



[www.ceramer.com](http://www.ceramer.com)

ceramer™

ceramerplus™

Polyphenylene sulfone (PPSO<sub>2</sub>)

Innovative  
high performance polymers  
and additives

ceramer

• • • • • high performance polymers •

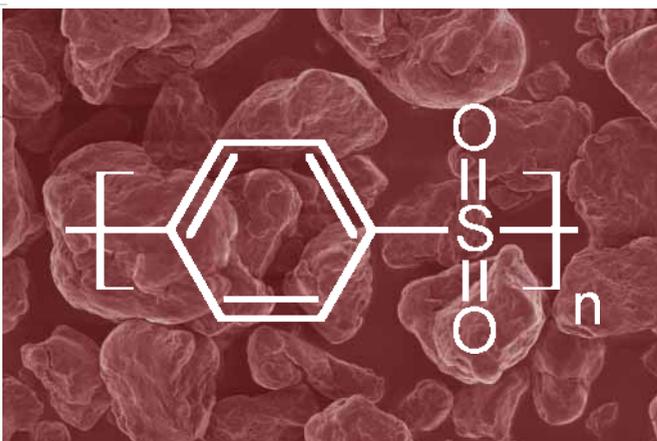
The Ceramer product line was developed by Hoechst AG and introduced into the market by Ticona in 1998. The manufacturing process on industrial scale is well established. Ceramer products have a broad application spectrum in the polymer and coatings industry as well as semi-finished parts. In order to fully develop the market potential in all application areas and to further explore new application possibilities, in May 2003 Ceramer GmbH was founded jointly by Ticona and Professor Hans-Werner Schmidt, Chair of Macromolecular Chemistry at the University of Bayreuth.

Ceramer GmbH is located within the newly established Competence Center for New Materials in Bayreuth, Germany. The combination of scientific expertise in polymers and of non-injection moldable materials and the possibilities at the Competence Center in conjunction with the excellent research facilities at the University of Bayreuth are a profound base to fully develop the market potential of this outstanding high performance polymer.

## CONTENT

- 2** Introduction
- 4** Product line description
- 5** Powder properties
- 7** Additive for PTFE compression molding powders
- 13** Additive for PTFE paste extrusion powders
- 15** Additive for PTFE coating systems
- 16** Additive for thermoplastic fluoro polymers
- 19** Additive for high performance polymers
- 23** Additive for improvement of metallization
- 25** Consolidated neat resin shapes
- 33** Coating systems through thermal spraying

### Structural formula of ceramer



## Mit neuen Werkstofftypen zu mehr Leistung

Das Ceramer-Sortiment ist größer geworden:

Neue Typen, die sich durch ihre Korngröße unterscheiden, bieten ein breiteres Spektrum an Anwendungsmöglichkeiten. Mit Ceramer Plus stellt sich ein neuer Werkstofftyp vor. Speziell die Temperaturbeständigkeit und die Chemikalienbeständigkeit sind weiterentwickelt worden. Außerdem sorgt Ceramer Plus für eine hervorragende Metallisierbarkeit. Damit kommt Ceramer Plus für Anwendungen in Frage, bei denen extreme Anforderungen an die Werkstoffe gestellt werden.

Ceramer und Ceramer Plus sind sinterfähige Hochleistungspolymere aus Polyphenylensulfon (PPSO<sub>2</sub>) mit einer Glasübergangstemperatur (T<sub>g</sub>) von ca. 360 °C.

Der Werkstoff besitzt keinen Schmelzbereich und wird deshalb in Preß- und Sintertechnik verarbeitet.

Aufgrund ihrer Eigenschaften eignen sich die Ceramer-Typen hervorragend als Verstärkungsstoff für Fluorpolymere, vor allem zur Verbesserung des Abrieb- und Kriechverhaltens, ohne dabei typische PTFE-Vorteile, wie hohe Chemikalien- und Temperaturbeständigkeit zu mindern.

Sie kommen auch als Additive für andere technische Polymere, zum Beispiel für LCP, PSU, PEEK, PAI, POM, PPS, PI, PEI, Polyester und für Duroplaste zum Einsatz und ermöglichen die gezielte Veränderung wichtiger Eigenschaften. Sie wirken sich vorteilhaft auf Abriebfestigkeit und Verschleiß aus und erhöhen die Druckfestigkeit der Werkstoffe. Besondere Vorteile bieten Ceramer und Ceramer Plus für die Metallisierung von Kunststoffen, die damit neue Anwendungsmöglichkeiten erschließen.

Ceramer und Ceramer Plus werden auch als eigenständige Werkstoffe durch Heißpressen und in der Sintertechnologie zu Formteilen verarbeitet, die sich durch sehr hohe Chemikalienbeständigkeit, sehr hohe Temperaturbeständigkeit, inhärente Flammwidrigkeit, hohe Härte, Festigkeit und Steifigkeit auszeichnen. Der gute Verbund der Kornpartikel führt beim Heißpressen zu spiegelnden Oberflächen.

Ceramer und Ceramer Plus werden auch in Beschichtungen eingesetzt, die mittels Flammsspritzen (Thermal Spraying) aufgebracht werden.

Die Werkstoffe stehen auch als hochreine Typen, zum Beispiel für elektronische Anwendungen, zur Verfügung.

## Unbedenklich im Kontakt mit Lebensmitteln

Die europäische Richtlinie zu Polymeren im Kontakt mit Lebensmitteln reguliert nicht die Polymere sondern aus toxikologischen Gründen die Monomere auf denen die Polymere beruhen. Gemäß der Richtlinie und der Bedarfsgegenständeverordnung sind die Monomere von Ceramer und Ceramer Plus unbedenklich für den Kontakt mit Lebensmitteln. Vorgaben hinsichtlich der Migration an Fertigartikeln sind in der obigen Verordnung geregelt.

Ceramer erfüllt alle Anforderungen der FDA als ein Additiv für PTFE.

Die entsprechende FDA-Zulassung für Artikel mit mehrfachem Gebrauch ist beantragt. Dies schließt auch die Verwendung von Ceramer und Ceramer Plus als Additiv in anderen Werkstoffen ein.

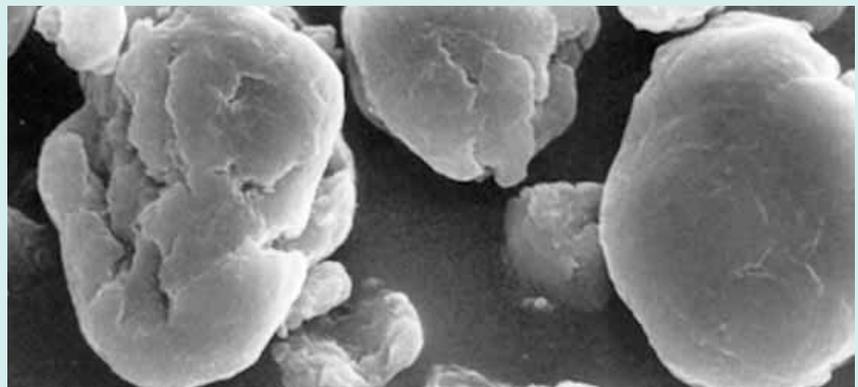
### Ceramer und Ceramer Plus

sind ungiftig

(LD<sub>50</sub> Ratte > 5.000 mg/kg)

Abbildung 1

Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme von Ceramer



## Optimiert für unterschiedliche Aufgaben

Ceramer ist ein sehr feines, hellbeiges Pulver, das in verschiedenen Typen mit unterschiedlichen Korngrößen geliefert wird.

Abbildung 2 und 3

Die Kornform, kugelig mit rauher zerklüfteter Oberfläche, ermöglicht eine sehr gute mechanische Verbindung mit Matrixwerkstoffen, zum Beispiel mit Fluorpolymeren.

Abbildung 1

Die spezifische Oberfläche des Standardtyps Ceramer 20 beträgt nach BET ca. 10 m<sup>2</sup>/g.

Ceramer und Ceramer Plus werden in 20 kg-Gebinden geliefert, die luft- und wasserdicht verschweißt sind.

Ceramer kann auch als hochreiner Typ für Anwendungen im Elektronikbereich hergestellt werden. Die Daten in Abbildung 4 stellen typische Werte für hochreines Ceramer 20-Pulver dar. Sonderarten mit einem noch höheren Reinheitsgrad sind auf Anfrage herstellbar.

Eigenschaften	Ceramer 15	Ceramer 20	Ceramer 60	Ceramer Plus 20
mittlere Korngröße	15 µm	20 µm	60 µm	20 µm
maximale Korngröße	30 µm	70 µm	215 µm	70 µm
Temperaturbeständigkeit <sup>1)</sup>	> 460 °C	> 460 °C	> 460 °C	> 500 °C
Chemikalienbeständigkeit <sup>2)</sup>	++	++	++	+++

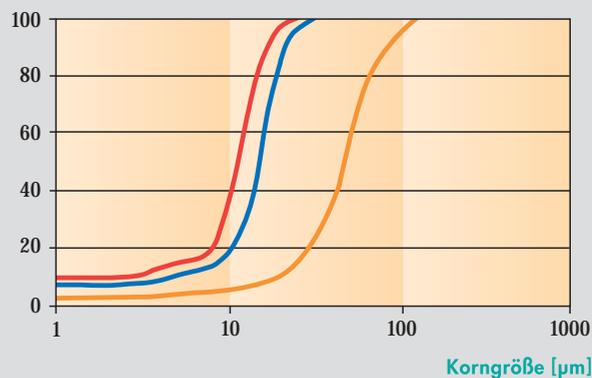
Abbildung 2 Die wichtigsten Pulverkenndaten der Ceramer-Typen

<sup>1)</sup> Kurzfristig (siehe Abbildung 5) <sup>2)</sup> Vergleichbar mit PTFE (siehe Abbildung 8)

Abbildung 3

Korngrößenverteilung von  
 Ceramer 15  
 Ceramer 20  
 Ceramer 60

Häufigkeit [%]



[ppm]

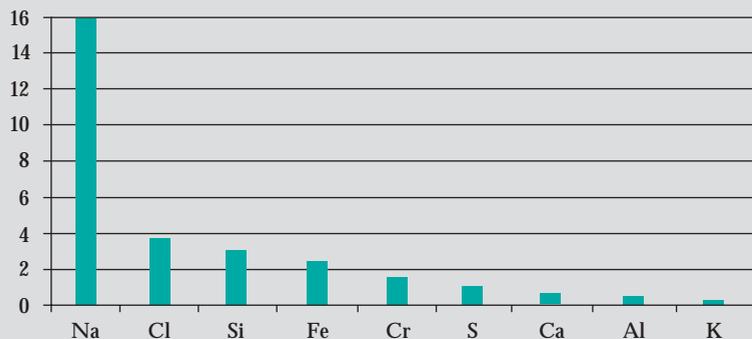


Abbildung 4

Verunreinigungen in speziell hergestelltem, hochreinem Ceramer 20-Pulver, bestimmt mittels Röntgenspektroskopie.  
 (Siehe auch Extraktionswerte an Ceramer Formkörpern Abbildung 66, Seite 32.)

Hochreines Ceramer 20-Pulver

## Die niedrige Dichte ermöglicht kostengünstigen Materialeinsatz

Die Dichte von Ceramer beträgt ca.  $1,44 \text{ g/cm}^3$ , von Ceramer Plus ca.  $1,54 \text{ g/cm}^3$ .

Im Vergleich zu den Fluorpolymeren, deren Dichte bei  $>2 \text{ g/cm}^3$  liegt, ermöglicht die niedrigere Dichte des Ceramer-Sortiments hohe Volumenfüllgrade mit geringem Masseneinsatz.

**Hohe thermische Stabilität selbst bei sehr langen Verweilzeiten**

Die Ceramer-Typen weisen eine sehr hohe thermische Stabilität auf. Erst bei Temperaturen  $>460 \text{ °C}$  beginnt in Luft eine spürbare Zersetzung des Polymeren. Typisches Zersetzungsprodukt ist Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ). Ceramer Plus ist bis  $>500 \text{ °C}$  thermisch stabil.

Abbildung 5

Bei der Verarbeitung treten oft sehr hohe Temperaturen über einen langen Zeitraum auf. Die Abbildungen 6 und 6a zeigen eindrucksvoll die sehr hohe thermische Stabilität der beiden Ceramer-Typen. Bei Verweilzeiten bis zu 12 Stunden bei  $375 \text{ °C}$  beträgt der Massenverlust für Ceramer 10%, für Ceramer Plus nur 2%. Abbildung 6 und 6a

**Ceramer Plus:**  
**5-fach höhere thermische Stabilität**

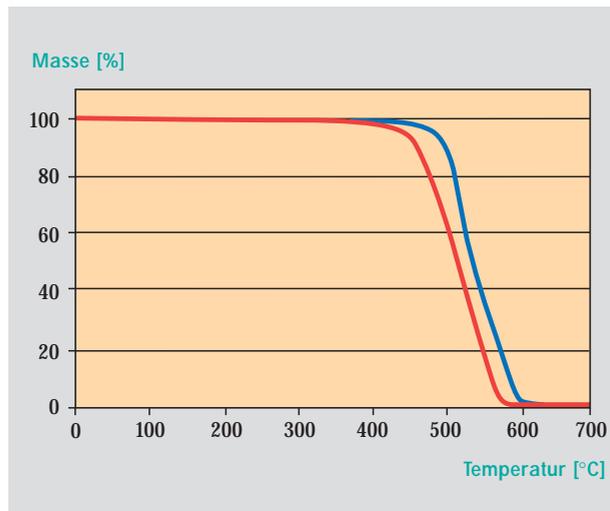


Abbildung 5

Thermogravimetrische Analyse (TGA) gemessen in Luft, Aufheizgeschwindigkeit 10 K/min

Ceramer —  
Ceramer Plus —

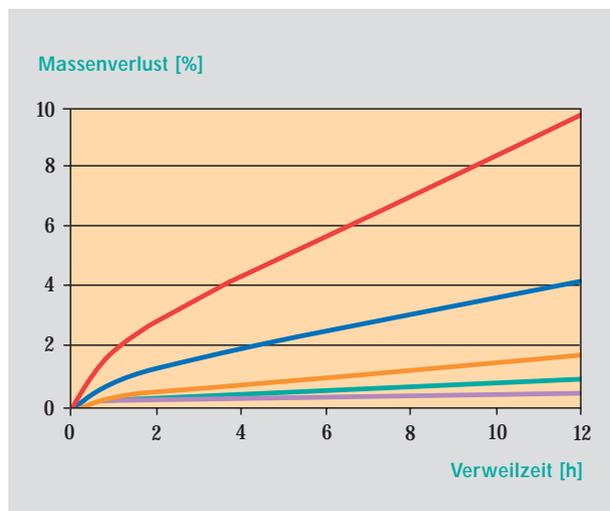


Abbildung 6

Isotherme TGA von Ceramer gemessen in Luft

300 °C —  
320 °C —  
340 °C —  
360 °C —  
375 °C —

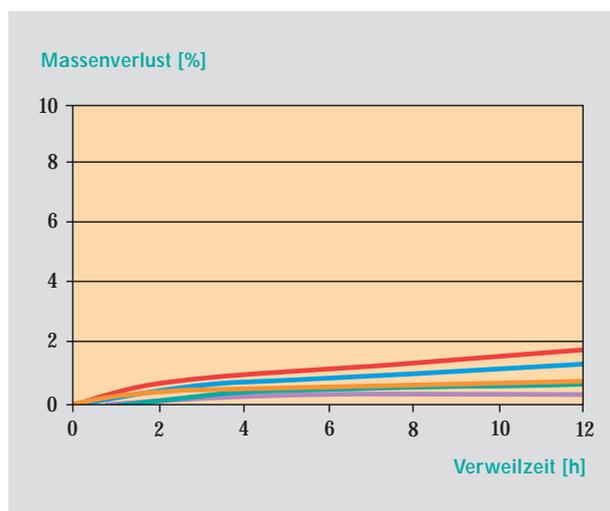


Abbildung 6a

Isotherme TGA von Ceramer Plus gemessen in Luft

300 °C —  
320 °C —  
340 °C —  
360 °C —  
375 °C —

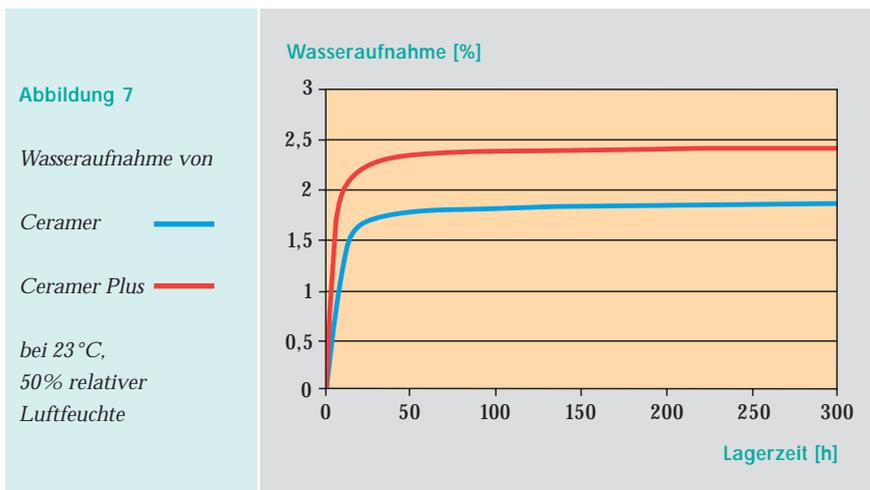
## Kristallisationsgrad

Ceramer und Ceramer Plus sind teilkristalline Polymere. Der Kristallisationsgrad von Ceramer liegt im Anlieferungszustand bei ca. 60%. Der Kristallisationsgrad von Ceramer Plus liegt noch etwas darüber.

## Wasseraufnahme

Ceramer ist leicht hygroskopisch. Die Wasseraufnahme des Pulvers beträgt unter Normbedingungen (23 °C, 50% relative Luftfeuchte) ca. 1,8%, bei Ceramer Plus ca. 2,4%. Diese Gleichgewichtskonzentration wird sehr schnell innerhalb von 24 Stunden erreicht. Der Vorgang der Wasseraufnahme verläuft reversibel.

Abbildung 7



## Herausragende

## Chemikalienbeständigkeit

Ceramer und Ceramer Plus sind gegenüber nahezu allen Chemikalien beständig und kommen damit den Eigenschaften von Polytetrafluorethylen (PTFE) nahe. Es ist kein Lösemittel bekannt, das den Werkstoff löst - auch nicht bei sehr hohen Temperaturen. Gegenüber PPS ist die Chemikalienbeständigkeit deutlich verbessert, wie die nebenstehende Tabelle zeigt. Die Bestimmung der chemischen Beständigkeit wurde an Fasern durchgeführt.

Abbildung 8

## Oberflächenspannung

Die Oberflächenspannung ist für einen polymeren Werkstoff sehr hoch. Sie beträgt nach Neumann gegen Wasser 47,4 mN/m. Nach Wu errechnet sich eine Oberflächenspannung von 39,3 mN/m, die sich in einen dispersen Anteil von 20,5 mN/m und einen polaren Anteil von 18,8 mN/m aufspaltet (Abbildung 48, Seite 23).

Die Oberflächenspannung ist an heißgepreßten Ceramer Formkörpern ermittelt worden.

Für Ceramer Plus werden noch höhere Oberflächenspannungswerte erwartet.

## Farbstabilität

Wird Ceramer sehr hohen Temperaturen ausgesetzt, zum Beispiel beim Heißpressen oder Sintern zusammen mit PTFE, verfärbt sich die beige Eigenfarbe nach dunkelbraun bis schwarz. Dies ist jedoch nicht auf einen thermischen Abbau zurückzuführen, sondern auf Farbreaktionen der Endgruppen der Polymerketten, die bevorzugt bei hohen Temperaturen ablaufen. Das sonstige Eigenschaftsspektrum wird hiervon nicht beeinträchtigt.

Die Farbstabilität von Ceramer Plus ist gegenüber der von Ceramer deutlich erhöht.

	Temperatur	Zeit	PPS-Faser	Ceramer Plus-Faser
Schwefelsäure konz.	250 °C	24 h	-	+
Salpetersäure (100%ig)	23 °C	24 h	-	+
Salpetersäure (65%ig)	70 °C	48 h	-	+
Chlornaphthalin	190 °C	24 h	-	+
Natronlauge (40%ig)	80 °C	48 h	+	+
HBF <sub>4</sub> in HF	60 °C	24 h	-	+

Abbildung 8

Chemikalienbeständigkeit von Ceramer Plus im Vergleich zu PPS

Bewertung: + „widerstandsfähig“  
- „nicht widerstandsfähig“

## Verstärkung für Fluorpolymere

Ceramer und Ceramer Plus bieten sich als Verstärkungsmaterial für Fluorpolymere an und verbessern deutlich die Abriebfestigkeit und Kriechneigung von PTFE und Fluorthermoplasten. Dabei wird die universelle Chemikalienbeständigkeit der Fluorpolymere und ihre hohe Temperaturbeständigkeit nicht gemindert, da die Eigenschaften der Ceramer-Typen in diesen Bereichen nahezu denen von PTFE entsprechen. Dieses Leistungsprofil wird von keinem anderen bekannten Füllstoff – ob organisch oder anorganisch – erreicht.

Aufgrund der niedrigen Dichte (Ceramer ca. 1,44 g/cm<sup>3</sup>, Ceramer Plus ca. 1,54 g/cm<sup>3</sup>) sind hohe Volumenfüllgrade bei geringem Masseneinsatz möglich.

Die technischen Prüfungen zeigen, daß Ceramer Plus besonders gut für große Formteile geeignet ist, die eine sehr gute Chemikalienbeständigkeit bei hohen Temperaturen erfordern.

## Compounds aus PTFE/Ceramer bzw. Ceramer Plus für die Preßverarbeitung

Die Verbesserung der Leistungsfähigkeit von PTFE im Hinblick auf die tribologischen Eigenschaften und der Kriechneigung sowie die unveränderte Chemikalienbeständigkeit wirken sich positiv bei Anwendungen im Fahrzeugbau und im chemischen Apparatebau aus, zum Beispiel für Dichtungen, Lager und Pumpengehäuse. Auch in vielen anderen Branchen, zum Beispiel in der Umwelttechnik und der Lebensmittelproduktion, werden Lager, Dichtungen und Maschinenteile aus PTFE-Ceramer-Compounds vorteilhaft eingesetzt. Dies gilt insbesondere, wenn es um abriebbeständige Teile bei hohen Temperaturen und chemische Beständigkeit geht.

Mit Ceramer Plus steht jetzt besonders für großformatige oder extrem beanspruchte Teile ein Werkstoff zur Verfügung, der den Einsatzbereich erheblich vergrößert. *Abbildung 9*

Erweiterung des Einsatzbereichs durch Ceramer Plus

Abbildung 9  
Anwendungsbeispiele



Dichtungsringe aus PTFE/Ceramer-Compounds zeichnen sich durch hohe Abrieb- und Verschleißfestigkeit aus.

## Tribologische Spitzenwerte erreicht

Abrieb und Verschleiß von PTFE gegenüber metallischen Gegenlaufpartnern zeigen bereits bei geringen Zumischungen von Ceramer bzw. Ceramer Plus zu PTFE-Preßpulvern deutlich bessere Werte. Der Reibbeiwert von PTFE wird durch die Zugabe von Ceramer und Ceramer Plus kaum verändert.

Die Messungen wurden mit PTFE/Ceramer 20 auf einem Stift-Scheibe-Prüfstand in Luft durchgeführt. Als Gegenlaufpartner dienten Reib-scheiben aus gehärtetem Stahl (100 Cr6, Rockwellhärte HRC > 50). Die Oberflächenrauigkeit der Reib-scheiben wurde vor jedem Versuch gemessen. Für die Auswertung der Meßdaten wurde nur die stationäre Phase verwendet. In dieser Phase ist der Reibbeiwert konstant und der Verschleiß gleichmäßig, das heißt, die Verschleißzunahme über die Zeit ist linear. Die Erfassung der Meßwerte erfolgte online. Die Versuchsdauer betrug 20 Stunden - außer beim reinen PTFE, da diese Proben sehr schnell verschlissen waren. Hier dauerten die Versuche vier Stunden. *Abbildungen 10-12*

## Bei hohen und niedrigen Gleitgeschwindigkeiten

Die Abbildung 14 zeigt die deutliche Verbesserung der Verschleißeigenschaften von PTFE durch den Zusatz von Ceramer bei unterschiedlichen Gleitgeschwindigkeiten.

**Abbildung 10**  
Verschleißkoeffizient  $k$  [ $10^{-6} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ ] von PTFE gefüllt mit Ceramer gemessen bei einer Gleitgeschwindigkeit von 4 m/s

	100% PTFE	95% PTFE 5% Ceramer	90% PTFE 10% Ceramer	80% PTFE 20% Ceramer
Anpreßdruck: 1 N/mm <sup>2</sup> R <sub>z</sub> : ca. 1 µm	168	43	4,6	1,9
Anpreßdruck: 5 N/mm <sup>2</sup> R <sub>z</sub> : ca. 1 µm	354	104	5,3	1,1

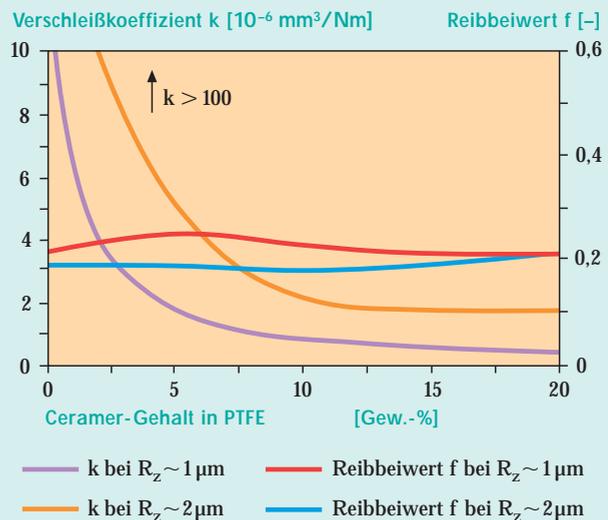
**Abbildung 11**  
Verschleißkoeffizient  $k$  [ $10^{-6} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ ] von PTFE gefüllt mit Ceramer gemessen bei einer Gleitgeschwindigkeit von 0,5 m/s

	100% PTFE	95% PTFE 5% Ceramer	90% PTFE 10% Ceramer	80% PTFE 20% Ceramer
Anpreßdruck: 1 N/mm <sup>2</sup> R <sub>z</sub> : ca. 1 µm	319	5,1	2,8	2,1
Anpreßdruck: 5 N/mm <sup>2</sup> R <sub>z</sub> : ca. 1 µm	494	1,8	1,0	0,4
Anpreßdruck: 5 N/mm <sup>2</sup> R <sub>z</sub> : ca. 2 µm	72	5,2	2,2	1,8

**Abbildung 12**  
Verschleißkoeffizient  $k$  [ $10^{-6} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ ] von PTFE gefüllt mit Ceramer in Abhängigkeit von der Temperatur (Gleitgeschwindigkeit: 0,5 m/s, Anpreßdruck: 1 N/mm<sup>2</sup>, Oberflächenrauheit: R<sub>z</sub> ~ 1 µm)

	100% PTFE	95% PTFE 5% Ceramer	90% PTFE 10% Ceramer	80% PTFE 20% Ceramer
23°C	319	5,1	2,8	2,1
150°C	43	2,3	1,2	0,6
200°C	Probekörper fließt	3,2	1,1	1,3

Der Verschleißkoeffizient  $k$  ist ein häufig benutzter Ausdruck zur Beschreibung des Abriebverhaltens. Er setzt sich zusammen aus dem Abrieb in [mm/m] dividiert durch den Anpreßdruck in [N/mm<sup>2</sup>].



**Abbildung 13**

Verschleißkoeffizient  $k$  und Reibbeiwert  $f$  der PTFE/Ceramer-Compounds im Stift-Scheibe-System (Bedingungen:  $p = 5 \text{ MPa}$ ,  $v = 0,5 \text{ m/s}$ ,  $T = 23 \text{ °C}$ , technisch trocken) bei verschiedenen Oberflächenrauigkeiten  $R_z$ .

	100% PTFE	95% PTFE 5% Ceramer	90% PTFE 10% Ceramer	80% PTFE 20% Ceramer
Anpreßdruck: 1 N/mm <sup>2</sup> R <sub>z</sub> : ca. 1 µm	0,31	0,30	0,29	0,28
Anpreßdruck: 5 N/mm <sup>2</sup> R <sub>z</sub> : ca. 1 µm	0,30	0,22	0,26	0,28
	100% PTFE	95% PTFE 5% Ceramer	90% PTFE 10% Ceramer	80% PTFE 20% Ceramer
Anpreßdruck: 1 N/mm <sup>2</sup> R <sub>z</sub> : ca. 1 µm	0,20	0,28	0,20	0,29
Anpreßdruck: 5 N/mm <sup>2</sup> R <sub>z</sub> : ca. 1 µm	0,22	0,25	0,23	0,21
Anpreßdruck: 5 N/mm <sup>2</sup> R <sub>z</sub> : ca. 2 µm	0,19	0,19	0,18	0,21
	100% PTFE	95% PTFE 5% Ceramer	90% PTFE 10% Ceramer	80% PTFE 20% Ceramer
23°C	0,20	0,28	0,20	0,29
150°C	0,30	0,43	0,39	0,35
200°C	Probekörper fließt	0,21	0,15	0,13

Abbildung 10 a  
Reibbeiwert von PTFE gefüllt mit Ceramer gemessen bei einer Gleitgeschwindigkeit von 4 m/s

Abbildung 11 a  
Reibbeiwert von PTFE gefüllt mit Ceramer gemessen bei einer Gleitgeschwindigkeit von 0,5 m/s

Abbildung 12 a  
Reibbeiwert von PTFE gefüllt mit Ceramer in Abhängigkeit von der Temperatur (Gleitgeschwindigkeit: 0,5 m/s, Anpreßdruck: 1 N/mm<sup>2</sup>, Oberflächenrauheit: R<sub>z</sub> ~ 1 µm)

## Bei hohen und niedrigen Anpreßdrücken

Bei 20% Ceramer-Zumischung kann PTFE auch bei hohen Flächenpressungen ( $p = 5 \text{ N/mm}^2$ ) und gleichzeitig hohen Gleitgeschwindigkeiten ( $v = 4 \text{ m/s}$ ) eingesetzt werden. Bei niedrigen Belastungen ( $v = 0,5 \text{ m/s}$ ;  $p = 1 \text{ N/mm}^2$ ) ist die Zugabe von 10% Ceramer ausreichend. *Abbildung 14*

## Bei hohen Temperaturen bis zu 260 °C

Die Temperaturbelastung der PTFE/Ceramer-Compounds wurde in Versuchen mit Gleitflächentemperaturen ab 23 °C durchgeführt. Bei Temperaturen über 150 °C fließt ungefülltes PTFE unter Belastung. Durch den Zusatz von Ceramer kann die Temperatureinsatzgrenze auf über 200 °C angehoben werden. Die maximale Einsatztemperatur von PTFE/Ceramer-Compounds liegt in Abhängigkeit des Füllstoffgehalts zwischen 220 °C und 260 °C. In diesem Bereich sollte der Ceramer-Gehalt mindestens 10% bis 20% betragen. *Abb. 15*

Lineare Verschleißrate  $w_{l/s}$  [µm/km]

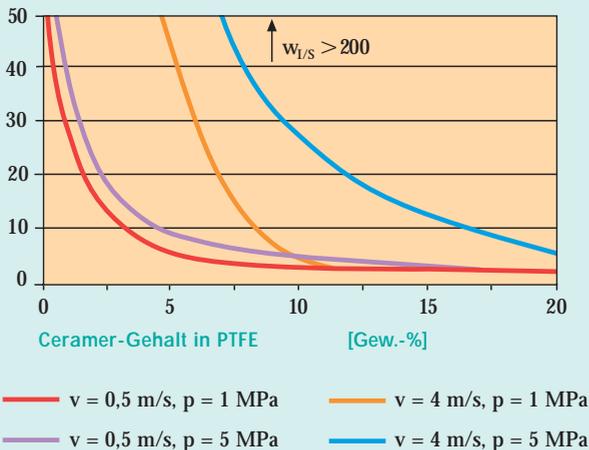


Abbildung 14

Lineare Verschleißrate  $w_{l/s}$  der PTFE/Ceramer-Compounds in Abhängigkeit der Flächenpressung  $p$  und der Gleitgeschwindigkeit  $v$  im Stift-Scheibe-System (Bedingungen:  $R_z \sim 1 \mu\text{m}$ ; technisch trocken).

Verschleißkoeffizient  $k$  [ $10^{-6} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ ]

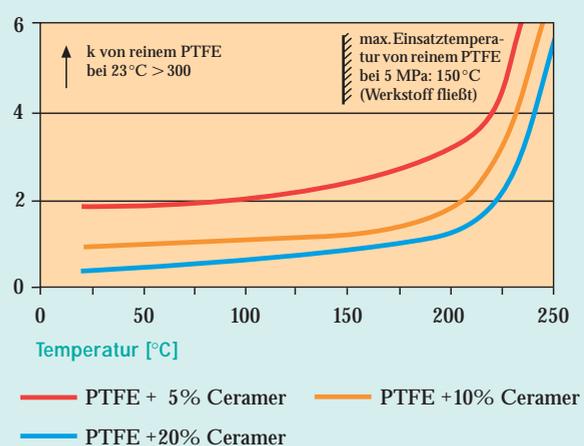


Abbildung 15

Verschleißkoeffizient  $k$  der PTFE/Ceramer-Compounds in Abhängigkeit der Gleitflächentemperatur im Stift-Scheibe-System (Bedingungen:  $R_z \sim 1 \mu\text{m}$ ,  $v = 0,5 \text{ m/s}$ ,  $p = 5 \text{ MPa}$ , technisch trocken).

## Reduzierung der Kriechneigung von PTFE

Deutliche Reduzierung  
der Kriechneigung

Das Kriechverhalten ist einer der Hauptschwachpunkte von PTFE. Durch Verwendung von Ceramer als Additiv wird die Kriechneigung deutlich reduziert.

Abbildung 16

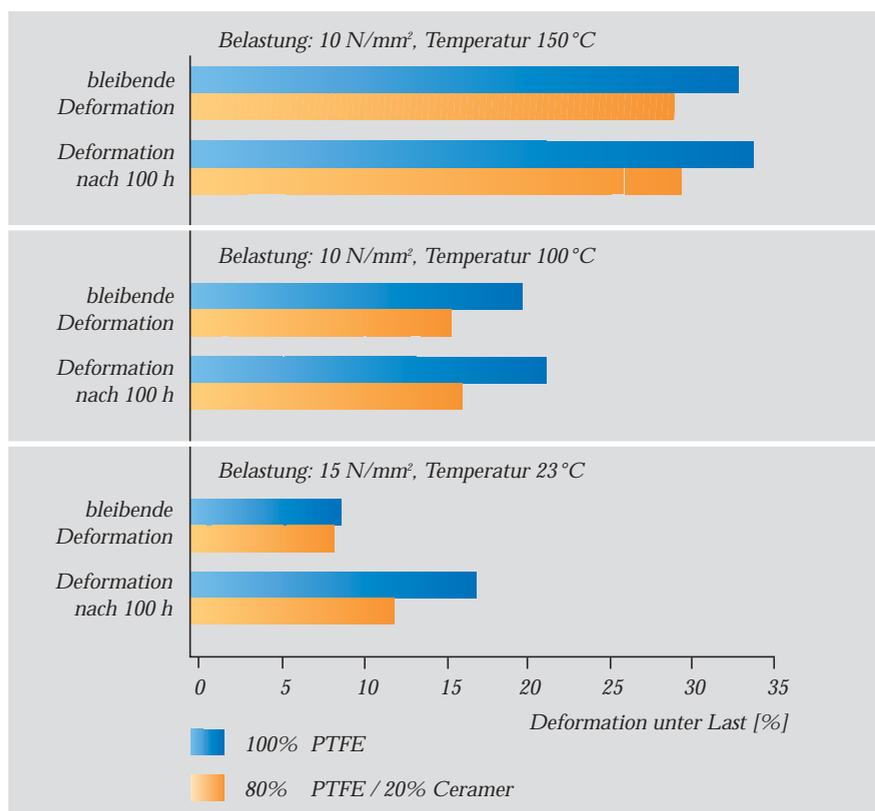


Abbildung 16 Deformation unter Last von reinem PTFE und PTFE gefüllt mit Ceramer

## Physikalische Kennwerte

Die Prüfungsdaten beziehen sich auf Mischungen mit Ceramer 20.

Abbildung 17

Abbildung 17 Physikalische Kennwerte von PTFE gefüllt mit Ceramer	Eigenschaften	Einheit	Prüfmethode	100% PTFE	95% PTFE 5% Ceramer	90% PTFE 10% Ceramer	80% PTFE 20% Ceramer
	Dichte	[g/cm <sup>3</sup> ]	ISO 1183	2,17	2,08	1,96	1,90
	Zugfestigkeit	[N/mm <sup>2</sup> ]	ASTM D 4894 ASTM D 4895	29	17	18	13
	Bruchdehnung	[%]	ASTM D 4894 ASTM D 4895	380	470	400	300

## Linearer Längenausdehnungskoeffizient

Der lineare Längenausdehnungskoeffizient von ungefülltem PTFE ist, abhängig von der Temperatur, starken Schwankungen unterworfen. Dies kann bei Bauteilen, die ständig wechselnden Temperaturen ausgesetzt sind, zu Problemen bei der Dimensionierung und in der Anwendung führen.

Durch zunehmenden Anteil von Ceramer als Verstärkungsstoff in PTFE wird sowohl die Temperaturabhängigkeit des linearen Längenausdehnungskoeffizienten reduziert, als auch seine absolute Höhe abgesenkt. Dies führt zu einer wesentlichen Vereinfachung bei der Dimensionierung der Bauteile sowie zu geringeren Schwankungen der Bauteilgeometrie in Bezug auf Änderungen der Umgebungstemperatur.

Abbildung 18

	Linearer Längenausdehnungskoeffizient [ $10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ]			
	10-30°C	30-100°C	100-170°C	170-270°C
100% PTFE	231	107	126	172
95% PTFE 5% Ceramer	220	100	110	150
90% PTFE 10% Ceramer	194	83	99	123
80% PTFE 20% Ceramer	189	76	86	111
50% PTFE 50% Ceramer	80	57	63	88
25% PTFE 75% Ceramer	46	46	50	60

Abbildung 18

Linearer Längenausdehnungskoeffizient von reinem PTFE und PTFE gefüllt mit Ceramer

PTFE-Compounds	Spezifischer Durchgangswiderstand [ $\Omega \cdot \text{cm}$ ]	PFA-Compounds	Spezifischer Durchgangswiderstand [ $\Omega \cdot \text{cm}$ ]
unverstärkt	$>10^{15}$	unverstärkt	$>10^{15}$
5% Ceramer	$>10^{15}$	5% Ceramer	$>10^{15}$
10% Ceramer	$>10^{15}$	10% Ceramer	$>10^{15}$
20% Ceramer	$>10^{15}$	20% Ceramer	$>10^{15}$

Abbildung 19

Spezifischer Durchgangswiderstand nach IEC 93 von Fluorpolymeren unverstärkt und verstärkt mit Ceramer (gemessen bei 23°C, 50% relativer Luftfeuchte, Spannung: 100 V)

## Reduzierung des Längenausdehnungskoeffizienten

## Nur geringe Veränderung der elektrischen Werte

Durch Zugabe von Ceramer verändern sich die Kennwerte von reinem PTFE nur unwesentlich. Die hervorragenden Isolationseigenschaften von PTFE bleiben somit erhalten.

Abbildung 19-21

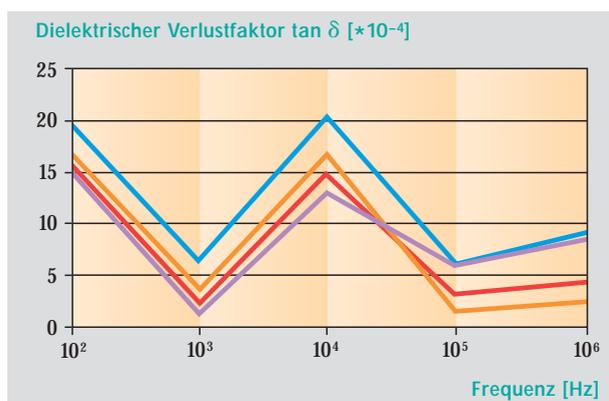


Abbildung 20

Dielektrischer Verlustfaktor  $\tan \delta$  nach IEC 250 von PTFE unverstärkt und verstärkt mit Ceramer (gemessen bei 23°C, 50% relativer Luftfeuchte)

unverstärkt — purple  
5% Ceramer — red  
10% Ceramer — orange  
20% Ceramer — blue

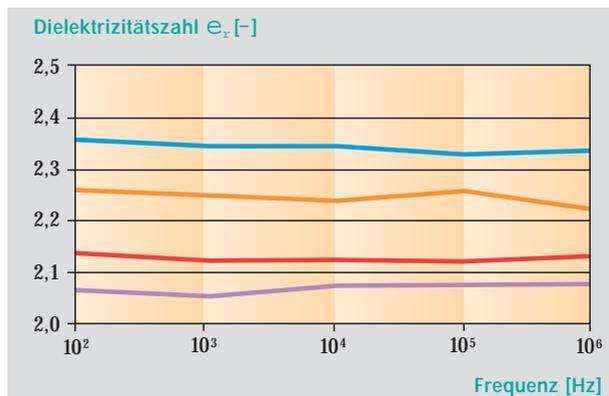


Abbildung 21

Dielektrizitätszahl  $\epsilon_r$  nach IEC 250 von PTFE unverstärkt und verstärkt mit Ceramer (gemessen bei 23°C, 50% relativer Luftfeuchte)

unverstärkt — purple  
5% Ceramer — red  
10% Ceramer — orange  
20% Ceramer — blue

## Freisintern von PTFE/Ceramer-Compounds

Ceramer sollte vor der Verarbeitung, das heißt vor dem Mischen mit dem PTFE-Pulver, getrocknet werden, um eventuell vorhandene Restfeuchte im Ceramer-Pulver zu entfernen. Empfohlene Trocknungsbedingungen:

- Trocknungstemperatur: 120-160 °C.
- Trocknungszeit: Mehrere Stunden, am besten über Nacht.
- Trocknungsatmosphäre: Luft oder Stickstoff.

Falls großvolumige Teile (Durchmesser >100 mm) gesintert werden, empfiehlt sich eine Vorbehandlung des Ceramer-Pulvers unter folgenden Bedingungen: 330 Minuten bei 375 °C im Umluft-trockenschrank.

Das Ceramer-Pulver sollte während des Tempervorgangs nahezu vollständig mit einer Aluminium- oder Glasplatte abgedeckt sein, um den direkten Kontakt mit der heißen Luft zu minimieren. Nur ein schmaler Rand sollte frei bleiben. Während des Tempervorgangs verliert das Ceramer-Pulver ca. 8% seines Eigengewichts. Die Ausgasungsprodukte bestehen hauptsächlich aus Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>).

## Ramextrusion von PTFE/Ceramer-Compounds

Für die Ramextrusion empfiehlt sich die gleiche Pulvervorbehandlung wie beim Freisintern großvolumiger Teile:

- Trocknungstemperatur: 375 °C.
- Trocknungszeit: 330 Minuten.
- Trocknungsatmosphäre: Umluft.

## Freisintern und Ramextrusion von PTFE/Ceramer Plus-Compounds

Für beide Verarbeitungstechnologien genügt es, das Ceramer Plus-Pulver zu trocknen:

- Trocknungstemperatur: 120-160 °C.
- Trocknungszeit: Mehrere Stunden, am besten über Nacht.
- Trocknungsatmosphäre: Luft oder Stickstoff.

Eine spezielle Pulvervorbehandlung wie bei der Verarbeitung von Ceramer ist hier aufgrund der höheren thermischen Stabilität des Ceramer Plus-Pulvers nicht erforderlich.

## Problemlose Verarbeitung von PTFE/Ceramer Plus-Compounds

## PTFE/Ceramer-Compounds in der Pastenverarbeitung



Abbildung 22



Abbildung 23  
Bowdenzug mit einem push-pull-Kabel aus PTFE/Ceramer.

Kabelummantelungen für Bowdenzüge (push-pull-Kabel) hergestellt von Norton Pampus, Willich, Deutschland.



Abbildung 24  
Kabelummantelung für Bowdenzüge (push-pull-Kabel) hergestellt von Scantube, Knivsta, Schweden.

Ein typisches Anwendungsgebiet für Pasten-Compounds sind Kabelummantelungen für Bowdenzüge, sogenannte push-pull-Kabel, die vor allem in der Automobilindustrie eingesetzt werden. Die bisher noch häufig verwendeten Kabelummantelungen aus Polyethylen werden bei den zunehmenden Temperaturanforderungen immer häufiger durch PTFE-Schläuche ersetzt, die abrasionsfest ausgerüstet sind. Als Abriebmodifikator wird hierfür häufig noch PPS verwendet.

Gegenüber PPS wird die Abriebfestigkeit der push-pull-Kabel durch Ceramer-Füllstoffe drastisch erhöht. Damit wird die Betriebssicherheit größer, da selbst ein Fehler bei der obligatorischen Schmiermittelaufgabe, wie partiell zu geringe Schmierung, nicht zu einem Durchrieb der push-pull-Kabel führt.

Selbst der vollständige Verzicht auf das Schmiermittel führt, im Gegensatz zur Verwendung von PPS, nicht zum Durchrieb.

Im Vergleich zu den bisher eingesetzten Bowdenzügen mit push-pull-Kabeln aus PTFE/PPS-Compounds konnte die verschleißabhängige Lebensdauer auf mehr als das 20fache erhöht werden.

Abbildungen 22-25

**Drastische Verbesserung  
des Abriebverhaltens  
durch Ceramer**

Füllstoff-Type	Füllstoffgehalt [Gewichts-%]	Gewichtsverlust [%] nach					
		500.000 Zyklen			1.000.000 Zyklen		
		23 °C	150 °C	180 °C	23 °C	150 °C	180 °C
Ungefülltes PTFE	0		durchgerieben nach 30.000 Zyklen				
PPS	7		durchgerieben nach 50.000 Zyklen				
Ceramer	3	1,6	3,5	nicht gemessen	2,3	nicht gemessen	nicht gemessen
Ceramer	7	0,4	0,6	1,8	0,9	1,5	2,8
Ceramer + Additive	4	0,3	0,2	nicht gemessen	0,9	0,5	nicht gemessen

Abbildung 25  
Abriebverhalten von push-pull-Kabeln aus PTFE-Pastenpulver gefüllt mit Ceramer sowie PPS

Die Abriebtests wurden in allen Fällen ohne Verwendung eines Schmiermittels (z.B. Silikonöl) durchgeführt.

**mehr als 20fach  
längere Lebensdauer**

Der Abrieb der Schläuche wurde nach der Bowdenzugmethode ermittelt:

Hierbei wird auf zwei Vorrichtungen jeweils ein Schlauch zu einem Viertelkreis geformt (Schlauchradius: 120 mm). Von diesen zwei Vorrichtungen befindet sich eine in einem Trockenschrank (Versuche bei höheren Temperaturen) und die andere in normaler Umgebung (Versuche bei Raumtemperatur). In den Schläuchen läuft in beiden Vorrichtungen ein Stahlseil, das an seinen beiden Enden mit einer Masse von jeweils 60 kg belastet ist. Dieses Stahlseil (Durchmesser 3 mm, 19-litzig, 0,6 mm) wird mittels eines Zylinders jeweils um 40 mm Hublänge abwechselnd in beide Richtungen bewegt (Frequenz 60 Hübe/min), so daß es zu einem Reibkontakt zwischen Schlauch und Stahlseil kommt.

Gemessen wird der Gewichtsverlust der Schläuche nach einer bestimmten Anzahl von Hüben.

Während der mit 7% PPS gefüllte Schlauch schon nach ca. 50.000 Hüben durchgerieben war, wurde beim Einsatz der gleichen Menge Ceramer selbst nach 1 Million Hüben noch kein Durchrieb festgestellt.

Auch eine Reduzierung von Ceramer um mehr als die Hälfte auf 3% führte zu keinem Durchrieb der Schläuche. Durch Zusatz spezieller Additive konnte der Abrieb noch weiter reduziert werden.

## Mechanische Kennwerte

Ceramer kann ohne Probleme und ohne Einbuße der mechanischen Eigenschaften PPS als Abriebmodifikator für Pastenschläuche ersetzen.

Abbildung 26

Abbildung 26 Mechanische Kennwerte von push-pull-Kabeln aus PTFE-Pastenpulver gefüllt mit Ceramer sowie PPS	Compound	Eigenschaften	23 °C	200 °C
	93% PTFE-Pastenpulver 7% PPS	Zugfestigkeit [N] Bruchdehnung [%]	96 410	27 190
93% PTFE-Pastenpulver 7% Ceramer	Zugfestigkeit [N] Bruchdehnung [%]	94 440	28 210	

## Weitere Anwendungen

PTFE-Pastenpulver gefüllt mit Ceramer werden vorteilhaft auch für Flachdichtungen, Gleitlager, Kabelisolierungen und abriebfeste Schläuche eingesetzt.

Abbildung 27



Abbildung 27

Gleitlager aus PTFE-Pastenpulver verstärkt mit Ceramer

## Verarbeitungshinweise

- Getrenntes Vorkühlen bei 0-5 °C von PTFE, Ceramer und Gleitmittel, zum Beispiel Shellsol T.
- Mischen von PTFE und Ceramer in einem Taumelmischer, ca. 20 Minuten bei < 15 °C.
- Zugabe des gekühlten Gleitmittels (ideal 26 Gewichtsteile Shellsol T bezogen auf PTFE), 20 Minuten im Taumelmischer bei < 15 °C.
- Über Nacht ruhen lassen bei 30 °C.
- Mischung in Vorformpresse einsieben, Sieb-Maschenweite 3 bis 4 mm.
- Anschließend Extrusion.

## Beschichtungssysteme aus PTFE/Ceramer bzw. Ceramer Plus



TVS s.p.a.  
via G. Galilei, 2 (Zona Industriale)  
I-61033 Fermignano (PS) Italien  
telex 560158 TVS-I  
tel +39 722 0722 3381 (ric. aut.)  
fax +39 722 0722 330035

Erhöhte Härte und Kratz-  
festigkeit durch Ceramer

Ceramer wird bereits erfolgreich in PTFE-Beschichtungssystemen eingesetzt. Die Hauptaufgaben von Ceramer hierbei sind:

- Erhöhung der Kratzfestigkeit
- Höhere Härte
- Reduzierung von Abrieb und Verschleiß.

Beschichtungen von Haushaltsgeräten sind nur ein typisches Anwendungsgebiet für PTFE/Ceramer bzw. Ceramer Plus-Compounds. *Abbildung 28*

Auch für technische Beschichtungen bringen diese Compounds beachtliche Anwendungsvorteile.



Abbildung 28

Haushaltsgeräte mit einer PTFE/Ceramer Beschichtung. Hergestellt von TVS, Fermignano, Italien

## Additiv für thermoplastische Fluorpolymere

Ceramer wird auch bei den thermoplastisch zu verarbeitenden Fluorkunststoffen PFA und ETFE mit sehr gutem Erfolg als Füllstoff verwendet.

Abbildung 29



Abbildung 29

Pumpengehäuse aus einem PFA/Ceramer-Compound. Hergestellt von Venus GmbH, Heidenheim, Deutschland.

PFA gefüllt mit Ceramer weist eine höhere Festigkeit (im Falle des Pumpengehäuses 30%) und Steifigkeit auf, als ungefülltes PFA. Die Chemikalienbeständigkeit des Compounds ist nahezu mit der des ungefüllten PFA's zu vergleichen.

## Auch bei thermoplastischen Fluorpolymeren drastische Reduzierung des Abriebs

Die Meßergebnisse bestätigen, daß auch bei den thermoplastischen Fluorpolymeren der Abrieb durch den Zusatz von Ceramer erheblich reduziert wird. Der Abrieb wurde mit einem Walzenabrießgerät bei 50 °C und einer Belastung von 1 N/mm<sup>2</sup> bestimmt. Das Material des Gegenlaufpartners bestand aus Perlitguß, Typ GGG 60, mit einer Rauhtiefe von ca. 1,5 µm. Die Gleitgeschwindigkeit betrug 2 m/s.

Abbildung 30

Ceramer	Abrieb [mg]			
	0% Ceramer	5% Ceramer	10% Ceramer	20% Ceramer
PFA	660	nicht gemessen	47	nicht gemessen
ETFE	96	18	nicht gemessen	11

Abbildung 30

Abrieb von thermoplastischen Fluorpolymeren ungefüllt und gefüllt mit Ceramer

PFA: Perfluoralkoxy ist ein vollfluorierter, thermoplastisch verarbeitbarer Kunststoff, bei dem die Eigenschaften von PTFE weitgehend erhalten sind.

ETFE: Tetrafluorethylen/Ethylen-Copolymerisat ist ein teilfluorierter, thermoplastisch verarbeitbarer Kunststoff mit einer Dauertemperaturbeständigkeit bis +150 °C für Draht- und Kabelummantelungen, Monofile, Spritzgußteile und transparente, witterungsbeständige Folien.

## Physikalische Kennwerte

Die nachstehenden Prüfungsdaten wurden von Compounds aus 2 typischen Fluorthermoplasten (PFA und ETFE) und Ceramer 20 erhalten.

Abbildungen 31 und 32

Eigenschaften	Einheit	Prüfmethode	PFA		Abbildung 31
			0% Ceramer	10% Ceramer	
Dichte	[g/cm <sup>3</sup> ]	ISO 1183	2,15	2,06	Physikalische Eigenschaften von PFA ungefüllt und gefüllt mit Ceramer
Kugeldruckhärte	[N/mm <sup>2</sup> ]	ISO 2039 I	39	42	
Streckspannung	[N/mm <sup>2</sup> ]	ASTM D 4894 ASTM D 4895	14	17	
Bruchdehnung	[%]	ASTM D 4894 ASTM D 4895	340	50	

Eigenschaften	Einheit	Prüfmethode	ETFE			Abbildung 32
			0% Ceramer	5% Ceramer	20% Ceramer	
Dichte	[g/cm <sup>3</sup> ]	ISO 1183	1,73	1,71	1,66	Physikalische Eigenschaften von ETFE ungefüllt und gefüllt mit Ceramer
Kugeldruckhärte	[N/mm <sup>2</sup> ]	ISO 2039 I	40	44	57	
Streckspannung	[N/mm <sup>2</sup> ]	ASTM D 4894 ASTM D 4895	21	22	21	
Bruchdehnung	[%]	ASTM D 4894 ASTM D 4895	250	130	25	

## Hervorragende Chemikalienbeständigkeit

Die Chemikalienbeständigkeit von Fluorthermoplasten mit Zusatz von Ceramer entspricht nahezu der des ungefüllten Materials. Die nebenstehende Tabelle zeigt die Bewertung eines Compounds aus 70% PFA und 30% Ceramer in Bezug auf die Beständigkeit gegenüber starken Säuren, Laugen, Lösemitteln und Hydraulikölen bei 23 °C bis 120 °C. Die Prüfungen wurden an ca. 2 mm dicken Zugstäben durchgeführt, die aus druckgesinterten Blöcken gefertigt wurden. Während der Lagerungsdauer standen die Probekörper nicht unter der Einwirkung äußerer Spannungen. Bis auf hochkonzentrierte Salpetersäure und Oleum, in der selbst ungefülltes PFA bei erhöhter Temperatur nicht beständig ist, war keine Schädigung durch die untersuchten Chemikalien festzustellen. *Abbildung 33*

Chemikalie	Chemische Beständigkeit bei				
	Raumtemperatur		100 °C		120 °C
	72 h	1.000 h	72 h	1.000 h	72 h
Salzsäure (37%ig)	A	A	A	A	
Schwefelsäure (96%ig)	A				A
Oleum (18 - 24% SO <sub>3</sub> )	B	C	C	C	
1:1 Mischung aus Wasserstoffperoxid (30%ig) und Schwefelsäure (96%ig)	A				A
Phosphorsäure (85%ig)	A				A
Salpetersäure (85%ig)	C	C	C	C	
Salpetersäure (100%ig)	C				C
Natronlauge (50%ig)	A	A	A	A	A
Kalilauge (50%ig)	A	A	A	A	
N-Methyl-2-Pyrrolidon (>99,5%)	A	A	A	A	
N, N-Dimethylformamid (>99%)	A	A	A	A	
HyJet IV-A, Chevron, Hydrauliköl	A	A	A	A	
Skydrol LD-4, Monsanto, Hydrauliköl	A	A	A	A	
Jet Oil II, Mobil, Hydrauliköl	A	A	A	A	

**Abbildung 33** Chemikalienbeständigkeit eines PFA/Ceramer (70:30) Compounds

Bewertet wurde folgendermaßen:

- A: widerstandsfähig (Gewichtszunahme < 3% oder Gewichtsverlust < 0,5% und/oder Abnahme der Reißfestigkeit < 15% und/oder Dimensionsänderung < 3%).
- B: bedingt widerstandsfähig (Gewichtszunahme 3 bis 8% oder Gewichtsverlust 0,5 bis 3% und/oder Abnahme der Reißfestigkeit 15 bis 30% und/oder Dimensionsänderung 3 bis 8%).
- C: nicht widerstandsfähig (Gewichtszunahme > 8% oder Gewichtsverlust > 3% und/oder Abnahme der Reißfestigkeit > 30% und/oder Dimensionsänderung > 8%).

## Die elektrischen Werte verändern sich nur unwesentlich

Die hervorragenden elektrischen Isolationseigenschaften von PFA, dem vollfluorierten thermoplastisch verarbeitbaren Werkstoff, bleiben auch beim Zusatz von Ceramer erhalten. Die Kennwerte verändern sich nur unwesentlich. *Abbildungen 34 und 35*

Abbildung 34

- unverstärkt —
- 5% Ceramer —
- 10% Ceramer —
- 20% Ceramer —

Dielektrischer Verlustfaktor  $\tan \delta$  nach IEC 250 von PTFE unverstärkt und verstärkt mit Ceramer (gemessen bei 23°C, 50% relativer Luftfeuchte)

Dielektrischer Verlustfaktor  $\tan \delta$  [ $\times 10^{-4}$ ]

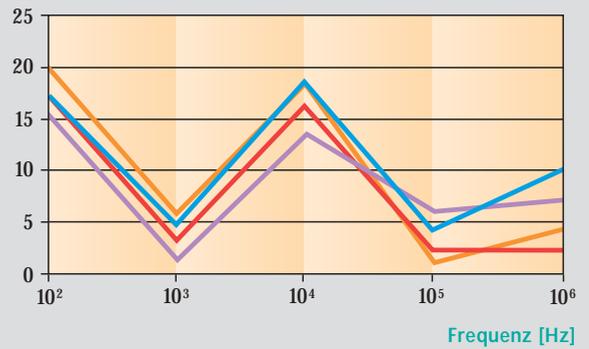
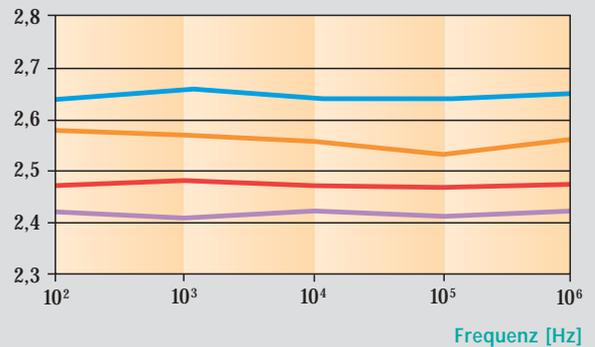


Abbildung 35

- unverstärkt —
- 5% Ceramer —
- 10% Ceramer —
- 20% Ceramer —

Dielektrizitätszahl  $\epsilon_r$  nach IEC 250 von PTFE unverstärkt und verstärkt mit Ceramer (gemessen bei 23°C, 50% relativer Luftfeuchte)

Dielektrizitätszahl  $\epsilon_r$  [-]



## Günstigere Tribologie- gewerte bei allen thermoplastischen Polymeren

Ceramer eignet sich wegen der geringen Teilchengröße hervorragend als Verstärkungsstoff für eine Vielzahl anderer polymerer Werkstoffe, zum Beispiel LCP, PEEK, PBT, POM, PEI, PESU. Auch bei diesen Polymeren wird durch den Zusatz von Ceramer eine deutliche Reduzierung des Abriebs und ein niedriger Reibbeiwert erzielt. Zusätzlich wird die Druckfestigkeit erhöht. Das erweiterte Typenprogramm ermöglicht dabei eine gezielte Materialwahl auch für spezielle Anwendungen. *Abbildungen 36-44*

Die Oberflächenrauigkeit der einzelnen Kornpartikel gewährleistet eine sehr gute physikalische Verbindung mit dem jeweiligen Matrixwerkstoff. Da Ceramer nicht schmelzbar ist, bleibt die Kornform auch während der Verarbeitung erhalten.

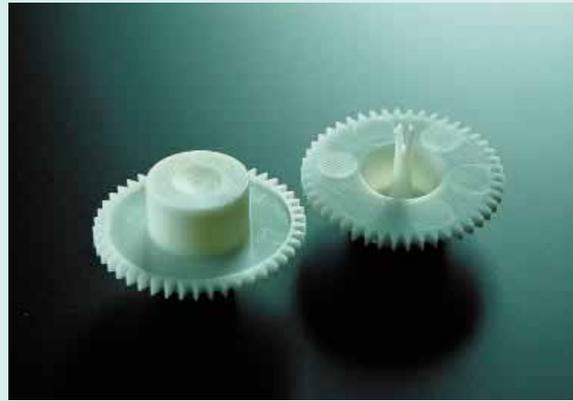


Abbildung 36

Zahnräder aus Hochleistungspolymeren verstärkt mit Ceramer.

Abrieb und Verschleiß der Zahnräder konnte durch Verwendung von Ceramer als Additiv deutlich reduziert werden.

Eigenschaften, Norm [Einheit]	100% LCP	95% LCP	90% LCP	85% LCP
		5% Ceramer	10% Ceramer	15% Ceramer
Dichte, ISO 1183 [g/cm <sup>3</sup> ]	1.399	1.402	1.405	1.408
Zugversuch, ISO 527				
Zug-E-Modul [N/mm <sup>2</sup> ]	8600	8110	7510	7200
Zugfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	153	174	157	146
Bruchdehnung [%]	4.2	5.3	5.2	5.0
Biegeversuch, ISO 178				
Biege-E-Modul [N/mm <sup>2</sup> ]	8950	8040	7370	6880
Biegefestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	154	151	146	142
Druckversuch, ISO 604				
Druckspannung [N/mm <sup>2</sup> ]	67.7	68.6	69.1	76.1
Dehnung bei Druckspannung [%]	9.5	10.6	6.6	18.2
Charpy Schlagzähigkeit				
ISO 179/1eU [kJ/m <sup>2</sup> ]	73.6	78.3	71.2	60.8
Charpy Kerbschlagzähigkeit				
ISO 179/1eA [kJ/m <sup>2</sup> ]	39.3	44.8	25.9	15.6
HDT C, DIN 53461 [°C]	96	95	92	92
Tribologische Eigenschaften				
Verschleißkoeffizient k* [10 <sup>-6</sup> mm <sup>3</sup> /Nm]	0.39	0.24	0.35	0.78
Reibbeiwert* [-]	0.64	0.39	0.17	0.24

Abbildung 37 Physikalische Eigenschaften von LCP/Ceramer-Compounds

\* Stift/Scheibe-System, Gleitgeschwindigkeit:

0,5 m/s, Anpreßdruck: 1 N/mm<sup>2</sup>, R<sub>z</sub> = 3 µm, Raumtemperatur

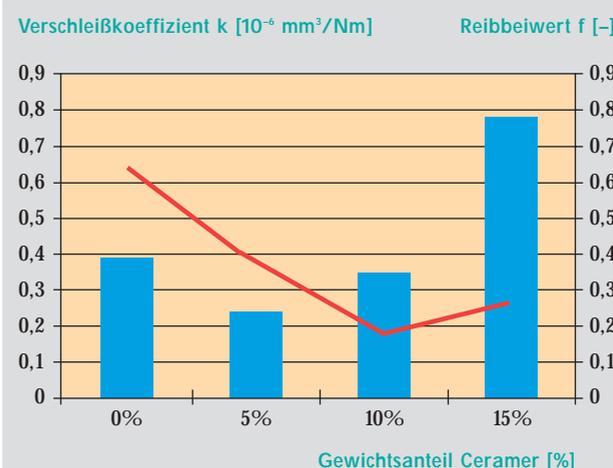


Abbildung 38

Verschleißkoeffizient

Reibbeiwert

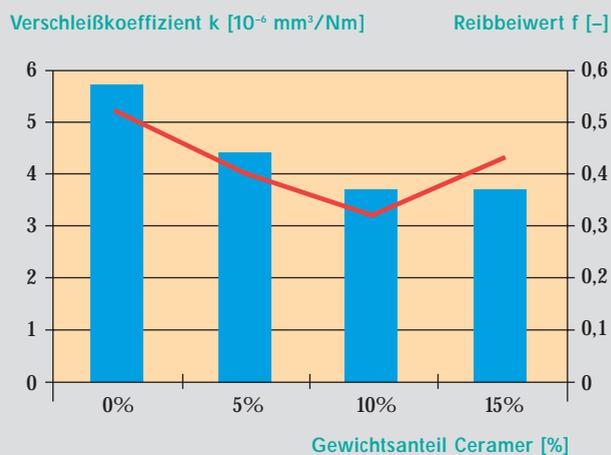
Tribologie von LCP/Ceramer-Compounds

Eigenschaften, Norm [Einheit]	100% PEEK	95% PEEK	90% PEEK	85% PEEK
		5% Ceramer	10% Ceramer	15% Ceramer
Dichte, ISO 1183 [g/cm <sup>3</sup> ]	1.290	1.295	1.295	1.309
Zugversuch, ISO 527				
Zug-E-Modul [N/mm <sup>2</sup> ]	3930	3810	3820	3960
Zugfestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	96.3	90.4	72.7	70.8
Bruchdehnung [%]	9.2	5.6	2.4	2.1
Biegeversuch, ISO 178				
Biege-E-Modul [N/mm <sup>2</sup> ]	3990	3980	4060	4070
Biegefestigkeit [N/mm <sup>2</sup> ]	155	151	151	145
Druckversuch, ISO 604				
Druckspannung [N/mm <sup>2</sup> ]	147	149	153	160
Dehnung bei Druckspannung [%]				
Charpy Schlagzähigkeit ISO 179/1eU [kJ/m <sup>2</sup> ]	o. B.	185	49.4	26.5
Charpy Kerbschlagzähigkeit ISO 179/1eA [kJ/m <sup>2</sup> ]	7.7	6.6	3.6	2.3
HDT C, DIN 53461 [°C]	140	137	139	137
Tribologische Eigenschaften				
K-Faktor* [10 <sup>-6</sup> mm <sup>3</sup> /Nm]	5.7	4.4	3.7	3.7
Reibbeiwert* [-]	0.52	0.40	0.32	0.43

**Abbildung 39** Physikalische Eigenschaften von PEEK/Ceramer-Compounds  
\* Stift/Scheibe-System, Gleitgeschwindigkeit:  
0,5 m/s, Anpreßdruck: 1 N/mm<sup>2</sup>, R<sub>z</sub> = 0,5 µm, Raumtemperatur

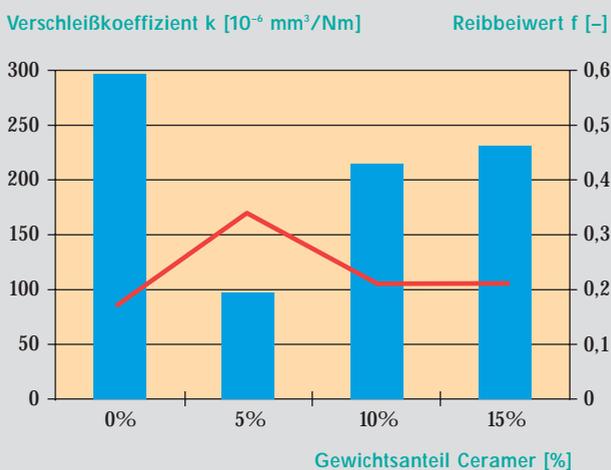
**Abbildung 40**

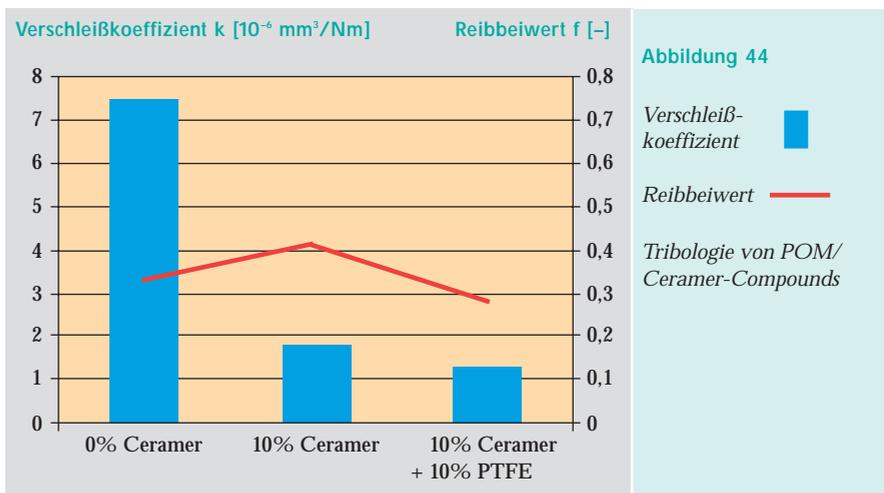
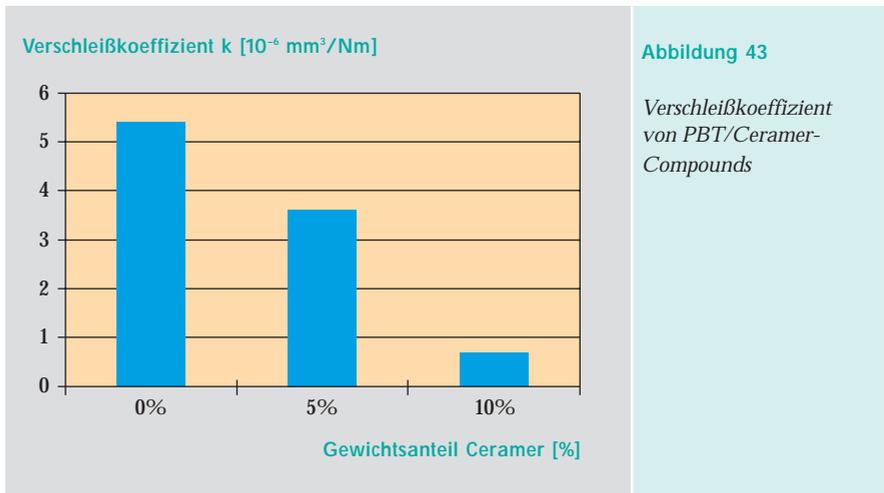
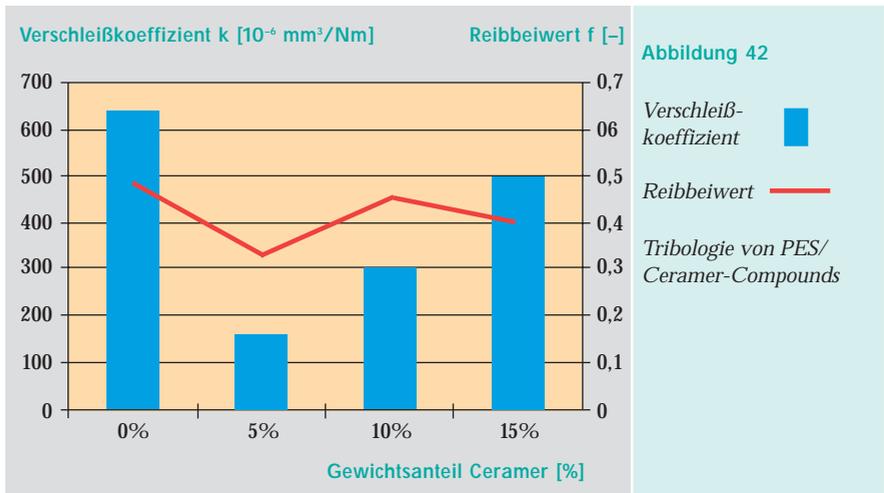
Verschleißkoeffizient   
Reibbeiwert   
Tribologie von PEEK/  
Ceramer-Compounds



**Abbildung 41**

Verschleißkoeffizient   
Reibbeiwert   
Tribologie von PEI/  
Ceramer-Compounds





## Günstige tribologische Werte auch bei Duroplasten

Sehr gute tribologische Werte werden auch bei Duroplasten mit Ceramer als Füllstoff erzielt. Zusätzlich werden bessere mechanische Kennwerte durch den Ersatz der konventionellen Füllstoffe mit Ceramer erreicht.

Abbildungen 45 und 46

Abbildung 45

Tribologiewerte von Epoxydharz gefüllt mit Ceramer

Verschleißkoeffizient   
Reibbeiwert 

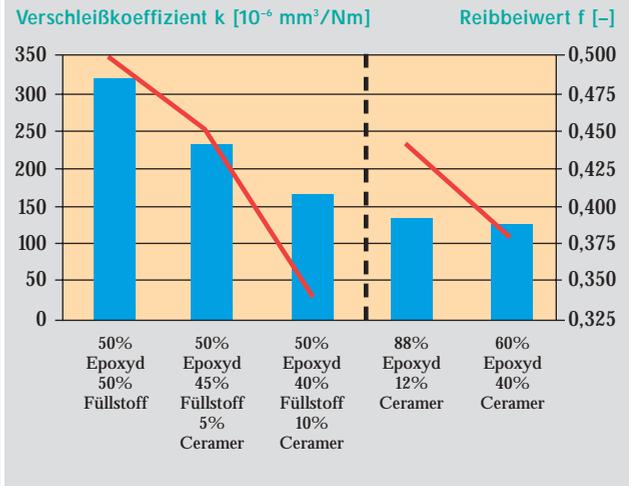
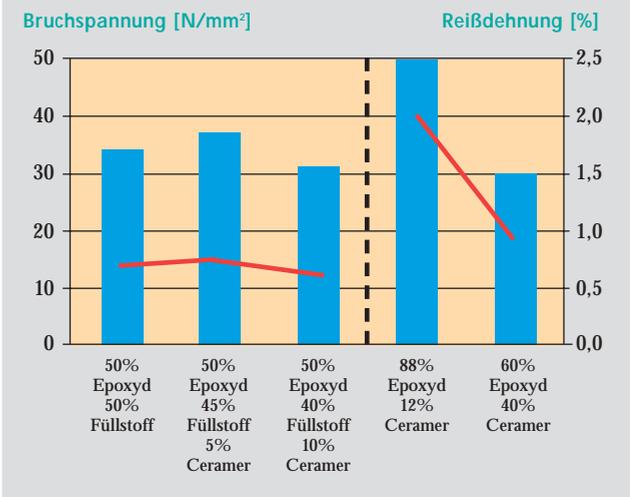


Abbildung 46

Zugeigenschaften nach DIN 53455 von Epoxydharzen gefüllt mit Ceramer

Bruchspannung   
Reißdehnung 



## Die hervorragenden elektrischen Eigenschaften der Fluorpolymere bleiben erhalten

Eine signifikante Veränderung der elektrischen Eigenschaften zwischen den ungefüllten Fluorpolymeren und den Compounds mit Ceramer konnte nicht festgestellt werden (s. Seite 11 und 18).

Für die Prüfung wurde das verwendete Kupfer durch Sputtern auf das jeweilige Substrat in einer Schichtdicke von ca. 240 nm aufgebracht und anschließend die Haftfestigkeit mit der Abreißmethode bestimmt. Die Meßdaten bestätigen eine deutliche Verbesserung der Haftfestigkeit gegenüber Metallen.

Abbildung 47

Der Anstieg des polaren Anteils der Oberflächenspannung der Fluorpolymersubstrate ist dafür die Hauptursache.

Abbildung 48

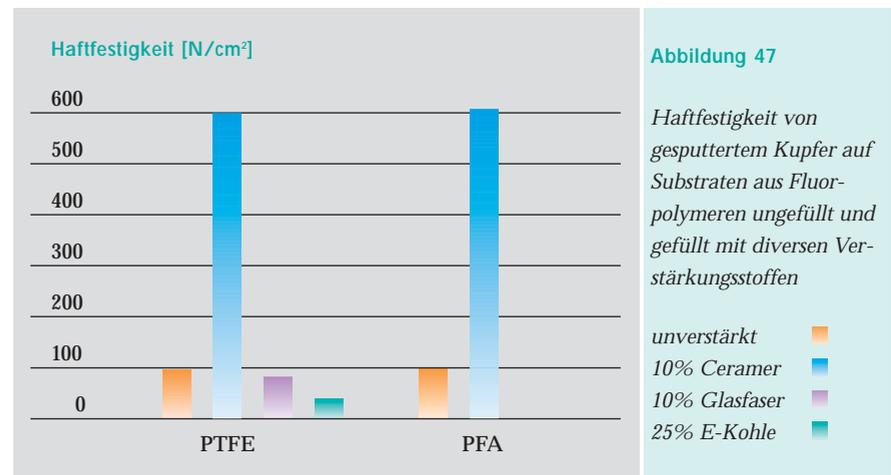
Die Dicke der Kupferschicht kann mittels elektrochemischer Abscheidung weiter erhöht werden.

## Erhebliche Verbesserung der Haftfestigkeit gegenüber Metallen

Von den unpolaren Fluorpolymeren ist bekannt, daß ihre Haftung gegenüber anderen Materialien, speziell Metallen, sehr gering ist. Dies führt bei Anwendungen in der Elektronikindustrie, zum Beispiel für Leiterplatten, zu erheblichen Schwierigkeiten bei der Metallisierung von Formkörpern.

Abbildung 49

Oft kommen Fluorpolymere hierfür gar nicht erst zum Einsatz, obwohl ihre elektrischen Eigenschaften für diese Anwendungen ideal wären. Durch Zusatz von polarem Ceramer oder hochpolarem Ceramer Plus kann die Haftfestigkeit gegenüber Metallen, wie Kupfer, drastisch gesteigert werden. Dabei ist zu gewährleisten, daß immer ausreichende Mengen des Füllstoffes an der Substratoberfläche vorhanden sind.



Compound	Oberflächenspannung nach Neumann gegen Wasser		Oberflächenspannung nach Wu	
	Gesamt $\sigma_s$ [mN/m]	Dispersiver Anteil $\sigma_s^d$ [mN/m]	Polarer Anteil $\sigma_s^p$ [mN/m]	Gesamt $\sigma_s$ [mN/m]
100% PTFE	19,4	23,3	2,1	25,4
95% PTFE 5% Ceramer	28,7	19,1	8,3	27,4
90% PTFE 10% Ceramer	29,0	16,2	9,7	25,9
80% PTFE 20% Ceramer	41,7	15,8	17,9	33,7
100% Ceramer	47,4	20,5	18,8	39,3

Abbildung 48

Oberflächenspannung von PTFE ungefüllt und gefüllt mit Ceramer



Abbildung 49

3-D-Leiterplatte mit verbesserter Haftung der Leiterbahnen durch Ceramer

## Metallisierung anderer Polymersysteme

Der Einsatz von Ceramer und Ceramer Plus als Additiv in anderen Polymersystemen führt ebenfalls zu einer erheblichen Verbesserung der Metallisierbarkeit.

Auch hierbei wurde für die Prüfung das verwendete Kupfer mittels Sputtern auf das jeweilige Substrat in einer Schichtdicke von ca. 240 nm aufgebracht und anschließend die Haftfestigkeit der Kupferschicht auf dem Substrat mit der Abreißmethode bestimmt.

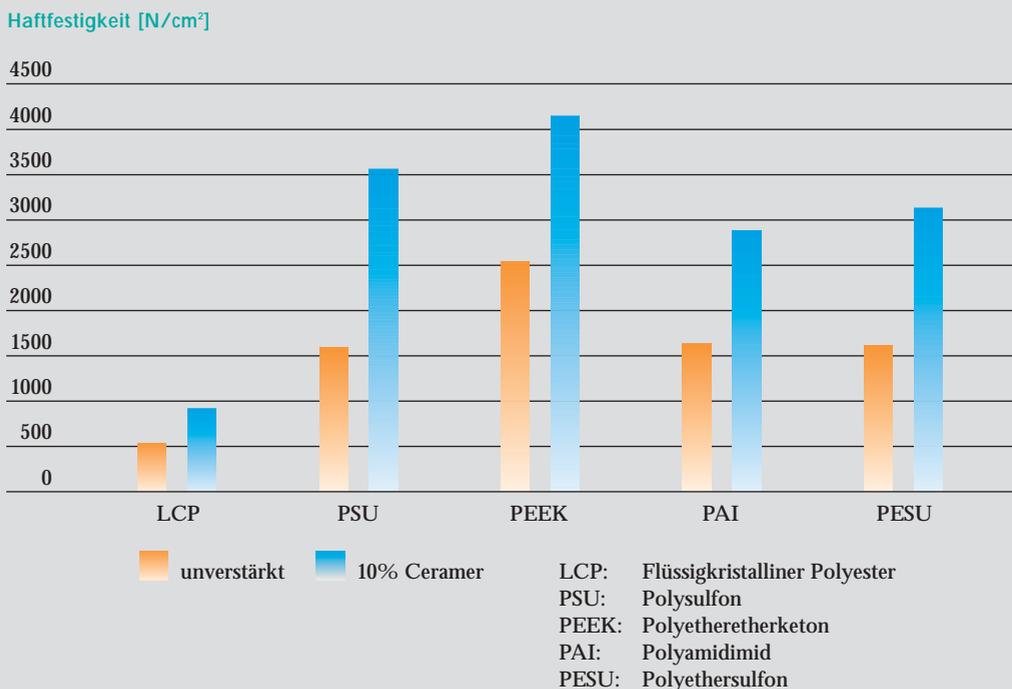
Abbildung 50

Die Dicke der Kupferschicht kann auch hier mittels elektrochemischer Abscheidung weiter erhöht werden.

Ceramer und Ceramer Plus verbessern die Metallisierbarkeit

Abbildung 50

Haftfestigkeit von gesputtertem Kupfer auf Substraten aus Hochleistungspolymeren ungefüllt und gefüllt mit Ceramer



## Ceramer und Ceramer Plus als Hochleistungswerkstoffe mit hoher Chemikalien- und Wärmeformbeständigkeit

Die Verarbeitung als eigenständige Werkstoffe erschließt ein weites Gebiet von Anwendungen.

Die Polymere zeichnen sich vor allem aus durch:

- universelle Chemikalienbeständigkeit, die mit PTFE vergleichbar ist,
- Heißdampfbeständigkeit und Sterilisierbarkeit (180 °C, 6 h),
- sehr hohe Temperaturbeständigkeit (Tg ca. 360 °C),
- inhärente Flammwidrigkeit ( $\geq 1,5$  mm UL 94 V-0),
- hohe Härte, Festigkeit und Steifigkeit,
- sehr gute Oberflächenqualität, die spiegelnde Oberflächen ermöglicht,
- erfüllt Anforderungen für den Kontakt mit Lebensmitteln.

Die Werkstoffe stehen auch als hochreine Produkte, in sogenannten „electronic grades“, zur Verfügung.

Der Anteil an Metall-Ionen liegt hier im unteren ppm- beziehungsweise ppb-Bereich. Der Anteil an Eisen- und Natrium-Ionen kann beispielsweise auf jeweils  $< 1$  ppm reduziert werden (Seiten 4 und 32).

## Verarbeitungsverfahren

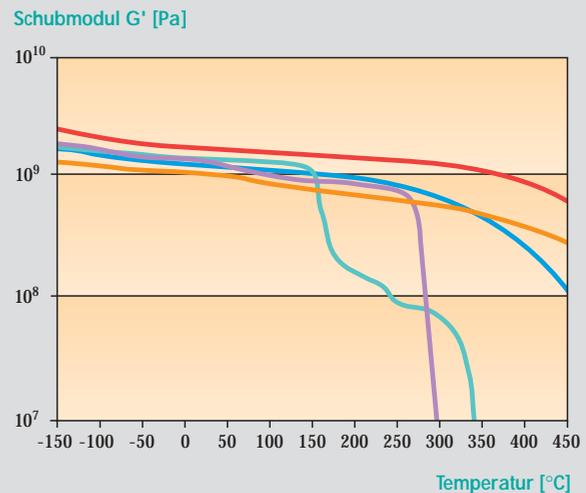
Ceramer und Ceramer Plus können nicht nach den üblichen thermoplastischen Verarbeitungsverfahren, wie Spritzgießtechnik und Extrusion, verar-

beitet werden, da sie keinen Schmelzbereich haben. Geeignete Verarbeitungsverfahren sind das Heißpressen und die Sinter-/Grünling-Technologie.

Abbildung 51

Ceramer  
Ceramer Plus  
PEEK  
PAI  
PI

Schubmodul in Abhängigkeit von der Temperatur, gemessen an heißgepreßten Stäben aus Ceramer und Ceramer Plus, im Vergleich zu anderen Hochleistungspolymeren.



## Heißpressen von Ceramer

Um Ceramer nach dem Heißpreßverfahren verarbeiten zu können, ist eine Pulvervorbehandlung erforderlich.

Die Verarbeitungsparameter hängen sehr stark von der Größe des zu pressenden Formteils ab. *Abbildung 52*

Pulvervorbehandlung	330 Minuten bei 375 °C in Umluft. Es ist empfehlenswert, das Pulver während der Vorbehandlung abzudecken und nur einen schmalen Rand frei zu lassen, d. h. den Kontakt zur umgebenden Luft zu reduzieren. Während der Vorbehandlung verliert das Ceramer-Pulver ca. 8% seines Eigengewichts. Die Ausgasungsprodukte bestehen hauptsächlich aus Schwefeldioxid (SO <sub>2</sub> ).
Preßtemperatur	425–430 °C (Biegefestigkeit nimmt langsam ab, bei Reduzierung der Preßtemperatur bis auf 400 °C).
Preßdruck	140 N/mm <sup>2</sup> (70 N/mm <sup>2</sup> sind bereits ausreichend, die Biegefestigkeit ist dann jedoch etwas reduziert). Der Preßdruck sollte bereits während der Aufheizphase bei Erreichen von 400 °C aufgegeben werden.
Preßzeit	30 Minuten (reduzierte mechanische Eigenschaften bei 15 Minuten Preßzeit; 45 Minuten Preßzeit kann zu erhöhten mechanischen Eigenschaftswerten führen).
Abkühlen	Bis 275 °C unter Preßdruck, dann drucklos.

Abbildung 52

Heißpreßparameter am Beispiel für Formteile bis zu 25 mm Durchmesser

Die genannten Werte sind typisch für Formteile mit einem Durchmesser bis zu 25 mm. Bei größeren Formteilen ist die Preßtemperatur entsprechend abzusenken, da es sonst zu Rissen in den Formteilen kommen kann.

Aufgrund der Konstruktion vieler Pressen und der vorgegebenen Schüttdichte des Ceramer Pulvers von  $0,54 \text{ g/cm}^3$  ist es oftmals nicht möglich, entsprechend dicke oder lange Probekörper in der Presse direkt zu fertigen. Hier empfiehlt es sich, dünnere, beziehungsweise kürzere Teile aus dem Ceramer-Pulver kalt vorzupressen. Durch die dabei erreichte Verdichtung des Ceramer-Pulvers (60% der theoretischen Dichte, das heißt ca.  $0,86 \text{ g/cm}^3$ ) können in der Heißpresse dickere oder längere Teile hergestellt werden. Es empfiehlt sich, zwischen den einzelnen kalt vorverdichteten Teilen noch eine dünne Schicht Ceramer-Pulver einzufügen, um eine bestmögliche Qualität des heißgepreßten Formteils zu erreichen.

Abbildung 53

Der Längenausdehnungskoeffizient kann durch Verwendung von Kohlenstoffasern als Füllstoff deutlich reduziert werden. Hierdurch kann er anderen Materialien wie Aluminium, Stahl oder Glas angepaßt werden.

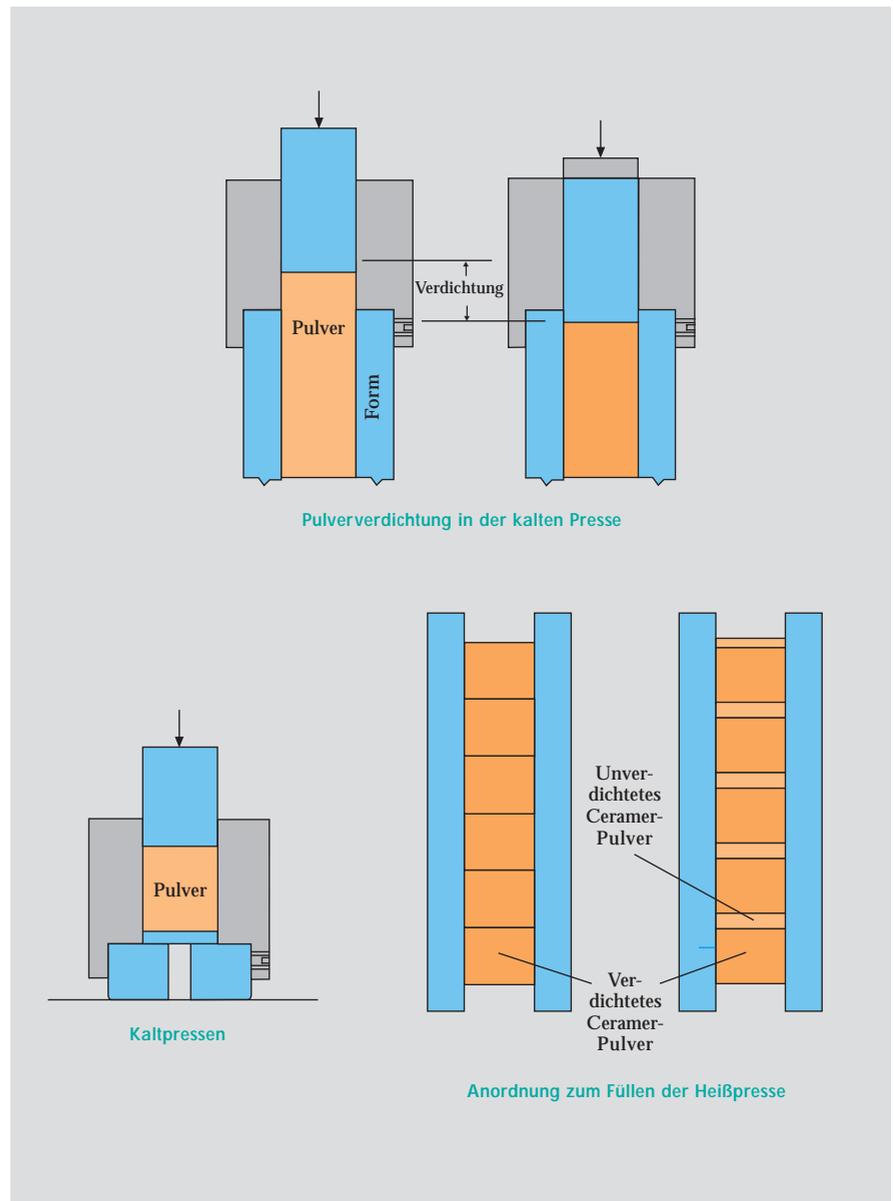


Abbildung 53 Methoden zum Verdichten des Ceramer-Pulvers



Abbildung 54

Halbzeuge und Formteile aus Ceramer.



Abbildung 54a

Durch Heißpressen von Ceramer lassen sich Formteile mit spiegelnden Oberflächen erzielen.



Abbildung 54b

Heißgepreßte Teile aus Ceramer lassen sich mit einer dünnen Schicht aus Ceramer-Pulver in einem weiteren Heißpreßschritt miteinander verschweißen.

Exzellente Hochtemperatur-  
eigenschaften von  
heißgepreßtem Ceramer

Eigenschaften, Norm	Ceramer	
	metrische Einheit	englische Einheit
Wasseraufnahme, ISO 62 nach 24 h bei 23 °C Sättigung bei 23 °C	0,1% 0,4%	0.1% 0.4%
Dichte, ISO 1183	1,41 g/cm <sup>3</sup>	1.41 g/cm <sup>3</sup>
Kugeldruckhärte, ISO 2039 unbehandelte Oberfläche polierte Fläche	215 N/mm <sup>2</sup> 141 N/mm <sup>2</sup>	31 kpsi 20 kpsi
Druckversuch, ISO 604 Spannung bei 1% Stauchung Bruchspannung Stauchung bei Bruch	24 N/mm <sup>2</sup> 153 N/mm <sup>2</sup> 10%	3.5 kpsi 22 kpsi 10%
Zugversuch, ISO 527 Elastizitätsmodul Zugfestigkeit Reißdehnung	3400 N/mm <sup>2</sup> 42 N/mm <sup>2</sup> 1,2%	490 kpsi 6.1 kpsi 1.2%
Biegeversuch, ISO 178 -30 °C Elastizitätsmodul Biegefestigkeit Bruchdehnung	3960 N/mm <sup>2</sup> 87 N/mm <sup>2</sup> 2,1%	580 kpsi 13 kpsi 2.1%
+23 °C Elastizitätsmodul Biegefestigkeit Bruchdehnung	3850 N/mm <sup>2</sup> 84 N/mm <sup>2</sup> 2,1%	560 kpsi 12.3 kpsi 2.1%
+100 °C Elastizitätsmodul Biegefestigkeit Bruchdehnung	3410 N/mm <sup>2</sup> 65 N/mm <sup>2</sup> 1,9%	500 kpsi 9.5 kpsi 1.9%
+200 °C Elastizitätsmodul Biegefestigkeit Bruchdehnung	3030 N/mm <sup>2</sup> 47 N/mm <sup>2</sup> 1,6%	440 kpsi 6.9 kpsi 1.6%
+300 °C Elastizitätsmodul Biegefestigkeit Bruchdehnung	1740 N/mm <sup>2</sup> 43 N/mm <sup>2</sup> 2,8%	250 kpsi 6.3 kpsi 2.8%
HDT A, ISO 75	> 295 °C	> 563 °F
HDT C, ISO 75	250 °C	482 °F
Dielektrizitätskonstante $\epsilon_r$ , ASTM D150		
1 KHz	3,6	3.6
10 KHz	3,5	3.5
100 KHz	3,5	3.5
1 MHz	3,41	3.41
10 MHz	3,39	3.39
500 MHz	3,37	3.37
1 GHz	3,37	3.37
10 GHz	3,28	3.28
Verlustfaktor $\tan \delta$ , ASTM D150		
10 KHz	$20 \times 10^{-4}$	$20 \times 10^{-4}$
100 KHz	$40 \times 10^{-4}$	$40 \times 10^{-4}$
1 MHz	$59 \times 10^{-4}$	$59 \times 10^{-4}$
10 MHz	$52 \times 10^{-4}$	$52 \times 10^{-4}$
500 MHz	$54 \times 10^{-4}$	$54 \times 10^{-4}$
1 GHz	$58 \times 10^{-4}$	$58 \times 10^{-4}$
10 GHz	$95 \times 10^{-4}$	$95 \times 10^{-4}$
Durchgangswiderstand, ASTM D 257	$10^{15} \Omega \text{ cm}$	$10^{15} \Omega \text{ cm}$
Oberflächenwiderstand, ASTM D 257	$10^{11} \Omega$	$10^{11} \Omega$
Durchschlagfestigkeit, ASTM D149	12,4 kV/mm	310 V/mil
Längenausdehnungskoeffizient		
- 50 °C bis 100 °C	$48 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$	$27 \times 10^{-6} \text{ in/in } ^\circ\text{F}$
100 °C bis 200 °C	$46 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$	$26 \times 10^{-6} \text{ in/in } ^\circ\text{F}$
200 °C bis 300 °C	$45 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$	$25 \times 10^{-6} \text{ in/in } ^\circ\text{F}$
300 °C bis 360 °C	$40 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$	$22 \times 10^{-6} \text{ in/in } ^\circ\text{F}$

Abbildung 55 Physikalische Eigenschaften von Ceramer

## Ceramer Plus für Formteile mit besonderen Anforderungen

Ceramer Plus ist besonders für hochbeanspruchte technische Teile geeignet, zum Beispiel für Lager und Dichtungen für die Öl- und Gasindustrie, Luft- und Raumfahrttechnik sowie den allgemeinen Maschinenbau. Aufgrund seiner hohen Reinheit ist der Werkstoff außerdem für die Halbleitertechnik interessant. *Abbildung 57*

Bauteile aus Ceramer Plus zeichnen sich durch eine höhere chemische Beständigkeit und höhere Temperaturbeständigkeit gegenüber dem Standardtyp Ceramer aus. Die Druckfestigkeit von Ceramer Plus ist bei erhöhter Temperatur (ca. 150 °C bis 250 °C) um ca. ein Drittel höher als bei Ceramer, während bei Raumtemperatur das Standardmaterial Ceramer um etwa ein Drittel höhere Druckfestigkeitswerte aufweist.

## Verarbeitung

Der Verarbeitungsprozeß im Heißpreßverfahren ist dem für Ceramer sehr ähnlich. Eine Pulvervorbehandlung ist nicht erforderlich.

*Abbildung 56*

Pulvervorbehandlung	nicht erforderlich
Preßtemperatur	430 – 435 °C
Preßdruck	140 – 210 N/mm <sup>2</sup> (der Preßdruck sollte bereits während der Aufheizphase bei Erreichen von 400 °C aufgegeben werden)
Preßzeit	30 Minuten
Abkühlen	bis 275 °C unter Preßdruck, dann drucklos

**Abbildung 56** Typische Heißpreßparameter von Ceramer Plus

Auch bei Ceramer Plus kann die Methode des Vorverdichtens des Pulvers angewandt werden, um dickere oder längere Formteile zu erhalten.

**Pulvervorbehandlung beim Heißpressen von Ceramer Plus nicht erforderlich**



**Abbildung 57**

Das linke Bauteil stellt einen Hohlzylinder aus Stahl dar, in den mit Kohlenstoff-Fasern verstärktes Ceramer Plus durch Heißpressen eingesintert wurde. Durch den Zusatz der Kohlenstoff-Fasern wurde der Längenausdehnungskoeffizient dem von Stahl angepasst. Hierdurch wurde ein ausgezeichneter Verbund zwischen dem Kohlenstoff-Fasern/Ceramer-Compound und der Metallhülse erzielt.

Bei dem rechten Formteil wurde Ceramer Plus verstärkt mit Kohlenstoff-Fasern mittels eines schraubenförmigen Stempels heißgepreßt. Durch Aufbringen eines Schmiermittels auf die Schraube läßt sich die Schraube nach dem Heißpressen aus dem Formteil herausdrehen und man erhält ein perfektes Innengewinde.

## Bearbeitungsrichtlinien für Formteile aus Ceramer und Ceramer Plus

Ceramer kann grundsätzlich auf allen gängigen Werkzeugmaschinen spanend bearbeitet werden. Dabei sollten die Schneidgeschwindigkeiten sehr klein gewählt werden. Folgende Frässtifte haben sich zur Bearbeitung von Ceramer und Ceramer Plus bewährt: Frässtift Form AS Zylinder (ZYA) mit Stirnverzahnung sowie Frässtift M Spitzkegel (SKM).

Auf Kühlmittel oder auf Wasser, das mit Tensiden versetzt ist, sollte während der spanenden Bearbeitung ganz verzichtet werden, da sie zu Oberflächenrissen und zum Herausreißen kleiner Ceramer-Partikel führen können. Falls erforderlich, sollte destilliertes Wasser verwendet werden, um die Benetzbarkeit der Formteile zu verbessern.

Abbildung 58



Abbildung 58

Auf einer Drehbank spanend bearbeiteter Ceramer-Zylinder

## Ceramer Bearbeitungshinweise



Abbildung 59

Planfräsen eines Ceramer-Zylinders (Durchmesser ca. 2,5 cm) auf einer Drehbank mittels eines Frässtiftes (Carbid-Frässtift, Durchmesser ca. 3 mm). Für die Aufnahme wurden die Drehbank, der Fräser sowie das Kühlwasser abgestellt.

Abbildung 60

Detailaufnahme eines geeigneten Frässtiftes für das spanende Bearbeiten von Ceramer auf einer Drehbank. Nach dem Plandrehen der Oberfläche wurde ein 25 µm tiefer Streifen in die Oberfläche eingefräst.



Abbildung 61

Der rechte Zylinder aus Ceramer 20 zeigt eine gute Oberflächenqualität. Unter den gleichen Bearbeitungsbedingungen, incl. Kühlwasser, wurde der linke Zylinder aus Ceramer Plus 20 bearbeitet. Zu beobachten sind hier Oberflächendefekte. Für Ceramer und Ceramer Plus sind somit unterschiedliche Bearbeitungsparameter anzuwenden.



Abbildung 62

Die Zylinder wurden anschließend auf einer Drehbank mit einem ca. 6 mm großen rotierenden Frässtift weiter bearbeitet. Hier zeigt nun der Zylinder aus Ceramer Plus 20 eine gute Oberflächenqualität während der Zylinder aus Ceramer 20 Oberflächendefekte aufweist. Während der Bearbeitung der Oberflächen wurde hier anstelle einer Wasserkühlung mit Luft gekühlt.



Für die Verarbeitung von Ceramer und Ceramer Plus wurden Werkzeugoberflächen aus folgenden Materialien auf ihre Eignung hin untersucht:

Abbildung 63

Empfehlungen für Werkzeugstähle:

Gehärtete Edelmstähle wie 1.4542

(X5 CrNiCuNb 17.4) oder 13-8Mo.

Empfehlungen für Gleitmittel:

Bornitrid eignet sich für jede Werkzeugoberfläche. Für vergoldete oder hart verchromte Oberflächen wird jedoch ein Graphitspray empfohlen, da ein einmaliges Einsprühen für mehrere Pressungen ausreicht und damit niedrigere Kosten und eine geringere Kontamination der Formteilerflächen entstehen.

Werkzeugoberflächen:	Ceramer	Ceramer Plus
Verchromt (auch angelauten)	geeignet	geeignet
Keramik (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> und Si C)	geeignet	geeignet
Vergoldet mit einem dünnen Graphitfilm	geeignet	geeignet
Glimmer	geeignet	geeignet
Vergoldet	geeignet	bedingt geeignet (teilweise kleben/anhaften von Ceramer Pulver)
Ti N	geeignet	bedingt geeignet (teilweise kleben/anhaften von Ceramer Pulver)

Abbildung 63 Empfohlene Werkzeugoberflächen für das Heißpressen von Ceramer und Ceramer Plus

## Sinter-/Grünling-Technologie

Diese Verarbeitungstechnologie für nicht schmelzbare Kunststoffe ist weit verbreitet, da sie im Vergleich zum Heißpressen eine kostengünstige Alternative darstellt.

Die beim Heißpressen erreichbaren mechanischen Werte werden hier allerdings nicht erreicht. Deshalb bietet sich die Kombination beider Verfahren (Sinter-technologie kombiniert mit Heißpressen) an, bei der im ersten Schritt das Pulver kalt vorgepreßt und anschließend direkt in der auf Preßtemperatur vorgeheizten zweiten Presse weiterverarbeitet wird. Dadurch entfällt die Aufheizphase, wodurch die Maschinenbelegungszeiten erheblich verkürzt werden. Mit diesem Verfahren werden die hervorragenden Eigenschaften des Heißpressens und die Kostenvorteile der Sinter-technologie kombiniert.

Ceramer Plus eignet sich besonders gut für diese Form der Verarbeitung.

Abbildung 65



Abbildung 64 Drucklos gesinterte Formteile aus Ceramer und Ceramer Plus

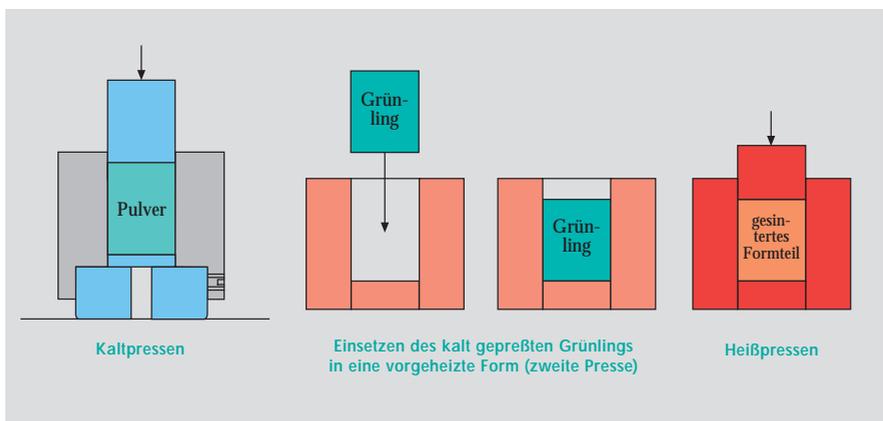


Abbildung 65 Methoden zum Heißpressen von Grünlingen in vorgeheizter Form

## Typische Sinterparameter für kleine Formkörper (Durchmesser 10 mm, Dicke 2 mm):

Sowohl Ceramer als auch Ceramer Plus können gut in der Sinter-technologie verarbeitet werden. Sinter-temperatur und Sinterzeit hängen hierbei von der Größe der Formteile ab.

Ofentemperatur: 410 °C  
 Verweilzeit: 1 h  
 Sinteratmosphäre: Luft

Eine Vorbehandlung des Ceramer-Pulvers ist hierbei nicht notwendig. Die in der Sinter-technologie erreichbare Dichte liegt für Ceramer bei ca. 75%, für Ceramer Plus bei ca. 85%, der jeweils theoretischen Dichte. Besonders gute mechanische Eigenschaften bietet daher Ceramer Plus: das erreichbare Eigenschaftsniveau liegt in etwa bei der Hälfte der hochverdichteten heißgepreßten Formteile.

Anwendungsgebiete für gesintertes Ceramer und Ceramer Plus sind Filtermaterialien und Anwendungen, die eine hohe Chemikalien- und Wärmeformbeständigkeit verlangen, bei denen die Festigkeit jedoch von untergeordneter Bedeutung ist.

Abbildung 64

## Hochreines Ceramer für Anwendungen im Elektronikbereich

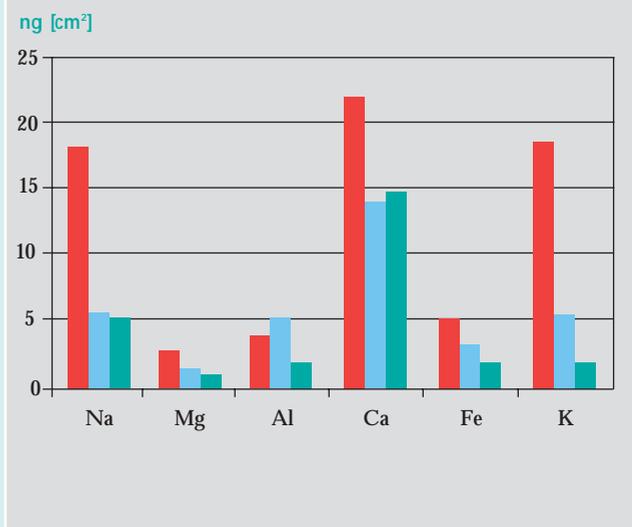
Die Extraktionswerte von Ceramer 20 Formteilen sind deutlich geringer als die von Standard-PTFE. Sie sind vergleichbar mit hochreinem PFA. Ceramer 20 eignet sich daher besonders gut für Anwendungen im Elektronikbereich.

Abbildung 66

Abbildung 66

Extraktionswerte von Formkörpern aus speziell hergestelltem, hochreinem Ceramer 20 im Vergleich zu Standard-PTFE und hochreinem PFA. Bestimmung erfolgte mittels Extraktionstest (2%ige hochreine Salpetersäure, 48 h, Raumtemperatur).

Standard-PTFE  
 Hochreines PFA  
 Hochreines Ceramer 20



## Chemikalien- und Temperaturbeständigkeit, hohe Härte und sehr guter Verbund

**E**in geeignetes Verfahren zur Herstellung von Beschichtungssystemen aus Ceramer oder Verbundbeschichtungen aus Ceramer und anderen Materialien wie Metallen, Keramiken oder anderen Kunststoffen ist das sogenannte thermische Spritzen bzw. Flamspritzen. Diese Verfahren werden schon seit langem in der Herstellung von metallischen oder keramischen Beschichtungssystemen breit angewandt und können auch auf Ceramer übertragen werden.

Abbildung 67

Thermisches Spritzen und Flamspritzen sind Sprühverfahren, bei denen Beschichtungen auf die meisten Substratmaterialien aufgebracht werden können, darunter Metalle, Keramiken und Kunststoffe. Beim thermischen Sprühverfahren wird nur das Beschichtungspulver während des Auftragens erhitzt, das Substrat jedoch muß bei diesem Verfahren weder erhitzt noch anderweitig behandelt werden.

Dadurch profitieren die besprühten Bauteile von den exzellenten Eigenschaften von Ceramer oder Verbundstoffen auf Basis von Ceramer, ohne daß wesentliche negative Auswirkungen auf die inhärente Festigkeit oder andere Eigenschaften des Basismaterials entstehen. Ceramer oder Ceramer-Kombinationen mit anderen Materialien in einer geeigneten Pulverform werden mit einem der folgenden bewährten thermischen Sprühverfahren aufgetragen:

- **Pulver-Flamspritzen**  
Dieses Verfahren arbeitet mit einer Sauerstoff/Brennstoff-Flamme (normalerweise Acetylen) als Hitzequelle, in die das Pulver mittels seines Eigengewichts in den Sprühstrom eingeführt oder in einem Trägergas suspendiert wird. Die Geschwindigkeit des Gasstroms und die Temperatur sind verhältnismäßig gering.
- **Plasmaspritzen**  
Bei diesem Verfahren wird ein Gasgemisch (üblicherweise Stickstoff/-Wasserstoff oder Argon/Helium, es sind aber auch andere Gase möglich) durch einen Gleichstrom-Hochspannungslichtbogen geleitet. Dies bewirkt die Dissoziation und Ionisierung der Gase. Es entsteht ein Plasmaström mit hoher Temperatur, hoher Energie und hoher Geschwindigkeit. Das Pulver wird normalerweise in einem Trägergas hinter dem Plasmalichtbogen eingeführt.
- **Hochgeschwindigkeits-Flamspritzen (HVOF)**

Bei diesem Verfahren werden Sauerstoff und ein Brennstoff in einer Verbrennungskammer verbrannt, so daß die expandierenden Gase durch eine Düse austreten. Es entstehen sehr hohe Gasgeschwindigkeiten (Überschall) und entsprechend hohe Partikelgeschwindigkeiten. Das Pulver wird in einem Trägergas suspendiert in den Hochgeschwindigkeits-Gasstrom eingeführt.

Bei den vorstehenden Verfahren entsteht ein Sprühstrom aus heißen Gasen, in dem die Pulverpartikel suspendiert sind. Während des Prozesses werden sowohl thermische als auch kinetische Energie auf die Pulverpartikel übertragen. Dies führt dazu, daß sich die Partikel beim Aufprall auf die Substratoberfläche in einem erweichten Zustand befinden und dadurch einen guten Verbund mit der Substratoberfläche ermöglichen.



Abbildung 67 Flamspritzen von Ceramer

Beschichtungen aus Ceramer und einer Silizium/Aluminium-Keramik werden entweder durch Plasmaspritzen oder Hochgeschwindigkeits-Flamspritzen (HVOF) aufgesprüht, um abreibbare Beschichtungen zu erhalten, wie sie zur Effizienzsteigerung im Kompressorteil von Gasturbinen (Beschichtungen von Dichtungszwischenräumen) verwendet werden. Die Beschichtung wird normalerweise auf den Stator oder das Gehäuse sowie auf das benachbarte Rotations-element aufgebracht.

Hierbei handelt es sich dann entweder um eine Labyrinth-Dichtung oder die Spitzen der Rotormesser schneiden eine Kerbe in die relativ weiche und abreib-

bare Beschichtung und erzeugen damit eine individuelle Paßform. Das Laufspiel wird auf ein absolutes Minimum reduziert. *Abbildung 68*

Aus Kostengründen blieb diese Anwendung bisher hauptsächlich auf Flugzeugturbinen beschränkt. Durch die verbesserte Effizienz der Sprühverfahren und anderer Faktoren konnten jedoch die Kosten der thermisch aufgesprühten, abreibbaren Beschichtungen reduziert werden.

## Abreibbare Beschichtungen aus Ceramer – durch Plasmaspritzen oder Hochgeschwindigkeits-Flamspritzen (HVOF)

Umweltschutzaspekte verlangen auch in anderen Anwendungen nach Kompressoren mit verbesserter Leistung. Beispiele sind Turbolader in Kraftfahrzeugen, Gasturbinen zur Energieerzeugung sowie gasbetriebene Schiffsturbinen.

Darüber hinaus erschließen die hervorragende Festigkeit und Korrosionsbeständigkeit von Ceramer weitere Anwendungsgebiete insbesondere für die Herstellung und Verarbeitung von Lebensmitteln, sowie medizinischen und chemischen Erzeugnissen.

Für Anwendungen die Verschleiß- und Abriebbeständigkeit sowie Korrosionsbeständigkeit erfordern, eignen sich technische Verbundbeschichtungen, die aus Ceramer und anderen Materialien wie Oxidkeramiken bestehen. Damit kann ein breites Spektrum von Eigenschaften gezielt auf die jeweilige Anforderung eingestellt werden.



**Abbildung 68**

*Abreibbare Beschichtungen in Triebwerksverdichtergehäusen sorgen für höchste Effektivität*

The ceramer team works very closely with the British specialists, International ThermalSpray Ltd.

**International ThermalSpray**  
**Ludlams Gate**  
**Monks Well**  
**Farnham, Surrey GU10 1RH**  
**England**  
**Phone +44 (0) 1252 782297**  
**Fax +44 (0) 1252 781362**  
**IntTS@Compuserve.com**

**Directors: Chris W. Smith, W. Alan Saywell**

Further information on thermal spraying ceramer can be obtained from our partners at the above address. International ThermalSpray Ltd supply materials in powder form suitable for thermal spraying, these include ceramer, combinations of ceramer and silicon aluminum or ceramer combined with other materials.

Values shown are based on testing of laboratory test specimens and represent data that fall within the normal range of properties for natural material. Colorants or other additives may cause significant variations in data values. These values are not intended for use in establishing maximum, minimum, or ranges of values for specification purposes.

Any determination of the suitability of this material for any use contemplated by the users and the manner of such use is the sole responsibility of the user, who must assure themselves that the material as subsequently processed meets the needs of their particular product of use. To the best of our knowledge, the information contained in this publication is accurate; however, we do not assume any liability whatsoever for accuracy and/or completeness of such information. Moreover, there is a need to reduce human exposure to many materials to the lowest practical limits in view of possible long-term adverse effects. To the extent that any hazards may have been mentioned in this publication, we

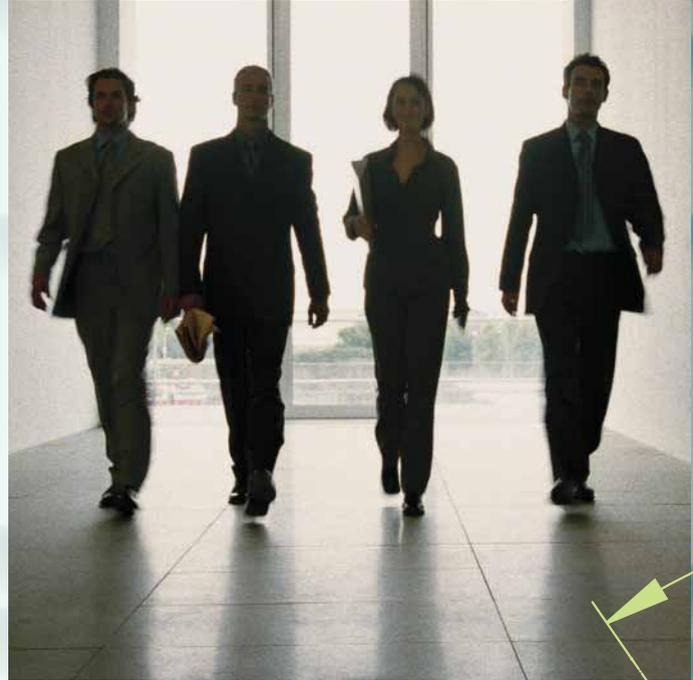
neither suggest nor guarantee that such hazards are the only ones which exist. We recommend that persons intending to rely on such recommendations or use any equipment, processing technique, or material mentioned in this publication should satisfy themselves that they can meet all applicable safety and health standards. We strongly recommend that users seek and adhere to the manufacturer's or supplier's current instructions for handling each material they use.

Please consult Customer Services at the phone number on the back side for the appropriate Material Safety Data Sheet (MSDS) or EC Safety Data Sheet before attempting to process these products. Infringement of any patents is the sole responsibility of the user.

June 2003

All rights reserved.

Ceramer is a registered trademark of Ticona.



## Ceramer™ has outstanding properties:

- short-term thermal stability up to 500 °C (930 F)
- exceptional chemical resistance
- inherent flame resistance
- high hardness and stiffness
- reduction of abrasion and wear
- enhanced metallization

## Ceramer™ and Ceramerplus™ find applications:

- as additive for PTFE compression molded compounds.
- as reinforcing material to substantially improve abrasion resistance and creep tendency of PTFE.
- as additive for PTFE paste extrusion powders, PTFE coating systems and thermoplastic fluoro polymers.
- as reinforcing agent for high performance thermoplastic polymers to reduce abrasion and wear and improve pressure resistance.
- as additive for improvement of metallization and in coating systems through thermal spraying.

Ceramer™ and Ceramerplus™ meet the FDA food additive regulations for repeated use in contact with food.

For further information contact the Ceramer team under:

**ceramer**  
• • • • • high performance polymers •

### **Ceramer GmbH**

Gottlieb-Keim-Strasse 60

D-95448 Bayreuth

Germany

Tel. +49 921 50736-460

Tel. +49 921 50736-0

Fax: +49 921 50736-199

info@ceramer.com

www.ceramer.com

Ceramer GmbH is located in the left building within the newly established Competence Center for New Materials in Bayreuth.

