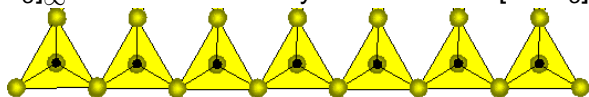
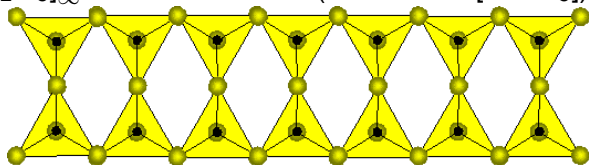


## Systematik

- ▶ 1er-Kette:  $[\text{SiO}_3]_{\infty}^{2-}$  nur synthetisches  $\text{Cu}[\text{GeO}_3]$



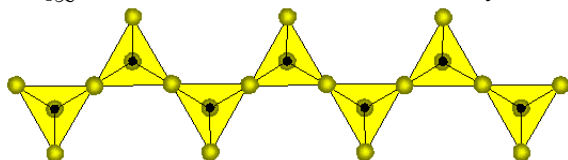
- ▶ 1er-Band:  $[\text{Si}_2\text{O}_5]_{\infty}^{2-}$  (Sillimanit  $\text{Al}[\text{AlSiO}_5]$ )



## Systematik

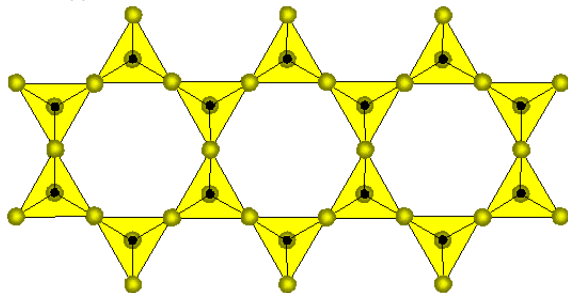
- 2er-Kette:  $[\text{Si}_2\text{O}_6]_{\infty}^{4-}$

VIII/F.01-02: Pyroxene



- 2er-Band:  $[\text{Si}_4\text{O}_{11}]_{\infty}^{6-}$

VIII/F.07-13: Amphibole



### Systematik

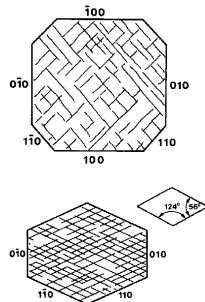
- ▶ 3er-Kette:  $[\text{Si}_3\text{O}_9]_{\infty}^{6-}$  VIII/F.18 Wollastonit
- ▶ 3er-Band:  $[\text{Si}_6\text{O}_{17}]_{\infty}^{10-}$  VIII/F.21-30: Xonotlit
- ▶ 5er-Kette:  $[\text{Si}_5\text{O}_{15}]_{\infty}^{10-}$  VIII/F.27: Rhodonit
- ▶ 7er-Kette:  $[\text{Si}_7\text{O}_{21}]_{\infty}^{14-}$  VIII/F.31-20: Pyroxmangit
- ▶ 8er-Kette:  $[\text{Si}_8\text{O}_{20}]_{\infty}^{8-}$  VIII/F.34-10: Narsarsukit

## Pyroxen- und Amphibol-Familien

- ▶ wichtige gesteinsbildene Mineralgruppen
- ▶ ähnliche chemische, strukturelle und physikalische Eigenschaften
- ▶ Pyroxene: Si:O=4:12
- ▶ Amphibole: Si:O=4:11
- ▶ weitgehend gleiche Kationen
- ▶ Amphibole zusätzlich  $\text{OH}^-$ -Ionen  $\Rightarrow$  niedrigere Dichte und Lichtbrechung  
Pyroxene: keine OH-Gruppen  $\Rightarrow$  Bildung bei höheren Temperaturen

## Pyroxen- und Amphibol-Familien

- ▶ Pyroxene: kurze, säulige Kristalle  
Amphibole: lange, stenglige, nadlige Kristalle
- ▶ wichtiges Unterscheidungsmerkmal: Spaltwinkel
  - ▶ Pyroxene:  $87^\circ$
  - ▶ Amphibole:  $124^\circ$
- ▶ kaum wirtschaftliche, aber große geowissenschaftliche Bedeutung

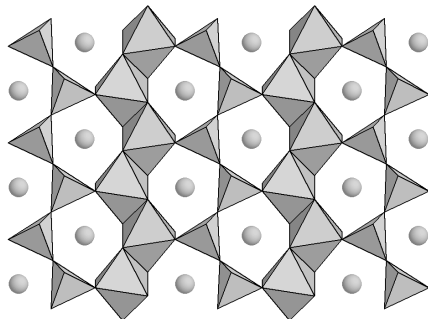


## Pyroxen-Familie

- ▶  $A^{[VIII]}B^{[VI]}[X_2(O,OH)_6]$   $[Si_2O_6]_{\infty}^{4-}$ 
  - ▶  $A^{[VIII]} = Na^+, K^+, Ca^{2+}, Fe^{2+}, Mg^{2+}, Mn^{2+}$
  - ▶  $B^{[VI]} = Fe^{2+}, Mg^{2+}, Mn^{2+}, Zn^{2+}, Fe^{3+}, Al^{3+}, Cr^{3+}, V^{3+}, Ti^{4+}, Li^+$
  - ▶  $X = Si^{4+}, Al^{3+}$
- ▶ abnehmende Größe: A-B-X
- ▶ (ortho-)rhombische Pyroxene:  $r_A = r_B$  ([VI]-Koordination)
- ▶ sonst: monoklines Kristallsystem (Symmetrierniedrigung)

## Pyroxen-Familie

- ▶  $[\text{Si}_2\text{O}_6]_{\infty}^{4-}$ : starre 2er-Ketten  $\parallel \vec{c}$ -Achse
- ▶ seitliche Absättigung der Ketten durch Kationen

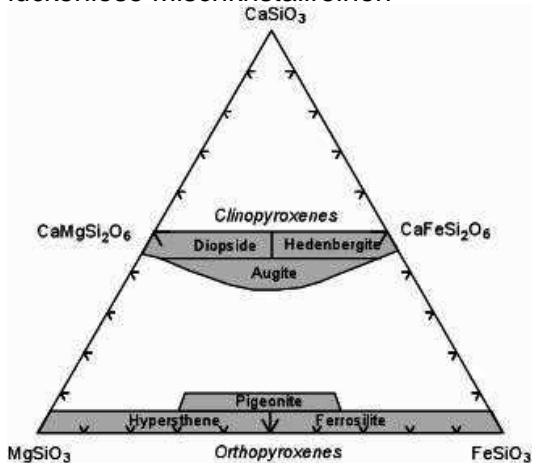


## Pyroxen-Familie

- ▶ VIII/F.01: Klinopyroxene monoklin
  - ▶ Ca-Pyroxene
  - ▶ Na-Ca-Pyroxene
  - ▶ Li-Pyroxen
  - ▶ Na-Pyroxen
- ▶ VIII/F.02: Orthopyroxene (ortho-)rhombisch
  - ▶ Mg-Fe-Pyroxene
- ▶ viele Mischkristallreihen

## Pyroxen-Familie

- ▶ lückenlose Mischkristallreihen



## VIII/F.02: Mg-Fe-Pyroxene

## (Orthopyroxen)

VIII/F.02-10	Enstatit	$\text{Mg}_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$	>90% En
	(Bronzit)	$(\text{Mg,Fe})_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$	70–90% En
VIII/F.02-00	Hypersthen	$(\text{Mg,Fe})_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$	50–70% En
VIII/F.02-20	Ferrohypersthen	$(\text{Fe,Mg})_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$	30–50% En
	(Ferrosilit)	$\text{Fe}_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$	<30% En

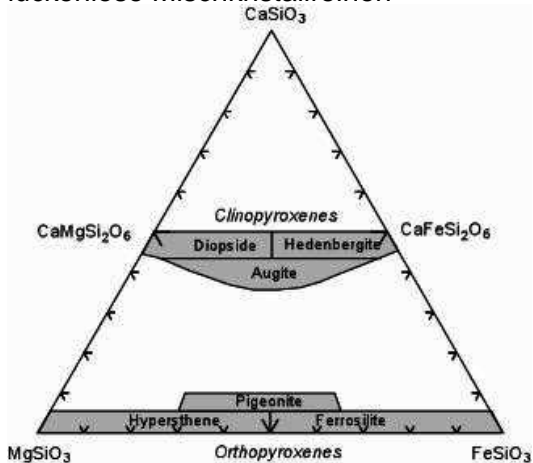
## VIII/F.02: Mg-Fe-Pyroxene

## (Orthopyroxen)

- ▶ Ferrosilit: nicht in der Natur beobachtet
- ▶ max. 5 Mol.-%  $\text{Ca}_2\text{Si}_2\text{O}_6$  (VIII/F.18-10: Wollastonit)
- ▶ weit verbreitet in magmatischen Gesteinen
- ▶ typisch für hochgradig metamorphe Gesteine
- ▶ (Ortho-)Enstatit  $\xrightarrow{1140^\circ\text{C}}$  Klinoenstatit  $\xrightarrow{1557^\circ\text{C}}$  Forsterit + Cristobalit
- ▶ Enstatit: Rohstoff für Feuerfestmaterial (wie Forsterit)
- ▶ (Klinoenstatit nur in Meteoriten)

## Pyroxen-Familie

- ▶ lückenlose Mischkristallreihen

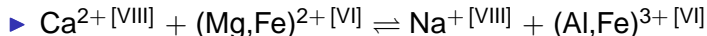


## VIII/F.01: Ca-Pyroxene

## Klinopyroxene

VIII/F.01-50	Diopsid	$\text{CaMg}[\text{Si}_2\text{O}_6]$	>90% Di
	(Salit)	$\text{Ca}(\text{Mg,Fe})[\text{Si}_2\text{O}_6]$	50–90% Di
	(Ferrosalit)	$\text{Ca}(\text{Fe,Mg})[\text{Si}_2\text{O}_6]$	10–50% Di
VIII/F.01-60	Hedenbergit	$\text{CaFe}[\text{Si}_2\text{O}_6]$	<10% Di
VIII/F.01-90	Augit	$(\text{Ca,Na})(\text{Mg,Fe,Al,Ti})[(\text{Si,Al})_2\text{O}_6]$	

- ▶  $2(\text{Mg,Fe})^{2+[\text{VI}]} \rightleftharpoons \text{Ca}^{2+[\text{VIII}]} + (\text{Mg,Fe})^{2+[\text{VI}]}$
- ▶  $(\text{Mg,Fe})^{2+[\text{VI}]} + \text{Si}^{4+[\text{IV}]} \rightleftharpoons \text{Al}^{3+[\text{VI}]} + \text{Al}^{3+[\text{IV}]}$
- ▶  $\text{CaAl}[\text{AlSiO}_6]$ : kommt nicht vor (nur als Augit)
- ▶ häufige, gesteinsbildende Minerale
- ▶ Augit: dunkler Gemengeanteil in basischen Gesteinen
- ▶ Diopsid: in metamorphen Gesteinen
- ▶ Diopsid: auch Edelsteinqualität

**VIII/F.01: Na-Pyroxene****Klinopyroxene**VIII/F.01-130 Jadeit  $\text{NaAl}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ VIII/F.01-140 Ägirin  $\text{NaFe}[\text{Si}_2\text{O}_6]$ **VIII/F.01: Na-Ca-Pyroxene****Klinopyroxene**VIII/F.01-100 Omphacit  $(\text{Na,Ca})(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg,Al})[\text{Si}_2\text{O}_6]$ 

Jadeit-Augit-Mischkristallreihe

(Ägirinaugit)  $(\text{Na,Ca})(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg,Fe}^{3+}, \text{Al})[\text{Si}_2\text{O}_6]$ 

Ägirin-Augit-Mischkristallreihe

## VIII/F.01: Klinopyroxene

## Li-Pyroxene

- ▶ VIII/F.01-120: Spodumen  $\text{LiAl}[\text{Si}_2\text{O}_6]$
- ▶ charakteristisch für Li-reiche Pegmatite (bis 12 m Länge)  
auch hydrothermale Bildung (Edelspodumen)
- ▶ wichtiger Li-Rohstoff für Glas- und Keramikindustrie  
(optische Dispersion, Flussmittel)
- ▶ wichtige Kristallphase in Glaskeramik (Kochfelder):  
geringer thermische Ausdehnungskoeffizient

## VIII/F.18: Wollastonit-Reihe (3er-Einfachketten)

- ▶ Pyroxenoid
- ▶ VIII/F.18-10: Wollastonit  $\text{Ca}[\text{SiO}_3]$  ( $\text{Ca}_3[\text{Si}_3\text{O}_9]$ )
- ▶ Ca zu groß für 2er-Kette oder -Band
- ▶ typisches metamorphes Mineral, z. B.:  
Calcit + Quarz  $\rightarrow$  Wollastonit +  $\text{CO}_2$
- ▶ feuerfester, keramischer Werkstoff, Füllmaterial in Kunststoffen, Isolier

## VIII/F.27 Rhodonit-Reihe (5er-Einfachkette)

- ▶ Pyroxenoid
- ▶ VIII/F.27-10 Rhodonite  $(\text{Mn,Fe,Mg,Ca})_5[\text{Si}_5\text{O}_{15}]$
- ▶ Schmuckstein: rote Farbe

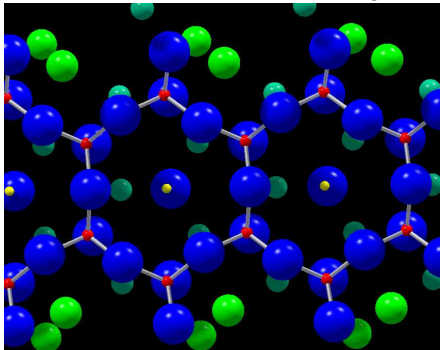
## Amphibol-Familie

- ▶  $A_{0-1}B_2C_5[(OH,F)|X_4O_{11}]_2$       Bänder mit  $[Si_4O_{11}]_{\infty}^{6-}$ 
  - ▶  $A^{[X-XII]} = Na^+$  (auch  $K^+$ ),  $\square$  (Leerstelle)
  - ▶  $B^{[VIII]} = Ca^{2+}, Na^+, Mg^{2+}, Fe^{2+}, Mn^{2+}$
  - ▶  $C^{[VI]} = Mg^{2+}, Fe^{2+}, Mn^{2+}, Al^{3+}, Fe^{3+}, Ti^{4+}$
  - ▶  $X^{[IV]} = Si^{4+}, Al^{3+}$
  - ▶ Kettenmitte (im „Ring“) =  $OH^-$ ,  $F^-$
- ▶ (ortho-)rhombische Amphibole:  $r_B = r_C$ : [VI]-Koordination
- ▶ sonst: monoklines Kristallsystem

## Amphibol-Familie

- ▶ Bänder (2er-Doppelketten)

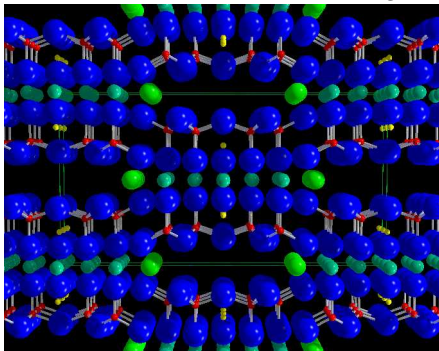
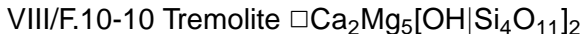
VIII/F.10-10 Tremolit  $\square\text{Ca}_2\text{Mg}_5[\text{OH}|\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2$



$\text{OH}^-$ -Gruppe  
im „Ring“  
(Kettenmitte)

## Amphibol-Familie

- ▶ Bänder (2er-Doppelketten):



Bänder  $\perp$   
zur Zeichenebene

zwischen  
den Bändern:  
B- und C-Kationen,  
A-Leerstelle

## Amphibol-Familie

- ▶ Klinoamphibole monoklin
  - ▶ Ca-Amphibole, arm an Alkalien: VIII/F.10 Tremolit-Reihe
  - ▶ Na-Amphibole: VIII/F.08 Glaukophan-Reihe
- ▶ Orthoamphibole (ortho-)rhombisch
  - ▶ Mg-Fe-Amphibole:  
VIII/F.07 Grunerit-Reihe  
VIII/F.12 Anthophyllit-Reihe
- ▶ viele Mischkristallreihen

## VIII/F.12: Mg-Fe-Amphibole

## Orthoamphibole

VIII/F.12-60 Anthophyllit  $\square \text{Mg}_7[\text{OH}|\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2$ VIII/F.12-70 Ferro-anthophyllit  $\square \text{Fe}_7[\text{OH}|\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2$ VIII/F.12-100 Gedrit  $\square \text{Mg}_5\text{Al}_2[\text{OH}|\text{AlSi}_3\text{O}_{11}]_2$ VIII/F.12-110 Ferrogedrit  $\square \text{Fe}_5\text{Al}_2[\text{OH}|\text{AlSi}_3\text{O}_{11}]_2$ 

- ▶ lückenlose Mischbarkeit zw. Fe-Mg-Endgliedern
- ▶  $(\text{Mg,Fe})^{2+ [\text{VI}]} + \text{Si}^{4+ [\text{IV}]} \rightleftharpoons \text{Al}^{3+ [\text{VI}]} + \text{Al}^{3+ [\text{IV}]}$
- ▶ durch Metamorphose von Ca-armen, Fe/Mg-reichen Sedimenten
- ▶ chemisch und äußerlich sehr ähnlich dem Enstatit und Hypersten
- ▶ Klinoamphibole
  - VIII/F.07-20 Cummingtonit  $\square \text{Mg}_7[\text{OH}|\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2$
  - VIII/F.07-30 Grunerit  $\square \text{Fe}_7[\text{OH}|\text{Si}_4\text{O}_{11}]_2$

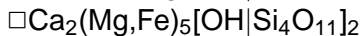
## VIII/F.10: Ca-Amphibole

## Klinoamphibole

VIII/F.10-10 Tremolit



VIII/F.10-20 Aktinolit

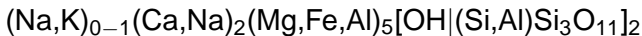


(Strahlstein)

VIII/F.10-30 Ferro-Aktinolit



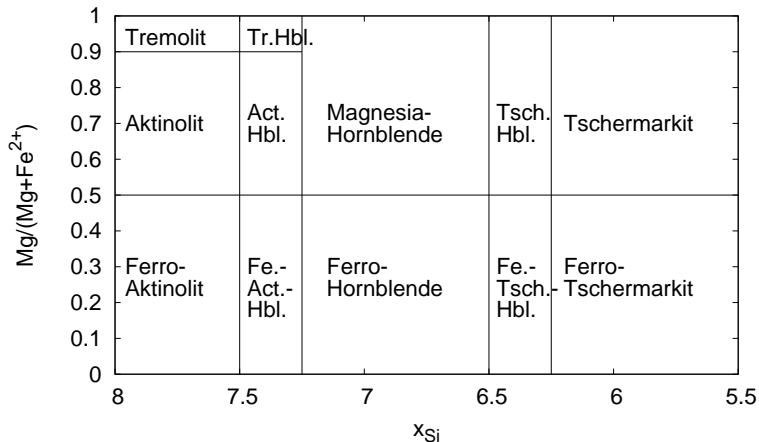
VIII/F.10-... Hornblende



- ▶ ausgedehnte Mischkristallreihen mit zahlreichen Endgliedern
- ▶ Al- und Fe-Oxid-haltig
- ▶ der wichtigste und am meisten verbreitete gesteinsbildende Amphibol
- ▶ Vorkommen in Magmatiten und Metamorphiten
- ▶ Asbest-Minerale

## VIII/F.10: Ca-Amphibole

## Klinoamphibole



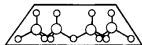
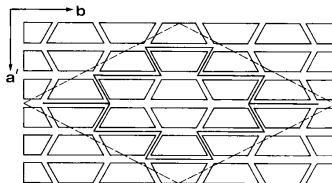
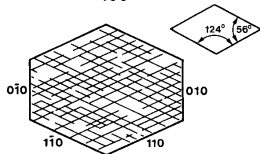
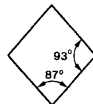
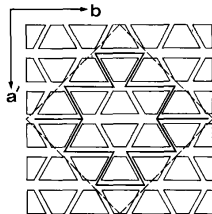
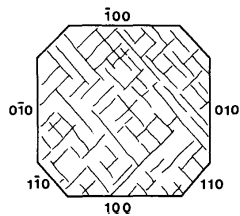
## VIII/F.08: Na-Amphibole

## Klinoamphibole

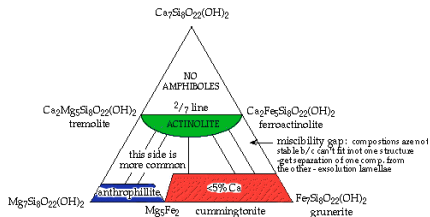
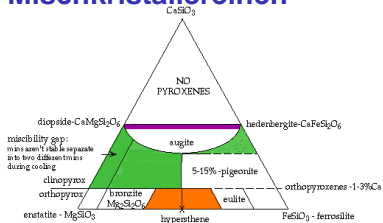
VIII/F.08-10 Glaukophan	$\square \text{Na}_2\text{Mg}_3\text{Al}_2[\text{OH} \text{Si}_4\text{O}_{11}]_2$
VIII/F.08-20 Ferroglaukophan	$\square \text{Na}_2\text{Fe}_3\text{Al}_2[\text{OH} \text{Si}_4\text{O}_{11}]_2$
VIII/F.08-40 Magnesioriebeckit	$\square \text{Na}_2\text{Mg}_3\text{Fe}_2[\text{OH} \text{Si}_4\text{O}_{11}]_2$
VIII/F.08-50 Riebeckit	$\square \text{Na}_2\text{Fe}_3\text{Fe}_2[\text{OH} \text{Si}_4\text{O}_{11}]_2$

- ▶ lückenlose Mischbarkeit zw. Fe-Mg-Endgliedern
- ▶ Glaukophan: lokal wichtiges gesteinsbildendes Mineral, ausschließlich in Metamorphiten
- ▶ feinfasriger Riebeckit
  - ▶ Krokydolith-Asbest (verspinnbar, hitze- und säurebeständig, aber Asbestose)
  - ▶ verkieselt und oxidiert: Tiegerauge

## Spaltformen



## Mischkristallereihen



## Einfache Substitution

- ▶  $\text{Mg}^{2+} \text{ — } \text{Fe}^{2+}$
- ▶  $\text{Fe}^{2+} \text{ — } \text{Mn}^{2+}$
- ▶  $\text{Al}^{3+[\text{VI}]} \text{ — } \text{Fe}^{3+}$
- ▶  $\text{OH}^- \text{ — } \text{F}^-$

## Einfache Substitution mit Koordinationswechsel

- ▶  $\text{Mg}^{2+} \text{ — } \text{Ca}^{2+}$
- ▶  $\text{Na}^+ \text{ — } \text{K}^+$

## Gekoppelte Substitutionen

- ▶  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} \text{ — } \text{Na}^+ + \text{Al}^{3+[\text{VI}]}$
  - ▶  $\text{Ca}^{2+} + \text{Fe}^{2+} \text{ — } \text{Na}^+ + \text{Fe}^{3+[\text{VI}]}$
  - ▶  $\text{Mg}^{2+[\text{VI}]} + \text{Si}^{4+[\text{IV}]} \text{ — } \text{Al}^{3+[\text{VI}]} + \text{Al}^{3+[\text{IV}]}$
  - ▶  $\text{Mg}^{2+} + \text{Si}^{4+} \text{ — } \text{Fe}^{3+[\text{VI}]} + \text{Al}^{3+[\text{IV}]}$
  - ▶  $\text{Na}^+ + \text{OH}^- \text{ — } \square + \square$
- (Tschermak-Substitution)