



Oxidkeramik als Konstruktionswerkstoff

Technische Daten, Beispiele und Anwendungen für die Auswahl von oxidkeramischen Werkstoffen

Dipl.-Ing. (FH) Klaus Wolf, FRIATEC AG, Mannheim

Die Anforderungen bezüglich Leistung sowie Verschleiß- und Korrosionsbeständigkeit überschreiten die Grenzen konventioneller Werkstoffe immer häufiger. Die hervorragenden Eigenschaften und die steigende Auswahl keramischer Werkstoffe öffnen dem Konstrukteur neue Perspektiven zur Problemlösung.

Die keramischen Werkstoffe fordern den Ideenreichtum des Konstrukteurs. Bis zur Entstehung eines ausgereiften keramischen Bauteils ist eine enge Zusammenarbeit zwischen Anwender und Keramikhersteller notwendig, da fast jedes Problem unter Einbeziehung wirtschaftlicher keramischer Herstellverfahren zu neuen Lösungen führt.

Von der noch weit verbreiteten Definition, dass Keramik „schön aussieht, sich hart anfühlt und beim Fallen in 1000 Scherben zerspringt“ haben sich die hochreinen Keramiken auf oxidischer und nichtoxidischer Basis weit entfernt. Von der klassischen Silikatkeramik wurden nur die Fertigungsmethoden übernommen.

In bezug auf Eigenschaften stehen diese Werkstoffe eigentlich der Pulvermetallurgie viel näher. Neueste Marktuntersuchungen haben beim industriellen Einsatz dieser Keramiken folgenden Marktanteil ergeben:

Aluminiumoxid (Al_2O_3)	80%
Zirkonoxid (ZrO_2)	7%
Siliziumkarbid (SiC)	5%
Siliziumnitrid (Si_3N_4)	5%
Sonstige	3%

Preisniveau: $\text{Al}_2\text{O}_3 = 1$, $\text{ZrO}_2 = 5-20$, $\text{SiC} = 1-3$, $\text{Si}_3\text{N}_4 = 20$.

Gründe für die unterschiedlichen Marktanteile

Historisch: Beginn der industriellen Verarbeitung. Die Entwicklungsgeschichte der verschiedenen Werkstoffe stellt sich wie folgt dar:

Aluminiumoxid vor 60 – 70 Jahren

Zirkonoxid vor 20 – 25 Jahren

Siliziumkarbid vor 10 – 15 Jahren

Siliziumnitrid vor 10 – 15 Jahren.

Einsatzgebiete: Ca. 90% aller heute hergestellten Keramikbauteile werden in der Elektrotechnik eingesetzt. Bei einem geschätzten Weltumsatz mit Keramik von ca. 6,4 Mrd. Euro sind dies ca. 5,7 Mrd. mit Elektrobauteilen. Hierbei hat Aluminiumoxid die größte Bedeutung erlangt, dank der hervorragenden Eigenschaften, wie hoher elektrischer Widerstand, höchste elektrische Durchschlagsfestigkeit sowie Metallisierungs- und Hartlötfähigkeit. Die restlichen 10% der hergestellten Bauteile teilen sich alle Keramikwerkstoffe je nach Eigenschaft in den Anwendungsgebieten wie Maschinenbau, Chemische Industrie, Hochtemperatur, Laborbedarf, Medizinal-technik, Optik, Reaktorbau u.a.

Rohstoff: Auf den Rohstoffpreis haben folgende Faktoren Einfluss:

Verfügbarkeit des Ausgangsmaterials, Ort und Lage des Abbaugebietes, Aufbereitungsverfahren, geforderte Reinheit des Grundmaterials, chemische Zusammensetzung des Ausgangspulvers u.v.a. Je nach Reinheit und Kornfeinheit schwankt der Preis für aufbereitetes, verarbeitungsfähiges Rohmaterial bei den verschiedenen Keramikwerkstoffen. Sogar innerhalb einer Werkstoffgruppe sind die Preisunterschiede gewaltig. Diese Rohstoffkosten sind vor allem bei extrem teuren Ausgangsmaterialien entscheidend für den wirtschaftlichen Einsatz des Endproduktes.

Formgebung, Sinterung, Nachbearbeitung: Diese für die verschiedenen Keramikwerkstoffe sehr unterschiedlichen Herstellverfahren haben z. Zt. noch einen entscheidenden Einfluss auf die Kosten und somit auf den industriellen Einsatz der Keramikqualitäten. Auf Grund langjähriger Erfahrungen bei der Herstellung und Verarbeitung hat Aluminiumoxid heute noch einen enormen Vorsprung gegenüber den anderen Keramikwerkstoffen.

Eigenschaften: Die Einsatzmöglichkeiten der Keramiken in den verschiedenen Anwendungsbereichen werden durch die erforderlichen Eigenschaften eingegrenzt. In den seltensten Fällen ist es möglich, die seit Jahrzehnten erprobten und bewährten Einsatzgebiete der Al₂O₃ Keramik mit anderen Keramiken sinnvoll zu bedienen, da die thermischen, mechanischen, elektrischen und chemischen Eigenschaften der Keramikwerkstoffe extrem unterschiedlich sind. Stellvertretend für viele Beispiele sei hier nur genannt, dass eine Zündkerze aus ZrO₂ oder SiC gegenüber der heutigen aus Al₂O₃ außer dem zigfach höheren Preis nur Nachteile bringt bzw. überhaupt nicht funktioniert. Zur Steigerung des Marktanteils „neuerer“ Keramiken müssen auch neue Anwendungsgebiete gefunden werden. Hier sind Anwender und Keramikhersteller gefordert, das für die Anwendung erforderliche Eigenschaftsprofil zu erstellen und die hierfür geeignete Keramik auszuwählen. Von der anschließenden Erprobungsphase bis zur Serienreife vergehen jedoch oft mehrere Jahre.

Tabelle 1 zeigt als Beispiel das Anforderungsprofil an Al₂O₃ in verschiedenen Anwendungsbereichen.

Anwendungen und Industriebereiche	erforderliche Eigenschaften									spezielle Anforderungen	Werkstoff-Struktur					
	thermisch			mechanisch			elektrisch	chemisch optisch			Reinheit	Dichte	Korngröße			
	Hochtemperaturbest.	Temperaturwechselbest.	Wärmeleitfähigkeit	Bruchfestigkeit	Verschleißfestigkeit	Kriechfestigkeit	Elektr. Widerstand	Dielektrische Eigensch.	Korrosionsbeständigk.					Lichtdurchlässigkeit	Oberflächengüte	Haftfestigkeit einer Metallisierung
++ sehr hohe Anforderungen + hohe Anforderungen () bei speziellen Anwendungen																
Zündkerzen für die Motorenindustrie		+	++	+			++		+						+	
Fadenführer, Textilindustrie Drahtführungen, metallverarb. Industrie				(+)	++					+			(+)	+	(+)	
Schneidkeramik, metallverarb. Industrie		++		+	++									+	+	
Pumpenteile, chem. Industrie Substante, Elektronik-Ind.	+	++	+	++	++	+			++				++	++	++	++
Röhrenbauteile, Elektronik-Ind.		+	++	+	++		+	++		+	++		(+)	+	+	(+)
Lampenrohre, optische Ind.	++	+		+			++		++	++		+	++	++		
Ofenbauteile, keramische Ind.	++	++	+			++	++						+	+	++	++
Thermoelement-schutzrohre, keram., chem., metallurg. und Glas-Industrie	++	+	+	+		++	++		++				+	+	(+)	
Biokeramik, Humanmedizin				++	++				++				++	++	++	++

Tabelle 1

Anwendungsschwerpunkte keramischer Bauteile im Pumpenbau:

Bauteil (Keramik)	Gleit- ring	Welle	Schutz- hülse	Lager	Anlauf- scheibe	Spalt- topf	Kolben	Plunger	Zylin- der- rohr	Kugel/ Ventil- sitz	Düse
Pumpentyp											
Chemienormp.											
Rührwerke											
Wasserp. KFZ											
Laugenp. Haushalt											
Umwälzp. Heizung											
Spaltrohrp.											
Magnetp.											
Tauchp.											
Fassp.											
Zahnradp.											
Dosierp.											
Hochdruckp.											
Kraftwerksp.											
Schmutzwasserp.											

Ingenieurkeramik heute: Anwendungsbeispiele

Die außergewöhnlichen Eigenschaften der Keramik, wie

- hohe mechanische Festigkeit auch bei hohen Temperaturen
- ausgezeichnete chemische Beständigkeit gegen alle Säuren und Laugen
- hohe Härte und Verschleißfestigkeit
- niedriges spezifisches Gewicht
- gute Temperaturwechselbeständigkeit
- hoher elektrischer Widerstand

werden heute von der Industrie in den verschiedensten Anwendungsbereichen voll ausgenutzt. Ohne Keramik wären viele Produkte nicht oder nur mit sehr hohem Reparaturaufwand funktionsfähig. Wir alle kommen heute täglich beim Gebrauch technischer Geräte (direkt oder indirekt) mit Bauteilen aus Ingenieurkeramik in Berührung. Oft geschieht dies unbewusst.

Wo überall in unserer Umgebung befinden sich diese Keramikbauteile ? Hier einige Beispiele:

Im Auto: als Zündkerze aus Al_2O_3 , als Gleitring in der Wasserpumpe zur Wellenabdichtung, als Ventilplättchen in der Einspritzpumpe, als Lambda-Sonde im Abgassystem zur Regelung des optimalen Gemischverhältnisses, im Turbolader als Welle und Lager, im Schalldämpfer als Katalysatorträger, in der Autoelektrik als Träger von Mikrochips und vieles andere.

Im Haushalt: als Dichtscheibe im Wasserhahn, als Lager und Welle in der Heizungswasserumwälzpumpe, zur Isolation von elektrischen Anlagen, als Führungselement in Audio- und Videogeräten, als Dichtungsring in Laugenpumpen bei Waschmaschinen und Geschirrspülern, als Träger von Mikrochips in Geräten der Unterhaltungselektronik u.v.a.

Diese Beispiele lassen sich beliebig fortsetzen mit Anwendungen aus den Bereichen Beruf, Hobby, Freizeit, Sport usw.

Oft sind neue Lösungswege erforderlich

Die nachfolgend dargestellten Einsatzgebiete technischer Keramik sollen bereits erfolgreiche Anwendungen aufzeigen. Die Frage nach dem „wo wird Keramik eingesetzt“ beleuchtet nur einen Teilaspekt, wenn man nicht auch das „warum“ (Frage nach den besonderen Gebrauchseigenschaften) behandelt. Des weiteren wird auch die Frage „wie setzte ich Keramik sinnvoll ein“ (Systeme, Befestigungen usw.) anhand von Beispielen beantwortet. Die aufgezeigten Beispiele sollen den Konstrukteur nicht zum Kopieren anregen, da jedes Problem seine eigene Lösung benötigt. Sie sollen

vielmehr als Denkanstoß dienen und ihn bei der Lösung seiner Aufgaben unterstützen. Die systematische Beantwortung der drei Fragen

- *Wo kann mir Keramik bei der Herstellung meines Produktes helfen* (Schwachstellenanalyse)
- *Warum bringt mir Keramik Vorteile* (Erarbeitung eines Anforderungsprofils)
- *Wie muss das funktionsfähige Keramikbauteil aussehen* (Konstruktion einer Systemlösung)

führt meist zu einem befriedigenden Ergebnis. Denn nur bei richtiger Werkstoffauswahl und keramiktgerechter Konstruktion kann das Keramikbauteil optimal funktionieren. Das bloße Austauschen bzw. Ersetzen eines Bauteiles aus Metall, Kunststoff o. ä. durch ein baugleiches aus Keramik führt meist zu Fehlschlägen. Oft ist es auch sinnvoll, für die hervorragenden Eigenschaften und Vorteile der Keramik komplett neue Lösungswege zu beschreiten.

Als Beispiel sei hier nur der als Einhebelmischer bekannte Wasserhahn genannt. Die erste Generation war mit einem Messingkolben und O-Ringabdichtung ausgestattet. Diese Art der Abdichtung war jedoch sehr verschleißanfällig, die Armatur tropfte nach kurzer Zeit. Das Armaturensystem ist in bezug auf Bedienungskomfort der Zweigriffarmatur jedoch weit überlegen. Es war deshalb notwendig, langlebigere Dichtungselemente zu entwickeln. Eine Lösung bot u. a. die fast diamantharte Al_2O_3 Keramik. Das Ersetzen der bewegten Metall- und Gummitteile durch ähnliche aus Keramik hätte eine teure und wenig erfolversprechende Alternative gegeben. Angeregt durch Gleitringdichtungen entwickelte man die Scheibendichtung, bei der zwei aufeinander gleitende, 0,6 µm ebene Scheiben die dynamische Abdichtung sowie die Temperatur- und Mengenregelung übernehmen.



Pumpenbauteile aus FRIALIT-DEGUSSIT F99,7



Spaltpföpfe aus FRIALIT-DEGUSSIT FZM zur leckagefreien Abdichtung von magnetgekoppelten Kreiselpumpen für die chemische Industrie

Eigenschaft	Einheit	Al ₂ O ₃		ZrO ₂		SiC	Si ₃ N ₄
		F96	F99,7	FZM	FZM/K	SiC 198	HP 79
Dichte	g/cm ³	3,7 - 3,8	3,9 - 3,95	5,7	6	3,1	3,2
Härte (Knoop, 100g)	N/mm ²	20 000	23 000	17 000	18 000	21 000	17 000
Druckfestigkeit	N/mm ²	3000	3500	2000	2200	1200	3000
Biegebruchfestigkeit	N/mm ²	300	350	450	800	350	750
Elastizitätsmodul	105 N/mm ²	3,5	3,8	2	2	3,3	3,2
WEIBULL-Modul	m	>10	>10	>20	>15	>10	>20
Poisson-Zahl	-	0,22	0,22	0,3	0,3	0,2	0,26
offene Porosität	%	0	0	0	0	>1	0
Max. Einsatztemperatur	°C	1700	1950	900	1200	1400	1400
Ausdehnungskoeffizient	10 ⁻⁶ /K	8,5	8,5	10	11	4,4	3,2
Spezifische Wärme	J/kgK	900	900	400	400	900	800
Wärmeleitfähigkeit	W/mK	25	30	2,5	1,8	90	40
Spez. Widerstand	Ohm cm	10 14	10 14	10 10	10 10	10 -1	10 14
Farbe		weiß	weiß	gelb	weiß	schwarz	schwarz

Alle Werte dieser Tabelle beziehen sich auf eine Temperatur von 20°C.

F96 = 96% Aluminiumoxid F99,7 = 99,7% Aluminiumoxid FZM = Zirkonoxid, ZrO₂-PSZ
 FZM/K = Zirkonoxid, ZrO₂ TZP SiC = Siliziumkarbid, 8-12% Si HP79 = heißgepr. Siliziumnitrid

Tabelle 2

Gegenüberstellung der physik. Daten verschiedener Keramikwerkstoffe. Die aufgeführten Daten gelten für Prüfkörper; eine Übertragung auf andere Bauteile ist daher nur bedingt zulässig.

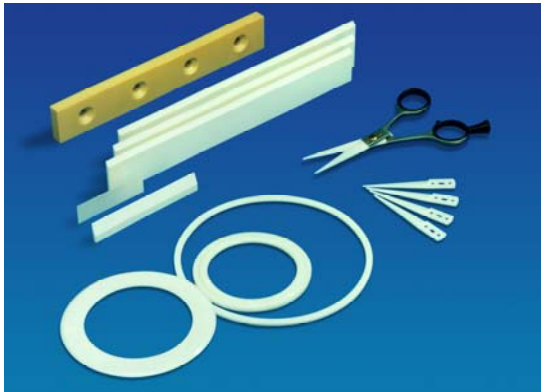
Viele Anwendungen im Hochtemperaturbereich

Das älteste Anwendungsgebiet für Keramik liegt im *Hochtemperaturbereich*. Die Verwendung von Al_2O_3 als Thermoelementschutzrohr setzt voraus, dass dieses Material auch bei Temperaturen über 1900°C noch genügende Festigkeitswerte aufweist und gegen die im Ofen oder der Schmelze vorkommenden Korrosionseinflüsse beständig ist.

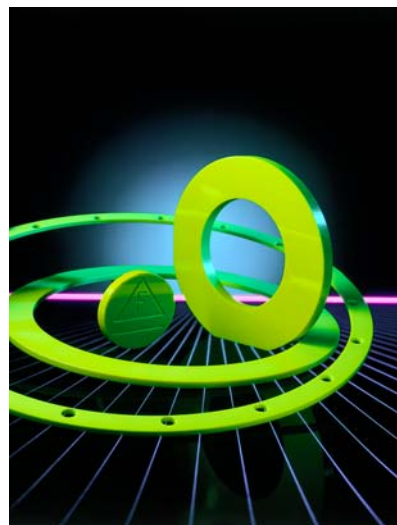
Eigenschaften, wie gute Wärmeleitfähigkeit, gute elektrische Isolation und hohe Temperaturwechselbeständigkeit machen Keramik zum optimalen Werkstoff für diesen Anwendungsfall. Auch Tiegel, Schiffchen, Glühkästen, Kapillare und Ofenbauteile für Hochtemperaturöfen werden diesen extrem hohen Belastungen durch Temperatur und Korrosion ausgesetzt. Al_2O_3 , MgO und ZrO in reiner Form erfüllen diese Anforderungen bestens. In der *Elektrotechnik* hat dagegen der hohe elektrische Widerstand und die hohe elektrische Durchschlagsfestigkeit von Al_2O_3 große Beachtung gefunden. Auch die gute Wärmeleitfähigkeit dieser Keramik ist in diesem Anwendungsgebiet von Vorteil.

Zur Befestigung von Metall an Keramik wurden hier spezielle Verfahren entwickelt: Die Keramik wird mit MoMn metallisiert und diese Schicht wird unter Temperatur eingebrannt. Auf diese Metallschicht kann man nun besondere, sehr dünne Metalle (z. B. NiFe) mit speziellen Hartloten auflöten. Derart hergestellte Keramik-Metall-Verbindungen werden als Thyristor-, Transistor- und Diodengehäuse eingesetzt. Aber auch elektrische Isolatoren und Durchführungen werden aus diesem Material hergestellt. Das größte Einsatzgebiet innerhalb dieser Anwendungsgruppe stellen die Chip-Träger für die Mikroelektronik dar.

Die Härte und Verschleißfestigkeit der Keramik wird in der *Textilindustrie* sowie in der *Kabel- und Drahtindustrie* ausgenutzt. Einsatzgebiete sind Umlenkorgane, Führungselemente sowie Drahtziehkonen. Herkömmliche Werkstoffe haben nur eine begrenzte Lebensdauer, insbesondere wenn man zu größeren Abzugsgeschwindigkeiten übergeht. Hier erweisen sich Al_2O_3 und ZrO_2 als brauchbare Materialien. Sie sind meist wirtschaftlicher als das gelegentlich eingesetzte Hartmetall.



Schneidwerkzeuge aus FRIALIT-DEGUSSIT FZM und FZM/K sind extrem verschleißfest. Aufgrund wärmeisolationseines stahlähnlichen E-Moduls ist dieser Werkstoff Ventil- elastischer als Hartmetall und kann sich deshalb dem Ver- Gegenmesser „anpassen“.



Motorenbauteile aus FRIALIT-DEGUSSIT FZM und FZM/K. Sie werden eingesetzt als Flanschringe in Gasturbinen sowie als Durchführungen, Ventile, Kolbenringe und Lager in Verbrennungsmotoren.

(Bilder: FRIATEC AG, Mannheim-Friedrichsfeld)

Hauptgruppe	Untergruppe	Produktgruppe
Porokeramik		Drainagerohre, Filter, Diaphragmen
Feuerfestkeramik (Thermokeramik)	Konstruktions- feuerfestkeramik	Steine, Massen, Brennhilfsmittel, Schutzrohre Wärmetauscher
	Isolierfeuerfest- keramik	Steine, Massen, (Feuer-, Isolier-) Fasern
Chemokeramik	Chemotech.Keramik	Produkte für die chemische Verfahrenstechnik, Filter
	Aktive Chemokeramik	Katalystoren, Sensoren
Mechanokeramik Verschleißschutzteile, Press- (Ingenieurkeramik) Papierwalzen, Dich-	Maschinenbaukeramik	Brennraumauskleidungen,
	Pumpenbaukeramik	matrizen, Ziehdüsen, -kone, Fadenführer, Papiermasch.-Beläge, Dichtscheiben f. Armaturen,
		tungsringe, Pumpen u. Ventilbauteile, Düsen
	Schneidkeramik	Wendeschnidplatten
	Schleifkeramik	Abriebwerkzeuge, Schleifscheiben
Reaktorkeramik		Kernbrennstoffe, Absorbermaterial
Elektrokeramik Heizleiter- Wider-	Passive Elektrokeramik	Isolatoren, Zündkerzen, Gehäuse, Substrate, träger
	Aktive Elektrokeramik	Kondensatoren, Varistoren, temperaturabhängige stände, el.-mechan. Wandler, Heizleiter/Widerstände, Elektroden, Feststoffelektrolyte
Magnetokeramik	Weichmagnete	Spulenkern, Speicher
	Dauermagnete	Magnete für Motoren, Lautsprecher
Optokeramik	Aktive Optokeramik	Lasermaterial, el.-opt. Wandler
	Passive Optokeramik	Lampengehäuse, optische Fenster, Sensoren
Biokeramik	Implantatkeramik	Implantate
	Dentalkeramik	Zahnkronen

Tabelle 3
Anwendungsbezogene Einteilung der Keramischen Werkstoffe

Schleifen mit Keramik

Für das *Schleifen* von harten Materialien (Glas, Hartmetall, gehärteter Stahl u.ä.) wurde eine besondere Art von Keramik mit Zusatz von Chromoxid entwickelt. Dieser als *Sinterrubin* bekannte Werkstoff hat eine wesentlich größere Kantenfestigkeit als herkömmliche Schleifwerkzeuge. Der Sinterrubin besteht aus Korundkristallen, die durch Sinterung fest miteinander verbunden sind. Bei herkömmlichen Werkzeugen ist das Schleifkorn lose in einer weniger harten Grundmasse eingebettet,

weshalb die Schleifkörner leicht aus dem Verbund herausbrechen. Der Sinterrubin ist zwar nur für einen geringen Materialabtrag geeignet, jedoch kann er noch Werkstoffe schleifen, die von anderen Schleifmitteln nicht mehr angegriffen werden. Die erzielbare Oberflächengüte ist dabei außerordentlich hoch.

Im *Maschinenbau* und in der *chemischen Industrie* hat Keramik vor allem als verschleiß- und korrosionsbeständiger Werkstoff für *Pumpen* die größte Bedeutung erlangt. In Gleitringdichtungen zur Abdichtung rotierender Wellen werden die Gegenringe bevorzugt aus Al_2O_3 und SiC eingesetzt.

Wichtig ist hierbei die besondere Bearbeitung der Dichtfläche (Ebenheit $0,6\ \mu\text{m}$, Oberflächengüte R_a $0,2\ \mu\text{m}$) sowie die chemische Beständigkeit dieser Werkstoffe gegenüber fast allen Chemikalien organischer und anorganischer Art.

Aber auch Präzisionskugeln für Saug- und Druckventile, Kolben und Plunger für Hochdruck- und Dosierpumpen, Wellen sowie Schutzhülsen und Lager werden in Pumpen beim Fördern aggressiver Medien eingesetzt. Durch feinstbearbeitete Oberflächen werden noch zusätzlich wesentliche Standzeitverbesserungen erzielt. Die Befestigung der Kolben erfolgt bei großem Durchmesser durch Einkleben oder Einkitten in eine Metallhalterung. Bei kleinerem Durchmesser wird die Keramik bevorzugt in die Metallhalterung eingeschrumpft. Ein radiales oder axiales Spannen unter Ausnutzung der hohen Druckfestigkeit der Keramik ist ebenfalls möglich. Schutzhülsen werden zum Korrosionsschutz und gegen Einlaufen der Dichtung eingesetzt. Die Abdichtung zur Metallwelle erfolgt durch Flachdichtungen und axiales Verspannen.

Gleitlager werden vorzugsweise eingepresst oder eingeschrumpft. Eine zusätzliche Verdrehsicherung mittels eines Stiftes ist ebenfalls möglich. Auch das Einschrumpfen der Keramik (z. B. mit Passung H7 / r6) ist heute in vielen Anwendungsbereichen eine weit verbreitete Befestigungsart für Keramik. Beim Einschrumpfen wird vor allem die hohe Druckfestigkeit der Keramik ausgenutzt.

Zur Befestigung der Keramik mit einem Verbundpartner können mit Ausnahme von Schweißen heute fast alle bekannten lösbaren und unlösbaren Verbindungselemente in modifizierter Ausführung eingesetzt werden.

Zur umfangreichen Palette keramischer Bauteile im *Maschinenbau* und in der *chemischen Industrie* gehören noch Düsen für verschiedenste Einsatzbereiche, Führungselemente für Video, Audio und TV-Kameras, Dichtscheiben für Sanitär- und Industriearmaturen, Ventilgarnituren für Regel- und Absperrarmaturen, Saugerbeläge für Saugkästen zum Entwässern von Papierbrei in der Papierindustrie, Messrohre für magnetisch-induktive Durchflussmesser, Wendeschneidplättchen für Drehmeißel und Fräser sowie eine Vielzahl Einzelanwendungen, die nur schwer unter einem Oberbegriff zusammenzufassen sind.

Auch in der *Humanmedizin* hält die Keramik stetig Einzug. Als Hüftgelenk, Zahnwurzel, Mittelohrknöchelchen oder als Augenlinse ist Aluminiumoxid aufgrund seiner Eigenschaften (Körperverschmelzbarkeit, Verschleißfestigkeit und hohe Reinheit) als Implantatwerkstoff nicht mehr wegzudenken.

Popularität aus dem Motorenbau

Der älteste von Menschenhand geschaffene Werkstoff ist heute in aller Munde. Diese Popularität verdankt er vor allem der Erprobung im *Motorenbau*. Fast alle Fahrzeughersteller testen heute Keramik für die Motoren und Turbinen der Zukunft.

Kolbenboden, Ventil, Ventilsitz, Zylinderlaufbuchse, Laufräder, Auskleidungen und Verschleißschutzbeläge aus Keramik haben das eine Ziel: den wirtschaftlichen Verbrennungsmotor (bzw. Gasturbine).

Trotz positiver Versuchsergebnisse steht dem Serieneinsatz derartiger Keramikbauteile heute noch der relativ hohe Preis im Wege. Für das Leistungsvermögen der Keramik sind diese Testergebnisse jedoch die beste Werbung.

Übersicht über die keramischen Werkstoffe:

KERAMIK

