

# Tönender Ton: Zur Chemie klassischer Silicatkeramik

Themenwoche 'Technische Produkte'; AGP-Versuch: –



AGP-Begleit'vorlesung' (AC-III)

1. Dezember 2021

- ① Einleitung, Übersicht
- ② Rohstoffe
- ③ Aufbereitung der Rohstoffe, Massen-Herstellung
- ④ Formgebung
- ⑤ Trocknen, Brennen
- ⑥ Eigenschaften, Keramikarten
- ⑦ Zusammenfassung, Literatur und Links

- ① Einleitung, Übersicht
- ② Rohstoffe
- ③ Aufbereitung der Rohstoffe, Massen-Herstellung
- ④ Formgebung
- ⑤ Trocknen, Brennen
- ⑥ Eigenschaften, Keramikarten
- ⑦ Zusammenfassung, Literatur und Links

Definition I:

## Definition I:

- ▶ aus mehreren, wenig definierten Stoffen bestehende,
- ▶ auf wenig reproduzierbaren Wegen hergestellte,
- ▶ schlecht charakterisierte Materialien
- ▶ mit stark variierenden Eigenschaften

## Definition I:

- ▶ aus mehreren, wenig definierten Stoffen bestehende,
- ▶ auf wenig reproduzierbaren Wegen hergestellte,
- ▶ schlecht charakterisierte Materialien
- ▶ mit stark variierenden Eigenschaften

## Definition II:

- ▶ kristalline, thermisch und chemisch stabile, nichtmetallische anorganische Festkörper
- ▶ durch Hochtemperatur-Prozesse gebrauchsfertig gemacht
- ▶ Eigenschaften durch Mikrostruktur ('Gefüge') bestimmt

## Tonkeramik

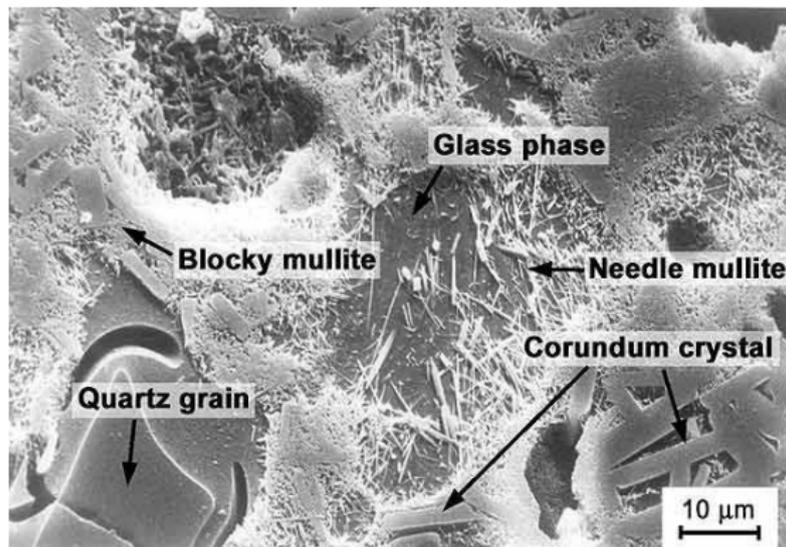
- ▶ wirtschaftlich wichtigste Gruppe
- ▶ Hauptbestandteil  $> 20\%$  Tonerde
- ▶ Rohstoff: feinteilige, meist feucht geformte Tone
- ▶ umfangreiche Formgebungsmöglichkeiten **! VERSUCH !**
- ▶ durch Glühen (Brennen) bei  $1000-1500\text{ }^{\circ}\text{C}$  hergestellt

## Tonkeramik

- ▶ wirtschaftlich wichtigste Gruppe
- ▶ Hauptbestandteil > 20 % Tonerde
- ▶ Rohstoff: feinteilige, meist feucht geformte Tone
- ▶ umfangreiche Formgebungsmöglichkeiten **! VERSUCH !**
- ▶ durch Glühen (Brennen) bei 1000-1500 °C hergestellt

## Sonderkeramiken

- ▶ Oxidkeramik: BeO, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub>
- ▶ Elektro- und Magnetkeramiken: BaTiO<sub>3</sub>, M<sup>II</sup>Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (Ferrite)
- ▶ Nichtoxidkeramiken: Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, SiC, BN

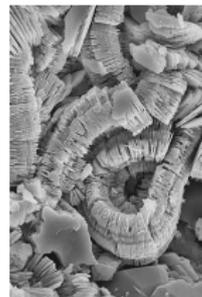


## Bestandteile:

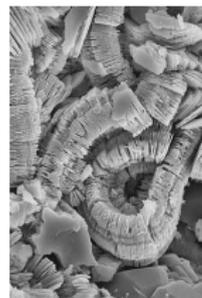
- ▶ Quarz-Körner ( $\text{SiO}_2$ )
- ▶ Korund-Kristalle ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )
- ▶ Mullit-Nadeln und -Blöcke ( $'3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2'$ )
- ▶ Glas ( $x \text{K}_2\text{O} + y \text{SiO}_2 + z \text{Al}_2\text{O}_3$ )

- ① Einleitung, Übersicht
- ② Rohstoffe
- ③ Aufbereitung der Rohstoffe, Massen-Herstellung
- ④ Formgebung
- ⑤ Trocknen, Brennen
- ⑥ Eigenschaften, Keramikarten
- ⑦ Zusammenfassung, Literatur und Links

- 1 Ton (Kaolinit,  $\text{Al}_2(\text{OH})_4[\text{Si}_2\text{O}_5]$ ; Illit)



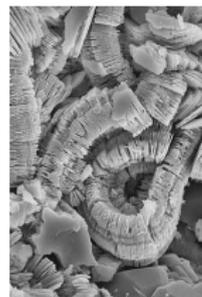
- ① Ton (Kaolinit,  $\text{Al}_2(\text{OH})_4[\text{Si}_2\text{O}_5]$ ; Illit)



- ② Flußmittel (Feldspäte, z.B.  $\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ )



- ① Ton (Kaolinit,  $\text{Al}_2(\text{OH})_4[\text{Si}_2\text{O}_5]$ ; Illit)



- ② Flußmittel (Feldspäte, z.B.  $\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ )



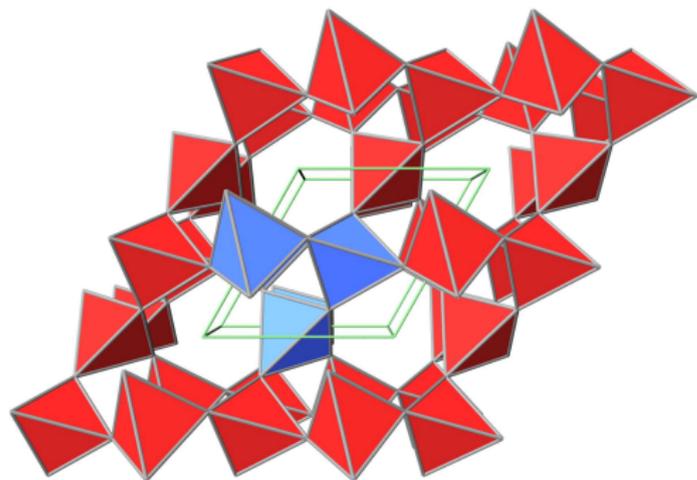
- ③ Magerungsmittel (Quarz,  $\text{SiO}_2$ )



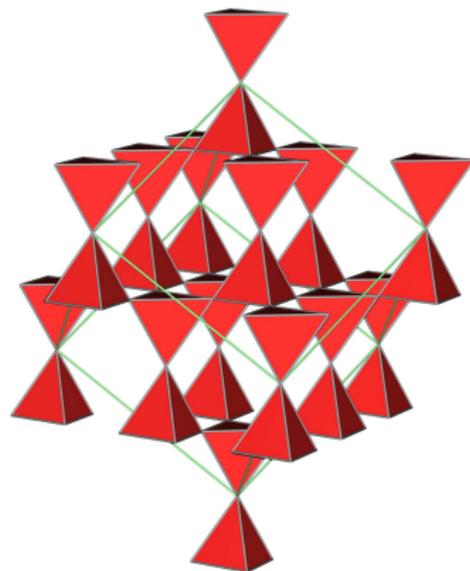
- ④ (ggf. Brennhilfsmittel)

### ③ Magerungsmittel: Quarz ( $\text{SiO}_2$ )

- ▶ verhindern starken Schwund beim Brennen
- ▶ Struktur:  $\text{SiO}_{4/2}$ -Tetraedergerüste



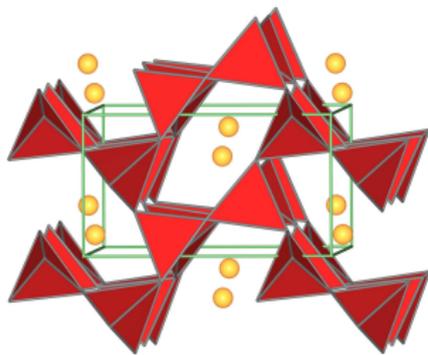
Quarz (Normaltemperaturform)



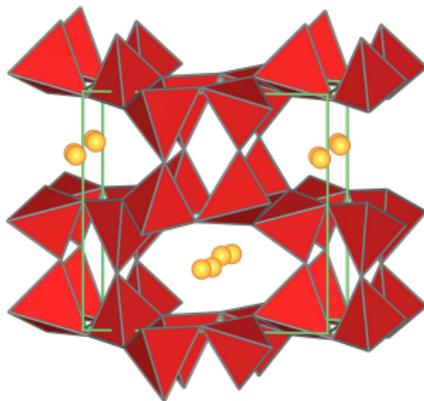
Cristobalit (> 1470 °C)

## ② Flußmittel: Feldspäte

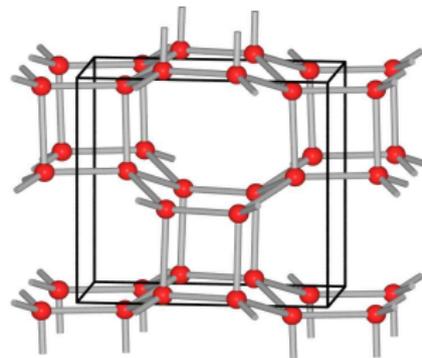
- ▶ zur Erniedrigung der Sinteremperatur, Glasbildung
- ▶ Stoffe: **Feldspäte**, z.B. Orthoklas  $K[AlSi_3O_8]$
- ▶ **Struktur**: Gerüstalumosilicate:  $K^+ + \underbrace{[AlSi_3O_8]^-}_4$



Polyederdarstellung I



Polyederdarstellung II



Darstellung, nur Si-Atome  
(4-, 6- und 8-Ringe)

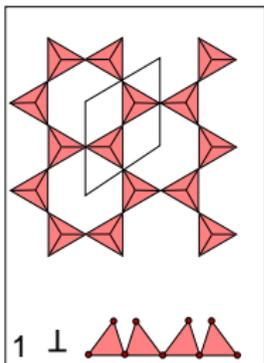
keramische **Tone**  $\mapsto$  Mischung aus

① **Kaolinit:**  $\text{Al}_2(\text{OH})_4[\text{Si}_2\text{O}_5]$

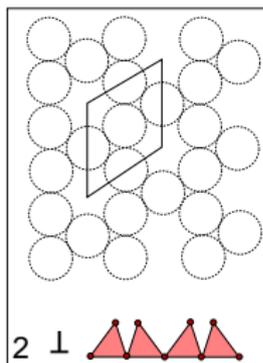
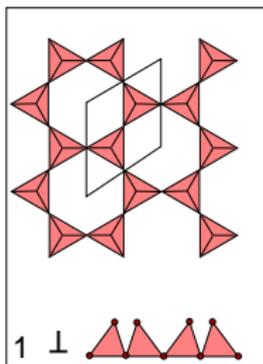
- ▶ dioktaedrisches T-O-Zweischichtsilicat
- ▶ weiss
- ▶ sehr rein, z.B. für Porzellan: Kaolin
- ▶ sehr dünne Blättchen (ca. 10 nm dick, einige  $\mu\text{m}$  breit)
- ▶ Intercalation: Quellung, Schrumpfung, Bindevermögen
- ▶ quellfähig und bildsam
- ▶ in der Natur häufig
- ▶ auch synthetisch herstellbar (Kieselsäure ( $\text{H}_4\text{SiO}_4$ ) +  $\text{Al}(\text{OH})_3$ )

② **Illit:**  $\text{K}_y(\text{H}_2\text{O})_n[\text{Al}_2(\text{OH})_2\text{Si}_{4-y}\text{Al}_y\text{O}_{10}]$

- ▶  $y = 0.7$  bis  $0.9$
- ▶ dioktaedrisches T-O-T-Dreischichtsilicat
- ▶ gelb, rot oder braun, durch Fe auf Al-Plätzen

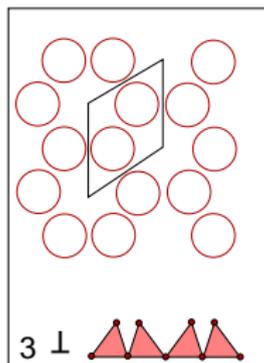
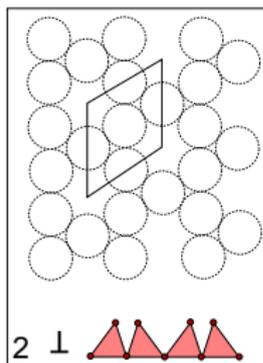
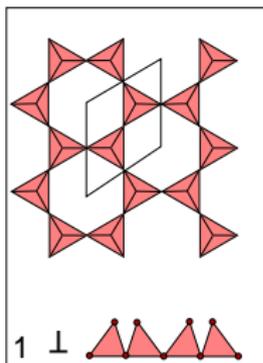


► Schicht  $[\text{Si}_2\text{O}_5]^{2-}$



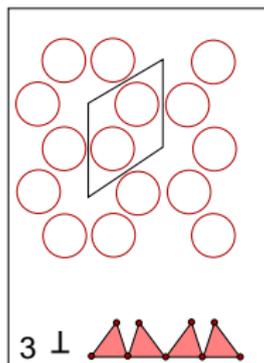
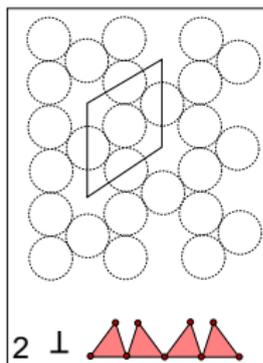
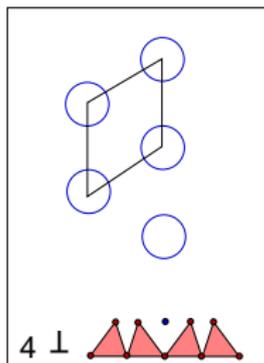
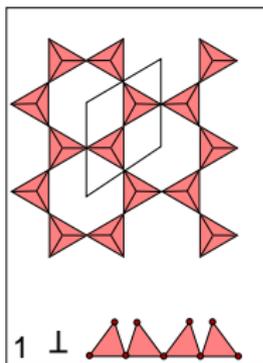
▶ Schicht  $[\text{Si}_2\text{O}_5]^{2-}$

▶  $[\text{Si}_2\text{O}_3\text{O}_2]^{2-}$



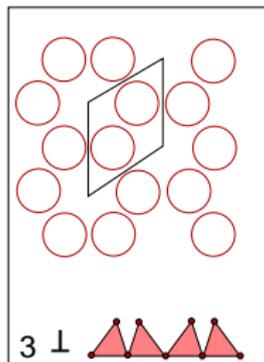
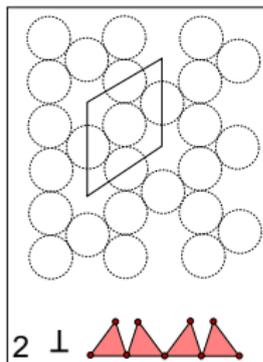
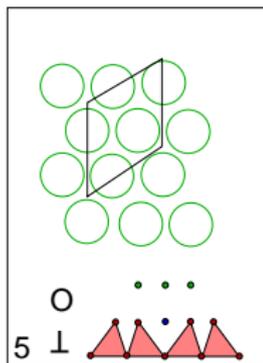
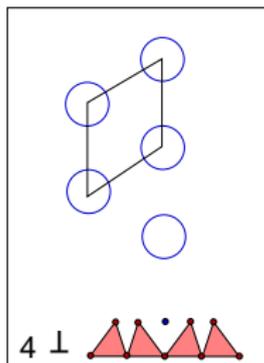
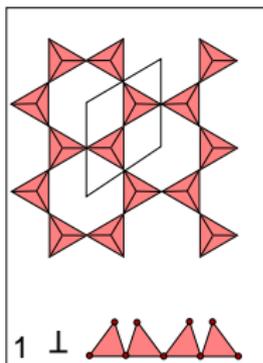
- ▶ Schicht  $[\text{Si}_2\text{O}_5]^{2-}$
- ▶  $[\text{Si}_2\text{O}_3\text{O}_2]^{2-}$

# Strukturen von Schichtsilicaten



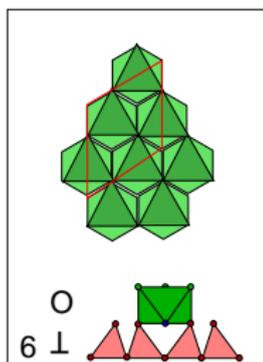
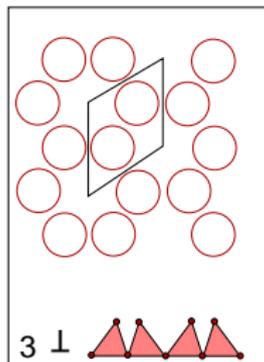
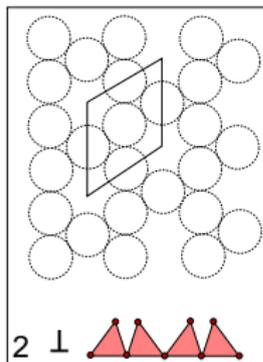
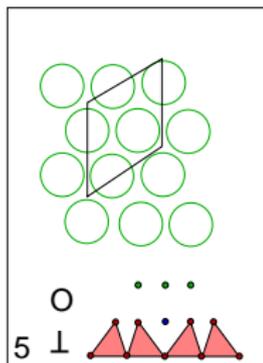
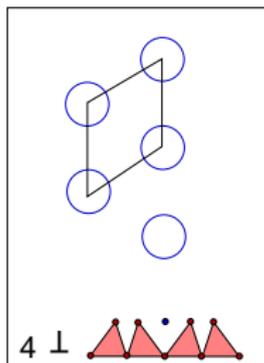
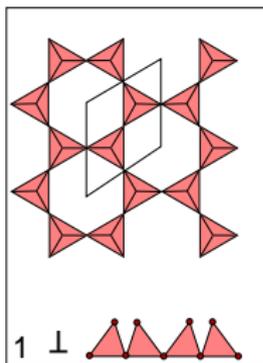
- ▶ Schicht  $[\text{Si}_2\text{O}_5]^{2-}$
- ▶  $[\text{Si}_2\text{O}_3\text{O}_2]^{2-}$
- ▶  $\text{OH}^-$  in Lücken

# Strukturen von Schichtsilicaten



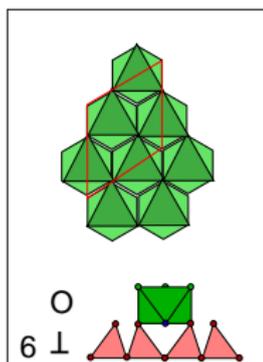
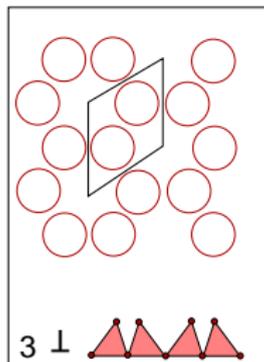
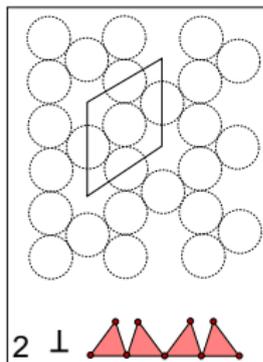
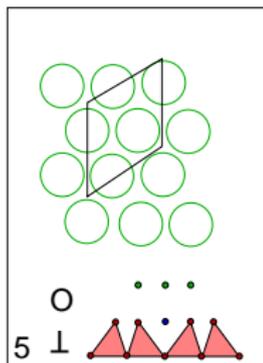
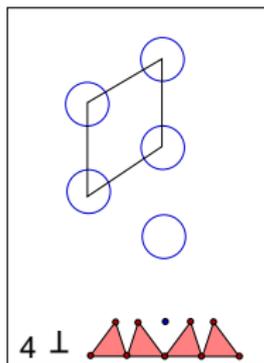
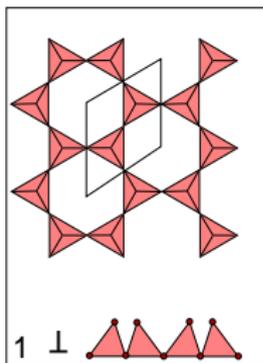
- ▶ Schicht  $[\text{Si}_2\text{O}_5]^{2-}$
- ▶  $[\text{Si}_2\text{O}_3\text{O}_2]^{2-}$
- ▶  $\text{OH}^-$  in Lücken
- ▶ zweite  $\text{OH}^-$ - Schicht

# Strukturen von Schichtsilicaten



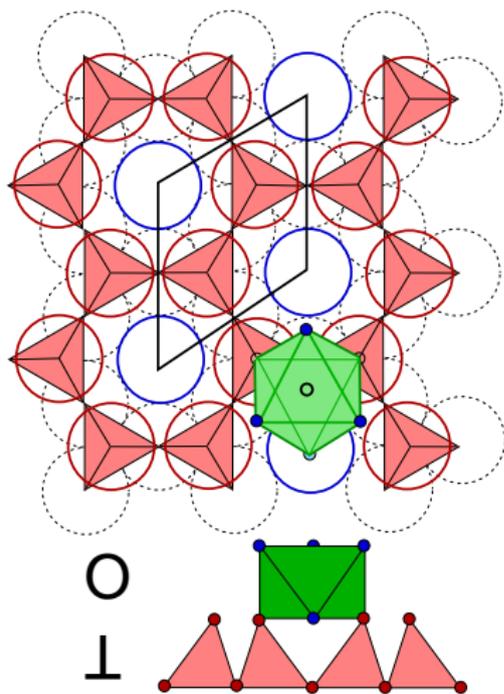
- ▶ Schicht  $[\text{Si}_2\text{O}_5]^{2-}$
- ▶  $[\text{Si}_2\text{O}_3\text{O}_2]^{2-}$
- ▶  $\text{OH}^-$  in Lücken
- ▶ zweite  $\text{OH}^-$ - Schicht
- ▶ 3 Oktaeder pro Formeleinheit

# Strukturen von Schichtsilicaten

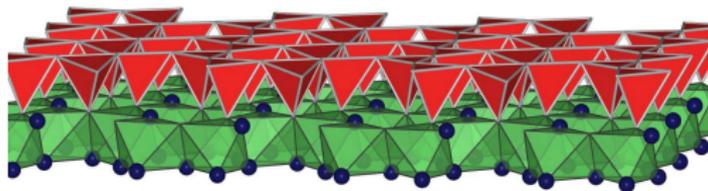


- ▶ Schicht  $[\text{Si}_2\text{O}_5]^{2-}$
- ▶  $[\text{Si}_2\text{O}_3\text{O}_2]^{2-}$
- ▶  $\text{OH}^-$  in Lücken
- ▶ zweite  $\text{OH}^-$ - Schicht
- ▶ 3 Oktaeder pro Formeleinheit
- ▶ davon 2 mit  $\text{Al}^{3+}$  besetzt (dioktaedrisch)
- ▶  $\text{Al}_2(\text{OH})_4[\text{Si}_2\text{O}_5]$
- ▶ Gesamtstruktur

# Strukturen von Schichtsilicaten (Bsp. Kaolinit)

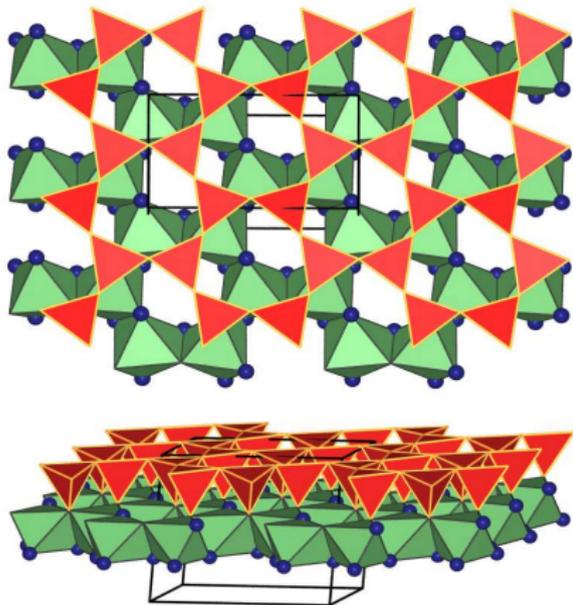


- ▶ Tetraederschicht:  $[\text{Si}_2\text{O}_5]^{2-}$
- ▶  $1 \times \text{OH}^-$  in den Lücken zwischen den Tetraederspitzen
- ▶ hexagonal dichte Schicht (A)
- ▶  $3 \times \text{OH}^-$  (Schicht B)
- ▶ 2 Al in Oktaederlücken
- ▶ Summe:  $\text{Al}_2(\text{OH})_4[\text{Si}_2\text{O}_5]$
- ▶ dioktaedrisch, 2-Schicht-Silicat

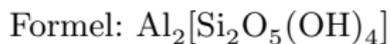


# Vergleich: Kaolinit und Talk (2/3-Schicht bzw. di/tri-oktaedrisch)

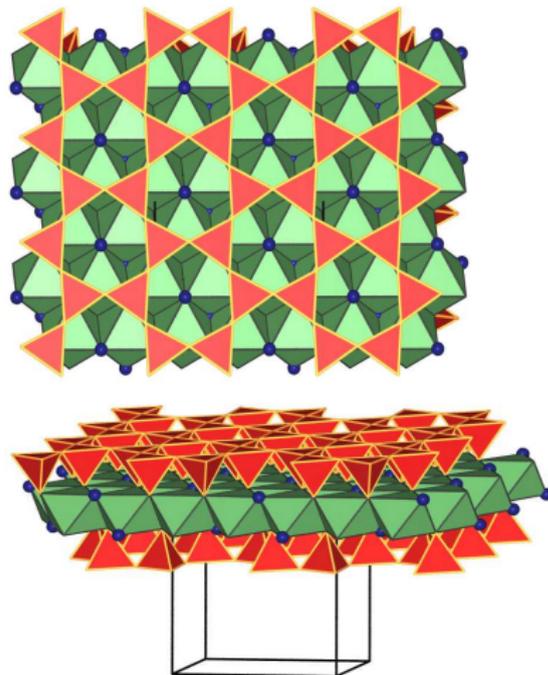
Kaolinit:



dioktaedrisch, T-O 2-Schichtsilicat



Talk:



trioctaedrisch, T-O-T 3-Schichtsilicat



- ▶ **T-O** (kationenreiche) Zwei-Schichtsilicate
  - ▶ OH<sup>-</sup>-Schicht (Orientierung B) auf Schicht A
  - ▶  $\mapsto$  Formel:  $[\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})(\text{OH})_3]^{6-}$
  - ▶ insgesamt 3 OL/FE zwischen A und B
- ▶ **T-O-T** (kationenarme) Drei-Schichtsilicate
  - ▶ zweite Silicat-Schicht umgekehrt (Orientierung B) auf Schicht A
  - ▶  $\mapsto$  Formel:  $[\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})^{3-}]_2 = [\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2]^{6-}$
  - ▶ wieder 3 OL/FE zwischen A und B

- ▶ **T-O** (kationenreiche) Zwei-Schichtsilicate
  - ▶ OH<sup>-</sup>-Schicht (Orientierung B) auf Schicht A
  - ▶  $\mapsto$  Formel:  $[\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})(\text{OH})_3]^{6-}$
  - ▶ insgesamt 3 OL/FE zwischen A und B
- ▶ **T-O-T** (kationenarme) Drei-Schichtsilicate
  - ▶ zweite Silicat-Schicht umgekehrt (Orientierung B) auf Schicht A
  - ▶  $\mapsto$  Formel:  $[\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})^{3-}]_2 = [\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2]^{6-}$
  - ▶ wieder 3 OL/FE zwischen A und B

⇓ für beide Fälle: 3 OL/FE  $\mapsto$  Ausgleich der Schichtladung von  $-6$  durch ...

## ① 3 2-wertige Kationen

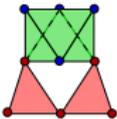
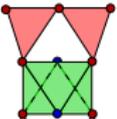
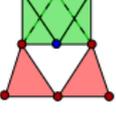
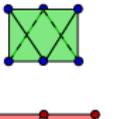
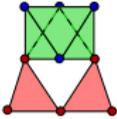
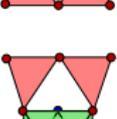
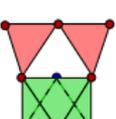
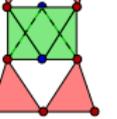
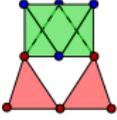
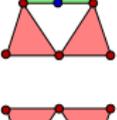
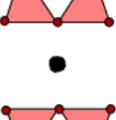
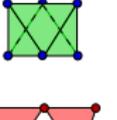
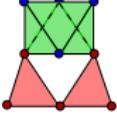
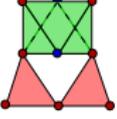
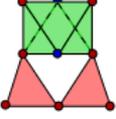
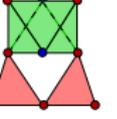
- ▶ trioktaedrische Schichtsilicate
- ▶ z.B. Serpentin:  $\text{Mg}_3[\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4]$
- ▶ Zwischenschicht entspricht dem Brucit  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  (CdI<sub>2</sub>-Typ)

## ② 2 3-wertige Kationen

- ▶ dioktaedrische Schichtsilicate
- ▶ z.B. Kaolinit:  $\text{Al}_2[\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4]$
- ▶ Zwischenschicht entspricht dem Bayerit  $\text{Al}(\text{OH})_3$  (BiI<sub>3</sub>-Typ)

- ▶ partielle Si→Al-Substitution in den Silicat-Schichten (erhöhte Ladung)
- ▶ eingelagerte Kationen (z.B. Glimmer)
- ▶ Hydratation dieser Kationen (z.B. Illit)
- ▶ zwischengelagerte Metallhydroxid-Schichten (z.B. Chlorit)
- ▶ relative Anordnung der Schichten zueinander
  - ▶ Optimierung der H-Brücken-Systeme
  - ▶ Anpassung an CN der eingelagerten Kationen
- ▶ verschiedene Arten der Fehlordnung:
  - ... bei Silicaten mit eingelagerten Kationen: Substitutionsfehlordnung (z.B. Mg–Al-Austausch bei Glimmern)
  - ... bei Kationen-armen Silicaten: Stapelung der Schichten gegeneinander (Translationsfehlordnung, 'turbostratisch') (unregelmäßige Schichtenfolge, verschobene Schichten)
- ▶ ↦ sehr starke Unterschiede in Eigenschaften und Reaktionen der Silicate

# Übersicht Schichtsilicate

				
				
				
				
tri-	Serpentin	Talk	Phlogopit	Chlorit
di-	Kaolinit	Pyrophyllit	Muskovit	Sudoit
oktaedrisch	Tonminerale		Glimmer	
	kationenreich	kationenarm		
	2-Schicht-S.	3-Schicht-S.		4-Schicht-S.

# Übersicht Schichtsilicate

		nicht hydratisiert		hydratisiert	
S. T ↓	dioktaedrisch	trioktaedrisch	dioktaedrisch	trioktaedrisch	
2	Si	Kaolinit: $\text{Al}_2[\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4]$	Serpentin: $\text{Mg}_3[\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4]$	Hydrohalloysit: $\text{Al}_2[\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4] \cdot (\text{H}_2\text{O})_2$	–
3	Si	Pyrophyllit: $\text{Al}_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2]$	Talk: $\text{Mg}_3[\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2]$	Montmorillonit: $\text{Mg}_{\frac{1}{3}}\text{Al}_{\frac{5}{3}}[\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2] \cdot (\text{Ca,Na})_x(\text{H}_2\text{O})_n$	Saponit: $(\text{Mg,Fe})[\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2] \cdot (\text{Ca,Na})_x(\text{H}_2\text{O})_n$
Si/Al		Glimmer-Gruppe		Vermiculit-Reihe	
(3:1)	Muscovit:	Biotit: $\text{KAl}_2[\text{T}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2]$ $(\text{Mg,Ca,K})_x(\text{H}_2\text{O})_n$	Illit (hydratis. Muscovit): $(\text{Mg,Al,Fe})_2[\text{T}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2] \cdot (\text{Mg,Ca})_x(\text{H}_2\text{O})_n$	–	–
4	Si	–	–	–	–
Si/Al		Sudoit: $\text{Al}_{2.33}(\text{OH})_6$	Chlorit: $(\text{Mg,Fe,Al})_3[\text{T}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2] \cdot (\text{Mg,Fe})_3(\text{OH})_6$	–	–

## ① Keramische Tone (Wdh.)

keramische **Tone**  $\mapsto$  Mischung aus

### ① **Kaolinit:** $\text{Al}_2(\text{OH})_4[\text{Si}_2\text{O}_5]$

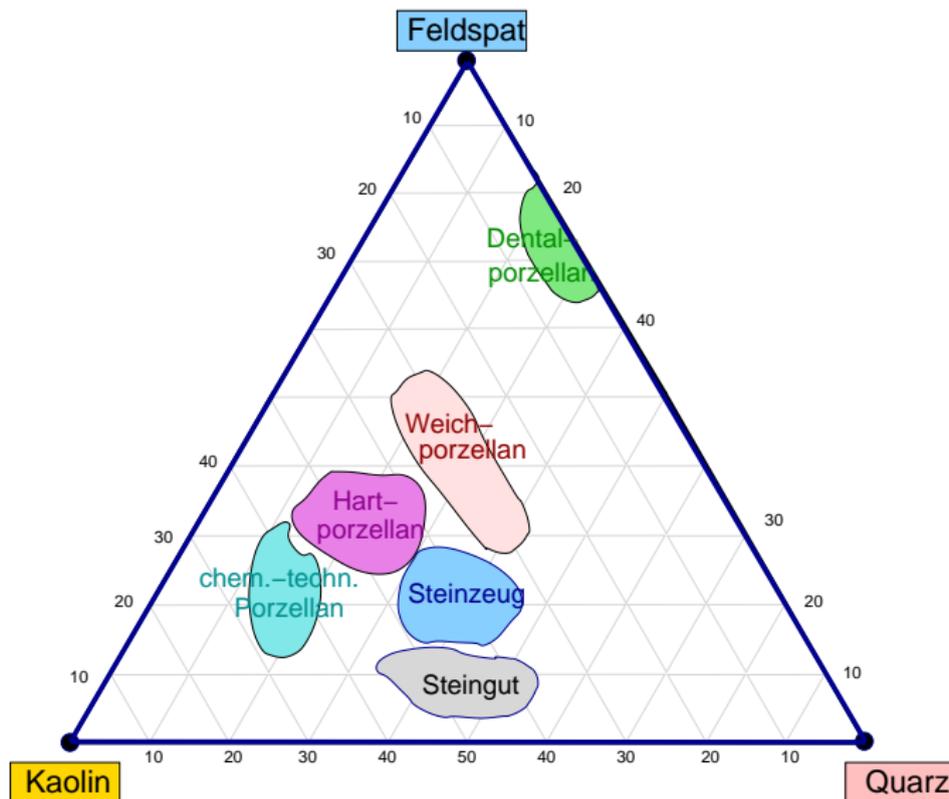
- ▶ dioktaedrisches T-O-Zweischichtsilicat
- ▶ weiss
- ▶ sehr rein, z.B. für Porzellan: Kaolin
- ▶ sehr dünne Blättchen (ca. 10 nm dick, einige  $\mu\text{m}$  breit)
- ▶ Intercalation: Quellung, Schrumpfung, Bindevermögen
- ▶ quellfähig und bildsam
- ▶ in der Natur häufig
- ▶ auch synthetisch herstellbar (Kieselsäure ( $\text{H}_4\text{SiO}_4$ ) +  $\text{Al}(\text{OH})_3$ )

### ② **Illit:** $\text{K}_y(\text{H}_2\text{O})_n[\text{Al}_2(\text{OH})_2\text{Si}_{4-y}\text{Al}_y\text{O}_{10}]$

- ▶  $y = 0.7$  bis  $0.9$
- ▶ dioktaedrisches T-O-T-Dreischichtsilicat
- ▶ gelb, rot oder braun, durch Fe auf Al-Plätzen

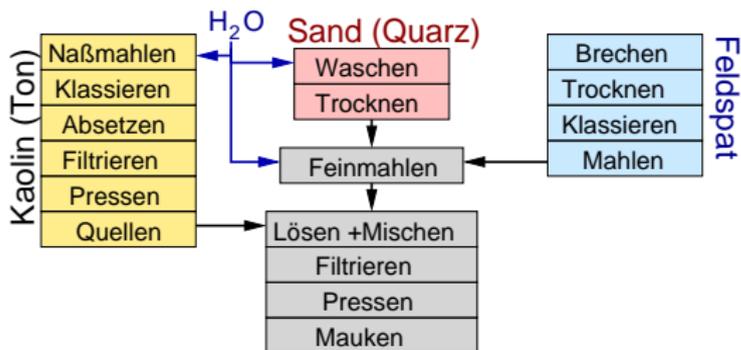
- ① Einleitung, Übersicht
- ② Rohstoffe
- ③ **Aufbereitung der Rohstoffe, Massen-Herstellung**
- ④ Formgebung
- ⑤ Trocknen, Brennen
- ⑥ Eigenschaften, Keramikarten
- ⑦ Zusammenfassung, Literatur und Links

# Zusammensetzung der 'Massen'

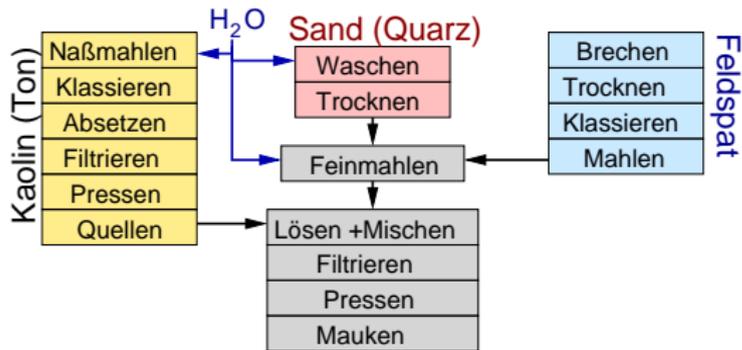


Lagediagramm Kaolin - Quarz - Feldspat

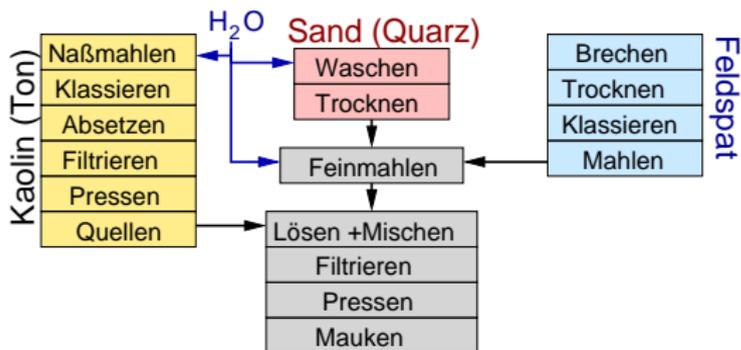
# Aufbereitung der Rohstoffe



# Aufbereitung der Rohstoffe

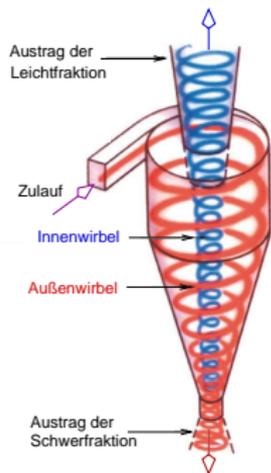
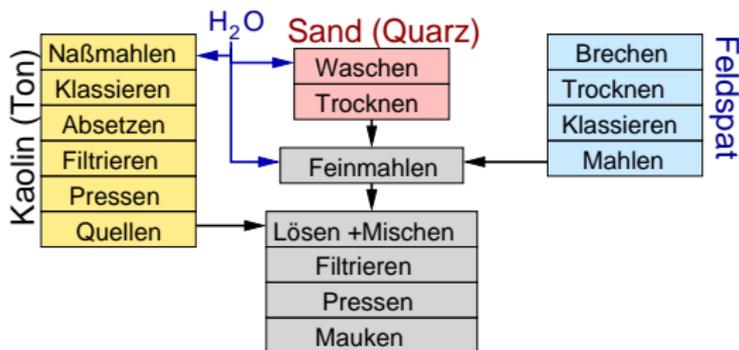


► Kaolin-Abbau im Tagebau

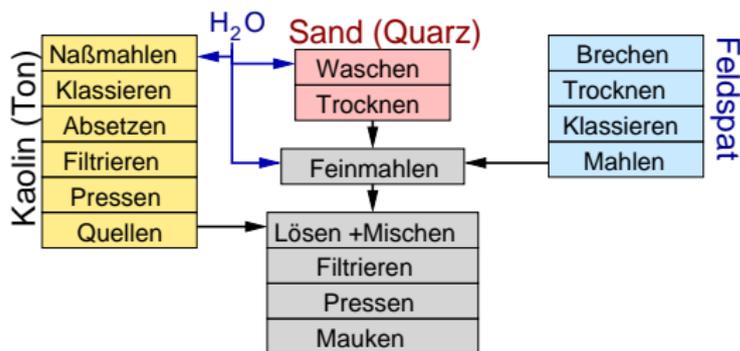


- ▶ Kaolin-Abbau im Tagebau
- ▶ Zerkleinern: Brecher, Mühlen

# Aufbereitung der Rohstoffe

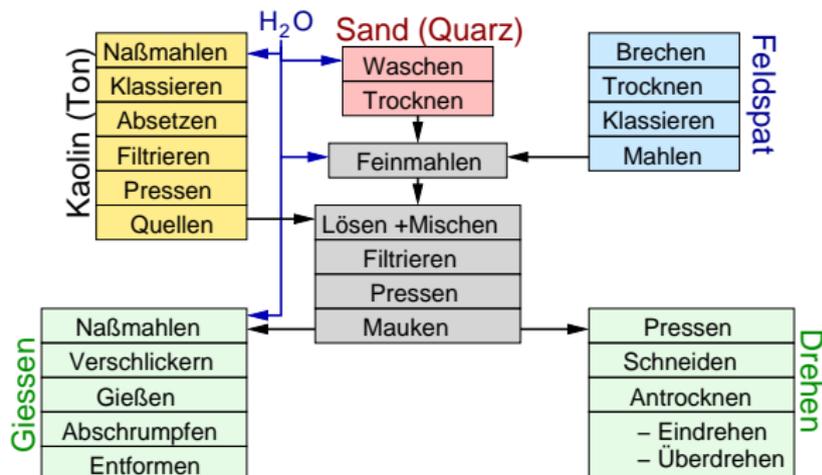


- ▶ Kaolin-Abbau im Tagebau
- ▶ Zerkleinern: Brecher, Mühlen
- ▶ Klassieren (Korngrößen:  $< 40\mu\text{m}$ )
  - ▶ Schlammverfahren
  - ▶ Hydrozyklone

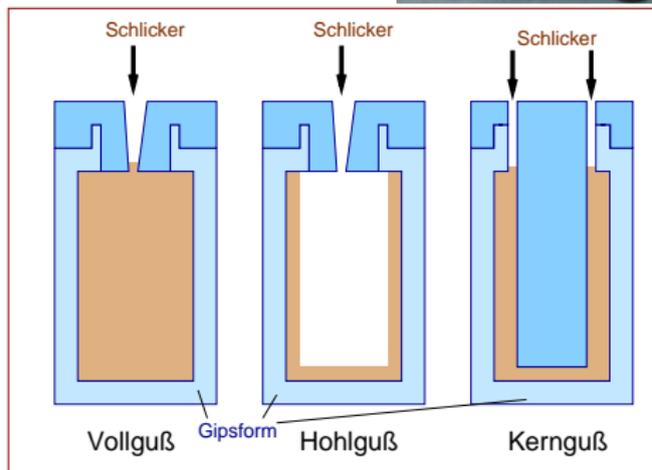


- ▶ Kaolin-Abbau im Tagebau
- ▶ Zerkleinern: Brecher, Mühlen
- ▶ Klassieren (Korngrößen:  $< 40\mu\text{m}$ )
  - ▶ Schlammverfahren
  - ▶ Hydrozyklone
- ▶ Trocknen
  - ▶ Kläreindicker
  - ▶ Filterpressen
- ▶ Mischen: in Mühlen, Knetter usw....

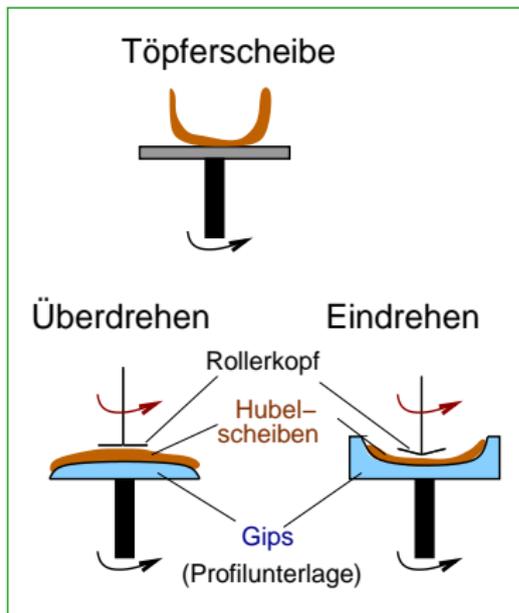
- ① Einleitung, Übersicht
- ② Rohstoffe
- ③ Aufbereitung der Rohstoffe, Massen-Herstellung
- ④ Formgebung**
- ⑤ Trocknen, Brennen
- ⑥ Eigenschaften, Keramikarten
- ⑦ Zusammenfassung, Literatur und Links



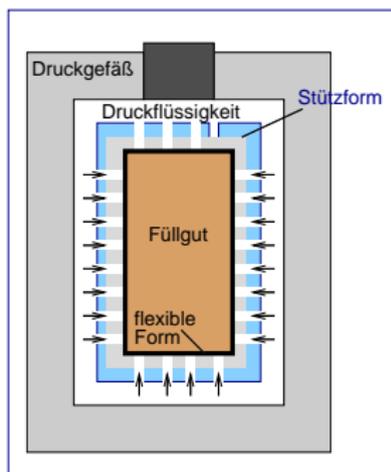
- ▶ Schlickergiessen
- ▶ Plastische Formgebung (Drehen und Rollen)
- ▶ Extrudieren
- ▶ Isostatisches Pressen
- ▶ ...



- ▶ flüssigere Gießmassen: ca. 33-36 %  $H_2O$
- ▶ Vollguß, Hohlguß, Kernguß (je nach Produkt)
- ▶ Gipsformen, entziehen dem Schlicker Wasser
- ▶ Trocknungsschrumpfung (Grünling leicht aus Form ablösbar, 'Abschrumpfen') **! VERSUCH !**



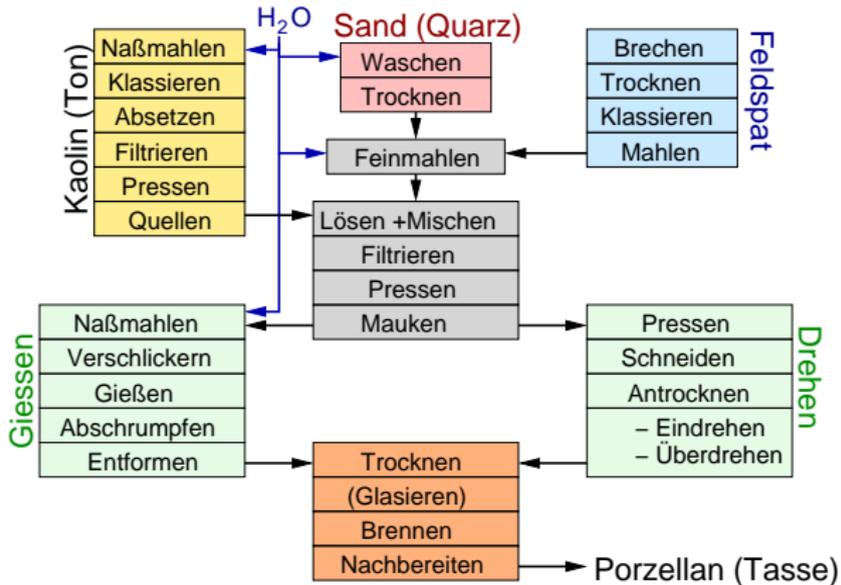
- ▶ festere Massen: 22-24 %  $H_2O$
- ▶ Ausnutzung der 'Bildsamkeit' (Form bleibt bestehen)
- ▶ nur für rotationssymmetrische Teile
- ▶ von Hand: Töpferscheibe
- ▶ großtechnisch:
  - ▶ Strangpressen
  - ▶ Abschnitte (Hubel) passender Größe
  - ▶ Drehverfahren (Rollerkopf schneller als Form)
- 'Überdrehen' von Flachteilen (z.B. Teller)
- 'Eindrehen' von Hohlteilen (Tassen, Schüsseln)

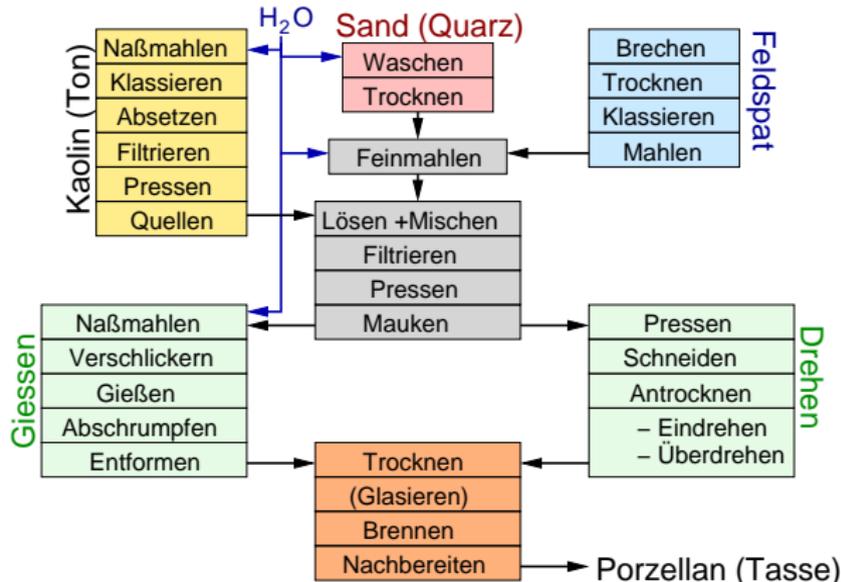


Isostatisches Pressen

- ▶ Strangpressen/Extrudieren
- ▶ Pulververdichtung
  - ▶ Massen mit 1-4 %  $H_2O$
  - ▶ billig, da Trockenverarbeitung
  - ▶ Pressen
  - ▶ isostatisches Pressen:
- ▶ Spritzguss
  - ▶ für kompliziertere Teile (Elektrokeramik)
- ▶ Folienpressen
- ▶ ...

- ① Einleitung, Übersicht
- ② Rohstoffe
- ③ Aufbereitung der Rohstoffe, Massen-Herstellung
- ④ Formgebung
- ⑤ Trocknen, Brennen**
- ⑥ Eigenschaften, Keramikarten
- ⑦ Zusammenfassung, Literatur und Links





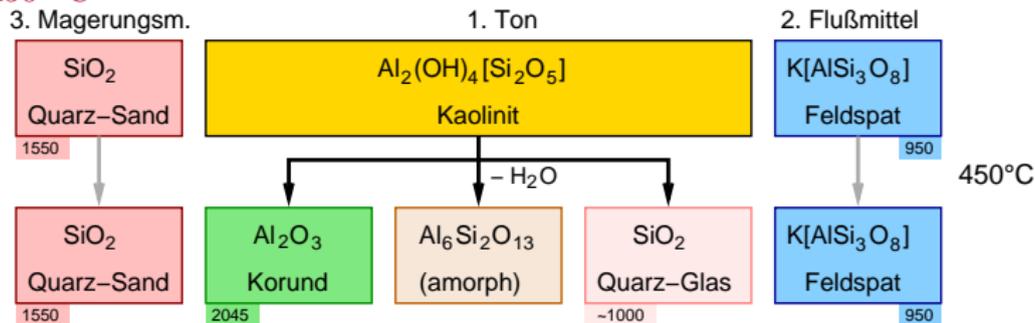
- ▶ Entfernung von H<sub>2</sub>O oder organischer Bindemittel
- ▶ sehr langsam (bis zu 24 h, je nach Scherbendicke)
- ▶ Gefahr: Rißbildung
- ▶ Trockenschwund !



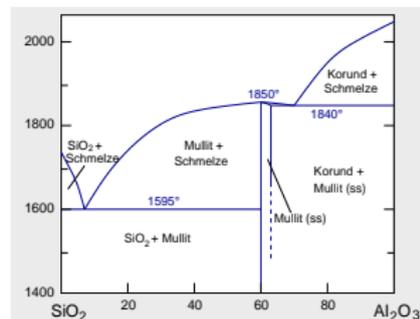
- ▶ Maximaltemperaturen: 1200 bis 1400 °C
- ▶ typische Schrumpfung ca. 20 %
- ▶ früher: einfache Rundöfen/Muffeln
- ▶ heute kontinuierliche Tunnelöfen
  - ▶ bis 150 m lang
  - ▶ 'Durchfahrt' des Brennguts auf Wagen (Verweilzeit: bis zu 100 h)
- ▶ auch kontinuierliche Ringöfen
  - ▶ bewegliches Feuer

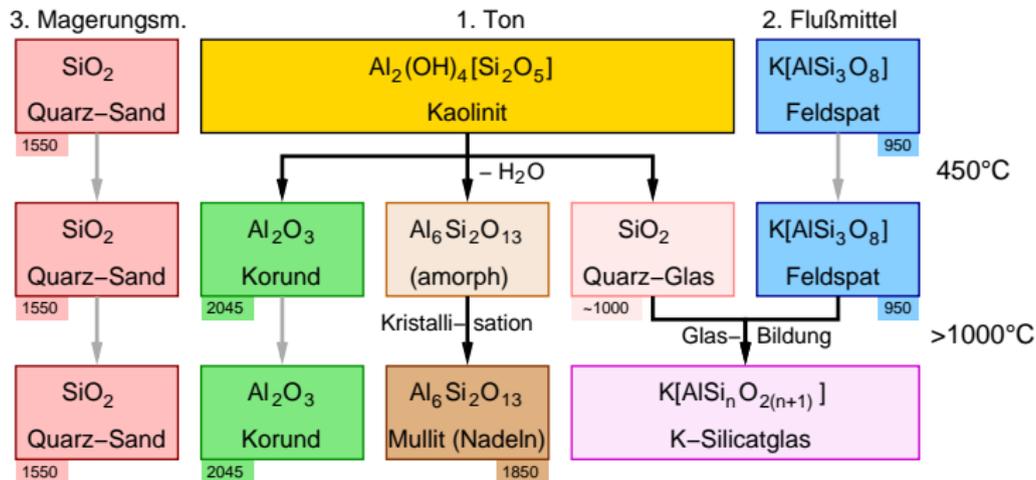
# Chemische Prozesse beim Brennen

bis ca. 450 °C



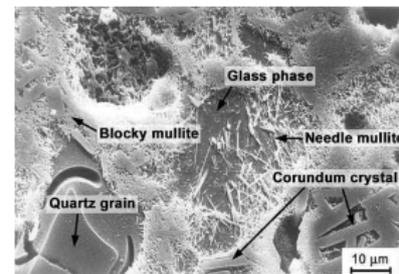
► ca. 20 % Volumenverlust (Schrumpfung)



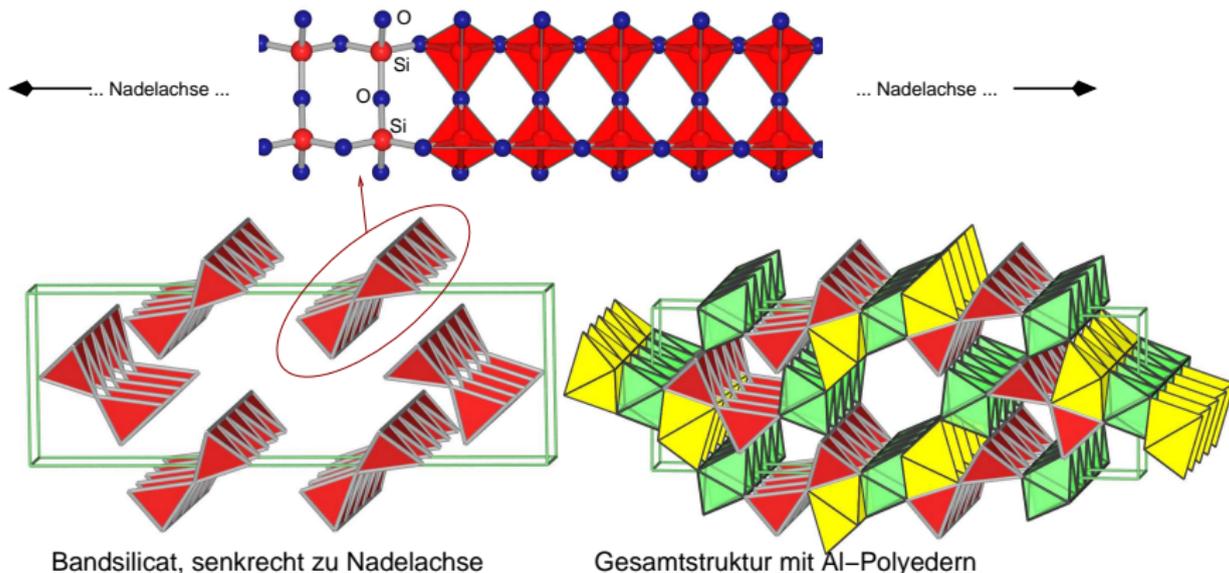


ab ca. 1000 °C

- ▶ Feldspatverflüssigung: Feldspat (Flußmittel) löst alle amorphen Anteile ( $\text{SiO}_2$ -Glas + 'Mullit')
- ▶ Mullit kristallisiert Nadel-förmig (verfilzte Nadeln)
- ▶ K-Alumiosilicat-Gläser 'verkitten' die Kristallite



# Mullit $\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$



- ▶ Bandsilicat:  $\text{Al}_6\text{O}_8[\text{Si}_2\text{O}_5]$
- ▶  $\text{Al}^{3+}$ :
  - ▶ Oktaeder (grün, CN=6)
  - ▶ trigonalen Prismen (gelb, CN=5)
- ▶ nur Silicat und Gesamtstruktur



- ① Einleitung, Übersicht
- ② Rohstoffe
- ③ Aufbereitung der Rohstoffe, Massen-Herstellung
- ④ Formgebung
- ⑤ Trocknen, Brennen
- ⑥ Eigenschaften, Keramikarten
- ⑦ Zusammenfassung, Literatur und Links

- ▶ **mechanisch:**
  - ▶ hohe Druckbelastbarkeit
  - ▶ niedrige Zugbelastbarkeit
  - ▶ sprödes Verhalten

- ▶ **mechanisch:**

- ▶ hohe Druckbelastbarkeit
- ▶ niedrige Zugbelastbarkeit
- ▶ sprödes Verhalten

- ▶ **thermisch:**

- ▶ hohe Temperatur-Beständigkeit
- ▶ niedrige Temperatur-Wechselbeständigkeit
- ▶ schlechte thermische Leitfähigkeit

- ▶ **mechanisch:**
  - ▶ hohe Druckbelastbarkeit
  - ▶ niedrige Zugbelastbarkeit
  - ▶ sprödes Verhalten
- ▶ **thermisch:**
  - ▶ hohe Temperatur-Beständigkeit
  - ▶ niedrige Temperatur-Wechselbeständigkeit
  - ▶ schlechte thermische Leitfähigkeit
- ▶ **elektrisch:**
  - ▶ schlechte elektrische Leitfähigkeit

## ▶ mechanisch:

- ▶ hohe Druckbelastbarkeit
- ▶ niedrige Zugbelastbarkeit
- ▶ sprödes Verhalten

## ▶ thermisch:

- ▶ hohe Temperatur-Beständigkeit
- ▶ niedrige Temperatur-Wechselbeständigkeit
- ▶ schlechte thermische Leitfähigkeit

## ▶ elektrisch:

- ▶ schlechte elektrische Leitfähigkeit

## ▶ chemisch:

- ▶ unlöslich in Wasser
- ▶ schwerlöslich in Säuren, Basen und Salzlösungen
- ▶ toxikologisch absolut unbedenklich

... nach Korngrößen:

- ▶ grobkeramisch (Gefügebestandteile  $> 0.2$  mm)
- ▶ feinkeramisch (Gefügebestandteile  $< 0.2$  mm)

... nach Wasserdichtigkeit (WAF=Wasseraufnahme)

- ▶ porös (wasserdurchlässig) (WAF  $> 6\%$ )  $\mapsto$  Tongut
- ▶ dicht (wasserundurchlässig) (WAF  $< 6\%$ )  $\mapsto$  Tonzeug
  - ▶ Steinzeug (Scherben nicht durchscheinend)
  - ▶ Porzellan (Scherben durchscheinend)

## Baustoffe (dick)

- ▶ **Ziegelei-Erzeugnisse** (nicht weiß brennend)
  - ▶ z.B. (Dach)-Ziegel
  - ▶ Rohmaterial Lehm (Sand + Kaolin)
  - ▶ Verarbeitung meist in Strangpressen
  - ▶ geringe Dichte
  - ▶ gute Wärmedämmung
- ▶ **Feuerfest-Erzeugnisse**
  - ▶ z.B. Schamottsteine, Futter für Zement-Drehrohröfen
  - ▶ hoher Erweichungspunkt (1700 - 1900 °C)

## Geschirr (dünn)

- ▶ **Töpferei-Erzeugnisse** (nicht weiß brennend)
  - ▶ irdenes Haushaltsgeschirr, Blumentöpfe, Majolika, Fayencen,
  - ▶ Ofenkacheln
- ▶ **Steingut** (weiß brennend)
  - ▶ z.B. Sanitärkeramik (Kloschüsseln, Waschbecken)
  - ▶ häufig zwei Brände:
    - ① 'Biskuit'-Brand
    - ② Glasur- oder Glattbrand  $\mapsto$  danach dicht!

# Tonzeug (dicht)

## Baustoffe (dick)

- ▶ **Steinzeug**
  - ▶ z.B. Klinker, Fliesen, Kanalrohre

## Geschirr (dünn)

- ▶ **Steinzeug:**
  - ▶ gröbere Haushaltsgegenstände, Kaffeebecher usw.
- ▶ **Porzellan:**
  - ▶ Hartporzellan  
(hohe Brenn-Temperatur, geringe Verzierbarkeit)
  - ▶ Weichporzellan/China-Porzellan  
(niedrigere Brenn-Temperatur, bessere Verzierbarkeit)



- ▶ Tone (Kaolinit, ein Schichtsilicat) + Magerungsmittel (Quarz  $\text{SiO}_2$ ) + Flußmittel (Feldspat) (!alle natürlich!)
- ▶ Mahlen, Quellen  $\mapsto$  bildbare Massen
- ▶ vielfältige Formgebung (Giessen, Drehen, ...)
- ▶ Brennen
  - ▶ bis 450 °C: Korund und Mullit/Quarz als Gläser (amorph)
  - ▶ > 1000 °C: faserförmiger Mullit (verfilze Nadelchen), mit Glas verkittet
- ▶ Eigenschaften
- ▶ verschiedene Silicatkeramiken und ihre Verwendung

## ▶ Lehrbücher zur Chemie/Mineralogie

- ▶ Holleman/Wiberg: Anorganische Chemie, de Gruyter (2013).
- ▶ F. Liebau: Structural Chemistry of Silicates, Springer (1985).
- ▶ M. Okrusch, S. Matthes: Mineralogie, Springer (2013).

## ▶ Technologie

- ▶ K.-H. Schüller: Whitewares (2012)  
(in Ullmann: Encyclopedia of Chemical Technology, Wiley VCH).
- ▶ Winnacker/Küchler: Chemische Technologie, Bd. II, Hanser Verlag, München (2004).

## ▶ Links

- ▶ [diese Präsentation](#)
- ▶ [Web-Seiten zur Vorlesung Silicat-Chemie, CR](#)
- ▶ [Web-Seite Keramverband](#) (techn. Keramik)
- ▶ [Fa. Seltmann, Weiden](#)

## ▶ Videos

- ▶ [Herstellung einer Kloschüssel](#)
- ▶ [Film der Fa. Seltmann zur Geschirrherstellung](#)



... und eine schöne **Adventszeit** !! ...