

5. Klassische Silicatkeramik ('Vom Ton zur Tasse')

Vorlesung 'Vom Mineral zum Material – Angewandte Silicatchemie'

Caroline Röhr



13.07.2016

Einleitung, Übersicht

Rohstoffe

Aufbereitung der Rohstoffe, Massen-Herstellung

Formgebung

Trocknen, Brennen

Eigenschaften, Keramikarten

Zusammenfassung

Literatur

Einleitung, Übersicht

Rohstoffe

Aufbereitung der Rohstoffe, Massen-Herstellung

Formgebung

Trocknen, Brennen

Eigenschaften, Keramikarten

Zusammenfassung

Literatur

Was ist Keramik?

Definition I:

Was ist Keramik?

Definition I:

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

Was ist Keramik?

Definition I:

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

Definition II:

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

Einteilung von Keramiken nach Chemismus

Tonkeramik

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

Einteilung von Keramiken nach Chemismus

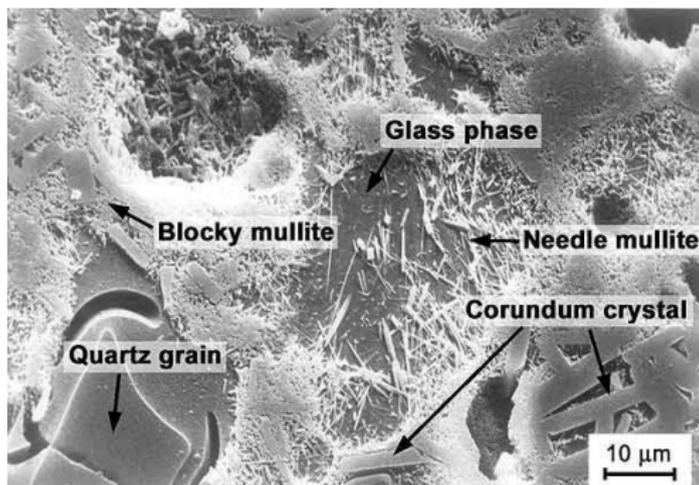
Tonkeramik

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

Sonderkeramiken

- ▶ Oxidkeramik: BeO , MgO , Al_2O_3 , TiO_2 , ZrO_2
- ▶ Elektro- und Magnetkeramiken: BaTiO_3 , $M^{\text{II}}\text{Fe}_2\text{O}_4$ (Ferrite)
- ▶ Nichtoxidkeramiken: Si_3N_4 , SiC , BN

Gefüge von Tonkeramik



Bestandteile: *

- ▶ Quarz-Körner (SiO_2)
- ▶ Korund-Kristalle (Al_2O_3)
- ▶ Mullit-Nadeln und -Blöcke ($'3 \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2 \text{SiO}_2'$)
- ▶ Glas ($x \text{K}_2\text{O} + y \text{SiO}_2 + z \text{Al}_2\text{O}_3$)

* s. Vorlage 5.2. unten

Einleitung, Übersicht

Rohstoffe

Aufbereitung der Rohstoffe, Massen-Herstellung

Formgebung

Trocknen, Brennen

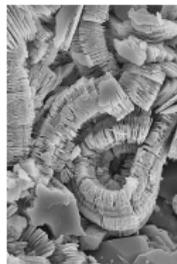
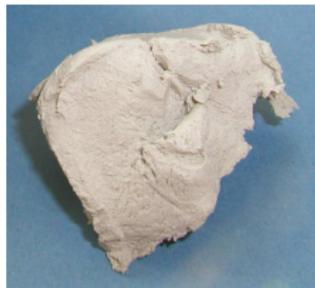
Eigenschaften, Keramikarten

Zusammenfassung

Literatur

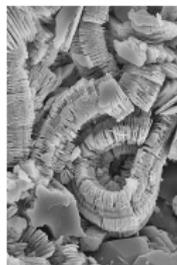
Rohstoffe allgemein

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



Rohstoffe allgemein

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

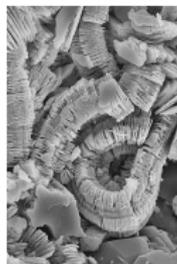


2. Flußmittel (Feldspäte, z.B. $\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$)



Rohstoffe allgemein

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



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



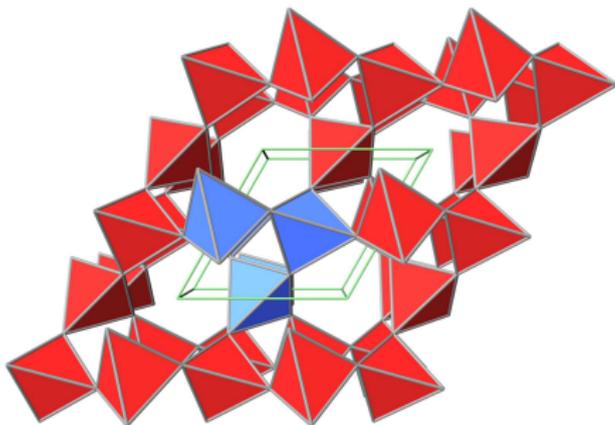
3. Magerungsmittel (Quarz, SiO_2)



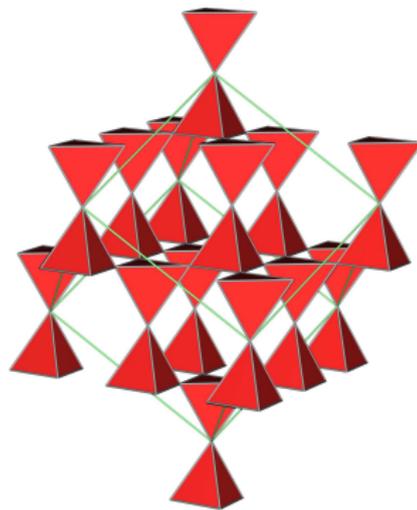
4. (ggf. Brennhilfsmittel)

③ Magerungsmittel: Quarz (SiO_2)

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



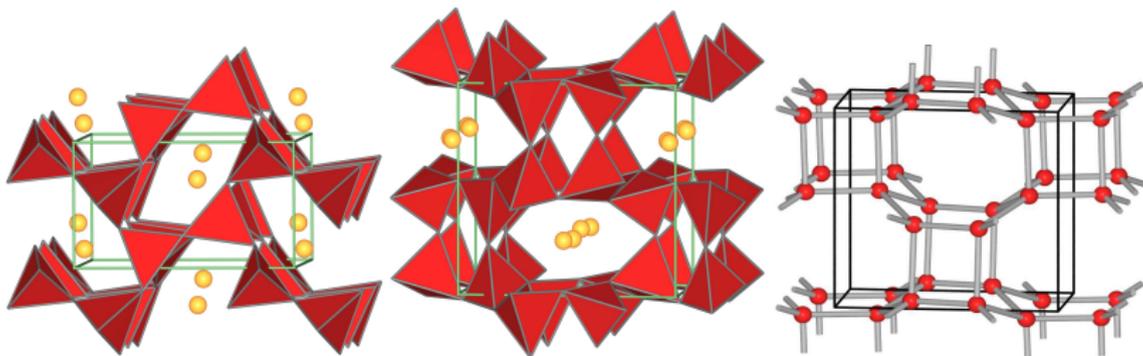
Quarz (Normaltemperaturform)



Cristobalit (> 1470°C)

② Flußmittel: Feldspäte

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

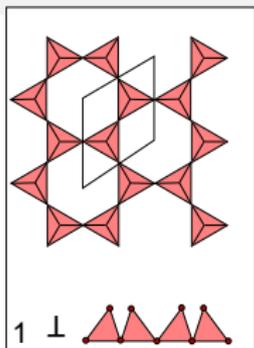


① Keramische Tone

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 μm breit)
 - ▶ Intercalation: Quellung, Schrumpfung, Bindevermögen
 - ▶ quellfähig und bildsam
 - ▶ in der Natur häufig
 - ▶ auch synthetisch herstellbar (Kieselsäure (H_4SiO_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

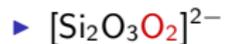
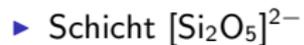
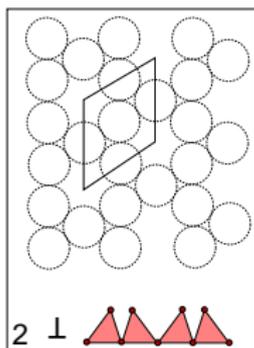
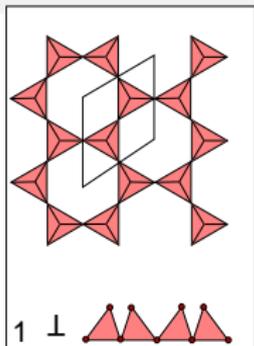
Strukturen von Schichtsilicaten *



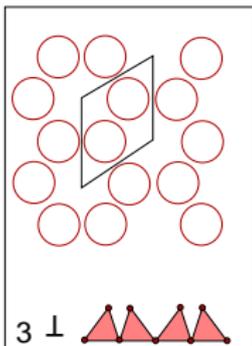
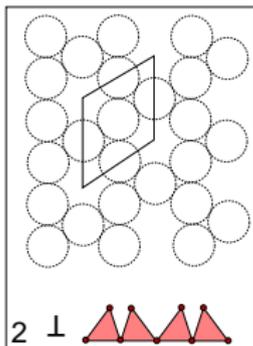
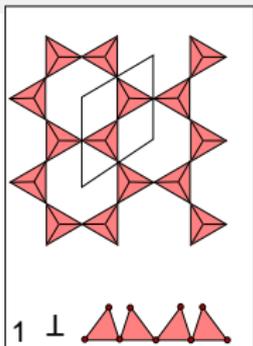
► Schicht [Si₂O₅]²⁻

* s. Vorlage 5.1. oben

Strukturen von Schichtsilicaten *



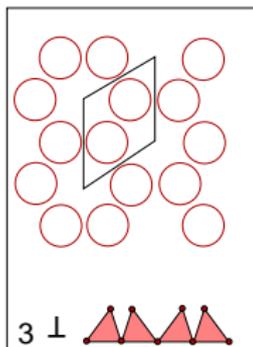
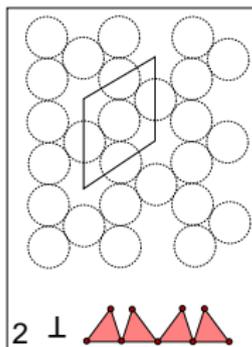
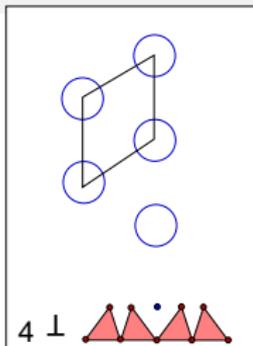
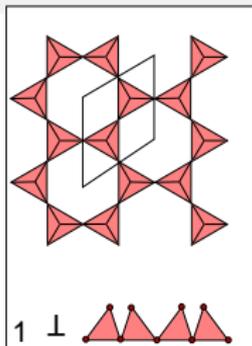
Strukturen von Schichtsilicaten *



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

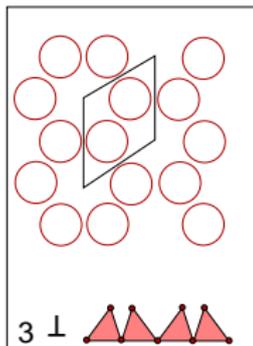
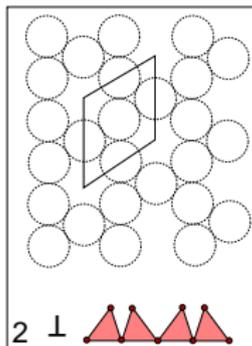
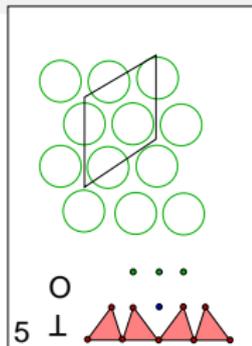
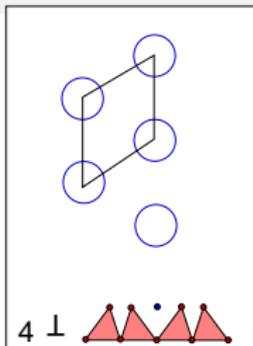
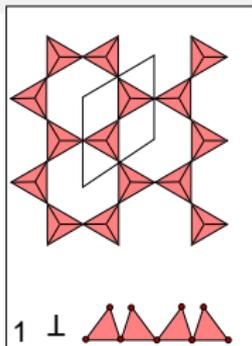
▶ $[\text{Si}_2\text{O}_3\text{O}_2]^{2-}$

Strukturen von Schichtsilicaten *



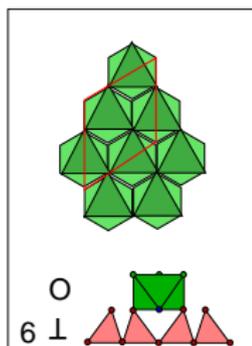
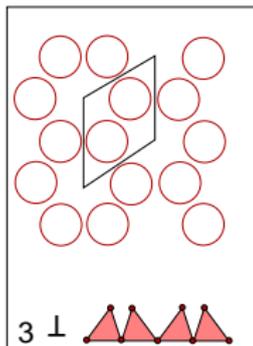
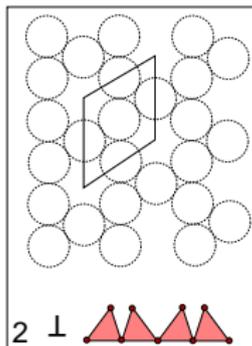
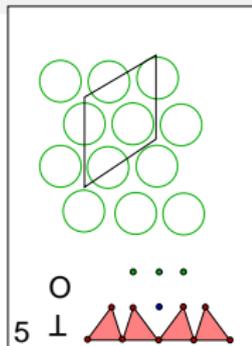
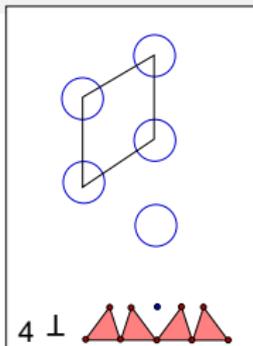
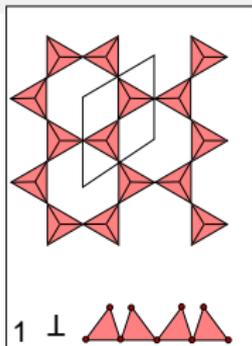
- ▶ Schicht $[\text{Si}_2\text{O}_5]^{2-}$
- ▶ $[\text{Si}_2\text{O}_3\text{O}_2]^{2-}$
- ▶ OH^- in Lücken

Strukturen von Schichtsilicaten *



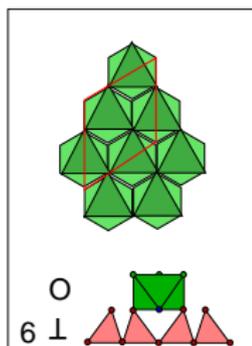
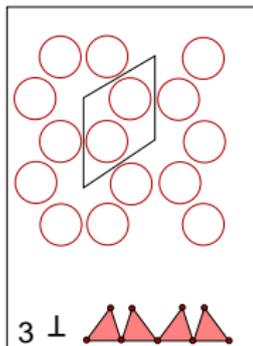
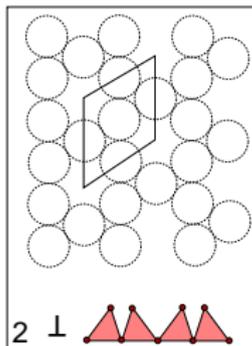
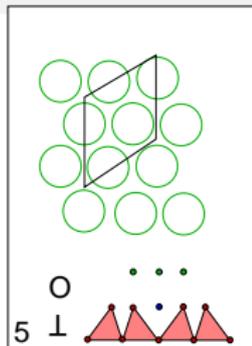
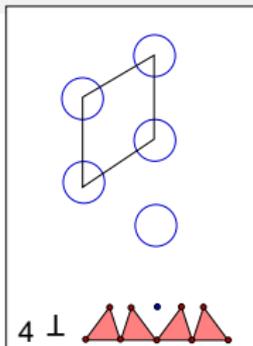
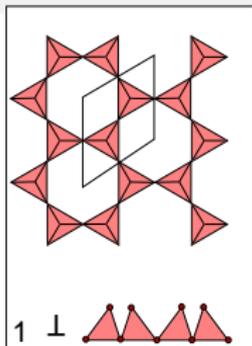
- ▶ Schicht $[\text{Si}_2\text{O}_5]^{2-}$
- ▶ $[\text{Si}_2\text{O}_3\text{O}_2]^{2-}$
- ▶ OH^- in Lücken
- ▶ zweite OH^- -Schicht

Strukturen von Schichtsilicaten *



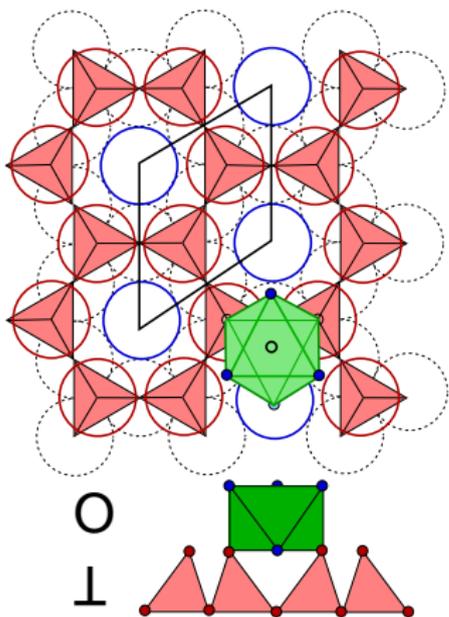
- ▶ Schicht $[\text{Si}_2\text{O}_5]^{2-}$
- ▶ $[\text{Si}_2\text{O}_3\text{O}_2]^{2-}$
- ▶ OH^- in Lücken
- ▶ zweite OH^- -Schicht
- ▶ 3 Oktaeder pro Formeleinheit

Strukturen von Schichtsilicaten *

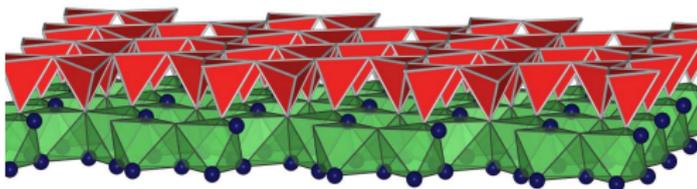


- ▶ Schicht $[\text{Si}_2\text{O}_5]^{2-}$
- ▶ $[\text{Si}_2\text{O}_3\text{O}_2]^{2-}$
- ▶ OH^- in Lücken
- ▶ zweite OH^- -Schicht
- ▶ 3 Oktaeder pro Formeleinheit
- ▶ davon 2 mit Al^{3+} besetzt (dioktaedrisch)
- ▶ $\text{Al}_2(\text{OH})_4[\text{Si}_2\text{O}_5]$
- ▶ Gesamtstruktur

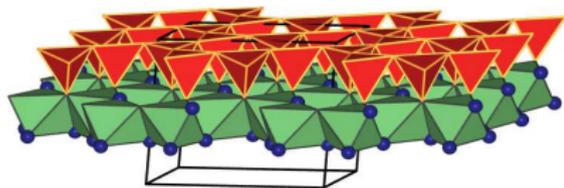
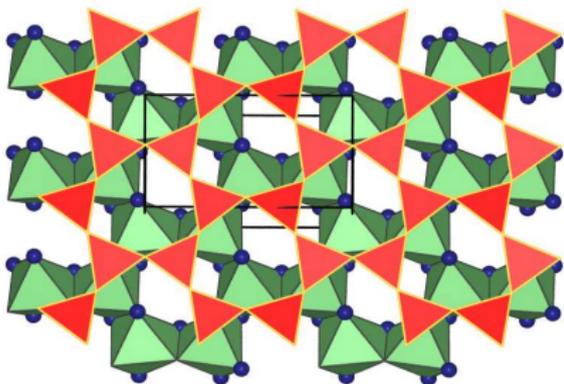
Strukturen von Schichtsilicaten (Kaolinit: dioktaedrisches 2-Schichtsilicat)



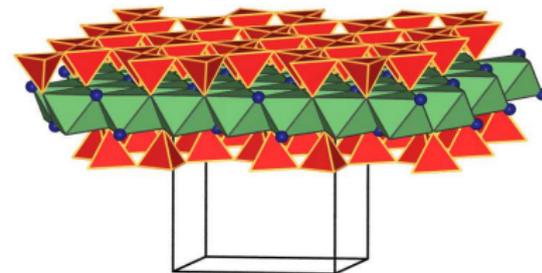
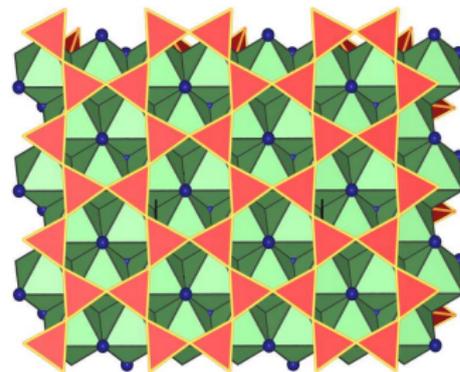
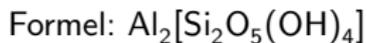
- ▶ Tetraederschicht: $[\text{Si}_2\text{O}_5]^{2-}$
- ▶ $1 \times \text{OH}^-$ in den Lücken zwischen den Tetraederspitzen
- ▶ hexagonal dichte Schicht (A)
- ▶ $3 \times \text{OH}^-$ (Schicht B)
- ▶ 2 Al in Oktaederlücken
- ▶ Summe: $\text{Al}_2(\text{OH})_4[\text{Si}_2\text{O}_5]$



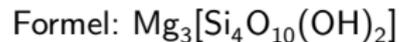
Vergleich: Kaolinit und Talk (2/3-Schicht bzw. di/tri-oktaedrisch)



Kaolinit: dioktaedrisch, T-O 2-Schichtsilicat



Talk: trioktaedrisch, T-O-T 3-Schichtsilicat



Einteilung natürlicher Schichtsilicate

- ▶ **T-O** (kationenreiche) Zwei-Schichtsilicate
 - ▶ OH⁻-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

Einteilung natürlicher Schichtsilicate

- ▶ **T-O** (kationenreiche) Zwei-Schichtsilicate
 - ▶ OH⁻-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 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ (CdI₂-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 $\text{Al}(\text{OH})_3$ (BiI₃-Typ)

zusätzliche Variationen

- ▶ 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 S. mit eingelagerten Kationen: Substitutionsfehlordnung (z.B. Mg-Al-Austausch bei Glimmern)
 - ▶ ... bei Kationen-armen S: 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 $\text{Mg}_{0.33}\text{Al}_{1.67}[\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2] \cdot (\text{Ca}, \text{Na})_x(\text{H}_2\text{O})_n$	Saponit $(\text{Mg}, \text{Fe})_3[\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2] \cdot (\text{Ca}, \text{Na})_x(\text{H}_2\text{O})_n$
	Si/Al	Glimmer		Vermiculit-Reihe	
		Muscovit $\text{KAl}_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2]$	Biotit $\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_3[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2]$	Illit (hydr. Muscovit) $(\text{Mg}, \text{Al}, \text{Fe})_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2] \cdot (\text{Mg}, \text{Ca}, \text{K})_x(\text{H}_2\text{O})_n$	$(\text{Mg}, \text{Fe})_3[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2] \cdot (\text{Mg}, \text{Ca})_x(\text{H}_2\text{O})_n$
4	Si	–			
	Si/Al	Sudoit	Chlorit	–	
		$\text{Al}_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2] \cdot \text{Al}_{2.33}(\text{OH})_6$	$(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})_3[(\text{Al}/\text{Si})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2] \cdot (\text{Mg}, \text{Fe})_3(\text{OH})_6$	–	

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 μm breit)
- ▶ Intercalation: Quellung, Schrumpfung, Bindevermögen
- ▶ quellfähig und bildsam
- ▶ in der Natur häufig
- ▶ auch synthetisch herstellbar (Kieselsäure (H_4SiO_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

Einleitung, Übersicht

Rohstoffe

Aufbereitung der Rohstoffe, Massen-Herstellung

Formgebung

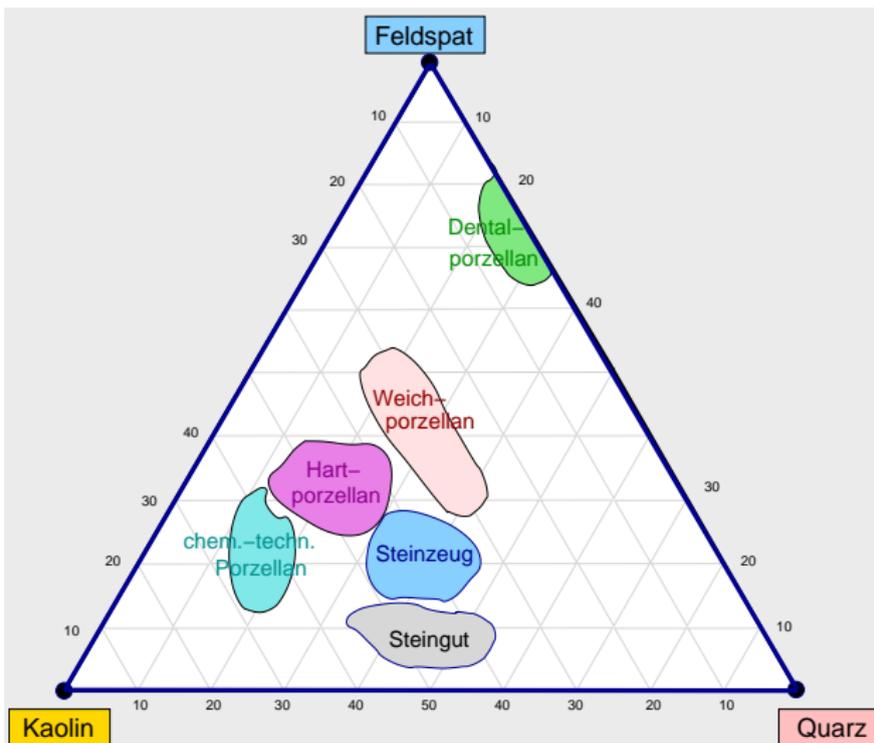
Trocknen, Brennen

Eigenschaften, Keramikarten

Zusammenfassung

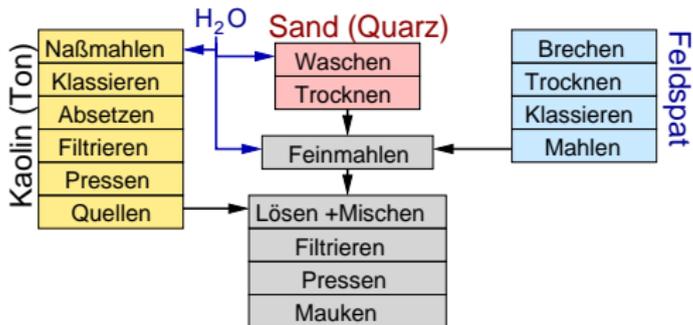
Literatur

Zusammensetzung der 'Massen'

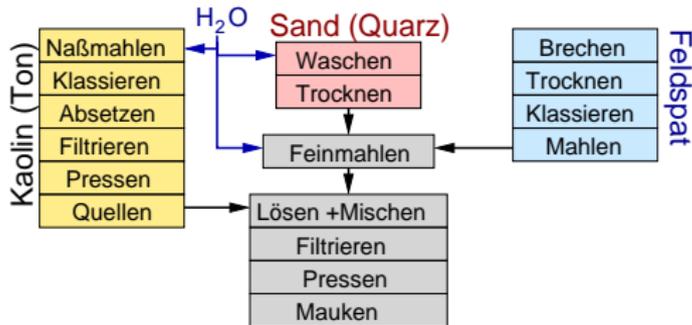


Lagediagramm Kaolin - Quarz - Feldspat

Aufbereitung der Rohstoffe

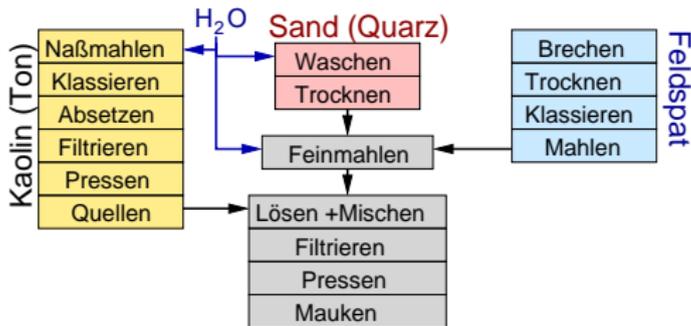


Aufbereitung der Rohstoffe



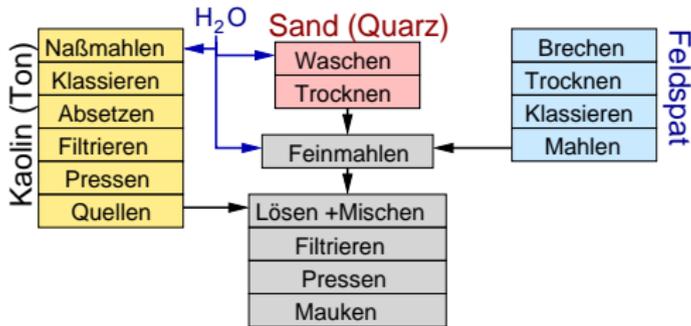
► Kaolin-Abbau im Tagebau

Aufbereitung der Rohstoffe

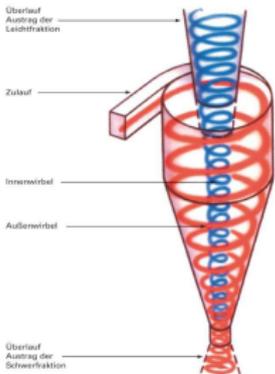


- ▶ Kaolin-Abbau im Tagebau
- ▶ Zerkleinern: Brecher, Mühlen

Aufbereitung der Rohstoffe

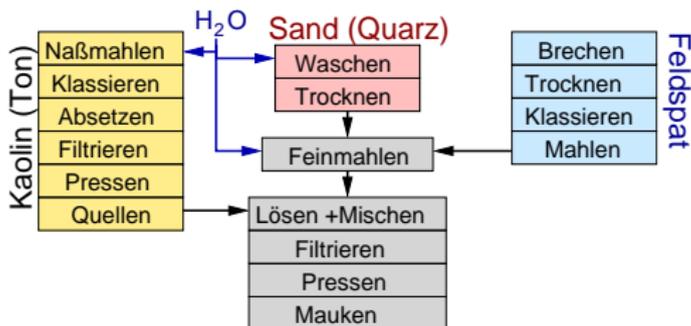


Prinzip der Wirkungsweise des Hydrozyklons



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

Aufbereitung der Rohstoffe



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

Einleitung, Übersicht

Rohstoffe

Aufbereitung der Rohstoffe, Massen-Herstellung

Formgebung

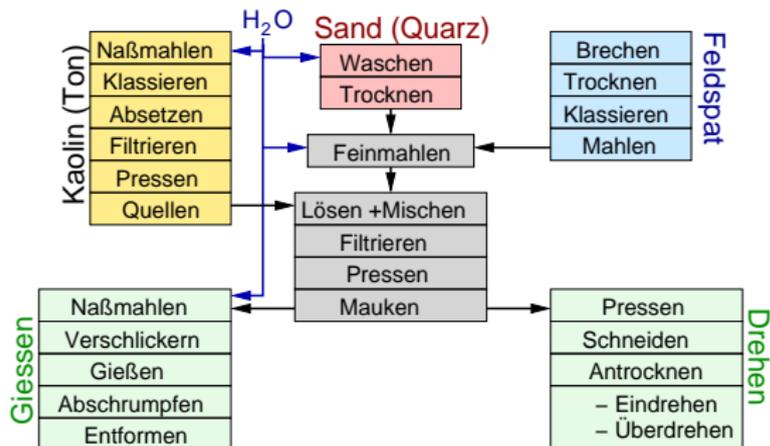
Trocknen, Brennen

Eigenschaften, Keramikarten

Zusammenfassung

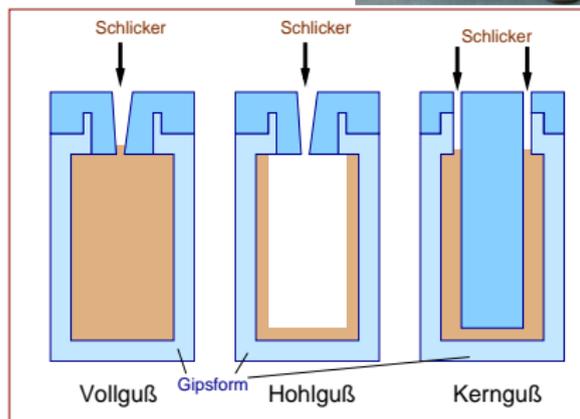
Literatur

Formgebungsverfahren



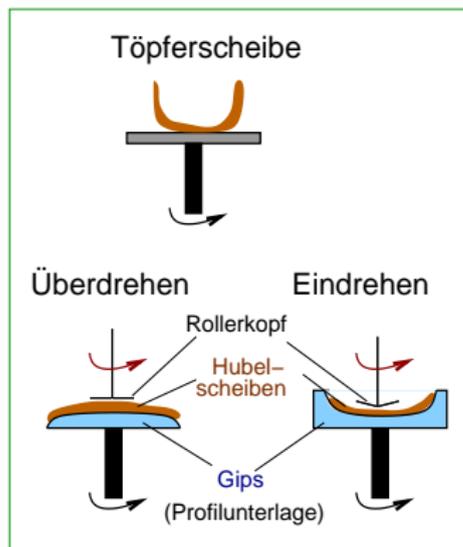
- ▶ Schlickergiessen
- ▶ Plastische Formgebung (Drehen und Rollen)
- ▶ Extrudieren
- ▶ Isostatisches Pressen
- ▶ ...

Formgebungsverfahren I: Giessen



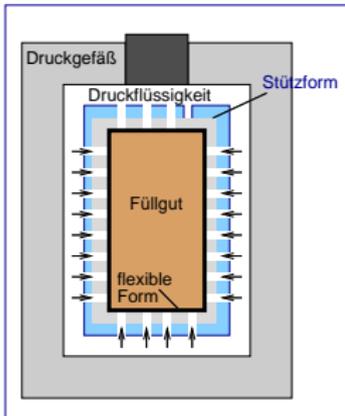
- ▶ flüssigere Gießmassen: ca. 33-36% H_2O
- ▶ Vollguß, Hohlguß, Kernguß (je nach Produkt)
- ▶ Gipsformen, entziehen dem Schlicker Wasser
- ▶ Trocknungsschrumpfung (Grünling leicht aus Form ablösbar, 'Abschrumpfen')

Formgebungsverfahren II: Plastische Formgebung (Drehen und Rollen)



- ▶ festere Massen: 22-24% H₂O
- ▶ 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)

Formgebungsverfahren III: Weitere Verfahren



Isostatisches Pressen

- ▶ Strangpressen/Extrudieren
- ▶ Pulververdichtung
 - ▶ Massen mit 1-4 % H₂O
 - ▶ billig, da Trockenverarbeitung
 - ▶ Pressen
 - ▶ isostatisches Pressen:
- ▶ Spritzguss
 - ▶ für kompliziertere Teile (Elektrokeramik)
- ▶ Foliengiessen
- ▶ ...

Einleitung, Übersicht

Rohstoffe

Aufbereitung der Rohstoffe, Massen-Herstellung

Formgebung

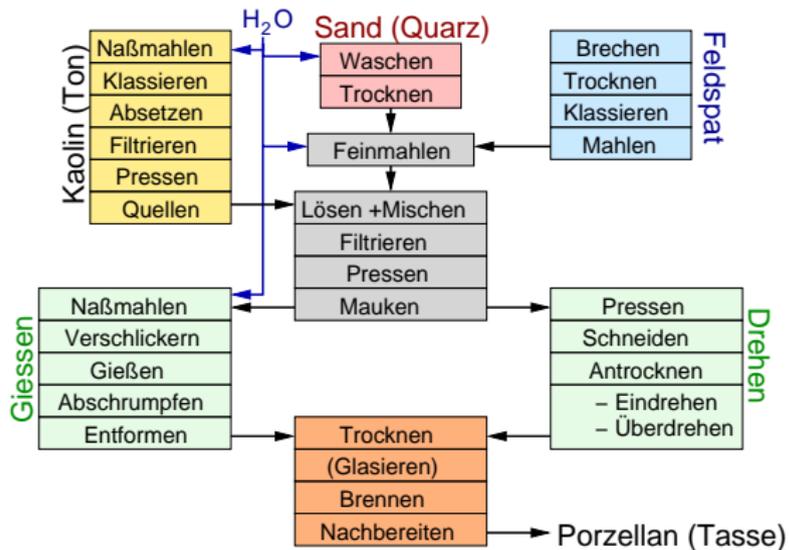
Trocknen, Brennen

Eigenschaften, Keramikarten

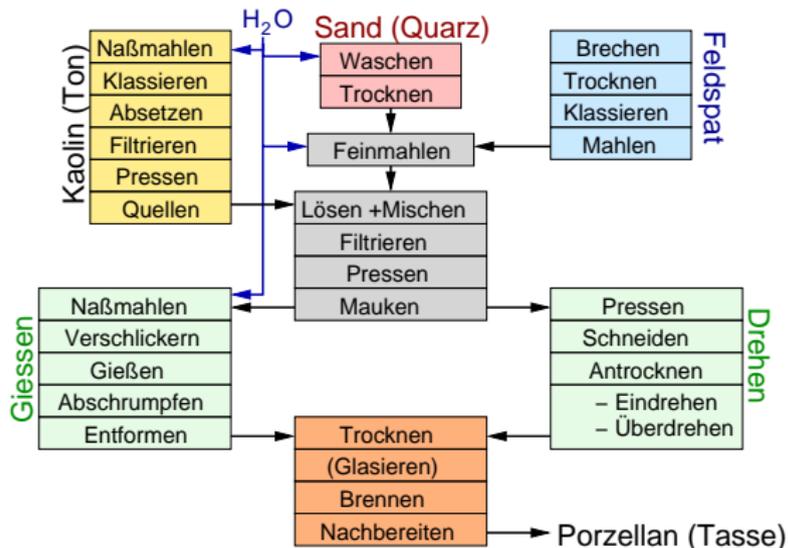
Zusammenfassung

Literatur

Trocknung



Trocknung



- ▶ Entfernung von H_2O oder organischer Bindemittel
- ▶ sehr langsam (bis zu 24 h, je nach Scherbandicke)
- ▶ Gefahr: Rißbildung
- ▶ Trockenschwund !

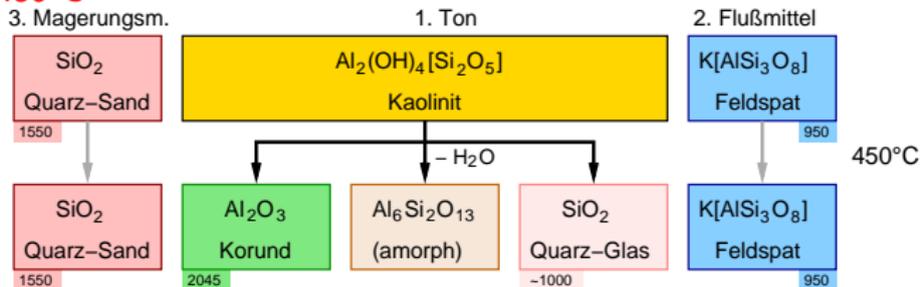
Praxis des Brennens, Öfen



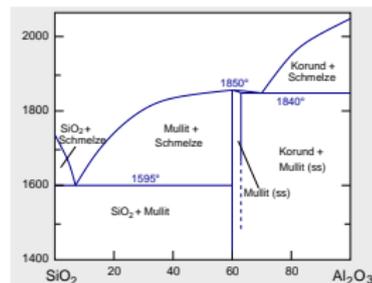
- ▶ Maximaltemperaturen: 1200 bis 1400°C
- ▶ typische Schrumpfung ca. 20%
- ▶ früher: einfache Rundöfen/Muffeln
- ▶ heute kontinuierliche Tunnelöfen
 - ▶ bis 150 m lang
 - ▶ 'Durchfahrt' des Brennguts auf Wagen (Verweilzeit: bis zu 100 h)
- ▶ auch kontinuierliche Ringöfen
 - ▶ bewegliches Feuer

Chemische Prozesse beim Brennen

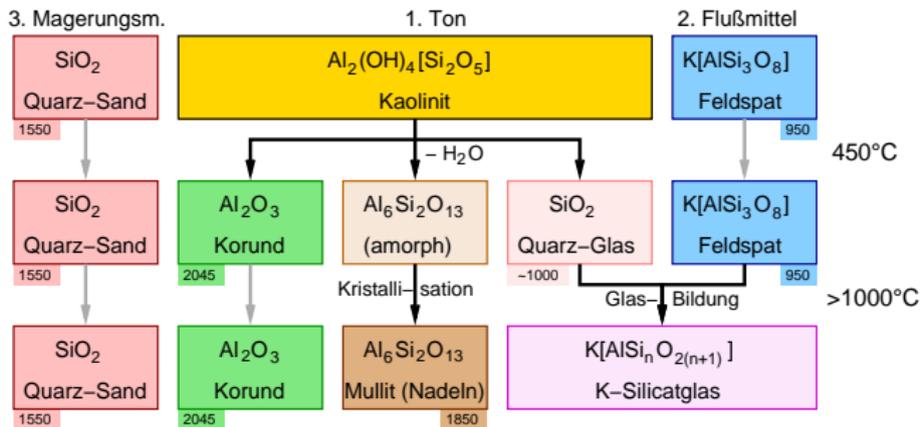
bis ca. 450°C



▶ ca. 20% Volumenverlust (Schrumpfung)

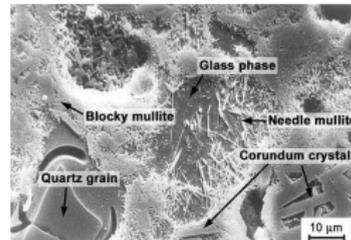


Chemische Prozesse beim Brennen

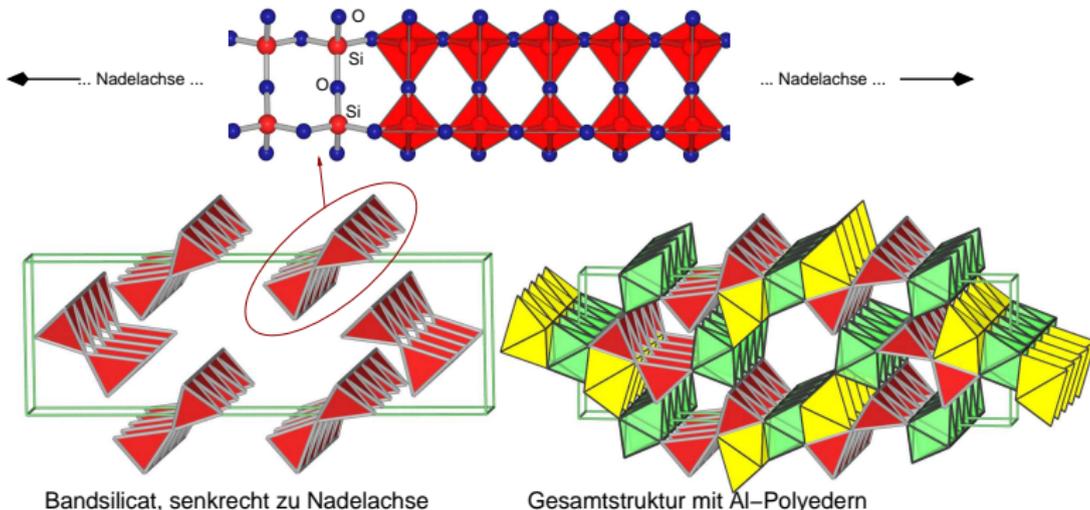


ab ca. 1000°C

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



Einleitung, Übersicht

Rohstoffe

Aufbereitung der Rohstoffe, Massen-Herstellung

Formgebung

Trocknen, Brennen

Eigenschaften, Keramikarten

Zusammenfassung

Literatur

Allgemeine Eigenschaften von Silicatkeramik

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

Allgemeine Eigenschaften von Silicatkeramik

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

Allgemeine Eigenschaften von Silicatkeramik

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

Allgemeine Eigenschaften von Silicatkeramik

- ▶ **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

Einteilung klassischer Silicatkeramik

... 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)

Tongut (porös)

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 → 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)



Zusammenfassung

- ▶ Tone (Kaolinit, ein Schichtsilicat) + Magerungsmittel (Quarz 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)
 - ▶ $> 1000^\circ\text{C}$: faserförmiger Mullit (verfilzte Nadelchen), mit Glas verkittet
- ▶ Eigenschaften
- ▶ verschiedene Silicatkeramiken und ihre Verwendung

Literatur und Links

▶ Lehrbücher zur Chemie/Mineralogie

- ▶ Holleman/Wiberg: Anorganische Chemie, de Gruyter (2007).
- ▶ H.-H. Emons et al.: Technische anorganische Chemie, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie GmbH, Leipzig (1990).
- ▶ M. Okrusch, S. Matthes, Mineralogie, Springer (2013).
- ▶ F. Liebau: Structural Chemistry of Silicates, Springer (1985).

▶ 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

- ▶ http://ruby.chemie.uni-freiburg.de/Vorlesung/Seminare/ton_tasse_min_mat.pdf (diese Präsentation)
- ▶ http://ruby.chemie.uni-freiburg.de/Vorlesung/silicate_0.html (Vorlesung Silicat-Chemie, CR)
- ▶ <http://www.keramverband.de> (techn. Keramik, schöne Videos)
- ▶ <http://www.seltmann.de> (Fa. Seltmann in Weiden)