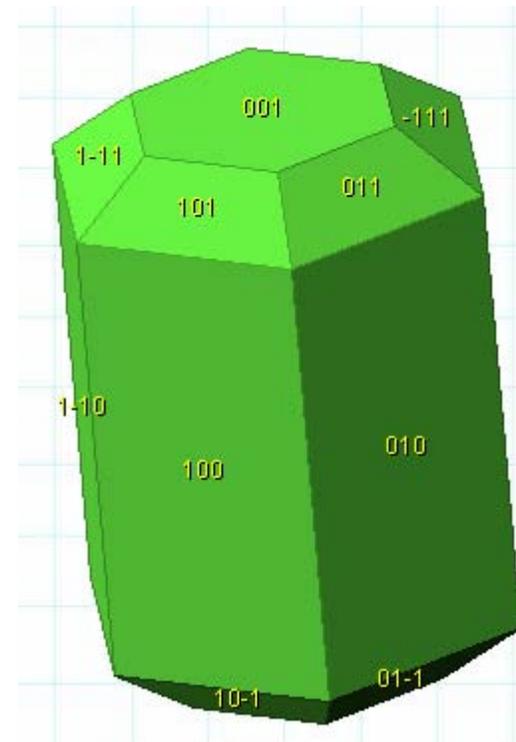
Minerale: Apatit ist eine Mineralfamilie mit mehr als 20 Vertretern.
Als Apatit im engeren Sinne gelten:

- Fluorapatit
- Hydroxylapatit
- Chlorapatit.

Die beiden Minerale

- Carbonat-fluorapatit und
 - Carbonat-hydroxylapatit
- spielen im Organismus von Säugetieren eine wichtige Rolle.

Kristallographie: hexagonal-dipyramidal (6/m)



10. Apatit

Eigenschaften:

Mohs-Härte 5

unvollkommen

$d \approx 3,2$

Brechzahl $\approx 1,63$

meist blass, grau bis grün, braun und blau,
biogen oft schwarz (je nach C-Gehalt, „Kapolith“)

Strich: weiß



10. Apatit

Vorkommen:

- „Durchläufermineral“ (magm. → sedim. → metamorph)
- bereits Kristallisation im magmatischen Frühstadium
 - große Kristalle in Pegmatiten
 - mikrokristalline Massen in biogenen Sedimenten (u.a. Guano)

Verwendung:

„Phosphorite“ sind Rohstoffe für Düngemittel



Carbonat-
hydroxylapatit

11. Zirkon

Bekanntestes metamiktes Mineral.

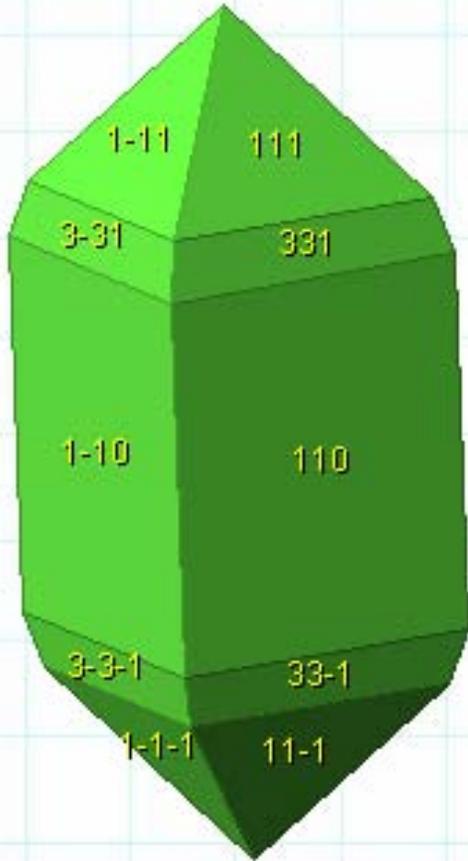
Chemismus:



- da isotyp zu Xenotim und Hafnon vielfältige Diadochiebeziehungen
- wichtigste Begleitelemente Hf, Y, Ce + andere REE, Nb, Ta, Ca
- U- und Th-Gehalt führt durch permanenten α -Beschuss zur allmählichen Zerstörung des Kristallgitters (**Isotropisierung, Metamiktisierung**)

Kristallographie:

- ditetragonal-dipyramidal (4/mmm)
- Tracht und Habitus als „genetischer Fingerabdruck“



11. Zirkon

- Eigenschaften:
- Mohs-Härte 7
 - # unvollkommen
 - $d \approx 4,6$! (→ Schwermineral, Seifenmineral)
 - Brechzahl $\approx 2,0$
 - farblos, auch gelb, orange, rot, braun, grün
 - Zirkon verursacht pleochroitische Höfe in Wirtsmineralen
 - Glas- bis Diamantglanz



11. Zirkon

- Vorkommen:
- in Magmatiten (insbesondere in Granit)
 - große Kristalle in Pegmatiten
 - Anreicherung in Seifen, da chemisch und mechanisch stabil
- Verwendung:
- wichtigstes Zr- und Hf-Erz (ZrO_2 für Feuerfestindustrie, ...)
 - Schmuckstein (z.B. aus dem namensgebenden Sri Lanka)
 - Altersdatierung und Werdegang von Gesteinen



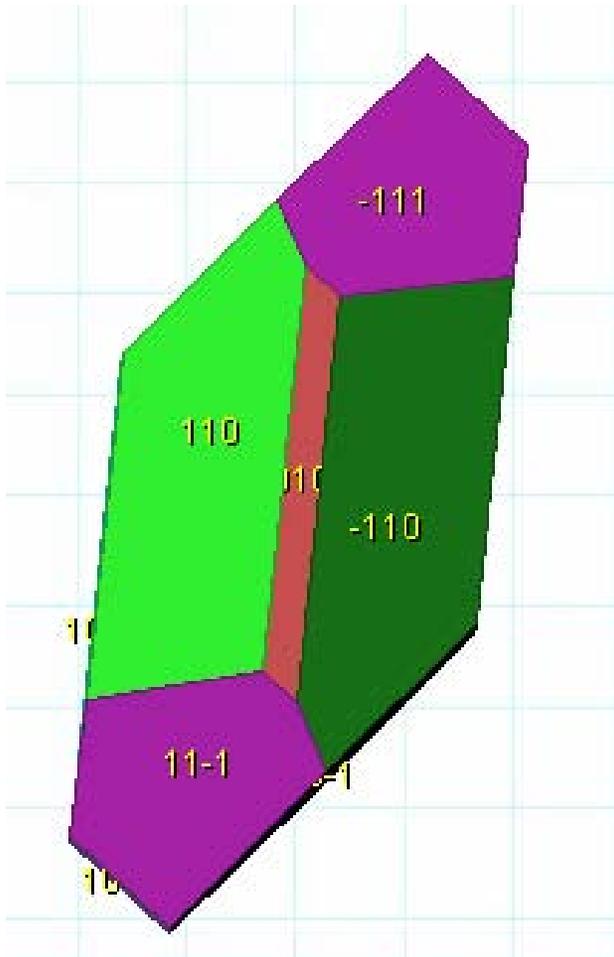
12. Monazit

Chemismus: $\text{Ce}[\text{PO}_4]$

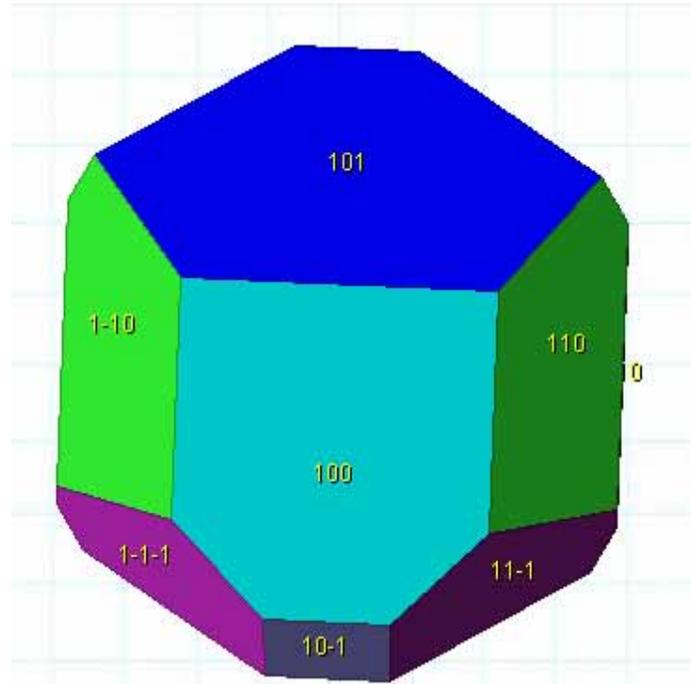
- Gehalt an REE-Oxiden bis 70%
(v.a. La, Nd, Eu, auch Pr, Sm, Gd)
- Th- und U-Gehalte

Kristallographie:

- monoklin-prismatisch ($2/m$)



Schnitt \perp (010)
 \parallel 2-zähliger Drehachse



Schnitt \parallel (100)
 \perp Spiegelebene

12. Monazit

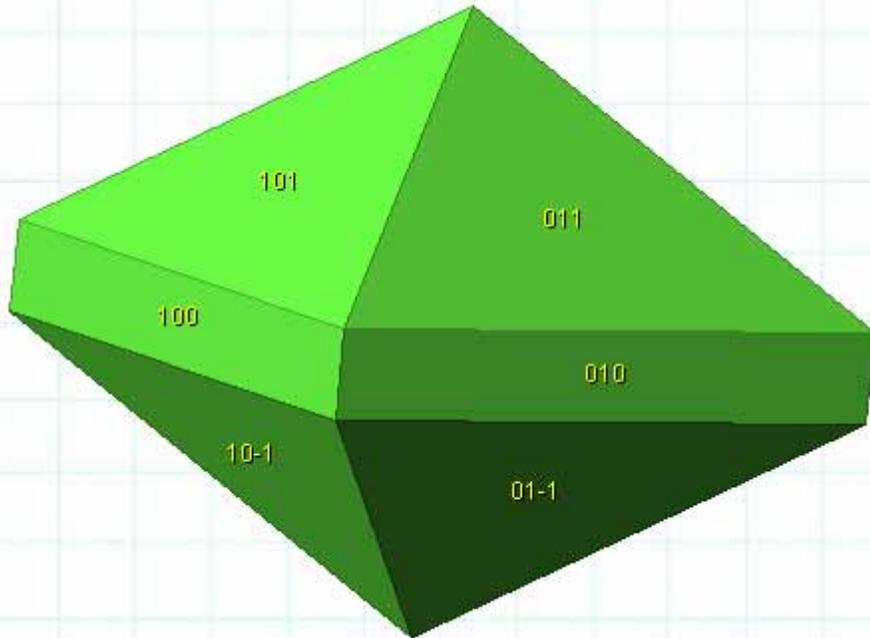
- Eigenschaften:
- Mohs-Härte 5
 - vollkommen # nach (001)
 - $d \approx 4,8 \dots 5,5$ (\rightarrow Schwermineral, Seifenmineral)
 - Brechzahl $\approx 1,79 \dots 1,84$
 - farblos, verschiedene Farben, oft gelb-braun
 - leicht radioaktiv
 - Glas- bis Harzglanz

12. Monazit

- Vorkommen:
- in Magmatiten (insbesondere in Graniten und Syeniten)
 - große Kristalle in Pegmatiten (bis zu 30 kg)
 - Anreicherung in Seifen, da chemisch und mechanisch stabil
- Verwendung:
- wichtiges Mineral für die Th- und REE-Gewinnung (Weltförderung 12 000 t, 1973)
 - Spezialgläser
 - Feuersteine



13. Xenotim



Chemismus: $\text{Y}[\text{PO}_4]$

- signifikante REE-, Th-, U-, Zr- und Sn-Gehalte

Kristallographie:

- ditetragonal-dipyramidal (4/mmm)
- prismatische Kristalle

13. Xenotim

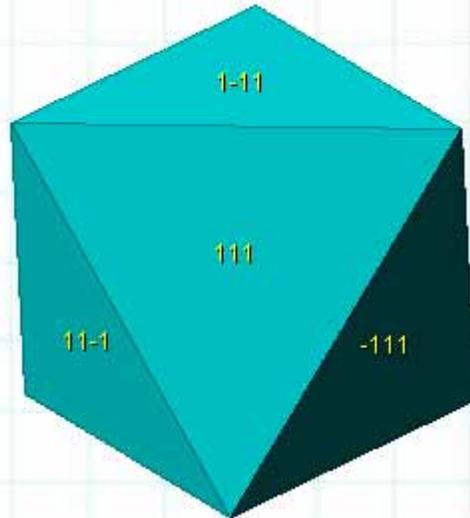
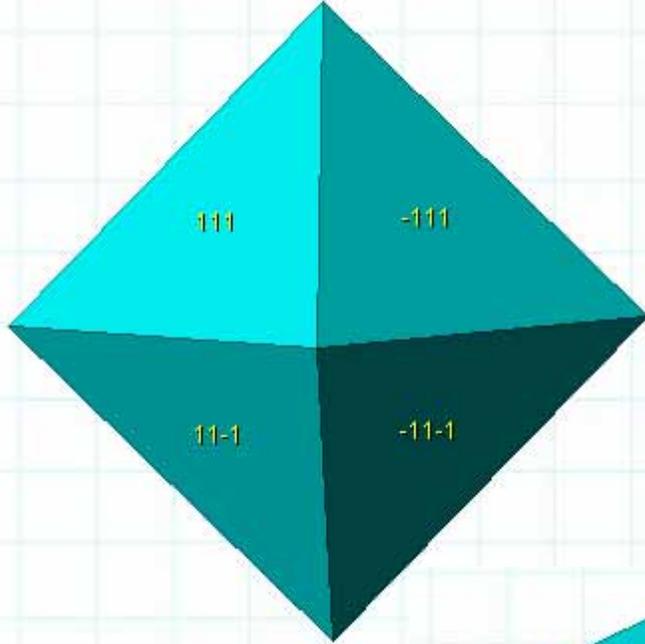
- Eigenschaften:
- Mohs-Härte 4-5
 - vollkommen # nach (100)
 - $d \approx 4,4 \dots 5,1$ (\rightarrow Schwermineral, Seifenmineral)
 - Brechzahl $\approx 1,72 \dots 1,82$
 - oft gelb-braun, auch grau, grünlich
 - manchmal schwach radioaktiv und metamikt
 - Glas- bis Fettglanz

13. Xenotim

- Vorkommen:
- in sauren Magmatiten, auch in Gneisen
 - Anreicherung in Pegmatiten und Fluss- und Strandseifen
- Verwendung:
- wichtiges Mineral für die Y- und REE-Gewinnung



14. Chromit



Chemismus: $\text{Fe}^{2+}\text{Cr}_2\text{O}_4$

- signifikante REE-, Th-, U-, Zr- und Sn-Gehalte

Kristallographie:

- kubisch-hexakisoktaedrisch ($m\bar{3}m$)

- Spinell-Struktur

- meist derb-kompakte Massen, selten oktaedrischer Habitus

14. Chromit

Eigenschaften: - Mohs-Härte 5-6

- keine #

- $d \approx 4,5 \dots 4,8$ (→ Schwermineral, Seifenmineral)

- opak, schwarz

- schwacher Magnetismus

- Metall- bis Fettglanz

- brauner Strich

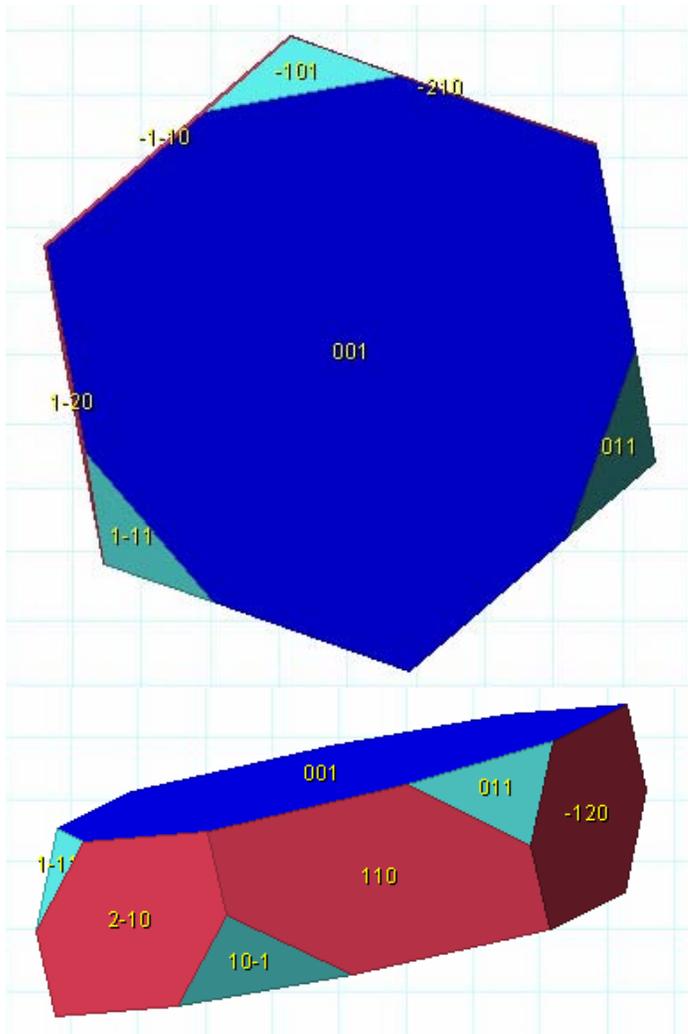
14. Chromit

Vorkommen: - in ultrabasischen Tiefengesteinen (Peridotite, Dunite)
- in Seifen und in Serpentin

Verwendung: - einziges wichtiges Chromerz
- Stahlveredlung
- Chromsalze zum Färben und Beizen
- Feuerfeststein



15. Ilmenit



Chemismus: FeTiO_3

- meist erhebliche Fe_2O_3 -Gehalte,
da mit Hämatit bei hohen Temperaturen
mischbar

Kristallographie:

- trigonal-rhomboedrisch (-3)
- meist derb-kompakt, eingesprengte
Aggregate
- typischer rhomboedrisch-plattiger Habitus
- ähnlich ist Hämatit

15. Ilmenit

Eigenschaften: - Mohs-Härte 5-6

- keine #, aber Absonderung durch Zwillingslamellen

- $d \approx 4,5 \dots 5,0$ (\rightarrow Schwermineral, Seifenmineral)

- opak, braunschwarz

- nicht bis schwacher magnetisch

- Metallglanz

- braunschwarzer Strich

15. Ilmenit

Vorkommen:

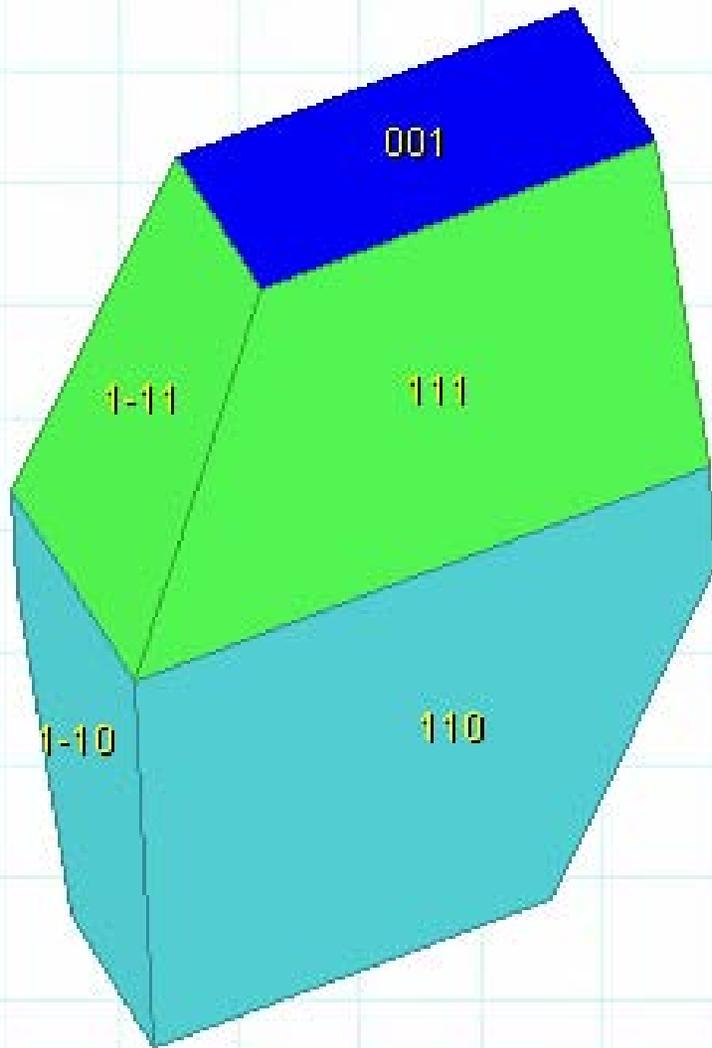
- in basischen Magmatiten (Gabbro, Basalt)
- in Pegmatiten und Metamorphiten
- in Sanden und Seifen

Verwendung:

- wichtiges Titaniumerz
- Stahlveredlung
- Titandioxid für Farben



16. Titanit



Chemismus: $\text{CaTi}[\text{O}|\text{SiO}_4]$

- mitunter V-, REE-, Y-, Zr-, Nb-haltig

Kristallographie:

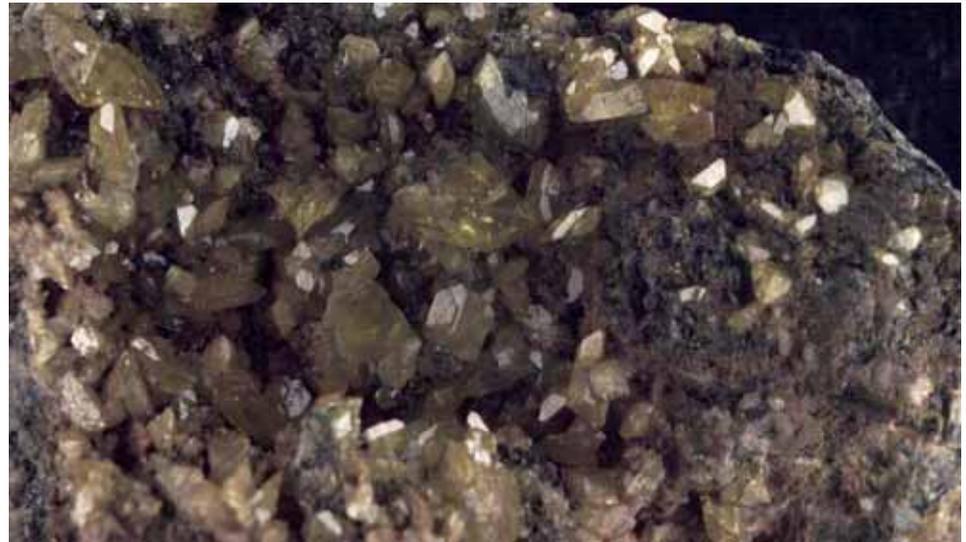
- monoklin-prismatisch ($2/m$)

- häufig Prismen

- Inselsilikat (Nesosilikat)

16. Titanit

- Eigenschaften:
- Mohs-Härte 5
 - unvollkommene #
 - $d \approx 3,29..3,56$
 - Brechzahl $\approx 1,89...2,05$
 - farblos, verschiedene Farben bis schwarz
 - fast Diamantglanz
 - weißer Strich



16. Titanit

Vorkommen: - weitgespannt, spätmagmatisch bis hydrothermal
- in Sanden und Seifen

Verwendung: - gelegentlich Titaniumerz
- Schmuckstein



Kapitel F

Pegmatite, Aplite und pegmatitisch-pneumatolytische Minerale

Pegmatite

Pegmatite sind Restdifferentiate saurer und alkalireicher Magmen. In Pegmatiten entstehen meist an den Rändern der Magmatite massige oder gang- und lagerartige grobkörnige Mineralaggregate. Hauptgemengteile sind Quarz und Alkalifeldspäte (Orthoklas, Mikroklin).

In den Restschmelzen sind angereichert:

- Elemente mit extremen Ionengrößen (Li, Be, B \longleftrightarrow Sn, W, U)
- chalkophile Elemente (Pb, Cu, Zn, Bi, Co, Ni)
- flüchtige Komponenten (F, Fluoride [SiF_4 u. SnF_4], H_2O ; CO_2 , H_2S)

Pneumatolyte

Pneumatolyte sind metasomatische Umwandlungsparagenesen des Nebengesteins mit charakteristischen Mineralneubildungen:

- **Greisen**: autometasomatische Überprägung von Graniten mit Topasierung, Turmalinisierung und Kassiteritimpregnationen
- **Skarne**: kontaktmetasomatisch umgesetzte Karbonatgesteine (Metamorphite)

Im pneumatolytischen Bereich:

- erfolgt der Elementtransport über die Gasphase
- befindet sich das Wasser anfangs im überkritischen Zustand
- ist hoher Anteil an F-, B-, Cl-Verbindungen vorhanden
- greifen aggressive Fluide bereits ausgeschiedene Minerale an
- finden Verdrängungsreaktionen (**Metasomatose**) statt.

17. Turmalin

Turmalin ist der Name einer Mineralgruppe, die zu den Ringsilikaten gehört.

Allg. Formel:



mit

X = Na, Ca, , selten K;

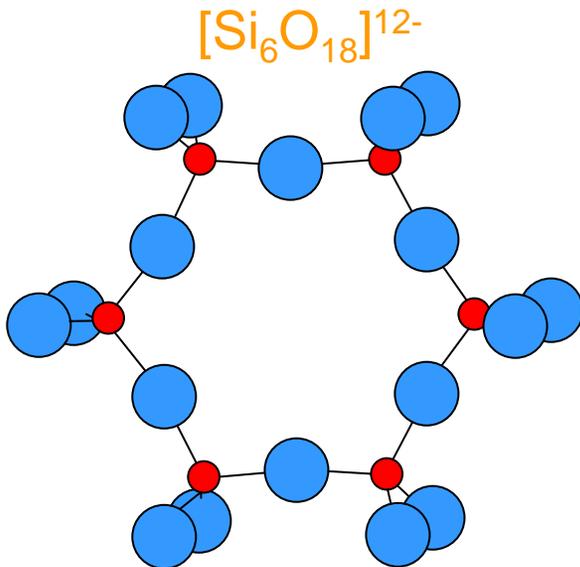
mit XO_6O_3 -Koordination

Y = Mg, Al, Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Li, Zn, Cu;

mit $YO_4(OH)_2$ -Koordination

Z = Al, Fe^{3+} , Mg, Mn^{3+} , Cr^{3+} , V^{3+} ;

mit $ZO_5(OH)$ -Koordination



17. Turmalin

Minerale:

Turmalin ist eine Mineralgruppe mit mehr als 10 Vertretern.
Die wichtigsten Minerale sind:

- Schörl $(\text{Na,Ca})(\text{Fe}^{2+},\text{Fe}^{3+})_3 \text{Al}_6[(\text{OH},\text{F})|(\text{OH},\text{O})_3|(\text{BO}_3)_3|\text{Si}_6\text{O}_{18}]$
- Dravit $(\text{Na,Ca})\text{Mg}_3 \text{Al}_6[(\text{OH},\text{F})|(\text{OH},\text{O})_3|(\text{BO}_3)_3|\text{Si}_6\text{O}_{18}]$
- Elbait $(\text{Na,Ca})(\text{Al,Li})_3 \text{Al}_6[(\text{F},\text{OH})|(\text{OH})_3|(\text{BO}_3)_3|\text{Si}_6\text{O}_{18}]$
- Uvit $\text{Ca}(\text{Mg},\text{Fe}^{2+})_3(\text{Al}_5\text{Mg})[(\text{OH},\text{F})|(\text{OH})_3|(\text{BO}_3)_3|\text{Si}_6\text{O}_{18}]$



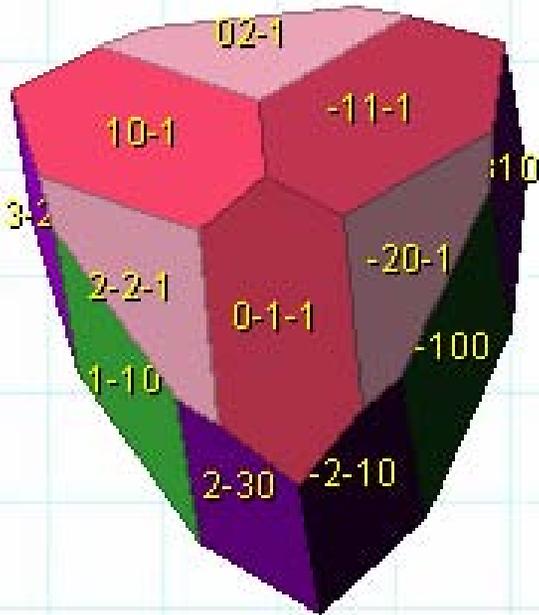
Schwarzer Schörl ist
der mit Abstand
häufigste Turmalin.

17. Turmalin

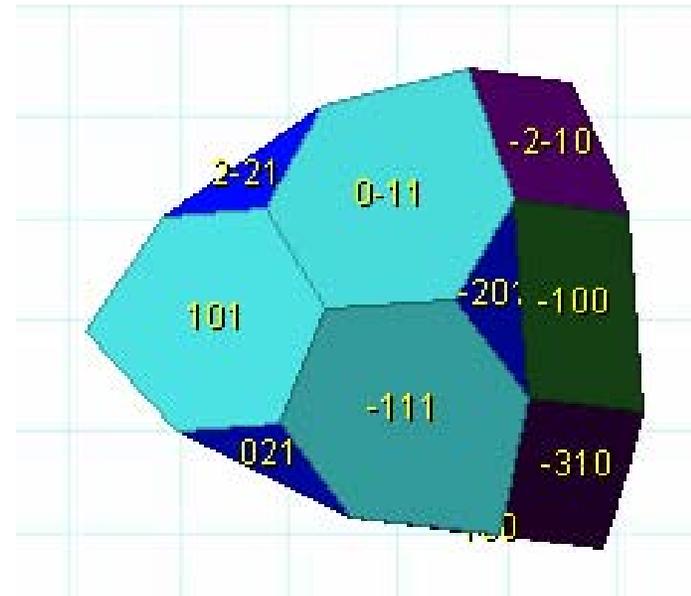
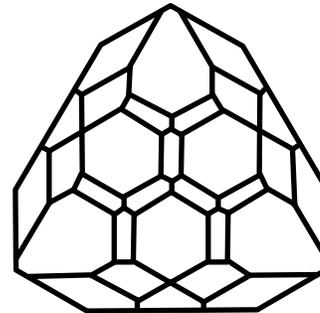
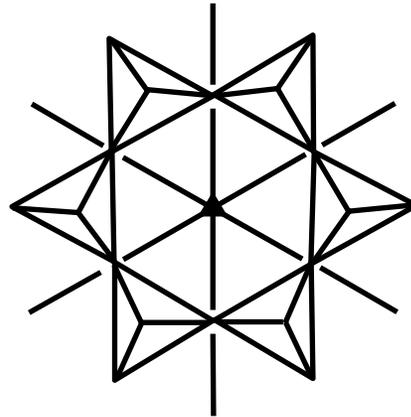
Kristallographie:

ditrigonal-pyramidal ($3m$)

polare Si_6O_{18} -Ringe \rightarrow Turmalin ist pyroelektrisch !



Basisflächen



Kopfflächen

Korrelation Si_6O_{18} -Ring und Tracht

17. Turmalin

Eigenschaften:

Mohs-Härte ≥ 7

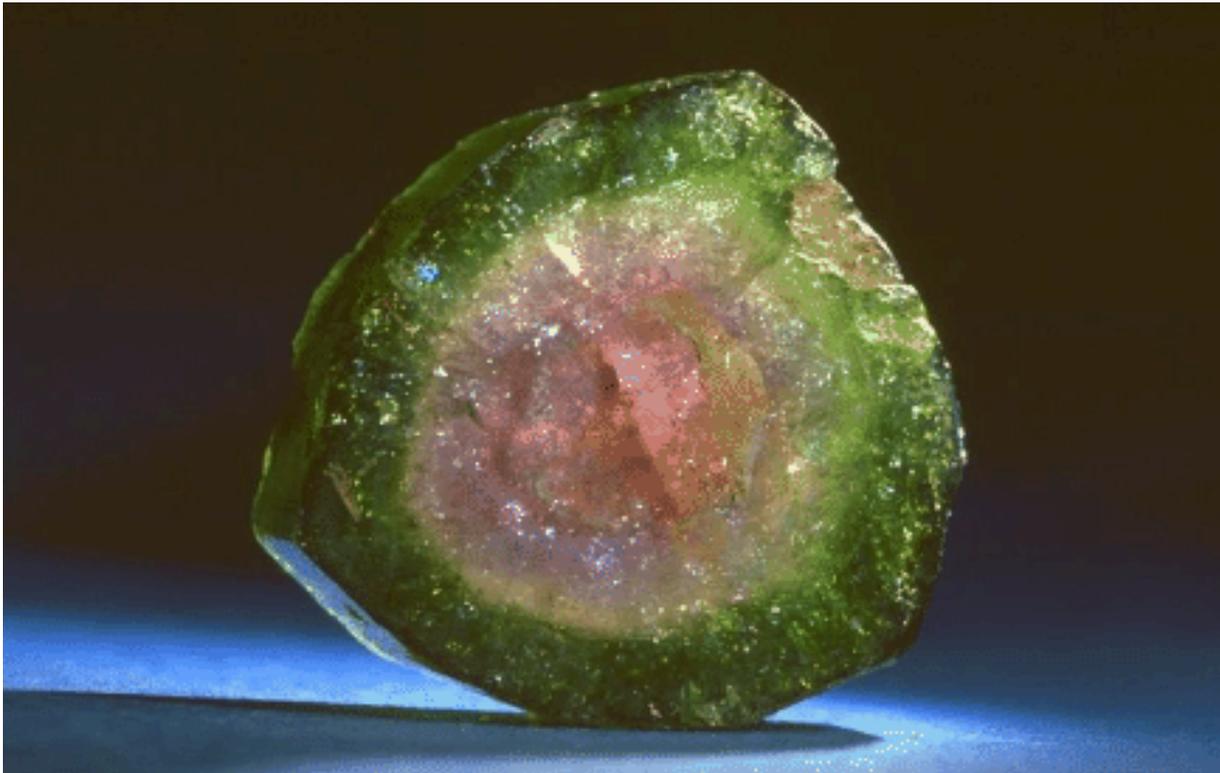
keine #

$d \approx 2,9 \dots 3,3$

Brechzahl $\approx 1,658 \dots 1,689$ (Schörl)

Strich: weiß

Glasglanz



Zonierter
Turmalin:
Sammlung
TU Clausthal-Z.

17. Turmalin

Farbe: - häufig zoniert

Farbvarietäten: - schwarz:
- rot-rosa:
- blau-grün:
- farblos:
- dunkelgrün:
u.a.m.

Schörl, Uvit

Rubellit

Indigolith

Achroit

Verdelith



Elbait



Rubellit

17. Turmalin

- Vorkommen:
- Hauptmenge im pegmatitisch-pneumatolytischen Stadium
 - bereits Kristallisation in spätmagmatischen Graniten
 - in Seifen und Schwermineralsanden
 - in kristallinen Schiefern

- Verwendung:
- bisweilen Borerz
 - begehrter Edelstein
(Madagaskar, Minas Gerais, Sri Lanka, Elba)
 - Nutzung der pyroelektrischen Eigenschaften
(Temperaturmessung)

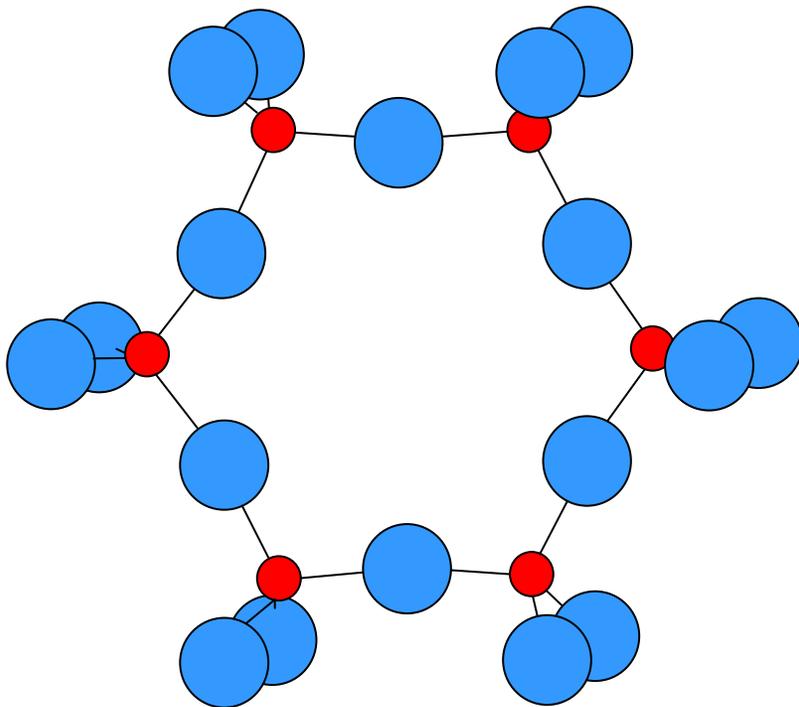
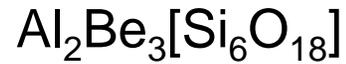
Charakteristisch für Turmalin ist eine starke Längsstreifung.



18. Beryll

Beryll gehört zu den Ringsilikaten.

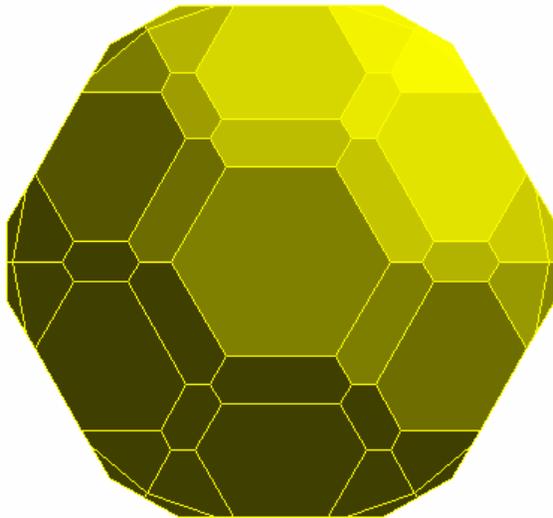
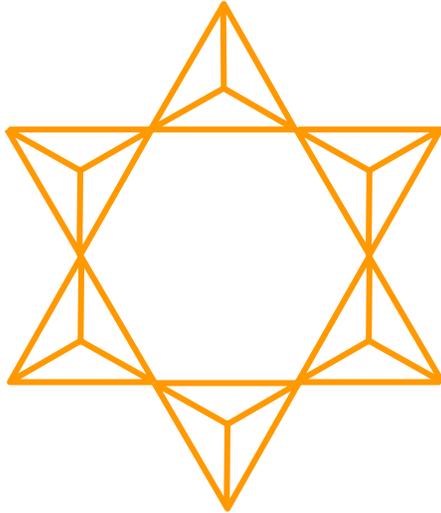
Chemismus:



18. Beryll

Kristallographie:

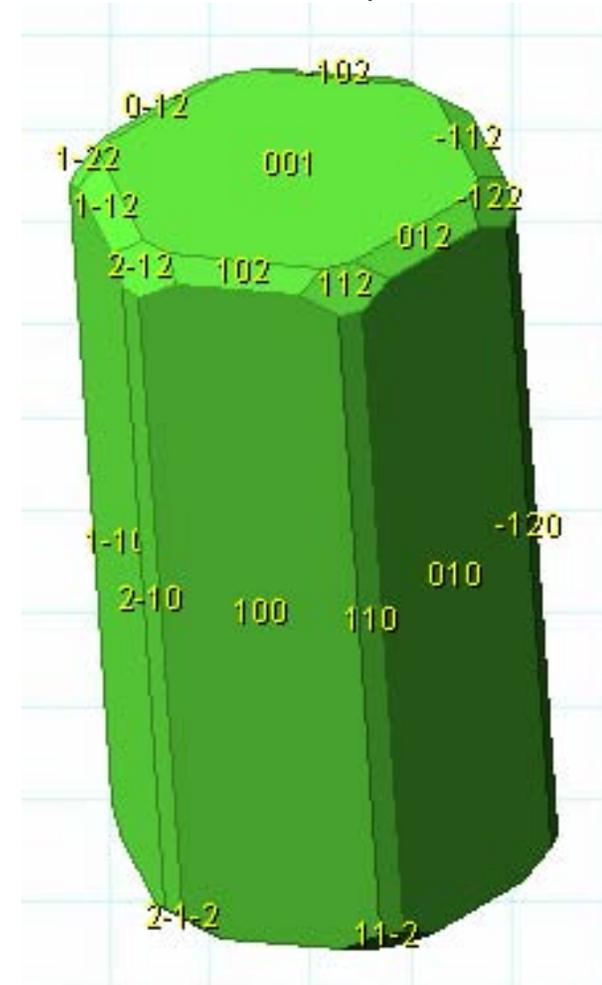
- dihexagonal-dipyramidal (6/mmm)
- keine polaren Si_6O_{18} -Ringe
(im Unterschied zum Turmalin !)



Korrelation

Si_6O_{18} -Ring

und Tracht



18. Beryll

Eigenschaften:

Mohs-Härte 7-8

unvollkommene #

$d \approx 2,6 \dots 2,9$

Brechzahl $\approx 1,564 \dots 1,595$

Strich: weiß

Glasglanz

Habitus: meist langprismatisch

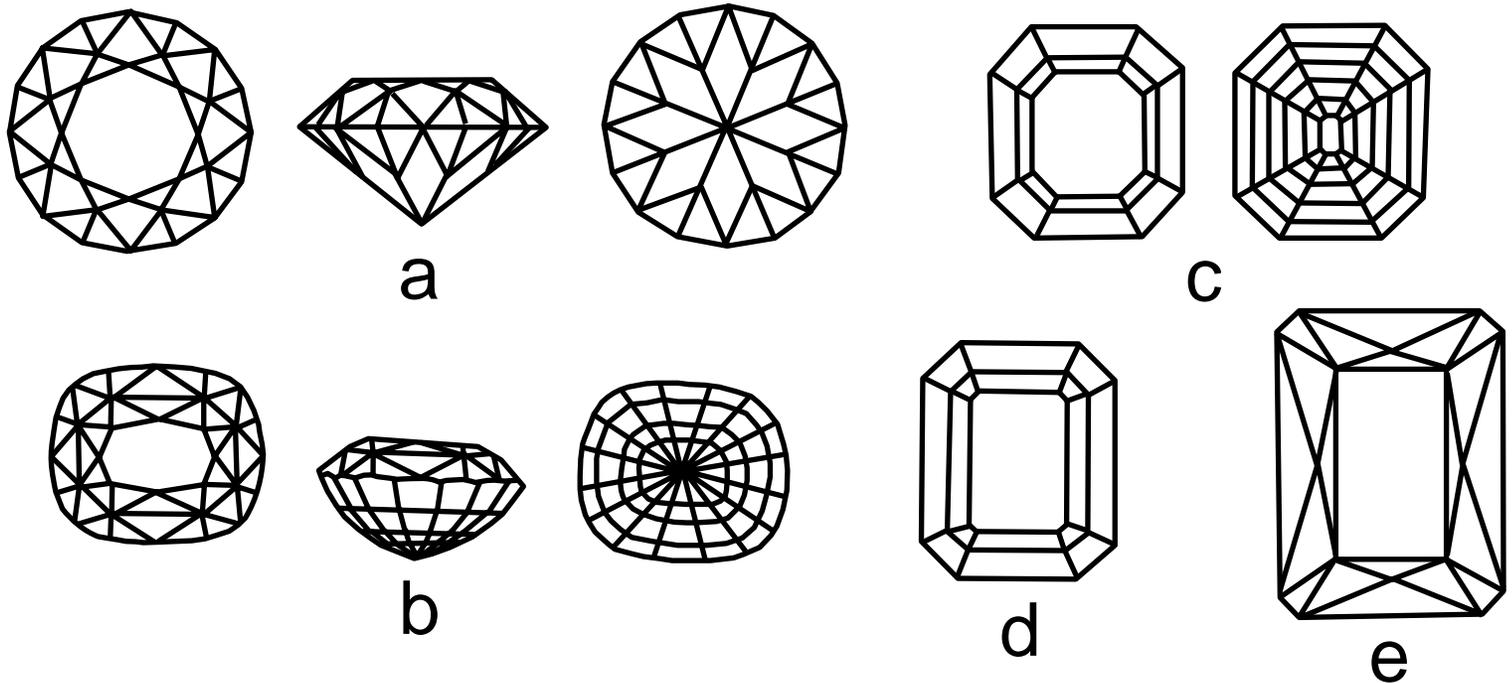


Varietät Heliodor

18. Beryll

Neben dem „gemeinen Beryll“ unterscheidet man folgende Edelstein-Farbvarietäten:

- Smaragd: tiefgrün (Kolumbien, Ural, Minas Gerais, Zimbabwe, Ägypten)
- Aquamarin: himmelblau (Minas Gerais, Madagaskar, Ural)
- Morganit: zartrosa bis violett (Minas Gerais, Madagaskar, Kalifornien)
- Heliodor: goldgelb bis grüngelb (Minas Gerais, Sri Lanka, Ukraine)
- Goshenit: farblos



- a) Brillantschliff b) Cylonschliff, c) Treppenschliff,
d) **Smaragdschliff**, e) Scherenschliff

18. Beryll

- Vorkommen:
- Hauptmenge in Pegmatitgängen
 - in pneumatolytisch überprägten Graniten
 - in Seifen und Schwermineralsanden (meist abgerundet)
 - in der Umgebung pegmatitisch-metasomatischer Bildungen

- Verwendung:
- wichtiges Be-Erz
(Be - als Neutronenreflektor in Kernreaktoren,
- als Röntgenaustrittsfenster)
 - begehrter Edelstein



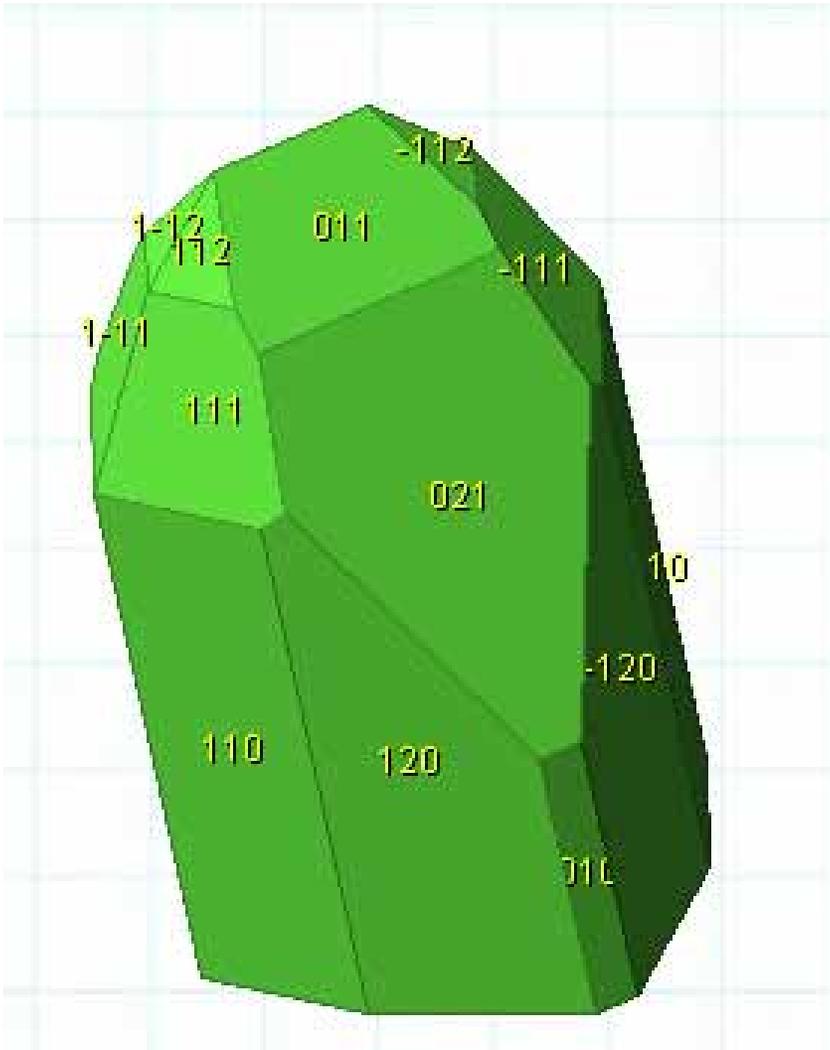
19. Topas

Topas gehört zu den Inselsilikaten.

Formel: $\text{Al}_2^{[6]}[(\text{F},\text{OH})_2|\text{SiO}_4]$

Kristallographie:

- rhombisch-dipyramidal (mmm)
- AlO_4F_2 -Oktaeder als Baueinheit



19. Topas

Eigenschaften:

Mohs-Härte 8

nach (001)

$d \approx 3,5 \dots 3,6$

Brechzahl $\approx 1,607 \dots 1,644$

Strich: weiß

Glasglanz

Farbe: farblos, gelb, u.v.a.

Habitus: sehr flächenreich



Topas vom Schneckenstein / Vogtland

19. Topas

- Bildung:
- Hauptmenge spät- und postmagmatisch in Pegmatiten durch Fluorzufuhr
 - in pneumatolytisch-metasomatischen Bildungen
 - in klastischen Sedimenten
- Vorkommen:
- Minas Gerais, Sri Lanka, Pakistan, Madagaskar, Mexiko
 - Schneckenstein bei Auerbach
 - als stengliger „Pykmit“ in Altenberg / Osterzgebirge
- Verwendung:
- lagerstättenkundlicher Indikator pneumatolytischer Prozesse
 - begehrter Edelstein



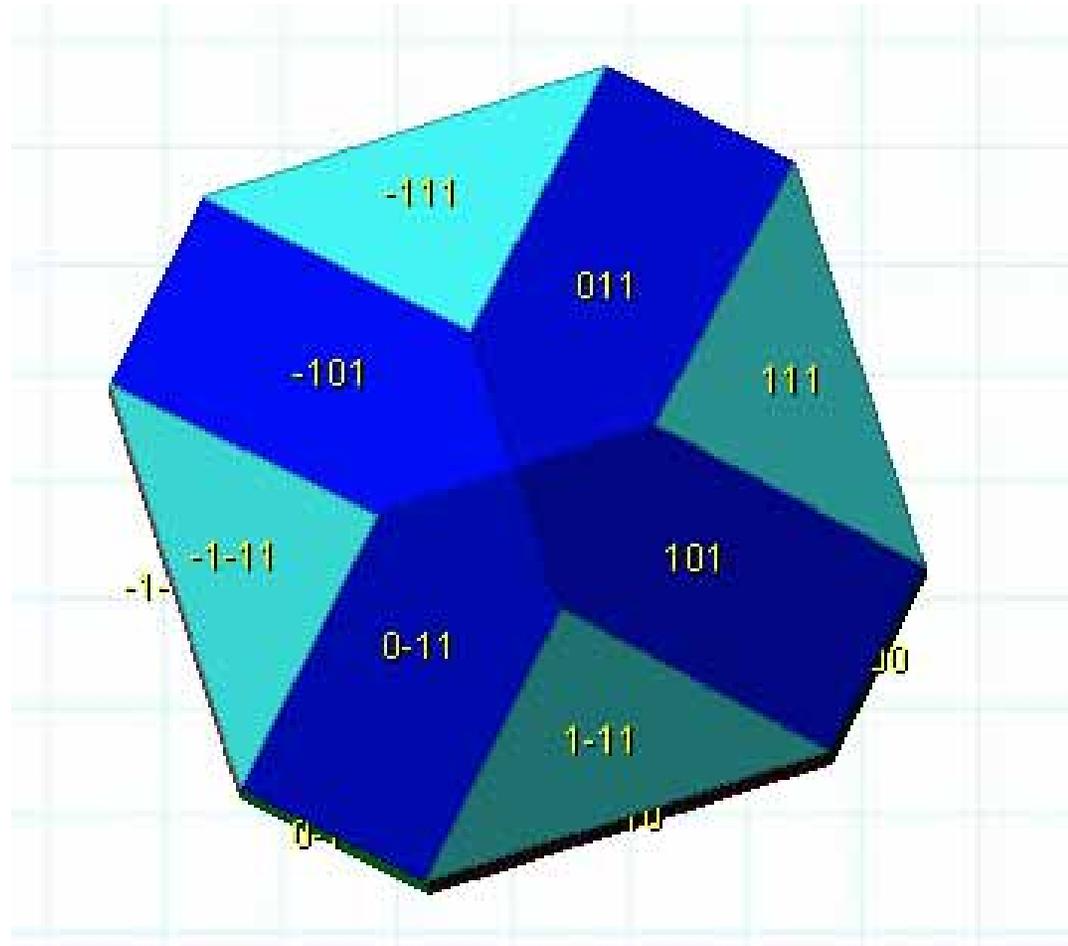
20. Kassiterit

Kassiterit =: Zinnstein

Formel: SnO_2

Kristallographie:

- ditetragonal-dipyramidal
($4/m\bar{3}m$)
- SnO_6 -Oktaeder als Baueinheit



20. *Kassiterit*

Eigenschaften:

Mohs-Härte 7

unvollkommene #

$d \approx 6,8 \dots 7,1$

Brechzahl $\approx 1,99$

Strich: gelblich-weiß

Diamantglanz

Farbe: gelb-braunschwarz

hoher Schmelzpunkt



20. Kassiterit

Bildung:

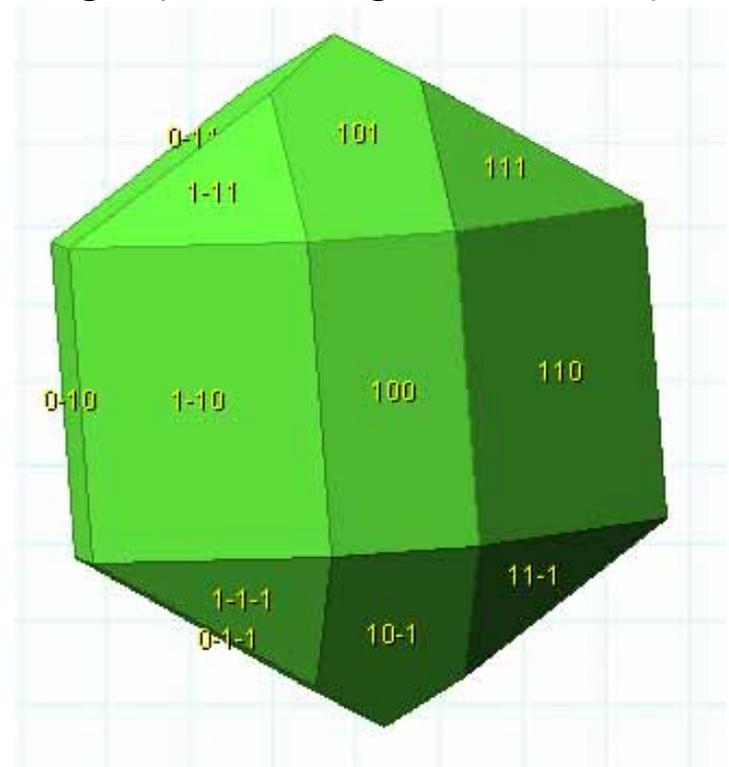
- pegmatitisch-pneumatolytisch
- hydrothermal
- Anreicherung als sekundäre Lagerstätten in fluviatilen Seifenarealen (Hälfte der Weltproduktion)

Vorkommen:

- Malaysia, Indonesien (Bangka und Biliton)
- sächsisch-böhmisches Erzgebirge (Altenberg / Zinnwald)

Verwendung:

- wichtigstes Zinnerz
(Sn für Bronze, Weißblech)



20. *Kassiterit*

typischer Zwilling
nach (101)

„Visiergrauen“
oder
„Altenberger-Typ“



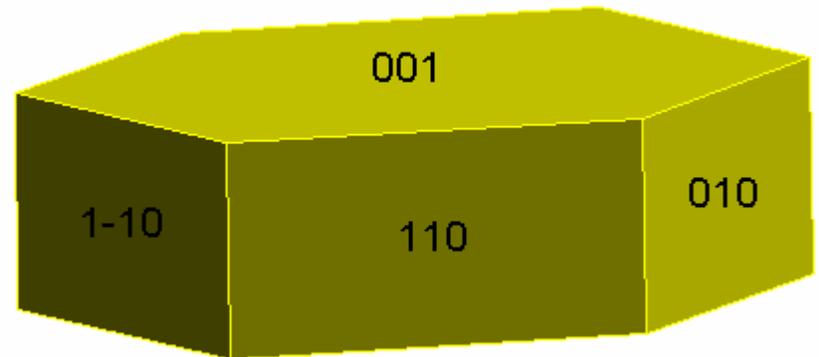
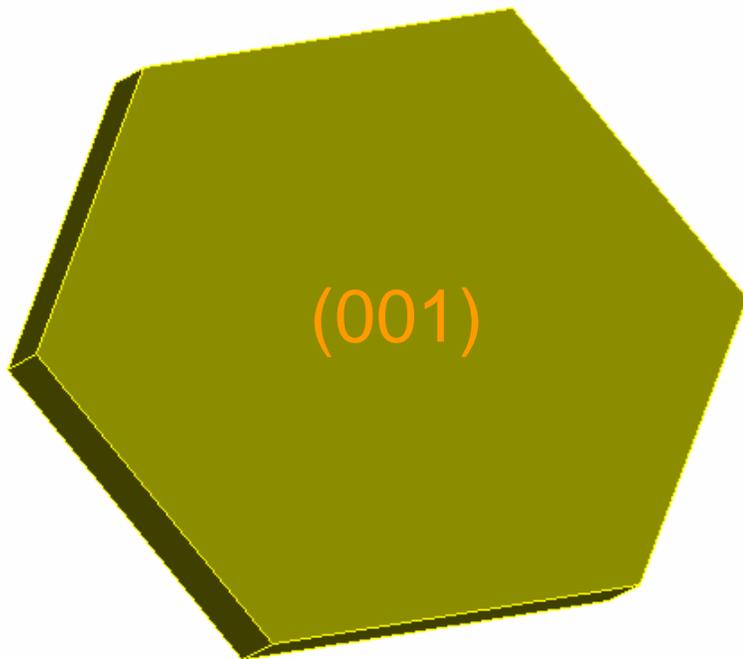
21. Zinnwaldit

Zinnwaldit gehört wie Biotit zu den trioktaedrischen Schichtsilikaten.

Formel: $K(\text{Fe}^{2+}, \text{Al}, \text{Li}, \text{ })_3[(\text{OH}, \text{F})_2](\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}]$

Kristallographie:

- monoklin-domatisch (m): Zinnwaldit-2M₁ bzw.
- monoklin-spenoidisch (2): Zinnwaldit-1M
- pseudo-hexagonaler Habitus



21. Zinnwaldit

Eigenschaften:

Mohs-Härte 2-3

nach (001)

$d \approx 2,9 \dots 3,2$

Brechzahl $\approx 1,57$

Strich: weiß

Glasglanz

Farbe: grau, braun

Habitus: fein- bis grobblättrige, pseudo-hexagonale xx in schuppigen Aggregaten



21. Zinnwaldit

- Bildung: - pegmatitisch-pneumatolytisch (hauptsächlich in Greisen)
- Vorkommen: - Cornwall (UK)
- Zinnwald / Osterzgebirge
- Verwendung: - wichtige Quelle für Li-Salze
(Li für Flint- und Opalgläser, Pyrotechnik, Medizin,
Luftreiniger als LiCl, He-Reinigung, Speziallegierungen, ...)

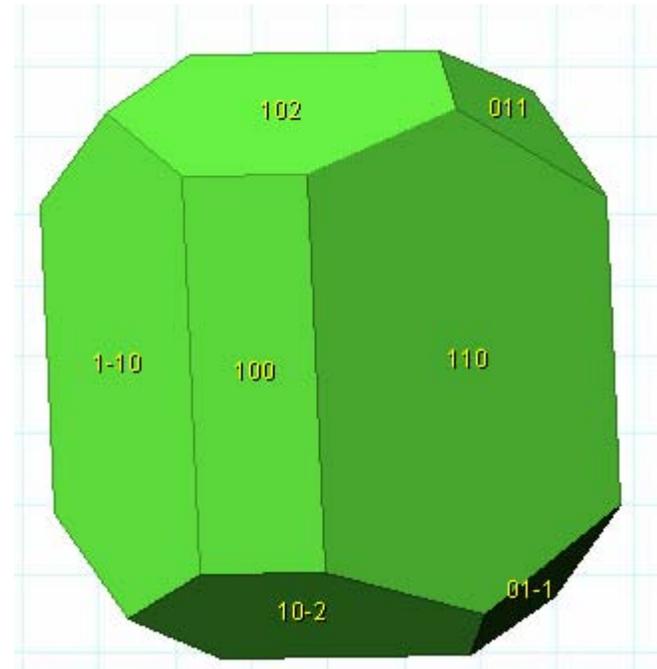
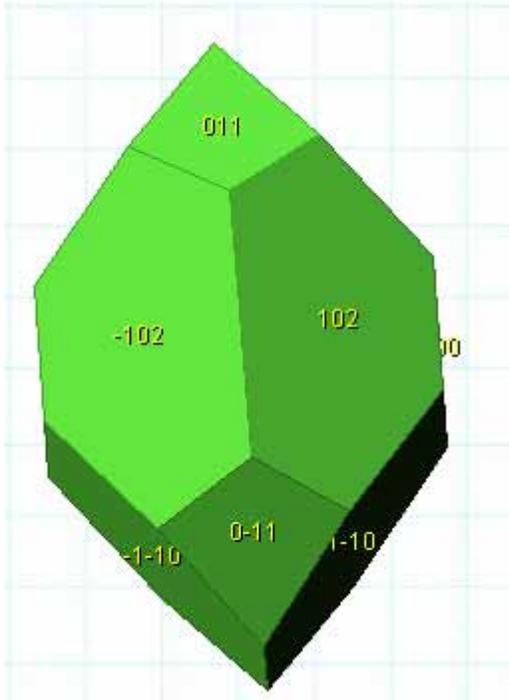
22. Wolframit

Formel:

- $(\text{Fe},\text{Mn})\text{WO}_4$
- Mischkristall aus Ferberit FeWO_4 und Hübnerit MnWO_4
- in der Natur sind Endglieder selten

Kristallographie:

- monoklin-prismatisch ($2/m$)
- $\beta = 90,2^\circ$
- pseudorhombisch



22. Wolframit

Eigenschaften:

Mohs-Härte 4-5

nach (010)

$d \approx 6,7 \dots 7,5$

Brechzahl $> 2,22$

Strich: dunkelbraun

Metall- bis Diamantglanz

Farbe: bräunlich-schwarz

Alle Eigenschaften variieren
rel. stark in Abhängigkeit vom
Fe-Gehalt.



22. Wolframit

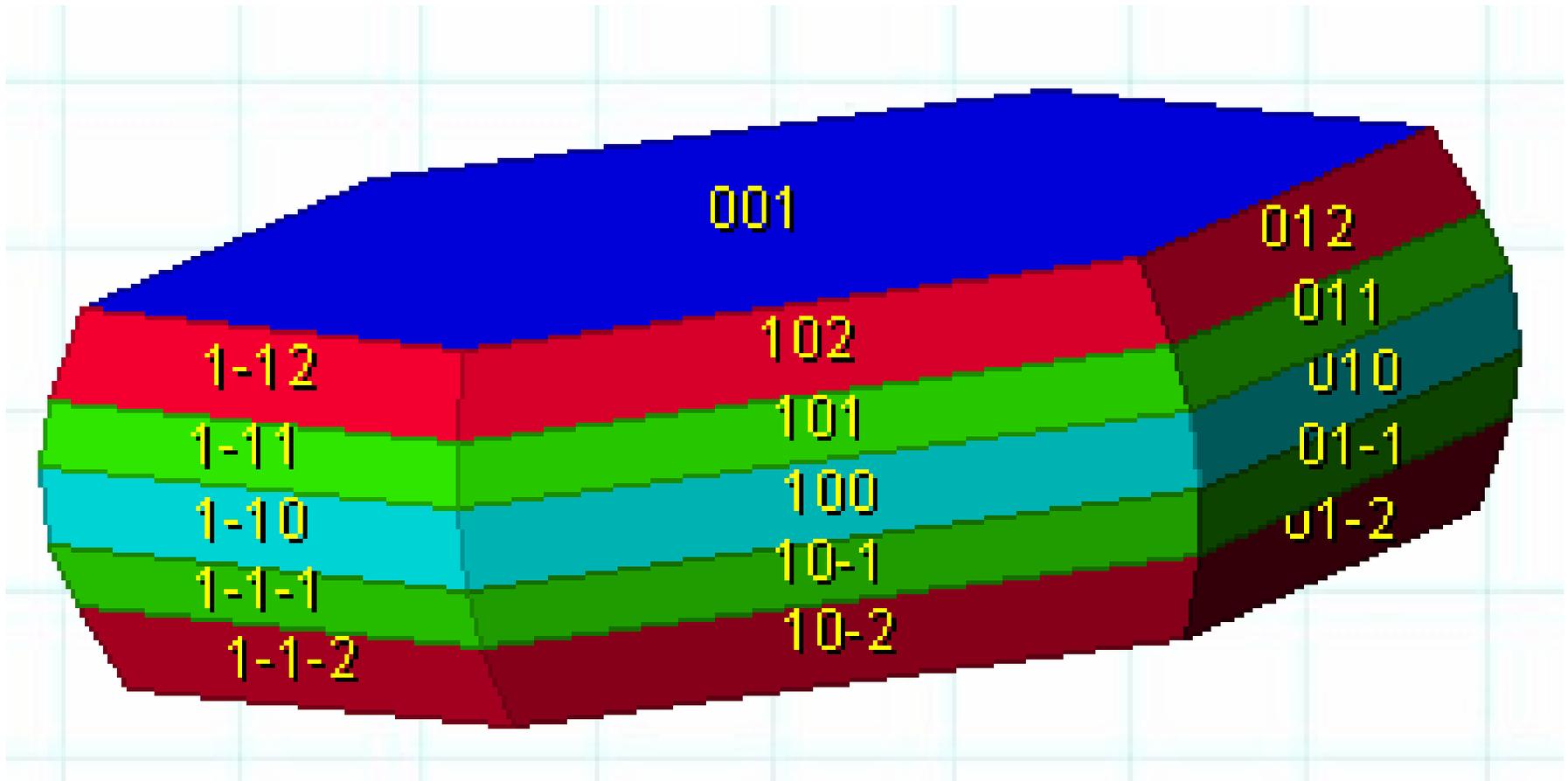
- Bildung:
- in breitem Temperaturbereich, an saure Magmen gebunden
 - pegmatitisch-pneumatolytisch
 - pneumatolytisch-hydrothermal bis tiefthermal
 - Sekundärvorkommen in lagerstättennahen Seifen
- Vorkommen:
- Bolivien, Südchina, Birma, Malaysia, Queensland, Kanada, Colorado, Kalifornien, Cornwall
 - Altenberg, Ehrenfriedersdorf im Erzgebirge
 - Tirpersdorf und Pechtelsgrün im Vogtland
- Verwendung:
- wichtigstes W-Erz
 - W als Hartmetalllegierungskomponente
 - W für Glühfäden, Kathoden, Elektroden ($T_{S,W} \approx 3400 \text{ °C}$)
 - WC („Widia“) für Bohrkronen und Schneidwerkzeuge

23. Molybdänit

Molybdänit = Molybdänglanz

Formel: MoS_2 (bis 0,3% Re !)

Kristallographie: dihexagonal-dipyramidal (6/mmm)



23. Molybdänit

Eigenschaften:

Mohs-Härte ≥ 1

$d \approx 4,7 \dots 4,8$

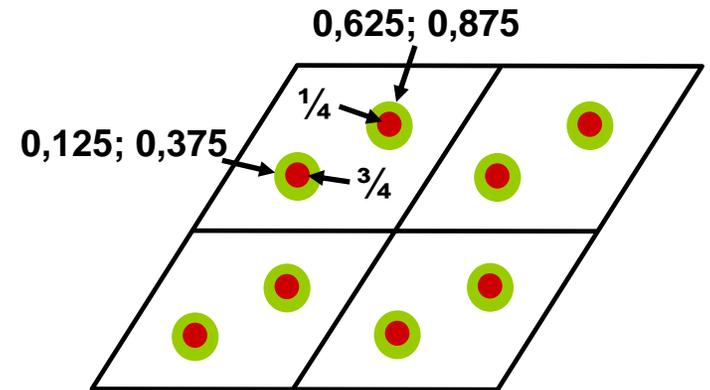
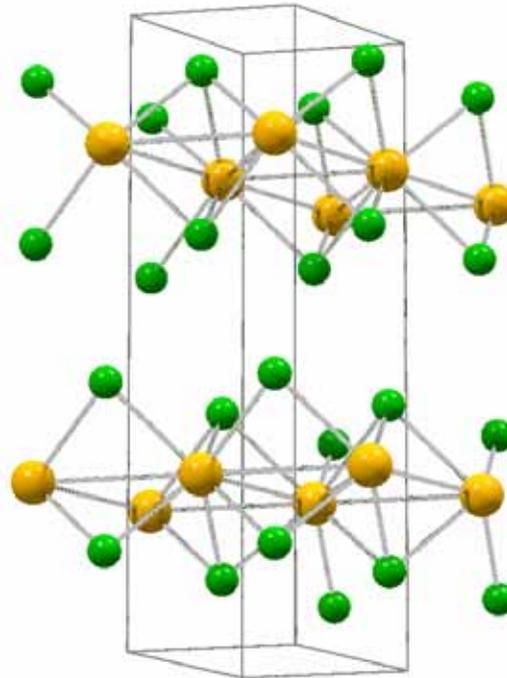
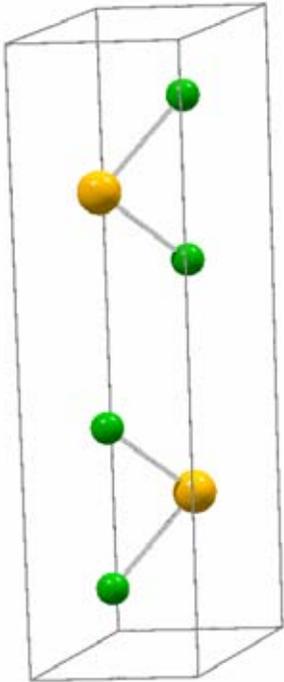
Farbe: bleigrau, opak

Strich: dunkelgrau, bei 2. Verreiben grünlich

nach (001)

Metallglanz

Habitus: meist blättrig-schuppig



Projektion

23. Molybdänit

Bildung:

- pegmatitisch-pneumatolytisch
- kontaktpneumatolytisch in Skarnen
- hochhydrothermal

Vorkommen:

- Colorado (1980 ca. 80% der Weltproduktion)
- New Jersey, Norwegen, Marokko, Kaukasus, ...
- Ehrenfriedersdorf und Altenberg im Erzgebirge
- im Granit von Niederbobritzsch

Verwendung:

- wichtigstes Mo-Erz
- HT-Trockenschmiermittel

