

Einführung in die Geowissenschaften I **Geomaterialien Teil II WS 2016/2017**

13. Dez. Kristallchemie der Silikate

Was ist ein Mineral? Was ist ein Gestein?
Gesteinsbildende Minerale

20. Dez Das System Erde:

Warum sollen wir Gesteine studieren? Gesteinskreislauf
Einfache Klassifikation der Magmatite:
QAPF-Diagramm; Ultramafische Gesteine

10. Jan Was sind magmatische Gesteine?

Schmelzbildung – Transport - Kristallisation
Magmatite an der Erdoberfläche: **Vulkanite**

- 17. Jan.** Magmatite in der Tiefe: **Plutonite**
Gesteine aus dem Erdmantel
- 24. Jan.** **Was sind Metamorphite?**
Metamorphe Reaktionen – das metamorphe Fazieskonzept
- 31. Jan.** **Wo und wie entstehen metamorphe Gesteine?**
Vom Tonstein um Gneis – vom Kalkstein zum Marmor
- 7. Feb.** **Plattentektonik und die Entstehung von Gesteinen**
Gesteinsgefüge im Lauf der Zeit.
Wann und wie werden Kontinente teilweise aufgeschmolzen?
Vom Gneis über Migmatite zum Granit

Klassifikation der Minerale nach Strunz (1910)

- I. Elemente
- II. Sulfide
- III. Halogenide
- IV. Oxide und Hydroxyde
- V. Nitrate, Carbonate, Borate
- VI. Sulfate, Chromate, Molybdate, Wolframate
- VII. Phosphate, Arsenate, Vanadate
- VIII. Silikate
- IX. Organische Verbindungen

Klassifikation der Minerale nach Strunz (1910)

I. Elemente

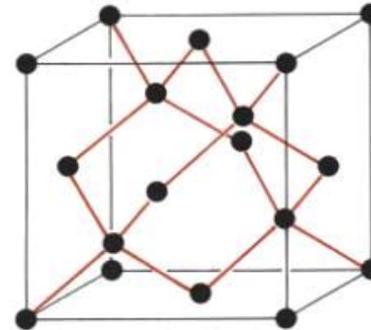
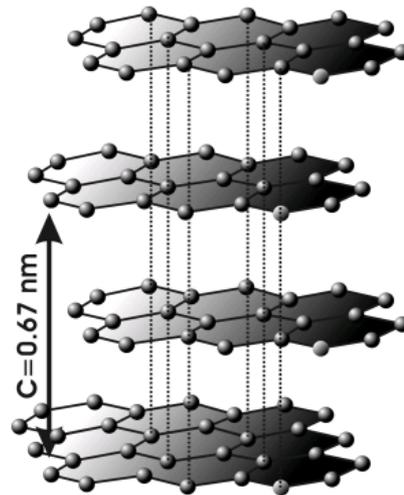
Ag, Au, C, S

II. Sulfide

Bleiglanz PbS, Zinkblende ZnS

III. Halogenide

Halit NaCl, Flußspat CaF₂



Bilder:

wikipedia, <http://www.cms.fu-berlin.de>, <http://www.chem.uni-potsdam.de/>

Klassifikation der Minerale nach Strunz (1910)

- I. **Elemente** Ag, Au, C, S
- II. **Sulfide** Bleiglanz PbS, Zinkblende ZnS
- III. **Halogenide** Halit NaCl, Flußspat CaF₂
- IV. **Oxide & Hydroxide**
Fe-Verbindungen: Magnetit, Hämatit (Goethit, Limonit)
SiO₂: Quarz, Tridymit, Cristobalit, Coesit, Stichtovit
- V. **Carbonate,** Calcit – Dolomit
Nitrate, Borate

Klassifikation der Minerale nach Strunz (1910)

- VI. Sulfate** Gips - Anhydrit
Chromate, Molybdate, Wolframate
- VII. Phosphate,** Apatit
Arsenate, Vanadate
- VIII. Silikate** Erdkruste > 90 %
Erdmantel besteht fast vollständig aus Silikaten
- IX. Organische Verbindungen** Braun-, Steinkohle

Begriffe

Kristall

- Festkörper mit dreidimensional regelmäßiger Anordnung der atomaren Bausteine (= Kristallgitter)

Mineral

- chemische Verbindung /Element
- normalerweise kristallin
- durch geologische Prozesse entstanden

Gestein

- Geologische Körper mit statistisch gleichartiger Zusammensetzung
- meist Gemenge aus verschiedenen Mineralen; z.T. monomineralisch
- kann biogene (z.B. Kohle) oder amorphe Substanzen (z.B. Glas) enthalten

Edelstein, Schmuckstein

- Verwendung zu Schmuckzwecken
- Ritzhärte > 7 Edelstein
- Ritzhärte < 7 Schmuckstein

Erz / mineralische Rohstoffe

- Festes, natürlich vorkommendes Mineralaggregat von wirtschaftlicher Bedeutung
- i.d.R. müssen die Wertstoffe extrahiert werden

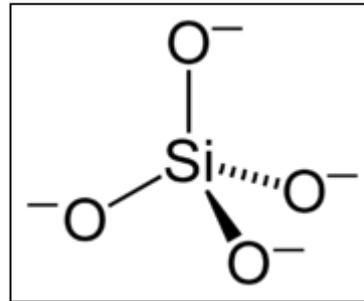
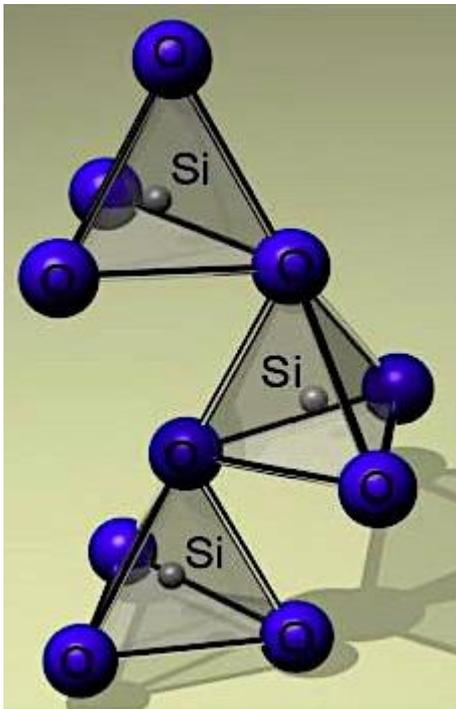
Fluide

- Geologische „Flüssigkeit“
- H₂O, CO₂, CH₄, etc.
- Meist überkritische PT Bedingungen

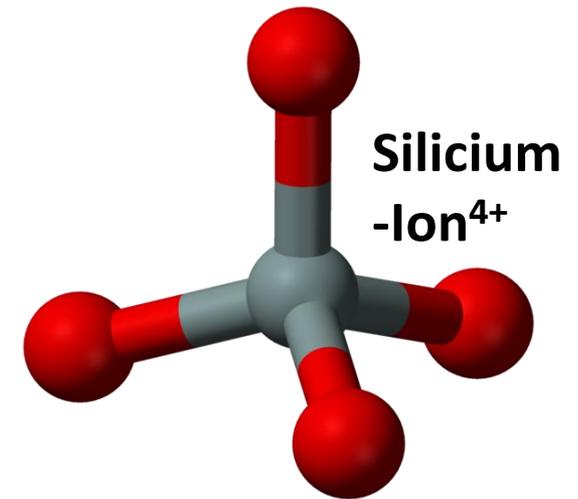
Kristallchemie der Silikate

Silikate → 90 Vol.% der Erdkruste

Basisbaueinheit → $[\text{SiO}_4]^{4-}$ -Tetraeder



2 oder mehr Tetraeder sind über eine Tetraederecke durch einen gemeinsamen Sauerstoff miteinander verknüpft



4 Sauerstoff-Ionen²⁻

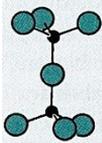
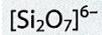
- Silikat

Kombination der Tetraeder-Verknüpfungen

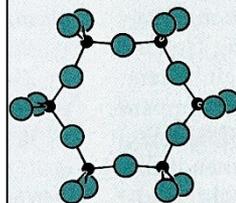
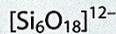
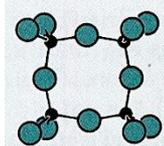
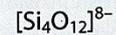
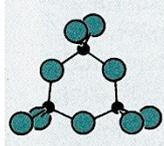
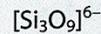
Insel-
(Neso-)



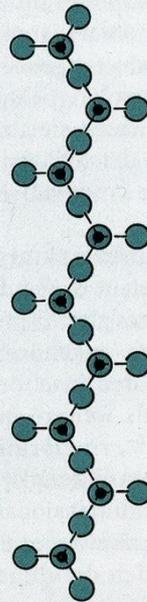
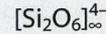
Gruppen-
(Soro-)



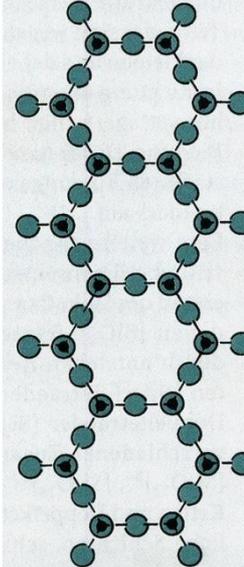
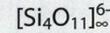
Ring-
(Cyclo-)



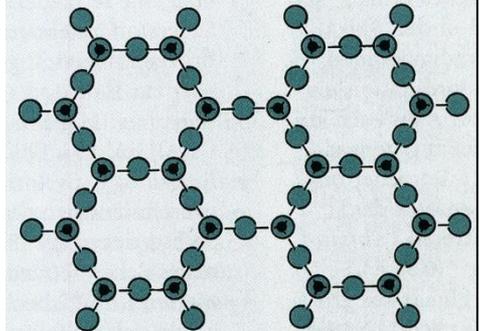
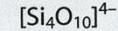
Ketten-
(Ino-)



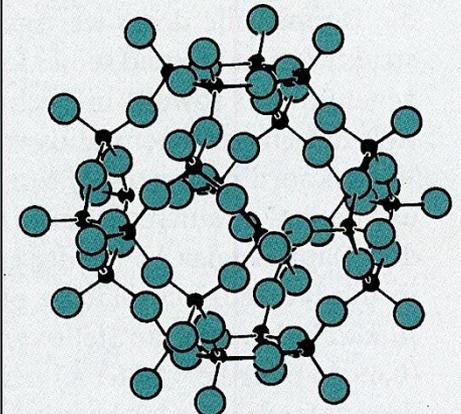
Doppel-
ketten-
= Band-
(Ino-)



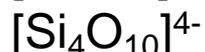
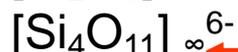
Schichtsilikate
(Phyllosilikate)



Gerüstsilikate
(Tektosilikate)



Komplexe Anionen:



variabel

Insel-silikate = Nesosilikate

Beispiel: Olivin

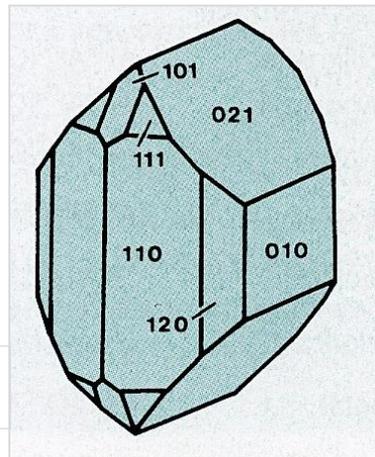
Forsterit - Fayalit

$Mg_2[SiO_4]$ $Fe_2[SiO_4]$

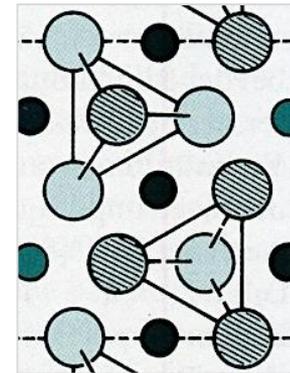


Olivin-Kristall (im Basalt aus Hawaii)

© 2002 Andrew Alden



orthorhombisch



"isolierte"
[SiO₄]⁴⁻-Gruppen

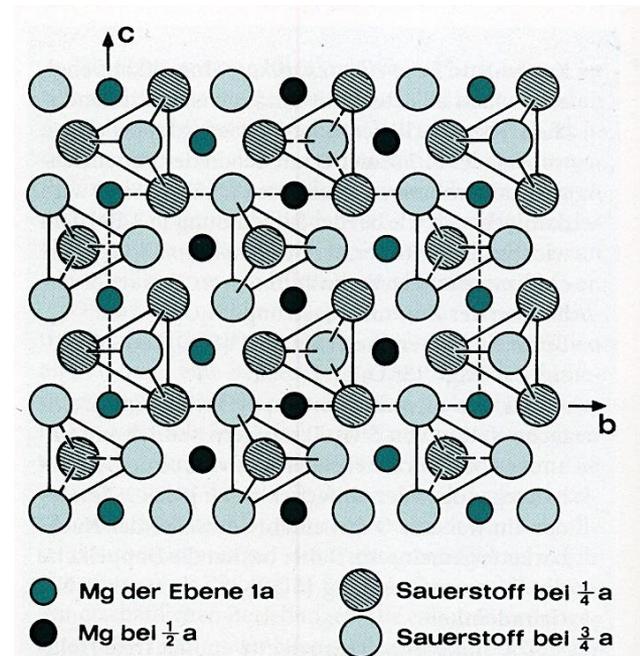
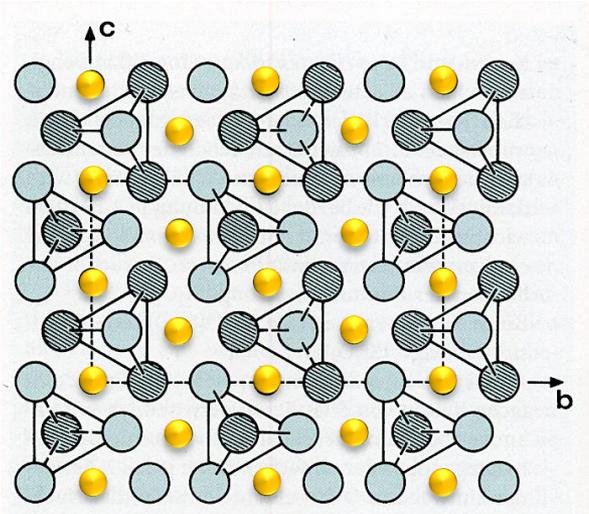


Abb. 9.3. Schema der Olivin-Struktur (Endglied Forsterit) // a in die (100)-Ebene projiziert. Zwischen den inselartigen SiO₄-Tetraedern (Si ist nicht eingezeichnet) liegt Mg²⁺ innerhalb der oktaedrischen Lücken, d. h. dass Mg jeweils 6 O als nächste Nachbarn besitzt. (Nach Bragg u. Bragg, aus Evans 1976)

Begriffe

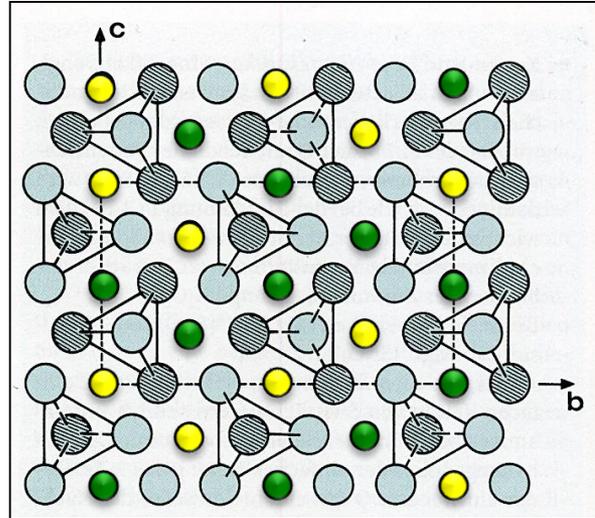
Beispiel: Olivin



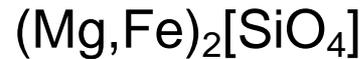
● Mg Forsterit



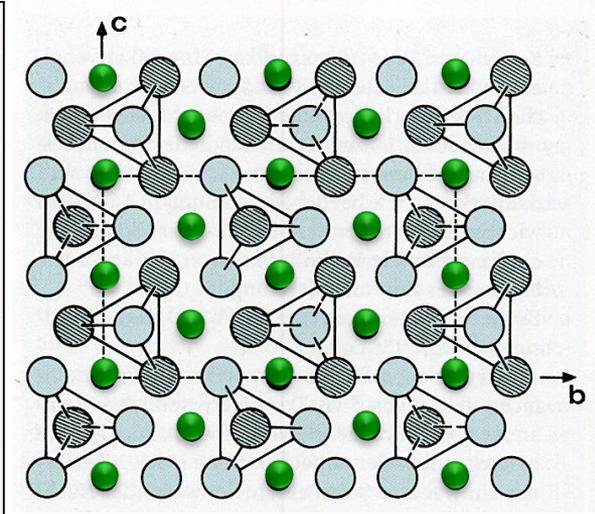
Endglied



Olivin



Mischkristall



● Fe²⁺ Fayalit



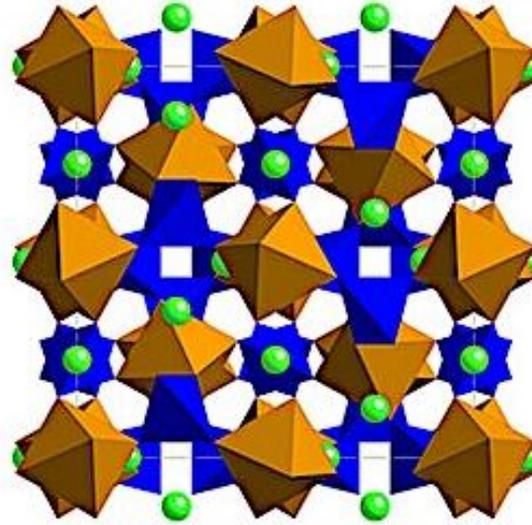
Endglied

Endglieder sind chemisch reine Verbindung, die so meist in der Natur nicht vorkommen

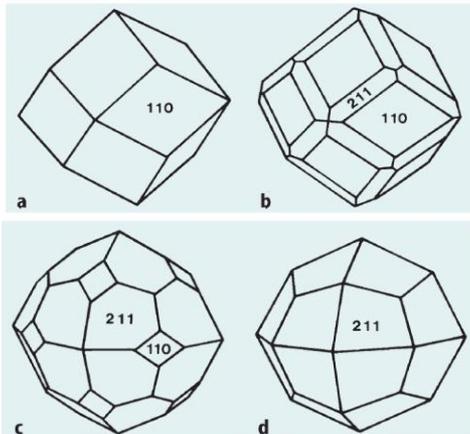
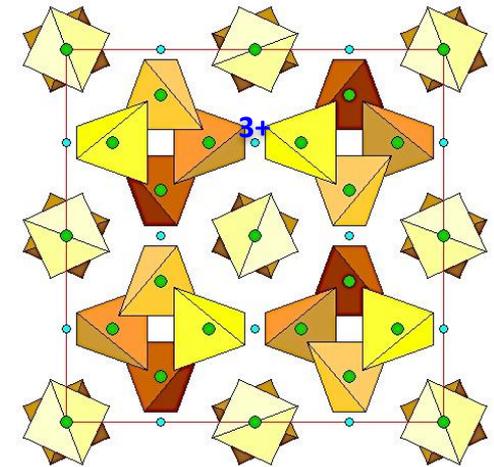
Mischkristalle sind Mischungen verschiedener Endglieder

Inselasilikate = Nesosilikate

Beispiel: Granat



"isolierte"
[SiO₄]⁴⁻-Gruppen



Endglieder der **Pyropsit**-Gruppe



Endglieder der **Grandit**-Gruppe



kubisch

Rhombendodekaeder

Inselsilikate = Nesosilikate

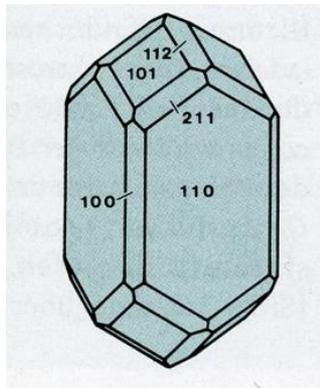
Beispiel: Zirkon
Zr [SiO₄]

"isolierte"
[SiO₄]⁴⁻-Gruppen

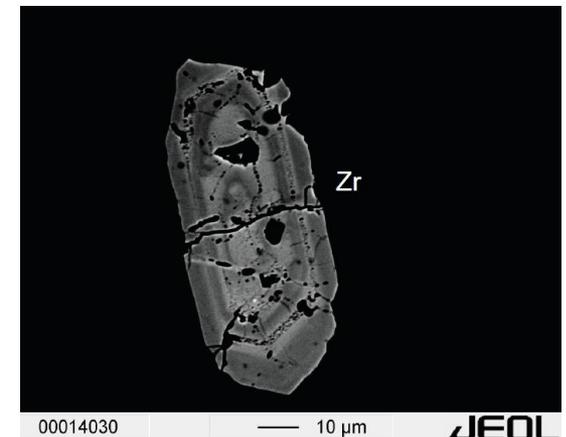


Zirkon enthält häufig Verunreinigungen. Er kann bis zu 30 % HfO₂, 12 % ThO₂ oder 1,5 % U₃O₈ enthalten.

→ wichtig für die Altersbestimmung: Zirkon ist das älteste bekannte Mineral der Erde (4,4 Milliarden Jahre).



tetragonal



Gruppensilikate = Sorosilikate

Beispiel: Epidot

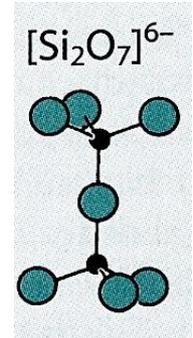


Endglieder

- Klinozoisit
- Epidot



$[\text{Si}_2\text{O}_7]^{6-}$ - Gruppen



Ringsilikate = Cyclosilikate

Beispiel: Beryll $\text{Al}_2\text{Be}_3[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$

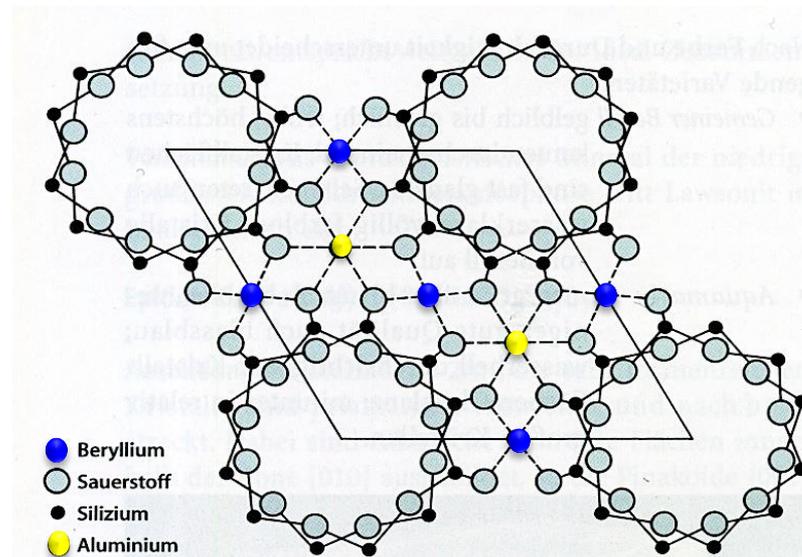
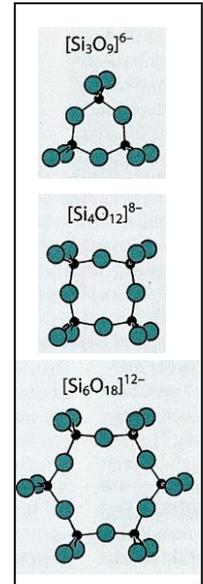


Abb. 9.12. Kristallstruktur von Beryll $\text{Al}_2\text{Be}_3[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$ auf die (0001)-Ebene projiziert. Die Si_6O_{18} -Ringe liegen in unterschiedlicher Höhe. (Nach Bragg u. West 1926)

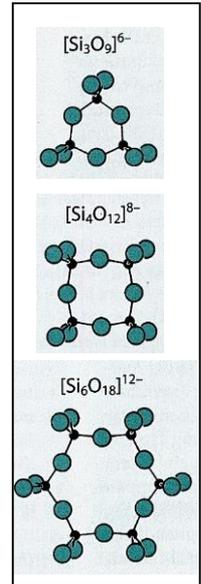
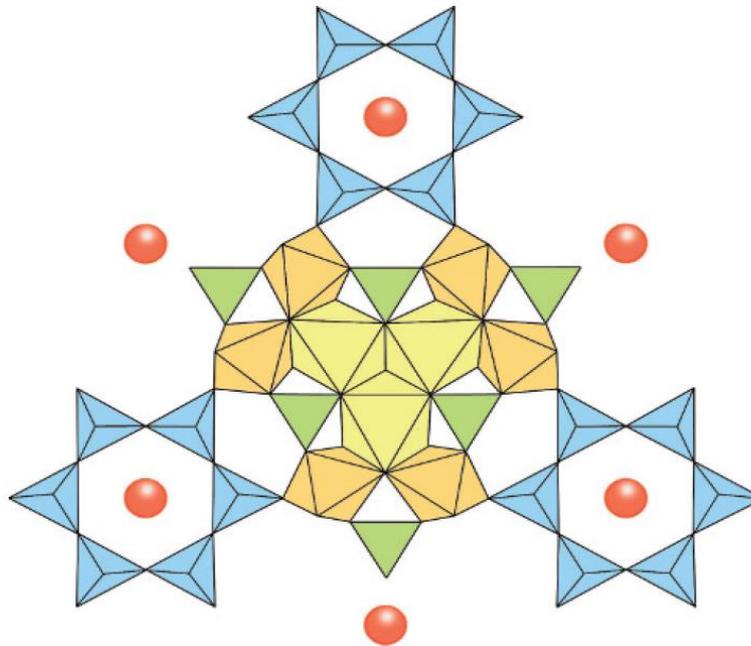
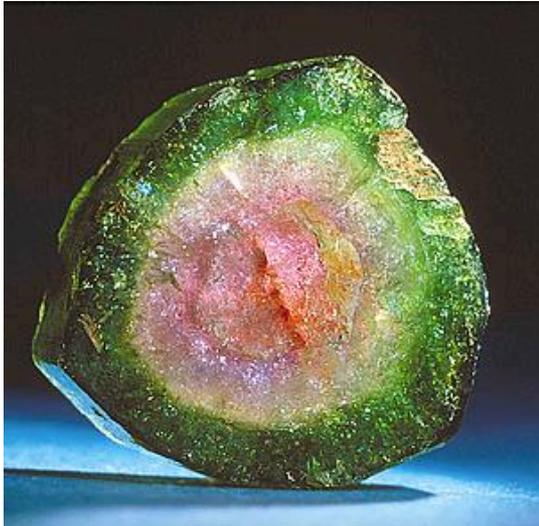


hexagonal

Die bekanntesten Varietäten:
Smaragd (grün), Aquamarin (blau), Morganit (rosa),
Goldberyll bzw. Heliodor (gelb), Goshenit (farblos)

Ringsilikate = Cyclosilikate

Beispiel: Turmalin $XY_3Z_6[(BO_3)_3T_6O_{18}(OH,F,O)_4]$

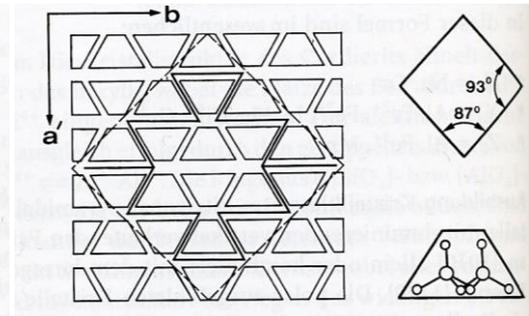
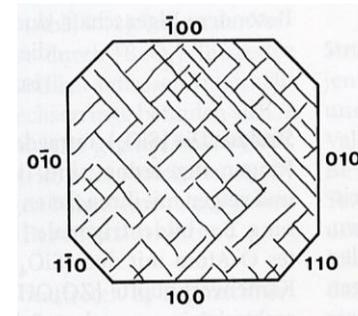
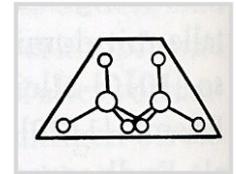
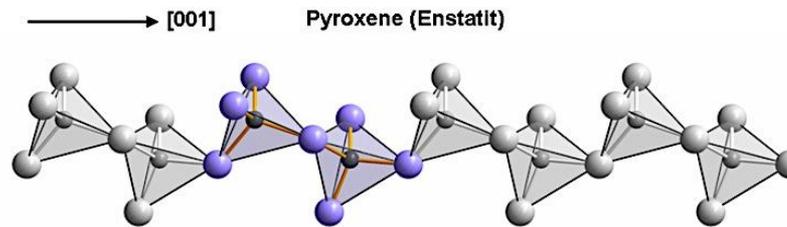
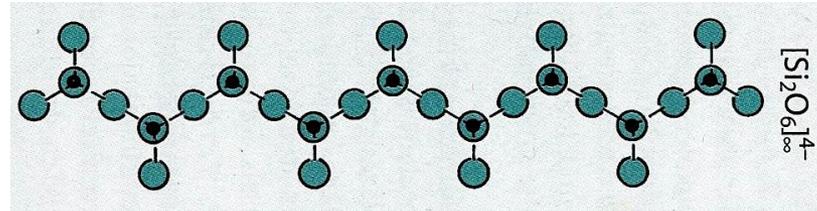


trigonal

Kettensilikate = Inosilikate

Beispiel: Pyroxen

z.B. Hedenbergit
 $\text{CaFe}^{2+}\text{Si}_2\text{O}_6$



Diopsid-Marmor
Essex County, New York
mikroskopisches Bild

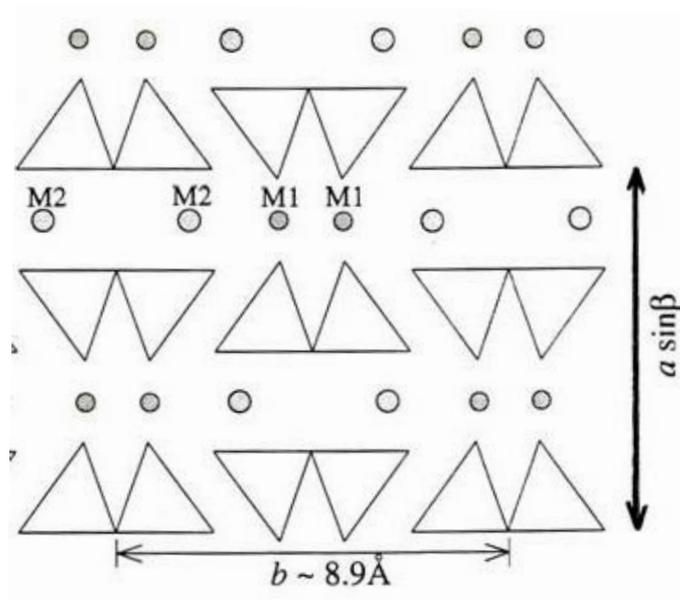
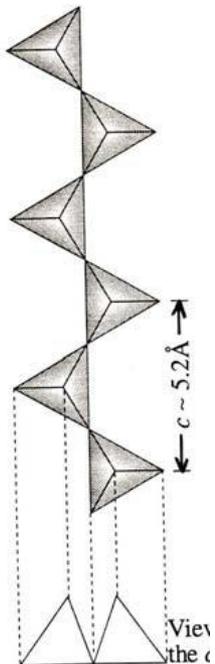
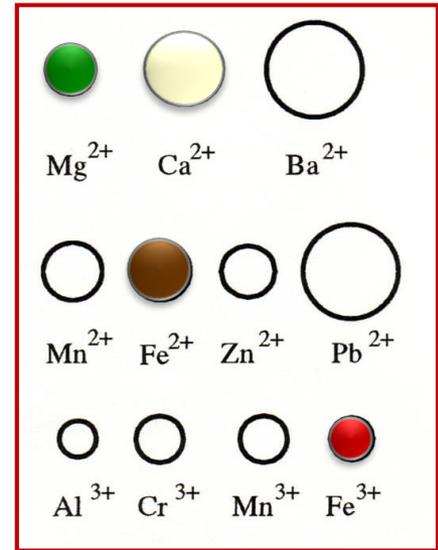
Kettensilikat - Pyroxen

Allgemeine Formel: $M_2M_1T_2O_6$

M_2 = v.a. Ca^{2+} Mg^{2+} Fe^{2+}

M_1 = v.a. Mg^{2+} Fe^{2+} Fe^{3+}

T = Si^{4+} Al^{3+}



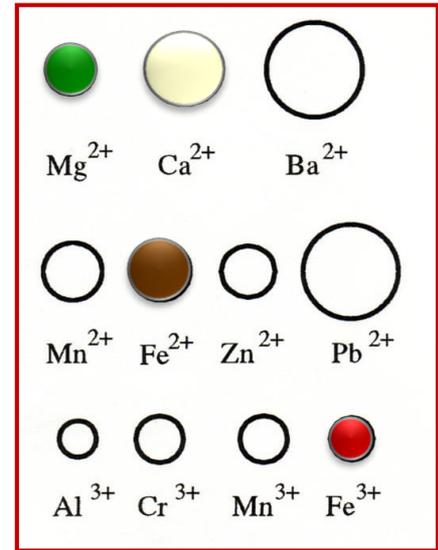
Kettensilikat - Pyroxen

Allgemeine Formel: $M_1 M_2 T_2 O_6$

$M_2 = \text{v.a. Ca}^{2+} \text{ Mg}^{2+} \text{ Fe}^{2+}$

$M_1 = \text{v.a. Mg}^{2+} \text{ Fe}^{2+} \text{ Fe}^{3+}$

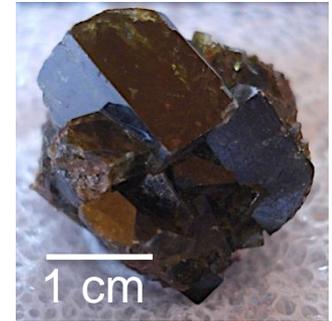
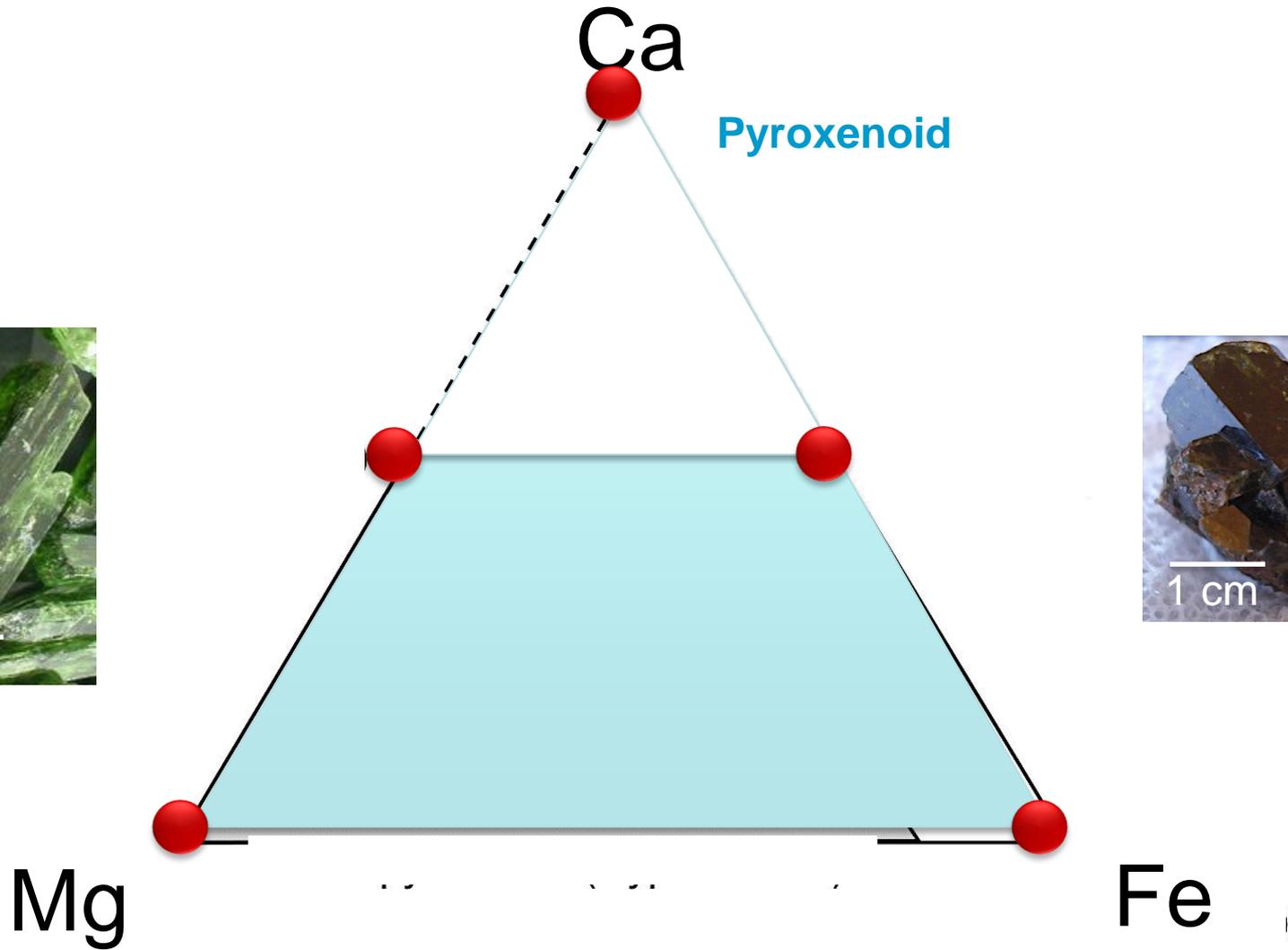
$T = \text{Si}^{4+} \text{ Al}^{3+}$



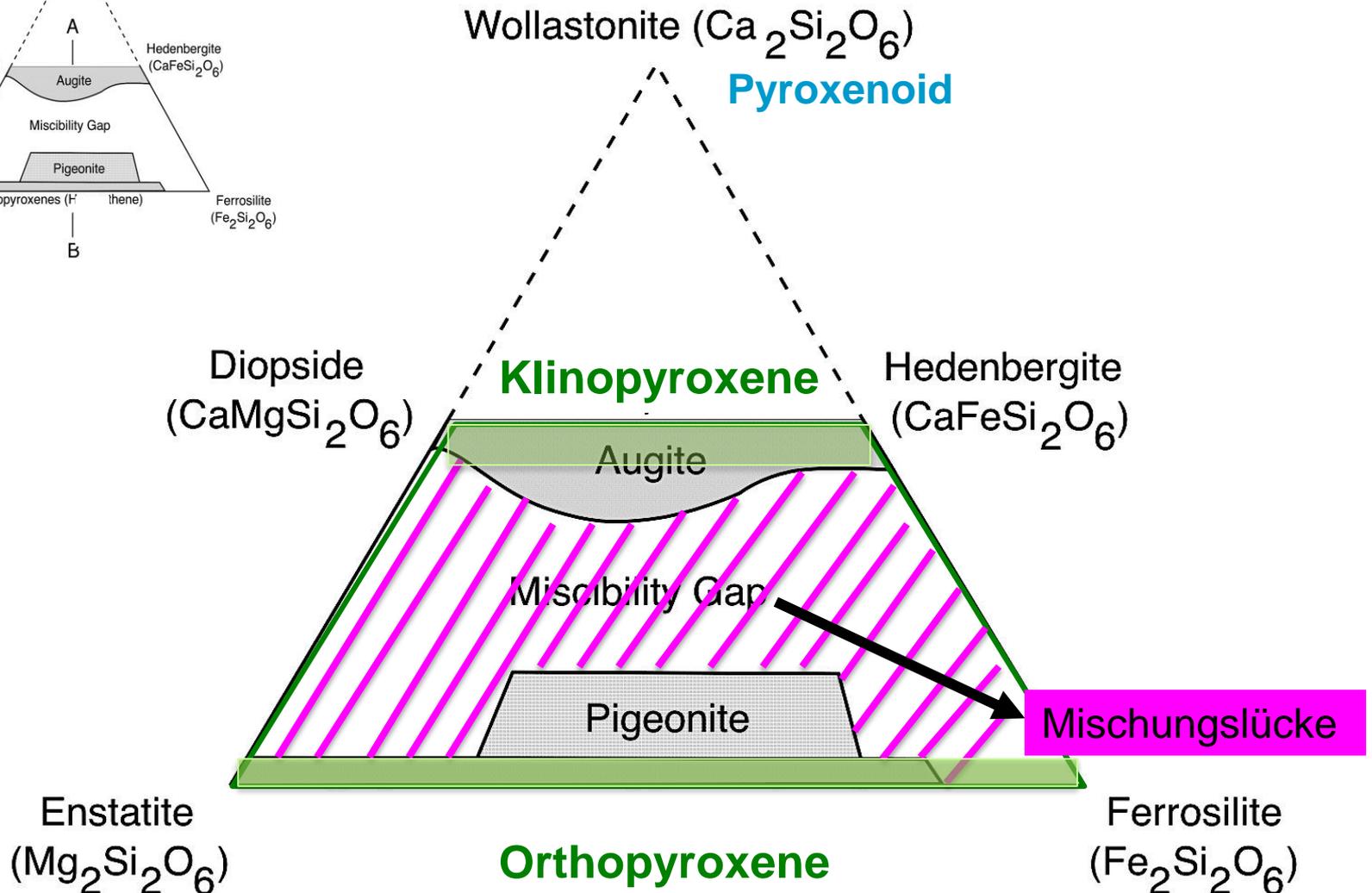
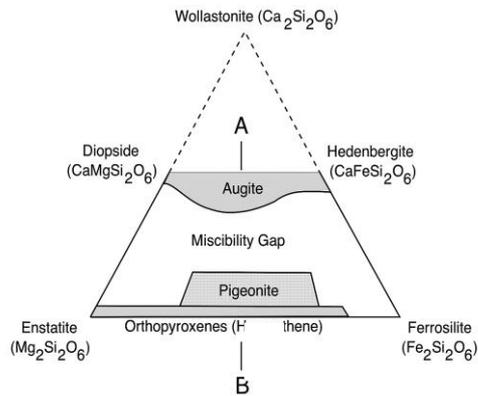
Klinopyroxen: z.B. $\text{Ca Mg Si}_2\text{O}_6$ - $\text{Ca Fe Si}_2\text{O}_6$
 = *monoklin* Diopsid Hedenbergit

Orthopyroxen: $\text{Mg Mg Si}_2\text{O}_6$ - $\text{Fe Fe Si}_2\text{O}_6$
 = *orthorhombisch* Enstatit (Ortho)ferrosilit

Kettensilikat - Pyroxen



Kettensilikat - Pyroxen



Kettensilikat - Pyroxen

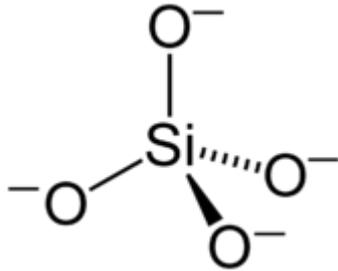
Allgemeine Formel: $M_1 M_2 T_2 O_6$

$M_2 = \text{v.a. Ca}^{2+} \text{ Mg}^{2+} \text{ Fe}^{2+}$

$M_1 = \text{v.a. Fe}^{2+} \text{ Fe}^{3+} \text{ Mg}^{2+}$

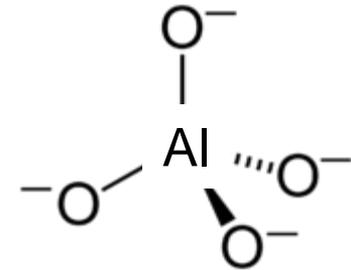
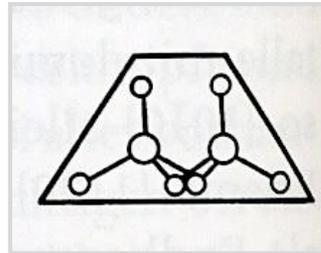
$T = \text{Si}^{4+} \text{ Al}^{3+}$

Ladungsausgleich !



Silizium Ion Si^{4+}

$[\text{SiO}_4]^{4-}$ -Tetraeder

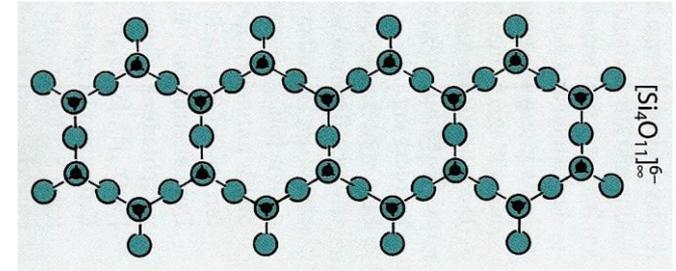
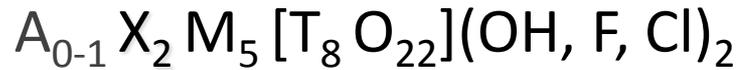


Aluminium Ion Al^{3+}

$[\text{AlO}_4]^{5-}$ -Tetraeder

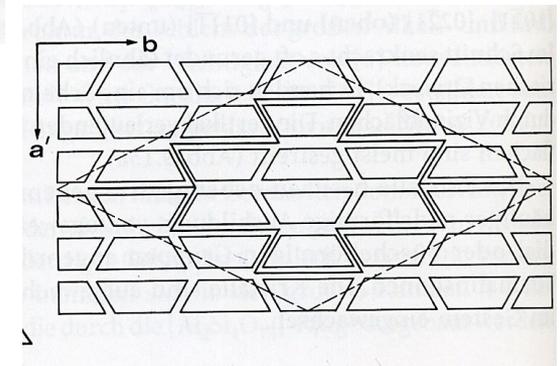
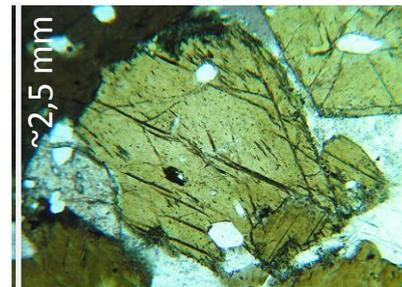
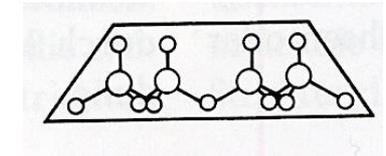
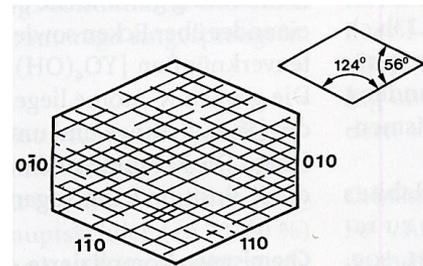
Doppelketten- oder Bandsilikat (Ino-)

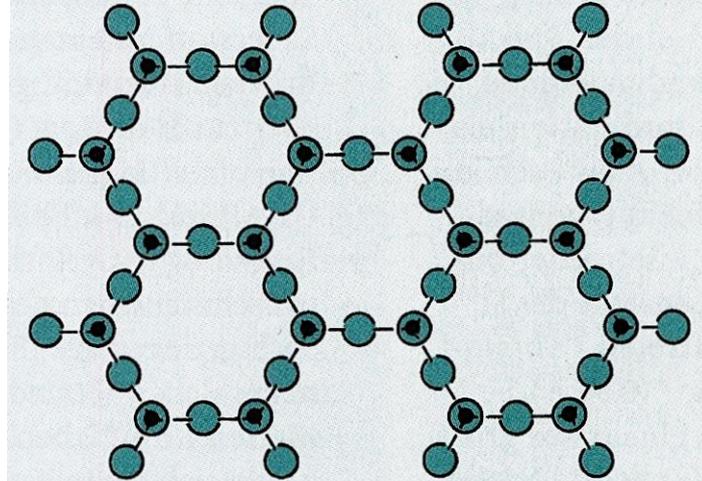
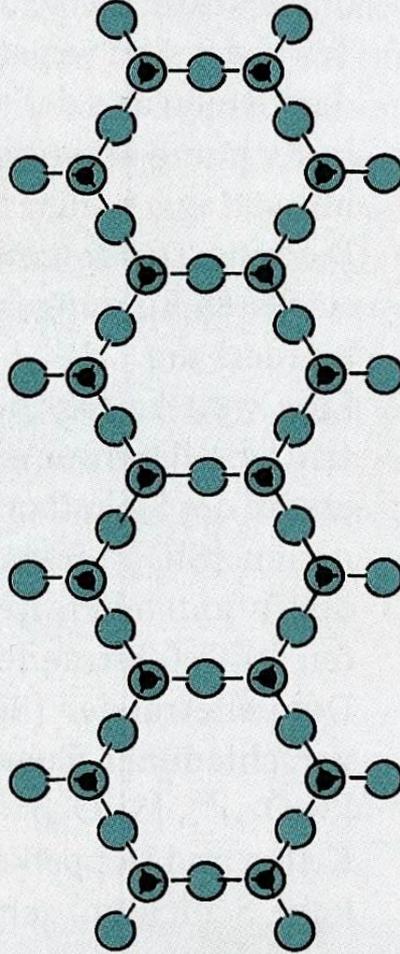
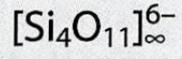
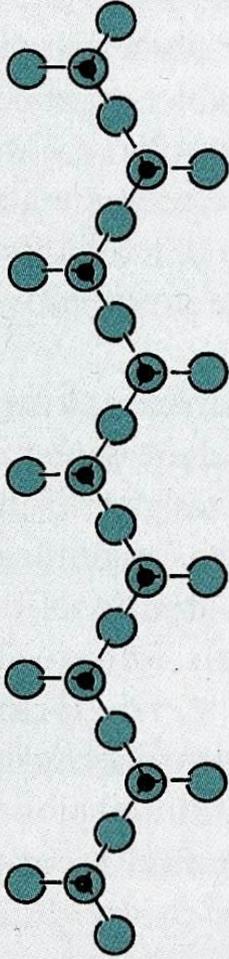
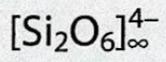
Beispiel: Amphibol $[\text{Si}_4\text{O}_{11}]^{6-}$



Mg-Fe-Amphibole $(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_7 [\text{Si}_8\text{O}_{22}] (\text{OH})_2 \rightarrow$ Orthoamphibole

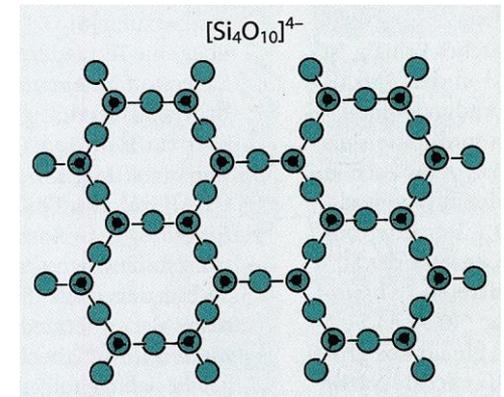
(Ca, Na, K)-Amphibole $\text{Ca}_2 (\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_5 [\text{Si}_8\text{O}_{22}] (\text{OH})_2 \rightarrow$ Klioamphibole





Schichtsilikat = Phyllosilikat

Beispiel: Glimmer $[\text{Si}_4\text{O}_{10}]^{4-}$



Muskovit



Phlogopit - Biotit



Chlorit-Gruppe



Serpentin-Gruppe



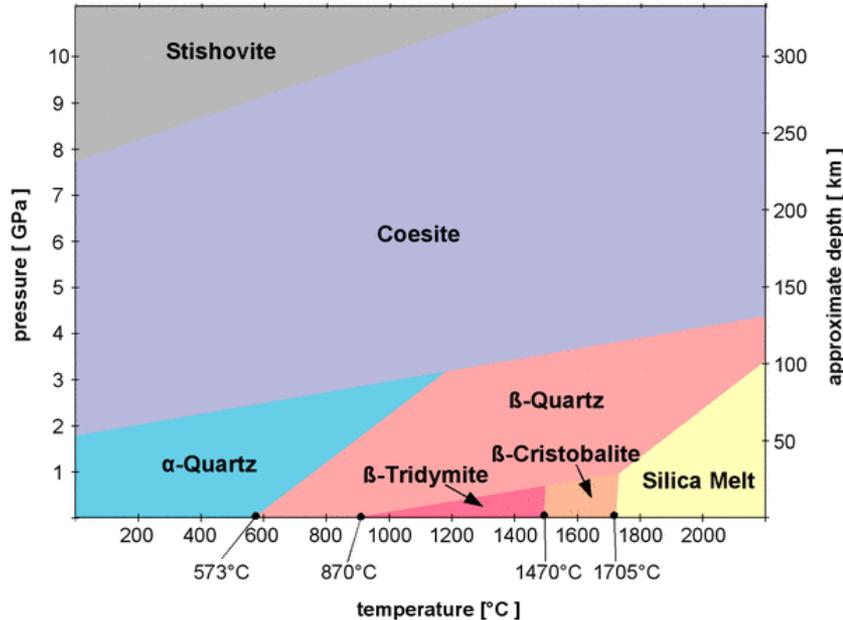
Tonmineral-Gruppe



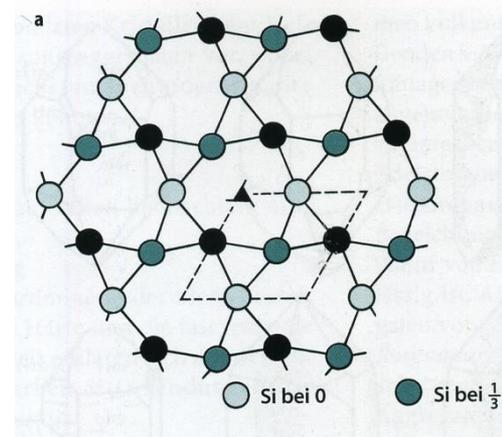
Zu den Tonmineralen gehören Schichtsilikate < 2 mm, die meist Bestandteile des Bodens sowie tonhaltiger Sedimente und Sedimentgesteine sind

Gerüstsilikat = Tektosilikat

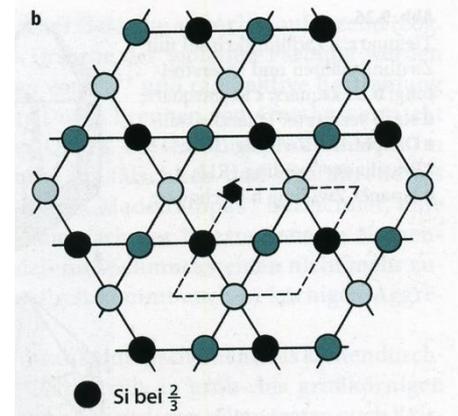
Beispiel – **Quarz** (Oxide)



Tiefquarz
trigonal



Hochquarz
hexagonal
ab ca. 600°C



Gerüstsilikat = Tektosilikat

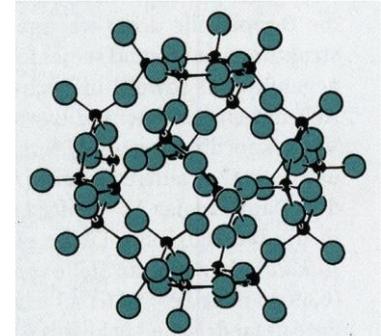
Feldspat $(K,Na,Ca)[Al(Al,Si)_3O_8]$

Feldspatvertreter (Foide)

Leucit $K [AlSi_2O_6]$

Nephelin $Na [AlSiO_4]$

Gerüstsilikate
(Tektosilikate)



Foide



Leucit



Nephelin



Zusammensetzung der Feldspäte im ternären Diagramm

- an Ecken 100 % der Komponente
- an gegenüberliegender Gerade 0 %
- Parallelverschiebung der Geraden

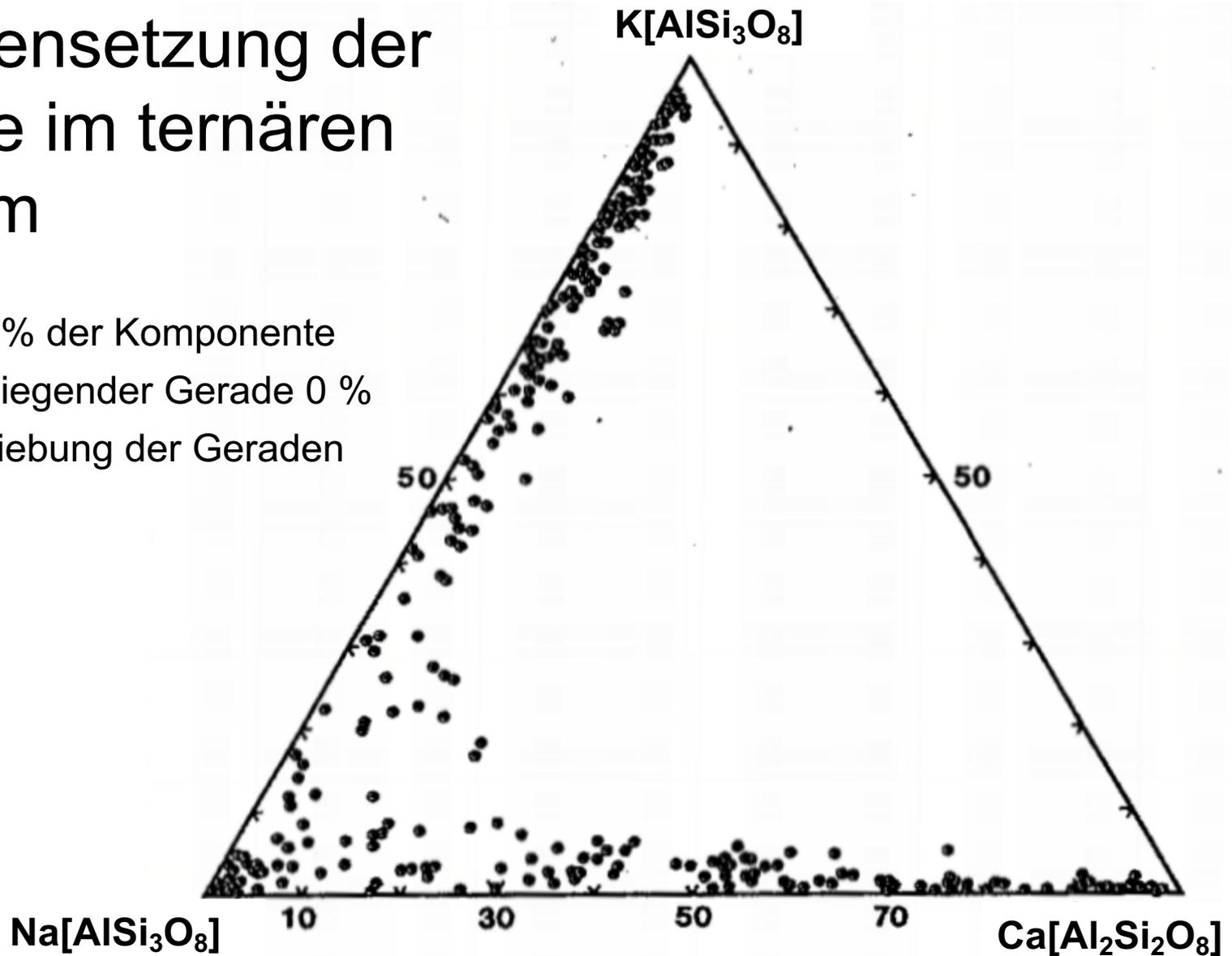


Abb. 9.28. Die begrenzte Mischkristallbildung im System der Feldspäte. Dem Diagramm liegen rund 300 chemische Feldspatanalysen zugrunde. (Nach Deer et al. 1963, Abb. 46)

Zusammensetzung der Feldspäte im ternären Diagramm

- an Ecken 100 % der Komponente
- an gegenüberliegender Gerade 0 %
- Parallelverschiebung der Geraden

29 % Ca-Fs-Komponente
8 % K-Fs-Komponente
63 % Na-Fs-Komponente
100 %

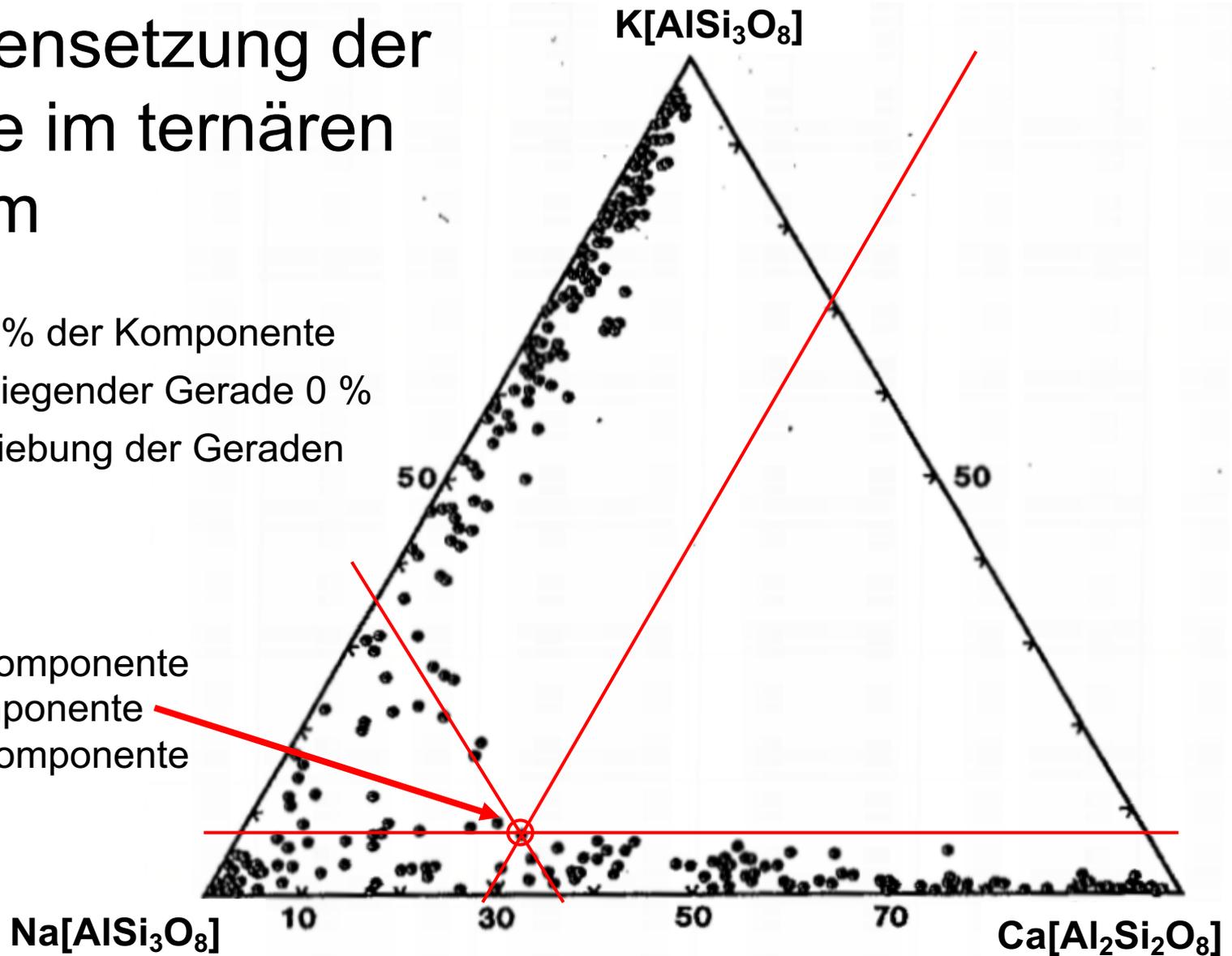
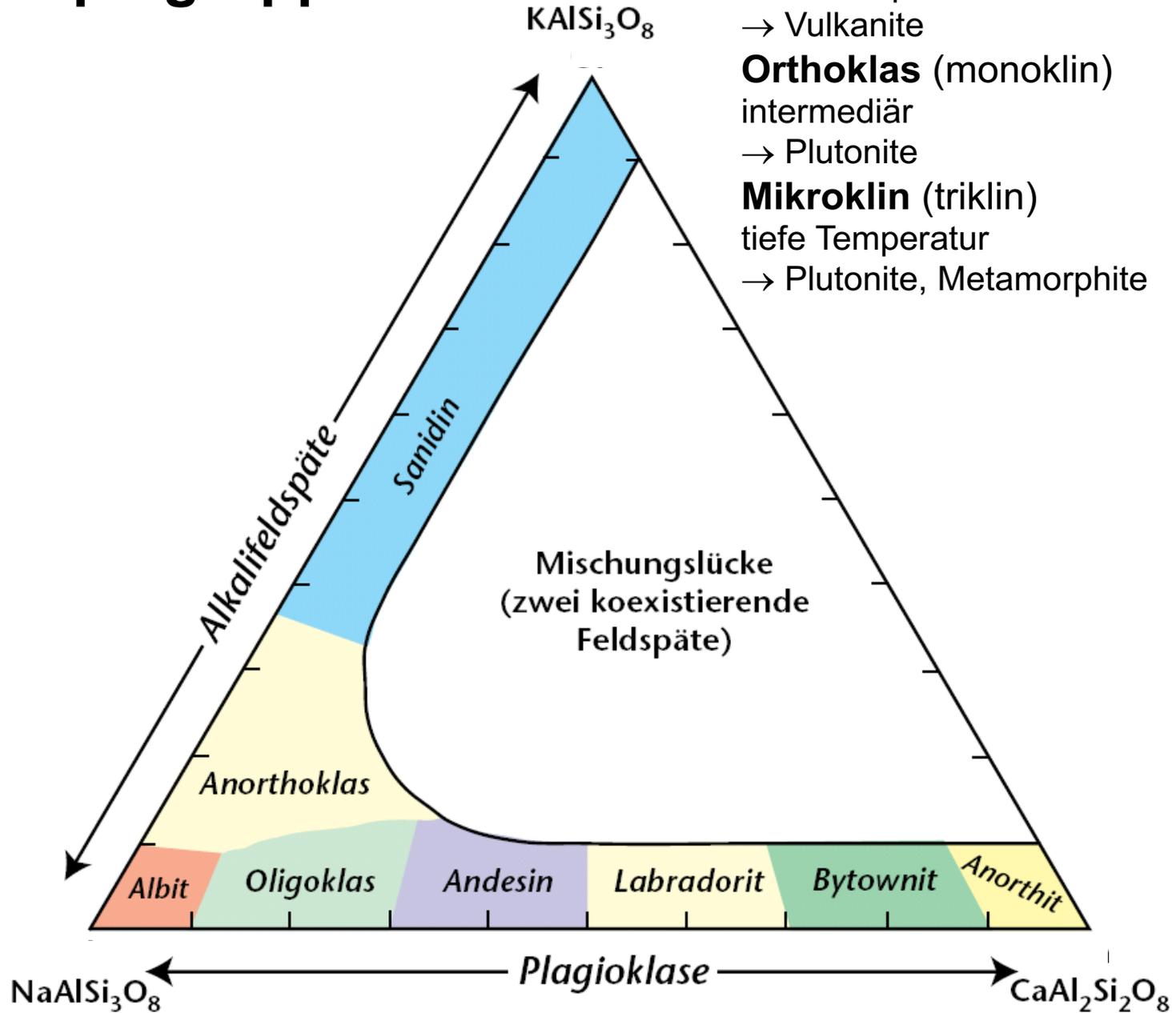


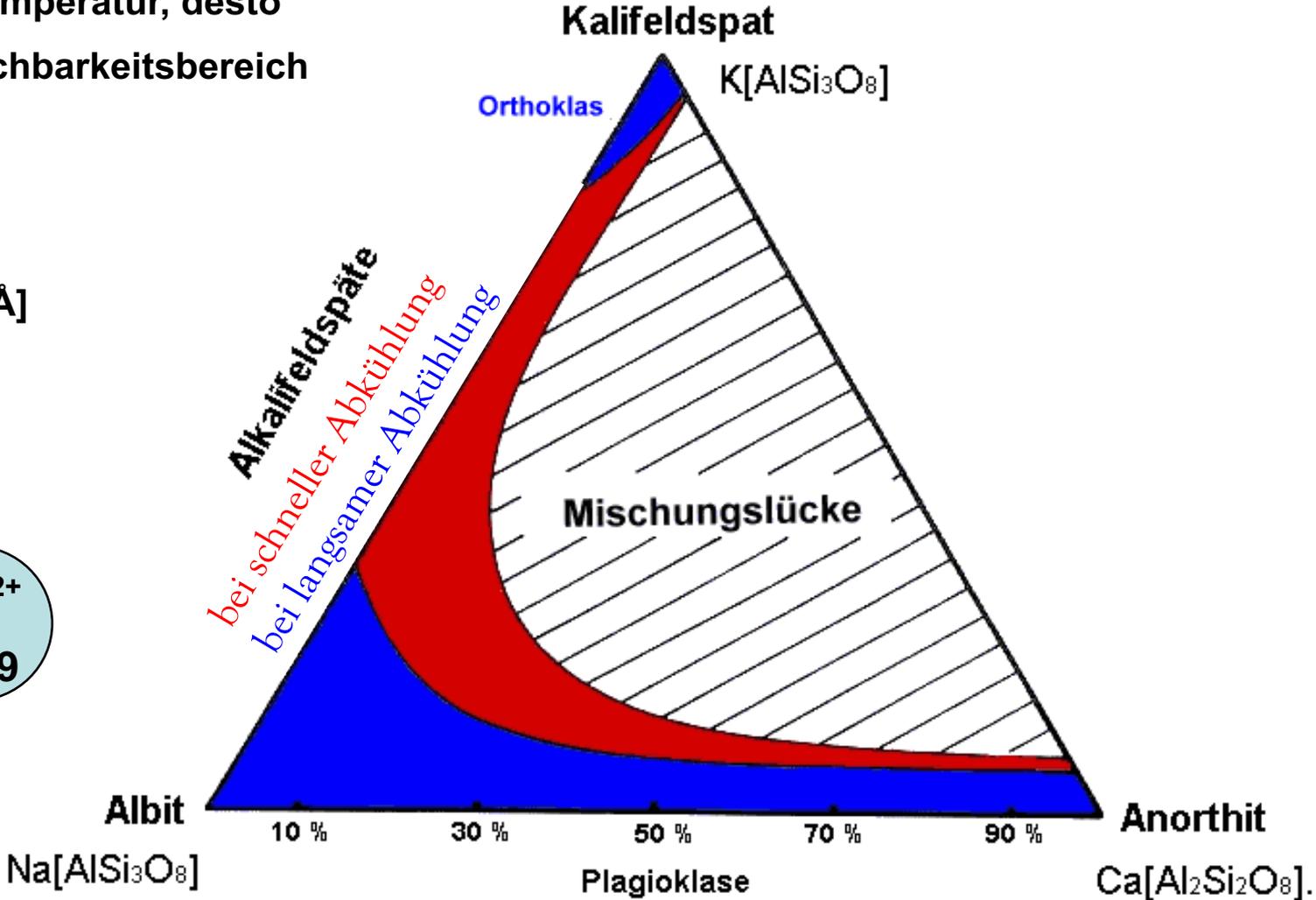
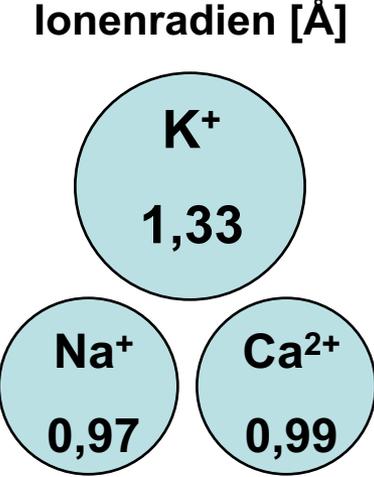
Abb. 9.28. Die begrenzte Mischkristallbildung im System der Feldspäte. Dem Diagramm liegen rund 300 chemische Feldspatanalysen zugrunde. (Nach Deer et al. 1963, Abb. 46)

Feldspatgruppe



Einfluss der Temperatur auf die Mischbarkeit von Feldspäten

Je höher die Temperatur, desto größer der Mischbarkeitsbereich



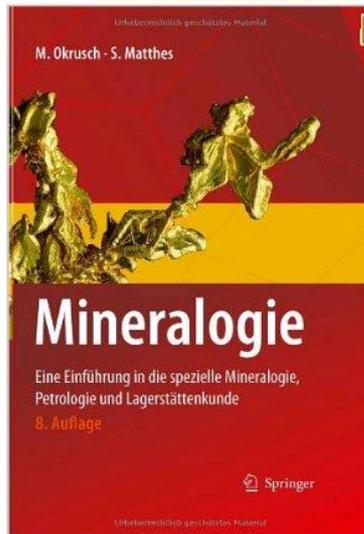
Die Prozentangaben in der Plagioklasereihe beziehen sich auf den Anorthitgehalt.

Literatur

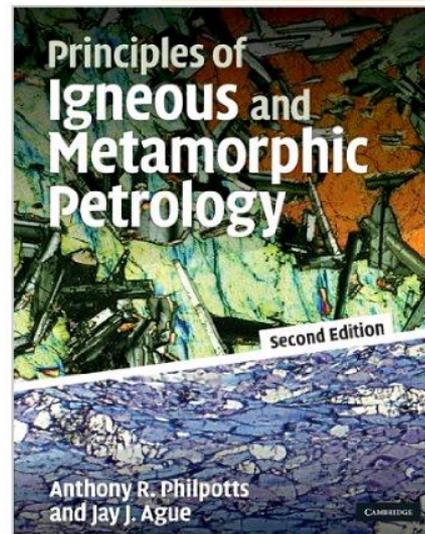
Hier klicken **Blick ins Buch!**



Hier klicken **Blick ins Buch!**



Hier klicken **Blick ins Buch!**



Click to **LOOK INSIDE!**

