

## 2. Einführung in die Technische Keramik

### 2.1 Werkstoffe, Eigenschaften und resultierende Anwendungen

- Heidrun Grycz  
Saint Gobain Advanced Ceramics Lauf GmbH  
Lauf a. d. Pegnitz
- Elke Vitzthum  
CeramTec AG  
Lauf a. d. Pegnitz

*Die Folien finden Sie ab Seite 32.*

#### 2.1.1. Einleitung

Die Geschichte der Keramik hat eine lange Vergangenheit. Bereits 15.000 vor Christus fanden figürliche Keramiken und Nutzgefäße Verwendung im Alltag. Natürlich sah damals die Keramik noch etwas anders aus und wurde nur auf Basis von Ton hergestellt. Ungefähr 10.000 Jahre später gab es bereits Ziegelsteine in Mesopotamien und Indien.

In historischer Zeit wurde Keramik nicht nur wegen seiner Hitzebeständigkeit sondern z. B. auch aufgrund seiner Säurefestigkeit geschätzt und in der Chemie eingesetzt. Nach Wiedererfindung des Porzellans in Europa begann ca. 1850 das Zeitalter der Elektrokераmik (Porzellanbasis). 1929 hat Siemens den Zündkerzenisolator aus Sinterkorund eingeführt.

Ab 1960 wurden dann Konstruktionswerkstoffe wie Aluminiumoxid und Siliciumcarbid entwickelt. Dieser Entwicklungsschritt wurde stark durch die Erkenntnis beeinflusst, dass vor allem die mechanischen Eigenschaften vom Gefüge abhängen. Verbesserte Messtechniken machten diese Einsichten möglich. Heute ist Keramik ein Hochleistungswerkstoff und ist zusätzlich zu Metall und Kunststoff ein wichtiger und unersetzbarer Standard-Werkstoff geworden.

### 2.1.2. Gliederung der Werkstoffe

Die Gliederung der Werkstoffe kann in organische und anorganische erfolgen. Die organischen Werkstoffe können nochmals in natürliche (Holz, Leder, Naturfaser...) und synthetische Werkstoffe (Kunststoffe, -fasern, -harze) unterteilt werden. Bei den anorganischen Werkstoffen gibt es metallische (Eisen, Stahl, Legierungen...) und nichtmetallische Werkstoffe (Naturstein, Bindemittel, Glas, Gebrauchs- und technische Keramik). Miteinander kombiniert werden die Werkstoffe zu so genannten Verbundwerkstoffen.



Bild 1: Gliederung der Werkstoffe

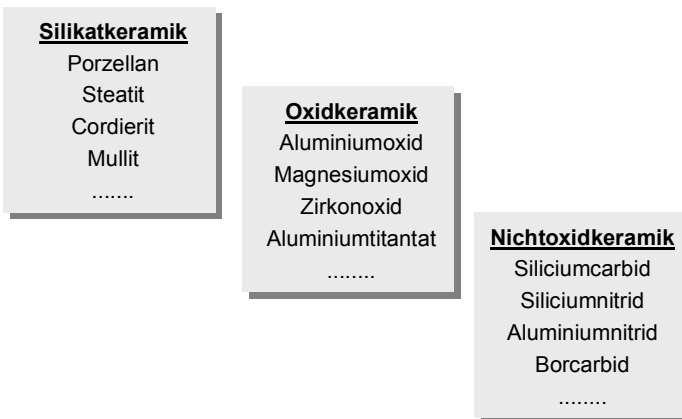


Bild 2: Werkstoffgruppen

Zu den Werkstoffgruppen der technischen Keramik gehören die Silikatkeramik, die Oxidkeramik und die Nichtoxidkeramik.

### **2.1.2.1. Silikatkeramik**

Die Silikatkeramik enthält im allgemeinen  $\text{SiO}_2$  mit Anteilen größer 20Gew%. Wesentliche Bestandteile der mehrphasigen Werkstoffen sind Ton, Kaolin, Feldspat und/oder Speckstein als Silikatträger. Um höhere Festigkeiten zu erzielen können auch Tonerde und Zirkon zugesetzt werden.

Eigenschaften:

- Hohe mechanische Festigkeit
- Hervorragende Beständigkeit gegenüber Chemikalien
- Sehr gutes elektrisches Isoliervermögen

Typische Vertreter sind Porzellan, Steingut, Cordierit und Steatit. Aufgrund der guten Verfügbarkeit, der niedrigen Sinteremperatur und der guten technischen Beherrschbarkeit der Herstellung ist die Silikatkeramik ein günstiger Vertreter der Technischen Keramik. Einsatzgebiete finden sich in der Wärmetechnik, Meß- und Regeltechnik, Hoch- und Niederspannungstechnik mit Anwendungen als Isolatoren, Sicherungspatronen und Katalysatoren.

### **2.1.2.2. Oxidkeramik**

Die Oxidkeramik besteht im wesentlichen aus einphasigen, einkomponentigen Metalloxiden (> 90%). Die Materialien sind glasphasearm oder -frei. Die Herstellung erfolgt synthetisch und die keramischen Pulver sind dadurch mit einem hohen Reinheitsgrad verfügbar. Bei gegenüber Silikatkeramik deutlich höheren Sintertemperaturen entsteht ein gleichmäßiges Mikrogefüge, das Ursache für verbesserte Eigenschaften ist.

Eigenschaften:

- Hohe Festigkeit und Härte
- Temperaturstabilität

- Hohe Verschleiß- und Korrosionsbeständigkeit, auch bei hohen Temperaturen

Vertreter hierfür sind Aluminium-, Magnesium-, Zirkonium- und Titanoxidkeramiken.

Verfügbare Mischoxidkeramiken sind Aluminiumtitanat, Bleizirkontitanat (Piezokeramik) und Bariumtitanat (Kondensatorwerkstoff).

### 2.1.2.3. Nichtoxidkeramik

Die Nichtoxidkeramik sind z. B. Verbindungen von Bor, Kohlenstoff, Stickstoff und Silicium. Die atomaren Bindungen und die kristallinen Strukturen der Nichtoxidkeramiken ermöglichen den Einsatz bei hohen Temperaturen, sorgen für einen hohen E-Modul und ergeben hohe Festigkeiten und Härte, verbunden mit hoher Korrosionsbeständigkeit und Verschleißfestigkeit.

Die wichtigsten Vertreter sind Siliciumcarbid, -nitrid, Aluminiumnitrid Borcarbid und –nitrid.

### 2.1.3. Eigenschaften Keramischer Werkstoffe

Die spezifischen Eigenschaften der Keramiken lassen sich folgendermaßen darstellen:

- Hohe Härte
- Hohe mechanische Festigkeit
- Hohe Einsatztemperaturen
- Formstabilität
- Korrosionsbeständigkeit
- Verschleißfestigkeit
- Hohes elektrisches Isoliervermögen
- Niedrige Dichte
- Niedrige oder hohe Wärmeleitfähigkeit
- Gute tribologische Eigenschaften

Je nach Art der Zusammensetzung und Aufbereitung können die Eigenschaften den Erfordernissen sehr gut angepasst werden. Fol-

gendes Bild verdeutlicht den Unterschied der Technischen Keramik zu Metall.

	Keramik	Metall
Härte	↑	↓
Hochtemperaturfestigkeit	↑	↓
Thermische Ausdehnung	↓	↑
Duktilität	↓	↑
Korrosionsbeständigkeit	↑	↓
Verschleißfestigkeit	↑	↓
elektrische Leitfähigkeit	↓	↑
Dichte	↓	↑
Wärmeleitfähigkeit	↓	↑

↑ Tendenz zu hohen Werten

↓ Tendenz zu niedrigen Werten

**Bild 3:** Werkstoff - Vergleich

## 2.1.4. Ausgewählte Anwendungsbeispiele

### 2.1.4.1. Elektroindustrie

Technisches Porzellan, Steatit und Aluminiumoxid bieten beste Isolationseigenschaften und sehr gute mechanische Eigenschaften.

Anforderungen an isolierende Werkstoffe sind:

- Sehr gute Isolierfähigkeit
- Alterungsbeständigkeit
- Kriechstromfestigkeit
- Geringe dielektrische Verluste
- Gute Temperaturwechselbeständigkeit (TWB)

## Einführung in die Technische Keramik

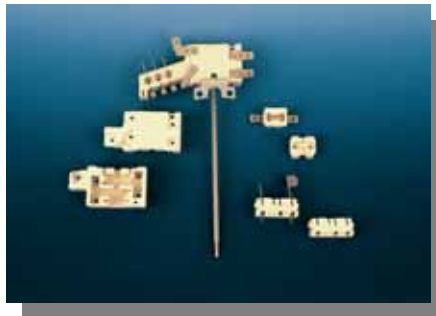
---

- Sehr gute mechanische Festigkeit
- Chemikalienbeständigkeit
- Formstabilität bei hohen Temperaturen

Gute plastische Verformbarkeit der keramischen Massen vor dem Brand und gute Prozessbeherrschung sind Basis für enge Maßtoleranzen und starke Standardisierung, aber auch Formenvielfalt.



**Bild 4:** Lichttechnik - Halogenlampe

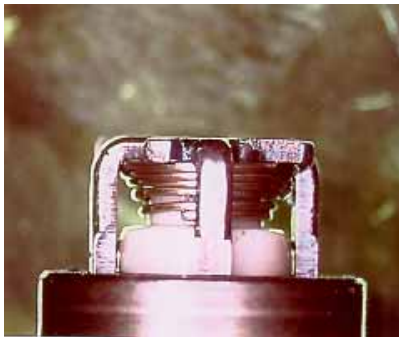


**Bild 5:** Bauteile für die Elektrotechnik

## 2.1.4.2. Maschinenbau

### 2.1.4.2.1. Siliciumnitrid ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ )

Die extrem günstige mechanische Eigenschaften von  $\text{Si}_3\text{N}_4$  wie geringes Gewicht, hohe Festigkeit und „Zähigkeit“, Verschleißbeständigkeit und gute Notlaufeigenschaften haben den Einsatz von Bauteilen aus Siliciumnitrid im Rennsport und beim Common-Rail-Diesel im Einspritzsystem ermöglicht.



**Bild 6:**  $\text{Si}_3\text{N}_4$  Plättchen in einer Hochdruckpumpe

### 2.1.4.2.2. Siliciumcarbid ( $\text{SiC}$ )

$\text{SiC}$  im Einsatz als Glühzünder. Geeignet wegen seiner elektrischen Leitfähigkeit, seiner Temperaturfestigkeit und seines geringes Oxidationsverhaltens.



**Bild 7:**  $\text{SiC}$ -Glühzünder im Steatitsockel

Den beiden meistverwendeten oxidkeramischen Werkstoffen Aluminiumoxid und Zirkonoxid sind Temperaturstabilität, sehr gute Korrosionseigenschaften auch bei hohen Temperaturen und gute tribologische Eigenschaften zu eigen.

### 2.1.4.2.3. Aluminiumoxid ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )



**Bild 8:** Ventilscheiben für hohe Dampfdrücke



**Bild 9:** Lager

Entscheidender Vorteil von  $\text{ZrO}_2$  ist, dass es einen ähnlichen Wärmeausdehnungskoeffizient wie Stahl hat und damit Bauteile aus Zirkonoxid mit solchen aus Stahl gut kombiniert werden können.



### 2.1.5. Resumé

Es gibt heute eine lange Liste von keramischen Werkstoffen, die aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung und ihres definierten Gefügebau sehr unterschiedliche nützliche Eigenschaftskombinationen besitzen und für die Lösung von technischen Aufgaben zur Verfügung stehen, bei denen herkömmliche Werkstoffe überfordert werden.

Moderne Ver- und Bearbeitungsmethoden sorgen dafür, dass Wirtschaftlichkeit und Qualitätsansprüche zufrieden gestellt werden können.

Für die Technik ist es unverzichtbar,

- sich mit Technischer Keramik vertraut zu machen und
- festzustellen, dass der Vergleich mit herkömmlichen Werkstoffen nicht nur sinnvoll sondern notwendig ist,

um neuen technischen Herausforderungen eine Antwort zu geben.

Die verwendeten Vortragsfolien (Nr. 1 bis 19) finden sich auf den folgenden Seiten.

**Einführungsvortrag**

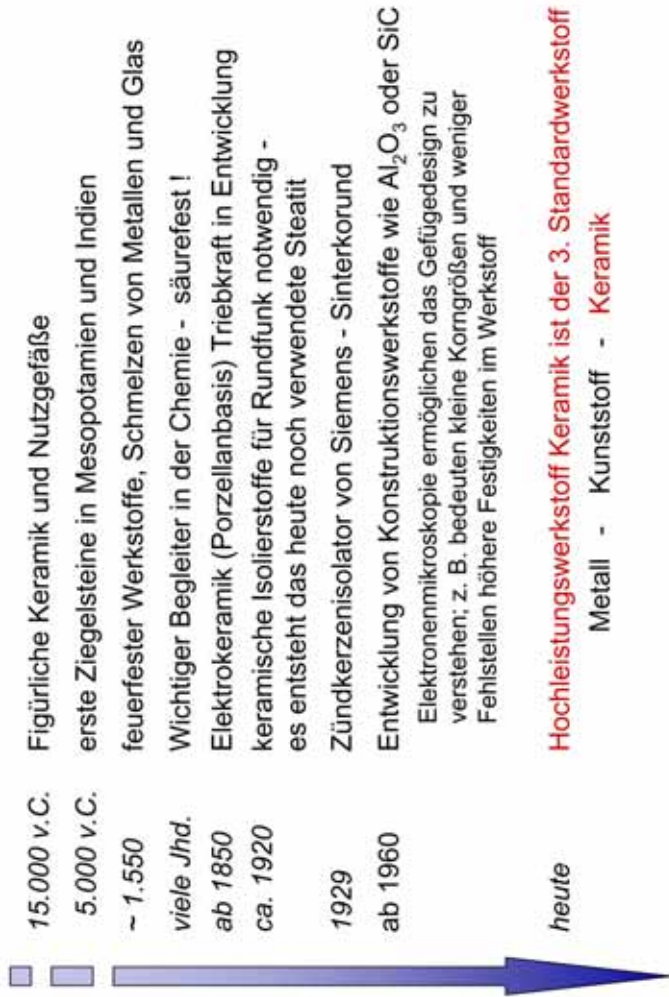


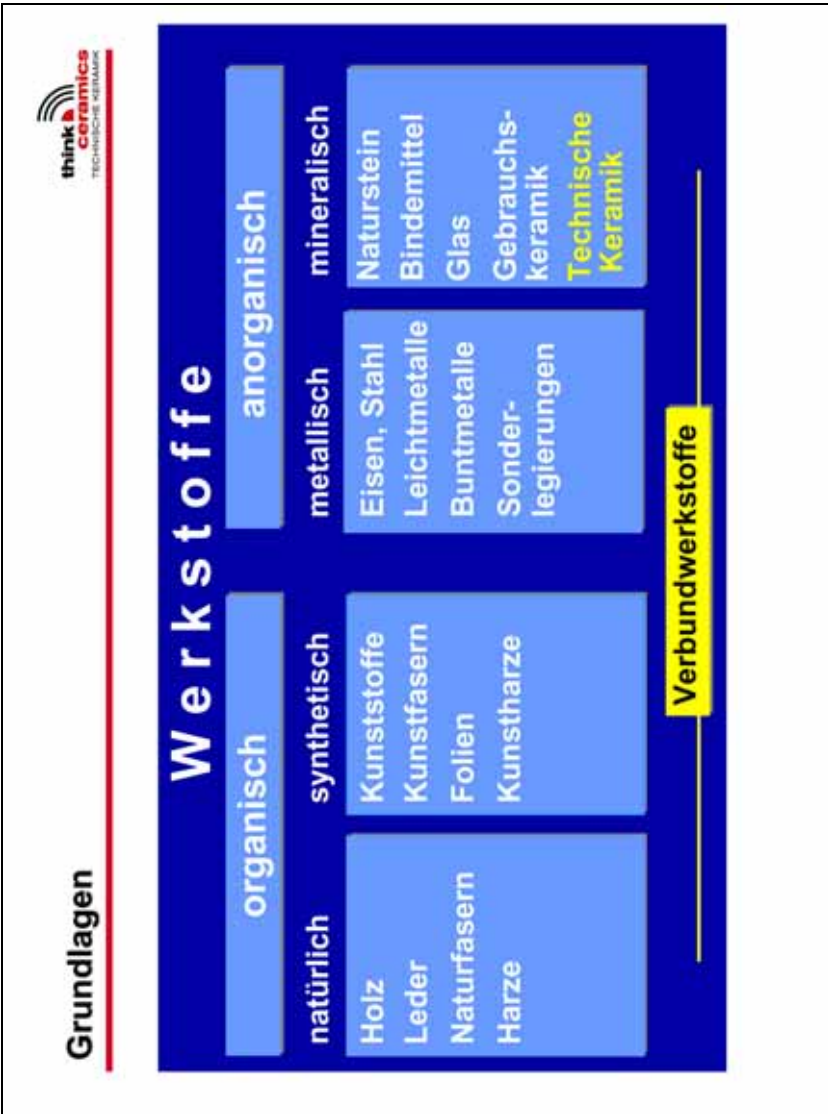
**Heidrun Grycz  
Saint - Gobain**



**Elke Vitzthum  
CeramTec AG**

## Geschichte: Keramik = keramos (griech.) = Ton





2.1 Einführung - Folie 3

**Werkstoffgruppen**

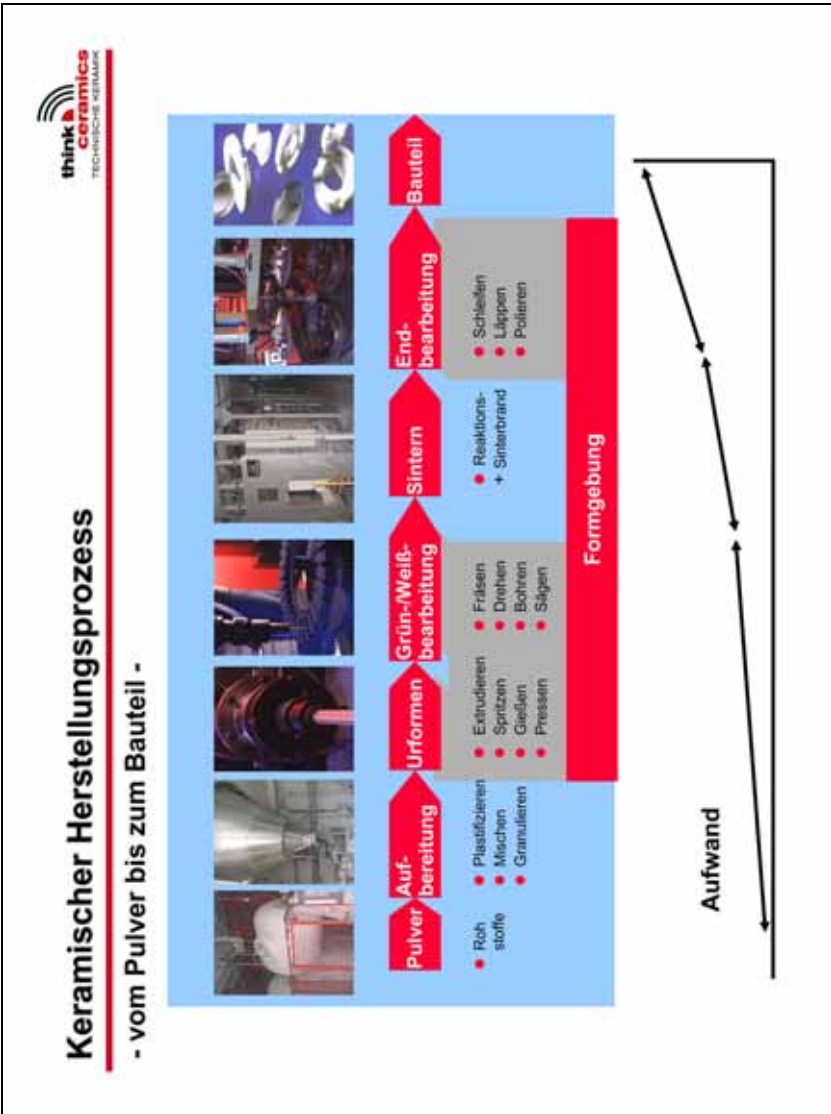
think  
ceramics  
TECHNISCHE KERAMIK

**Siilikatkeramik**  
Porzellan  
Steatit  
Cordierit  
Mullit  
.....

**Oxidkeramik**  
Aluminiumoxid  
Magnesiumoxid  
Zirkonoxid  
Aluminiumtitanat  
.....

**Nichtoxidkeramik**  
Siliciumcarbide  
Siliciumnitrid  
Aluminiumnitrid  
Borcarbide  
.....

2.1 Einführung - Folie 4



2.1 Einführung - Folie 5

## Anwendungsgebiete von Keramik

<u>Welche</u>	<u>Warum</u>
mechanische	Festigkeit, Härte, Verschleißbeständigkeit,...
thermische	Wärmeleiter/isolator, Thermoschockverhalten, Temperaturfestigkeit /- wechselbeständigkeit,...
chemische / biologische	Korrosionsbeständigkeit, katalytische Effekte, Biokompatibilität, Inertheit,...
elektrische	Durchschlagfestigkeit, elektrischer Widerstand, Halbleitereigenschaften,...
elektromechanisch	Piezoeffekt,...
elektrochemische	Ionenleitfähigkeit,...

**MMC - Keramikbremse**

**think ceramics**  
TECHNISCHE KERAMIK

### Hochleistungskeramik

### Grauguss

**„hart“**  
korrosionsfrei  
leicht  
2,2 g/cm<sup>3</sup>  
konstant  
Reibwert  
Zeit

**„weich“**  
korrodiert  
schwer  
7,1 g/cm<sup>3</sup>  
schwankend  
Reibwert  
Zeit

**MMC - Keramikbremse**

**think ceramics**  
TECHNISCHE KERAMIK

2.1 Einführung - Folie 7



## Steatit - Kfz - Lichttechnik



Dauerbelastung durch hohe  
Temperaturen  
Einwirkung auf Sockel,  
Halterung und Isolierkomponenten  
der Halogenlampen

### **Nutzen:**

- ⇒ lange Lebensdauer, somit  
geringere Wartungskosten
- ⇒ hohe Wirtschaftlichkeit



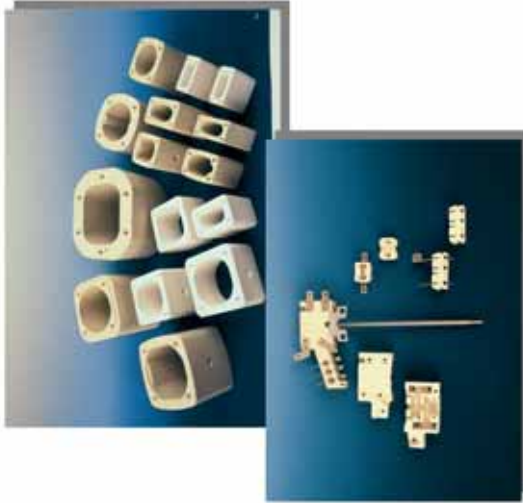
## Steatit - Elektrotechnik



Sockel, Sicherungen, Halterungen sind  
starker Temperatureinwirkung  
(Dauerbelastung) ausgesetzt

### Vorteile von Silikatkeramik:

- ⇨ lange Lebensdauer
- ⇨ hohe Wirtschaftlichkeit
- ⇨ komplizierte Geometrien
- ⇨ Abmessungen von klein bis groß
- ⇨ bessere Verarbeitbarkeit im Vergleich zum Kunststoff

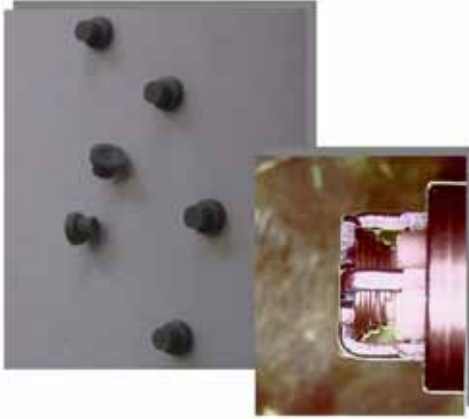


## $\text{Si}_3\text{N}_4$ - Ventilplatte in Hochdruckpumpe



### Funktion:

Druckregelung zwischen  
Hochdruckpumpe ( $p > 1500$  bar) und  
Common-Rail-Einspritzsysteme



### Lösung: Siliciumnitridplättchen ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ )

- ⇨ Verschleißbeständigkeit
- ⇨ Formbeständigkeit
- ⇨ Gewichtsreduzierung
- ⇨ Notlaufeigenschaft

## $\text{Si}_3\text{N}_4$ - Kugellager für extremste Einsätze



Lösung:

Siliziumnitrid - Kugellager  $\text{Si}_3\text{N}_4$

- ⇨ extreme Temperaturen
- ⇨ Höchste Drehzahl
- ⇨ Gewichtsreduzierung 60%
- ⇨ Notlaufeigenschaft




**BN - Kosmetik**

**think ceramics**  
TECHNISCHE KERAMIK

**TRES  
BN**

Anforderungen:

- ⇨ Opazität
- ⇨ Transluzenz
- ⇨ Pudrigkeit
- ⇨ Mattigkeit



2.1 Einführung - Folie 12

## SiC rekristallisiert - Hochtemperatureinsatz



Lösung: Siliziumcarbid SiC

- ⇒ Temperaturfestigkeit
- ⇒ geringe Oxidation

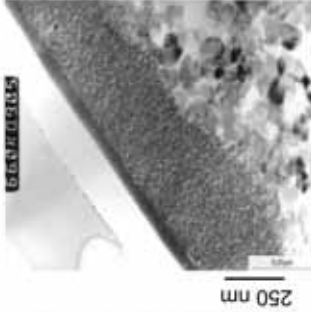


## TiO<sub>2</sub> - Keramische Nanofiltrationsmembranen

**Material:** amorphes TiO<sub>2</sub>  
**Schichtdicke:** 50 nm  
**Mittlere Porengröße:** 0,9 nm  
**Cut Off:** 450 g/mol  
**Offene Porosität:** 30 %  
**pH-Stabilität:** 0 – 14  
**Temperaturstabilität:** 350°C



Filtrationsmodul



TEM-Aufnahme einer  
Nanofiltrationsmembran,  
Trägermaterial:  
hochreines Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

### Technische Verfügbarkeit

**Partikelfiltration:** > 1 µm  
**Mikrofiltration:** 1 - 0,1 µm  
**Ultrafiltration:** 100 - 1 nm  
**Nanofiltration:** < 1 nm



Nanofiltrationsanlage  
(25 m<sup>2</sup> Filterfläche)  
zur Entfärbung von  
Farbstoffabwässer aus  
der Textilveredlung

## **Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - Ventilscheiben für Espressoemaschinen**



**Geschmack in jeder Tasse -  
mit Keramik haben Sie den Dreh raus**

- ⇨ lange Lebensdauer
- ⇨ Dampfdrücke bis 60 bar möglich
- ⇨ komfortable Ventilstellung
- ⇨ keine Kalkablagerung an den Dichtflächen
- ⇨ chemisch beständig -  
somit problemlose Reinigung





## ZrO<sub>2</sub> - Lagerbuchse in der Abgasklappe



**Funktion Abgasklappe:**  
Regulierung des Abgasstroms +  
Reduzierung der Schadstoffwerte



**Lösung: Zirkonoxidlager (ZrO<sub>2</sub>)**

- ⇨ Temperaturbeständigkeit
- ⇨ Korrosionsbeständigkeit
- ⇨ Verschleißbeständigkeit
- ⇨ Wärmeausdehnungskoeffizient ähnlich  
Stahl



## Piezokeramik für KfZ - Sensoren



### Klopfsensor

#### Funktionsweise:

Piezokeramischer Sensor erkennt geringste Veränderungen gegenüber dem optimalen Motorbetrieb. Es wird der Zündzeitpunkt geregelt

#### ⇒ Nutzen:

Senkung des Kraftstoffverbrauchs

Weiter Einsatzgebiete von Piezokeramik:

- Quarzuhren
- Rückfahrsensor
- Ultraschallreinigung
- Aktor
- .....



## $Al_2TiO_5$ - Gießertechnik

**Lösung: Aluminiumtitanat**

- ⇨ niedriger WAK
- ⇨ niedriger E-Modul
- ⇨ geringe Benetzbarkeit

**Keramik in der Zukunft**



**Welche Einsatzmöglichkeiten können  
wir uns für Keramik in der  
Zukunft vorstellen ?**



2.1 Einführung - Folie 19