

B) Begriffsbestimmungen und Anwendungen

- Helmut Benkert,
St. Gobain Advanced Ceramics Lauf GmbH,
Lauf a. d. Pegnitz

Die Folien finden Sie ab Seite 51.

1. Einleitung

Keramik ist ein Werkstoffbegriff, der wegen der Vielfältigkeit der einbezogenen Rohstoffe und Anwendungen mit historisch gewachsenen Begriffen arbeitet. Viele nationale systematische Gliederungen beginnen im Zuge internationaler Zusammenarbeit von Wissenschaft, industrieller Normung und internationaler Handelsstatistik, erst langsam Gemeinsamkeiten zu entwickeln.

Allein die unterschiedlichen Definitionen des Begriffes „Keramik“ im angelsächsischen oder mitteleuropäischen Bereich zeigen wie vielfältig die Möglichkeiten und Einsatzgebiete der unterschiedlichsten Werkstoffe sind.

Allgemeine Definition im angelsächsischen Bereich:

CERAMICS ist der Überbegriff für alle nichtmetallischen anorganischen Werkstoffe.

(Glas, Email, Bindemittel, Einkristalle, Salze und auch Eiskristalle)

Präzisere Definition nach Dietzel (Mitteleuropa, Deutschland):

Keramik ist der Überbegriff für alle

- nichtmetallisch anorganischen
- vollständig oder teilweise (> 30% Anteil) kristallinen
- weitgehend wasserbeständigen Werkstoffe,

- die bei der Herstellung oder im Gebrauch auf hohe Temperaturen erhitzt werden.
(Die Bestimmungsmerkmale können nur am fertigen Werkstoff geprüft werden.)

Und letztendlich noch erweitert auf Basis der Technologie:

Keramische Werkstoffe sind solche, die zunächst als Pulver geformt und anschließend durch einen Brand in ihren endgültigen Zustand überführt werden. Durch den Brand geht die Eigenschaft der Verformbarkeit verloren.

Somit ist die Unterscheidung bei nichtmetallisch anorganischen Werkstoffen folgende:

- KERAMIK,
- Glas und
- Bindemittel

KERAMIK	<i>GLAS</i>	<i>Bindemittel</i>
Pulver	Pulver	Energie
β	↓	↓
Formgebung	Energie	Pulver
β	↓	↓
Energie	Formgebung	Formgebung

Weiterhin unterteilt die keramische Industrie in Deutschland je nach Kornaufbau des Masseversatzes in **Grob-** und **Feinkeramik**.

Die Definition nach Hausner führt über das Gefüge des Scherbens, also ebenfalls über den Kornaufbau. Die Grenze liegt bei Korngrößen von etwa 0,1 bis 0,2 mm. Sind die Gefügebestandteile kleiner als 0,1 mm, also mit dem bloßen Auge nicht mehr erkennbar, spricht man im deutschen Sprachgebrauch, unabhängig vom Werkstoff, von Feinkeramik.

Zur Feinkeramik gehören **Technische Keramik**, Geschirrkераmik, Zierkeramik, Sanitärkeramik, Wand- und Bodenfliesen und Schleifmittel auf keramischer Basis.

Die Grobkeramik beinhaltet z.B. Ziegel- oder konventionelle Feuerfestwerkstoffe.

Die **Technische Keramik** umfasst keramische Werkstoffe und Produkte für technische Anwendungen.

In der Literatur auftretende Begriffe wie

- Hochleistungskeramik,
- Strukturkeramik,
- Konstruktionskeramik,
- Industriekeramik,
- Ingenieurkeramik,
- Funktionskeramik,
- Elektrokeramik,
- Schneidkeramik und
- Biokeramik

beschreiben spezielle Aspekte der Technischen Keramik. Eine Einteilung nach diesen Begriffen ist nicht sinnvoll, da sich die Begriffe z.T. stark überschneiden.

Hochleistungskeramik ist in **DIN V ENV 12212** definiert als „hochentwickelter, hochleistungsfähiger keramischer Werkstoff, der überwiegend nichtmetallisch und anorganisch ist und über bestimmte zweckmäßige Eigenschaften verfügt.“

Der Begriff **Hochleistungskeramik** wird vor allem in Abgrenzung zu traditioneller Keramik auf Tonbasis einschließlich Geschirrporzellan, Sanitärkeramik, Wand- und Bodenfliesen sowie Baukeramik verwendet. Diese Definition deckt sich mit der Formulierung der „Japan Fine Ceramics Association“.

2. Werkstoffe

Technische Keramik wird oft mit den vorgenannten Begriffe in Gruppen eingeteilt. Da jedoch damit keine eindeutige Klassifizierung möglich ist, werden die Werkstoffe alternativ entsprechend ihrer mineralogischen bzw. chemischen Zusammensetzung gegliedert.

Zu den Werkstoffen der Technischen Keramik gehören die folgenden Gruppen:

- Silikatkeramik
- Oxidkeramik
- Nichtoxidkeramik

2.1 Silikatkeramik

Silikatkeramische Werkstoffe enthalten als wichtige und im allgemeinen vorherrschende chemische Komponente SiO_2 mit Anteilen größer 20 Gew%. Da diese Verbindung in der Regel über tonhaltige oder magnesi-umsilikathaltige Rohstoffe in den keramischen Versatz eingeführt wird, spricht man auch von der Gruppe der tonkeramischen oder silikatischen Werkstoffe. Typische Vertreter sind u.a. Porzellan, Steingut, Steinzeug, Cordierit, Steatit und Mullitkeramiken.

Silikatkeramik kommt z.B. in der Wärmetechnik, der Meß- und Regeltechnik, der Verfahrens- und Umwelttechnik, der Hoch- und Niederspannungstechnik mit typischen Anwendungen wie Isolatoren, Sicherungspatronen, Katalysatoren, Gehäusen und vielfältigen Anwendungen in der Elektroinstallationstechnik zum Einsatz. Silikatkeramik findet sich weiterhin im Feuerfestbereich wieder.

2.2 Nichtsilikatische Keramiken

2.2.1 Oxidkeramik

Unter *Oxidkeramik* werden alle Werkstoffe verstanden, die im wesentlichen aus einphasigen und einkomponentigen Metalloxiden (>90%) bestehen. Die Materialien sind glasphasearm oder glasphasefrei. Die Rohstoffe werden synthetisch hergestellt und besitzen einen hohen Rein-

heitsgrad. Bei sehr hohen Sintertemperaturen entstehen gleichmäßige Mikrogefüge, die für die verbesserten Eigenschaften verantwortlich sind. Der zusätzliche Aufwand schlägt sich im Preis nieder.

Einige Vertreter der Oxidkeramik sind:

- Aluminiumoxid
- Magnesiumoxid
- Zirkoniumoxid
- Titandioxid

Darüber hinaus entwickelt man auch gezielte *Mischoxidkeramiken* wie:

- Aluminiumtitanat
- Dispersionskeramik ($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{ZrO}_2$)
- Bleizirkonattitanat (Piezokeramik) und
- Bariumtitanat (Kondensatorwerkstoff mit hoher Dielektrizitätskonstante bis >15.000).

Die Oxidkeramik kommt in der Elektronik und vielfach als Strukturkeramik, also für nicht-elektrische Anwendungen zum Einsatz. Sie bietet dafür geeignete typische Eigenschaften wie Bruchzähigkeit, Verschleiß- und Hochtemperaturfestigkeit sowie Korrosionsbeständigkeit.

Alle verbindlichen Kennwerte sind den Lieferspezifikationen der Hersteller zu entnehmen.

Übrigens:

Ein Werkstoff mit höherem Reinheitsgrad oder höherem Oxidgehalt muß nicht zwangsläufig die gestellten anwendungstechnischen Forderungen am besten erfüllen.

2.2.2 Nichtoxidkeramik

Die *Nichtoxidkeramik* beinhaltet keramische Werkstoffe auf der Basis von Verbindungen von Bor, Kohlenstoff, Stickstoff und Silicium. (Kohlenstoffprodukte aus amorphem Graphit gehören **nicht** dazu!)

Carbide besitzen elektrische Leitfähigkeit.

Nitride sind auf Grund ihres hohen Anteils an kovalenter Bindung auch bis in den Hochtemperaturbereich isolierend.

In der Regel weisen Nichtoxidkeramiken einen hohen Anteil kovalenter Bindungen auf. Diese ermöglichen hohe Einsatztemperaturen, sorgen für hohen Elastizitätsmodul und verleihen hohe Festigkeit und Härte, verbunden mit hoher Korrosionsbeständigkeit und Verschleißfestigkeit.

Die wichtigsten Nichtoxidkeramiken sind

- Siliciumcarbid,
- Siliciumnitrid,
- Aluminiumnitrid,
- Borcarbid und
- Bornitrid.

3. Allgemeine Eigenschaften keramischer Werkstoffe

Die vielseitigen Einsatzmöglichkeiten keramischer Erzeugnisse beruhen auf den spezifischen Eigenschaften keramischer Werkstoffe, die in vielen Beziehungen von anderen Werkstoffen nicht erreicht werden. Als positive Eigenschaften sind hervorzuheben

- große Härte,
- hohe mechanische Festigkeit,
- hohe zulässige Einsatztemperatur,
- Formstabilität (spezifische Steifigkeit),
- Korrosionsbeständigkeit infolge Beständigkeit gegen chemische Einflüsse aller Art,
- Witterungsbeständigkeit,
- Verschleißfestigkeit,
- hohes elektrisches Isoliervermögen,
- dielektrische und ferroelektrische Eigenschaften,
- niedrige Dichte sowie
- niedrige oder hohe Wärmeleitfähigkeit und
- sehr gute tribologische Eigenschaften.

Je nach Zusammensetzung und Aufbereitung der verwendeten Rohmaterialien, sowie nach Formgebung und Art des Brennens, können die Eigenschaften der jeweiligen Erzeugnisse dem beabsichtigten Verwendungszweck im hohem Maße angepaßt werden.

Die Einschätzung des Eigenschaftsprofils von **Technischen Keramiken** gegenüber Metallen erleichtert Bild 1 mit dem Vergleich wichtiger Eigenschaften.

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

↑ Tendenz zu hohen Werten
↓ Tendenz zu niedrigen Werten

Bild 1: Werkstoff - Vergleich

Die charakterisierenden Eigenschaften der Werkstoffe Metall, Keramik und Kunststoff erklären sich aus den unterschiedlichen Bindungsarten. (Siehe Daten Technischer Keramik)

Weitere Informationen und Werkstoffzahlen sind z.B. dem Brevier des Verbandes der keramischen Industrie, oder dem Vortrag von Dr. Hoppert vom Seminar Technische Keramik in der Praxis 1999 Vortrag 1 zu entnehmen.

Bei allen positiven Fakten sollten wir jedoch nicht verschweigen, daß insbesondere durch die hohe Sprödigkeit der Keramiken sich bereits unterhalb der Nennspannungen Mikrorisse bilden und Bauteile versagen können. Bedingt ist dies durch die große Empfindlichkeit der Materialien gegen äußere und innere Kerben.

Daher ist es immer notwendig, auf keramikgerechte Gestaltung zu achten.

Abschließend noch eine kleine scherzhafte Randbemerkung, entlehnt aus einer amerikanischen Ceramic – Zeitung:

Ceramic is:

„poorly defined raw materials of unknown purity are mixed in varying amounts and processed and fired under uncontrolled conditions, whereby unknown reactions occur which do not reach equilibrium. So that a material with poorly defined structure and properties results which is named ----- CERAMICS“

Nun hat sich die Keramik glücklicherweise von den empirischen Entwicklungen am Anfang dieses Jahrhunderts sehr weit entfernt, und man kann mit recht behaupten, für viele Anforderungen eine geeignete und auch kostengünstige Antwort zu finden.

4.0 Einige Anwendungsbeispiele

Man kann ohne weiteres sagen, daß Keramik in allen industriellen wie auch Haushalts-Bereichen ihre Einsatzfähigkeiten tagtäglich beweist. Für einige Anwendungsgebiete sind hier Beispiele exemplarisch dargestellt. Es sollte erwähnt sein, daß viele Werkstoffgruppen parallel in den verschiedensten Bereichen eingesetzt werden. Es muß aber auch gesagt werden, daß nur in Zusammenarbeit mit den entsprechenden Industriebereichen, teilweise auch mit längeren Entwicklungszyklen verbunden, industrielle Lösungen erstellt werden konnten.

4.1 Beispiel: Elektro- und Isolationsindustrie:

Technisches Porzellan, Steatit und auch Aluminiumoxid mit guten bzw. sehr guten mechanischen Eigenschaften, bieten beste Isolationseigenschaften. Im Hochspannungsbereich (z.B. Isolatoren für Freileitungen und Fahrleitungen) werden Spannungen > 420.000 Volt übertragen. Während für die Geräte im Haushalt und Maschinen für Industrie und Handwerk die zumeist Steatit und Cordieritkeramiken eingesetzt werden.

Die gute plastische Verformbarkeit, enge Maßtoleranzen und relativ preisgünstige Herstellung ist die Voraussetzung für hohe Standardisierung und Formenvielfalt (Bild2).

Die Voraussetzungen für isolierende Werkstoffe sind:

- sehr gute Isolierfähigkeit
- Alterungsbeständigkeit
- Kriechstromfestigkeit
- hohe bis sehr gute mechanische Festigkeit
- geringe dielektrische Verluste
- Temperaturwechselbeständigkeit
- formstabil gegen hohe Temperaturen
- Widerstandsfähigkeit gegenüber aggressiven Medien (außer Flußsäure)

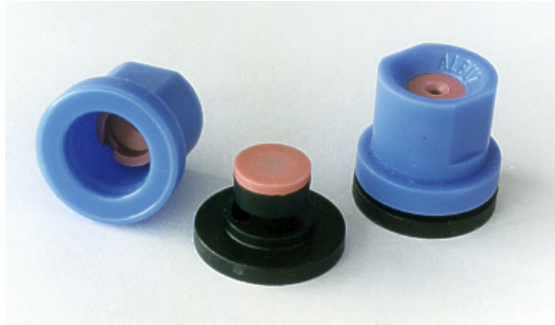


Bild 3 und 4: Sprühdüsen

4.3 Beispiel: SiC oder Si₃N₄ im Maschinenbau

Die extremen Härten und Festigkeiten, welche man mit diesen Werkstoffen erreicht, sind ideal für die Anforderungen in den verschiedensten Industriebereichen. Egal, ob chemische Industrie, metallurgische Industrie oder für Textilmaschinen, Schneidwerkzeuge, Gasturbinen oder Motoren, Otto- wie Dieselmotoren.

Der Einsatz von Keramikkugeln und Lagergehäusen (Bild 5 und 6) bedeuten längere Laufzeiten, höhere zulässige Temperaturbelastungen, Laufruhe, vernachlässigbare Korrosion und kaum benötigte Schmierfette. Der Einsatz sowohl im Maschinenbau (Bild 7), in Computern und Transportsystemen, in Medizin, Luftfahrtindustrie und Wehrtechnik als auch im Konsumbereich (Bild 8) ist nicht mehr wegzudenken.



Bild 5: Keramikkugeln

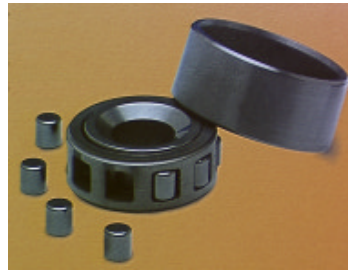


Bild 6: Lagergehäuse



Bild 7: Lager im Maschinenbau



Bild 8: Lager im Sport

Einige Daten für Siliziumnitrid im Vergleich zu Steel M50:

	Si₃N₄	Steel M50
Dichte g/cm ³ :	3,2	7,6
Härte Rockwell Rc	>75	64
E-Modul	320	190
Ausdehnungskoeffizient x10 ⁻⁶ K ⁻¹	2,9	12,3
Max. Einsatztemperatur °C	1000	320
Verschleiß / Vergleichsfaktor	100	1
Korrosionfestigkeit	excellent	fair
Elektrische Leitfähigkeit	isolierend	leitend

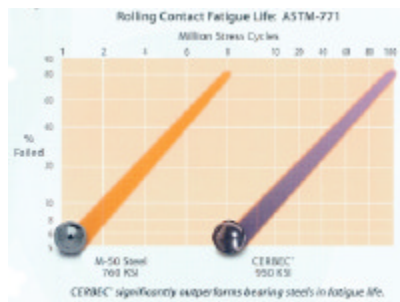
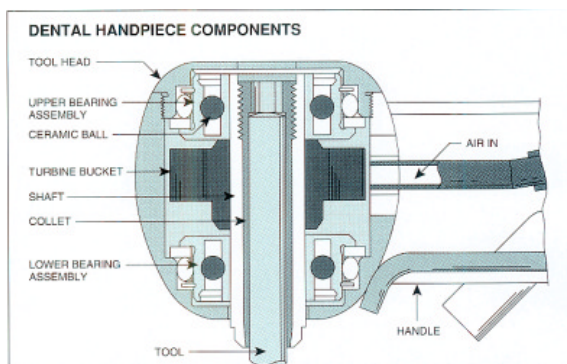


Bild 9: Werkstoffvergleich SN / Stahl



Dental tool's ceramic ball bearings withstand repeated exposure to high-temperature sterilization.

Bild 10: Beispiel für den Einsatz von 1 mm großen Keramikugeln in Dentalhandbohrern.

4.4 Beispiel: Biokeramiken für die Medizintechnik

Man spricht von Implantaten, wenn körperfremde und künstlich hergestellte Materialien, vorübergehend oder auch für lange Zeit in einen Körper eingepflanzt werden. Diese dürfen keine Abstoßungsreaktionen hervorrufen, müssen somit biokompatibel sein. Bekannt sind Materialien aus allen bekannten Werkstoffgruppen.

Nichtmetallisch anorganische Werkstoffe, welche für Implantate geeignet sind, nennt man Biokeramik und Biogläser. Alle Materialien, die für Implantate eingesetzt werden, dürfen weder toxisch sein noch Abstoßreaktionen bewirken.

Anwendungsgebiete sind:

- Kugelköpfe und Pfanneneinsätze für Hüftendoprothesen (Bild 11 und 12)
- Knieprothesen (Bild 13)
- Dentalimplantate (Bild 14)
- Komponenten aus Hydroxylapatit (HAK) zum Füllen von Knochenkavitäten (Bild 15)

Heute akzeptierte Biokeramische Werkstoffe:

Aluminiumoxid	(Al_2O_3)
Hydroxylapatit	($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ (auch Plasmaschichten))
Zirkonoxid	(ZrO_2)
Glaskeramiken	(mehr Forschung und Literatur)

Zweifellos wird der Werkstoff Biokeramik aus Al_2O_3 am häufigsten eingesetzt.

Zirkonkeramiken vom eingesetzten TZP – Typ haben ihre hohe Bedeutung auf Grund der hervorragenden mechanischen Eigenschaften (z.B. Biegefestigkeit $> 1.500 \text{ MPa}$; K_{IC} - Faktor $> 15 \text{ MPa}$) gewonnen.

Knieprothesen insbesondere bei den hohen Belastungswerten sind hier hervorzuheben.

Dieser Werkstoff ist auf Grund möglicher radioaktiver Verunreinigungen (neue „gereinigte“ Rohstoffe können dies verhindern) und teilweise wegen eventueller durch hydrothermale Bedingungen ausgelöster Zersetzungsreaktionen in der Medizin in die Diskussion gekommen. Er wird trotzdem seit Jahren, besonders im Ausland, mit großem Erfolg eingesetzt.



Bild 11 und 12: Kugelköpfe und Pfanneneinsätze



Bild 13: Knieprothesen



Bild 14: Dentalimplantat



Bild 15: Komponenten aus HAK zum Füllen von Knochenkavitäten

4.5 Beispiel: Chemische Industrie

Für den Katalyseprozess in chemischen, petrochemischen und pharmazeutischen Industrien werden hauptsächlich poröse Keramiken als Trägermaterialien (Schüttgut oder div. Monolithe) eingesetzt. Die Einsatzgebiete erstrecken sich von der katalytische Gasreinigungen bis zur Synthese von pharmazeutischen Wirkstoffen. Eine Vielzahl von möglichen Formen und Größen dieser Träger ermöglichen eine optimale Anpassung an die jeweiligen Reaktionsparameter.

Bei den Trägermaterialien (zumeist für Gasphasenreaktionen) handelt es sich hauptsächlich um Formkörper (Bild 17) aus hochporösen Cordieritmaterial oder $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ mit hoher spezifischen Oberfläche bzw. $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, welches wegen der geringeren Absorptionsneigung zu Wasser ein besonders geeignetes Medium ist. Man hat die Möglichkeit die Katalysatormetalle wie z.B. Pt, Rh, Pd oder Ru fein auf die Träger zu verteilen und hat so den Vorteil des geringen Druckverlustes im Converter. Das Zusammenwirken von Trägern und Edelmetallen beeinflusst entscheidend den Wirkungsgrad eines Katalysators.

Es werden Träger (Bild 16) mit Porendurchmesser von 70 Ångström bis 500 micron maßgeschneidert mit bimodaler oder trimodaler Porengrößenverteilung angeboten. Dabei ist zu beachten, dass die verlangte Porosität Einfluß auf die Festigkeit und die Widerstandsfähigkeit gegen Verschleiß hat. Man wählt die Trägermaterialien aus der weiten Werkstoffpalette „alumina, alumina-silica, titania, zirconia, silica, silicon carbide and mixed materials“.

Low Surface Area Carriers

- alpha alumina
- zirconia
- rutile titania
- enhanced porosity silica
- silicon carbide
- low-silica silicon nitride-bonded silicon carbide

Intermediate Surface Area Carriers

- transitional phases of alumina
- rutile/anatase mixtures of titania
- unique bimodal pure zirconia
- high-purity silica

High Surface Area Carriers

- transitional or pure gamma alumina (or other phases)
- pure titania to 180 m²/g
- high-purity silica to 170 m²/g



Bild 16: Träger

Im Gegensatz zu den inaktiven Trägerkörpern können auch keramische Materialien direkt in den katalytische Umsetzungsprozess mit eingebunden sein. Als Beispiel sollte hier die SCR – Technik (Mischoxid TiO₂ und V₂O₅ / WO₃) stehen zur Umsetzung von NO_x –Gasen in N₂ und Wasser (NO_x + NH₃ ---- N₂ +H₂O).

Für die Minderung der **Stickstoffoxidemissionen** in den letzten 10 Jahren sind diese Katalysatoren mit verantwortlich (Bild 18).

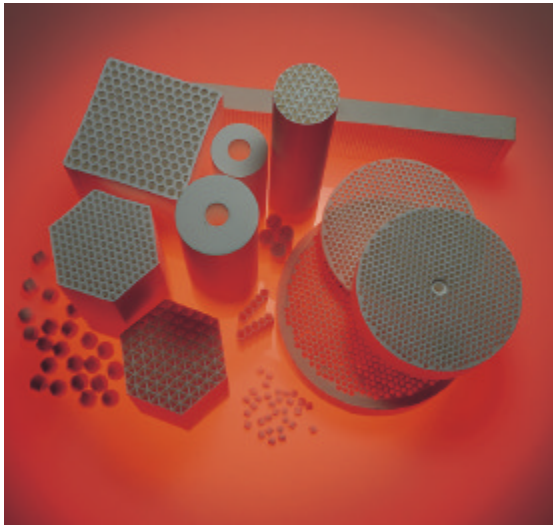


Bild 17: Trägerformkörper

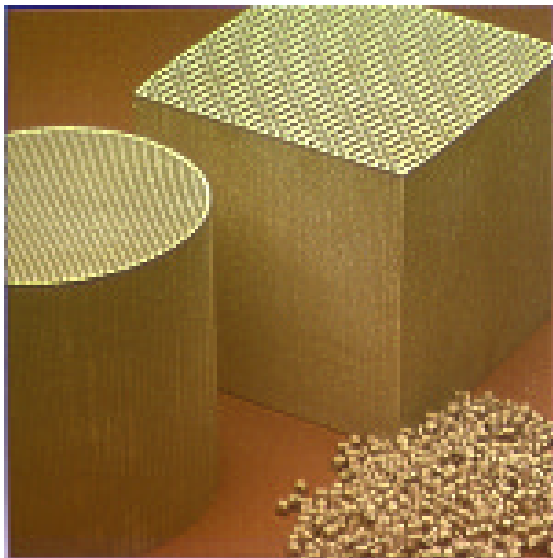


Bild 18: Katalysatorträger

4.6 Beispiel: Automobilindustrie und Umwelt

Seit längerer Zeit bemüht man sich, die Partikelfiltration (Dieselruss, Aerosole mit festem elementarem Kohlenstoff als Kern) für Dieselmotoren zu verbessern. Dank der hervorragenden Ingenieurleistungen in der Automobilindustrie können die notwendigen Verfahrensschritte gesteuert werden, um einen regenerativ arbeitenden keramischen Filter einzusetzen, der während der Fahrt einen automatischen Reinigungsprozeß durchläuft. Filtersysteme, die diesen Aufgaben gerecht werden, müssen im gesamten Bereich lungengängiger Partikelgrößen einen möglichst hohen Abscheidegrad aufweisen. Nach neuesten Stand der Technik werden Werte über 99% erreicht. Keramische – monolithische (assembled) Zellenfilter mit wechselweise verschlossenen Zellen sind Filter mit großer geometrischer Oberfläche ($1 - 3\text{m}^2/\text{ltr.}$). Sie haben einen geringen Gegendruck, hohe Abscheidungsgrade bei kleinen Gasgeschwindigkeiten. Diese Filter werden aus **Cordierit** und seit neuesten mit großem Erfolg aus **Siliciumcarbid** (Bild 16) hergestellt. Diese intensive Entwicklung hat zu Bauteilen geführt, welche, die notwendige Thermoschockbeständigkeit garantieren können. Vor dem eigentlichen Russfilter ist normalerweise noch ein Oxidationskatalysator angeordnet. Dies und andere Techniken unterstützen das optimale Ausbrennen des Partikelfilters während der Fahrt. Die erzielten Abgaswerte von $< 4\text{mg}/\text{km}$ sind somit in den Bereich der Benzinmotoren gerückt. Der Euro 4 Grenzwert mit $0,025\text{g}/\text{km}$ wird damit erreicht. Laut ADAC wurden $0,000238\text{ g}/\text{km}$ gemessen (NEFZ-Fahrzyklus).

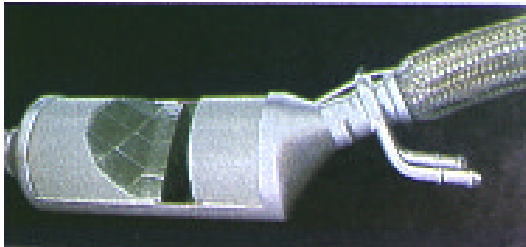


Bild 19: Katalysator

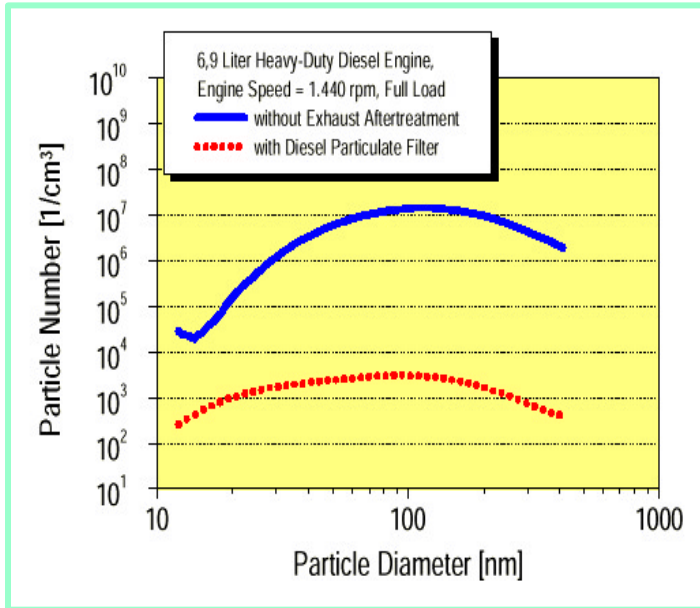


Bild 20: Partikelaustritt bei Dieselmotoren

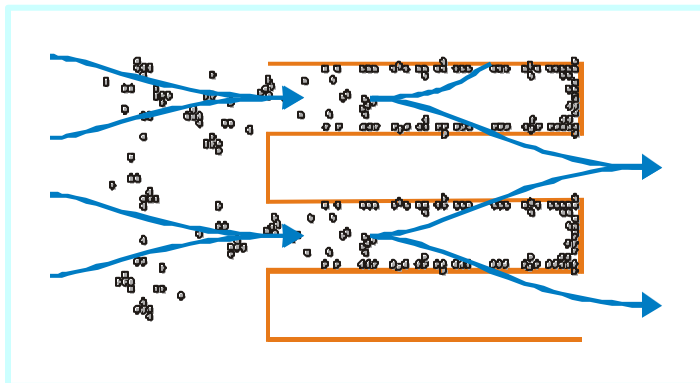


Bild 21: Funktion eines Dieselerußfilters

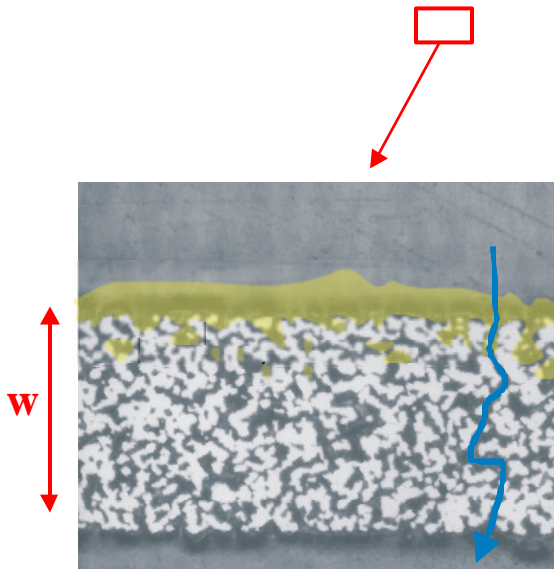


Bild 22: Gefügebau eines Dieselpartikelfilters

5. Zusammenfassung

Es ist eigentlich unmöglich, alle Einsatzgebiete der Materialien zu beschreiben, Innovationen aus den letzten Jahren potenzieren die Einsatzgebiete. Neue Anwendungen werden laufend gefunden, müssen jedoch konzentriert erarbeitet werden. Nicht vergessen sollte man auch die keramischen Pulver wie Bornitride, welche nicht nur in der Kosmetik sondern auch als Hochtemperatur-Gleitmittel bekannt sind. Dieser Aufsatz soll auf die Vielfältigkeit und Einsatzfelder der keramischen Werkstoffe hinweisen und neue Ideen für den sinnvollen Einsatz von Keramik wecken.

Literatur:

Brevier Technische Keramik (www.keramverband.de/brevier)

Seminar Technische Keramik in der Praxis 1999 Vortrag 1

Skript Prof. Dr. Frey Fachhochschule Nürnberg

Bilder von CERBEC, Desmarquest und NIK

DKG – technische keramische Werkstoffe

ADAC

Die verwendeten Vortragsfolien (Nr. 1 bis 29) finden sich auf den folgenden Seiten.

think
ceramics

Werkstoffe, Eigenschaften und Anwendungen

Begriffsbestimmungen und Anwendungen

Helmut Benkert
Saint-Gobain Advanced Ceramics Lauf GmbH
Lauf a.d. Pegnitz



Folie 1

Keramik, Werkstoffe und Anwendungsbeispiele think
ceramics

- **Keramik ist ein Überbegriff für**
 - nichtmetallisch anorganische vollständig oder teilweise kristalline (> 30% Anteil) weitgehend wasserbeständige Werkstoffe
 - *die Herstellung erfolgt bei hohen Temperaturen*

Pulver → Formgebung → Energie → **Keramik**



Keramik, Werkstoffe und Anwendungsbeispiele

think
ceramics

Nichtmetallisch anorganische Werkstoffe

● **Silikatkeramik**

● **Oxidkeramik und ihre Mischoxide**

● **Nichtoxidkeramik**



Informationszentrum
Technische Keramik

Folie 3

Keramik, Werkstoffe und Anwendungsbeispiele		think Ceramics
Silikatkeramik	DIN EN 60672 Teil 3	
techn. Porzellan Steinzeug / Steingut	Gruppe C 100	
Steatit	Gruppe C 200	
Cordierit	Gruppe C 400 und 500	
Mullitkeramiken	Gruppe C 600	



Keramik, Werkstoffe und Anwendungsbeispiele

think
ceramics

Silikatkeramik



Einige Anwendungsgebiete

Hoch und Niederspannung
Meß- und Regelungstechnik
Katalysatorträger
Chemische Industrie
Isolationstechnik
Elektrowärmetechnik

Keramik, Werkstoffe und Anwendungsbeispiele think
ceramics

Oxidkeramik DIN EN 60672 Teil 3

Aluminiumoxid Gruppe C 700

Zirkonoxid Gruppe C 830

Magnesiumoxid Gruppe C 820

Titandioxid Gruppe C 310

(Berilliumoxid) Gruppe C 810

Einige Mischoxidkeramiken:

Aluminiumtitanat

Bleizirkonattitanate (Piezokeramik)

Dispersionskeramik

Bariumtitanat (Kondensatorwerkstoff)



Keramik, Werkstoffe und Anwendungsbeispiele

think
ceramics

Oxidkeramik



Hochspannung
Meß- und Regelungstechnik
Katalysatorträger
Chemische Industrie
Isolationstechnik
Humanmedizin
Hochtemperaturanwendung
Elektronik
Textilindustrie



Keramik, Werkstoffe und Anwendungsbeispiele think
ceramics

Nichtoxidkeramik

Siliciumcarbid

Kohlenstoff

Siliciumnitrid

Molybdändisilicid

Aluminiumnitrid

Sialone

Borcarbid

Titancarbid



Keramik, Werkstoffe und Anwendungsbeispiele

think
ceramics

Nichtoxidkeramik



Meß- und Regelungstechnik
Katalysatorträger
Chemische Industrie
Hochtemperaturanwendung
Elektronik
Textilindustrie
Maschinenbau
Verschleißschutz
Mikrowellentechnik
Brennhilfsmittel

Keramik, Werkstoffe und Anwendungsbeispiele think ceramics

Eigenschaftsprofile
der technischen
KERAMIKEN
im Vergleich zu
Metallen

	Keramik	Metall
Härte	◀	▶
Hochtemperaturfestigkeit	◀	▶
Thermische Ausdehnung	▶	◀
Duktilität	▶	◀
Korrosionsbeständigkeit	◀	▶
Verschleißfestigkeit	◀	▶
elektrische Leitfähigkeit	◀▶	◀▶
Dichte	▶	◀
Wärmeleitfähigkeit	◀▶	◀▶

◀ Tendenz zu hohen Werten
▶ Tendenz zu niedrigen Werten

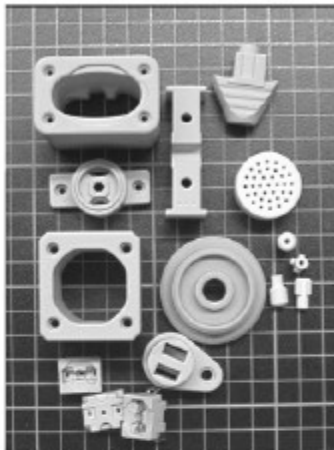


think
ceramics

Keramik, Werkstoffe und Anwendungsbeispiele

Elektro- und Isolationsindustrie

Beste Isolationsfähigkeiten
Alterungsbeständig
Kriechstromfest
gute mechanische Festigkeit
geringe dielektrische Verluste
gute Temperaturbeständigkeit
Formstabil bei hohen Temperaturen
natürliche plastische Rohstoffe
hohe Stückzahlen (Automatisierung)
günstige Preis/Leistung



Keramik, Werkstoffe und Anwendungsbeispiele

think
ceramics

Verschleißkeramik



Aluminiumoxidkeramik

Sprühdüsen und Cones für

- Agrarwirtschaft
- Atomizer
- Plasmaspritzen



Informationszentrum
Technische Keramik

Folie 13

think
ceramics

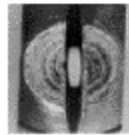
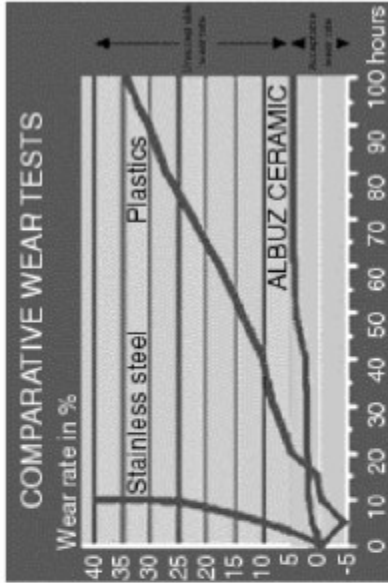
Keramik, Werkstoffe und Anwendungsbeispiele

Verschleißkeramik

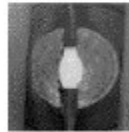
Aluminiumoxidkeramik

Sprühdüsen und Kegel für

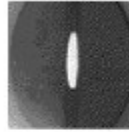
- Agrarwirtschaft
- Sprühtürme
- Plasmaspritzen



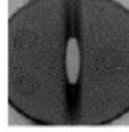
Neue stainless steel Spitze
Durchflußrate: normal
Streuung CV: <7%



Gleiche stainless steel Spitze
nach 50 Stunden
Durchflußrate: +0,5%
Streuung CV: 48%



Neue Al2O3 - Keramikspitze
Durchflußrate: normal
Streuung CV: <7%



Gleiche Al2O3 - Keramikspitze nach
50 Stunden
Durchflußrate: normal
Streuung CV: 10%



Informationszentrum
Technische Keramik

Keramik, Werkstoffe und Anwendungsbeispiele

think
ceramics

Verschleißkeramik

Reaktionsgebundene SiC-
Körper für die Stahlindustrie,
Drallgeber und Prallplatte



Keramik, Werkstoffe und Anwendungsbeispiele think
ceramics

Maschinenbau: Gleitringe, Dichtungen und Wälzlager

Geeignet für extreme Temperaturen

Hohe Geschwindigkeiten bei geringer Temperaturerhöhung

Widerstand gegen Korrosion

Hochverschleißfest und inert

Umweltfreundlich (Low Particulate Emissions)

Gute Gleiteigenschaften

Niedrige Dichte



Keramik, Werkstoffe und Anwendungsbeispiele think
ceramics

Maschinenbau

Keramikkugeln und Lager aus Si_3N_4 heißisostatisch gepreßt

Oberflächenfinis: < 0.004 micron
erreicht auch durch porenfreie Mikrostruktur



Eigenschaften

Dichte 3.2
Rockwell Rc >78
Vicker's HV10 kg/mm² 1600
Druckfestigkeit MPa 3000

Vacuum Melt 52100 Steel

7.8
66
700
880



Keramik, Werkstoffe und Anwendungsbeispiele think ceramics

Maschinenbau

Keramikkugel und Lager aus Si_3N_4

Anwendungen:

Dental, Aerospace, Maschinenwerkzeuge, Ballscrew,
Electric Motors, Lebensmittelindustrie, Instruments,
Semiconductor, In-Line Skates, Robotersysteme,



Kugelgeometrie halten den Standard ABMA and ISO



Keramik, Werkstoffe und Anwendungsbeispiele

think
ceramics

Maschinenbau

Dichtungen, Lager, Wärmetauscher aus SiC- Keramiken

- hohe bis sehr hohe Festigkeiten
- sehr gute Temperaturwechselbeständigkeit
- geringe Wärmedehnung
- sehr hohe Härte
- Halbleitereigenschaften

Automobilkomponenten
Papierindustrie
Thermische Komponenten
Sanitärindustrie
Chemische Industrie



Keramik, Werkstoffe und Anwendungsbeispiele think ceramics

Chemische Industrie

Unterschiedlichste Werkstoffe

Silica, Alumina, Titania, Zirkonia

SiC und SiC- Si₃N₄ gebunden

Wärmetauschermedia

Materialaustauscher / Fraktionieren

Katalytische Träger

Variable Porenweiten 70Å - 500µm
und spez. Oberflächen 1 -200m²/g

**Umweltindustrie
Petrochemie**



Keramik, Werkstoffe und Anwendungsbeispiele

think
ceramics

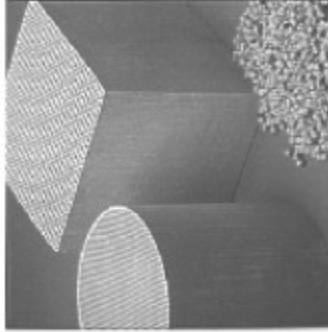
Chemische Industrie

Katalysatorträger

Monolithe für periodischen und kontinuierlichen Betrieb

Katalytische Umsetzungsprozesse

- Oxidation und Redoxverfahren
- SCR - Verfahren
 $\text{NO}_x + \text{NH}_3 \rightleftharpoons \text{N}_2 + \text{H}_2\text{O}$



Keramik, Werkstoffe und Anwendungsbeispiele think ceramics

Medizin

Bekannte Werkstoffe

Aluminiumoxid

Hydroxylapatit

$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$

Zirkonoxid

Y-TZP oder Mg-PSZ



- Kugelhöfe und Pfanneneinsätze für Hüftendoprothesen
- Knieprothesen
- Dentalimplantante
- Komponenten zum Füllen von Knochenkavitäten

Keramik, Werkstoffe und Anwendungsbeispiele

think
ceramics

Automobilindustrie und Umwelt

- ☺ hohe Lebensdauer
- ☺ höchste Zuverlässigkeit und Robustheit insbesondere gegen Abrasivstoffe
- ☺ geringe Dampfleckage

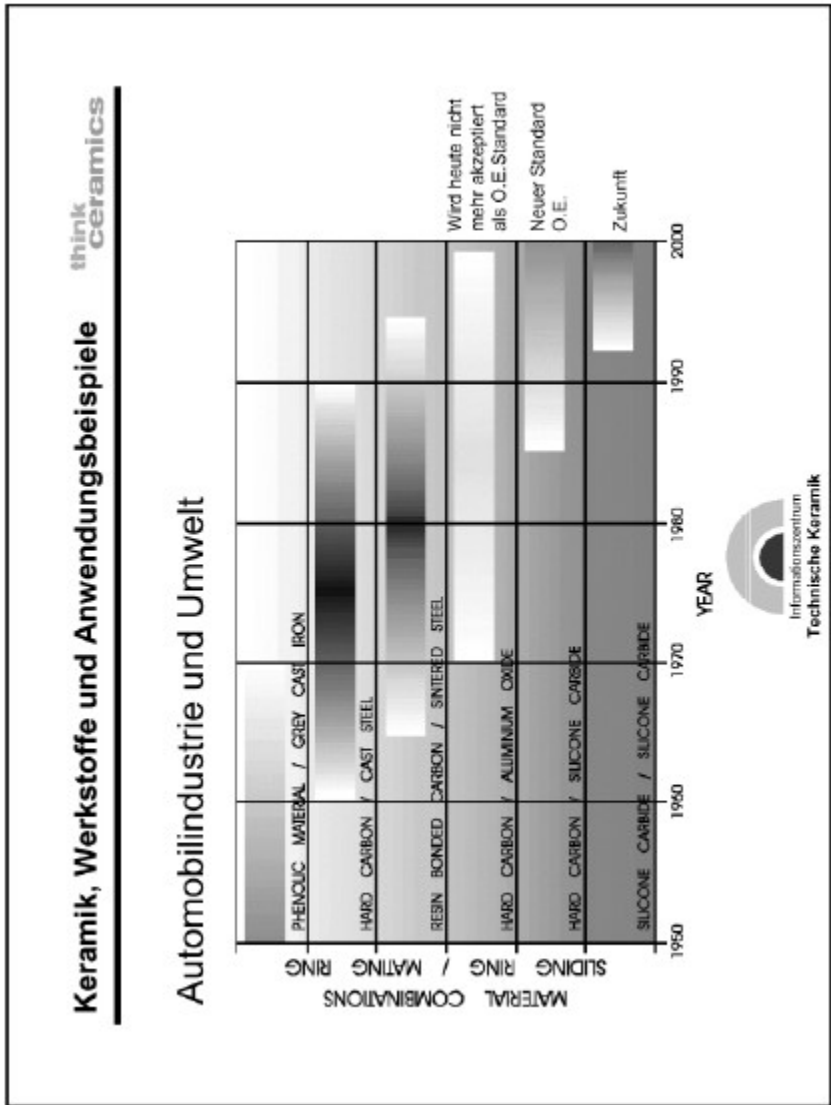
GLEITPAARUNG SiC / SiC für Wasserpumpen



Dieses Ziel wird durch die speziellen Eigenschaften von SiC/SiC erreicht:

- extrem geringer Verschleiß
- extrem hohe Härte
- sehr hohe Wärmeleitfähigkeit
- sehr hohe Temperatur- und Thermoschockbeständigkeit
- sehr hohe chemische Beständigkeit
- sehr hohe Steifigkeit
- geringe Reibung





Keramik, Werkstoffe und Anwendungsbeispiele

think
ceramics

Automobilindustrie und Umwelt

Keramik

- Cordierit
- poröses SiC - Keramik

Regenerativer Keramikfilter

Abscheidungsgrad >99%

Thermoschockbeständig

Euro 4 Grenzwert < 0,025g/km weit unterschritten



Bild Quelle: ADAC



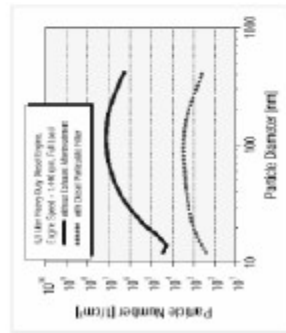
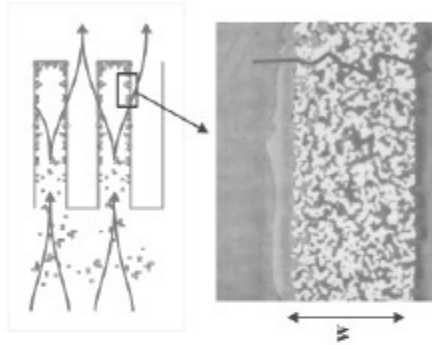
Informationszentrum
Technische Keramik

Keramik, Werkstoffe und Anwendungsbeispiele

Automobilindustrie und Umwelt

Funktionsprinzip des Filters

Keramische – monolithische (assembled) Zellenfilter
mit wechselweise verschlossenen Zellen
Filter mit großer geometrischer Oberfläche ($1 - 3\text{m}^2/\text{ltr.}$).



Keramik, Werkstoffe und Anwendungsbeispiele

think
ceramics

Automobilindustrie und Umwelt

Temperaturmeißsensor für geregelten Katalysator

Isolationsmaterial MgO
hohe Widerstandswerte
auch bei Temperaturen $>600^{\circ}\text{C}$



Quelle: ABB/Audi



Informationszentrum
Technische Keramik

Keramik, Werkstoffe und Anwendungsbeispiele

think
ceramics

Beispiel: Werkstoff Bornitrid

Wärmeleitfähigkeit von
Boron Nitride zu anderen Materialien

Semiconductor
Electronic
Extrusionhilfe
Mikrowellentechnik
Mikrocircuitpackaging
Plasma Arcs
Kosmetik

BN	Al₂O₃	AlN
125	30	50-170

Thermal Conductivity*
W/m•K

Dielectric Constant

4 9 9



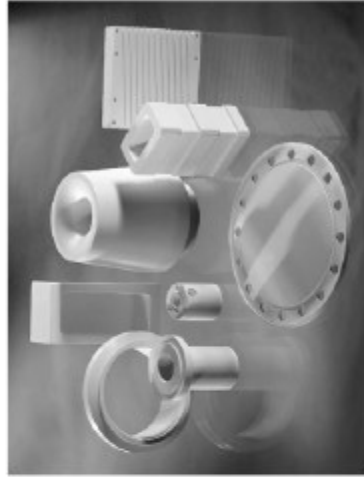
Folie 29 – Darstellung 1

think
Ceramics

Keramik, Werkstoffe und Anwendungsbeispiele

Beispiel: Werkstoff Bornitrid

Semiconductor
Electronic
Extrusionhilfe
Mikrowellentechnik
Mikrocircuitpackaging
Plasma Arcs
Kosmetik



Keramik, Werkstoffe und Anwendungsbeispiele

think
ceramics

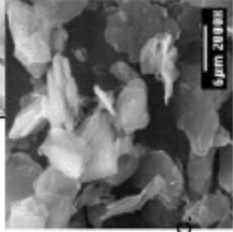
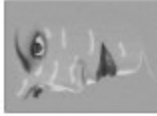
Beispiel: Werkstoff Bornitrid

Bornitridpulver für die Kosmetik

Translucente und schimmernde Effekte
hohe Reinheit
weiches, sanftes Gefühl
adherend

Bornitridpulver für Extrusion

vermeidet „Drachenzähne“
chemisch inert
temperaturstabil
Coating z.B. für Drahtkabel, Filme, Pellets etc.





SEM Micrograph of Tris BN UHP500



Informationszentrum
Technische Keramik

Keramik bedeutet unterschiedlichste Werkstoffe

-  Variationen der physikalischen und chemische Eigenschaften
-  Artikelkosten sind u.a. abhängig von:
Rohstoffen, Produktionsart, und auch Menge

Aber Keramik kann nur sinnvoll mit den Bauteilen harmonieren, wenn die Teile zusammen mit den Technikern anderer Branchen entwickelt werden.