

5.2 Kundenspezifische Bauteile = Problemlöser aus Keramik

- Dr. Torsten Weiß
BCE Special Ceramics GmbH
Mannheim

Die Folien finden Sie ab Seite 366

5.2.1. Einleitung

Die Oxidkeramiken unter den Hochleistungskeramiken stellen weiterhin den größten Anteil und sind deshalb neben den spektakulären Erfolgen der schwarzen oder Nicht-Oxid-Keramik wie Siliziumnitrid oder Siliziumkarbid ein interessantes Optimierungsaufgabengebiet. Diese Weiterentwicklungen vollziehen sich im Wesentlichen auf zwei Feldern, nämlich den Werkstoffen selber und deren Verarbeitungswegen zu Bauteilen.

Beispielhaft für die Werkstoffseite seien hier die Mischkeramiken wie ZTA (Zirconia Toughened Alumina, Basiswerkstoff Al_2O_3) oder auch die Umkehrung ATZ (Alumina Toughened Zirconia, Basiswerkstoff ZrO_2) genannt. Auch die immer weitergehende Entwicklung der ZrO_2 Mg PSZ Typen (Magnesiumoxid teilstabilisierte Zirkonoxidkeramik) in höchste Festigkeitsregionen (600 bis 800 MPa Biegefestigkeit) spiegelt die erfolgreichen werkstofflichen Anstrengungen wieder.

Auf der anderen Seite wurden erfolgreiche Entwicklungen in den Bereichen des hocheffizienten und genauen Trockenpressens oder diverse Entwicklungen im Spritzguss geleistet, die den steigenden Anforderungen an die Qualität bei geringen Stückkosten weitgehend Folge leisten. Eine weitere Route, die insbesondere für nicht so große Stückzahlen interessant ist, stellt die präzise CNC-Bearbeitung von Grünlingen (z. B. isostatisch gepresste Formlinge) dar. Unter Berücksichtigung der Schwindung beim Sintern können hiermit ohne schleifende Nachbearbeitung komplexe Formen in den Bauteilen realisiert werden, die „as fired“ zum Einsatz kommen können. Vorteile aus Kundensicht sind die „fehlenden“ Werkzeugkosten und die relativ kurze Fertigungszeit bei sehr hoher Materialqualität.

5.2.2. Kurzdarstellung der CNC-Fertigungsweise

Ausgangsbasis für eine Bauteilfertigung ist ein pressfähiges (d. h. Bindemittel enthaltendes und agglomeriertes) Keramikpulvergranulat das den späteren Werkstoff bildet, typischerweise Al_2O_3 in den Reinheiten 92 bis 99,99 % oder ZrO_2 Y-TZP oder ZrO_2 Mg-PSZ. Die Eigenschaften des Granulats, sowie die Parameter der isostatischen Pressung bestimmen maßgeblich die weitere Verarbeitung oder Machbarkeit bestimmter Geometrien. Einen entscheidenden Einfluss haben auch die zur Verwendung kommenden Werkzeuge (Schneidgeometrien und Werkstoffe; HM, PKD) und die Schnittparameter bei der CNC Bearbeitung wie z. B. Vorschub, Zustellung, Bohrhöhe usw.

Das Granulat wird gleichmäßig in eine angemessene, elastische Gummiform gefüllt. Diese wird dicht verschlossen und anschließend in der kaltisostatischen Presse (CIP) unter Anwendung hoher hydrostatischer Drücke (600 bis 2.500 bar) homogen verdichtet.

Der nunmehr gepresste Grünling besitzt eine gewisse Festigkeit die es erlaubt, bei vorsichtiger Einspannung unter Berücksichtigung des kreideweichen Zustandes, eine CNC Bearbeitung vorzunehmen. Der nur gepresste Grünling hat in vielen Fällen kaum Ähnlichkeit mit der Endkontur des Bauteils, diese entsteht erst durch die Bearbeitung. Ausnahmen sind in gewisser Hinsicht das Pressen von kleinen Rohren, Buchsen oder komplexeren Innenkonturen, wo es sich lohnt auf einen Dorn oder Kern zu pressen und somit die Innenkontur schon abzubilden. Die Außengestalt wird dann dennoch durch drehende oder fräsende Bearbeitung erstellt. Unterstützt wird diese Arbeitsweise durch den Einsatz einer CAD-CAM Kette, was sich bei gekrümmten Oberflächen positiv niederschlägt. Trotz des kreideweichen Zustandes lassen sich nur geeignete Hartmetallwerk- oder PKD-Werkzeuge zur Bearbeitung einsetzen, da ja die Einzelteilchen des verpressten Pulvers schon aus Keramik bestehen und somit die hohe Härte und Abrasivität besitzen.

Berücksichtigt werden muss allerdings die Schwindung der einzelnen Werkstoffe / Pressgranulate, da die Sinterung zu diesem Zeitpunkt noch aussteht. D. h. die Konturen oder Endmaße müssen alle mit entsprechenden Koeffizienten in den Raumrichtungen für isotrope oder anisotrope Schwindung, eventuell unter Berücksichtigung von Aufmassen für eine nachfolgende, schleifende Hartbearbeitung, hochgerechnet werden. Durchschnittlich muss mit 16 bis 25 % Schwindung gerechnet werden.

Ist der bearbeitete Grünling maßlich korrekt und rissfrei angefertigt, wird er zur Sinterung freigegeben. Speziell an den Werkstoff und die Geometrie angepasste Sinterkurven, also Aufheiz- und Abkühlraten, Endtemperaturen und Zeiträume der Zeit-Temperatur-Kurve verfestigen durch Diffusionsvorgänge bei Temperaturen von 1.450 °C bis 1.750 °C (bei der meistens vorliegenden Festkörpersinterung) den ehemals weichen Grünling zur harten Hochleistungskeramik. Eine abschließende 100 % Rissprüfung aller Bauteile nach dem Sintern sowie eine Maßkontrolle entscheiden dann über die Freigabe zur weiteren schleifenden Bearbeitung oder als „as fired“ Bauteil.

5.2.3. Möglichkeiten und Grenzen dieser Fertigungstechnologie

Es lassen sich auf diese Art und Weise recht komplexe und filigrane Strukturen herstellen, die teilweise durch schleifende Bearbeitung gar nicht machbar sind (z. B. mangels so kleiner Diamantwerkzeuge), beispielsweise kleine Innengewinde.

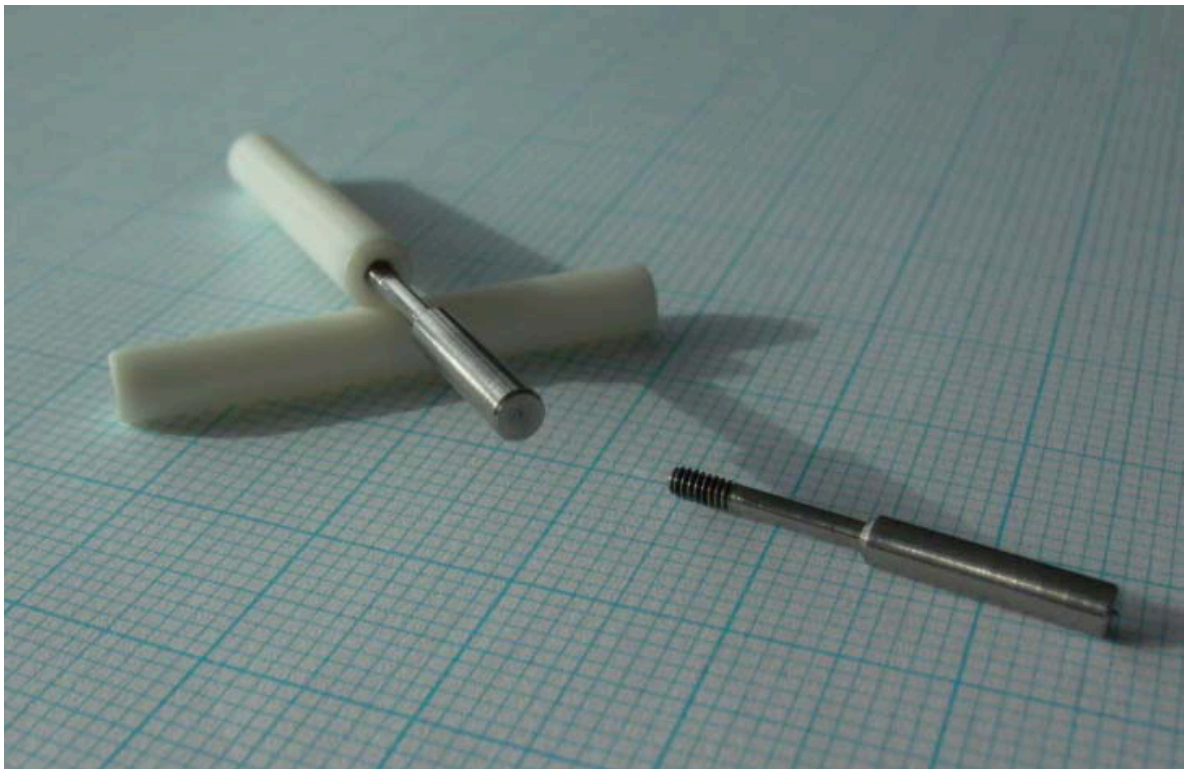


Bild 1: Gewindehülse in ZrO_2 mit Innengewinde M 1,6

Vortragsblock 4

Nachfolgend ein keramischer Einsatz einer elektrischen Durchführung. Werkstoff ist hier ein 99,5 % reines Al_2O_3 . Der gesamte Stecker ist aktivgelötet. Dies gewährt die Möglichkeit eines Hochtemperatureinsatzes (300...500 °C) und ist vakuumdicht. Der Bohrungsdurchmesser für die Kontaktdrähte beträgt 0,255 mm. Zur sicheren Verlotung sind kleine Taschen um die Bohrungen, die einen dichten Abschluss des Lots gewährleisten. Die Vielzahl der unterschiedlichen und teilweise kundenspezifischen Steckerlösungen in Bezug auf Bohrungsanzahl und Drahtstärken lassen sich durch die Grünfertigung wirtschaftlich bewältigen. Die kleinste zuverlässig anzufertigende Bohrung beträgt ca. 150 μm , allerdings ist die Bohrungstiefe auf wenige mm begrenzt.

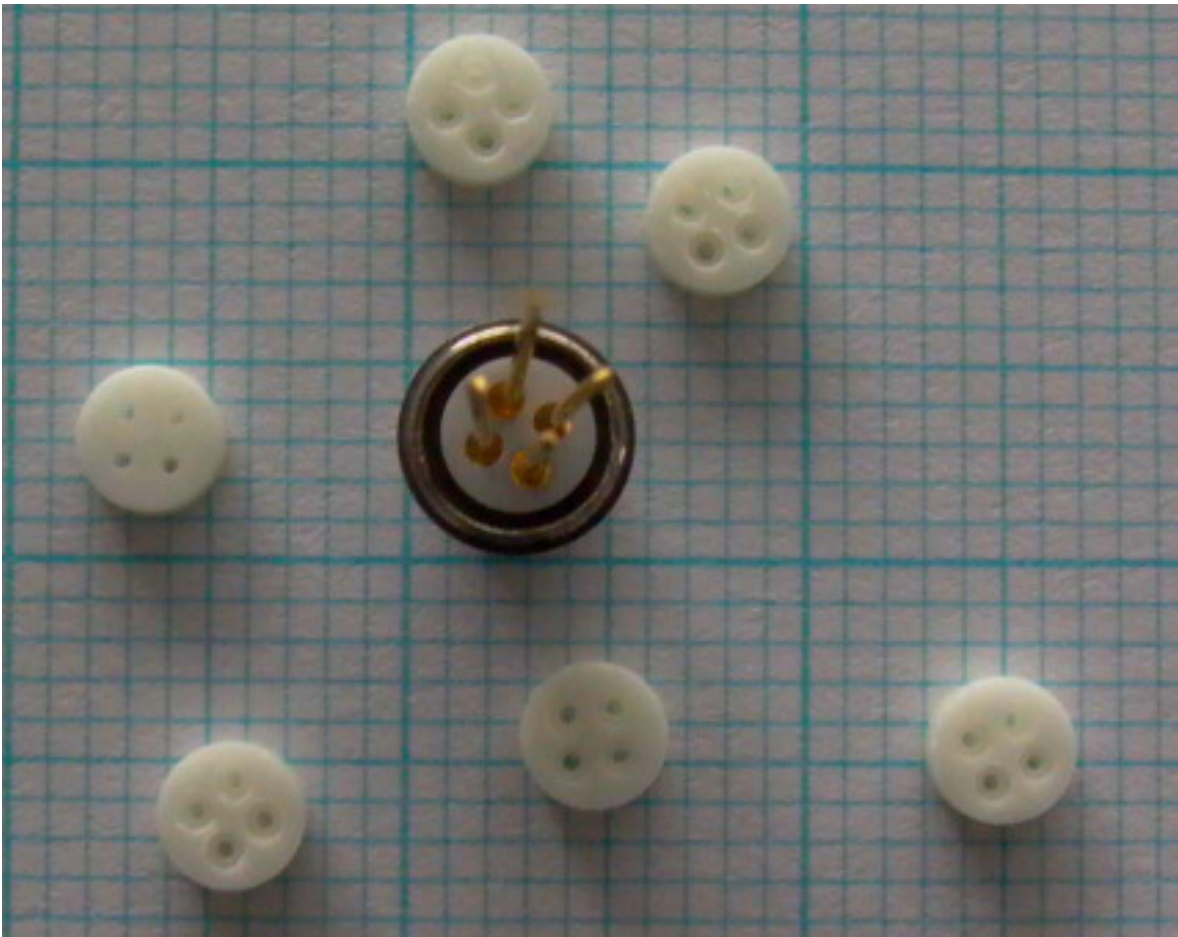


Bild 2: Miniatursteckereinsatz aus Al_2O_3 99,5% aktivgelötet

Ein Beispiel für die CAD-CAM Umsetzung einer komplexen Geometrie ist die nachfolgende Düse. Diese Kontur wird grün gefertigt und nur noch schleifend geplant, um einbaufertig zu sein. Material ist wieder Al_2O_3 99,5 %. Bohrungen und Konus werden mittels Spezialwerkzeugen eingebracht. Aufgrund der relativ geringen Stückzahl ist die Anfertigung eines Spritzwerkzeuges hier unwirtschaftlich.

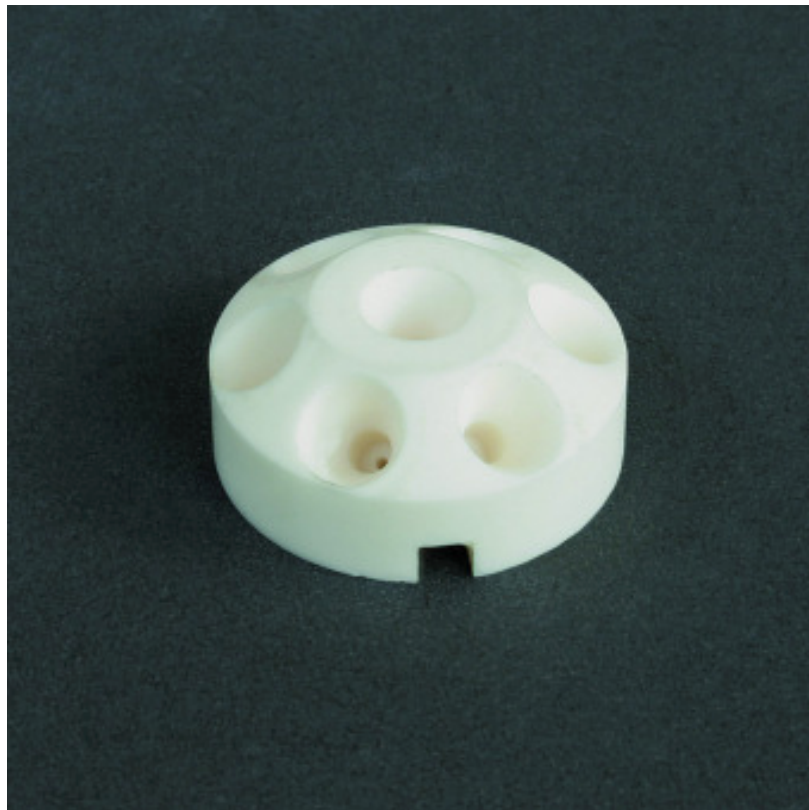


Bild 3: Düse aus Al_2O_3 99,5 %

Ähnliche Geometrien wie z. B. gebogene Lavaldüsen sind ebenso bei kleinen Stückzahlen somit praktikabel herstellbar.

Vortragsblock 4

Ein Beispiel aus der Messtechnik zeigt eine Verbindungsmöglichkeit Keramik-Metall ohne Lötung. Die Anforderung elektrische Kontakte für eine Durchflussmesstechnik möglichst „unkompliziert“ in das Bauteil zu inkorporieren, führte zu einer Lösung des direkten Einsinterns eines hochtemperaturbeständigen Kontaktdrahtes. Als Entwicklungsarbeit musste der optimale Durchmesser der Bohrungen in der Keramik (im Grünling) und die Härte des Drahtes aufeinander abgestimmt werden. Die so hergestellten keramischen Messfühler sind bis zu 25 bar Innendruck dicht und belastbar.

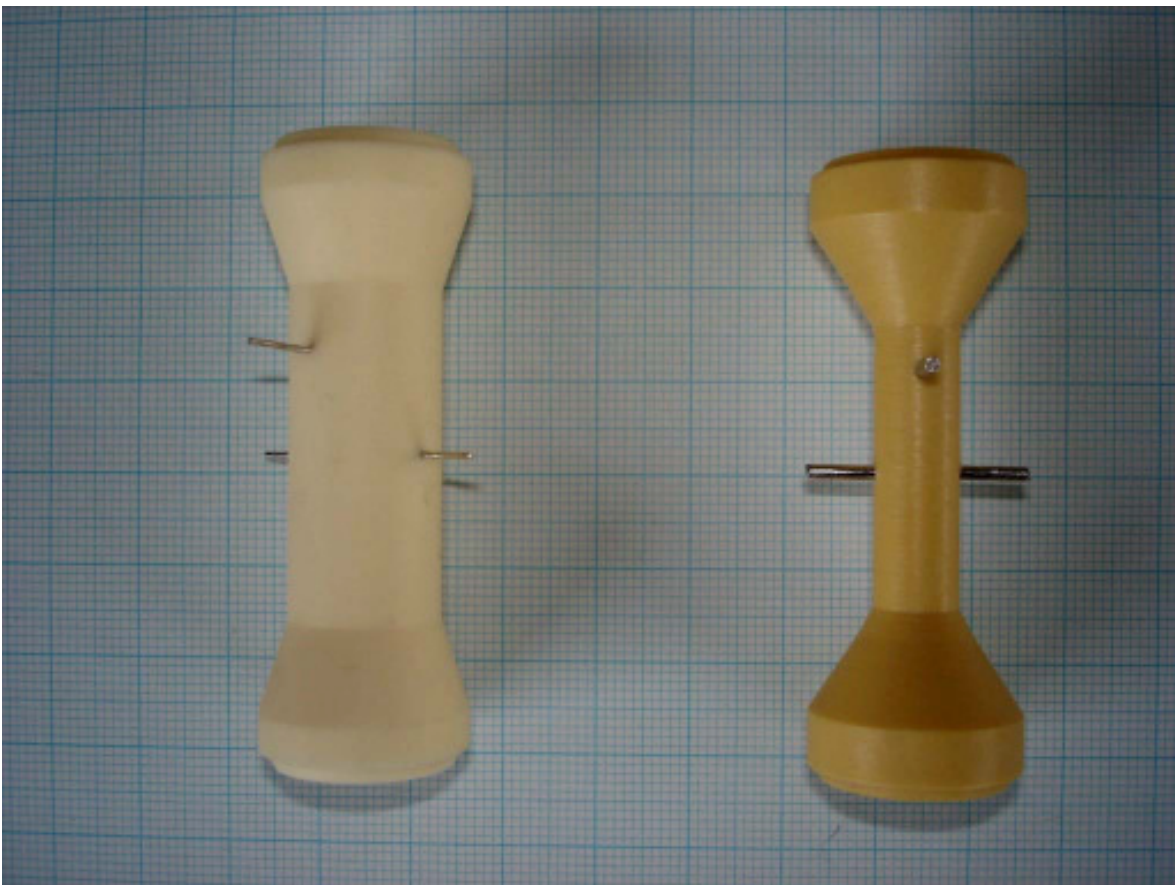


Bild 4: Direkt druckfest eingesinterte Kontaktdrähte in Al_2O_3 oder ZrO_2 Mg-PSZ

Abschließend ein Beispiel einer abgestimmten Gesamtfertigung aus Grün- und Hartbearbeitung. Zahnradpumpen zur Klein- und Mikrodosierung sollten besonders verschleiß- und/oder korrosionsfest ausgelegt werden. Da die Anforderung die zu übertragenden Kräfte recht hoch ist (die einzuleitenden Drehmomente je nach Druckbeaufschlagung) wurde ZrO_2 Y-TZP als Material gewählt, als Kompromiss zwischen Härte und Festigkeit anstelle eines Al_2O_3 . Eine genaue Abstimmung der Grüngeometrie auf die nachfolgende Hartbearbeitung ist notwendig, um die Baugruppe sinnvoll fertigen zu können.

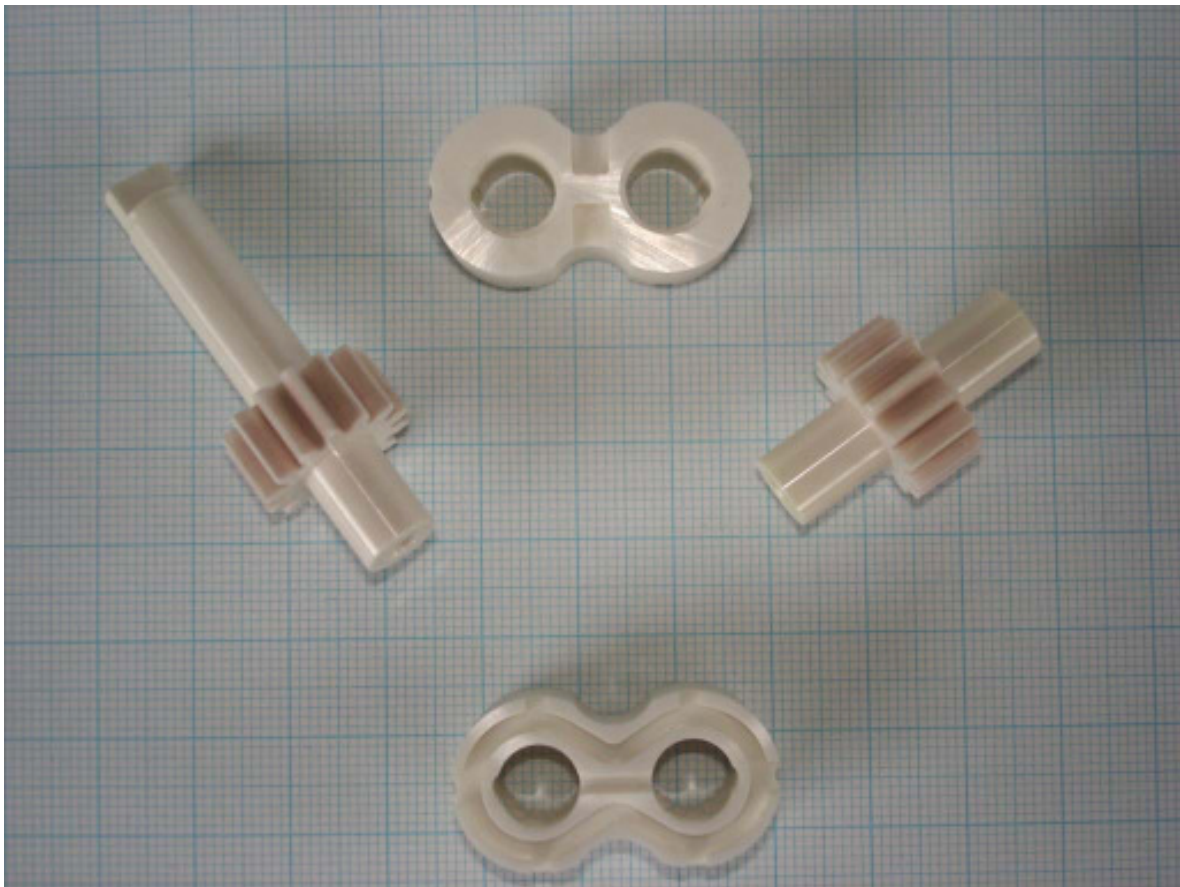


Bild 5: Bauteile einer Zahnradgruppe aus ZrO_2 Y-TZP einer Pumpe

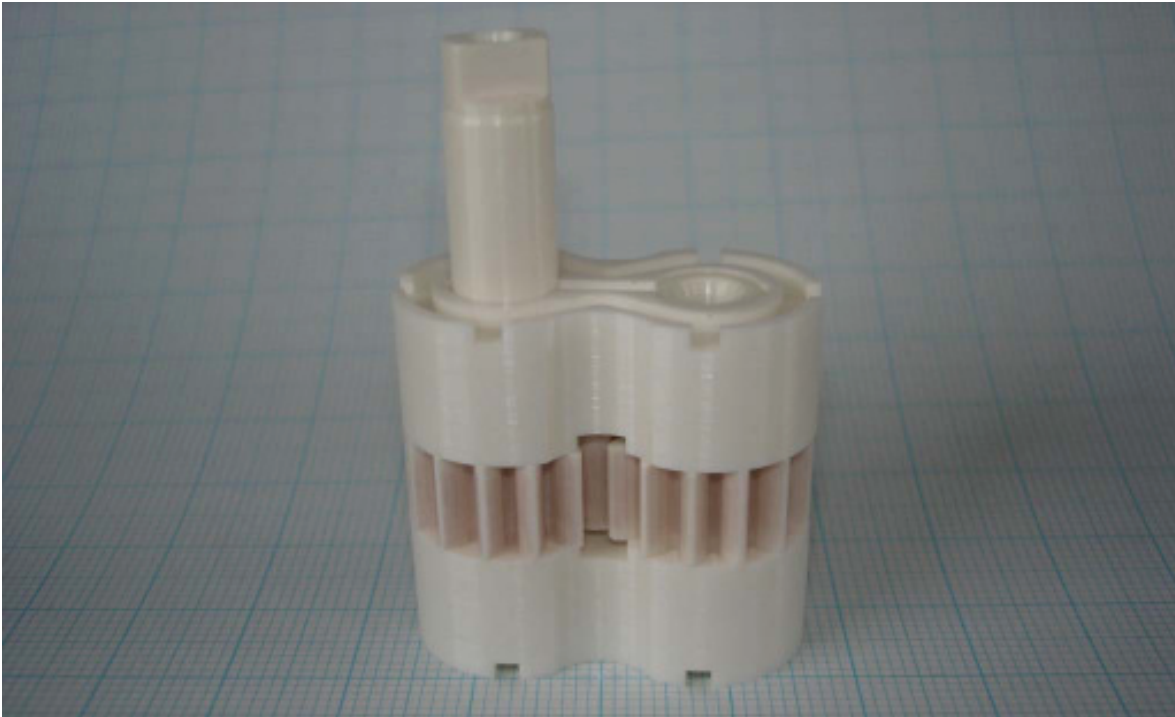


Bild 6: Zahnradgruppe aus ZrO_2 Y-TZP einer Pumpe

5.2.4. Schlussbemerkung

Die Fertigung von Hochleistungskeramik mittels isostatisch gepresster Formlinge und anschließender CNC Formgebung ist ein sehr flexibles Instrument um dem steigenden Bedarf an individueller Gestaltung bei oftmals kleinen bis mittleren Stückzahlen wirtschaftlich begegnen zu können. Diese Technologie entwickelt sich mit Fortschreiten der Aufbereitung der keramischen Massen und Pulver sowie der Maschinenteknologie und Werkzeugverfeinerungen (exaktere Schneiden, beschichtete Werkzeuge etc.) immer weiter, da Faktoren wie Kantenstabilität der Preßlinge und Restwandstärken ständig verbessert werden, was wiederum filigranere Strukturen zulässt. Im Dialog mit dem Anwender lassen sich auf diesem Wege vielmals applikationsgerechte Hochleistungskeramiken einsetzen um eine sichere Funktionalität des Endproduktes zu gewähren.

Die verwendeten Vortragsfolien (Nr. 1 bis 26) finden sich auf den folgenden Seiten.

Kundenspezifische Bauteile

Problemlöser Keramik

Dr.-Ing. Torsten Weiß
BCE Special Ceramics GmbH
Mannheim



Prinzipielle Arbeitsweise



- Isostatisches Pressen eines (Vorform-)Grünlings
- CNC-Bearbeitung: Drehen, Bohren, Fräsen, Gewinde etc.
- Maßkontrolle > Freigabe zur Sinterung
- Sinterung > Rissprüfung > Maßkontrolle (as fired Bauteil) / QS
- schleifende Bearbeitung > Rissprüfung > Maßkontrolle / QS


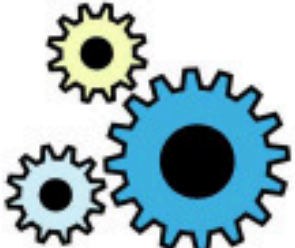
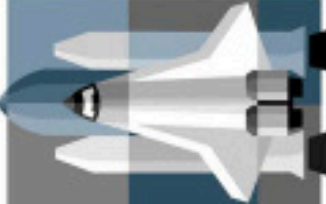




Vorteile / Einschränkungen

- + Hohe Werkstoffqualität
- + Prototypen / kleine Losgrößen ökonomisch herstellbar
- + Keine Werkzeugkosten für Press- / Spritzformen
- + Kurze Entwicklungszeiten für neue Bauteile
- + Anpassungsänderungen einfach möglich via CNC

- Fertigungsweise begrenzt Serienstückzahlen
- Komplexitätsgrad der Bauteile ist auf hohem Niveau eingeschränkter als im Vergleich zum Spritzguss

Beispielsbereiche



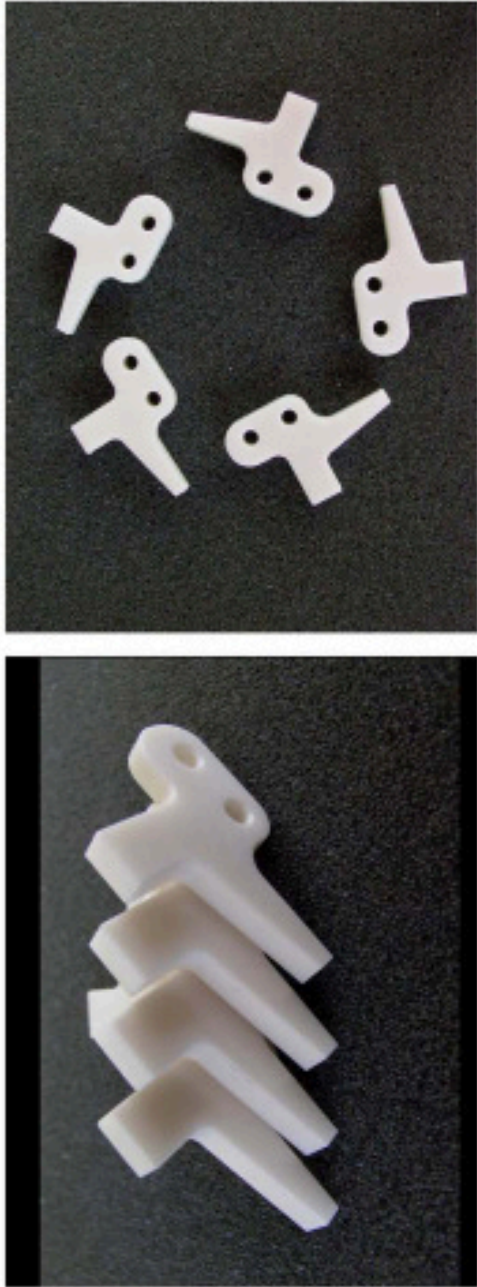
5.2 Problemlöser Keramik - Folie 4

Catch me if you can ...

- ☺ Bauteil aus dem Maschinenbau
- ☹ Herausforderungen: Elektrische Isolation, hohe Festigkeit, hohe Formgenauigkeit in der Serie, angemessener Preis...
- ☺ Antwort: Material ZrO_2 Y-TZP, isostatisch gepresst, geringfügige Anpassung der Toleranzen
- ☺ Vorteil: Grünfertigung statt Schleifbauteil
(Trockenpressbauteil hat mechanisch versagt)

think & ceramics
TECHNISCHE KERAMIK

Catch me if you can ...



The image displays two photographs of white ceramic components. The top photograph shows six individual pieces scattered on a dark surface. The bottom photograph shows five pieces stacked together, demonstrating their interlocking design. The text 'Catch me if you can ...' is positioned to the left of the images, and the 'think & ceramics' logo is in the top right corner of the slide.

5.2 Problemlöser Keramik - Folie 6

Bend me as you like ...

- ☺ Bauteil aus dem Maschinenbau
- ☹ Herausforderungen: Harter aber zäher Werkstoff, verschleißbeständig, sehr hohe Festigkeit
- ☺ Antwort: Material ZrO₂ Y-TZP, isostatisch gepresst, HIP nachverdichtet, sehr hohe Oberflächengüte
- ☺ Vorteil: Kontur weitgehend „grün“ gefertigt, wenig Schleifarbeit, hohe Politurgüte
- ☺ Radienanpassung an andere Belastungen und Durchmesser leicht möglich

Bend me as you like ...

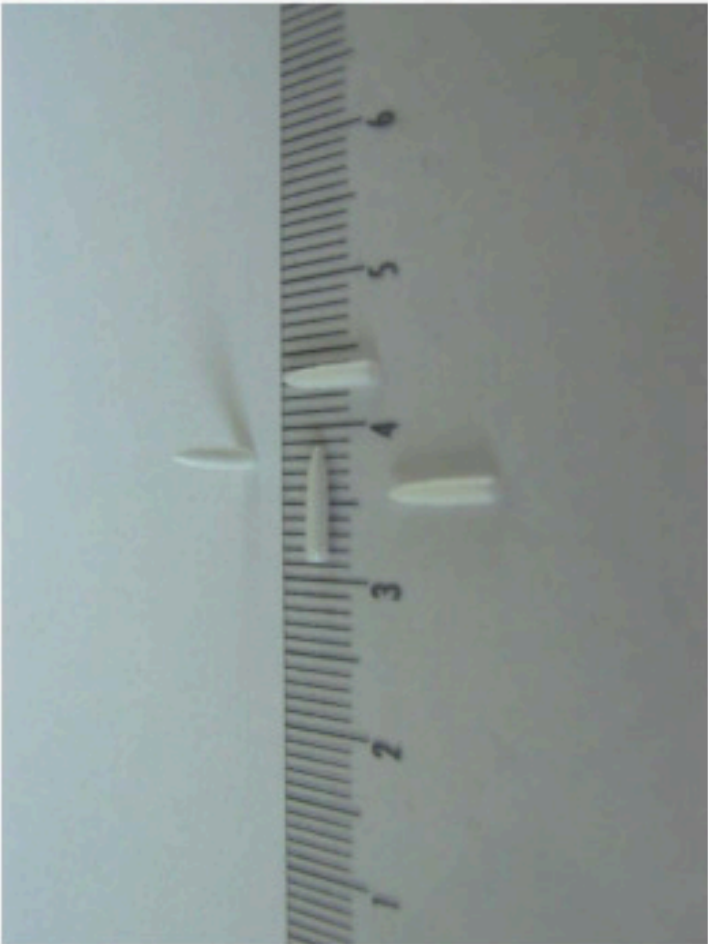



5.2 Problemlöser Keramik - Folie 8

Pick me up...

- ☺ Herausforderung:
- ☺ Mikromechanisch hochgenaue Positionierung (10 µm)
bei rel. großer Belastung aber kleinen Abmessungen,
korrosionsbeständig
- ☺ Positionierstift aus ZrO₂ Y-TZP HIP
- ☺ Präzisionsgeschliffen auf 5..10 µm
- ☺ Festigkeit ca. 1.200 MPa (4 pb)

Pick me up...



The image displays four small, white, rectangular ceramic samples of varying lengths and thicknesses, placed on a surface next to a metric ruler for scale. The ruler shows markings from 1 to 6 centimeters. The samples are positioned at approximately 3.5 cm, 4.2 cm, 4.8 cm, and 5.5 cm on the ruler.

5.2 Problemlöser Keramik - Folie 10

Twist and roll ...

- ☹ Konturgenaue Formrolle zur Highspeed-Blechformung
direkt im Schweißbereich bei minimalen Verschleiß
- ☹ Geringe Stückzahlen bei vielen Varianten
- ☺ Material ZrO_2 Mg PSZ, Radien grün vorgefertigt,
minimales Schleifen und Polieren der jeweiligen
Endradien

Twist and roll ...




5.2 Problemlöser Keramik - Folie 12

Heavy duty...

- ☹ Herausforderung:
- ☹ Hochgenaue, schwimmende Lagerung von Nockenwellen zur automatischen Vermessung und Auswuchtung, bei minimalen Verschleiß
- ☺ Material ZrO_2 Y-TZP, Bohrungen grün gefertigt, Schleifen der jeweiligen Radien

Heavy duty...

think & ceramics
TECHNISCHE KERAMIK



The image contains two photographs of a white, curved ceramic component. The top photograph shows the component resting on a blue, textured surface, possibly a metal mesh or a specific material. The bottom photograph shows the same component resting on a green, porous foam surface. The component has a small, dark mark on its top surface and some faint markings on its side.

5.2 Problemlöser Keramik - Folie 14

Turn me around...

- ☺ Meßhilfsmittel in der chem. Analyse NMR
- ☺ Hochpräzise Konzentrizität (2 µm) und Abmaße
- ☺ Hochbelastetes Bauteil
(Zugspannungen durch Rotation mit 18 kHz)

- ☺ Materialien: ZrO_2 -Y-TZP / Si_3N_4 (unmagnetisch!)
- ☺ Präzisionsschleifen und Honen auf Endmaße
- ☺ Aufwändige QS: Rotationsprüfung und Prüfmaße

Turn me around...



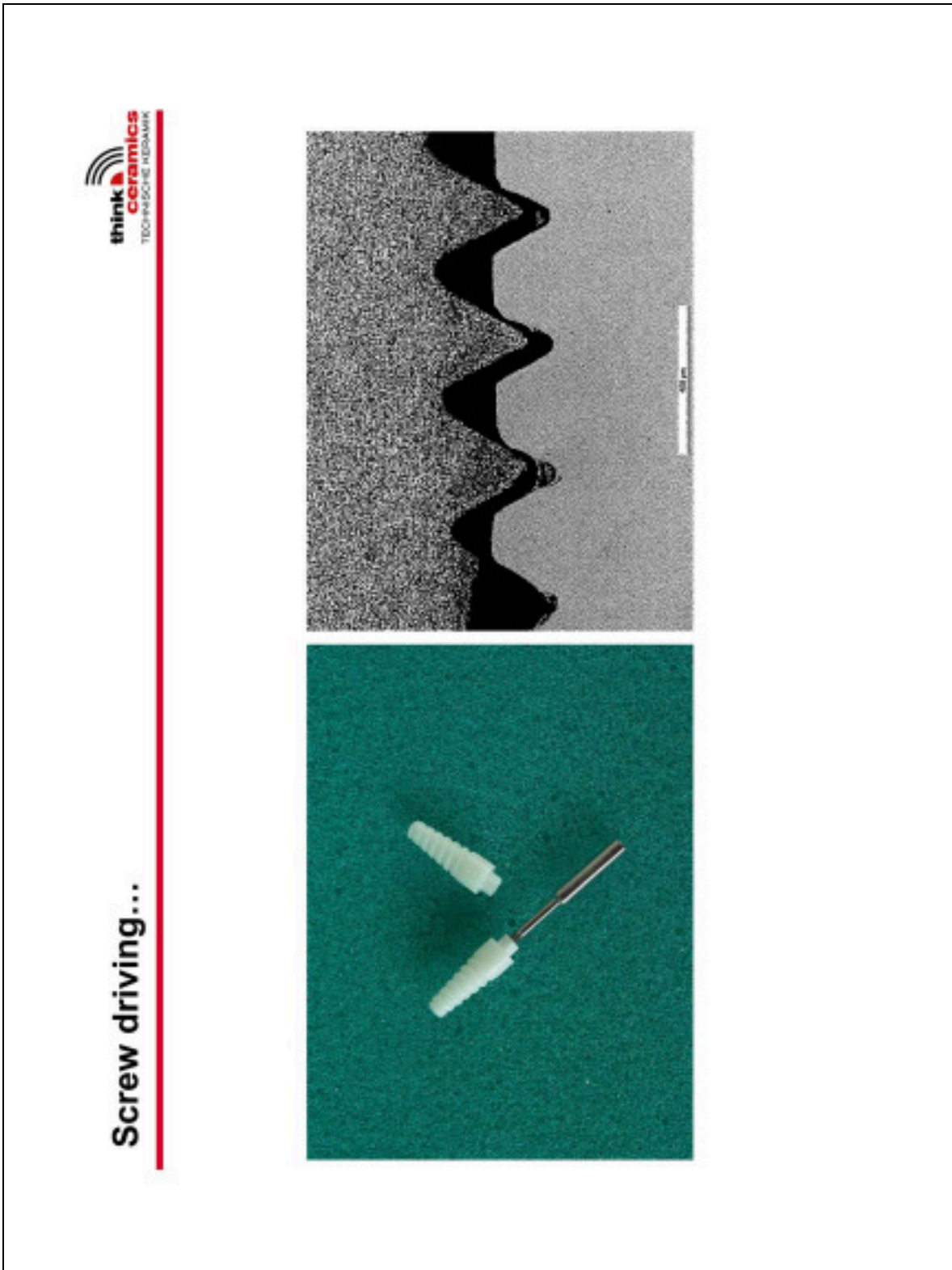
think & ceramics
TECHNISCHE KERAMIK

The image shows five white ceramic tubes of varying lengths and diameters arranged on a green textured surface. One tube at the top right has a black ring near its end. The text 'Turn me around...' is written vertically on the left side of the slide, and the 'think & ceramics' logo is at the bottom left.

5.2 Problemlöser Keramik - Folie 16

Screw driving...

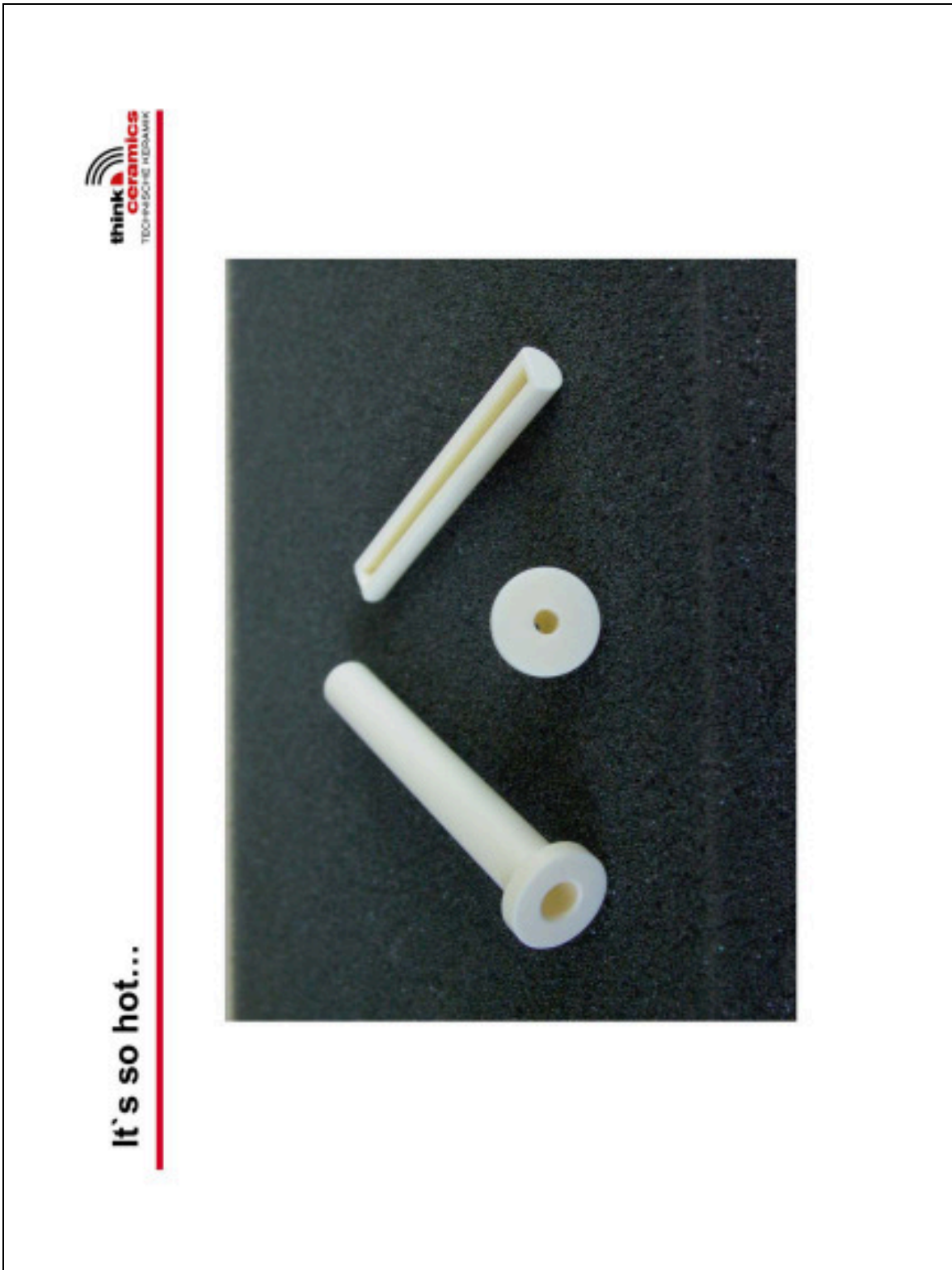
- ☹️ Gewinde in Keramik? Außen / Innen ??
- ☹️ Miniaturisierung in der Medizintechnik erfordert kleines Innengewinde M 1,6
- ☹️ Bauteil muss Zulassung als Implantat erhalten können
- ☺️ Spezial stabilisiertes ZrO_2 Y-TZP HIP (ISO 13356)
- ☺️ Gewinde und Konturen „grün“ gefertigt
- ☺️ Genauigkeit bei ca. 15..20 μm



5.2 Problemlöser Keramik - Folie 18

It's so hot...

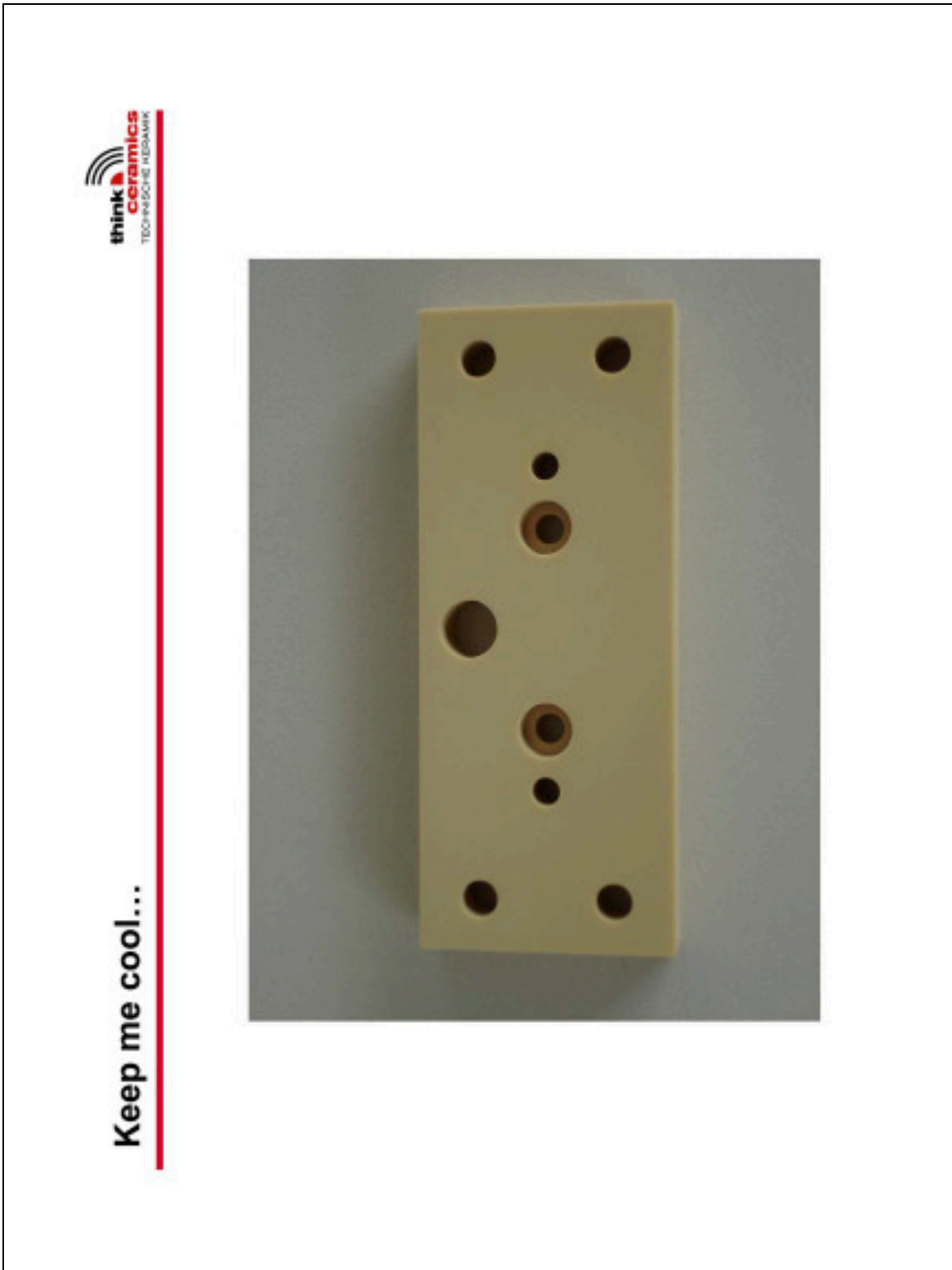
- ☺ Hochreines Material, Temperaturbeständig bis über 1.700 ... 1.800 °C im Ultrahochvakuum
- ☺ Geometrie: Exakter schlanker Tiegel mit Bund und andere Bauteile
- ☺ Material: Synthetisches Al_2O_3 99,99%
- ☺ Grünfertigung mit Sonderwerkzeugen und schleifender Nachbearbeitung



5.2 Problemlöser Keramik - Folie 20

Keep me cool ...

- ☹ Temperaturbarriere im Bereich 150 bis 300°C, geringe Wärmeleitfähigkeit
- ☹ Variantenreichtum des Bohrschemas bei mittlerer Stückzahl
- ☺ Material: ZrO₂ Mg PSZ mit ca. 2 W/mK
- ☺ CNC Grünfertigung und schleifender Nachbearbeitung zum planen



5.2 Problemlöser Keramik - Folie 22




Inside out...

- ☺ Elektrische Durchführungen von Meßsignalen in [mV] bis Hochstrom [A]
- ☺ Vakuum- oder Heliumdicht, autoklavierbar, temperaturbeständig bis 450 °C
- ☺ Keramische Inlays aus Al_2O_3 99,5 %
- ☺ Bis zu 24 Bohrungen \varnothing 0,4 auf \varnothing 9 mm
- ☺ Metallische Fassungen aus Sonderstählen / Titan
- ☺ Partner für die Aktiv- / Lötungen

Inside out...

think ceramics
TECHNISCHE KERAMIK

Circular feedthroughs with post-out plugs



5.2 Problemlöser Keramik - Folie 24



Many more to come...





Fazit für gemeinsame Wertschöpfung...

- ☺ Kundenorientierter Dialog
- ☺ Gemeinsames, rechtzeitiges Design
- ☺ Sorgsame Werkstoffauswahl
- ☺ Fertigungsstrategie(n)
- ☺ Prototypen / Muster > Auswertung
- ☺ Erfolgreiches Produkt...