

### 3.3 Keramikanwendungen im Maschinenbau

- Alexander Heitmann  
Friatec AG  
FRIALIT<sup>®</sup>-DEGUSSIT<sup>®</sup>/F30  
Mannheim

*Die Folien finden Sie ab Seite 226.*

#### 3.3.1. 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.

#### 3.3.2. 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 gegeben sind.

### **3.3.3. 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.

### **3.3.4. Formgebungsverfahren**

#### **3.3.4.1. Formgebung**

##### **3.3.4.1.1. 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.

##### **3.3.4.1.2. 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.

##### **3.3.4.1.3. 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.

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

#### **3.3.4.1.5. 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.

#### **3.3.4.2. 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.

#### **3.3.4.3. 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  $\pm 1-5\%$ .

#### **3.3.4.4. 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.

### 3.3.5. Anwendungsbeispiele

#### 3.3.5.1. 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 Fügstellen 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.

### 3.3.5.2. 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.

### 3.3.5.3. Spalttopf

Für Kreiselpumpen in der chemischen Industrie ist die Abdichtung der Welle gegen den Antrieb ein zentrales Thema. Die Stopfbuchspackung, die ein komprimiertes Gewebepaket an der Welle zur Dichtung reiben lässt war über Jahrzehnte hinweg eine mehr oder weniger zufriedenstellende Lösung von diesem Problem. In vielen Anwendungen löste die Gleitringdichtung die Stopfbuchspackung ab. Plan- und geläppte Gleitflächen aus Kohle gegen Keramikringe dichten die bilden bei dieser Dichtungsanordnung die Reibpartner. Diese Technologie hat der technischen Keramik eine Anwendung mit enormem Potential eingebracht. Der Werkstoff Aluminiumoxid wurde aufgrund der erforderlichen Temperaturwechselbeständigkeit durch SiC weitgehend abgelöst. In jeder Waschmaschine dichten Keramikringe der die Welle der Laugenpumpe.

Der Stopfbuchspackung und der Gleitringdichtung sind einige Dinge gemeinsam, die zu der Entwicklung von fortgeschrittenen Dichtungssystemen Vorschub geleistet haben. Eine wenn auch geringe aber dennoch vorhandene Tropfleckage und ein nicht zu unterschätzender Wartungsbedarf!

Die Magnetkopplung stellt eine hermetische Dichtung dar, die absolut Dicht ist und keinen Wartungsaufwand erfordert. Diesen Stärken steht der erhöhte technische Aufwand für das System gegenüber.

Bei der Magnetkopplung wird die Antriebswelle geteilt ausgeführt. Auf einer kurzen Welle sitzt in einem hermetisch abgedichteten Gehäuse auf dem einen Wellenende das Pumpenlaufrad in Position zu Einlass und Auslass. Auf dem anderen Wellenende sitzt ein Magnet, der von dem sogenannten Spalttopf umgeben wird. Um diesen Spalttopf rotiert ein angetriebener Magnet, der den inneren Magnet mit der kurzen Welle und dem Pumpenlaufrad durch das entstehende magnetische Feld mitreißt.

Die Kurze Welle ist mediengeschmiert mit keramischen Werkstoffen gelagert.

Spalttöpfe werden in Zirkonoxid gefertigt, da dieses Material nicht magnetisierbar ist und somit keine elektrischen Ströme mit der verbundenen Wärmeentwicklung induziert werden. Die mechanische Festigkeit erlaubt die erforderlichen Druckbereiche bis 60bar. Nach dem die Reduzierung der Wandstärke auf bis zu 0,5mm gelungen ist, kann auch ein Austausch der metallischen Töpfe durch die Keramikausführung ohne grundlegende konstruktive Änderungen erfolgen.

#### **3.3.5.4. Durchflussmesser**

Lebensmittel, Chemie, Pharmazeutika und vieles mehr werden als Flüssigkeit durch Rohrleitungen gepumpt und man will immer genauer wissen, wie viel gefördert wurde. Neben der Füllstandsmessung für Lagerbestände in Behältern hat die Durchflussmessung eine zentrale Bedeutung. Flügelrad- und Ovalradzähler sind Messprinzipien, die dem fließenden Medium einen deutlichen Widerstand entgegensetzen und bewegte Teile sind wartungsintensiv und störanfällig.

Bei dem magnetisch induktiven Durchflussmesser steht dem Medium der ganze Rohrquerschnitt zur Verfügung. In einen Keramikrohrkörper werden gegenüberliegend Elektroden eingebracht, die ein magneti-

sches Feld bilden. Die Flüssigkeit, die durch das Rohr fließt, stört dieses Feld, wodurch dann ein auswertbares Signal für den Durchfluss entsteht. Die Messung erfolgt mit einer Genauigkeit von 0,2%.

Die hier eingesetzten Keramikrohrkörper wurden über viele Jahre hinweg optimiert. Die Elektroden werden vor dem Sintern eingebracht und werden durch die Sinterschwindung sozusagen eingeschrumpft. Als Elektrodenmaterial ist aufgrund der hohen Sintertemperaturen nur Platin geeignet.

### 3.3.5.5. Dosieren

Lebensmittel und Pharmazeutika werden wie auch Reinigungsmittel und Parfüm mit sogenannten Drehkolbenpumpen in die haushaltsüblichen Verpackungseinheiten abgefüllt.

Die Drehkolbenpumpe ist konstruktiv so aufgebaut, dass sie mit einem bewegten Teil auskommt und so eine ausgesprochene Wartungsfreundlichkeit erreicht wird. Der Förderkolben hat einseitig eine Abflachung oder einen Durchbruch. Der Zylinder hat gegenüberliegend je eine Einlass- und eine Auslassbohrung. Je nach Ausrichtung des Kolbens ist die gewünschte Bohrung frei und durch die Axialbewegung wird der Förderstrom erzeugt.

Reinigen und Sterilisierbarkeit sind Themen von zentraler Bedeutung bei der Herstellung lebensmittel verarbeitender Maschinen. Es wird hier mit chemisch aggressiven Mitteln und gespanntem Wasserdampf bei ca. 130°C gearbeitet. Dichtungselemente bergen immer die Gefahr einer bakteriellen Kontamination, weshalb hier mit dem präzisen Einpassen auf Dichtungen verzichtet wird. Da die harten Maschinenbauelemente Kolben und Zylinder aufeinander reiben, ist neben hervorragender Gleiteigenschaften auch eine ausreichende Abrassionsbeständigkeit erforderlich.

Für das Einpassen dieser Kolben in die entsprechenden Zylinder ist eine ausgezeichnete Formhaltigkeit erforderlich. Das Spiel zwischen Kolben und Zylinder beträgt 3 bis 15 µm, abhängig von der Größe. Erforderlich ist hier eine Zylindrizität von Kolben und Innendurchmesser im Bereich von 1-2µm, was eine Herausforderung für die Schleiftechnik bedeutet.

Die Korrosionsbeständigkeit gegen Reinigungsmittel wie auch die unterschiedlichsten Produkte rundet das Anforderungsprofil ab.

### 3.3.5.6. Kochdruckkolben

In Reinigungsanlagen, bei der Kanalreinigung und bei der Entzunderung von Guss beispielsweise in der Automobilindustrie werden große Mengen Wasser unter hohem Druck benötigt.

In diesen Hochdruckpumpen laufen Keramikkolben gegen Dichtungselemente. Die Fördermedien können Verschmutzungen wie Sand enthalten, die sich in den Dichtelementen festsetzen können. Reibt dieser Sand dann auf einer Stelle des Kolbens, wird an einem chromatierten Metallkolben schnell die gehärtete Schicht verletzt und es entstehen tiefe Riefen. Diese Riefen bedeuten dann nach kurzer Zeit das Aus für das betroffene Dichtungselement. Für langlebigere Pumpen werden Kolben oder auch Plungerschutzhülsen aus Keramik erfolgreich eingesetzt. Die Standzeiten der Dichtungen können so deutlich erhöht werden.

Der Pumpenbetreiber hat jedoch bei dem Einsatz von Keramik auch etwas mehr Sorgfalt walten zu lassen. Bei Trockenlauf über lange Zeit hinweg, können Kolben durch die Reibung gegen die Dichtungselemente eine erhebliche Temperatur erreichen. Bei eingeklebten Metallteilen kann die Verbindung durch zu hohe Temperatur Schaden nehmen. Folgt auf die thermische Behandlung durch Trockenlauf dann ein Temperaturschock durch Kaltwasser, kann es zu Rissbildung kommen. Maschinenhersteller bieten diesem Szenario aber von vornherein durch entsprechende Sicherheitsschaltungen Einhalt. Für Hochdruckpumpen hat sich Keramik als Kolbenwerkstoff durchgesetzt.

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.

Ggf. nicht im Buch befindliche Folien können vom Referenten oder dem IZTK angefordert werden.

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

# **Keramikwendungen im Maschinenbau**

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



## Werkstoffdaten

Eigenschaft	Einheit	Aluminiumoxid		Zirkonoxid		Siliziumkarbid	Siliziumnitrid	Siliziumnitrid
		99,70% F99.7	10%ZrO <sub>2</sub> FZT	MgO teilstab. FZM	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> stab. FZMK	SiC	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> HP 79	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> GP 79
Dichte	g/cm <sup>3</sup>	15,4	10 - 4,15	5,7	6,0 - 6,1	3,1	3,2	3,25
Härte (Knoop, 100 g)	N/mm <sup>2</sup>	23.000	23.000	17.000	18.000	21.000	17.000	17.000
Druckfestigkeit	N/mm <sup>2</sup>	3.500	3.000	2.000	2.200	1.200	3.000	3.000
Biegebruchfestigkeit (4-Punkt)	N/mm <sup>2</sup>	350	450	500	800	350	750	750
Elastizitätsmodul	10 <sup>5</sup> N/mm <sup>2</sup>	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 <sup>-6</sup> /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 <sup>14</sup>	10 <sup>14</sup>	10 <sup>10</sup>	10 <sup>10</sup>	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>10</sup>	10 <sup>11</sup>
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 Mithilfe bei der Lösung Ihrer anwendungstechnischen Probleme stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung.

**Eigenschaften**

**Stärken:**

- Härte
- Druckfestigkeit
- Verschleißfestigkeit
- Gleiteigenschaften
- Hochtemperaturbeständigkeit
- elektrische Isolation
- Korrosionsbeständigkeit
- geringe Adhäsion

**Nicht so stark:**

- Schlagzähigkeit
- Temperaturwechselbeständigkeit
- Preis

think ceramics  
TECHNISCHE KERAMIK

3.3 Maschinenbauanwendungen - Folie 3



## Milling

### 3.3 Maschinenbauanwendungen - 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?



### 3.3 Maschinenbauanwendungen - Folie 6

### Formgebung

---

- Trockenpressen
- Isostatisches Pressen
- Strangpressen
- Schlickerguß
- Spritzguß

## Pressen



Füllen



Pressen



Ausstoßen

### Angestrebte Eigenschaften:

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



**Isostatisches Pressen**

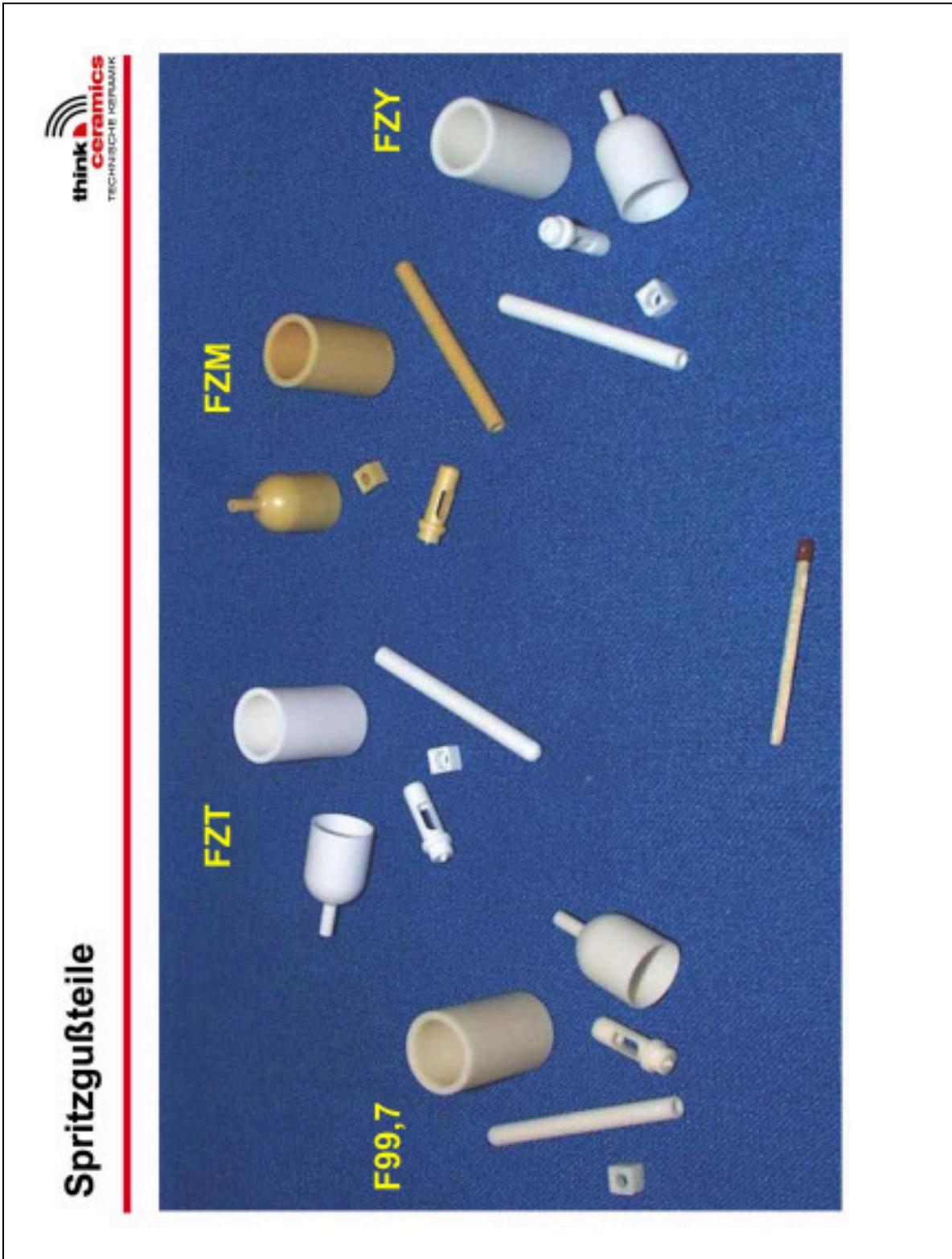


3.3 Maschinenbauanwendungen - Folie 9

## Spritzgießen



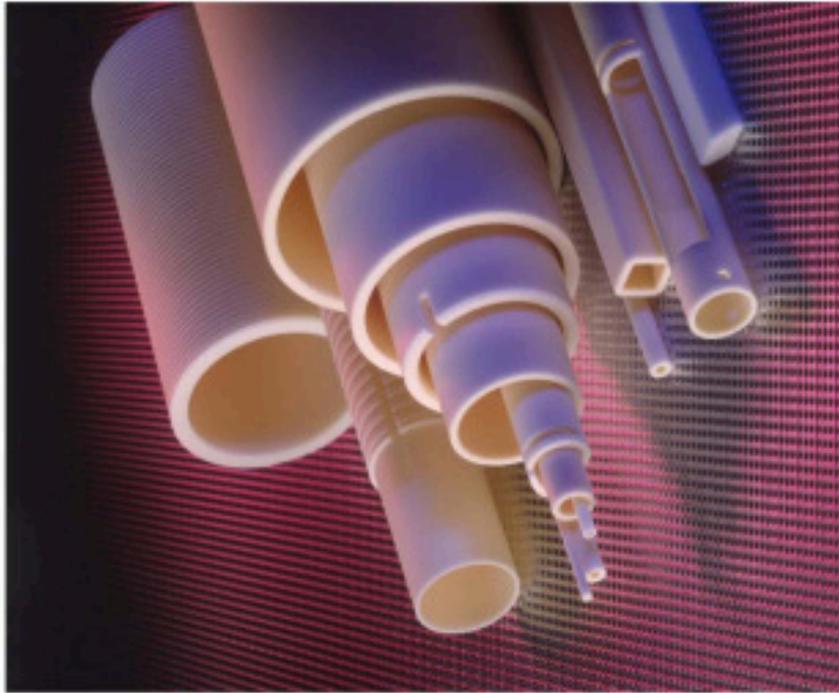
3.3 Maschinenbauanwendungen - Folie 10



3.3 Maschinenbauanwendungen - Folie 11

## Extrusion - Schneckenpresse





**Rohre**

3.3 Maschinenbauanwendungen - Folie 13

## Grünbearbeitung



### Angestrebte Eigenschaften:

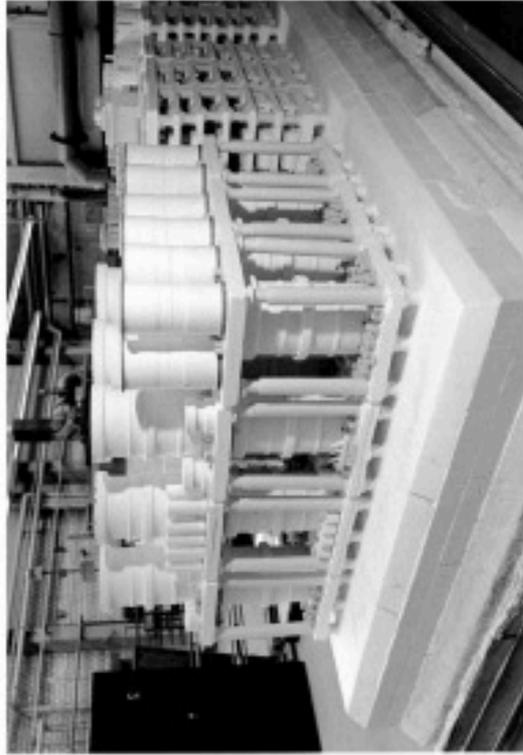
- endkonturnahe Geometrie  
(near netshape)

## Brennen / Sintern



### Angestrebte Eigenschaften:

- dicht gebranntes Werkstück
- hohe Enddichte
- angemessenes Kornwachstum



## Kontrolle



Farbeindringverfahren



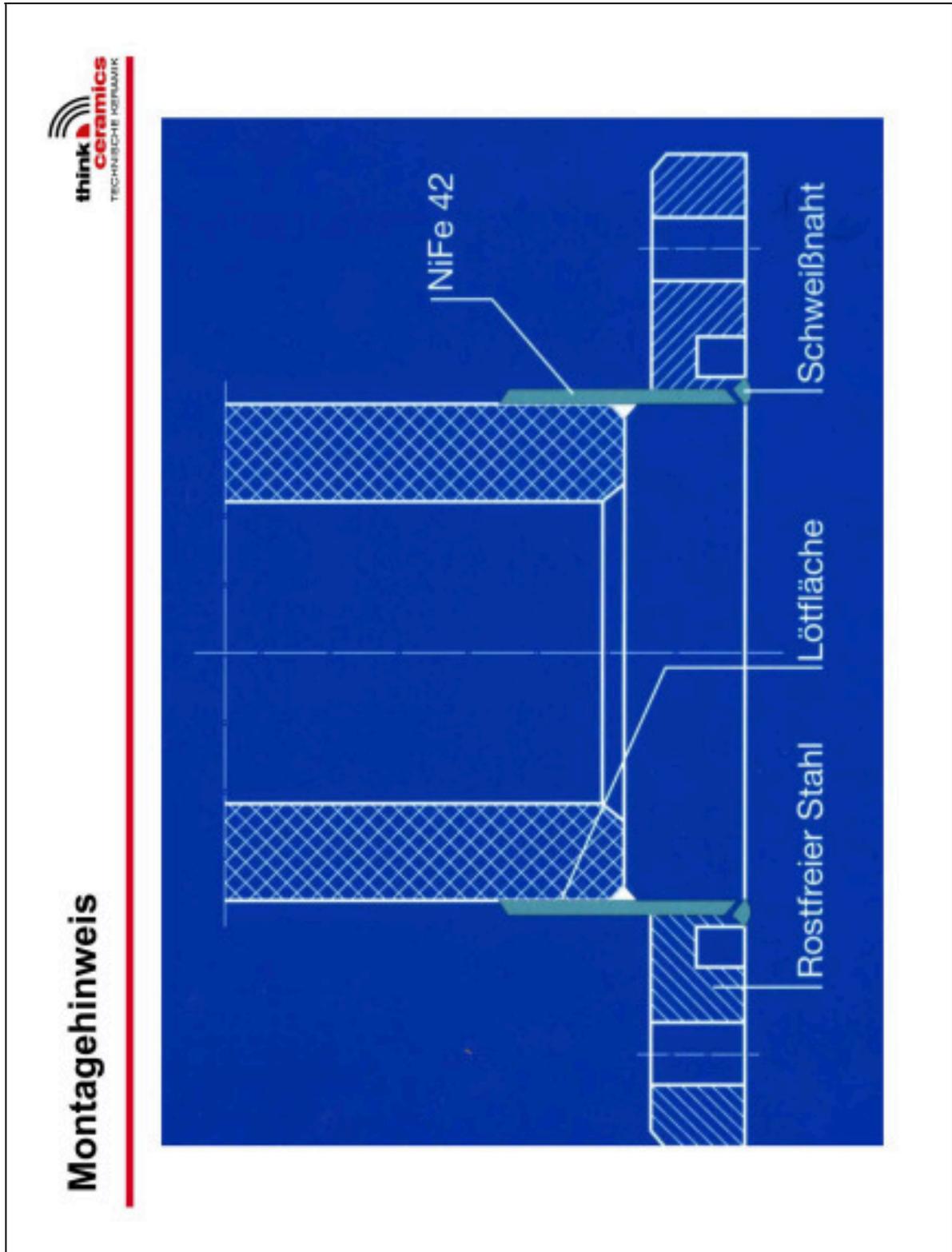
Maßkontrolle mit 3D-Messmaschine

Nassbearbeitung



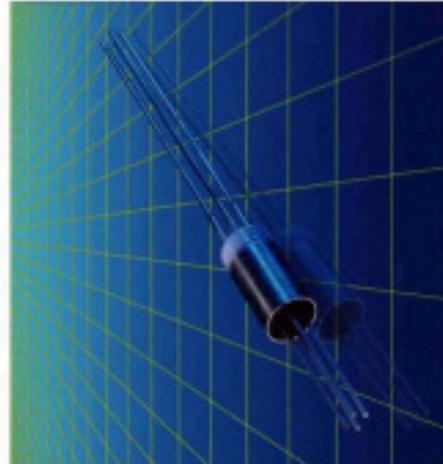
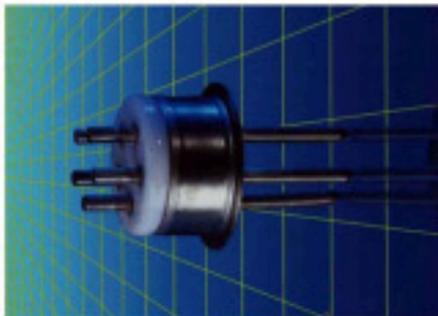
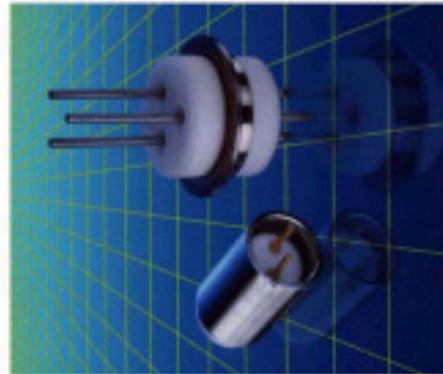
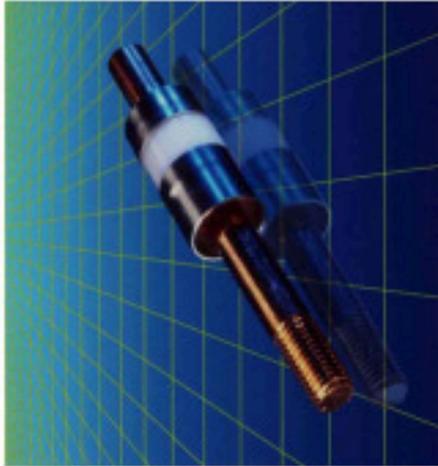
CNC gesteuerte Rundscheifmaschine

3.3 Maschinenbauanwendungen - Folie 17

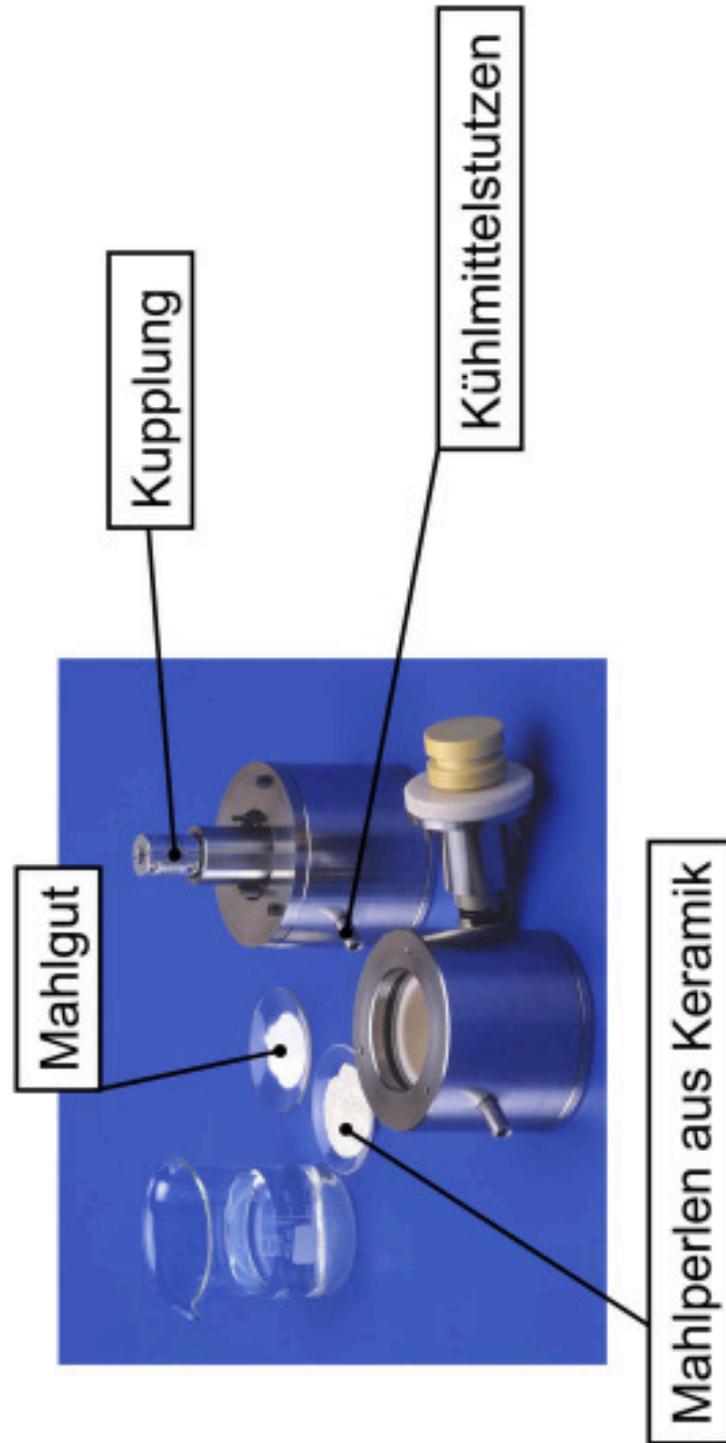


3.3 Maschinenbauanwendungen - Folie 18

**Einsatzbereich: Ofenbau**



## Mini Mühlen mit großer Wirkung



**Mini Mühlen mit großer Wirkung**



Materialauswahl

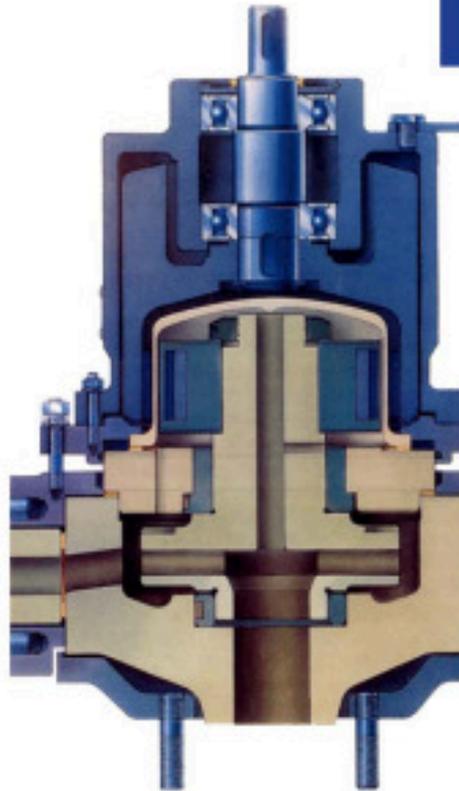


Gehäuse aus Metall

Rotor mit Welle aus  $ZrO_2$

Mahlbecher aus  $Al_2O_3$

## Spalttopf



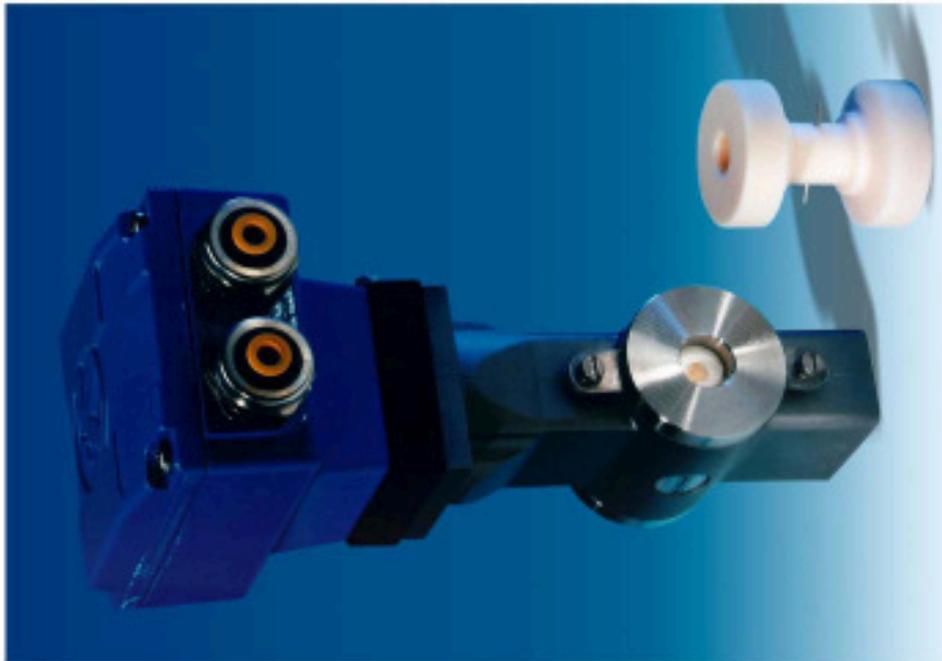
Magnetgekoppelte Kreiselpumpe

## Eigenschaften

- nicht magnetisierbar
- Korrosionsbeständigkeit
- keine elektrostatische Aufladung



## Eingesinterter Platiniumelektrode



**MID**

3.3 Maschinenbauanwendungen - Folie 23

## Dosieren



### Eigenschaften

- Lebensmittelverträglichkeit
- Korrosionsbeständigkeit
- Abrasionfestigkeit
- Formhaltigkeit
- Gleiteigenschaften

**Großbauteile**



F99,7 Plunger  
Ø 120/26x610mm  
für Erdölförderung