

2.2 Von der Idee zum Serienprodukt an Beispielen aus Oxidkeramik

- Alexander Heitmann
Friatec AG
FRIALIT[®]-DEGUSSIT[®]/F30
Mannheim

Die Folien finden Sie ab Seite 82.

2.2.1. Einleitung

Bei der Werkstoffauswahl für die Herstellung einzelner Maschinenelemente fällt die Wahl bei immer neuen Anwendungsfällen auf die Keramik. Für den Maschinenbauer der traditionell "in Stahl denkt" wird das Leben dadurch nicht einfacher. Die in der Tabelle aufgeführten Physikalischen Werkstoffdaten sind richtig zu interpretieren, damit eine geeignete Lösung für das entsprechende Problem gefunden wird.

Häufig stellt die Verbindungstechnik mit den meist metallischen Komponenten einer Anlage hohe Anforderungen an die Konstruktion. Die unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten und die mit der hohen Härte verbundene Sprödigkeit der Keramiken sind in die Überlegungen über die Ausführung einzubeziehen.

2.2.2. Werkstoffeigenschaften

Herausragende Eigenschaften der Hochleistungskeramiken sind:

- Verschleißfestigkeit
- Außerordentliche Härte
- Gleitverhalten (Oberfläche)
- niedriges spezifisches Gewicht
- Korrosionsbeständigkeit
- Hochtemperaturfestigkeit

- Elektrische Eigenschaften

Diese Eigenschaften stehen einem erhöhten Preisniveau und der Notwendigkeit der konstruktiven Anpassung gegenüber. Meist wird der Nachteil des höheren Preises nur dann kompensiert, wenn ein Bauteil dem Werkstoff mehrere der oben genannten herausragenden Eigenschaften abverlangt. Gute Gleiteigenschaften sind bei Gleitlagern häufig bei zusätzlichem korrosivem Angriff erforderlich. Es gibt günstigere Werkstoffe, die gute Gleiteigenschaften zeigen. Es gibt auch viele wesentlich günstigere Materialien, die ausreichend korrosionsbeständig sind. Wenige jedoch vereinen beispielsweise diese beiden Eigenschaften in einem Werkstoff sodass die Korrosionsbeständigkeit und Gleiteigenschaften und Hochtemperaturfestigkeit und... gegeben sind.

2.2.3. Konstruktion

Die Konstruktion eines keramischen Maschinenelementes sieht grundsätzlich anders aus, als die Konstruktion des entsprechenden Teils aus Metall. So würde auch der akribische Nachbau einer Holzbrücke aus Beton auch lächerlich wirken.

Die Konstruktion berücksichtigt den Werkstoff schon immer in erheblichem Maße und so ist es auch bei den keramischen Werkstoffen. So wirken Keramikhersteller bei der Auslegung von neuen kundenspezifischen Bauteilen mit. Der Keramikhersteller gibt Hinweise über die Grundregeln der Keramikgerechten Konstruktion und berät den Anwender. So ist es für Anwendungstechniker in der keramischen Industrie häufig erforderlich sich intensiv mit den Aufgabenstellungen der Kundenkonstruktion auseinanderzusetzen.

Für die Auslegung eines neuen Bauteils ist die Auswahl des geeigneten Fertigungsverfahrens häufig maßgebend. So ist für den Anwender die Kenntnis der verfügbaren Fertigungsverfahren von Vorteil. Die Auswahl des geeigneten Verfahrens ist von entscheidender Bedeutung für Qualität, Funktion und Preis des Produktes. Maßgebliche Einflussfaktoren sind hier Geometrie, Toleranzen, eingesetzter Keramikwerkstoff und anzufertigende Stückzahl.

Im Folgenden wird der Werdegang von keramischen Bauteilen aufgezeigt.

2.2.4. Formgebungsverfahren

2.2.4.1. Formgebung

2.2.4.1.1. Trockenpressen

Oberstempel und Unterstempel verpressen in Matrizen Granulat zu einem Grünling, der kreideähnliche Festigkeit hat. In der Regel wird der Grünling ohne weitere Bearbeitung gebrannt wodurch er seine außerordentliche Härte erhält. Die Endbearbeitung durch Diamantwerkzeuge erfolgt anschließend.

Dieses Verfahren ist wegen anfallenden Werkzeugkosten vor allem für große Serien bei einfacheren Geometrien wie Dichtscheiben, Ringe und Platten geeignet. Außenkonturen und Bohrungen können werkzeugtechnisch frei gestaltet werden, wohingegen Hinterschneidungen mit diesem Verfahren nicht realisiert werden können.

2.2.4.1.2. Isostatisches Pressen

Auch hier wird ein Granulat verpresst. Flüssigkeit überträgt über eine Gummiform den Pressdruck auf das Pulver. Große Bauteile können so gefertigt werden. Dieses Verfahren eignet sich auch für die Kleinserien- sowie Prototypenfertigung. Eine Nachbearbeitung im Grünzustand (grün = vor dem Brennen) ist in der Regel erforderlich.

2.2.4.1.3. Strangpressen

Das Strangpressen (Extrudieren, Ziehen) verwendet als Bindemittel organische Leime, die dem Pulver beigemischt werden. Es entsteht ein plastisch verformbare teigähnliche Masse, die durch eine Düse zu einem Strang gepresst wird. Der entstehende Strang wird getrocknet und gesintert (gebrannt).

Rohre Stäbe und Kapillare werden in diesem Verfahren hergestellt.

2.2.4.1.4. Spritzgießen

Das Verfahren entspricht weitgehend dem bekannten Spritzguss von gefüllten Kunststoffen. Nach dem Spritzen wird der Kunststoffanteil jedoch chemisch oder thermisch entfernt. Der verbleibende „Füllstoff“ wird gebrannt und so zu einem dichten keramischen Bauteil. Klein-

bauteile mit aufwändiger Geometrie werden in meist größerer Serie nach diesem Verfahren hergestellt. Die anfallenden Werkzeugkosten für ein kundenspezifisches Bauteil sind hoch.

2.2.4.1.5. Schlickergießen

Das keramische Pulver wird in Wasser suspendiert in eine entsprechende Gipsform gegeben. Der Gips entzieht der Suspension das Wasser und das verbleibende Pulver wird ähnlich einem Filterkuchen verdichtet und ein Bauteil entsprechend der Gipsform entsteht. Tiegel und Schiffchen für Hochtemperaturanwendungen werden u. a. so in kleiner bis mittlerer Serie hergestellt.

2.2.4.2. Bearbeitung vor dem Brand

Nach oben beschriebenen Systemen hergestellte Bauteile haben eine Festigkeit, die man mit der von Kreide vergleichen kann. Eine Bearbeitung in diesem Zustand ist möglich und besonders für die Herstellung kleinerer Serien beliebt. Es werden aus der Metallbearbeitung bekannte spanabhebende Verfahren wie Drehen, Fräsen und Bohren eingesetzt.

2.2.4.3. Sintern (Brennen)

Hier erfolgt die eigentliche Verdichtung durch Temperaturbehandlung unterhalb des Schmelzpunktes des Pulvers. Der Sinterprozess ist mit einem Volumenschwund von 30-50% verbunden. Die Schwindung ist von Brenntemperatur, Brandführung, Vorverdichtung und der Zusammensetzung des Granulates abhängig. Die Vorausberechnung gelingt abhängig vom Fertigungsverfahren mit einer Genauigkeit von $\pm 1-5\%$.

2.2.4.4. Nachbearbeiten (Hartbearbeiten)

Mit dem Sintern ist die Herstellung des Werkstoffs und des oxidkeramischen Bauteils zunächst abgeschlossen.

Für viele Anwendungen in der Technik werden jedoch Bauteile benötigt, deren Anforderungen an Genauigkeit und Oberflächenbeschaf-

fenheit ohne Nachbearbeitung nicht erfüllt werden. In diesen Fällen wird eine Hartbearbeitung erforderlich.

Für die Hartwerkstoffe stehen Verfahren wie Schleifen, Läppen, Honen und Polieren zur Verfügung.

Da die Nachbearbeitung zeit- und kostenintensiv ist wird versucht endformnah (near netshape) zu brennen. Eine sorgfältige Abklärung der Anforderungen und des Einsatzfalls kann Nacharbeiten auf das funktionsbedingte Minimum reduzieren.

2.2.5. Anwendungsbeispiele

2.2.5.1. Mini Mühle mit großer Wirkung

„So klein und schon eine Perlmühle“, könnte man das Projekt umschreiben. Dieses Mini-Aggregat wurde für die Aufmahlung von Proben im Labormaßstab konstruiert und gefertigt.

Funktion:

Das Mahlgut wird mit Wasser und Mahlperlen (aus Keramik) in den Mahlbecher eingefüllt, der gerade einmal das Format einer Kaffeetasse hat. Ein Keramik-Zylinder rührt dann mit bis zu 10.000 upm in diesem Becher. Durch die entstehende Reibung wird das Mahlgut zerkleinert.

Für verschiedene Anwendungsfälle arbeitet man an der Herstellung von extrem feinen Pulvern und Stoffsystemen.

Bei Neuentwicklungen stehen häufig nur geringste Mengen an aufwendig hergestelltem Mahlgut zur Verfügung und entsprechend kleine Mühlen werden dann gebraucht. Bei diesen kleinen Mengen ist jeder Abrieb, der im Aggregat durch Abrasion entsteht, besonders lästig und kann leicht Einfluss auf das Untersuchungsergebnis haben. Um dies weitgehend zu vermeiden wurde in der Keramik ein Werkstoff gefunden, der die Anforderungen erfüllt.

Anforderungen:

- **Verschleißfestigkeit**
Die produktberührenden Bereiche sind einer extrem verschleißenden Atmosphäre ausgesetzt.
- **Chemisch inert**
Wie auch bei Tiegeln und anderen produktberührenden Materialien im Laborbereich und der chemischen Industrie ist eine chemische Inertheit Voraussetzung für den Einsatz. Auch wenn es einen geringen Abrieb gibt, sollte der Versuchsergebnisse nicht verfälschen. Dies wird mit Werkstoffen erreicht, die eine außerordentliche Korrosionsbeständigkeit aufweisen.
- **Wärmeleitfähigkeit**
Durch den Mahlprozess entsteht Wärme, die an das Kühlmedium abgeführt wird, um eine konstante Prozesstemperatur zu erreichen. Die Wärme wird durch die Wandung des Bechers abgeführt und an die Kühlflüssigkeit übergeben. Somit wird ein Bechermaterial mit ausreichender Wärmeleitfähigkeit benötigt.
- **Biegebruchfestigkeit**
Welle und Rotor wurden aus einem Stück gefertigt um produktberührte Fügestellen zu vermeiden. Insbesondere für die Welle wird ein Material mit erhöhter Biegebruchfestigkeit gefordert. Es wurde MgO stabilisiertes Zirkonoxid gewählt. Die geringe Wärmeleitfähigkeit dieses Materials verhindert zudem eine zu starke Wärmeübertragung über die Welle zur Wellendichtung und zum Antrieb hin.

2.2.5.2. Pressmatrizen

Gegenläufige Stempel verpressen in Hülsen (Matrize) unter hohem Druck Pulver zu Tabletten. Die Wandreibung im Inneren der Matrize führt durch ein Zusammenwirken von Korrosion und Abrasion zu einem starken Verschleiß an der Matrizenbohrung.

Dem Reibverschleiß und chemischen Angriff widersteht Oxidkeramik deutlich besser als Metall. Durch den hohen Innendruck tritt jedoch eine Sprengkraft auf, die für eine rein keramische Hülse problematisch werden kann.

Die Lösung:

Eine eingeschrumpfte Keramikhülse minimiert den Reibverschleiß und den korrosiven Angriff, wohingegen der hohe Innendruck durch eine aufgeschrumpfte Metallbuchse aufgenommen wird.

Erfolgreich hat sich diese partnerschaftliche Aufgabenteilung von Metall und Keramik bereits bei der Batterieherstellung durchgesetzt. Weitere Anwendungsgebiete in der pharmazeutischen sowie der Lebensmittelindustrie werden untersucht.

Neben den oben aufgeführten Beispielen werden weitere im Rahmen des Vortrags erläutert.

Die Beispiele zeigen Einzellösungen, die Anregung zu anderen Einsatzfällen mit Hochleistungskeramik geben können.

Die verwendeten Vortragsfolien (Nr. 1 bis 25) finden sich auf den folgenden Seiten.

***Von der Idee zum Serienprodukt
an Beispielen aus Oxidkeramik***

Alexander Heitmann
FRIATEC AG
Division FRIALIT®-DEGUSSIT® /F30
Mannheim



Werkstoffdaten



Eigenschaft	Einheit	Aluminiumoxid		Zirkonoxid		Siliziumkarbid	Siliziumnitrid	Siliziumnitrid
		99,70% F99,7	10%ZrO ₂ FZT	MgO teilstab. FZM	Y2O3 stab. FZMK			
Dichte	g/cm ³	15	4,10 - 4,15	5,7	6,0 - 6,1	3,1	3,2	3,25
Härte (Knoop, 100 g)	N/mm ²	23.000	23.000	17.000	18.000	21.000	17.000	17.000
Druckfestigkeit	N/mm ²	3.500	3.000	2.000	2.200	1.200	3.000	3.000
Biegebruchfestigkeit (4-Punkt)	N/mm ²	350	450	500	800	350	750	750
Elastizitätsmodul	10 ⁵ N/mm ²	3,8	3,6	2	2	3,3	3,2	3,2
Weibull-Modul (m)	-	> 10	> 10	> 20	> 15	> 10	> 20	> 20
Poisson-Zahl	-	0,22	0,23	0,3	0,3	0,2	0,26	0,28
offene Porosität	%	0	0	0	0	< 1	0	0
Maximale Einsatztemperatur	°C	1.950	1.700	900	1.200	1.400	1.400	1.400
Ausdehnungskoeffizient	10 ⁻⁶ /K	8,5	8	10	11	4,4	3,2	3,2
Spezifische Wärme 20 °C	J/kgK	900	850	400	400	900	800	800
Wärmeleitfähigkeit 100 °C	W/mK	30	25	2,5	2,5	90	40	40
Spez. Widerstand 20 °C	Ω cm	10 ¹⁴	10 ¹⁴	10 ¹⁰	10 ¹⁰	10 ⁻¹	10 ¹⁰	10 ¹¹
Farbe	-	weiß	weiß	gelb	weiß	schwarz	schwarz	schwarz

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

Allgemeiner Hinweis:
Die in der Tabelle mitgeteilten Daten gelten für Prüfkörper, an denen sie ermittelt wurden. Eine Übertragung auf andere Bauteile ist daher nur bedingt zulässig. Für weitere Beratungen sowie zur Lösung Ihrer anwendungstechnischen Probleme stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung.

Eigenschaften

think ceramics
TECHNISCHE KERAMIK

Stärken:
Härte
Druckfestigkeit
Verschleißfestigkeit
Gleiteigenschaften
Hochtemperaturbeständigkeit
elektrische Isolation
Korrosionsbeständigkeit
geringe Adhäsion

Nicht so stark:
Schlagzähigkeit
Temperaturwechselbeständigkeit
Preis

2.2 Von Idee zum Serienprodukt - Folie 3



Milling

2.2 Von Idee zum Serienprodukt - Folie 4

Aufarbeitung für die Verarbeitung



Angestrebte Eigenschaften:

- Rieselfähigkeit
- gleichmäßige Schüttdichte
- verpressbare Granulate
- Festigkeit der Grünlinge
- Grünbearbarkeit
- vollständiges Ausbrennen



Granulat wird in Behälter gefüllt



Was?

2.2 Von Idee zum Serienprodukt - Folie 6

Formgebung



- Trockenpressen
- Isostatisches Pressen
- Strangpressen
- Schlickerguß
- Spritzguß

2.2 Von Idee zum Serienprodukt - Folie 7

Pressen



Füllen



Pressen



Ausstoßen

Angestrebte Eigenschaften:

- endkonturnahe Geometrie (near netshape)
- gleichmäßige Grunddichte
- verpressen der Granulate (keine Granulatstrukturen)
- Grünbearbeitbarkeit
- rissfreier Grünling



Isostatisches Pressen



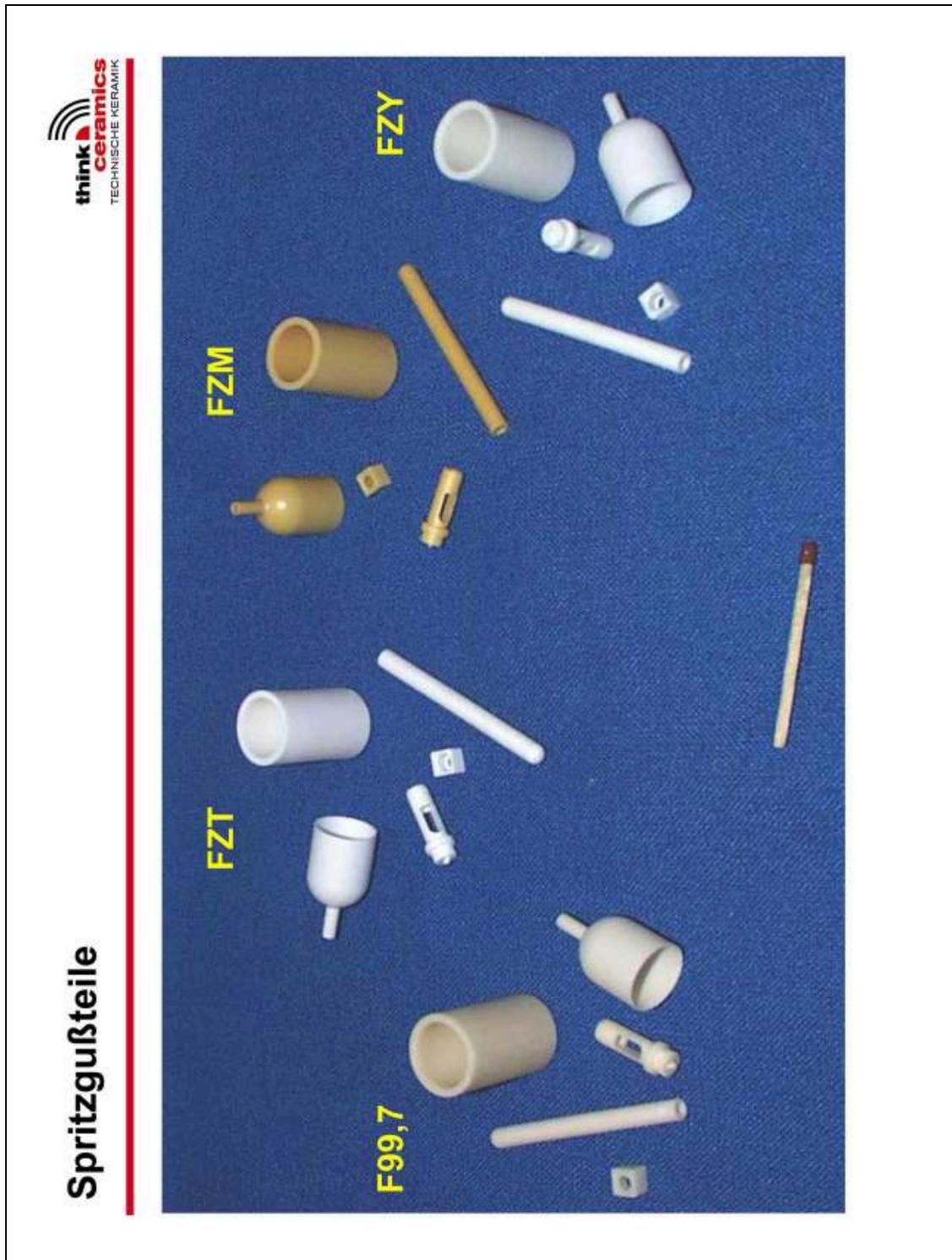
2.2 Von Idee zum Serienprodukt - Folie 9

Spritzgießen



2.2 Von Idee zum Serienprodukt - Folie 10

Vortragsblock 1



2.2 Von Idee zum Serienprodukt - Folie 11

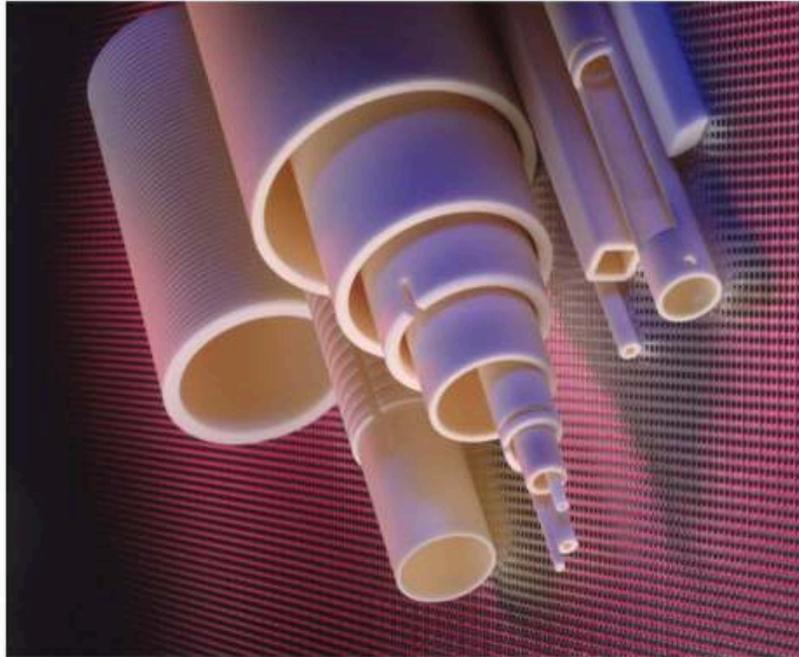
Extrusion - Schneckenpresse



2.2 Von Idee zum Serienprodukt - Folie 12

Vortragsblock 1

think
ceramics
TECHNISCHE KERAMIK



Rohre

2.2 Von Idee zum Serienprodukt - Folie 13

Grünbearbeitung



Angestrebte Eigenschaften:

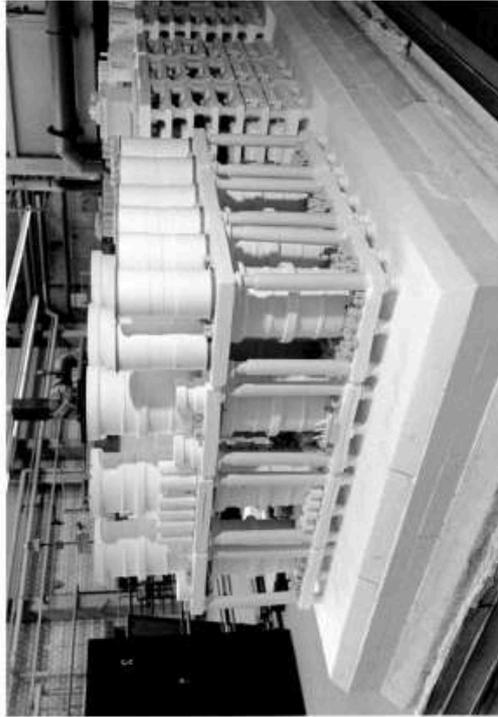
- endkonturnahe Geometrie
(near netshape)

Brennen / Sintern



Angestrebte Eigenschaften:

- dicht gebranntes Werkstück
- hohe Enddichte
- angemessenes Kornwachstum



Kontrolle



Farbeindringverfahren



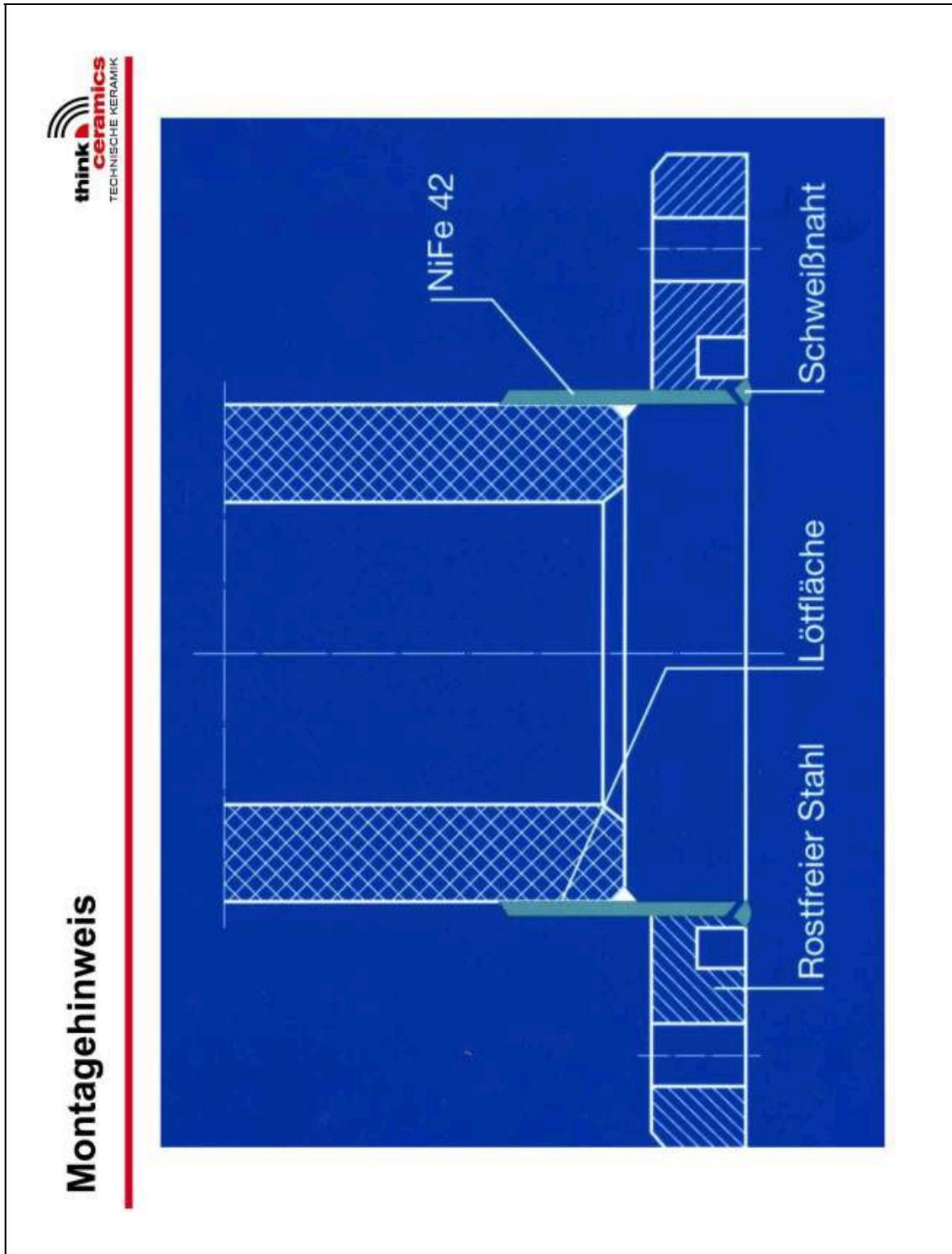
Maßkontrolle mit 3D-Messmaschine

Nassbearbeitung



CNC gesteuerte Rundscheifmaschine

2.2 Von Idee zum Serienprodukt - Folie 17

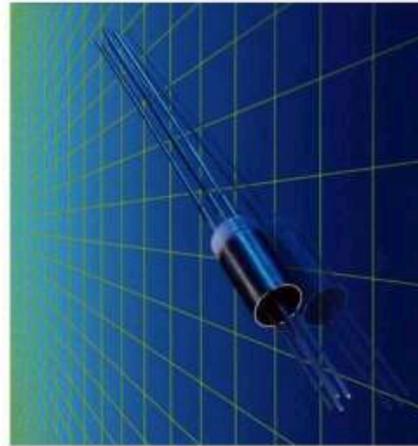
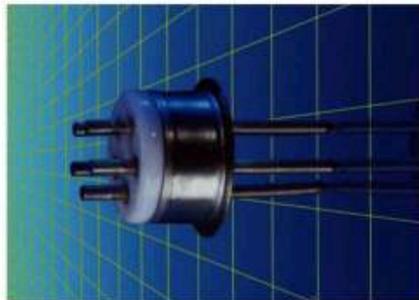
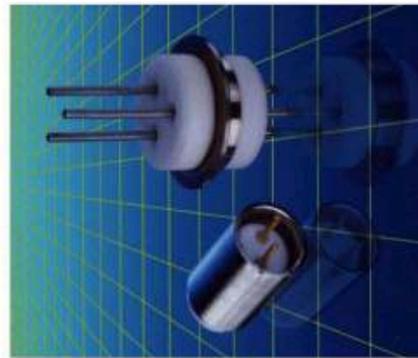


2.2 Von Idee zum Serienprodukt - Folie 18

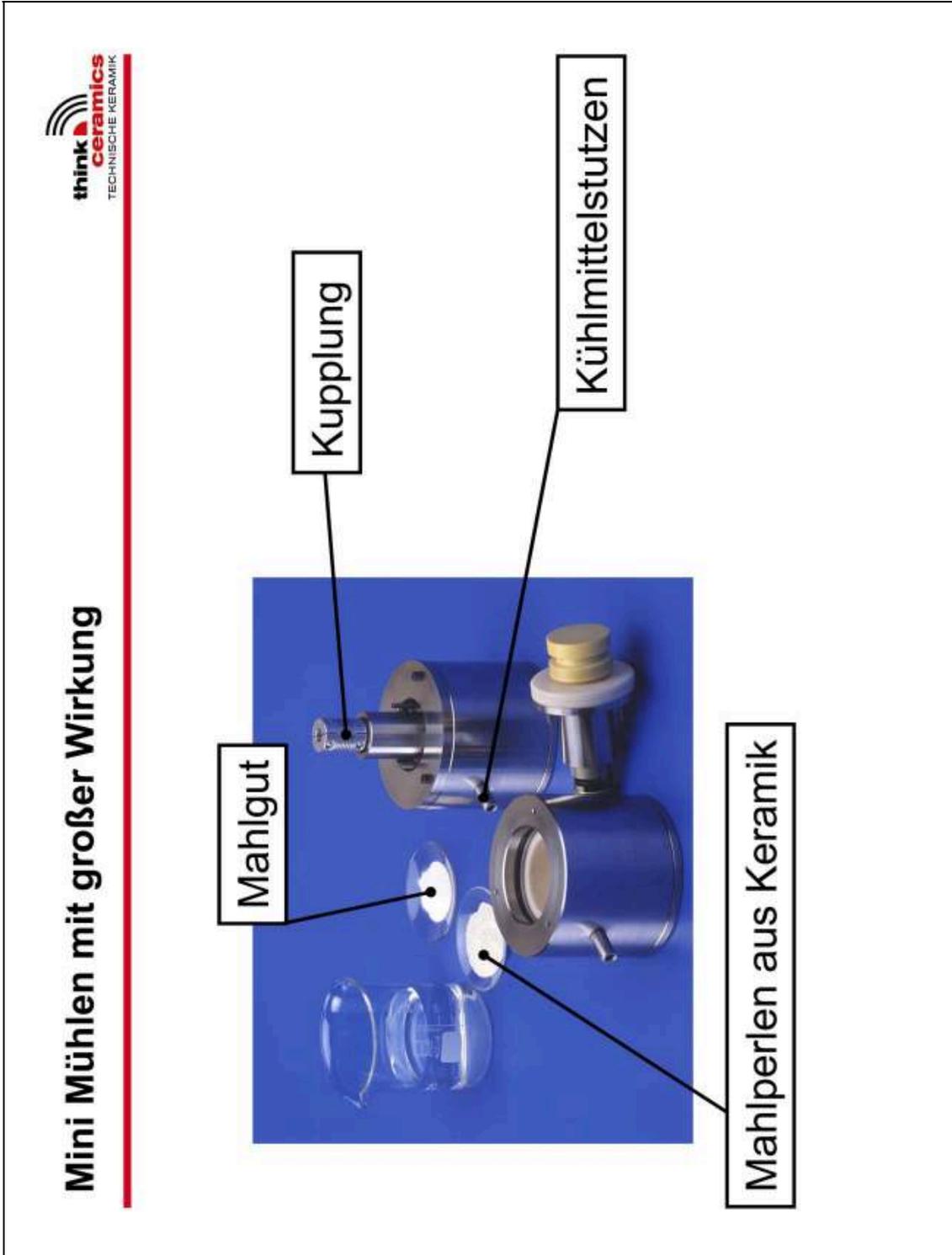
Vortragsblock 1



Einsatzbereich: Ofenbau



2.2 Von Idee zum Serienprodukt - Folie 19



2.2 Von Idee zum Serienprodukt - Folie 20

think ceramics
TECHNISCHE KERAMIK

Mini Mühlen mit großer Wirkung

Materialauswahl

Gehäuse aus Metall

Rotor mit Welle aus ZrO_2

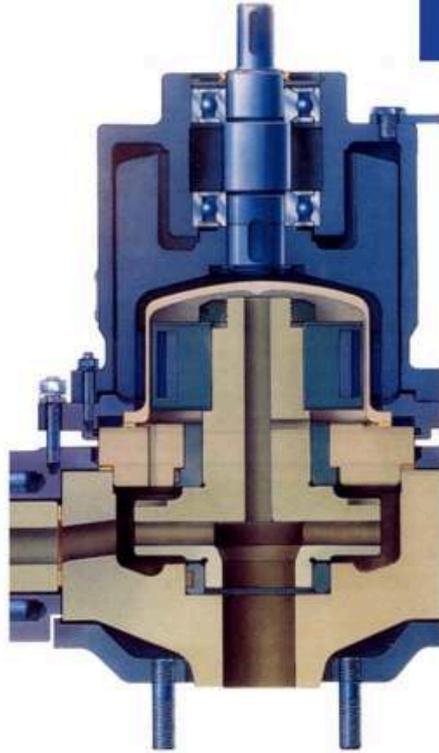
Mahlbecher aus Al_2O_3



The image shows a disassembled mini mill on a blue background. The components are: a metal housing (Gehäuse aus Metall), a rotor with a shaft made of zirconium dioxide (Rotor mit Welle aus ZrO_2), and a grinding cup made of aluminum oxide (Mahlbecher aus Al_2O_3). A central oval labeled 'Materialauswahl' points to the rotor and grinding cup. The logo 'think ceramics TECHNISCHE KERAMIK' is in the top left, and the title 'Mini Mühlen mit großer Wirkung' is in the top right.

2.2 Von Idee zum Serienprodukt - Folie 21

Spalttopf



Magnetgekoppelte Kreiseispumpe

Eigenschaften

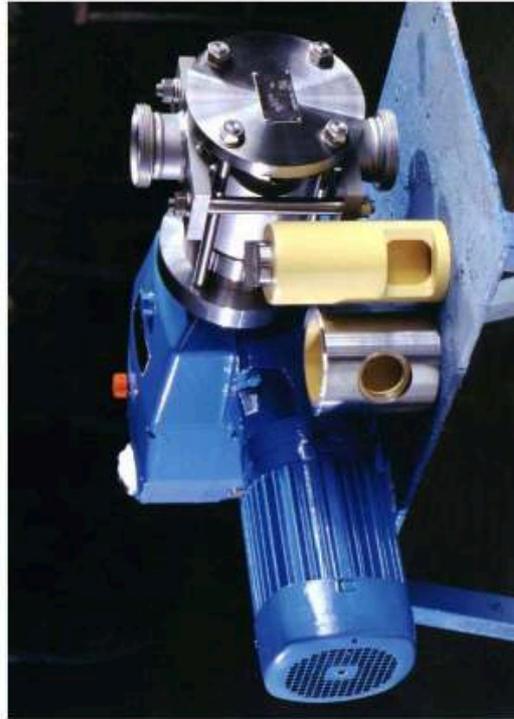
- nicht magnetisierbar
- Korrosionsbeständigkeit
- keine elektrostatische Aufladung





Eingesinterter Platiniumelektrode

Dosieren



Eigenschaften

- Lebensmittelverträglichkeit
- Korrosionsbeständigkeit
- Abrasionfestigkeit
- Formhaltigkeit
- Gleiteigenschaften

Großbauteile



F99,7 Plunger
Ø 120/26x610mm
für Erdölförderung

2.2 Von Idee zum Serienprodukt - Folie 25