



Keramische Werkstoffe und technische Einsatz-Möglichkeiten

Bastian Burghardt, WS 00/01; Matthias Großmann, WS 13/14

Gliederung

1	Begriffsfassung.....	1
2	Charakterisierung der drei Werkstoff-Gruppen.....	2
2.1	Silikat-Keramik (technische Porzellane)	2
2.2	Oxid-Keramik.....	2
2.3	Nichtoxid-Keramik	3
3	Eigenschaften der keramischen Werkstoffe	3
4	Herstellung	4
4.1	Masse-Aufbereitung	4
4.2	Formgebungsprozess.....	4
4.3	Brand-Vorbereitung	4
4.4	Sinter-Vorgang	5
4.5	End-Bearbeitung	5
4.6	Weitere Herstellungsmethoden	5
5	Beispiele.....	5

Einstieg: *Keramikkasten, Vielfalt der Erscheinungsformen.*



Abb. 1: *Keramische Bauteile [1]*

1 Begriffsfassung

Keramik ist kein fest definierter Begriff, sondern vielmehr ein Sammel-Begriff, der keramische Werkstoffe und daraus hergestellte Produkte für technische Anwendungen zusammenfasst. Diese Werkstoffe und Produkte sind alle polykristallin, anorganisch und

nichtmetallisch. Sie werden in der Regel bei Raum-Temperatur aus einer Roh-Masse geformt und erhalten ihre typischen Werkstoff-Eigenschaften durch einen Sinter-Vorgang der bei hohen Temperaturen stattfindet.

Man unterteilt die Werkstoffe der technischen Keramik wie folgt:

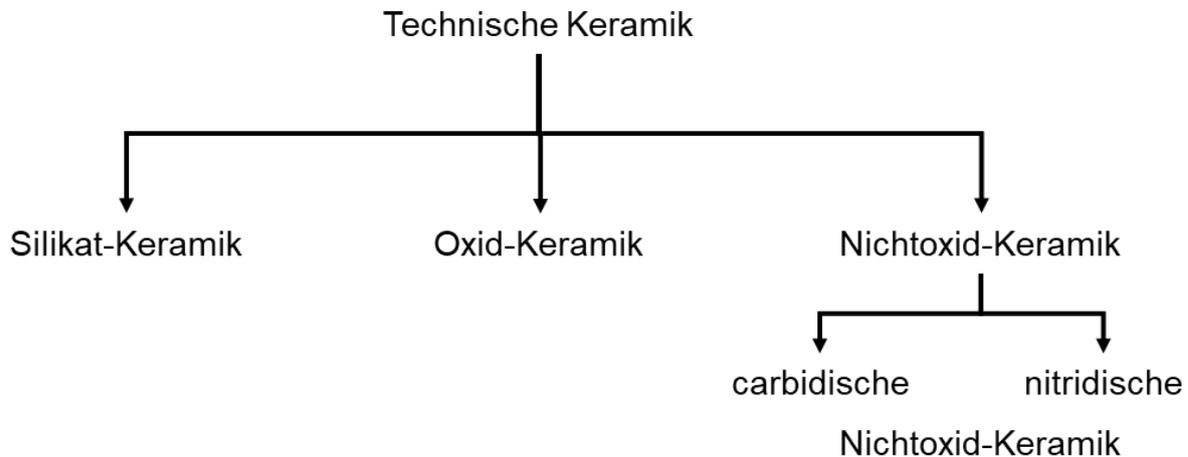


Abb. 2: Werkstoff-Gruppen der technischen Keramik

2 Charakterisierung der drei Werkstoff-Gruppen

2.1 Silikat-Keramik (technische Porzellane)

Die Silikat-Keramik ist die älteste Gruppe der keramischen Werkstoffe. Sie wird aus natürlichen Roh-Stoffen hergestellt und vereint grundlegende elektrische, mechanische und thermische Eigenschaften. Wesentliche Bestandteile dieser mehrphasigen Werkstoffe sind Ton, Schamott und Kaolin sowie Feldspat und Speckstein als Silikat-Träger. Weitere Komponenten wie Tonerde und Zirkon werden zur Erzielung spezieller Eigenschaften eingesetzt. Die Silikat-Keramiken sind sehr kostengünstig, da die Roh-Stoffe in sehr hoher Verfügbarkeit vorliegen.

Werkstoffe dieser Keramik-Gruppe sind beispielsweise:

- Steatit [$\text{MgSi}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$]
- Cordierit [$2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$]
- Porzellan [Feldspat/Quarz/Kaolin]

2.2 Oxid-Keramik

Die Werkstoffe dieser Gruppe bestehen im Wesentlichen (> 90%) aus einphasigen und einkomponentigen Metall-Oxiden. Ihre synthetische Rohstoffe mit hohem Reinheitsgrad entwickeln bei sehr hohen Sinter-Temperaturen gleichmäßige Gefüge mit sehr guten Eigenschaften, welche dann die Oxid-Keramiken ergeben.

Werkstoffe dieser Keramik-Gruppe sind beispielsweise:

- Aluminiumoxid [$\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$]
- Magnesiumoxid [MgO]
- Zirkonoxid [ZrO_2]
- Aluminiumtitanat [Al_2TiO_5]

2.3 Nichtoxid-Keramik

Zu dieser Gruppe gehören keramische Werkstoffe, z. B. aus Verbindungen von Silizium und Aluminium mit Stickstoff oder Kohlenstoff. Generell weisen Nichtoxid-Keramiken einen hohen Anteil an kovalenten Bindungen auf, die ihnen, auch bei hohen Einsatz-Temperaturen, sehr gute mechanische Eigenschaften verleihen. Alle Rohstoffe dieser Keramiken werden synthetisch hergestellt.

Werkstoffe dieser Keramik-Gruppe sind beispielsweise:

- Siliciumcarbid [SiC]
- Siliciumnitrid [Si₃N₄]
- Aluminiumnitrid [AlN]
- Borcarbid [B₄C]
- Bornitrid [BN]

3 Eigenschaften der keramischen Werkstoffe

Die keramischen Werkstoffe verfügen über Eigenschaften und Eigenschaftskombinationen die in vielen Beziehungen von anderen Werkstoffen nicht erreicht werden. Haupt-Verantwortlich hierfür sind die enorm hohen Anziehungskräfte zwischen den einzelnen Kristalliten, die teilweise durch kovalente Bindungen, als auch durch extrem feste ionische Wechselwirkungen zustande kommen. Eine kleine Auswahl an Eigenschaften soll die folgende Tabelle zeigen:

elektrisch	mechanisch	thermisch	chemisch/ biologisch
Isolierfähigkeit/ elektrische Leitfähigkeit	Verschleißfestigkeit	Hochtemperaturfestigkeit	Korrosionsbeständig
Durchschlagsfestigkeit	Festigkeit	Temperatur Wechselbeständigkeit	Katalytische Eigenschaften
Dielektrische Eigenschaften	Härte	Wärmeisolation/ Wärmeleitfähigkeit	biochemische Eigenschaften
piezoelektrische Eigenschaften	Formbeständigkeit	(Warm) Formbeständigkeit	Lebensmittelverträglichkeit

Abb. 3: Eigenschaften von keramischen Werkstoffen [2]

Die wichtigsten mechanischen Eigenschaften lassen sich dabei auf die drei mineralischen Bestandteile der meisten keramischen Werkstoffe zurückführen. Kaolinit lagert sich in einer topotaktischen Umwandlungsreaktion zuerst in Primär-Mullit und anschließend in den nadelförmigen Sekundär-Mullit um. Die Nadel-Struktur sorgt hierbei für die Festigkeit des End-Produktes. Der Feldspat dient als Flussmittel, seine Schmelz-Temperatur liegt als einzige unter der Sinter-Temperatur. Er wird also beim Brennvorgang aufgeschmolzen und wandelt sich in amorphes Glas um, welches für die Dichtigkeit verantwortlich ist. Das α-Quarz in der keramischen Masse durchläuft keine Reaktion und ist für die Härte der Keramik verantwortlich.

4 Herstellung

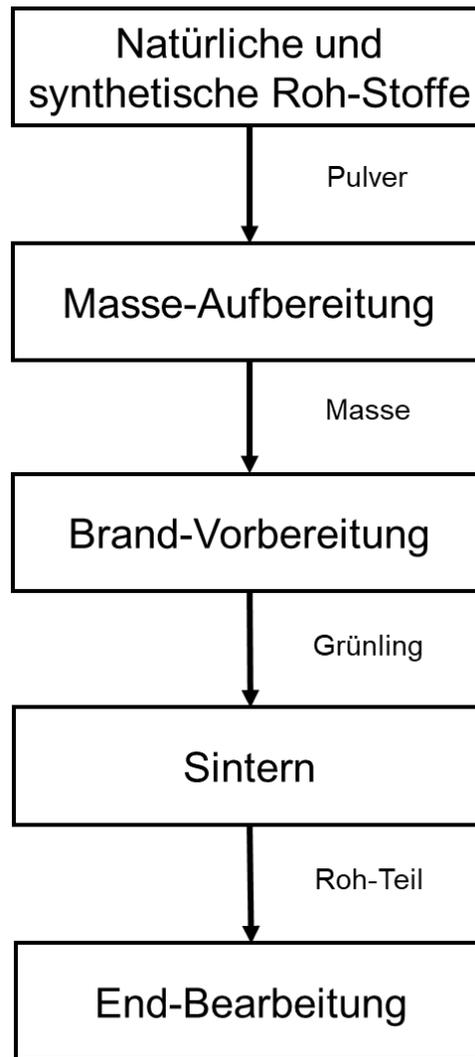


Abb. 4: Grob-Schema des Herstellungsverfahrens

4.1 Masse-Aufbereitung

Bei der Masse-Aufbereitung ist hauptsächlich entscheidend welches anschließende Formgebungsverfahren angewendet wird. Dementsprechend muss beispielsweise für Gieß-Prozesse eine Suspension und für das Trocken-Pressen ein Granulat hergestellt werden. Dabei finden Arbeitsschritte wie mahlen, mischen und granulieren statt. Zusätzlich werden hier Additive unter den Reinstoff gemischt, die spätere Eigenschaften des entstehenden End-Produktes positiv beeinflussen sollen oder als Verflüssigungsmittel oder Brennhilfe dienen.

4.2 Formgebungsprozess

Hier werden die Masse-Teilchen verdichtet und in eine zusammenhängende Form gebracht. Diese Form nennt man dann Grünling. Dieser kann jetzt noch kostengünstig bearbeitet werden, da die End-Härte erst durch dem folgenden Sinter-Vorgang entsteht.

4.3 Brand-Vorbereitung

Hier werden z. B. organische Verunreinigungen oder Bindemittel entfernt, die beim anschließenden Sinter-Vorgang das Mikro-Gefüge zerstören würden. Dies findet dadurch statt, dass durch Erhitzen flüchtigen Stoffe verdampfen, die Temperatur jedoch noch so niedrig gehalten wird, dass der Sinter-Vorgang noch nicht beginnt. Durch die Temperatur werden auch Wasser-Moleküle entfernt, die sich vergleichbar mit einer Hydrat-Hülle um

die Masse-Teilchen gelegt haben. Dadurch rücken diese näher zusammen und es kommt zum sogenannten Trocken-Schwund.

4.4 Sinter-Vorgang

Darunter versteht man eine Wärme-Behandlung bei ca. $\frac{2}{3}$ bis $\frac{3}{4}$ der absoluten Schmelz-Temperatur. Dieser Vorgang findet je nach Substanz unter verschiedenen Atmosphären statt. Bei sauerstoffempfindlichen Werkstoffen muss beispielsweise in einer Schutzgas-Atmosphäre oder im Vakuum gearbeitet werden.

Den Sinter-Vorgang kann man in drei Stadien untergliedern: Im **ersten Stadium** findet ein Wachstum der Teilchen-Kontakte durch sogenannte Sinter-Brücken statt. Die ursprünglichen Teilchen bleiben aber noch sichtbar. Im **zweiten Stadium** dann kommt es zur Ausbildung eines zusammenhängenden Poren-Skeletts und im **dritten Schritt** findet eine fast vollständige Poren-Eliminierung statt. Der verbleibende Poren-Raum wird zunehmend von außen unzugänglich. Dadurch findet nochmals ein Schwund statt und es kommt zu einer weiteren Dichte-Zunahme (s. Abb. 5). Ist dieser Prozess abgeschlossen, wird das dadurch entstandene Rohteil, noch einer End-Bearbeitung unterworfen.

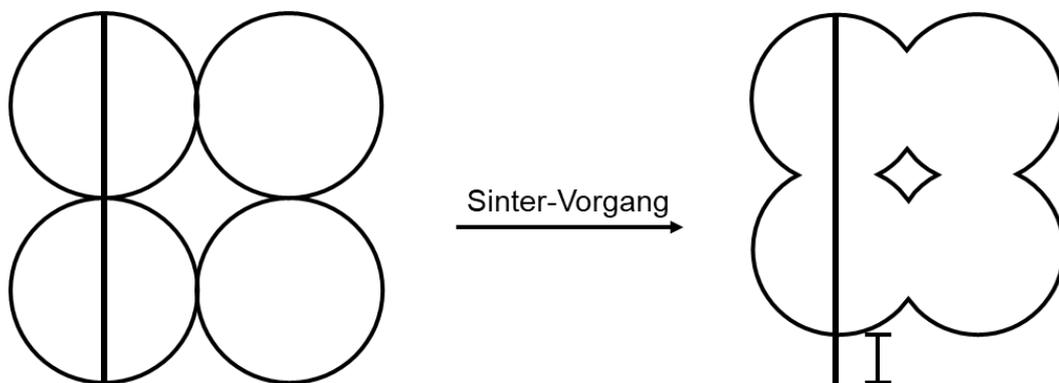


Abb. 5: Schwund-Vorgang während dem Sintern

4.5 End-Bearbeitung

Hier kann z. B. eine Laser-Trennung von Rohren stattfinden oder ein Polieren mit Diamant-Werkzeug. Normalerweise spielt die End-Bearbeitung aber eine eher untergeordnete Rolle, da eine Nach-Bearbeitung wegen der hohen Härte der Keramik sehr teuer ist. Aus diesem Grund werden Keramik-Teile überwiegend „as fired“, also wie gebrannt, verwendet werden.

4.6 Weitere Herstellungsmethoden

In der Wissenschaft und Industrie werden weitere Verfahren eingesetzt, welche die Bandbreite an keramischen Werkstoffen weiter ausbauen. Als Beispiel sei hier die Feststoff-Synthese genannt, bei der mit extremen Drücken von bis zu 106 bar und Temperaturen um die 3.000 K keramische Werkstoffe synthetisiert werden. Weiter spielt die Flüssigphasen-Synthese eine wichtige Rolle, hierbei werden solvothermal unter Verwendung von Templaten Stücke mit gewünschten Eigenschaften und Maßen hergestellt. Eine zusätzliche Verstärkung der keramischen Struktur kann durch das Einbetten von keramischen Fasern in die Matrix erreicht werden.

5 Beispiele

- **Steatit als Vertreter der Silikat-Keramik**

Steatit ist ein Magnesiumsilikat. Es besteht zu 95% aus dem Rohstoff Speckstein; die restlichen 5% sind Bei-Mengungen von Ton und Flussmittel. Der Steatit wird überwiegend im Trocken-Pressverfahren hergestellt und zwischen 1.300°C und 1.400°C

gesintert. Verwendung findet Steatit-Keramik in der Isolatoren-Herstellung und zur Herstellung keramischer Modelle.

- **Aluminiumoxid als Vertreter der Oxid-Keramik**

Das Aluminiumoxid ist der technisch wichtigste oxidkeramische Werkstoff. Es wird bei einer Temperatur zwischen 1.600°C und 1.700°C gesintert. Die unterschiedlichen Eigenschaften dieser Keramik kommen durch den unterschiedlichen Reinheitsgrad des Ausgangsstoffes α -Aluminiumoxid und die verschiedenen Verarbeitungsweisen zustande.

- **Siliciumcarbid als Vertreter carbidischer Nichtoxid-Keramik**

Das Siliciumcarbid ist der momentan wichtigste carbidische Werkstoff der Technischen Keramik. Es werden zwei verschiedene SiC-Keramiken unterschieden: das offenporige SiC und das dichtgesinterte SiC. Beide zeichnen sich durch typische Eigenschaften aus: sehr hohe Festigkeit, geringe Wärme-Ausdehnung, sehr hohe Härte, hohe Wärme-Leitfähigkeit und hervorragende mechanische Hochtemperatur-Eigenschaften.

- **Siliciumnitrid als Vertreter der nitridischen Nichtoxid-Keramik**

Zur Zeit ist das Siliciumnitrid der noch wichtigste nitridische Werkstoff der Nichtoxid-Keramiken. Es ist deshalb noch dominierend, weil es hervorragende Eigenschaften, wie z. B. extrem hohe Festigkeit, hohe Zähigkeit, Verschleißfestigkeit, niedrige Wärme-Ausdehnung und sehr gute chem. Beständigkeit aufweist. Das Siliciumnitrid wird bei 1.700°C bis 1.900°C unter Schutzgas gesintert.

Zusammenfassung: fehlt.

Abschluss: fehlt.

Quellen:

1. Brevier Technische Keramik, Verband der Keramischen Industrie 1998, 1. Auflage, Selb.
2. Informationsblatt "Daten und Eigenschaften Keramischer Werkstoffe", Verband der Keramischen Industrie.
3. Informationsbroschüre "Das große Rezeptbuch", Verband der Keramischen Industrie.
4. Holleman, A.; Wiberg, E.: Lehrbuch der Anorganischen Chemie, WdeG Verlag 1995, 101. Auflage, Berlin.
5. dtv-Atlas zur Chemie, Band 1, Deutscher Taschenbuchverlag 1997, 8. Auflage, München.
6. CD-Roempp, Version 1.0, 9. Auflage, Herausgeber: Falbe/Regitz, Stuttgart, Thieme 1995.
7. Verband der Keramischen Industrie, Postfach 1624, Schillerstrasse 17, 95100 Selb.
8. <http://www.keramverband.de>, 23.02.2001.
9. Riedl, R., Chemie in unserer Zeit, Synthese für Keramiken, 2010, Vol.3
10. Krenkel, W., Vorlesungsskript "Aufbau und Eigenschaften der Keramiken" 2012
11. Krenkel, W., Ceramic Matrix Composites: Fiber Reinforced Ceramics and their Applications, Wiley, 2008, Weinheim
12. Salmang, H., Scholze, H., Keramik, Springer, 2007, Berlin