

# Technische Keramik



Fach: Wärmebehandlung

Institut: Hochschule für Technik und Informatik  
Biel/Bienne

Autoren: Aschwanden Fabian (aschf1@bfh.ch)  
Blanc André (blana@bfh.ch)  
Schütz Konrad (schuk@bfh.ch)

Dozent: Rufer Jean-Martin

Datum: Januar 2006

# Inhaltsverzeichnis

1. Definition .....	2
2. Werkstoffarten.....	2
3. Formgebung und Bearbeitung .....	3
3.1 Formgebung .....	3
3.2 Sinterung .....	3
3.2.1 Typische Sintertemperaturen .....	3
3.2.2 Gefügeveränderung während dem Sintern .....	3
3.3 Bearbeitung.....	4
3.3.1 Grünbearbeitung.....	4
3.3.2 Weissbearbeitung.....	4
3.3.3 Hartbearbeitung .....	4
4. Eigenschaften Technischer Keramik .....	4
4.1 Eigenschaften, Vorteil oder Nachteil.....	4
4.2 Mechanische Eigenschaften .....	5
4.3 Elektrische Eigenschaften .....	5
4.4 Thermische Eigenschaften .....	5
4.5 Chemische / Biologische Eigenschaften.....	5
5. Anwendungen der technischen Keramik .....	6
5.1 Preise und Anschaffung.....	6
6. Quellenverzeichnis .....	7
7. Bilderverzeichnis .....	7

## 1. Definition

In DIN VENV 12212 wird Hochleistungskeramik definiert als "hochentwickelter, hochleistungsfähiger keramischer Werkstoff, der überwiegend nichtmetallisch und anorganisch ist, und über bestimmte zweckmäßige Eigenschaften verfügt." Der Begriff wird als Abgrenzung zur konventionellen Keramik gesehen und beinhaltet alle Werkstoffe der Technischen Keramik. [1]

## 2. Werkstoffarten

Die wichtigsten technischen Keramiken sind:

Das **Aluminiumoxid** mit einem  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Gehalt von 80% bis 99% ist der technisch wichtigste oxidkeramische Werkstoff. Es zeichnet sich aus durch hohe Festigkeit und Härte, hohe Verschleißfestigkeit und Korrosionsbeständigkeit, hohe Wärmeleitfähigkeit, hervorragendes Isolationsvermögen, hohe Zähigkeit und Hochtemperaturfestigkeit. Der Werkstoff wird praktisch in allen Anwendungsgebieten eingesetzt.

**Zirkondioxid** tritt in monokliner, tetragonaler und kubischer Kristallmodifikation auf und wird als voll stabilisiertes (FSZ), teilstabilisiertes (TSZ) oder tetragonales (TZP) Zirkonoxid entsprechend der Menge der Dotierung hergestellt. Zirkonoxide haben wegen ihrer hervorragenden tribologischen Eigenschaften sowie ihrer höchsten Biegebruch- und Zugfestigkeit, hohen Bruchzähigkeit, hohen Verschleißfestigkeit und Korrosionsbeständigkeit, niedrigen Wärmeleitfähigkeit, Sauerstoffionenleitfähigkeit und ihrem E-Modul ähnlich Stahl in den letzten Jahren zunehmend Bedeutung erlangt. Aufgrund dieser Eigenschaften werden Zirkonoxid-Keramiken bevorzugt für mechanisch hochbelastbare Komponenten eingesetzt.

**Aluminiumtitanat ( $\text{Al}_2\text{TiO}_5$ )** ist eine stöchiometrische Mischphase von Aluminiumoxid und Titan-dioxid. Der Werkstoff überzeugt durch niedrige Wärmeleitfähigkeit, sehr niedrigen Wärmeausdehnungskoeffizienten, verbunden mit sehr hoher Temperaturwechselbeständigkeit, geringe Benetzbarkeit durch Aluminium- und Buntmetallschmelzen und offene Porosität.

**Cordierit ( $\text{Mg}_2\text{Al}_4\text{Si}_5\text{O}_{11}$ )** wird künstlich durch Brennen von einem Teil Ton und zwei Teilen Speckstein (Talk) hergestellt. Dieses Cordierit-Steinzeug zeichnet sich durch hohe Temperaturwechselbeständigkeit und niedrige Wärmeausdehnungskoeffizienten aus.

Unter den Carbiden, Nitriden, Boriden und Siliciden zählen Siliziumcarbid (SiC) und Siliziumnitrid ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) zu den gebräuchlichsten Werkstoffen.

**Siliziumcarbid (SiC)** eignet sich hervorragend für Bauteile, die neben starken mechanischen und korrosiven Belastungen, Temperaturen bis weit über 1400 °C ausgesetzt sind. Nichtoxidische Keramiken vereinen niedriges spezifisches Gewicht und hohe Zähigkeit.

**Siliziumnitrid ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ )** verfügt über eine bislang unerreichte Kombination hervorragender Werkstoffeigenschaften, wie extrem hohe Festigkeit, sehr hohe Zähigkeit, hervorragende Verschleißfestigkeit, sehr niedrige Wärmeausdehnung, hohe Wärmeleitfähigkeit, ausgezeichnete Temperaturwechselbeständigkeit und sehr gute chemische Beständigkeit. Der Sinterprozess des Siliziumnitrids muss mit einem hohen mechanischen Druck unter Schutzgasatmosphäre erfolgen. Je nach Verfahren entsteht so: Gesintertes Siliziumnitrid (SSN), Gasdruckgesintertes Siliziumnitrid (GPSSN) oder Heissgepresstes Siliziumnitrid (HPSN). [1]

## 3. Formgebung und Bearbeitung

### 3.1 Formgebung

Keramische Bauteile können durch verschiedenste Methoden geformt werden. In der folgenden Tabelle sind die verschiedenen Methoden und die wichtigsten Keramiken aufgelistet. Daraus wird ersichtlich, welche Herstellungsart für welche Keramiktypen geeignet ist.

	Silicatkeramik (Porzellan, Steinzeug)	Oxidkeramik ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ , $\text{ZrO}_2$ , $\text{BeO}$ )	Nichtoxid- keramik ( $\text{SiC}$ , $\text{Si}_3\text{N}_4$ )
Feuchtpressen	XXX		
Gießen	XXX	XX	XX
Trocken- ) mit riesel- pressen ) fähigem isostat. ) Granulat Pressen )	X	XXX	XX
Strangpressen	XXX	XXX	X
Spritzguss	X	XXX	XX
Heißpressen (auch Iso- stat. Heißpressen *)		X	XX

Zeichenerklärung: X = wird relativ selten angewendet  
 XX = gängiges Verfahren  
 XXX = Anwendung bei Großserien

Abb.1 Angewandte Formgebungsverfahren

### 3.2 Sinterung

Sintern ist die Bezeichnung des keramischen Brandes. Allgemein werden sehr hohe Temperaturen sowie hoher Druck für das Brennen benötigt. Dabei unterscheiden sich aber die verschiedenen Werkstoffe wie folgt:

#### 3.2.1 Typische Sintertemperaturen

Keramik	Sintertemperatur [°C]
Tonerdeporzellan	ca. 1250
Quarzporzellan	ca. 1300
Steatit	ca. 1300
Cordierit	1350 - 1400
$\text{Al}_2\text{O}_3$	1600 - 1800
RSiC	2300 - 2500
SSiC	ca. 1900
$\text{Si}_3\text{N}_4$	ca. 1700

Abb.2: Sintertemperaturen

#### 3.2.2 Gefügeveränderung während dem Sintern

Während dem Sintervorgang wachsen die einzelnen Körner nach und nach zusammen, bis am Schluss keine Zwischenschichten mehr zu erkennen sind.

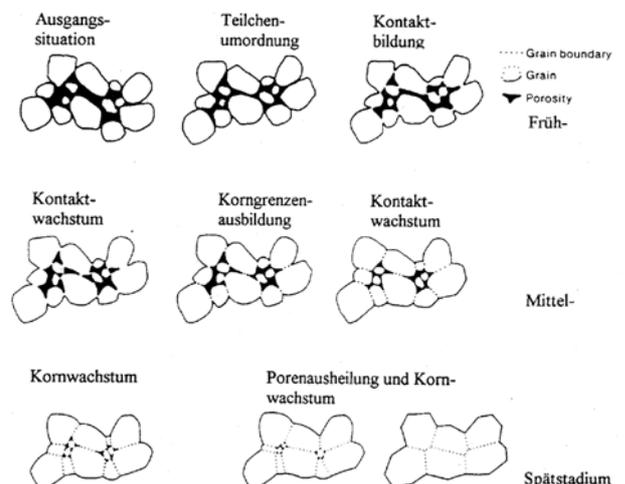


Abb.3: Gefügeveränderung beim Sintern

### 3.3 Bearbeitung

Es ist zwischen drei Bearbeitungsgruppen zu unterscheiden:

#### 3.3.1 Grünbearbeitung

Diese Bearbeitung erfolgt direkt nach der Trocknung. Der Werkstoff ist noch weich und einfach zu bearbeiten. Grobe Bearbeitungsmethoden werden grösstenteils in dieser Phase der Bearbeitung angewandt. Somit können die teuren Nachbearbeitungen reduziert werden.

#### 3.3.2 Weissbearbeitung

Nach dem Ausbrennen und Vorbrennen erfolgt die Weissbearbeitung. Spärende Techniken können auch hier noch angewendet werden, da die Keramik noch nicht richtig hart ist.

#### 3.3.3 Hartbearbeitung

Die nach dem keramischen Brand angewandte Bearbeitung wird Hartbearbeitung genannt. Diese Verfahren sind nur noch im kleinen Stil wirtschaftlich, denn die Keramik ist inzwischen sehr hart geworden. Sie dienen hauptsächlich zur Einhaltung der Toleranzen. Deshalb sind auch ganz spezielle Methoden wie Lasern angewendete Verfahren der Hartbearbeitung. [2]

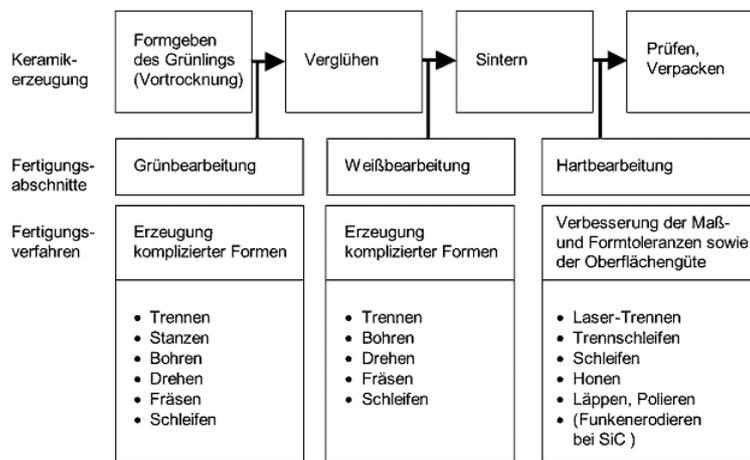


Abb.4: Bearbeitungsarten

## 4. Eigenschaften Technischer Keramik

### 4.1 Eigenschaften, Vorteil oder Nachteil

Technische Keramik hat gegenüber anderen Werkstoffen entscheidende Vorteile. An vielen Orten, in denen herkömmliche Materialien ungenügende oder schlechte Eigenschaften aufweisen, findet die technische Keramik ihre Anwendung. Natürlich hat auch dieser Werkstoff einige Nachteile, wie zum Beispiel der Preis, die schwierige Bearbeitbarkeit und die Sprödigkeit.

Durch die breite Palette von keramischen Werkstoffen lassen sich Eigenschaften auch kombinieren, verbessern oder herabsetzen.

Beschrieben werden hier nur die wichtigsten Eigenschaften der Keramik. [3][4]

	Keramik	Metall	Polymere
Härte	↑	↓	↓
E-Modul	↑	↑	↓
Hochtemperaturfestigkeit	↑	↓	↓
Thermische Ausdehnung	↓	↑	↑
Duktilität	↓	↑	↑
Korrosionsbeständigkeit	↑	↓	↓
Verschleißbeständigkeit	↑	↓	↓
Elektrische Leitfähigkeit	↓	↑	↓
Dichte	↓	↑	↓
Wärmeleitfähigkeit	↓	↑	↓

Tendenz zu hohen Werten     Tendenz zu niedrigen Werten

Abb.5: Vergleich der Eigenschaften von Keramik

## 4.2 Mechanische Eigenschaften

- Die Dichte von Keramik kann bis zu 70% höher als die von Stahl sein, dies ermöglicht eine Massenreduktion bei Bauteilen.
- Auch das E-Modul ist höher als beim Stahl, dadurch entsteht bei gleicher Belastung bei der Keramik die kleinere Dehnung als beim Stahl → Formbeständigkeit
- Der hohe Verschleisswiderstand kommt von der grossen Härte der Keramik. Auf Grund der Härte kann die Keramik keine plastische Formveränderung erreichen, sie bricht ohne Einschnürung oder anderer Anzeichen.
- Die Biegefestigkeit bei Normalbedingungen ist vergleichbar mit der Biegefestigkeit von Stählen, diese nehmen zum Teil jedoch schon bei 300°C ab. Bei Keramik ergibt sich bis zu einer Temperatur von 1000°C keine wesentlichen Veränderungen.
- Die Zugfestigkeit ist bedeutend kleiner als die Biegefestigkeit. Es ist deshalb darauf zu achten, die Belastung auf Zug zu vermeiden oder zu minimieren.
- Die grösste Belastung kann die Keramik auf Druck aufnehmen. Die Druckfestigkeit ist bis zu 10-mal grösser als die Biegefestigkeit.
- Die Verarbeitung ist schwierig.

## 4.3 Elektrische Eigenschaften

- Keramik verfügt über einen ausserordentlich hohen elektrischen Widerstand und über eine hohe Durchschlagkraft → Isolator.
- Technische Keramik hat geringe dielektrische Verluste und daher auch eine kleine Permittivitätszahl.
- Piezoelektrische Eigenschaften sind ein weiteres markantes Merkmal der Keramik.

## 4.4 Thermische Eigenschaften

- Die Schmelztemperatur liegt über 2000°C somit ist Keramik temperaturbeständiger als Metall.
- Oxide sind schlechte Wärmeleiter → thermischer Isolierstoff; Karbide haben eine Wärmeleitfähigkeit ähnlich den Metallen.
- Die thermische Längenausdehnung ist, mit Ausnahme von Zirkoniumoxid, Forsterit und MgO, geringer als bei Metallen.
- Keramik ist Temperaturschock empfindlich. Dies dadurch, dass die Keramik anfällig auf innere Spannungen ist und somit bei einem Abschreckvorgang unter den entstehenden Spannungen reisst.

## 4.5 Chemische / Biologische Eigenschaften

- Die Korrosionsbeständigkeit ist bei Keramik höher als bei Metallen. Bei der Keramik ist die Korrosion kein elektrochemischer Vorgang, sondern abhängig von der Löslichkeit des Materials.
- Keramik ist physiologisch und lebensmitteltechnisch gut verträglich → Implantate.
- Die Keramik weist eine grosse chemische Beständigkeit auf.
- Keramik besitzt katalytische Eigenschaften.

## 5. Anwendungen der technischen Keramik

Die technische Keramik findet in Gebieten Anwendung in denen Materialien mit hohen technischen Anforderungen gefragt sind. Durch seine Eigenschaft der sehr hohen Härte, der grossen Hochtemperaturfestigkeit und der thermischen und elektrischen Isolationsfähigkeit, findet die technische Keramik überall dort ihre Anwendung, wo Elemente reiben oder gleiten, grosser Wärme ausgesetzt sind oder elektrische Spannung führen.

Alle Anwendungen detailliert aufzuführen würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen, deshalb haben wir uns vor allem auf den Turbinen- und Motorenbau konzentriert.

Einsatzgebiete der technischen Keramik (allgemein):

- Allgemeiner Maschinenbau
- Pumpen-, Armaturen-, Anlage- und Papiermaschinenbau
- Textilmaschinenbau und Metallverarbeitung
- Chemie- und Verfahrenstechnik
- Hochtemperaturtechnik
- Elektrotechnik, Elektronik und Hochspannungstechnik
- Medizintechnik

Tabelle 1: Anwendungen im Turbinen- und Motorenbau: [5]

Bauteile	Eigenschaften	Werkstoffe
Brennraumauskleidungen, Kolbenboden, Laufbuchsen, Portliner	Wärmeisolation	Aluminiumtitanat
Kipphebelbeläge, Ventile, Ventilführungen, Ventilsitze	hoher Verschleißwiderstand, geringe Dichte, Härte	Siliziumnitrid, Siliziumcarbid
Kolbenbolzen, Turboladerrotoren, Wälzlager	geringe Dichte, hohe Festigkeit	Siliziumnitrid, Siliziumcarbid
Diesekatalysatoren, Katalysatorträger	gute Korrosions- und Temperaturbeständigkeit	
Zündkerzen, Glühkerzen	elektrische Isolation und Temperaturbeständigkeit	technischer Porzellan
Gasturbinenräder, Turbinenschaufeln und -leitschaufeln, Turboladerlaufräder und -gehäuse	hohe Temperaturfestigkeit	Siliziumnitrid, Siliziumcarbid
Lambdasonden	Sauerstoffionenleitfähigkeit	Zirkoniumoxid

### 5.1 Preise und Anschaffung

Da die technische Keramik eher aufwendig in der Bearbeitung ist, wird sie nicht wie z.B. Stahl als Rohstoff angeboten. Vielmehr bieten Firmen im In- und Ausland die Herstellung fertiger Bauteile an. Die Herstellung eines Hochleistungskeramikbauteils ist teurer als z.B. diejenige eines Metallbauteils. Jedoch macht das Keramikbauteil diesen höheren Preis durch längere Laufzeit und besondere Eigenschaften wett.

## 6. Quellenverzeichnis

- [1] <http://www.uni-tuebingen.de/uni/emi/alt/sammlung/techno.htm>
- [2] [http://www.keramverband.de/brevier\\_dt/4/1/4\\_1\\_6.htm](http://www.keramverband.de/brevier_dt/4/1/4_1_6.htm)
- [3] <http://www.keramverband.de/keramik/deutsch/fachinfo/eigenschaften.htm>
- [4] <http://www.keramverband.de/brevier/eigenschaften/index.html>
- [5] [http://www.keramverband.de/brevier\\_dt/6/6\\_1.htm](http://www.keramverband.de/brevier_dt/6/6_1.htm)

## 7. Bilderverzeichnis

- Titelbild: [http://www.keramverband.de/brevier\\_dt/3/4/3\\_4.htm](http://www.keramverband.de/brevier_dt/3/4/3_4.htm)
- Abb.1: [http://www.friamat.de/content/Germany/friatec\\_neu/Frialt-Degussit/fachartikel/A.Reckziegel-Konstruieren.pdf](http://www.friamat.de/content/Germany/friatec_neu/Frialt-Degussit/fachartikel/A.Reckziegel-Konstruieren.pdf)
- Abb.2: <http://www.fh.muenster.de/fb3/labore/werkstof/download/wa43.pdf>
- Abb.3: <http://www.fh.muenster.de/fb3/labore/werkstof/download/wa43.pdf>
- Abb.4: [http://www.keramverband.de/brevier\\_dt/4/1/4\\_1\\_6.htm](http://www.keramverband.de/brevier_dt/4/1/4_1_6.htm)
- Abb.5: [http://www.keramverband.de/brevier\\_dt/5/5\\_1.htm](http://www.keramverband.de/brevier_dt/5/5_1.htm)