

5) Starke Leichtgewichte Von der Luft in der Keramik zum High-Tech-Werkstoff

- Helmut Stuhler,
CeramTec AG,
Lauf a. d. Pegnitz

Die Folien finden Sie ab Seite 188.

Einleitung

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts war es das höchste Bestreben, keramische Werkstoffe immer dichter zu bekommen, um die mechanischen Eigenschaftskennwerte zu steigern. Doch viele technische Anwendungen der Keramik basieren auch heute auf porösen und hochporösen Ausführungen. So werden Poren nicht nur bei Ziegelsteinen gewünscht, sondern auch bei Verdampferstäbchen, Katalysatorträgern und zum Design von Metall-Keramik-Verbundwerkstoffen. Die Kunst besteht vor allem darin, für jede Anwendung die richtige Menge, Form und Größe an Poren in der Keramik einzustellen.

Definition

Als Poren werden alle Hohlräume in einem Körper bezeichnet. Grundsätzlich hat man nach der Form und der Beziehung untereinander zwischen den geschlossenen und den offenen Poren zu unterscheiden, deren Kennzeichnung sich sofort aus diesen Begriffen und aus Bild 1 ergibt. Darüber hinaus ist es wichtig, bei den offenen Poren zwischen durchströmbaren und undurchströmbaren zu unterscheiden. Letztere werden auch als Sackporen bezeichnet. Die Begriffe werden durch Bild 1 näher erläutert. Weiterhin ist es üblich, die Poren nach ihrer Größe zu benennen, und zwar

- als Makroporen bei Durchmessern $> 50 \text{ nm}$,

- als Mesoporen bei Durchmessern von 2 bis 50 nm

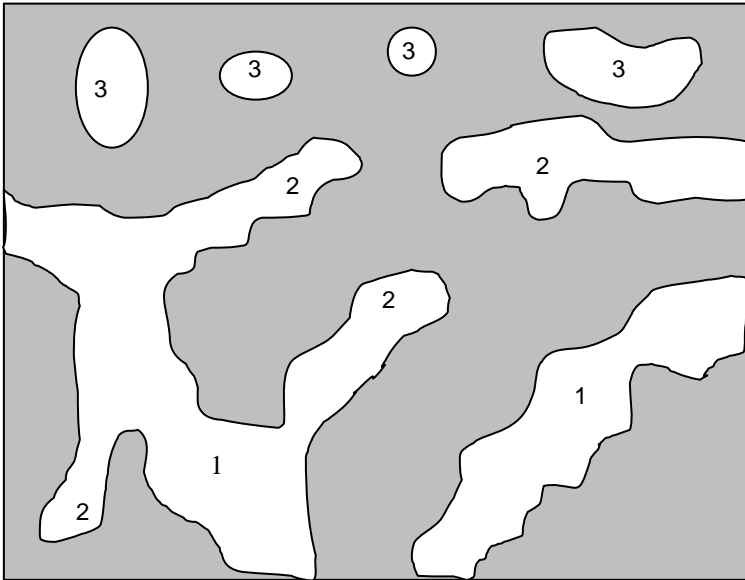


Bild 1: Schematische Darstellung von Poren nach [1]

- 1 durchströmbare Poren
- 2 nicht durchströmbare Poren
- 3 geschlossene Poren

- und als Mikroporen bei Durchmessern < 2 nm.

Kurze Erläuterung des Gefügebegriffes

Das Gefüge bestimmt wesentlich viele wichtige Eigenschaften keramischer Werkstoffe. Es ergibt sich von selbst, dass die Ausbildung des

Gefüges von vielen Parametern abhängt, z. B. der Art, Menge und Korngröße der Rohstoffe, dem Mischvorgang, der Formgebung, der Trocknung und den Brennbedingungen.

Die Parameter eines Gefügebestandteils kann man gliedern in solche der Geometrie, nämlich Größe und Form, und solche der Anordnung, nämlich Anzahl, Orientierung und Verteilung. Man benötigt also zur Beschreibung fünf Größen: Größenfaktor, Formfaktor, Anzahl pro Volumeneinheit (=Teilchendichte), Orientierungsfaktor und Verteilungsfaktor. Jeder dieser Faktoren kann durch einen Mittelwert angegeben werden; besser ist es, sie durch eine Verteilungsfunktion zu beschreiben.

Poren im Gefüge von Keramiken

Die Poren sind ein häufiger Gefügebestandteil keramischer Werkstoffe. Ihre Ursache kann vielfältig sein.

Oft sind sie die Folge eines zu niedrigen und zu kurzen Brandes, so dass noch kein dichter Körper entstehen konnte. Aber auch Gasentwicklung in einem bereits dichten Körper kann zu Poren führen. Ebenso können ungünstige Korngrößenverteilungen der Ausgangspulver zur Porenbildung führen. Alle Möglichkeiten können aber auch systematisch und gezielt zur Erzeugung einer bestimmten Porosität genutzt werden. Dazu werden organische oder anorganische Stoffe einbracht, die beim Sintern verbrennen und ein Loch hinterlassen an dieser Stelle hinterlassen, aus dem im weiteren Verlauf des Brandes die Porosität entsteht. Zur Beschreibung der Porosität werden die oben genannten fünf Größen herangezogen. Grundsätzlich gilt, dass mit zunehmender Porosität die Festigkeit eines Werkstoffes abnimmt.

Herstellung von porösen Keramiken

Poren in silikatkeramischen Werkstoffen

In den silikatkeramischen Werkstoffen finden sich von Natur aus viele Poren. Die stärksten, porenbildenden Effekte sind die Ausgasung zu

spätem Zeitpunkt des Brandes und die Umwandlung der Ausgangsstoffe in neue Stoffe, die dann den keramischen Werkstoff bilden.

Poren im Porzellan

So entsteht beim Porzellan bspw. aus Ton der neue Stoffphase Mullit, der dem Porzellan einen Grossteil seiner Eigenschaften verleiht. Durch geschickte Wahl der flüssige Anteile bildenden Rohstoffe stellt man poröse Werkstoffe her, die als Filter weite Verwendung finden. Die Besonderheit der Keramik sind neben der Sterilisationsmöglichkeiten vor allem die hohe Festigkeit und chemische Beständigkeit.

Poren im Steatit

Beim Steatit wird der Speckstein, der fast ausschließlich aus Talk besteht, zu einer neuen dichteren Phase (Protoenstatit) umgewandelt. Dadurch bilden sich vor allem durch Ausgasen im Werkstoff Poren, die während des Brandes nicht mehr vollständig entfernt werden. Durch geschickte Kombination von Brand und Rohstoffmischung kann die Porosität gezielt eingestellt werden. Die Porositäten variieren zwischen 15 und 45 Vol%. Die Porengröße wird dabei typischerweise auf $<10\mu\text{m}$ eingestellt, wobei sich auch bimodale Porenverteilungen herstellen lassen. Solche Werkstoffe eignen sich hervorragend als Substanzträger in der chemischen und Apparateindustrie.

Poren in Cordieritwerkstoffen

Bilden sich während des Brandes durch chemische Reaktion neue Stoffe aus den Ausgangsmaterialien, wie beispielsweise Cordierit, wird die niedrige Wärmeleitfähigkeit mit zusätzlicher Porosität kombiniert, die diesen Werkstoffen die extrem hohe Thermoschockbeständigkeit verleiht. Gleichzeitig besitzt diese Werkstoffgruppe eine niedrige Wärmeleitfähigkeit die bei elektrischen und thermischen Anwendungen ausgenutzt wird.

Porosität durch Kornaufbau

Entgegen der sonst gewünschten möglichst dichten Packung der Pulver kann man durch entsprechende Kornverteilungen zu porösen Werkstoffen gelangen. Der Kornaufbau der Pulver wird dabei so gewählt, dass nur

wenig Feinanteil enthalten ist und zwischen den Körnern ein hoher Anteil von nicht mit Material erfülltem Raum bleibt. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, durch Zugabe von Ausbrennstoffen die Porosität und die Festigkeit vor dem Brand zu erhöhen. Die Werkstoffe erhalten ihre Festigkeit nach dem Brand entweder durch Versinterung der primären Pulver beim Brand oder durch eine wie Klebstoff wirkende Glasphase, die die primären Pulver miteinander verbindet. Auch die Kombination beider Effekte ist möglich. Je nach Brandführung werden die Porosität und die Festigkeit beeinflusst. Typische Vertreter dieser Gruppe sind poröse Aluminiumoxid- und gesinterte Siliziumkarbidwerkstoffe.

Replikaverfahren zur Herstellung offenporiger Keramiken

Wie der Name bereits sagt, wird eine bestehende Struktur durch Keramik nachgebildet. Dazu verwendet man als Ausgangsmaterial häufig entsprechende Kunststoffschäume die unter Entlüftung in einen keramischen Schlicker (Suspension aus Flüssigkeit und keramischen Pulvern) getaucht werden. Nimmt man den Kunststoffformkörper wieder aus dem Schlicker heraus, bleibt auf Grund der Benetzung des Schaumstoffes Schlicker daran hängen. Der Formling wird getrocknet und dann gebrannt. Beim Brand wird der Kunststoff entfernt und die übrigbleibende Keramik repliziert den Formling. Dabei entsteht ein offenporiger Keramikschaum, dessen Porosität in ppi (pores per inch) angegeben wird.

Bestimmung der Porosität

Zum Nachweis der Poren eignet sich eine Reihe von Methoden. Spezielle Untersuchungsmethoden für Poren werden nachfolgend beschrieben. Für die Keramik interessant ist dabei nicht nur die Gesamtporosität, sondern in vielen Fällen ist die Kenntnis der Porenform, der Porengrößen und der Verteilung wichtig. Hier besteht vor allem bei kleinen Poren eine thematische Berührung mit dem Gebiet anderer poröser Stoffe, die besonders als Adsorbentien Einsatz finden und worüber es eine umfangreiche Literatur gibt. [1]

Rohdichte

Für viele Methoden ist die Rohdichte eine wichtige Größe, deshalb sei hier noch einmal kurz darauf eingegangen. Zur Bestimmung der Rohdichte wird der Quotient aus der Masse und des Volumens (einschließlich aller Poren) ermittelt. Die Rohdichte errechnet sich nach folgender Formel, wobei m die Masse und V_{ges} das gesamte Volumen einschließlich aller Poren bezeichnet:

$$r = \frac{m}{V_{\text{ges}}}$$

Gesamtporosität

Zur Bestimmung der Gesamtporosität P_{ges} , die als Verhältnis des Volumens der Poren zu dem des gesamten Körpers definiert ist, eignen sich die nachfolgend beschriebenen Methoden. Als zusätzliche Methode sei noch die Berechnungsmöglichkeit aus der Dichte Q des porenfreien Körpers und der Rohdichte r eines Werkstücks genannt nach:

$$P_{\text{ges}} = 1 - \frac{r}{Q}$$

Mikroskopie

Das Mikroskop eignet sich hervorragend zur Untersuchung von keramischen Gefügen und damit auch für die Beschreibung der Porosität. Allerdings erhält man nur eine zweidimensionale Darstellung. Die Auflösungsgrenze liegt bei $0,2\mu\text{m}$. Man kann sowohl Dünnschliffe als auch Anschliffe heranziehen. Anschliffe liefern bei keramischen Gefügen nur geringen Kontrast. Zur Kontrasterhöhung wird das Gefüge angeätzt und anschließend mit einer sehr dünnen Schicht, meistens aus Gold, bedampft. Das thermische und chemische Ätzen sind weitere Alternativen zur Kontraststeigerung. In der Literatur sind hierzu zahlreiche Veröffentlichungen zu finden. Zur Quantifizierung des Gefüges ist man allerdings gezwungen stereologische Methoden heranzuziehen.

Dabei wird die zweidimensionale Darstellung der Probe versucht wieder rückgängig zu machen und sich der dreidimensionalen Realität wieder anzunähern.

Rasterelektronenmikroskopie

Mit dem Rasterelektronenmikroskop lassen sich Strukturen bis zu 5nm auflösen, wobei wegen der geringen Bestrahlungsapertur eine sehr große Schärfentiefe erreicht wird.

Bildanalyse

Die Bildanalyse ermöglicht eine automatische Auswertung der bei den Mikroskopischen Methoden gewonnenen Bilder, was erheblich Zeit einspart. Allerdings ist eine ausgezeichnete Beleuchtung und eine saubere Kontrastierung vorzunehmen, damit die automatische Auswertung auch vernünftige Ergebnisse bringt. Eine perfekte Probenpräparation ist eine weitere Voraussetzung für den Erfolg der Methode.

Offene Porosität

Die offene Porosität P_o kann in einfachen Fällen bestimmt werden, indem man die in den offenen Poren befindliche Luft durch Wasser oder eine andere Flüssigkeit bekannter Dichte ρ_l verdrängt und erneut auswiegt. Einige Verfahren dazu sind in DIN 51 056 festgelegt. Ist G_r das Gewicht der trockenen Probe und G_s das Gewicht der flüssigkeitsgesättigten Probe, dann ergibt sich

$$P_o = \frac{\rho_r (G_s - G_{tr})}{\rho_l G_{tr}}$$

Will man die Angaben in Vol.-% erhalten, was oft der Fall ist, dann muss man die P-Werte mit 100 multiplizieren.

Eine sehr einfache qualitative Methode wird von Salmang angegeben. Dabei wird der Körper in eine 2-%ige $KMnO_4$ -Lösung getaucht. Nach einer bestimmten Zeit, die sich nach der vorhandenen Porosität richtet, wird der Körper gebrochen und anhand der Farbverteilung die Porosität und deren Verteilung beobachtet. Texturen sind ebenso erkennbar. [1]

Gasdurchströmung

Die offene Porosität ergibt einen Hinweis für die technologisch wichtige Eigenschaft der Gasdurchlässigkeit, mit Ausnahme der Unsicherheit durch die undurchströmbaren Poren. Für die Messung der Gasdurchlässigkeit gibt es mehrere Verfahren, eines davon ist in DIN 51 058 [524] beschrieben. Dabei wird durch die Poren eine bestimmte Gasmenge gesaugt. Wenn man darauf achtet, dass eine laminare Strömung eingehalten wird, ergibt sich die spezifische Gasdurchlässigkeit D_s , nach

$$D_s = \frac{h}{F} \frac{hV}{\Delta P t}$$

mit, η = dynamische Viskosität des Gases, h = Höhe oder Dicke der durchströmten Schicht, V = Gasmenge, F = Querschnitt der Probe, Δp = Druckunterschied des Gases bei Ein- und Austritt und t = Versuchsdauer. In obiger Norm wird als Einheit für D , das Perm (Pm) vorgeschlagen (nach Permeabilität). In den früheren Einheiten hat ein Körper die spezifische Gasdurchlässigkeit von 1 Perm, wenn in 1 s 1 cm^3 eines Gases mit der dynamischen Viskosität 1 Poise (= 1 dPa s) bei einem Druckunterschied von 1 dyn/cm^2 (= 1 dPa) durch einen Querschnitt von 1 cm^2 in senkrechter Richtung auf einer Länge von 1 cm hindurchströmt. Da die Messergebnisse oft in der Größenordnung von 10^{-8} Perm liegen, wird für die praktische Anwendung die Einheit 1 Nanoperm (nPerm) = 10^{-9} Pm empfohlen. Zur Umrechnung der im angloamerikanischen Schrifttum verwendeten Einheit Darcy, wird auf [1] verwiesen.

Mit Hilfe von Messungen in verschiedenen Richtungen eines Körpers ist es möglich, Texturen festzustellen, aber für die Porengröße lässt sich nur ein Mittelwert angeben. [1]

Bubblepointer

Vielfach interessiert jedoch die Porengrößenverteilung. Deren Bestimmung durch Mikroskop oder Elektronenmikroskop ist recht mühsam. Andere Methoden beruhen auf dem Kapillargesetz

$$\Delta p = \frac{2\sigma}{r} \cos \Theta.$$

Zagar [2] hat daraus ein Wasser-Luft-Verdrängungsverfahren entwickelt, bei dem die Probe zunächst mit Wasser gesättigt und dann einem stufenweise erhöhten Luftdruck zum Herausdrücken des Wassers ausgesetzt wird. Dabei vereinfacht sich obige Gleichung, weil Wasser die keramischen Stoffe meist sehr gut benetzt, also $T = 0^\circ$ und $\cos T = 1$ wird. Bei jedem Druck stellt sich eine bestimmte Gasdurchlässigkeit ein. Diese Methode ist für Poren $>1\mu\text{m}$ anwendbar.

Quecksilberdruckporosimetrie

Stellt man einen trockenen porösen Körper in Wasser, so haben obiges Gesetz und die gute Benetzung zur Folge, dass das Wasser in die Poren eingesogen wird. Anders verhält sich dagegen Quecksilber (Hg), das mit keramischen Körpern einen Randwinkel von etwa 140° bildet, sie also nicht benetzt. Dann ist ein äußerer Druck notwendig, um das Hg in die Poren zu drücken, der um so größer ist, je kleiner die Poren sind. Die Methode ist für die Untersuchung von keramischen Produkten Standard. Je nach Porengröße ist es vorteilhaft, unterschiedliche Anordnungen zu verwenden. Mit einem Druck von 1000 bar werden nach obiger Gleichung Poren mit einem Radius von 7,5 nm gefüllt (mit $\sigma = 0,48 \text{ N/m}$). Bei solch hohen Drücken muss beachtet werden, dass in der Probe z.B. durch Bersten von Trennwänden Veränderungen verursacht werden können, die ein falsches Bild der tatsächlichen Verhältnisse nahe legen. Die Quecksilberdruckporosimetrie liefert nur einen Äquivalentporenradius, und seitliche an Porenkanälen angeschlossene Porensäcke werden dann als ein Porenvolumen mit dem Öffnungsradius des Porensackes angezeigt. Die Hg-Methode erfasst also die ganze offene Porosität, während das oben erwähnte Luft- Wasser-Verdrängungsverfahren nur

die durchströmbaren Poren erfasst, d.h. beide Methoden ergänzen sich.
[1]

Übersicht über verschiedene Messverfahren der Porengrößenanalyse nach [1]

Methode	Messbereich in μm
Lichtmikroskop	1-100
Wasser-Luft-Verdrängung	1-100
Wasserdurchtritt	0,1-50
Rasterelektronenmikroskop	0,01-100
Quecksilberdruckporosimeter	0,005-1000
Elektronenmikroskop	0,001-5
Ausschluss- Chromatographie	0,001-0,4
Röntgenkleinwinkelstreuung	$< 0,05$
Adsorption	0,0005 - 0,04

Anwendungsbeispiele

Keramik für Metall-Keramik-Verbundwerkstoffe

Leichtbaumaterialien gewinnen in unserer modernen Welt, insbesondere in der Verkehrstechnik, eine immer größere Bedeutung und öffnen neuen und innovativen Produkten den Weg in den Markt. Allerdings stößt der Leichtbau dort an seine Grenzen, wo er hohen tribologischen, mechanischen oder thermischen Belastungen standhalten muss.

Die Lösung liegt in der Verstärkung von Leichtbauteilen an genau den Stellen, die am stärksten beansprucht werden. Für dieses lokale Werkstoff- Engineering eignet sich am besten die Hochleistungskeramik. Denn sie hat herausragende Eigenschaften: Sie ist je nach Zusammensetzung – extrem hart und damit verschleißfest, druck-, hitze- und korrosionsbeständig, leitend oder halbleitend.

In der MMC- Technik wird ein metallisches Trägermaterial (Matrix) mit keramischen Hartstoffpartikeln verstärkt. So lassen sich die typischen Vorteile beider Werkstoffklassen ausnutzen: die Leichtigkeit des Metalls auf der einen, die Beständigkeit der Keramik auf der anderen Seite. Dazu produziert man Keramikvorformlinge (Preforms), die beim späteren

Gießen mit einer Metallschmelze infiltriert werden und so für einen nahtlosen Übergang zwischen Metall und Keramik sorgen. Dieses Verfahren bietet eine besondere Wirtschaftlichkeit gegenüber Verfahren, bei denen die komplette Schmelze die Verstärkungspartikel enthält.

Eine Serienanwendung für hochporöse Preforms stellt die Zylinderlauffläche für den Porsche Boxter und Porsche 911er Motor dar [3]. Die hochporöse Preform wird direkt in das Gießwerkzeug eingelegt. Die einfließende Aluminium-Schmelze dringt in das poröse Gefüge ein und der Motorblock wird genau an der zu richtigen Stelle durch die Entstehung des Verbundwerkstoffes optimiert. Lokales Werkstoffengineering lautet das Schlagwort.

Die keramische Preforms für Metall-Keramik-Verbundwerkstoffe lassen sich in unterschiedlichen Größen, Formen und Gefügedesigns herstellen. Festigkeit, tribologisches Verhalten und Struktur lassen sich gezielt variieren. So können die porösen Preforms einen nahezu beliebigen Keramikanteil zwischen 20 und 100 Prozent enthalten. Als metallische Matrix kommt am häufigsten Aluminium (Standardlegierung $AlSi_9Cu_3$) zum Einsatz.

Poröser Steatit für die Verdampfertechnik

Die Verdampfertechnik bedient sich bei Speicherung, Transport, der konstanten und definierten Abgabe von Wirkstoffen an Luft poröser Keramik in Form von Stäbchen. Die keramischen Stäbchen tauchen in eine Vorratslösung, die den Wirkstoff in einer bestimmten Konzentration enthält. Durch die gezielt hergestellte Porosität im Werkstoff Steatit wird durch Kapillarwirkung die Lösung im Keramikstab transportiert und damit auch der Wirkstoff. Das andere Ende des Keramikstabes steckt in einem Heizer, der mit seiner Temperatur Lösung und Wirkstoff zum Verdampfen bringt. Die besondere Herausforderung für die Keramik liegt im definierten Transport von Lösung und Wirkstoff. Dies garantiert eine gleichmäßige Verdampferrate über die Zeit. Ein weiterer Vorteil gegenüber anderen Werkstoffen ist die und die hohe Beständigkeit gegen Temperatur und Korrosion.

Cordieritkeramik für Gasinfrarotstrahler

Cordieritkeramik für Gasinfrarotstrahler ist Thema eines weiteren Vortrages dieser Veranstaltung, auf die hier hingewiesen werden soll.

Membranträgerrohre aus Aluminiumoxid

Wenn die Temperaturen für Filteranwendungen steigen, geht am Einsatz von Keramik kein Weg mehr vorbei. Durch gezielten Kornaufbau und die Verwendung spezieller Ausbrennstoffe lassen sich beispielsweise hochdurchlässige Rohre als Träger für keramische Membrantrennschichten herstellen. Beide, Rohr und Träger sind aus Aluminiumoxid und halten höchsten Temperaturen stand. In ähnlicher Weise werden für die chemische Industrie Katalysatorträger mit speziellen spezifischen Oberflächen und Geometrien erzeugt.

Offenporige Schaumkeramik

Offenporige Schaumkeramik wird nach dem Replikaverfahren hergestellt.

Solche Schaumkeramik eignet sich u.a. hervorragend als Metallschmelzfilter. Weitere Anwendungsbeispiele sind Brenner oder Mischer mit eingestelltem Strömungswiderstand, Sandwichschaum als Brennhilfsmittel oder auch lokale Verstärkung z. Bsp. in Bremsscheiben. Durch die große Variationsbreite von maschenweite und Form, ausgehend von den Ausgangsstoffen, ergeben sich weitere potentielle Anwendungen in der Energie- und Umwelttechnik als Katalysatorträger, in der Raumfahrt als Lasersatellitenspiegel oder auch in Begasungssystemen in der Chemietechnik.

Geschlossenporige Schaumkeramik

Im Gegensatz zur offenporigen Schaumkeramik besteht die geschlossenporige Schaumkeramik aus einzelnen großen porenförmigen Hohlräumen im Millimeterbereich. Dadurch ist ein freier Stofftransport oder Austausch zwischen den Hohlräumen durch eine dünne, keramische Wand verhindert.

Diese neuartige Keramik vereint sowohl hohe thermische Isolationsfähigkeit mit einem relativ hohen elektrischen Widerstand bei gleichzeitig niedrigster Dichte. Die Dichte liegt im Bereich von 150 bis 800 kg/m³. Durch den vergleichsweise hohen elektrischen Widerstand und die Formstabilität kann in verschiedenen Anwendungen auf eine mehrteilig gebaute Konstruktion zur Isolation verzichtet werden. Diese neue Art der Schaumkeramik spart dann durch Verringerung des Montageaufwandes in der Logistikkette und gleichzeitig bei den Materialkosten. Anwendungsmöglichkeiten gibt es heute schon in der Haushaltstechnik wo gleichzeitig große Temperaturdifferenzen gehalten und in Verbindung mit elektrischen Isolieraufgaben gelöst werden müssen.

Bei der Formgebung hat man bis jetzt noch Restriktionen hinzunehmen, die in Kürze gelöst werden. Der Werkstoff ist bereits in Platten und anderen einfachen geometrischen Formen verfügbar.

Literatur

- [1] Salmang, H. und Scholze, H.: Keramische Werkstoffe Teil 1 und 2; Springer Verlag, 1982/ 1983
- [2] Zagar, L.: Ermittlung der Größenverteilung von Poren in feuerfesten Baustoffen. Arch. Eisenhüttenw. 26 (1955) 561-562; 27 (1956) 657-663


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

think
ceramics

Starke Leichtgewichte

Von der Luft in der Keramik zum
High-Tech-Werkstoff

Helmut Stuhler
CeramTec AG
Lauf a. d. Pegnitz

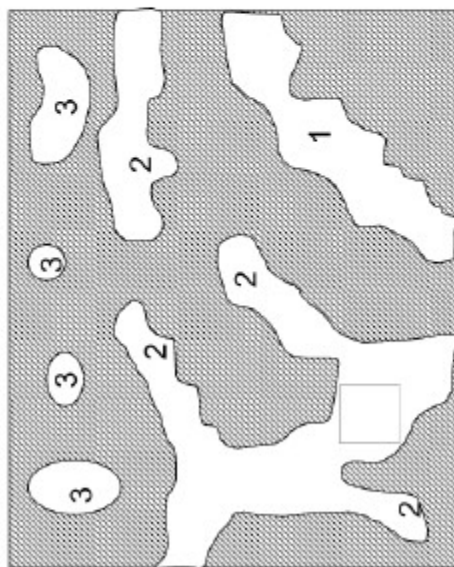


Informationszentrum
Technische Keramik

Folie 1

Schematische Darstellung von Poren

think
ceramics



- 1 durchströmbare Poren
- 2 nicht durchströmbare Poren
- 3 geschlossene Poren

Bezeichnung von Poren nach Größe

think
ceramics

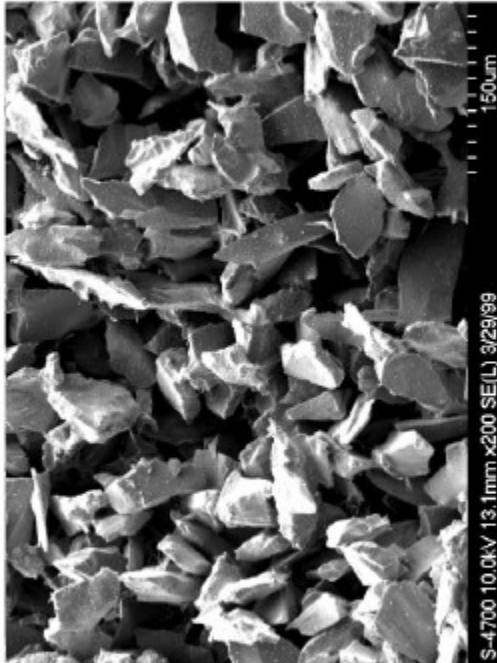
- Makroporen bei Durchmesser > 50 nm
- Mesoporen bei Durchmesser von 2 bis 50 nm
- Mikroporen bei Durchmesser < 2 nm



Folie 3

Siliziumpreform für MMC- Technik

think
ceramics

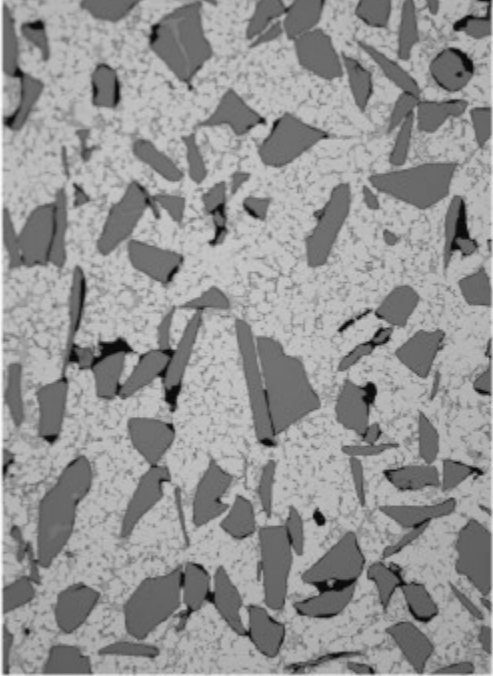


Bruchfläche einer Siliziumpreform




Siliziumpreform für MMC- Technik

think
ceramics



Lokasil II® - Politurgefüge

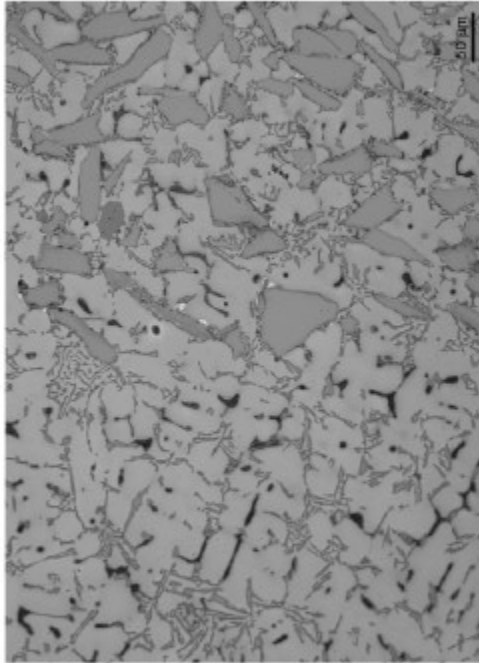


Informationszentrum
Technische Keramik

Folie 5

Siliziumpreform für MMC- Technik

think
ceramics




Homogenes Endprodukt mit nahtlosem Übergang
zwischen Guss- und Lokasil II® - Gefüge




Siliziumpreform für MMC- Technik

think
ceramics



Silizium-Preforms für Zylinderlaufbuchsen

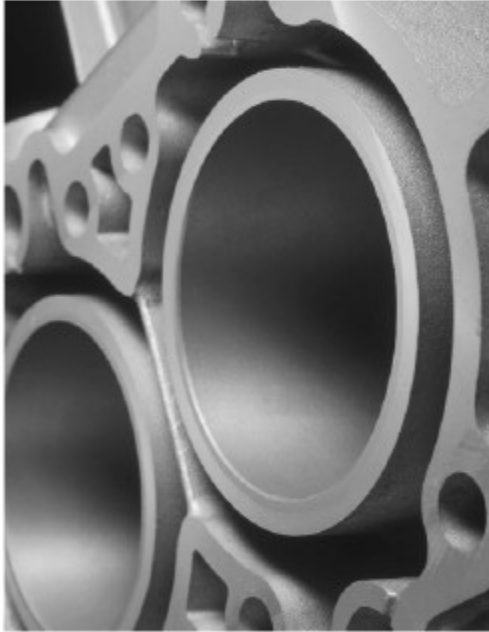


Informationszentrum
Technische Keramik

Folie 7

MMC- Technik

think
ceramics




Motorblock mit Zylinderlaufbuchse aus MMC



Folie 8

MMC- Technik

think
ceramics



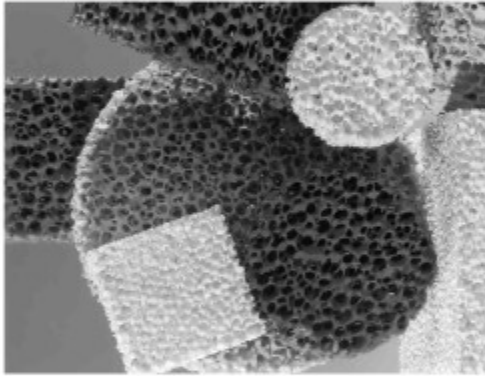
Porsche Boxster mit Zylinderlaufbuchsen aus MMC

Informationszentrum
Technische Keramik

Folie 9

Offenporige Schaumkeramik

think
ceramics

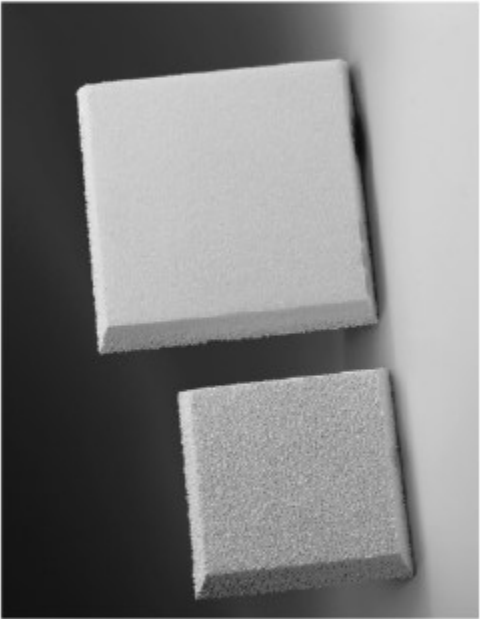


Schaumkeramiken aus verschiedenen Werkstoffen




Offenporige Schaumkeramik

think
Ceramics



Gradierte Schaumkeramiken für Gießfilter

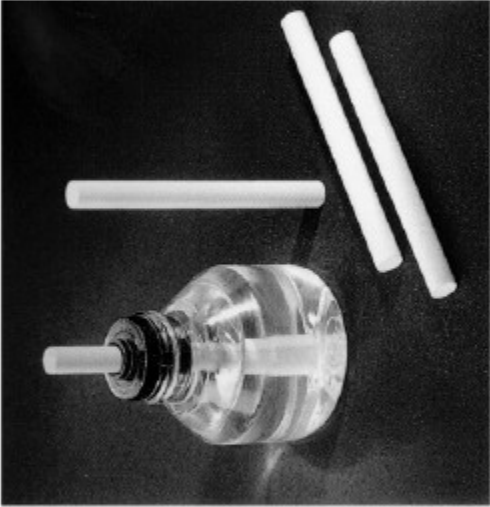


Informationszentrum
Technische Keramik

Folie 11

Siilikatkeramik

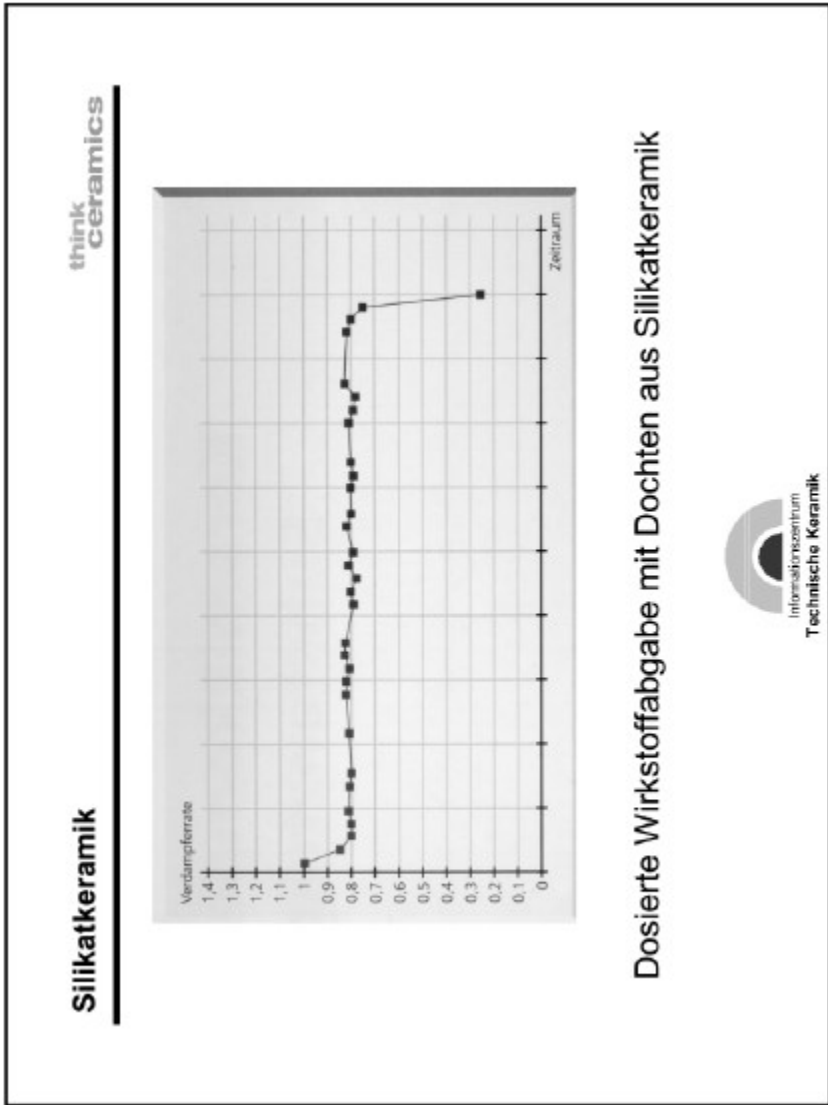
think
ceramics



Wirkstoffverdampfer mit Dochten aus Siilikatkeramik

Informationszentrum
Technische Keramik

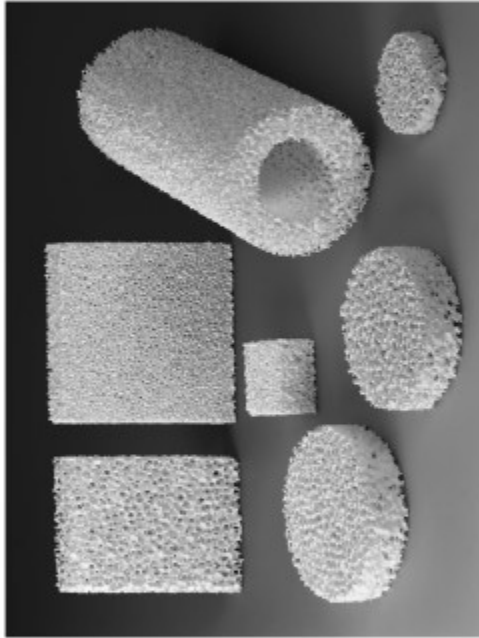
Folie 12



Folie 13

Offenporige Schaumkeramik

think
ceramics

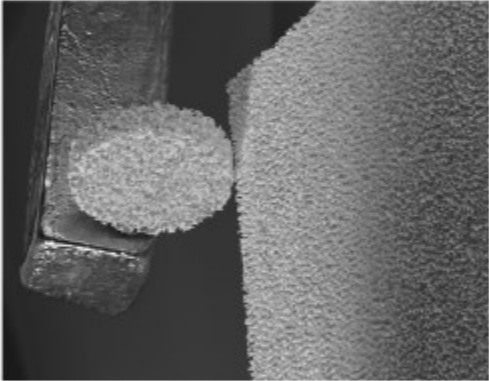


Schaumkeramik in verschiedenen Formen und Porenweiten



Offenporige Schaumkeramik

think
ceramics



Aluminiumschmelzfilter aus Al_2O_3 -Schaumkeramik

Informationszentrum
Technische Keramik

Folie 15

Geschlossenporige Schaumkeramik

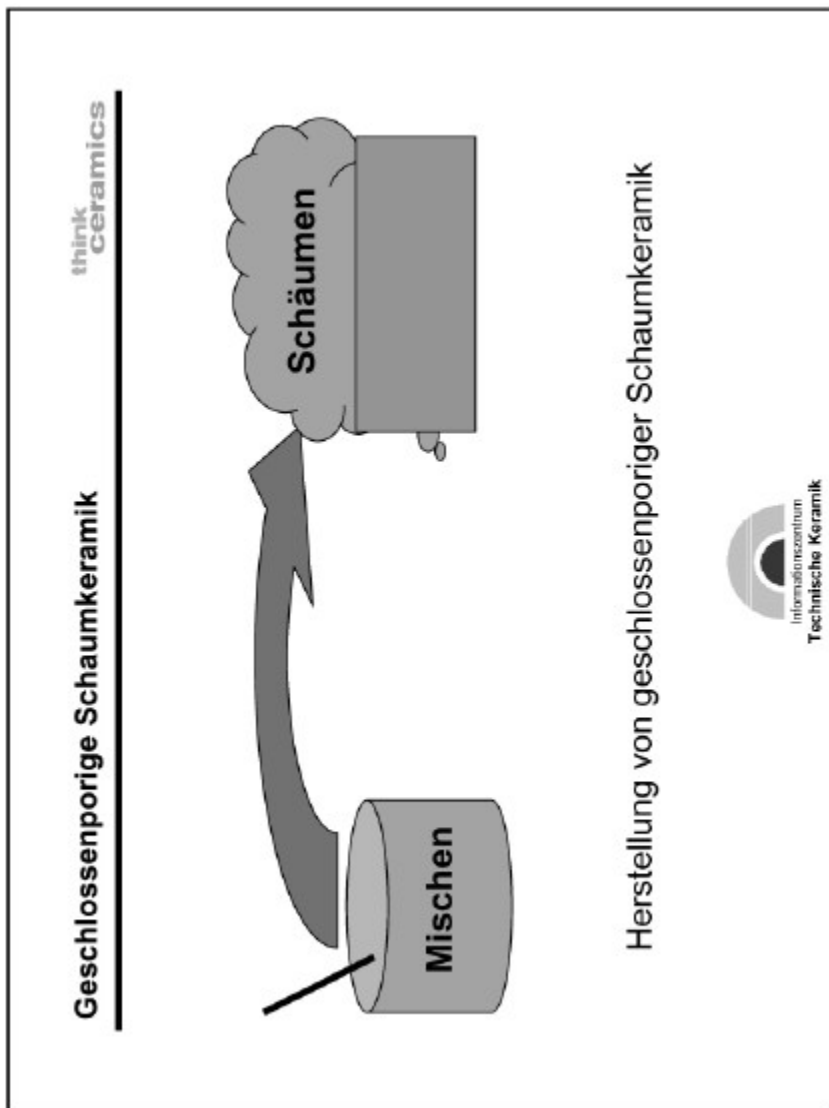
think
ceramics

Schaum mit offener oder geschlossener Porenstruktur
(Dichte 100-800 kg/m³)

Anwendungsmöglichkeiten:

- Wärmedämmung
- Schallisolierung
- Brandschutz
- Schockabsorption

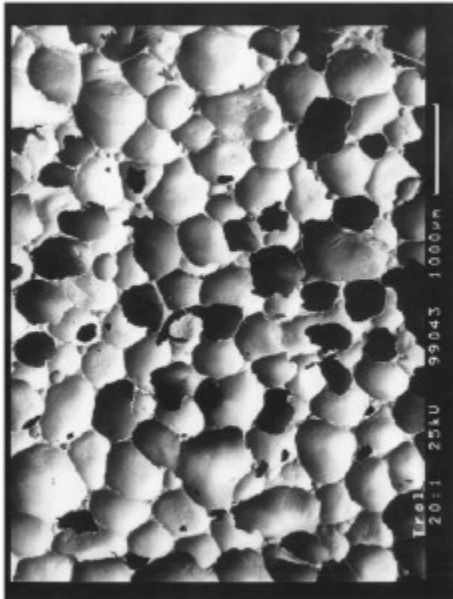




Folie 17

Geschlossenporige Schaumkeramik

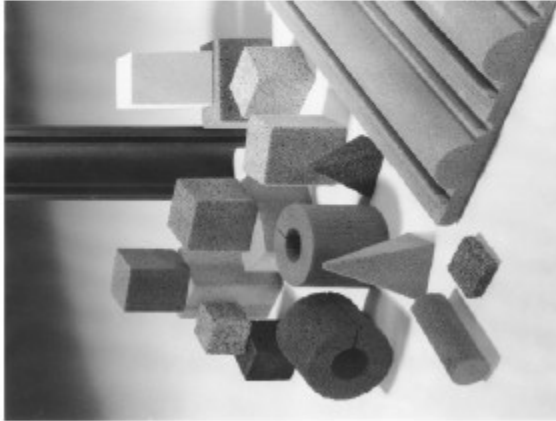
think
ceramics



REM- Bild einer geschlossenenporigen Schaumkeramik

Geschlossenporige Schaumkeramik

think
ceramics



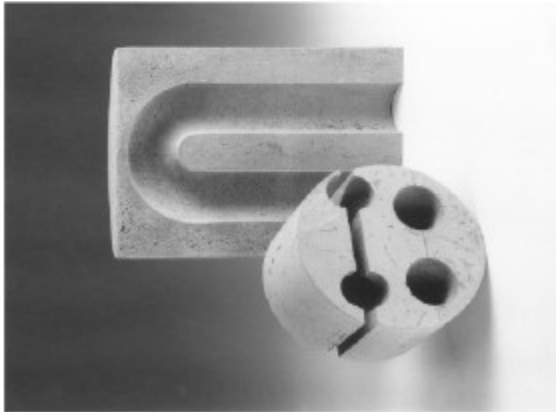
- unbrennbar
- temperaturstabil
- schadstofffrei
- faserfrei
- mechanisch belastbar
- rezyklierbar



Folie 19

Geschlossenporige Schaumkeramik

think
ceramics



- Technisch leistungsfähig und umweltfreundlich
- Ideal für Temperaturbereiche bis 1000°C
- Universell in der Anwendung
- Rationell in der Verarbeitung
- Breites Entwicklungspotential