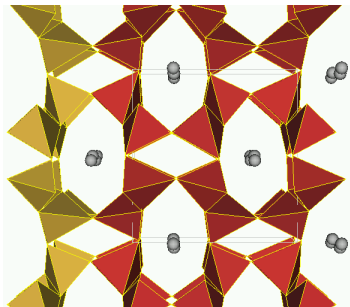


## Systematik

- ▶ 4 O<sub>B</sub>, 0 O<sub>E</sub>: 3-dim. Verknüpfung  
⇒ 3-dim. Gerüst
- ▶ Aluminosilicate:  $[Al_xSi_{n-x}O_{2n}]^x$  mit  $x = (0, )1, 2$  und  $n > x$
- ▶ Substitution:  $xSiO_{4/2} \rightleftharpoons xAlO_{4/2}^- + A^{x+}$
- ▶ offene, weitmaschige Gerüste:  
„Ringgröße“  $\geq 8$
- ▶ Kationen gebunden an  
 $AlO_4^{5-}$ -Tetraeder
- ▶ Einbau großer Kationen:  
 $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  
auch weitere Anionen und  
Wasser



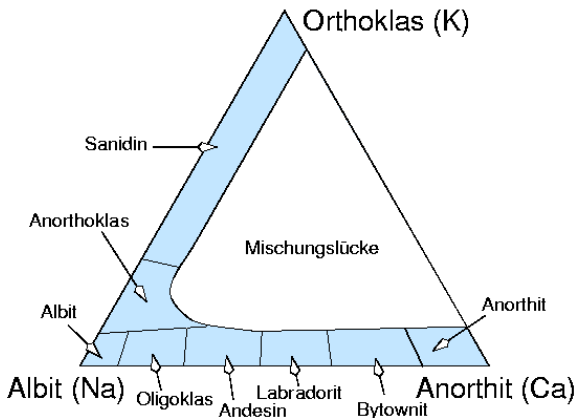
## Systematik

- ▶ Feldspat-Familie
  - ▶ VIII/J.06: Kalifeldspäte  $(\text{K,Na})[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$
  - ▶ VIII/J.07: Plagioklase  $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$
- ▶ Feldspatoide
  - ▶ VIII/J.02: Nephelin  $(\text{Na,K})[\text{AlSiO}_4]$
  - ▶ VIII/J.05: Leucit  $\text{KAl}[\text{Si}_2\text{O}_6]$
  - ▶ VIII/J.11–14: Sodalit-Reihe  $\text{Na}_8[\text{Cl}_2 | (\text{AlSiO}_4)_6]$
- ▶ VIII/J.13: Skapolith-Gruppe  $(\text{Na,Ca})_8[(\text{Cl}_2, \text{SO}_4, \text{CO}_3)_{1-2} | \text{Al}_{1-2}(\text{Si}_{2-3}\text{O}_8)_6]$
- ▶ VIII/J.21–27: Zeolith-Familie

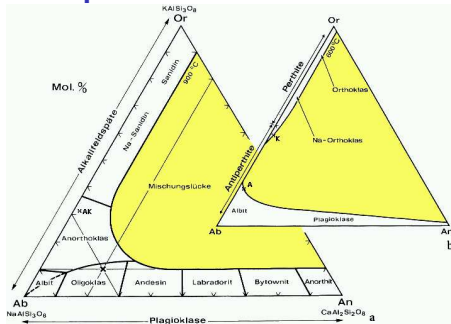
## Feldspat-Familie

- ▶ >50% aller Minerale der Erdkruste
- ▶ nicht im Erdmantel
- ▶ Bildung in basischen bis sauren Schmelzen  
auch metamorphen Gesteinen  
nicht in Sedimenten: Verwitterung
- ▶ Alkali-Feldspäte: wichtige Rohstoffe
- ▶ niedrige Kristallsymmetrie: monoklin und triklin
- ▶ sehr häufig Zwillingsbildung:  
Wachstums- und Umwandlungs-Zwillinge
- ▶ Si-Al-Ordnungsvorgänge: Al-Verteilung temperatur- und  
abkühlratenabhängig, aber kinetisch stark gehemmt

## Feldspat-Familie

VIII/J.06-40 Orthoklas  $K[AlSi_3O_8]$ VIII/J.07-20 Albit  
 $Na[AlSi_3O_8]$ VIII/J.07-70 Anorthit  
 $Ca[Al_2Si_2O_8]$

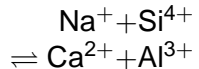
## Feldspat-Familie



$$r_{Ca^{2+}} = 1.29 \text{ \AA}$$

$$r_{Na^{+}} = 1.24 \text{ \AA}$$

$$r_{K^{+}} = 1.59 \text{ \AA}$$



- ▶ Mischungslücke: temperaturabhängig
- ▶ Plagioklas-Reihe: lückenlos mischbar ( $>350^{\circ}C$ )
- ▶ Sanidin: begrenzte Mischbarkeit  
 $\Rightarrow$  zwei verschiedene Feldspäte nebeneinander im Gestein

## Plagioklas-Reihe

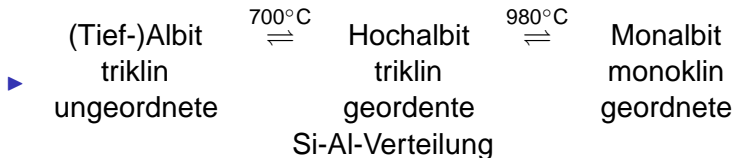
- ▶ trikline Na-Ca-Feldspäte

VIII/J.07-20	Albit	$\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$	< 10% An
VIII/J.07-30	Oligoklas	$(\text{Na,Ca})[(\text{Al,Si})_4\text{O}_8]$	10–30% An
VIII/J.07-40	Andesin	$(\text{Na,Ca})[(\text{Al,Si})_4\text{O}_8]$	30–50% An
VIII/J.07-50	Labradorit	$(\text{Ca,Na})[(\text{Al,Si})_4\text{O}_8]$	50–70% An
VIII/J.07-60	Bytownit	$(\text{Ca,Na})[(\text{Al,Si})_4\text{O}_8]$	70–90% An
VIII/J.07-70	Anorthit	$\text{Ca}[\text{Al}_4\text{O}_8]$	> 90% An

- ▶ schief spaltend (griechisch)
- ▶ Albit: wichtiger Keramik-, Glas- und Email-Rohstoff

## Plagioklasse

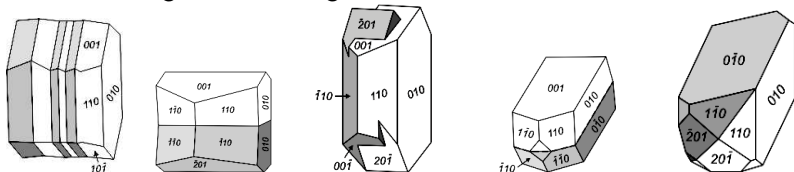
- ▶ bei höheren Temperaturen: statistische Si-Al-Verteilung metastabil bei hoher Abkühlrate, aber Si-Al-Ordnung bei kleineren Abkühlraten



- ▶ Anorthit: vollständig geordnete Si-Al-Verteilung  
 ⇒ Si:Al=1:1 und nur  $\text{Ca}^{2+}$ -Ionen  
 bei statistischer Verteilung  
 ⇒ lokal elektrostatisch nicht abgesättigt

## Plagioklasse

- ▶ in der Regel verzwillingt:

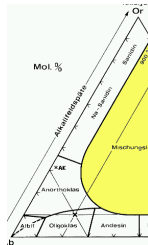
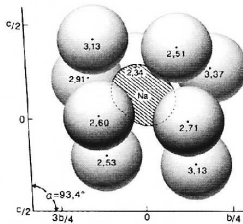
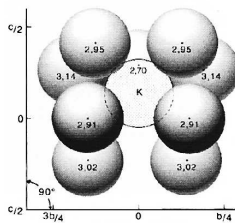


Albit      Periklin      Karlsbader      Manebacher      Bravenoer  
 oft polysynthetische Verzwilligung und Doppel-Zwillinge

- ▶ VIII/J.07-50: Labradorit ( $An_{50}-An_{70}$ )  
 submikroskopische Entmischungslamellen:  
 Labradorisieren (Schmuck- und Ornamentstein)

## Alkali- und Ba-Feldspäte

VIII/J.06-20	Sanidin	$(K,Na)[AlSi_3O_8]$	monoklin
VIII/J.06-40	Orthoklas	$K[AlSi_3O_8]$	monoklin
VIII/J.06-30	Mikroklin	$K[AlSi_3O_8]$	triklin
VIII/J.06-60	Celsian	$Ba[Al_2Si_2O_8]$	monoklin
VIII/J.06-50	Hyalophan	$(K,Ba)[(Si,Al)_2Si_2O_8]$	monoklin



## VIII/J.06-40: Orthoklas



- ▶ monokline, teilweise geordnete Si-Al-Verteilung (zwischen Sanidin und Mikroklin)
- ▶ mit Plagioklas das häufigste Silicat
- ▶ relativ selten in Granitpegmatiten (hier Mikroklin oder albitisiert)
- ▶ Hauptgemenge von hellen Plutoniten: idiomorphe Kristalle
- ▶ auch in Gneisen und in wenig umgelagerten Sedimenten
- ▶ einfache Zwillinge häufig: Karlsbader Gesetz
- ▶ hellrosa bis fleischrot

## VIII/J.06-30: Mikroklin



- ▶ trikline Tieftemperaturform:  
fast vollständig geordnete  
Si-Al-Verteilung
- ▶ polysynthetische  
Zwillingslamellen:
- ▶ Perthit: Albitkriställchen im Orthoklas  
Antiperthit: Orthoklaskriställchen im Albit
- ▶ Größe der Einlagerungen:  
Makroperthite ( $>0.1$  mm) bis  
„sub-X-ray-perthite“ ( $<0.15$   $\mu\text{m}$ )



## VIII/J.06-30: Mikroklin



- ▶ „Schriftgranite“: charakteristische Verwachsung von Quarz und Mikroklin
- ▶ Vorkommen in sauren Intrusivgesteinen und Pegmatiten, auch in Metamorphiten und Sedimentgesteinen
- ▶ Riesenkristalle in Pegmatiten: 49 m lang, Durchmesser 13–35 m, Gewicht 15,9 t (1981 Colorado)
- ▶ Rohstoff für Keramik-, Glas- und Emailindustrie mit Orthoklas (Kalirohstoff)

## VIII/J.06-20: Sanidin



- ▶ monokline Hochtemperaturform
- ▶ nicht entmischt in Orthoklas und Albit  
durch hohe Abkühlrate  $\Rightarrow$  Hochtemperaturform
- ▶ Vorkommen in vulkanischen Gesteinen
- ▶ ungeordnete Si-Al-Verteilung

## Feldspatoide

- ▶ geringerer  $\text{SiO}_2$ -Gehalt als Feldspäte  
⇒ nicht im Gleichgewicht mit Quarz
- ▶ Bildung aus alkalireichen,  $\text{SiO}_2$ -armen Schmelzen
- ▶ VIII/J.02: Nephelin  $(\text{Na},\text{K})[\text{AlSiO}_4]$
- ▶ VIII/J.05: Leucit  $\text{KAl}[\text{Si}_2\text{O}_6]$
- ▶ VIII/J.11–14: Sodalit-Reihe  $\text{Na}_8[\text{Cl}_2|(\text{AlSiO}_4)_6]$

## VIII/J.02-10: Nephelin



- ▶ wichtiges gesteinsbildendes Mineral in  $\text{SiO}_2$ -untersättigten Vulkaniten und Plutoniten (Nephelinbasalt)
- ▶ starker  $\text{SiO}_2$ -Unterschuss:  
 $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$  (Albit:  $\text{Na}_2\text{O}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{SiO}_2$ )
- ▶ Si:Al=1:1 (geordnet)  
Na:K  $\leq$  4:1
- ▶ Struktur dem Tridymit ähnlich (3-dim. verknüpfte 6er-Ringe)
- ▶ Feldspatersatz und Al-Rohstoff (leichte Säurezersetzlichkeit)

## VIII/J.05-10: Leucit



- ▶  $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 4SiO_2$  (Orthoklas:  $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ )

- ▶ (Tief-)Leucit  $\xrightleftharpoons{605^\circ C}$  Hochleucit  
tetragonal                      kubisch

Tief-Leucit: Paramorphose  
(Zwillingslamellen)

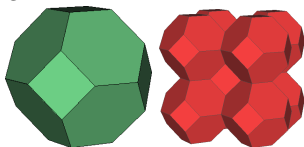
- ▶ „Leucitoeder“ (Ikositetraeder  $\{211\}$ )
- ▶ nur in basischen Vulkaniten, Kristallisation aus der Schmelze
- ▶ isotyp: VIII/J.27-10 Analcim  $Na[AlSi_2O_6] \cdot H_2O$ , aber Zeolith



## VIII/J.11-10: Sodalite



- ▶ „Nephelin· NaCl“:  $3\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot 2\text{NaCl}$
- ▶ „Käfig“-Struktur aus  $\text{SiO}_4$ - und  $\text{AlO}_4$ -Tetraedern  
6 × 4er-Ringe, 8 × 6er-Ringe  
große Anionen ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{S}^{2-}$ ) und Kationen



(nur Si- und Al-Atome dargestellt)

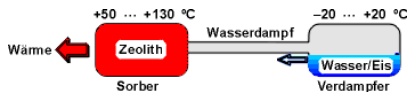
- ▶ Vorkommen vor allem in effusiven Alkaligesteinen, auch in Plutoniten
- ▶ Verwendung als Molekularsiebe
- ▶ VIII/J.11-40: Lazurit  $(\text{Na,Ca})_8[\text{S}_2|(\text{AlSiO}_4)_6]$   
Verwendung als Schmuckstein (Lapis lazuli)

## Zeolith-Familie

- ▶ besonders weitmaschige Gerüste mit großen Hohlräumen  
innere Oberfläche weit über 1.000 m<sup>2</sup>/g, bzw. Kanallänge  
150 Mio. km/g
- ▶ Einlagerung
  - ▶ große Kationen: Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Ba<sup>2+</sup>, Sr<sup>2+</sup>  
schwache Bindung ⇒ austauschbar
  - ▶ H<sub>2</sub>O: Zeolithwasser  
schwache Bindung: Entwässerung und Wasseraufnahme  
(„Kochstein“)
- ▶ geringe Härte, Dichte, Brechzahl
- ▶ meist farblos, hell
- ▶ meist gut kristallisiert in Hohlräumen und Klüften  
spät-magamtischen und in jungvulkanischen Gesteinen,  
durch niedrigstgradigen Metamorphose

## Zeolith-Familie

- ▶ große technische Bedeutung
  - ▶ regenerative Ionenaustauscher, z. B. Wasserentkalkung
  - ▶ Molekularsiebe, Porendurchmesser von 3 bis 10 Å
    - ▶ Auftrennung von Stoffgemischen, nicht nach Siedepunkten
    - ▶ Trennung azeotroper Gemische
    - ▶ auch hohe Adsorptionsrate bei erhöhten Temperaturen
  - ▶ Katalysatoren
  - ▶ Kühlung: Adsorption von Wasser  
⇒ Verdampfungskälte



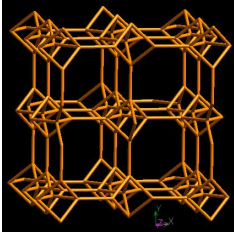
## Zeolith-Familie

- ▶ Einteilung nach Kristallhabitus:

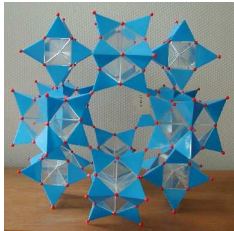
- ▶ Würfelzeolithe
- ▶ Faserzeolithe
- ▶ Blätterzeolithe

- ▶ VIII/J.21-10: Natrolit  $\text{Na}_2[\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10}]\cdot 2\text{H}_2\text{O}$
- ▶ VIII/J.27-10: Analcim  $\text{Na}[\text{AlSi}_2\text{O}_6]\cdot \text{H}_2\text{O}$
- ▶ VIII/J.23: Heulandit  $(\text{Na},\text{K})\text{Ca}_4[\text{Al}_9\text{Si}_{27}\text{O}_{72}]\cdot 24\text{H}_2\text{O}$
- ▶ VIII/J.25-50: Phillipsit  $\text{K}_2(\text{Na},\text{Ca})_4[\text{Al}_6\text{Si}_{10}\text{O}_{32}]\cdot 12\text{H}_2\text{O}$
- ▶ viele synthetische Zeolithstrukturen

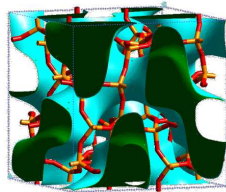
## Zeolith-Familie



Natrolit



Zeolith A



Analcim