

Caroline Röhr, Anorganische Chemie, Universität Freiburg

Zur Chemie klassischer
Silicatkeramik

Vom Ton

zur Tasse



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 wenig definierten Stoffen bestehend

Was ist Keramik?

Definition I:

- ▶ aus wenig definierten Stoffen bestehend
- ▶ auf wenig reproduzierbarem Weg hergestellte

Was ist Keramik?

Definition I:

- ▶ aus wenig definierten Stoffen bestehend
- ▶ auf wenig reproduzierbarem Weg hergestellte
- ▶ schlecht charakterisierte Feststoffe

Was ist Keramik?

Definition I:

- ▶ aus wenig definierten Stoffen bestehend
- ▶ auf wenig reproduzierbarem Weg hergestellte
- ▶ schlecht charakterisierte Feststoffe
- ▶ mit stark variierenden Eigenschaften

Was ist Keramik?

Definition I:

- ▶ aus wenig definierten Stoffen bestehend
- ▶ auf wenig reproduzierbarem Weg hergestellte
- ▶ schlecht charakterisierte Feststoffe
- ▶ mit stark variierenden Eigenschaften

Definition II:

- ▶ kristalline, thermisch und chemisch stabile, nichtmetallische anorganische Festkörper

Was ist Keramik?

Definition I:

- ▶ aus wenig definierten Stoffen bestehend
- ▶ auf wenig reproduzierbarem Weg hergestellte
- ▶ schlecht charakterisierte Feststoffe
- ▶ mit stark variierenden Eigenschaften

Definition II:

- ▶ kristalline, thermisch und chemisch stabile, nichtmetallische anorganische Festkörper
- ▶ durch Hochtemperatur-Prozesse gebrauchsfertig gemacht

Was ist Keramik?

Definition I:

- ▶ aus wenig definierten Stoffen bestehend
- ▶ auf wenig reproduzierbarem Weg 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

Was ist Keramik?

Definition II:

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

Was ist Keramik?

Definition II:

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

Einteilung nach Chemismus:

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

Was ist Keramik?

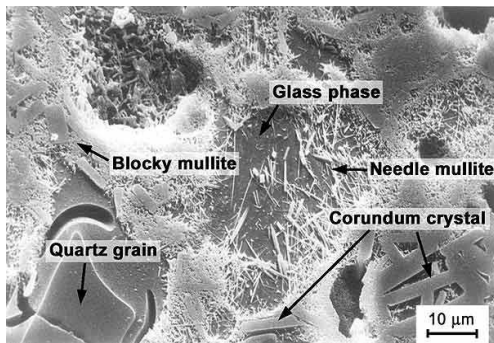
Definition II:

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

Einteilung 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, Al₂O₃, TiO₂, ZrO₂
 - ▶ Elektro- und Magnetkeramiken: BaTiO₃, M^{II}Fe₂O₄ (Ferrite)
 - ▶ Nichtoxidkeramiken: Si₃N₄, SiC, BN

Gefüge von Tonkeramik



Bestandteile:

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

Einleitung, Übersicht

Rohstoffe

Aufbereitung der Rohstoffe, Massen-Herstellung

Formgebung

Trocknen, Brennen

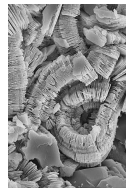
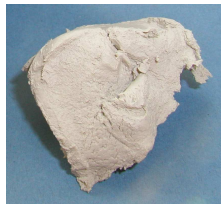
Eigenschaften, Keramikarten

Zusammenfassung

Literatur

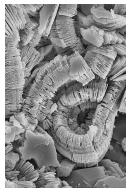
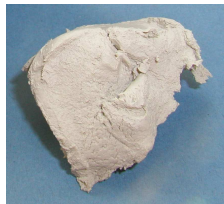
Rohstoffe allgemein

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)

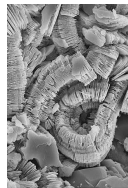
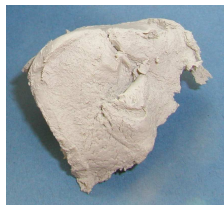


2. Flußmittel (Feldspäte, z.B. $\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$)



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)

K, Si, Al und O im Periodensystem

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
Periodensystem der Elemente	H							He	Nicht- metalle
	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne	
	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar	
Metalle	K	Ca	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
	Rb	Sr	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
	Cs	Ba	Tl	Pb	Bi				

K, Si, Al und O im Periodensystem

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
Periodensystem der Elemente	H							He	Nicht- metalle
	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne	
	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar	
Metalle	K	Ca	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
	Rb	Sr	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
	Cs	Ba	Tl	Pb	Bi				

Salze (ionische Bindung)	$K_2O = 2 K^+ + O^{2-}$ Al_2O_3		

K, Si, Al und O im Periodensystem

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
Periodensystem der Elemente	H							He	Nicht- metalle
	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne	
	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar	
Metalle	K	Ca	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
	Rb	Sr	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
	Cs	Ba	Tl	Pb	Bi				

Salze (ionische Bindung)	$K_2O = 2 K^+ + O^{2-}$ Al_2O_3		
Moleküle (kovalente Bindung)	CO_2 $\langle O = C = O \rangle$ (Kohlenstoffdioxid)		

K, Si, Al und O im Periodensystem

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
Periodensystem der Elemente	H							He	Nicht- metalle
	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne	
	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar	
Metalle	K	Ca	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
	Rb	Sr	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
	Cs	Ba	Tl	Pb	Bi				

		SiO ₂ (Quarz)	
Salze (ionische Bindung)	$K_2O = 2 K^+ + O^{2-}$ Al_2O_3	$Si^{4+} + 2 O^{2-}$	
Moleküle (kovalente Bindung)	CO_2 $\langle O=C=O \rangle$ (Kohlenstoffdioxid)		

K, Si, Al und O im Periodensystem

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
Periodensystem der Elemente	H							He	Nicht- metalle
	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne	
	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar	
Metalle	K	Ca	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
	Rb	Sr	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
	Cs	Ba	Tl	Pb	Bi				

		SiO ₂ (Quarz)	
Salze (ionische Bindung)	$K_2O = 2 K^+ + O^{2-}$ Al_2O_3	$Si^{4+} + 2 O^{2-}$	
Moleküle (kovalente Bindung)	CO_2 $\langle O=C=O \rangle$ (Kohlenstoffdioxid)	$\langle O=Si=O \rangle$	

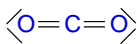
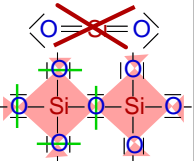
K, Si, Al und O im Periodensystem

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
Periodensystem der Elemente	H							He	Nicht- metalle
	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne	
	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar	
Metalle	K	Ca	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
	Rb	Sr	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
	Cs	Ba	Tl	Pb	Bi				

		SiO ₂ (Quarz)	
Salze (ionische Bindung)	$K_2O = 2 K^+ + O^{2-}$ Al_2O_3	$Si^{4+} + 2 O^{2-}$	
Moleküle (kovalente Bindung)	CO_2 $\langle O=C=O \rangle$ (Kohlenstoffdioxid)	$\langle O=Si=O \rangle$	

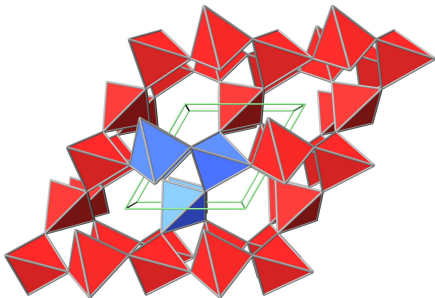
K, Si, Al und O im Periodensystem

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
Periodensystem der Elemente	H							He	Nicht- metalle
	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne	
	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar	
Metalle	K	Ca	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
	Rb	Sr	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
	Cs	Ba	Tl	Pb	Bi				

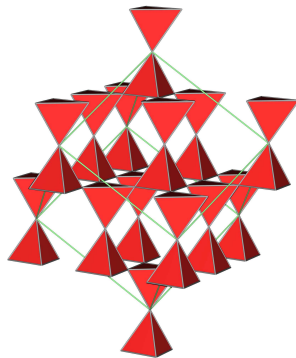
		SiO ₂ (Quarz)	
Salze (ionische Bindung)	$K_2O = 2 K^+ + O^{2-}$ Al_2O_3	$Si^{4+} + 2 O^{2-}$	
Moleküle (kovalente Bindung)	CO_2  (Kohlenstoffdioxid)	 $SiO_{4/2}$	

③ Magerungsmittel: Quarz (SiO_2)

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



Quarz (Normaltemperaturform)



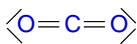
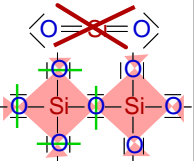
Cristobalit (> 1470°C)

② Flußmittel: Feldspäte

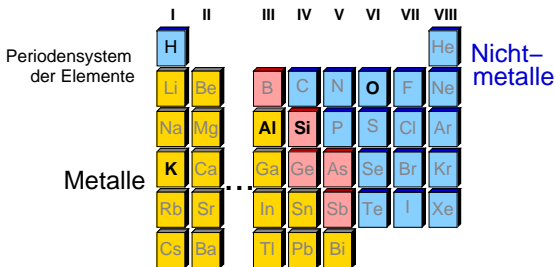
- ▶ zur Erniedrigung der Sintertemperatur
- ▶ Stoffe: **Feldspäte**, z.B. Orthoklas $K[AlSi_3O_8]$

K, Al, Si und O im Periodensystem

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
Periodensystem der Elemente	H							He	Nicht- metalle
	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne	
	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar	
Metalle	K	Ca	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
	Rb	Sr	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
	Cs	Ba	Tl	Pb	Bi				

		SiO ₂ (Quarz)	
Salze (ionische Bindung)	$K_2O = 2 K^+ + O^{2-}$ Al_2O_3	$Si^{4+} + 2 O^{2-}$	
Moleküle (kovalente Bindung)	CO_2  (Kohlenstoffdioxid)	 $SiO_{4/2}$	

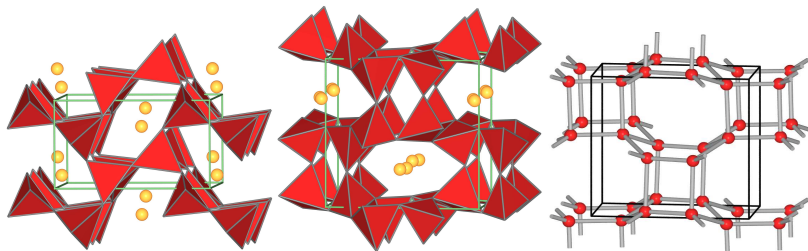
K, Al, Si und O im Periodensystem



		SiO ₂ (Quarz)	K[AlSi ₃ O ₈] (Feldspat)
Salze (ionische Bindung)	$K_2O = 2 K^+ + O^{2-}$ $Al_2O_3^{+3-2}$	$Si^{4+} + 2 O^{2-}$	$K^+ + Al^{3+} + 3 Si^{4+} + 8 O^{2-}$
Moleküle (kovalente Bindung)	CO ₂ $\langle O=C=O \rangle$ (Kohlenstoffdioxid)	$\langle O=Si=O \rangle$ SiO _{4/2}	K^+ Alumosilicate

② Flußmittel: Feldspäte

- ▶ zur Erniedrigung der Sintertemperatur
- ▶ Stoffe: **Feldspäte**, z.B. Orthoklas $\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$
- ▶ **Struktur:** Gerüstalumosilicate: $\text{K}^+ + \underbrace{[\text{AlSi}_3\text{O}_8]^-}_{4}$

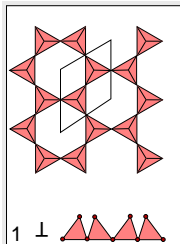


① Keramische Tone

keramische **Tone** \mapsto Mischung aus

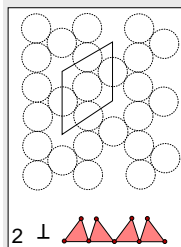
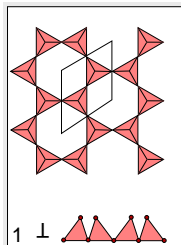
1. **Kaolinit**: $\text{Al}_2(\text{OH})_4[\text{Si}_2\text{O}_5]$
 - ▶ weiss
 - ▶ sehr rein, z.B. für Porzellan: Kaolin
 - ▶ sehr dünne Blättchen (ca. 10 nm dick, einige μm breit)
 - ▶ dioktaedrisches T-O-Zweischichtsilicat
 - ▶ Intercalation: Quellung, Schrumpfung, Bindevermögen
 - ▶ quellfähig und 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
 - ▶ gelb, rot oder braun, durch Fe auf Al-Plätzen
 - ▶ T-O-T-Dreischichtsilicat, dioktaedrisch

Strukturen von Schichtsilicaten



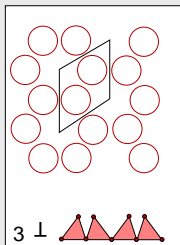
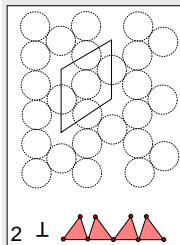
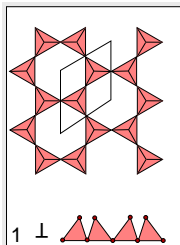
- ▶ Schicht $[\text{Si}_2\text{O}_5]^{2-}$

Strukturen von Schichtsilicaten



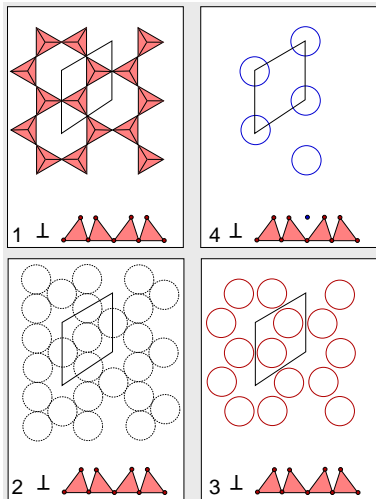
- ▶ Schicht $[\text{Si}_2\text{O}_5]^{2-}$
- ▶ $[\text{SiO}_3\text{O}_2]^{2-}$

Strukturen von Schichtsilicaten



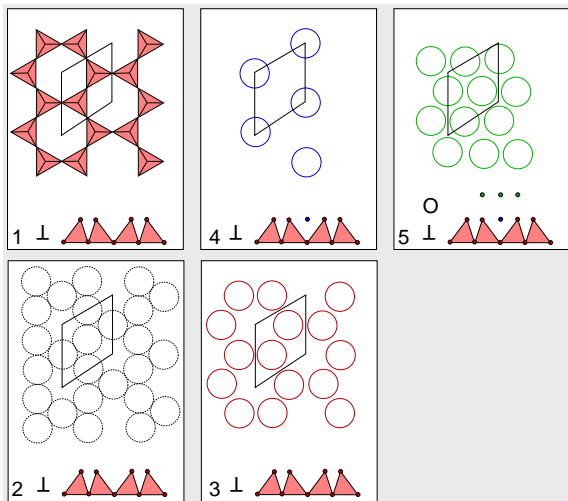
- ▶ Schicht $[\text{Si}_2\text{O}_5]^{2-}$
- ▶ $[\text{SiO}_3\text{O}_2]^{2-}$

Strukturen von Schichtsilicaten



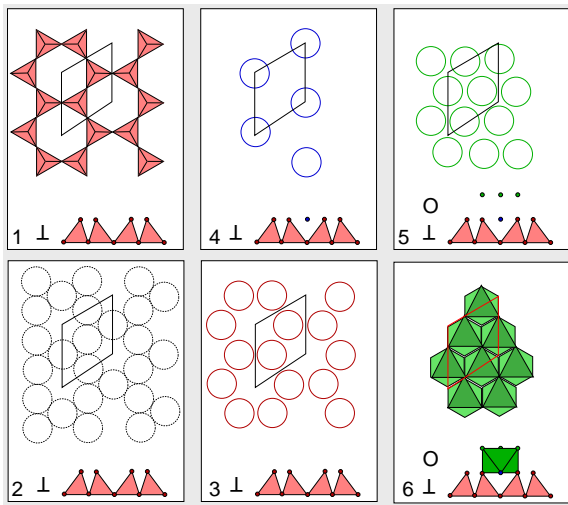
- ▶ Schicht $[\text{Si}_2\text{O}_5]^{2-}$
- ▶ $[\text{SiO}_3\text{O}_2]^{2-}$
- ▶ OH^- in Lücken

Strukturen von Schichtsilicaten



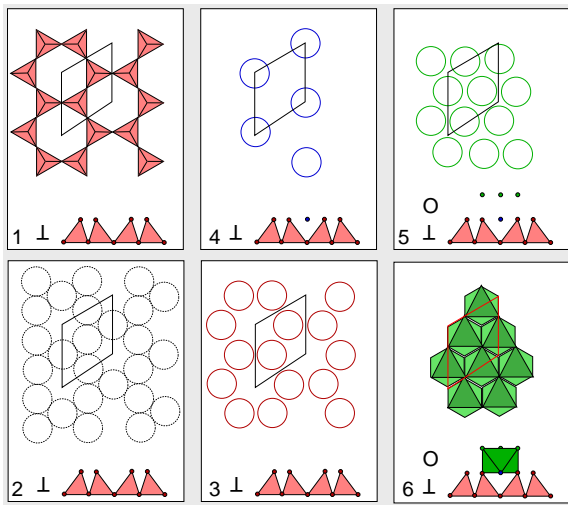
- ▶ Schicht $[\text{Si}_2\text{O}_5]^{2-}$
- ▶ $[\text{SiO}_3\text{O}_2]^{2-}$
- ▶ OH^- in Lücken
- ▶ zweite OH^- -Schicht

Strukturen von Schichtsilicaten



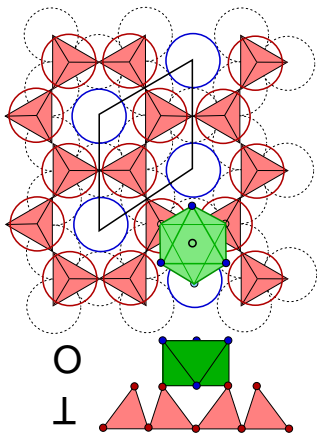
- ▶ Schicht $[\text{Si}_2\text{O}_5]^{2-}$
- ▶ $[\text{SiO}_3\text{O}_2]^{2-}$
- ▶ OH^- in Lücken
- ▶ zweite OH^- -Schicht
- ▶ 3 Oktaeder pro Formeleinheit

Strukturen von Schichtsilicaten

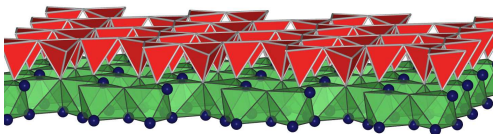


- ▶ Schicht $[\text{Si}_2\text{O}_5]^{2-}$
- ▶ $[\text{SiO}_3\text{O}_2]^{2-}$
- ▶ OH^- in Lücken
- ▶ zweite OH^- -Schicht
- ▶ 3 Oktaeder pro Formeleinheit
- ▶ davon 2 mit Al^{3+} besetzt
- ▶ $\text{Al}_2(\text{OH})_4[\text{Si}_2\text{O}_5]$
- ▶ Gesamtstruktur

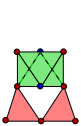
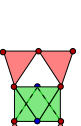
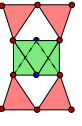
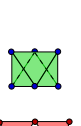
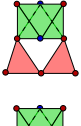
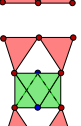
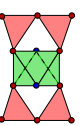
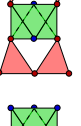
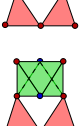
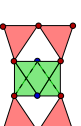
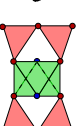
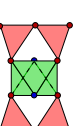




Strukturen von Schichtsilicaten



- ▶ Tetraederschicht: $[Si_2O_5]^{2-}$
- ▶ $1 \times OH^-$ in den Lücken zwischen den Tetraederspitzen
- ▶ dichte Kugelschicht A
- ▶ $3 \times OH^-$ (Schicht B)
- ▶ 2 Al in Oktaederlücken
- ▶ Summe: $Al_2(OH)_4[Si_2O_5]$



Übersicht Schichtsilicate

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

Übersicht Schichtsilicate

	nicht hydratisiert		hydratisiert	
T	dioktaedrisch	trioktaedrisch	dioktaedrisch	trioktaedrisch
Si	Kaolinit $Al_2[Si_2O_5(OH)_4]$	Serpentin $Mg_3[Si_2O_5(OH)_4]$	Hydrohalloysit $Al_2[Si_2O_5(OH)_4] \cdot (H_2O)_2$	-
Si	Pyrophyllit $Al_2[Si_4O_{10}(OH)_2]$	Talk $Mg_3[Si_4O_{10}(OH)_2]$	Montmorillonit $Mg_{0.33}Al_{1.67}[Si_4O_{10}(OH)_2] \cdot (Ca, Na)_x(H_2O)_n$	Saponit $(Mg, Fe)_3[Si_4O_{10}(OH)_2] \cdot (Ca, Na)_x(H_2O)_n$
Si/Al	Glimmer		Vermiculit-Reihe	
	Muskovit $KAl_2[AlSi_3O_{10}(OH)_2]$	Biotit $K(Mg, Fe)_3[AlSi_3O_{10}(OH)_2]$	Muskovit (Illit) $(Mg, Al, Fe)_2[AlSi_3O_{10}(OH)_2] \cdot (Mg, Ca, K)_x(H_2O)_n$	$(Mg, Fe)_3[AlSi_3O_{10}(OH)_2] \cdot (Mg, Ca)_x(H_2O)_n$
Si	-	-	-	-
Si/Al	Sudoit $Al_2[AlSi_3O_{10}(OH)_2] \cdot Al_{2.33}(OH)_6$	Chlorit $(Mg, Fe, Al)_3[(Al/Si)_4O_{10}(OH)_2] \cdot (Mg, Fe)_3(OH)_6$	-	-

Einleitung, Übersicht

Rohstoffe

Aufbereitung der Rohstoffe, Massen-Herstellung

Formgebung

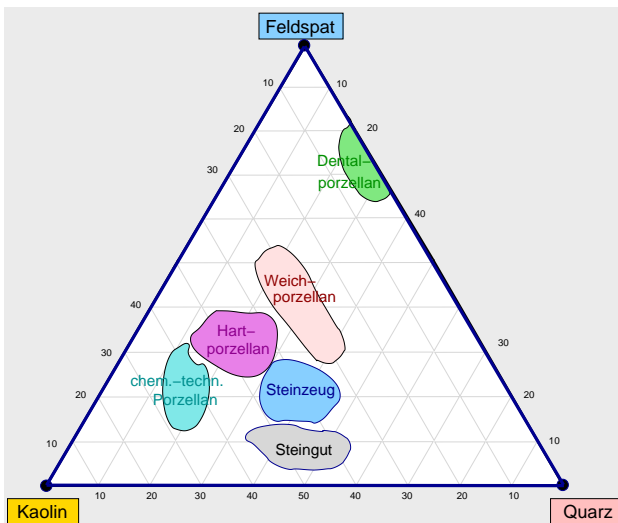
Trocknen, Brennen

Eigenschaften, Keramikarten

Zusammenfassung

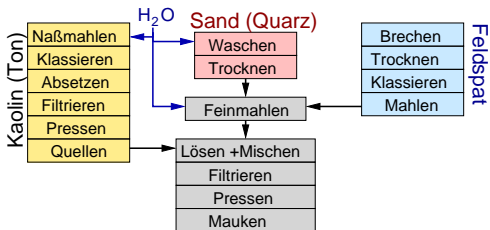
Literatur

Zusammensetzung der 'Massen'

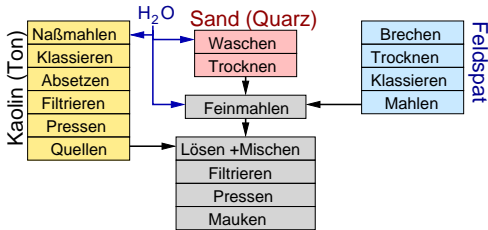


Lagediagramm Kaolin - Quarz - Feldspat

Aufbereitung der Rohstoffe

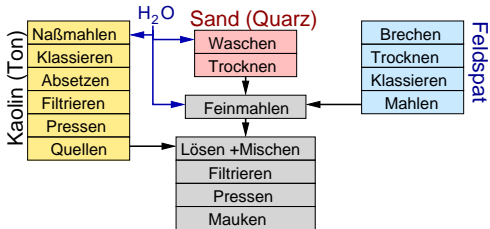


Aufbereitung der Rohstoffe



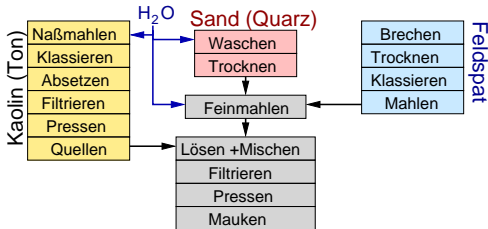
► Kaolin-Abbau im Tagebau

Aufbereitung der Rohstoffe

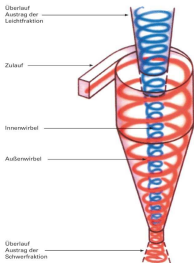


- ▶ Kaolin-Abbau im Tagebau
- ▶ Zerkleinern: Brecher, Mühlen

Aufbereitung der Rohstoffe

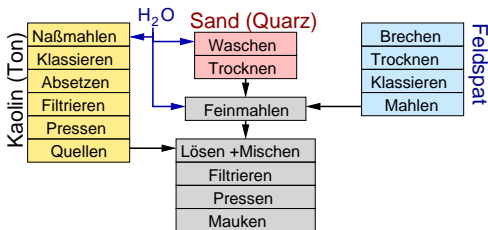


Prinzip der Wirkungsweise des Hydrozyklons



- ▶ 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 μ m)
 - ▶ Schlämmverfahren
 - ▶ Hydrozyklone
- ▶ Trocknen
 - ▶ Kläreindicker
 - ▶ Filterpressen

Einleitung, Übersicht

Rohstoffe

Aufbereitung der Rohstoffe, Massen-Herstellung

Formgebung

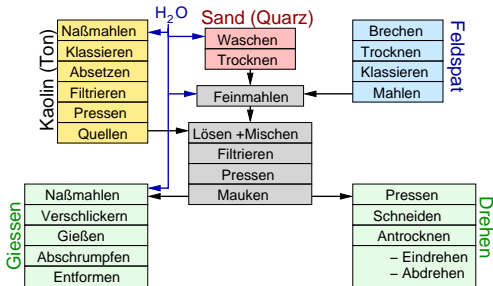
Trocknen, Brennen

Eigenschaften, Keramikarten

Zusammenfassung

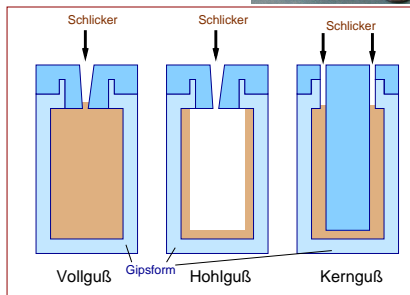
Literatur

Formgebungsverfahren



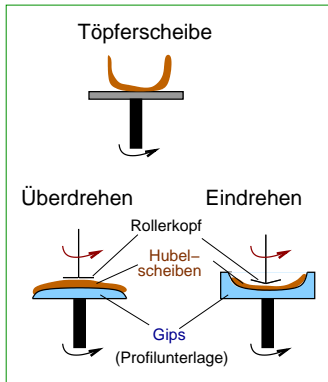
- ▶ Schlickergiessen
- ▶ Plastische Formgebung (Drehen und Rollen)
- ▶ Extrudieren
- ▶ Isostatisches Pressen
- ▶ ...

Formgebungsverfahren I: Giessen



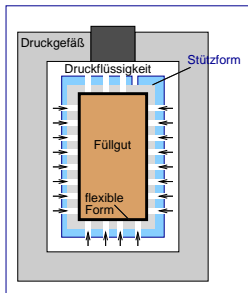
- ▶ flüssigere Gießmassen: ca. 33-36% H_2O
- ▶ Vollguß, Hohlguß, Kernguß (je nach Produkt)
- ▶ Gipsformen, entziehen dem Schlicker Wasser
- ▶ Trocknungsschrumpfung (Grünling leicht aus Form ablösbar, 'Abschrumpfen')

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

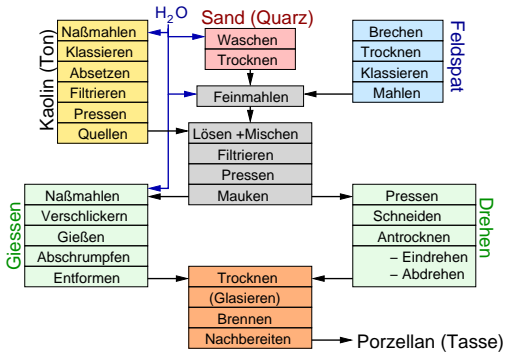
Trocknen, Brennen

Eigenschaften, Keramikarten

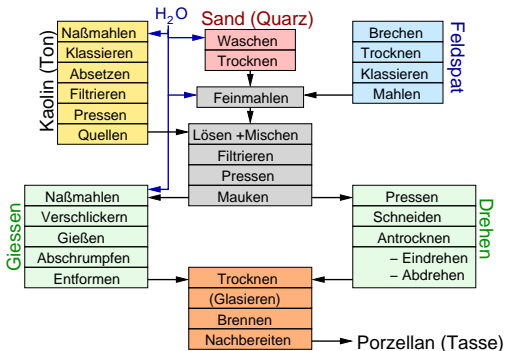
Zusammenfassung

Literatur

Trocknung



Trocknung



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

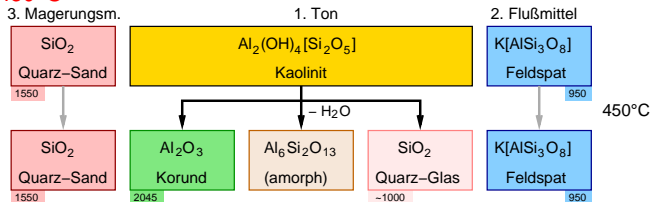
Praxis des Brennens, Öfen



- ▶ 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

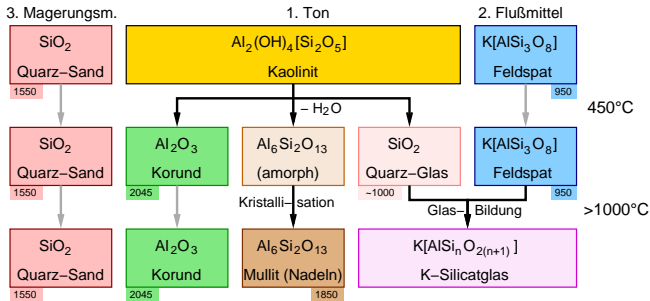


- ▶ ca. 20% Volumenverlust (Schrumpfung)



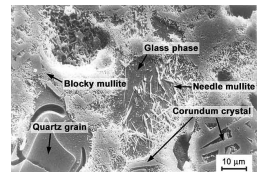
- ▶ Mullit ($\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13} = 3 \text{Al}_2\text{O}_3 + 2 \text{SiO}_2$) als amorphe Phase

Chemische Prozesse beim Brennen

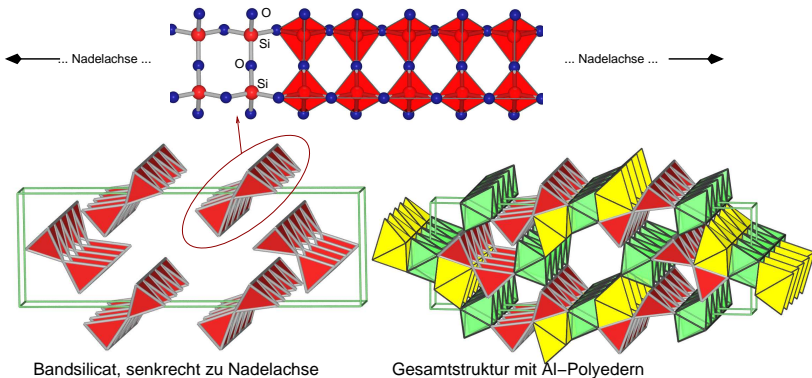


ab ca. 1000°C

- ▶ Feldspatverflüssigung: Feldspat (Flußmittel) löst alle amorphen Anteile (SiO_2 -Glas + 'Mullit')
- ▶ Mullit kristallisiert Nadel-förmig (verfilzte Nadeln)
- ▶ K-Alumosilicat-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 Chemie**
 - ▶ 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 (2004).
 - ▶ F. Liebau: Structural Chemistry of Silicates, Springer (1985).
- ▶ **Technologie**
 - ▶ G. W. Phelps, J. B. Wachtman: Ceramics, General Survey, 2005 (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/Seminar/fr_seminar_2010.pdf (dieser Vortrag)
 - ▶ 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)

Caroline Röhr, Anorganische Chemie, Universität Freiburg

Zur Chemie klassischer
Silicatkeramik

DANKE!

Vom Ton

zur Tasse

