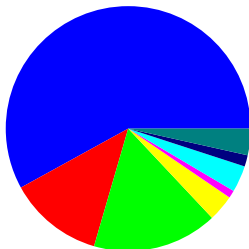
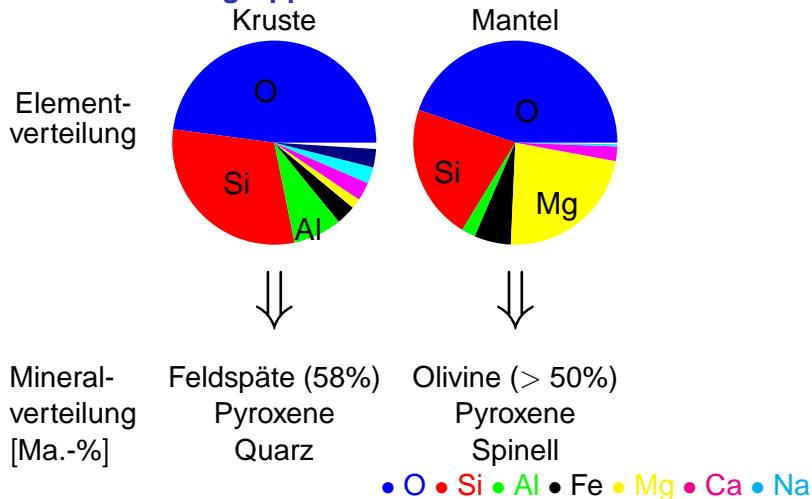


Minerale/Mineralgruppen der kontinentalen Kruste

Mineral bzw. Mineralgruppe	Anteil [Ma.-%]
Feldspäte	58.0
Quarz	12.5
Pyroxene	16.5
Amphibole	
Olivine	
Glimmer	3.5
Tonminerale	1.0
Eisenoxide	3.5
Calcit	1.5
Rest	3.5



Minerale/Mineralgruppen des oberen Erdmantels



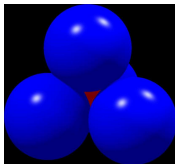
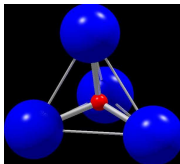
Systematik

- ▶ VIII/A.–VIII/B. Inselsilicate
- ▶ VIII/C. Gruppensilicate
- ▶ VIII/E. Ringsilicate
- ▶ VIII/F. Kettensilicate
- ▶ VIII/H. Schichtsilicate
- ▶ VIII/J. Gerüstsilicate

VIII. Silicate

192

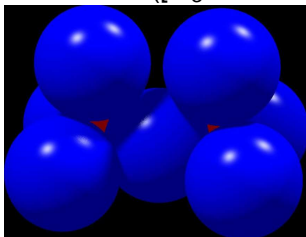
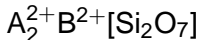
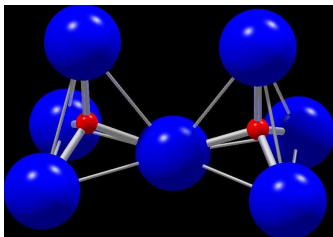
Systematik: strukturell



- ▶ Baustein: SiO_4 -Tetraeder
 - ▶ sp^3 -Hybrid (2s+2p-Elektronen der M-Schale)
 - ▶ Si-O: 15% Ionencharakter (starr, kaum deformierbar)
 - ▶ $r_{\text{O}^{2-}} = 1.32 \text{ \AA}$, $r_{\text{Si}^{4+}} = 0.34 \text{ \AA}$
 - ▶ $d_{\text{Si-O}} = 1.62 \text{ \AA}$, $d_{\text{O-O}} = 2.62 \text{ \AA}$, $\angle(\text{O-Si-O}) = 109^\circ 28'$
- ▶ Verknüpfung der Tetraeder: nur eckenverknüpft
⇒ Brückensauerstoff (Si-O-Si)
- ▶ isomorpher Ersatz Al_{Si} : AlO_4 -Tetraeder
 $r_{\text{Al}^{3+}} = 0.47 \text{ \AA}$ (Alumosilicate)
sonst: $r_{\text{Al}^{3+ [\text{VI}]}} = 0.61 \text{ \AA}$ (Aluminate, Aluminiumsilicate)
- ▶ weitere Anionen: F^- , OH^- , O^{2-}

Systematik: Verknüpfung

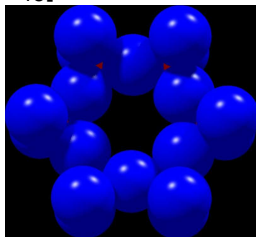
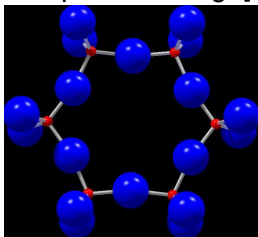
- ▶ VIII/A-B: Inselsilicate (Neso-) isolierte $[\text{SiO}_4]^{4-}$ -Tetraeder
 $\text{A}_2^{2+}[\text{SiO}_4]$ $2\text{AO}\cdot\text{SiO}_2$ $4\text{O}_E, 0\text{O}_B$ pro Si
- ▶ VIII/C: Gruppensilicate (Soro-) isolierte $[\text{Si}_2\text{O}_7]^{6-}$ -Gruppen
 $\text{B}^{4+}[\text{SiO}_4]$ $\text{BO}_2\cdot\text{SiO}_2$
 $([\text{O}_3\text{Si}-\text{O}-\text{SiO}_3]^{6-})$



Systematik: Verknüpfung

- VIII/E: Ringsilicate (Cyclo-)
 Beispiel 6er-Ring: $[\text{Si}_6\text{O}_{18}]^{12-}$

isolierte Ringe



3er-Ringe: $[\text{Si}_3\text{O}_9]^{6-}$

4er-Ringe: $[\text{Si}_4\text{O}_{12}]^{8-}$

und Doppelringe $[\text{Si}_8\text{O}_{20}]^{8-}$, $[\text{Si}_{12}\text{O}_{30}]^{12-}$

2O_E

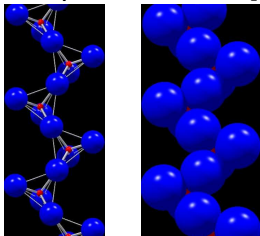
2O_B pro Si

10E

30B pro Si

Systematik: Verknüpfung

- VIII/F: Kettensilicate (Ino-) unendliche Ketten o. Bänder
 Beispiel 2er-Kette: $[\text{Si}_2\text{O}_6]_{\infty}^{4-}$



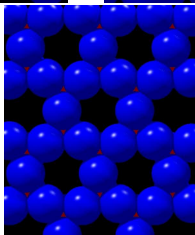
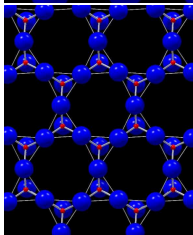
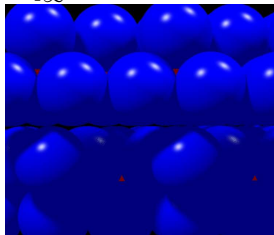
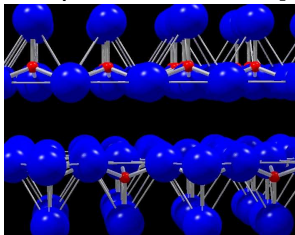
Doppel-2er-Ketten (Bänder) $[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_{\infty}^{6-}$

2O _E	2O _B pro Si
1O _E	3O _B pro Si

Systematik: Verknüpfung

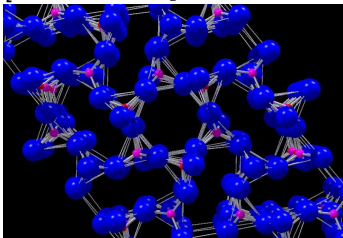
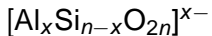
- ▶ VIII/H: Schichtsilicate (Phyllo-)

unendliche Schichten

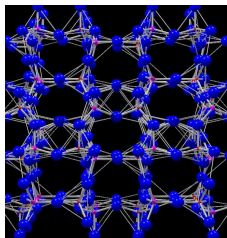
Beispiel 2er-Schicht: $[\text{Si}_2\text{O}_5]_{\infty}^{2-}$ 10_E 30_B pro Si

Systematik: Verknüpfung

- ▶ VIII/J: Gerüstsilicate (Tecto-)

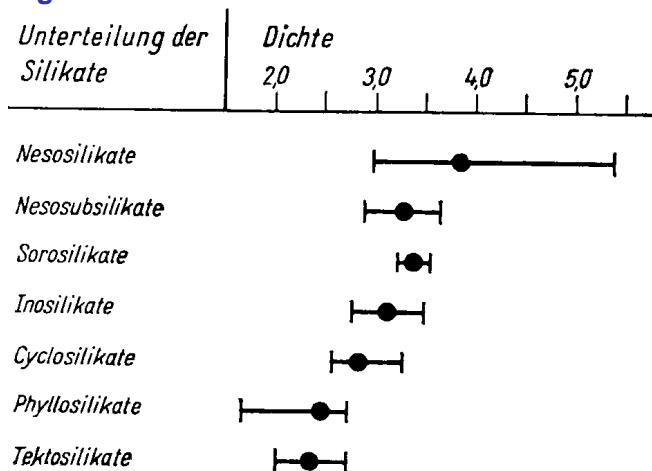


unendliches Netzwerk

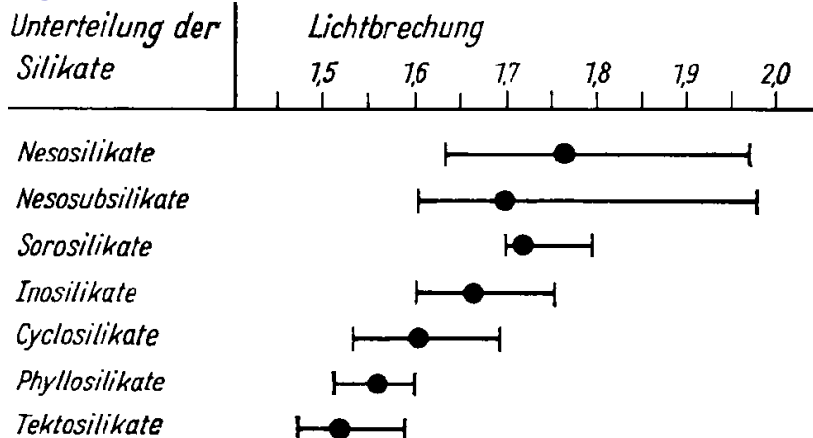
0O_E 4O_B pro Si

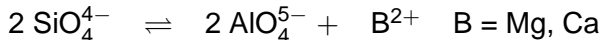
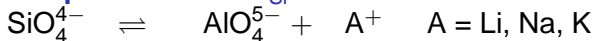
Si:O	Formel	Anionen-Art	Ladung pro O _E		
			Anion Si	Si	pro Si
1:4	[SiO ₄]	isoliertes Tetraeder	-4	-4	4
1:3 $\frac{1}{2}$	[Si ₂ O ₇]	Doppeltetraeder	-6	-3	3
1:3	[Si ₃ O ₉]	3er-Ring	-6	-2	2
1:3	[Si ₄ O ₁₂]	4er-Ring	-8	-2	2
1:3	[Si ₆ O ₁₈]	6er-Ring	-12	-2	2
1:3	[Si ₂ O ₆] _n	2er-Kette	-4n	-2	2
1:3	[Si ₃ O ₉] _n	3er-Kette	-6n	-2	2
1:2 $\frac{3}{4}$	[Si ₄ O ₁₁] _n	Doppel-2er-Kette (Band)	-6n	-1.5	1
1:2 $\frac{1}{2}$	[Si ₈ O ₂₀]	Doppel-4er-Ring	-8	-1	1
1:2 $\frac{1}{2}$	[Si ₁₂ O ₃₀]	Doppel-6er-Ring	-12	-1	1
1:2 $\frac{1}{2}$	[Si ₂ O ₅] _n	Schicht	-2n	-1	1
1:2	[(Al _x Si _{n-x} O _{2n})]	Gerüst	-x	0	0

Eigenschaften: Massen-Dichte



Eigenschaften: Brechzahl



Isomorpher Ersatz: Al_{Si} 

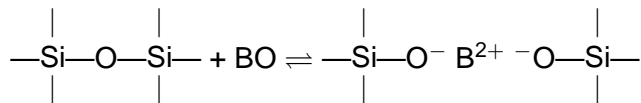
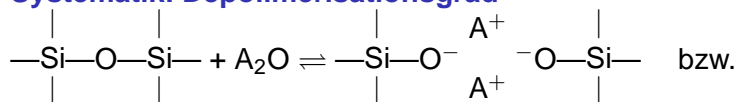
⇒ Gerüstsilicate

(vollständige Polymerisation: keine endständigen Sauerstoffe)

Doppelrolle des amphoteren Al^{3+}

- ▶ $(Si,Al)O_4$ -Tetraeder: **nur** eckenverknüpft
 $r_{Al} = 0.47 \text{ \AA}$, $r_{Si} = 0.34 \text{ \AA}$ (Alumosilicate)
- ▶ AlO_6 -Oktaeder: meist kantenverknüpft
 $r_{Al} = 0.61 \text{ \AA}$ (Aluminate, Aluminiumsilicate)

Systematik: Depolimerisationsgrad



Sauerstoff-Arten

- ▶ Sauerstoff des (Si,Al)-Tetraeders
 - ▶ O_E : endständiger Sauerstoff $\equiv \text{Si}-\text{O}^-$
(Trennstellensauerstoff)
 - ▶ O_B : Brückensauerstoff $\equiv \text{Si}-\text{O}-\text{Si} \equiv$
(Dipol: 2s/2p-Elektronenpaare) (Netzwerksauerstoff)
 - ▶ OH: endständige OH-Gruppe $\equiv \text{Si}-\text{OH}$ (statt O_E)
- ▶ weiterer Sauerstoff
 - ▶ O^{2-} : ionisch gebundener Sauerstoff (z. B. AlO_6 -Oktaeder)
 - ▶ OH^- : ionisches Anion (z. B. $\text{AlO}_4(\text{OH})_2$ -Oktaeder), auch F^-
 - ▶ H_2O : neutrales Molekül (Dipol, Wasserstoffbrückenbindung)

- ▶ $A_2^{2+}[\text{SiO}_4]$, $B^4+[\text{SiO}_4]$ und $C_2^{3+}[(\text{OH},\text{F})_2|\text{SiO}_4]$
- ▶ A^{2+} : Be^{2+} , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+}
 C^{3+} : Al^{3+} , Fe^{3+} , Cr^{3+} , Se^{3+}
 B^{4+} : Zr^{4+} , Th^{4+} , U^{4+}
- ▶ viele Mischkristallreihen
- ▶ Industrieminerale: Andalusit, Olivin- und Granat-Gruppe
- ▶ Elementrohstoffe: Zirkon, Uranophan- und Hemimorphit-Gruppe
- ▶ geowissenschaftliche Bedeutung: Granate, Al_2SiO_5 , Topas, Zirkon, Epidot

Inselsilicate mit tetraedrisch koordinierten Kationen

- ▶ VIII/A.01-20: Willemit Zn_2SiO_4

Inselsilicate mit oktaedrisch koordinierten Kationen

- ▶ VIII/A.04 Olivin-Reihe $(\text{Mg,Fe})[\text{SiO}_4]$
- ▶ VIII/A.08 Granat-Reihe $\text{Ca}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$

Inselsilicate mit überwiegend hexaedrisch koordinierten Kationen

- ▶ VIII/A.09 Zirkon-Reihe $\text{Zr}[\text{SiO}_4]$
- ▶ VIII/B.02 Disthen-Gruppe Al_2SiO_5
- ▶ VIII/B.03 Staurolit-Gruppe
- ▶ VIII/B.12-10 Titanit

fehlerhafte Einträge in webmineral.com

VIII/A Nesosilicates, with $[\text{SiO}_4]^{4-}$ groups, cations of tetrahedric orientation [4]

VIII/A.01 Phenakite series

- VIII/A.01-10 [Phenakite](#) Be_2SiO_4 R $\bar{3} \bar{3}$
- VIII/A.01-20 [Willemite](#) Zn_2SiO_4 R $\bar{3} \bar{3}$
- VIII/A.01-30 [Eucryptite](#) LiAlSiO_4 R $\bar{3} \bar{3}$

VIII/A.02 Liberite series

- VIII/A.02-10 [Liberite](#) $\text{Li}_2\text{BeSiO}_4$ Pn m

VIII/A.03 Trimerite - Larsenite series

- VIII/A.03-10 [Trimerite](#) $\text{CaMn}_2\text{Be}_3(\text{SiO}_4)_3$ P $2_1/c$ 2/m
- VIII/A.03-20 [Esperite](#) $\text{PbCa}_3\text{Zn}_4(\text{SiO}_4)_4$ B21/m 2/m
- VIII/A.03-30 [Larsenite](#) PbZnSiO_4 Pnam 2/m 2/m 2/m

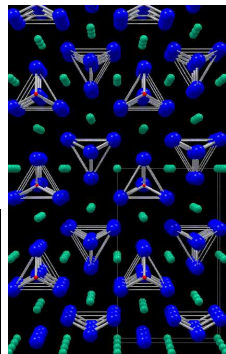
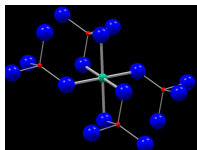
VIII/A.04 Olivine group

- VIII/A.04-00 [Olivine](#)* $(\text{Mg,Fe})_2\text{SiO}_4$ Pbnm 2/m 2/m 2/m
- VIII/A.04-10 [Forsterite](#) Mg_2SiO_4 Pbnm 2/m 2/m 2/m
- VIII/A.04-20 [Fayalite](#) $\text{Fe}_{++}2\text{SiO}_4$ Pbnm 2/m 2/m 2/m
- VIII/A.04-30 [Tephroite](#) Mn_2SiO_4 P nma 2/m 2/m 2/m
- VIII/A.04-40 [Liebenbergite](#) $(\text{Ni,Mg})_2\text{SiO}_4$ Pbnm 2/m 2/m 2/m
- VIII/A.04-50 [Laihunite](#) $\text{Fe}_{++}\text{Fe}_{+++}2(\text{SiO}_4)_2$ P ? /b 2/m

Olivin-Reihe

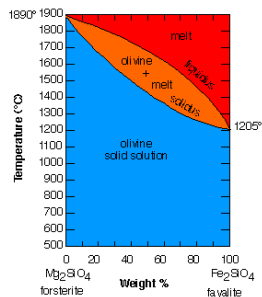
- ▶ Hauptbestandteil des oberen Erdmantels
Mg:Fe \approx 9:1
- ▶ Mischkristallreihen mit Mg, Fe, Ni, Co
 - ▶ VIII/A.04-10 Forsterite Mg_2SiO_4
 - ▶ VIII/A.04-20 Fayalite Fe_2SiO_4
 - ▶ VIII/A.04-30 Tephroite Mn_2SiO_4
 - ▶ VIII/A.04-40 Liebenbergite $(\text{Ni},\text{Mg})_2\text{SiO}_4$
- ▶ hexagonal dichteste O-Kugelpackung,
deformierte A^{2+}O_8 -Oktaeder

rhombisch



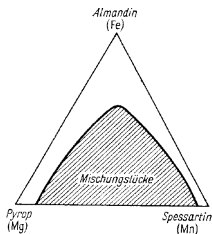
Olivin-Reihe

- ▶ Bildung
 - ▶ in basischen Gesteinen
 - ▶ intrusiv magmatisch (Gabbro, Peridotit, Dunit)
 - ▶ extrusiv (Basalt)
 - ▶ Metamorphose (z.B. aus Dolomit)
 - ▶ auch Olivinsande
- ▶ Verwendung:
 - ▶ Rohstoff für Feuerfeststeine (Fe-arme Forsterite)
 - ▶ Ni-Rohstoff bzw. Verwitterung zu Ni-Erzlagerstätten



VIII/A.08: Granat-Reihe

- ▶ $A_3^{2+}B_2^{3+}[\text{SiO}_4]_3$
 A^{2+} : Mg^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , Ca^{2+} in verz. O-Hexaedern
 B^{3+} : Al^{3+} , Fe^{3+} , Cr^{3+} , V^{3+} in verz. O-Oktaedern
- ▶ Ryralspit-Mischkristallreihe, Endglieder:
 - ▶ VIII/A.08-10: Pyrop $\text{Mg}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$
 - ▶ VIII/A.08-20: Almandin $\text{Fe}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$
 - ▶ VIII/A.08-30: Spessartin $\text{Mn}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$
- ▶ Ugrandit-Mischkristallreihe, Endglieder:
 - ▶ VIII/A.08-70: Grossular $\text{Ca}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$
 - ▶ VIII/A.08-110: Andradit $\text{Ca}_3\text{Fe}_2[\text{SiO}_4]_3$
 - ▶ VIII/A.08-130: Uwarowit $\text{Ca}_3\text{Cr}_2[\text{SiO}_4]_3$



VIII/A.08: Granat-Reihe

Nutzung

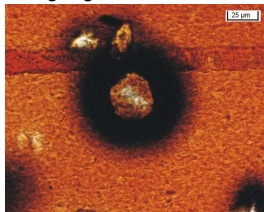
- ▶ Schmuckstein
- ▶ technologisch sehr wichtiges Material:
 Laserkristall: Nd:YAG-Laser, Yttrium-Eisen-Granat (YIG):
 Mikrowellenferrit, $Gd^{3+}Ga^{2+}[GaO_4]_3$ (GGG): magnetisch
- ▶ geowissenschaftliches Indikatormineral:
 Geothermobarometrie

	Pyrop $Mg_3Al_2[SiO_4]_3$	Almandin $Fe_3Al_2[SiO_4]_3$	Spessartin $Mn_3Al_2[SiO_4]_3$	Grossular $Ca_3Al_2[SiO_4]_3$	Andradit $Ca_3Fe_2[SiO_4]_3$
<i>magmatisch</i>					
Granit, Pegmatit	-	+	+	-	-
Kimberlit, Peridotit	+	+	-	+	-
<i>regionalmetamorph</i>					
Biotitschiefer	+	+	-	+	-
Amphibolschiefer	+	+	-	+	-
Eklogit	+	+	-	+	-
<i>kontaktmetamorph</i>					
silikat. Edukt	-	+	+	-	-
carbonat. Edukt	-	-	-	+	+

VIII/A.09 Zirkon-Reihe $Zr[SiO_4]$

- ▶ VIII/A.09-10: Zirkon $Zr[SiO_4]$ bis zu 30% HfO_2 , 12% ThO_2 oder 1,5% U_3O_8
VIII/A.09-20: Hafnon $Hf[SiO_4]$
VIII/A.09-30: Thorit $Th[SiO_4]$
- ▶ häufig metamiktisiert
- ▶ häufig pleochroitische Höfe
- ▶ äußerst resistent, Schwermineral
- ▶ Nutzung
 - ▶ Rohstoff für Baddeleyit
 - ▶ geowissenschaftlich: Altersbestimmung
Th- und U-Zerfallsreihen: Pb-U und Pb-Th-Verhältnisse
ältesten bekannten Mineral 4,404 Mrd a (Westaustralien)
 - ▶ Elementrohstoff: Zr, Hf
 - ▶ Edelstein (rot-orange: Hyazinth)

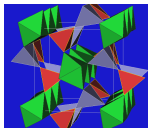
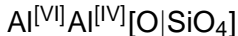
tetragonal



VIII/B.02 Al_2SiO_5 -Gruppe

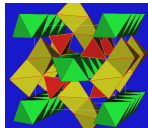
VIII/B.02-10

Sillimanit

 AlO_4 -Tetraeder

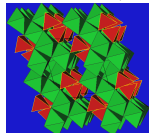
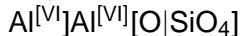
VIII/B.02-20

Andalusit

 AlO_5 -trigonale
Bipyramiden

VIII/B.02-40

Kyanit (Disten)

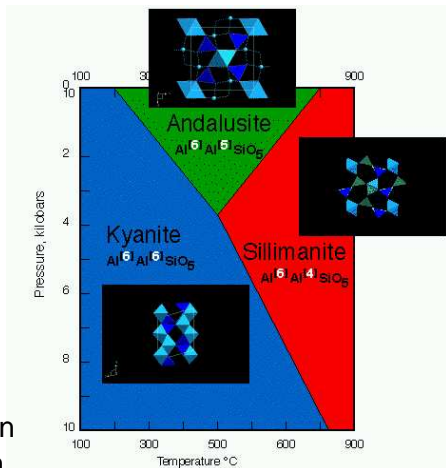
 AlO_6 -Oktaeder

- ▶ kantenverknüpfte AlO_6 -Oktaeder
- ▶ isolierte SiO_4 -Tetraeder, Verknüpfung der Oktaederketten
- ▶ $\text{Al}_2\text{SiO}_5 = \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$
- ▶ typische metamorphe Minerale

VIII/B.02 Al_2SiO_5 -Gruppe

- ▶ Geothermobarometer

- ▶ VIII/B.02-50: Mullit
 $\text{Al}_{4+2x}\text{Si}_{2-2x}\text{O}_{10-x}$
 mit $x = 0.17-0.59$
 Normaldruck-Modifikation
 mit Sauerstoffleerstellen

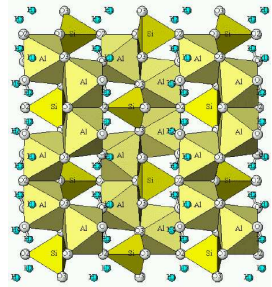


VIII/A–B: Inselsilicate

214

VIII/B.02-70: Topas $\text{Al}_2[(\text{F},\text{OH})_2|\text{SiO}_4]$

- ▶ dichte O-F-OH-Anionenpackung
- ▶ AlO_4F_2 -Oktaeder: Ketten
- ▶ SiO_4 -Tetraeder:
Verknüpfung der Ketten
- ▶ kein F-freier Topas
- ▶ Greisen (hochhydrothermal)
- ▶ Edelstein (hoher Glanz): Schneckenstein



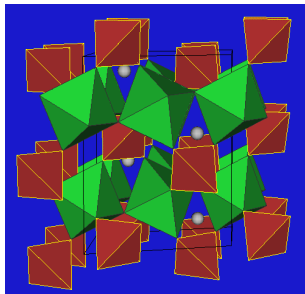
(Pyknit, Altenberg)

VIII/B.03-10: Staurolit $(\text{Fe,Mg})_2\text{Al}_9[\text{O}_6(\text{OH},\text{O})_2](\text{SiO}_4)$

- ▶ Durchkreuzungszwillinge typisch
- ▶ in metamorphen Sedimentgesteinen

VIII/B.12-10: Titanite $\text{CaTi}[\text{O}|\text{SiO}_4]$

- ▶ isolierte SiO_4 -Tetraeder
- ▶ TiO_6 -Oktaeder
- ▶ CaO_7 -Polyeder
- ▶ Ti-Rohstoff, Schmuckstein

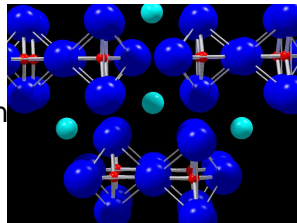


Systematik

- ▶ fast nur 2er Gruppen: $[\text{Si}_2\text{O}_7]^{-6}$
 - VIII/C.01-10: Thortveitit $(\text{Sc}, \text{Y})_2[\text{Si}_2\text{O}_7]$
 - VIII/C.02: Melilith-Reihe $(\text{Ca}, \text{Na})_2(\text{Mg}, \text{Al})[\text{Si}_2\text{O}_7]$
- ▶ auch weitere Anionen: O^{2-} , OH^- , F^- , Cl^- , CO_3^{2-}
 - H_2O -Moleküle VIII/C.08-10: Hemimorphit
 - $\text{Zn}_4[(\text{OH})_2|\text{Si}_2\text{O}_7]\cdot\text{H}_2\text{O}$
- ▶ „Mischstrukturen“ von Gruppen und Inseln
 - VIII/C.23-20: Epidot $\text{Ca}_2(\text{Fe}, \text{Al})\text{Al}_2[\text{O}|\text{OH}|\text{SiO}_4|\text{Si}_2\text{O}_7]$
 - VIII/C.23-100: Zoisit $\text{Ca}_2\text{Al}_3[\text{O}|\text{OH}|\text{SiO}_4|\text{Si}_2\text{O}_7]$

VIII/C.01-10: Thortveitit $(\text{Sc},\text{Y})_2[\text{Si}_2\text{O}_7]$

- ▶ wichtigstes Sc-Erzmineral
- ▶ Vorkommen in Granit-Pegmatiten
Norwegen, Madagaskar
- ▶ wechselständige $[\text{Si}_2\text{O}_7]^{6+}$ -Gruppen
- ▶ ScO_6 -Oktaeder



VIII/C.02: Melilith-Reihe

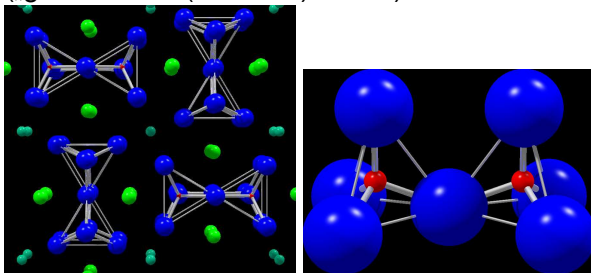


- ▶ VIII/C.02-10: Åkermanite $\text{Ca}_2\text{Mg}[\text{Si}_2\text{O}_7]$
- ▶ VIII/C.02-15 Gehlenite $\text{Ca}_2\text{Al}[\text{AlSiO}_7]$
- ▶ lückenlose Mischkristallreihe
- ▶ gekoppelter Ersatz: $\text{Mg}^{2+ [IV]} + \text{Si}^{4+} \rightleftharpoons \text{Al}_{\text{Mg}}^{3+ [IV]} + \text{Al}_{\text{Si}}^{3+ [IV]}$
- ▶ Vorkommen in Ca-reichen, Si-untersättigten Vulkaniten, auch kontaktmetamorph
- ▶ typischer Bestandteil in Hüttenschlacken und Zementklinkern

VIII/C.02: Melilith-Reihe



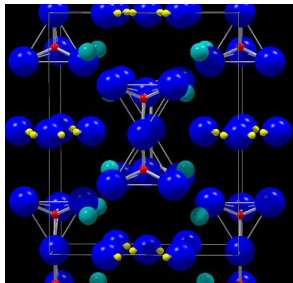
- ▶ Si_2O_7 - bzw. AlSiO_7 -Gruppen
(„geknickt“: $\angle (\text{Si}-\text{O}-\text{Si})=139^\circ$)



- ▶ weitere MgO_4 - und AlO_4 -Tetraeder!

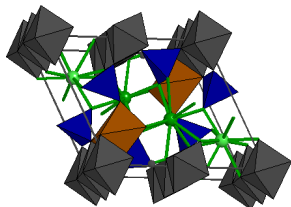
VIII/C.08-10: Hemimorphit $\text{Zn}_4[(\text{OH})_2|\text{Si}_2\text{O}_7]\cdot\text{H}_2\text{O}$ Kieselzinkerz

- ▶ wichtiges Zinkerz
- ▶ Bildung: sedimentär in Oxidationszonen
- ▶ Si_2O_7 -Doppeltetraeder
- ▶ $\text{Zn}_2\text{O}_6\text{OH}$ -Doppeltetraeder
- ▶ H_2O -Moleküle:
kontinuierliche Abgabe
bis 500°C ohne Zersetzung



VIII/C.23: Epidot-Gruppe

- ▶ „Mischstrukturen“: SiO_4 -Tetraeder **und** Si_2O_7 -Gruppen mit O^{2-} , OH^- , F^-
- ▶ AlO_6 -Ketten (2- und 3-fache Kantenverknüpfung)
 SiO_4 - und Si_2O_7 -Gruppen:
 Verknüpfung der Ketten
 CaO_8 -Hexaeder

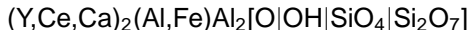


- ▶ VIII/C.23-20: Epidot $\text{Ca}_2(\text{Fe,Al})\text{Al}_2[\text{O}|\text{OH}|\text{SiO}_4|\text{Si}_2\text{O}_7]$
 (Pistazit)
- ▶ VIII/C.23-100: Zoisit $\text{Ca}_2\text{AlAl}_2[\text{O}|\text{OH}|\text{SiO}_4|\text{Si}_2\text{O}_7]$
- ▶ vollständige Mischkristallreihe zwischen Epidot und Zoisit

VIII/C.23: Epidot-Gruppe

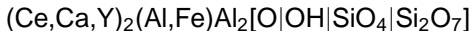
▶ Allanit (Orthit)

- ▶ VIII/C.23-60: Y-Allanit



- ▶ VIII/C.23-65: La-Allanit (SEE,Ca)
- ₂
- FeAl
- ₂
- [O|OH|SiO
- ₄
- |Si
- ₂
- O
- ₇
-]

- ▶ V VIII/C.23-80 Ce-Allanit



- ▶ SE-Erzmineral: bis 28% SE-Oxid (3.8–7.0% Ce
- ₂
- O
- ₃
- , 7-8.4% Sm
- ₂
- O
- ₃
- , 2.2–4.2% La
- ₂
- O
- ₃
- , bis 1.3% Y
- ₂
- O
- ₃
- , bis 5.6% ThO
- ₂
- Isotropisierung

- ▶ Vesuvian Ca
- ₁₉
- Al
- ₁₀
- (Mg,Fe)
- ₃
- [(OH,F)
- ₁₀
- |(SiO
- ₄
-)
- ₁₀
- |Si
- ₂
- O
- ₇
-]

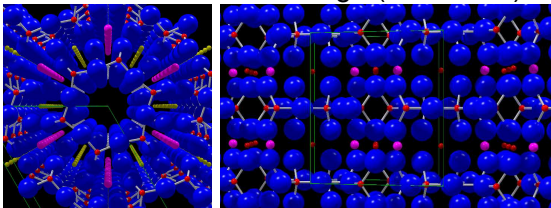
- ▶ Bildung: Metamorphose

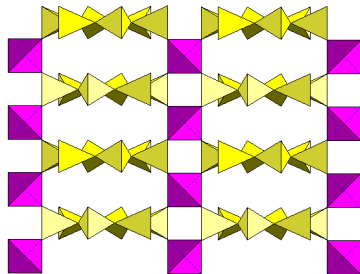
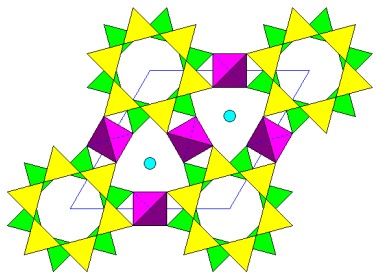
Systematik

- ▶ 3er-Ringe: $[\text{Si}_3\text{O}_9]^{6-}$ VIII/E.01–05
- ▶ 4er-Ringe: $[\text{Si}_4\text{O}_{12}]^{8-}$ VIII/E.06–9
- ▶ Doppel-4er-Ringe: $[\text{Si}_8\text{O}_{20}]^{8-}$ VIII/E.10
- ▶ **6er-Ringe**: $[\text{Si}_6\text{O}_{18}]^{12-}$ VIII/E.12–21
Beryll, Cordierit, Turmalin
- ▶ Doppel-6er-Ringe: $[\text{Si}_{12}\text{O}_{30}]^{12-}$ VIII/E.22–25

VIII/E.12-10: Beryll $\text{Al}_2\text{Be}_3[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$

- ▶ symmetrische 6er-Ringe → hexagonales Kristallsystem
- ▶ Be: tetraedrische Koordination
Al: oktaedrische Koordination
→ Zusammenhalt der Ringe (Schichten)



VIII/E.12-10: Beryll $\text{Al}_2\text{Be}_3[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$ 

VIII/E.12-10: Beryll $\text{Al}_2\text{Be}_3[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$

- ▶ in Pegamtit-Gängen, auch Seifen
- ▶ wichtigstes Be-Mineral
 - ▶ für Al- und Mg-Legierungen
 - ▶ in Be-Cu-Bronzen für Elektronikindustrie
 - ▶ Kernkrafttechnik
 - ▶ Be-Borate: Austrittsfenster für Röntgenröhren
 - ▶ Schmuckstein
- ▶ Varietäten
 - ▶ gemeiner Beryll: grünlich trüb
Riesenkristalle (18 m lang, 3.5 m Durchmesser, 380 t)
 - ▶ Smaragd (Cr^{3+}): grün
 - ▶ Aquamarin: blaugrün
 - ▶ Morganit (Mn^{3+}): rosa
 - ▶ Goldberyll: gelb

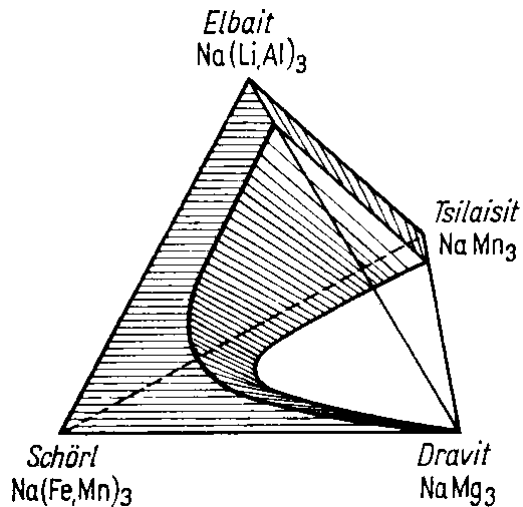
VIII/E.12-40: Cordierit $\text{Mg}_2\text{Al}_3[\text{AlSi}_5\text{O}_{18}]$

- ▶ sehr ähnlich der Beryllstruktur
 - ▶ $\text{Al}^{3+[\text{VI}]} \rightleftharpoons \text{Mg}^{2+[\text{VI}]}$
 - ▶ $\text{Be}^{2+[\text{IV}]} + \text{Si}^{4+[\text{IV}]} \rightleftharpoons \text{Al}^{3+[\text{IV}]} + \text{Al}^{3+[\text{IV}]}$
 - ▶ aber alle Al tetraedrisch koordiniert: Verknüpfung zum Gerüst
 - ▶ Si/Al-Ordnungs-Unordnungszustände:
 $\text{Mg}_2(\text{Al},\text{Si})_3[(\text{Al},\text{Si}_6\text{O}_{18})]$
- ▶ wechselnder Wassergehalt: Einbau in Kanäle
- ▶ metamorphe Bildung
- ▶ geringe Wärmedehnung: temperaturwechselbeständige Keramik

VIII/E.19: Turmalin-Reihe

- ▶ Mischkristallreihe: $A^{[IX]}B_3^{[VI]}C_6^{[VI]}[(OH)_4|(BO_3)_3|Si_6O_{18}]$ mit
 - A: Na^+ , Ca^{2+}
 - B: Al^{3+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Li^+ , Mg^{2+} , Ti^{4+} , Cr^{3+}
 - C: Al^{3+} , Fe^{3+}
- ▶ VIII/E.19-10: Elbaite $Na(Li,Al)_3Al_6(OH)_4[(BO_3)_3|Si_6O_{18}]$
- ▶ VIII/E.19-20: Dravit $NaMg_3Al_6(OH)_4[(BO_3)_3|Si_6O_{18}]$
- ▶ VIII/E.19-50: Schörl $NaFe_3(Fe,Al)_6(OH)_4[(BO_3)_3|Si_6O_{18}]$
- ▶ VIII/E.19-70: Buergerit $NaFe_3Al_6(F|OH)_4[(BO_3)_3|Si_6O_{18}]$
- ▶ VIII/E.19-90:
 - Uvit $(Ca,Na)(Mg,Fe)_3Al_5Mg(OH)_4[(BO_3)_3|Si_6O_{18}]$
- ▶ unbegrenzte Mischbarkeit vorallem bei Na-Turmalinen
 - ▶ Schörl ($NaFe_3$) – Dravit ($NaMg_3$) – Tsilaisit ($NaMn_3$)
 - ▶ Schörl ($NaFe_3$) – Elbait ($Na(Li,Al)_3$) – Tsilaisit ($NaMn_3$)

VIII/E.19: Turmalin-Reihe

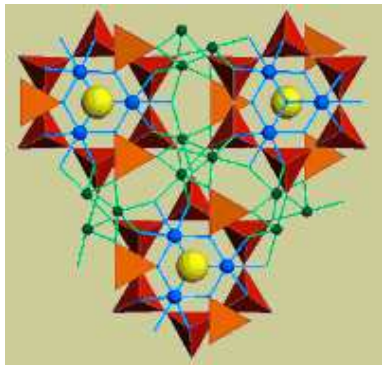


VIII/E.19: Turmalin-Reihe

- ▶ Mischkristallbildung: Polychrom und Zonarbau (Indikatormineral)
- ▶ Farbe: Chemismus und Realstruktur
Elbaite (Li-reich): farblos, rosa, grün (polychrom)
Dravit (M-reich): braun bis schwarz
Schörl (Fe-reich): schwarz
Buergerit: dunkelbraun
Uvit: dunkelbraun
- ▶ oft stenglig, nadelig, radialstralig
- ▶ pegamtitische Bildung (inkompatible Elemente: Li, B, F)
- ▶ wichtiger Edelstein, auch Borerz
- ▶ Pyro- und Piezoelektrizität

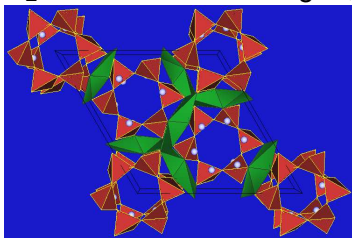
VIII/E.19: Turmalin-Reihe

- ▶ Si_6O_{18} -Ringe
- ▶ 3 planare BO_3 -Gruppen: verknüpft mit Si_6O_{18} -Ringen
- ▶ kantenverküpfte $\text{AlO}_4(\text{OH})_2$ -Oktaeder
- ▶ A-Atome: oktaederisch koordiniert



VIII/E.21-10: Dioptas $\text{Cu}_6[\text{Si}_6\text{O}_{18}]\cdot 6\text{H}_2\text{O}$

- ▶ (deformierte) Si_6O_{18} -Ringe: trigonal
 H_2O zwischen den Ringen, nicht im Kanal



- ▶ in Oxidationszone von Cu-Lagerstätten
- ▶ smaragdgrün, auch Schmuckstein