

PTFE-Compounds

Eigenschaften und Kenndaten

Durch gezielte Zugaben besonderer Füllstoffe können die Eigenschaften von PTFE so modifiziert werden, daß der Anwendungsbereich erweitert und der Werkstoff für bestimmte Einsatzzwecke optimiert werden kann.

Materialeigenschaften PTFE

PTFE ist ein unverzweigtes, linear aufgebautes, teilkristallines Polymer aus Kohlenstoff und Fluor. Die Kohlenstoff-Fluorverbindung ist von ungewöhnlicher Stabilität - die Kohlenstoff-Ketten sind nahezu vollständig spiralförmig von Fluoratomen umgeben. Die aus dieser strukturellen Beschaffenheit resultierenden Eigenschaften sind ausschlaggebend für die zahlreichen Einsatzgebiete von PTFE.

Chemische Beständigkeit

Die extrem starke Kohlenstoff-Fluorverbindung und die Abschirmung der Kohlenstoff-Ketten durch Fluoratome ergeben eine universelle Chemikalienbeständigkeit. Lediglich fluorhaltige Kohlenwasserstoff-Verbindungen und geschmolzene Alkalimetalle lassen PTFE anquellen bzw. führen zur chemischen Oberflächenreaktion.

Thermische Eigenschaften

Chemische Beständigkeit und elektrische Eigenschaften bleiben sowohl im Tieftemperaturbereich als auch bei Temperaturen bis 260°C erhalten. Aufgrund der extrem hohen Schmelzviskosität behalten PTFE-Teile bei stark verringerter Festigkeit ihre Form. Die obere Grenze für Dauerbeanspruchung liegt in Abhängigkeit von den mechanischen Eigenschaften bei ca. 260° C.

Ein Beispiel für die Abhängigkeit der mechanischen Eigenschaften von der Temperatur ist in Abbildung 1 aufgezeigt.

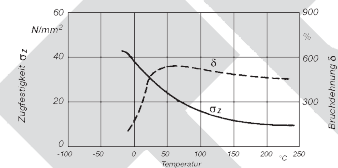


Abb. 1: Zugfestigkeit und Bruchdehnung in Abhängigkeit von der Temperatur.

Elektrische Eigenschaften

Der dielektrische Verlustfaktor- und die Dielektrizitätskonstante sind extrem niedrig, in einem Bereich von 50 bis 10¹⁰ Hz nahezu frequenzunabhängig und in einem Temperaturbereich von -50° C bis über +200° C nur geringfügig verändert.

Antihaf- und Gleiteigenschaften

Aufgrund der geringen intermolekularen Kräfte durch die hohe Bindungsenergie zwischen Kohlenstoff und Fluor besitzt PTFE ein stark antiadhäsives Verhalten. Selbst zähe und klebrige Stoffe haften nicht an. PTFE ist schwierig zu benetzen – der

Kontaktwinkel mit Wasser beträgt 126°. PTFE hat einen sehr niedrigen, im statischen und dynamischen Bereich fast gleichen Reibungskoeffizienten. Mit steigender Last nimmt der Reibungskoeffizient erst stark, dann schwächer ab und ist innerhalb einer Gleitgeschwindigkeit von 50 m/min und im Temperaturbereich über 20° C nahezu konstant.

Temperatur-Ausdehnung

Die relative Längenänderung von PTFE ist abhängig von der Temperatur. Der Verlauf des linearen Ausdehnungskoeffizienten ist in Abbildung 2 dargestellt.

Die hohe Ausdehnung bei +19° C ist bedingt durch die dort stattfindende Kristallumwandlung.

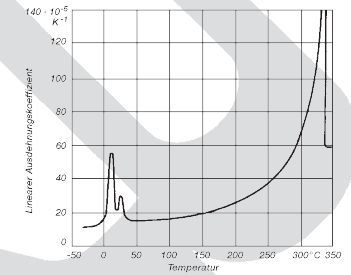


Abb. 2: Linearer Ausdehnungskoeffizient in Abhängigkeit von der Temperatur

Verhalten bei langzeitiger Beanspruchung

Ebenso wie andere thermoplastische Werkstoffe verformt sich auch PTFE bei länger dauernder Belastung. Die Verformung ist von der Höhe der Belastung, der Temperatur und der Zeitdauer abhängig. Beginnt die Deformation bereits bei Raumtemperatur, spricht man vom „kalten Fluß“. Als Beispiel hierfür sind in den Abbildungen 3 a und 3 b die Zeit-Dehnspannungen in Abhängigkeit von der Belastungsdauer aufgezeigt.

Abb. 3 a und 3 b Zeit-Dehnspannungen in Abhängigkeit von der Belastungsdauer (geprüft nach DIN 53444)

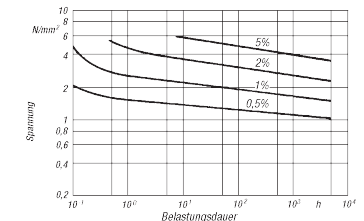


Abb. 3a: bei Lufttemperatur 20° C

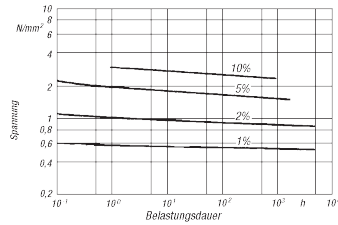


Abb. 3b: bei Lufttemperatur 100° C

Weitere Eigenschaften

Auf eine tabellarische Aufstellung der Kenndaten von PTFE, z. B. mechanische und physikalische Werte, thermische und elektrische Eigenschaften, wird hier verzichtet.

Auch bei extremen klimatischen Bedingungen verändern sich die Eigenschaften des PTFE nicht. Die Alterungsbeständigkeit ist extrem hoch.

Ein weiterer Vorteil dieses Kunststoffes ist, daß er im Temperaturbereich bis + 220° C physiologisch neutral ist. Bei der oberhalb von +300° C langsam beginnenden thermischen Zersetzung muß jedoch mit Spaltprodukten gerechnet werden.

PTFE-Verarbeitung

Durch die hohe Schmelzviskosität oberhalb des Kristallit-Schmelzbereiches von ca. 320° C muß PTFE in speziellen Verfahren verarbeitet werden. Die Verarbeitung des pulverförmigen Polymerisates von unterschiedlicher Korngröße und Härte erfolgt durch Verdichten bei Raumtemperatur und nachfolgendem Sintern bei Temperaturen oberhalb des Kristallit-Schmelzpunktes.

Bei der Preßverarbeitung wird PTFE-Pulver bei Raumtemperatur in Metallformen auf hydraulischen Pressen zu einfachen Formteilen - wie Stäbe, Rohre, Platten für die spanabgebende Weiterverarbeitung - verdichtet und anschließend in Heißluftöfen, in Sonderfällen in N₂-Atmosphäre, gesintert. Der Sinterzyklus ist abhängig von Größe und Abmessungen der Formteile und erfolgt durch kontrolliertes Aufheizen, gesteuertes Halten der Temperatur und kontrolliertes Abkühlen.

Geometrisch einfache Teile können bei entsprechend großer Stückzahl mit kurzen Zykluszeiten automatisch gepreßt werden. Im Gegensatz zur gerade beschriebenen Preßverarbeitung, die nur eine Verdichtung in einer Richtung erlaubt, ist beim isostatischen Pressen ein gleichmäßiger Verdichtungsprozeß von allen Seiten möglich.

Hierbei wird das PTFE-Pulver in elastischen Formen durch ein druckausübendes, flüssiges Medium zu geometrisch schwierigen Formteilen verpreßt.

Ein kontinuierliches Preß-Sinterverfahren ist die Ramextrusion. Dabei wird PTFE-Pulver über eine Dosiervorrichtung in auf Sintertemperatur beheizten Metallwerkzeugen zu Halbzeugen - wie Stäbe, Rohre und Profile - verarbeitet, aus denen auf Drehmaschinen und -automaten spanabhebend Fertigteile hergestellt werden.

Die Pastenextrusion ist ein ebenfalls kontinuierliches Preßverfahren von PTFE-Feinstpulver mit Gleitmittelzusatz, anschließend Verdampfen des Gleitmittels und Sintern des Extrudates. Gefertigt werden dünnwandige Schläuche und Rohre.

PTFE-Compounds

Compounds sind Mischungen von reinem, virginalen PTFE mit anorganischen Füllstoffen. PTFE-Compounds erweitern den Anwendungsbereich des PTFE und erlauben die Anpassung an spezifische, anwendungstechnische Anforderungen.

Bei Verwendung ungefüllter PTFE-Typen ist zu beachten, daß

- die Wärmeausdehnung im Vergleich zu Metallen um ca. 10 % größer ist
 - die Abriebfestigkeit gering ist
 - sich ab einer bestimmten Belastung der Werkstoff durch Kaltfluß deformiert
 - die Wärmeleitfähigkeit gering ist.
- Die meisten dieser Eigenschaften lassen sich durch die Beimischung der Füllstoffe gezielt verändern. Art und Menge der erwähnten Füllstoffe können
- die Druckfestigkeit – insbesondere bei höheren Temperaturen – erhöhen
 - die Kaltverformung („kalter Fluß“) verringern
 - die Verschleißfestigkeit verbessern
 - die Wärmeleitfähigkeit steigern
 - den linearen Wärmeausdehnungskoeffizienten herabsetzen
 - den elektrischen Durchgangswiderstand und Oberflächenwiderstand beeinflussen.

Bei der Verwendung von Füllstoffen ist allerdings zu berücksichtigen, daß die Zugfestigkeit und die Bruchdehnung herabgesetzt sind. Ebenso wird die für ungefülltes PTFE geltende chemische Beständigkeit von der Art des Füllstoffes beeinflusst. Allgemein werden die Verarbeitungsbedingungen schwieriger.

Die gebräuchlichsten Füllstoffe sind Glas, Kohle, Graphit, Bronze, Molybdändisulfid, Stahl und Keramik

Art und Menge der Füllstoff-Zusätze und die damit verbundenen Eigenschaftsverbesserungen zeigt Tabelle 1.

Tabelle 1 Zusammensetzung einiger PTFE-Compounds (Standard-Einstellung)

Füllstoff	Füllstoff-Gehalt Gew.-%	Vol.-%	Verbesserung der Eigenschaften
Glas	15	13	Druckfestigkeit Verschleißfestigkeit
	20	17	
	25	22	
	40	36	
Kohle	10	11	Druckfestigkeit Verschleißfestigkeit Wärmeleitfähigkeit
	25	27	
	35	37	
Graphit	10	10	Wärmeleitfähigkeit Reibungskoeffizient
	15	15	
	20	20	
Glas + MoS ₂	15 + 3	13,5 + 1,5	Verschleißwiderstand
MoS ₂	3	1,5	
Bronze	40	14	Druckfestigkeit Wärmeleitfähigkeit
	60	27	
Keramik	15	9	Druckfestigkeit
	V 2 A	25	

Die Kenndaten gefüllter PTFE-Werkstoffe sind in Tabelle 2 aufgeführt. Alle Angaben sind Mittelwerte.

Tabelle 2 Eigenschaften von PTFE-Compounds

Füllstoffart	Einheit	Prüf- methode	Füllstoffe					
			gemahl. Glasfasern	E-Kohle	Naturgraphit	Bronze		
Füllstoffanteil	Gew.-%	-	15	25	25	15	60	
Dichte	g/cm ³	ASTM 1457-62 T	2,17	2,21	2,24	2,09	2,17	3,90
Zugfestigkeit	N/mm ²	ASTM 1457-62 T	31	16	15	14	14	14
Bruchdehnung	%	ASTM 1457-62 T	400	300	270	170	160	> 100
Kugeldruckhärte	N/mm ²	ASTM 1457-62 T	-	29,0	30,0	38,0	32,0	40,0
Deformation unter Last 14 N/mm ² , 100 h, 23° C	%	ASTM D 621-59	14	10-17	7-14	6	7,0	5,0
Wärmeleitfähigkeit	W/m · K	DIN 52612	0,23	0,35	0,35	0,7	0,93	0,7
Linearer Ausdehnungskoeffizient zw. 30° u. 100° C	K ⁻¹	DIN 52328 (Dilatometer)	1,6x10 ⁻⁴	1,1x10 ⁻⁴	1,0x10 ⁻⁴	1,0x10 ⁻⁴	1,1x10 ⁻⁴	0,7x10 ⁻⁴

Die angegebenen Werte sind Mittelwerte aus einer Reihe von Produktionschargen und können nur als Richt- und Vergleichswerte angesehen werden.

In den Abbildungen 4 bis 12 werden mechanische und physikalische Eigenschaften von PTFE-Compounds mit ungefülltem PTFE verglichen. Die angegebenen Werte sind Mittelwerte aus einer Reihe von Produktionschargen und können nur als Richt- und Vergleichswerte angesehen werden.

Diagramme

(Abb. 4 - 12)

Mechanische Eigenschaften von PTFE-Compounds im Vergleich zu ungefülltem PTFE

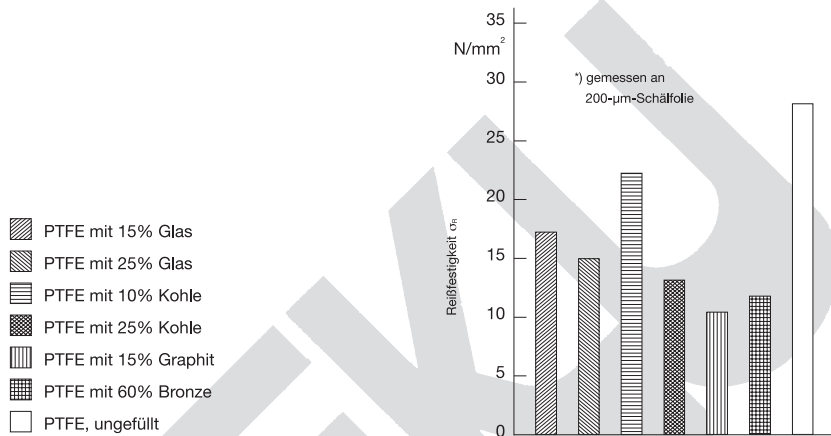


Abb. 4: Reißfestigkeit nach ASTM D 1457 (ramextrudierte Probekörper)

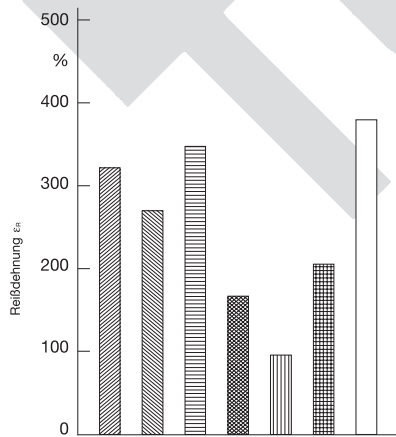


Abb. 5: Reißdehnung nach DIN EN ISO 527 (ramextrudierte Probekörper)

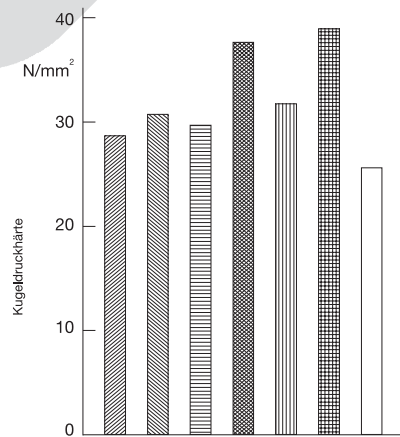


Abb. 6: Kugeldruckhärte nach DIN 53456 (gepreßte Probekörper)

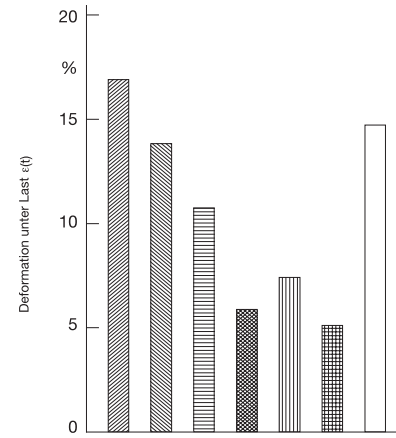


Abb. 7: Deformation unter Last nach ASTM D 621 (15 N/mm², 100 h, 23° C, gepreßte Probekörper)

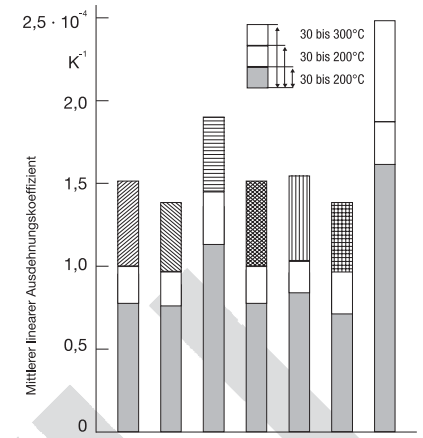


Abb. 8: Mittlerer linearer Ausdehnungskoeffizient quer zur Preßrichtung

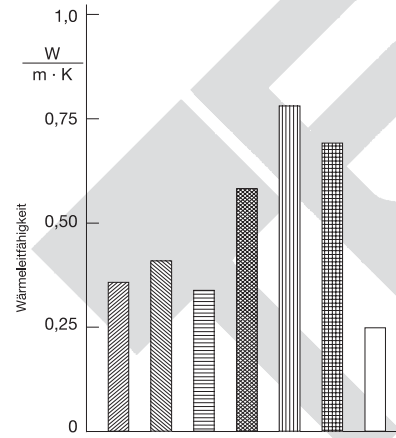


Abb. 9: Wärmeleitfähigkeit nach DIN 52612

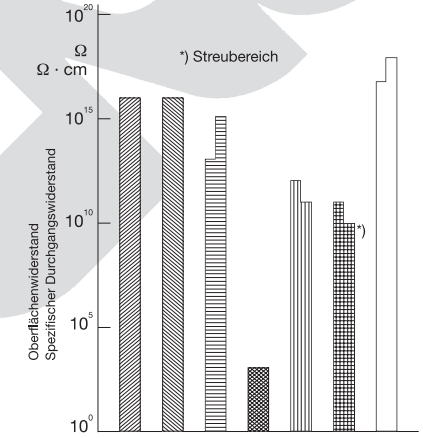


Abb. 10: Oberflächenwiderstand (linke Balkenhälfte) und spezifischer Durchgangswiderstand (rechte Balkenhälfte) nach DIN 53482

Abb. 11–12: Reibungszahlen von PTFE-Compounds im Vergleich zu ungefülltem PTFE im Temperaturbereich 30° bis 100° C bei verschiedenen Gleitgeschwindigkeiten. Interne Prüfmethode: Gegenlaufpartner Perlitguß mit Rauhtiefe $R_r = < 1,5 \mu\text{m}$, Belastung $0,2 \text{ N/mm}^2$.

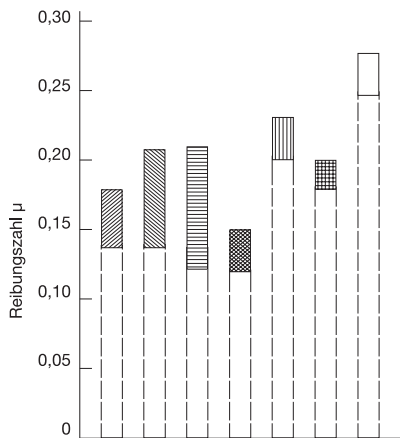


Abb. 11: Reibungszahlen bei Gleitgeschwindigkeit $v = 1,9 \text{ m/s}$

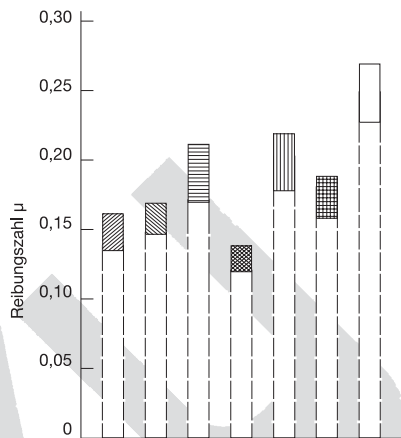


Abb. 12: Reibungszahlen bei Gleitgeschwindigkeit $v = 1,0 \text{ m/s}$

Die Abbildungen 13 a und 13 b zeigen das Verschleißverhalten von gefülltem und reinem PTFE. Der dargestellte Verlauf ergibt sich bei Zugrundelegung gleicher Prüfmethode in Abhängigkeit von der Belastungsdauer und vom Gegenlaufwerkstoff.

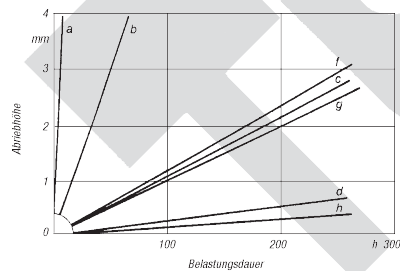


Abb. 13 a: Abriebhöhe als Funktion der Belastungsdauer, Gegenlaufwerkstoff ST 50

- a = PTFE ungefüllt
- b = PTFE mit 15% Graphit
- c = PTFE mit 25% Glasfaser
- d = PTFE mit 25% Kohle
- f = PTFE mit 15% Glasfaser
- g = PTFE mit 20% Glasfaser und 5% Graphit
- h = PTFE mit 60% Bronze

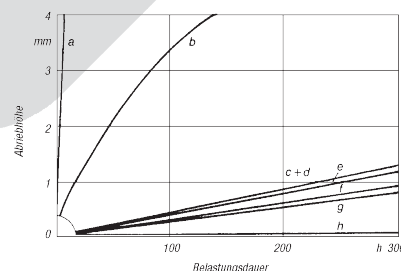


Abb. 13 b: Abriebhöhe als Funktion der Belastungsdauer, Gegenlaufwerkstoff Perlitguß

- a = PTFE ungefüllt
- b = PTFE mit 15% Graphit
- c = PTFE mit 25% Glasfaser
- d = PTFE mit 25% Kohle
- e = PTFE mit 33% Kohle/Graphit
- f = PTFE mit 15% Glasfaser
- g = PTFE mit 20% Glasfaser und 5% Graphit
- h = PTFE mit 60% Bronze

Mehr noch als beim ungefüllten PTFE wirken sich die Verarbeitungsbedingungen auf die Eigenschaften der Compounds aus. Aus einer Vielzahl der das Eigenschaftsverhalten beeinflussenden Faktoren (wie z.B. Vorformdruck, Temperatur, Extrusionsgeschwindigkeit, Länge des Extrusionswerkzeuges usw.) wurden die Abhängigkeit der Dichte und der Reißfestigkeit vom Vorformdruck ausgewählt (Abb. 14 und 15).

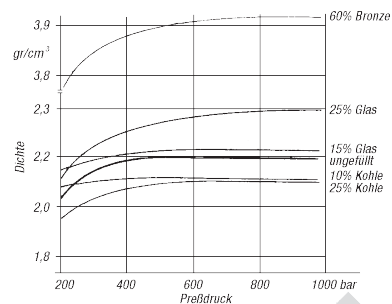


Abb. 14: Abhängigkeit der Dichte vom Vorformdruck

Diese Beispiele zeigen, wie wichtig die exakte Einhaltung der für jedes PTFE-Compound definierten Verarbeitungsbedingung im Hinblick auf die Optimierung der Eigenschaften ist. Eignung und Bewährung der ausgewählten Werkstoffe in der Praxis hängt nicht zuletzt von der Qualität der Verarbeitung ab.

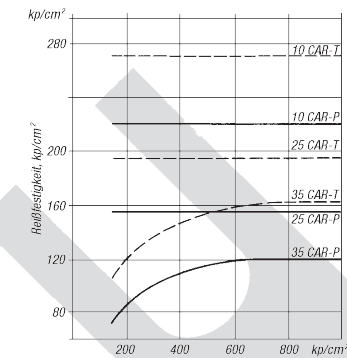


Abb. 15: Abhängigkeit der Reißfestigkeit vom Vorformdruck
 10 CAR = PTFE mit 10% Kohle
 25 CAR = PTFE mit 25% Kohle
 35 CAR = PTFE mit 35% Kohle
 P = parallel zur Preßrichtung
 T = quer zur Preßrichtung

Lieferprogramm:

PTFE-Halbzeuge

- extrudierte Stäbe bis 160 mm ϕ
- extrudierte, geschliffene Stäbe bis 60 mm ϕ
- gepreßte Stäbe bis 775 mm ϕ
- extrudierte Rohre bis 205 mm ϕ
- gepreßte Rohre und Ringe bis 1440 mm ϕ
- gepreßte Platten bis 1400 x 1400 mm
- Folien bis 1800 mm Breite

PTFE-Fertigteile

- in auftragsgebundener Ausführung:
- Faltenbälge, Kompensatoren,
 - Kolben- und Stangendichtungen,
 - Dachmanschetten, Flanschdichtungen,
 - Pumpenkörper, Laufräder,
 - Membranen, Gleitringe, Kugelsitzringe,
 - Kugeln, Ventilgehäuse, Kolonnen- und Korbböden, Stützringe

alle Produkte können in reinem PTFE oder PTFE-Compounds gefertigt werden.

TEKU GmbH Fluorkunststoffe
 Postfach 10 10 29, D-42510 Velbert
 Büro und Lager:
 Siemensstraße 49, D-42551 Velbert

Telefon +49 (0) 20 51/2 80 30
 Telefax +49 (0) 20 51/28 03 33
 E-Mail:
 Info@TEKU-GmbH.de