

2. Einführung in die Technische Keramik

2.1 Werkstoffe und typische Anwendungen

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

Die Folien finden Sie ab Seite 41.

2.1.1. 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,

Einführung in die Technische Keramik

- 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
↓	↓	↓
Formgebung	Energie	Pulver
↓	↓	↓
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**, Geschirrkernamik, 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“.

2.1.2. 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

2.1.2.1 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 magnesiumsilikathaltige 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.

2.1.2.2 Nichtsilikatische Keramiken

2.1.2.2.1 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 Reinheitsgrad. Bei sehr hohen Sintertemperaturen entstehen gleichmäßige Mikrogefüge, die für die verbesserten Eigenschaften verant-

wortlich 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.

2.1.2.2.2 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.

2.1.2.2.3 Sonderwerkstoffe

Sonderkeramische Werkstoffe sind Werkstoff, welche zumeist nicht ohne weiteres den allgemeinen Werkstofftabellen zugeordnet werden können

2.1.3. 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 scherzhaftige 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.

2.1.4.0 Einige Anwendungsbeispiele

Man kann ohne weiteres sagen, dass Keramik in allen industriellen- wie auch Consumerbereichen 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.

2.1.4.1 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 (Bild 2.1, 2.2. und 2.3).

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)

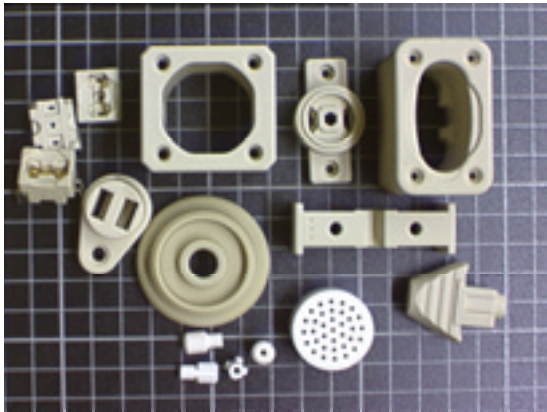


Bild 2.1: Isolierbauteile



Bild 2.2: Steatitteile f. Lichttechnik, **Bild 2.3:** Cordieritteile f. Heizungen, z.B. Halogenlampen z.B. Wäschetrockner

2.1.4.2 Beispiel: Verschleißkeramik Al_2O_3

Sprühdüsen aus Aluminiumoxid kombinieren exzeptionell die Widerstandsfähigkeit gegenüber chemischen Stoffen. Das bedeutet niedrigere Korrosion und geringen mechanischen Verschleiß gegenüber metallischen Werkstoffen. Die Einsatzgebiete sind u.a. in der Landwirtschaft oder in den Sprühtürmen für Lebensmittel oder aggressiven Werkstoffen zu finden. (Bild 3 und 4)



Bild 3 und 4: Sprühdüsen

2.1.4.3 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 Keramikugeln und Lagergehäusen (Bild 5 und 6) bedeuten längere Laufzeiten, höhere zulässige Temperaturbelastungen, Laufruhe, vernachlässigbare Korrosion und kaum benötigte Schmierfette. Keramikugeln wirken auch elektrisch und thermisch isolierend. 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: Keramikugeln

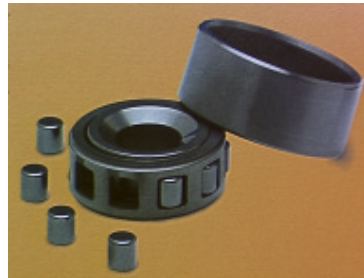


Bild 6: Lagergehäuse

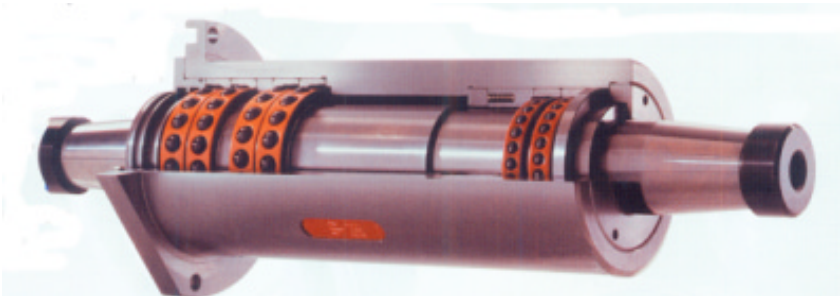


Bild 7: Lager im Maschinenbau



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
Korrosionsfestigkeit	excellent	fair
Elektrische Leitfähigkeit	isolierend	leitend

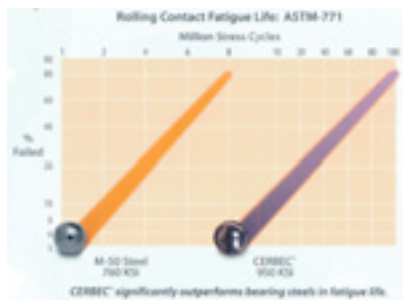
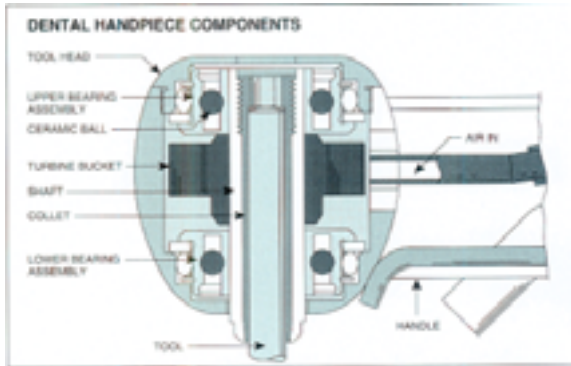


Bild 9: Werkstoffvergleich SN / Stahl



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.

2.1.4.4 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.

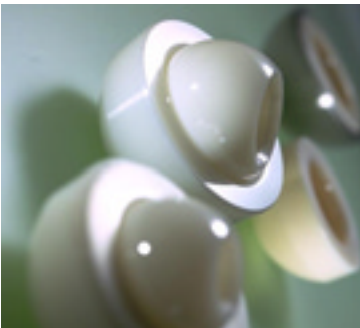


Bild 11 und 12: Kugelköpfe und Pfanneneinsätze



Bild 13: Knieprothesen



Bild 14: Dentalimplantat

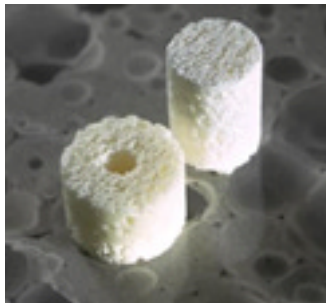


Bild 15: Komponenten aus HAK zum Füllen von Knochenkavitäten

2.1.4.5 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

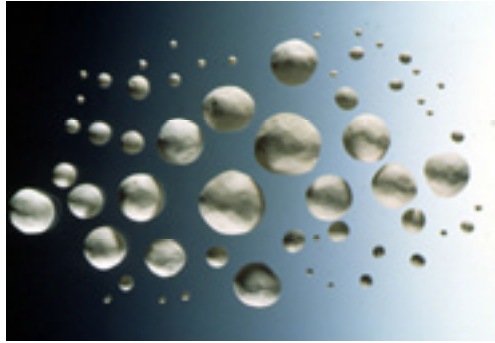


Bild 16: Träger

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 TiO_2 und $\text{V}_2\text{O}_5 / \text{WO}_3$) stehen zur Umsetzung von NO_x –Gasen in N_2 und Wasser ($\text{NO}_x + \text{NH}_3 \rightarrow \text{N}_2 + \text{H}_2\text{O}$).

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

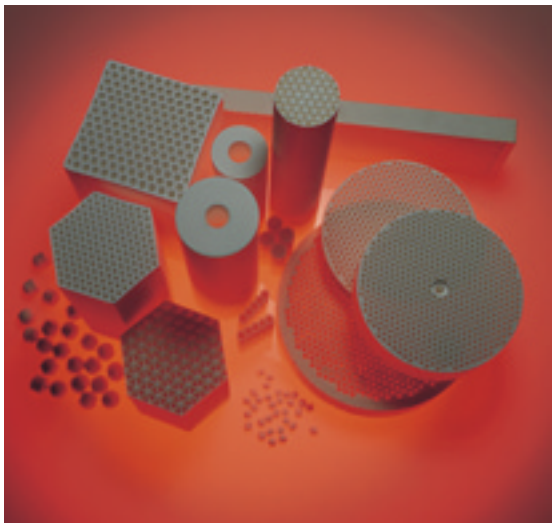


Bild 17: Trägerformkörper

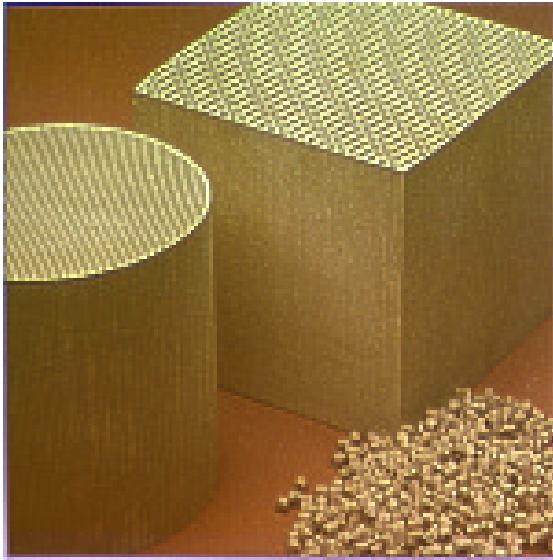


Bild 18: Katalysatorträger

2.1.4.6 Beispiel: Automobilindustrie



Mit verlängerten Garantiezeiten stellte die Automobilindustrie wesentlich höhere Ansprüche an die Kühlsysteme im Motor. Eingesetzte Kühlmittel enthalten hochkonzentrierte Silikat- und Nitratverbindungen. Deshalb benötigte man Dichtscheiben welche resistent gegen jeglichen Anlagerungen und dem Verschleiß der aggressiven Kühlmedien entgegentreten. Silicagelsuspensionen können auf den Stirnflächen der Dichtungspaare (Bild 19) ursächlich die Zerstörung der Gleitpaare herbeiführen. Dies führt unwillkürlich zu einer Leckage. Außerdem beeinflussen andere Kühladditive und die höheren Arbeitstemperaturen eine Agglomeration der Silikate. Mit dem Einsatz der SiC – Gleitpaarungen

hat erreicht man eine hohe Verschleißfestigkeit, geringste Korrosion und die für den Anwendungsbereich notwendige hohe Wärmeleitfähigkeit.



Bild 19: Dichtungspaar

	Hexoloy SA SiC	Hexoloy SP SiC	Siliconized Graphite	Al ₂ O ₃ (96%)
Dichte (g/cm³)	3.10	3.04	1.95	3.72
E Modul (GPa)	410	400	16	300
Biegefestigkeit bei Raumtemperatur (MPa)	420	420	35	360
Härte (Knoop) (kg/mm²)	2800	2800	<1000	1100
therm. Ausdehnungskoeffizient (10⁻⁶/°C)* 20 – 700°C	4.0	4.0	4.5	8.2
Wärmeleitfähigkeit bei Raumtemperatur (W/(m*K))	125	105	50	24

2.1.5. Resumée

Es ist eigentlich unmöglich, alle Einsatzgebiete der Materialien zu beschreiben, Innovationen aus den letzten Jahren potenzieren diese. Neue Anwendungen werden laufend gefunden, müssen jedoch konzentriert erarbeitet werden. Nicht vergessen sollte man auch die keramischen Pulver wie die hexagonalen 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 SGACL,
SG Structural Ceramics

DKG – technische keramische Werkstoffe

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

Einführung in die Technische Keramik

Werkstoffe und typische Anwendungen

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



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**

Nichtmetallisch anorganische Werkstoffe

- **Silikatkeramik**
- **Oxidkeramik und ihre Mischoxide**
- **Nichtoxidkeramik**

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

Silikatkeramik – einige Anwendungsgebiete



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

Oxidkeramik



DIN EN 60672 Teil 3

Aluminiumoxid
Zirkonoxid
Magnesiumoxid
Titandioxid
(Berilliumoxid)

Gruppe C 700
Gruppe C 830
Gruppe C 820
Gruppe C 310
Gruppe C 810

Einige Mischoxidkeramiken:


Aluminiumtitanat
Dispersionskeramik

Bleizirkonattitanate (Piezokeramik)
Bariumtitanat (Kondensatorwerkstoff)

Oxidkeramik



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



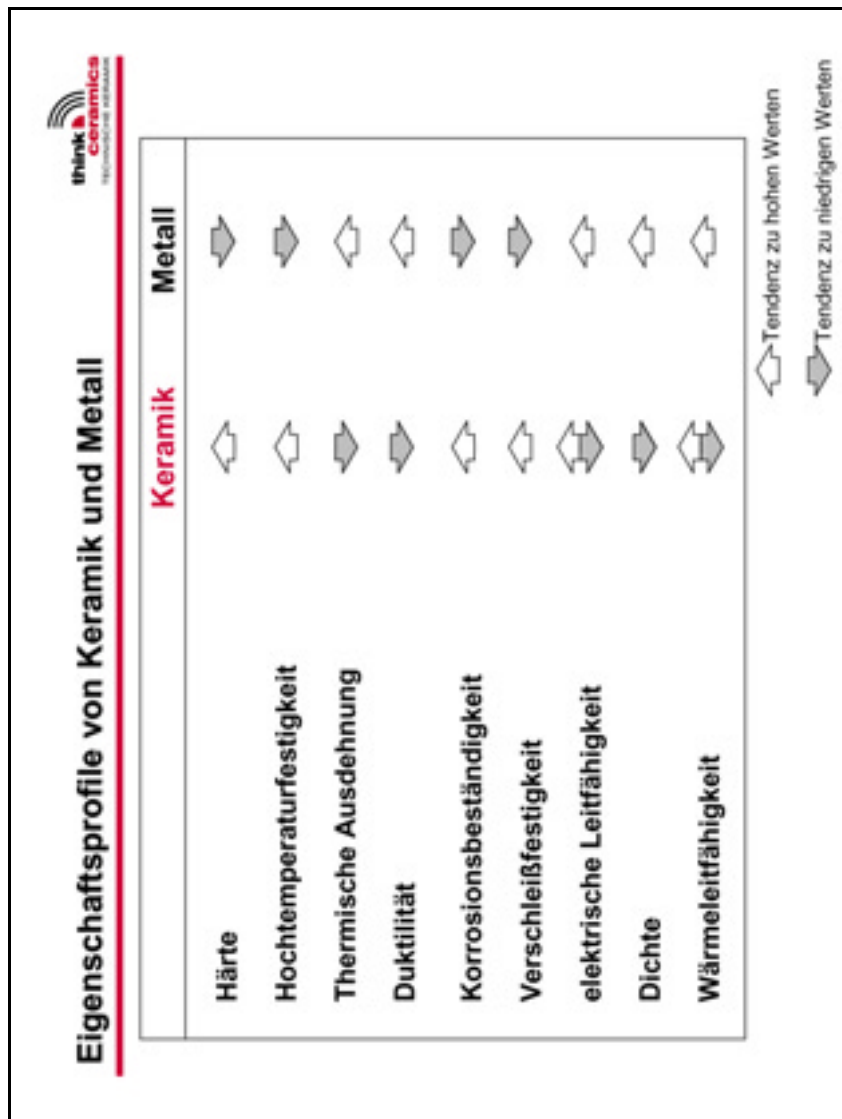
Nichtoxidkeramik	
Siliciumcarbid	Kohlenstoff
Siliciumnitrid	Molybdändisilicid
Aluminiumnitrid	Sialone
Borcarbid	
Titancarbid	

Nichtoxidkeramik

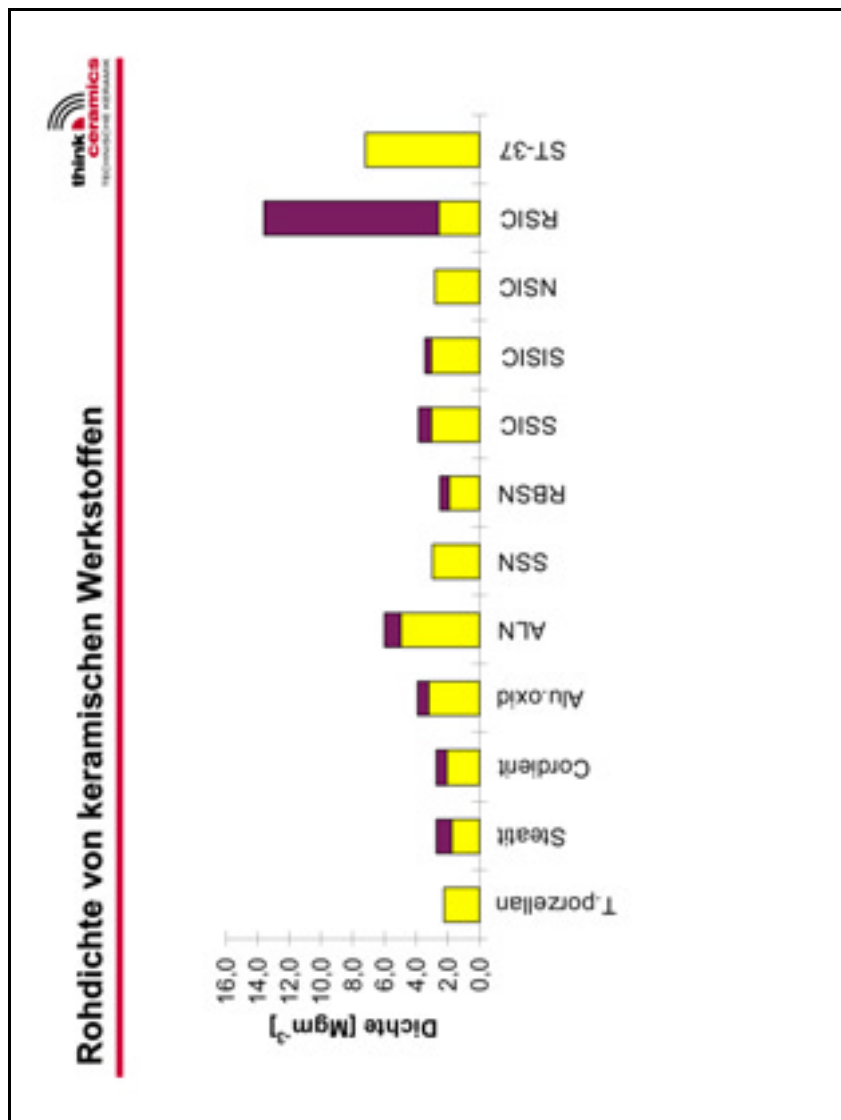


Meß- und Regelungstechnik
Katalysatorträger
Chemische Industrie
Hochtemperaturanwendung
Elektronik
Textilindustrie
Maschinenbau
Verschleißschutz
Mikrowellentechnik
Brennhilfsmittel





Folie 10



Anwendung: 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

Anwendung: Verschleißkeramik



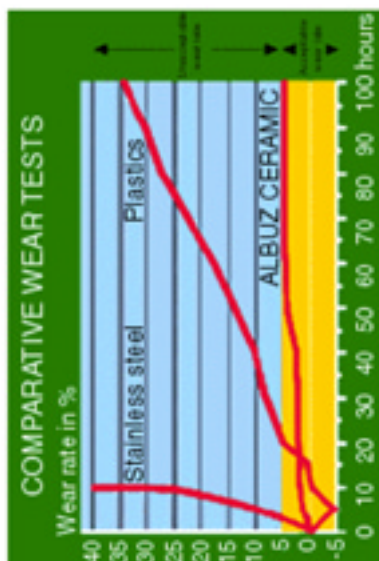
Aluminiumoxidkeramik

Sprühdüsen und Cones für

- Agrarwirtschaft
- Atomizer
- Plasmaspritzen



Anwendung: Verschleißkeramik



Aluminiumoxidkeramik

Sprühdüsen und Kegel für

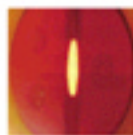
- Agrarwirtschaft
- Sprühtürme
- Plasmaspritzen



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



Gleiche stainless steel Spetze
nach 50 Stunden
Durchflußrate: +95%
Streuung CV: 48%



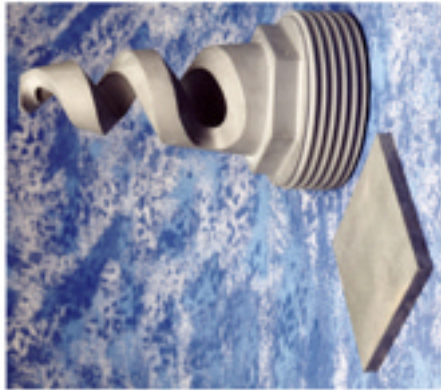
Neue Al2O3 - Keramikspitze
Durchflußrate: normal
Streuung CV: <7%



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

Anwendung: Verschleißkeramik

Reaktionsgebundene SiC-
Körper für die Stahlindustrie,
Drallgeber und Prallplatte





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



Anwendung: Maschinenbau

Keramikkugeln und Lager aus Si_3N_4 heißisostatisch gepreßt

Oberflächenfinis: < 0.004 micron
erreicht auch durch porenfreie Mikrostruktur



Eigenschaften	Si_3N_4	Vacuum Melt 52100 Steel
Dichte	3.2	7.8
Rockwell Rc	>78	66
Vicker's HV10 kg/mm ²	1600	700
Druckfestigkeit MPa	3000	880

Anwendung: Maschinenbau



Keramikkugel und Lager aus Si_3N_4

Anwendungen:

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



Kugelgeometrie halten den Standard ABMA and ISO

Anwendung: 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



Anwendung: Chemische Industrie



Umweltindustrie
Petrochemie

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



Anwendung: Chemische Industrie

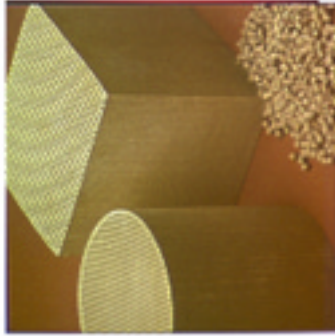


Katalysatorträger
Monolithe für periodischen und kontinuierlichen Betrieb

Katalytische Umsetzungsprozesse

- Oxidation und Redoxverfahren

- SCR - Verfahren



Anwendung: Medizin



Bekannte Werkstoffe

Aluminiumoxid
Hydroxylapatit
 $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2\text{OH}$
Zirkonoxid
Y-TZP oder Mg-PSZ

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

Anwendung: Automobilindustrie und Umwelt



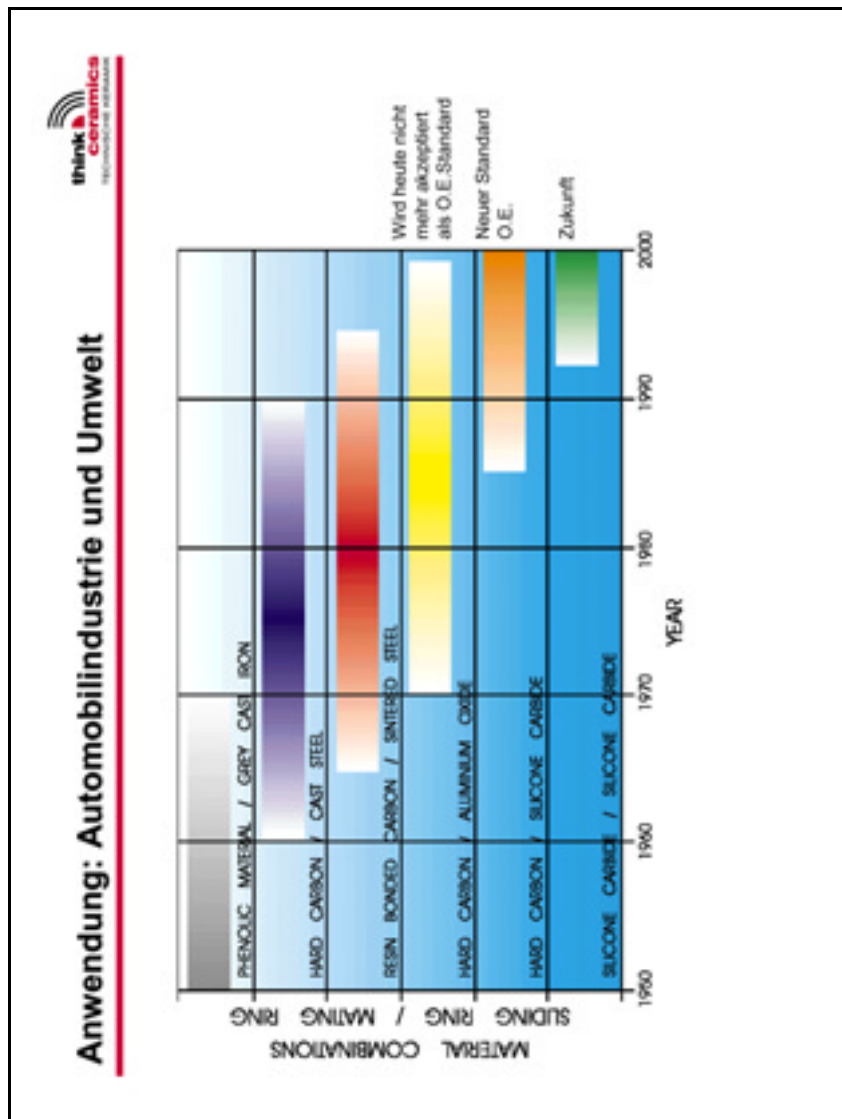
- > hohe Lebensdauer
- > höchste Zuverlässigkeit und Robustheit insbesondere gegen Abrasivstoffe
- > geringe Dampfleckage

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

GLEITPAARUNG SiC/SiC
für Wasserpumpen





Folie 24

Anwendung: Automobilindustrie und Umwelt

Temperaturmeßsensor für geregelten Katalysator

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



Quelle: ABS Audi

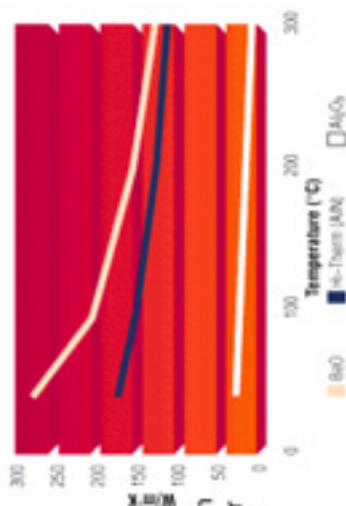
Beispiel: Temperaturmanagement mit ALN



Hi-Therm™ AlN (Aluminiumnitrid)

Kennzeichen and Nutzen

- hohe thermische Wärmeleitfähigkeit
- therm. Ausdehnungskoeffizient passend zu Silicon
- Dielektrischer Verlust kann nach spez. Anwendungen modifiziert werden
- erprobte Prozessfähigkeit Adhesion für Dünnschichtmetallisierung zu maximieren
- hohe Zuverlässigkeit wegen der sehr gleichmäßigen Mikrostruktur
- widersteht den Prozessgasen bei der Waferherstellung
- Widerstand zu Plasmaerosion



Beispiel: Werkstoff Bornitrid

Wärmeleitfähigkeit von
Boron Nitride zu anderen Materialien

	BN	Al ₂ O ₃	AlN
Semiconductor			
Electronic			
Extrusionhilfe			
Mikrowellentechnik			
Mikrocircuitpackaging			
Plasma Arcs			
Kosmetik			
Thermal Conductivity* W/m·K	125	30	50-170
Dielectric Constant	4	9	9



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 Thin BN Un-P900

Werkstoffe und typische Anwendungen

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.