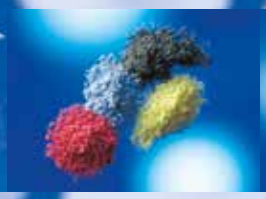
Werkstoffe und Halbzeuge aus PTFE.

Der außergewöhnliche Werkstoff für maßgeschneiderte Funktionalität



elringklinger
Kunststofftechnik

Werkstoffe und Halbzeuge aus PTFE: Eigenschaften und Anwendungen

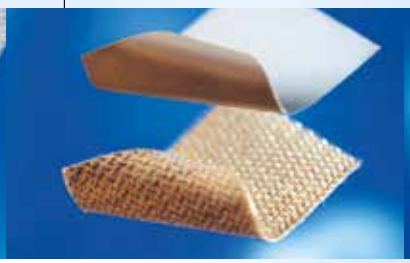
Seite 4 – 23

Grundlagen
Eigenschaften
Verhalten

Seite 24 – 27

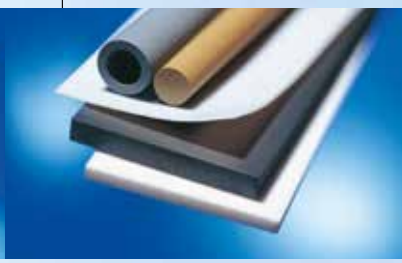
Poröses PTFE
für optische Anwendungen
und Medientrennung

Seite 28 – 31



Laminate
Xymon

Seite 32 – 35



PTFE-Halbzeuge
Folien, Platten, Ringe, Ronden,
Vollstäbe, Rohre

PTFE – maßgeschneidert für höchste Leistung und Funktionssicherheit

Innovationen aus Kunststoff

Mit Dichtungen und Konstruktionselementen ist ElringKlinger Kunststofftechnik seit mehr als 50 Jahren einer der Technologieführer. Für unsere Kunden auf der ganzen Welt entwickeln und produzieren wir individuelle und praxisgerechte Lösungen aus PTFE bzw. PTFE-Compounds und anderen Hochleistungskunststoffen sowie PTFE-Verbundteile mit anderen Kunststoffen oder mit Metallen. Unsere Lösungen erfüllen die härtesten Anforderungen in der Praxis – wirtschaftlich und sicher.

PTFE – der Stoff, aus dem technische Problemlösungen für viele Anwendungsbereiche entstehen. Maßgeschneidert vom Spezialisten. Mit herausragenden Eigenschaften, die viele funktionale und wirtschaftliche Vorteile bieten.

Standard

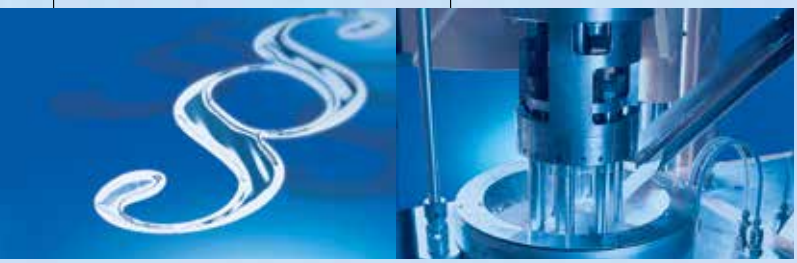
Standard-PTFE hat beispielsweise einen außergewöhnlich breiten thermischen Anwendungsbereich, ist nahezu universell chemisch beständig sowie beständig gegen Licht, Witterung und Heißwasserdampf. Es verfügt über sehr gute Gleiteigenschaften, zeigt ein antiadhäsives Verhalten, gute elektrische und dielektrische Eigenschaften und ist physiologisch unbedenklich.

Modifiziertes PTFE

Abgeleitet von Standard-PTFE entsteht durch Copolymerisation mit einer geringen Menge eines ebenfalls perfluorierten Modifiers und Absenkung des Molekulargewichtes ein neues Produkt, das modifizierte PTFE. Es ist zwar noch nach den für PTFE üblichen Methoden verarbeitbar, weist aber ein deutlich verbessertes Eigenschaftsprofil auf. Bei den verbesserten Eigenschaften sind insbesondere der reduzierte Kaltfluss und die verringerte Permeation sowie das reduzierte Porenvolumen und der niedrigere Stretch-Void-Index (SVI) zu benennen.

Seite 36 – 42

Seite 43



Zulassungen und Richtlinien
(Product Stewardship),
ATEX, Lebensmittelkontakt,
BAM, IMDS

Verarbeitungstechnische Hinweise
Pressen und Sintern
Ramextrusion

Unsere Produkte aus PTFE

- Führungsband für Kolben und Stangen
- Radialwellendichtungen mit PTFE-Dichtlippe
- Großdimensionierte Dichtungselemente bis 3000 mm Durchmesser
- Konstruktionselemente
- Membranen im PTFE-Elastomerverbund
- Federunterstützte Nutringe
- Memory Manschetten
- PTFE-Schläuche
- Kolbenringe für Kompressoren
- Mantel- und Stufenringe
- Faltenbälge
- Poröses PTFE für die Medientrennung
- Poröses PTFE für optische Anwendungen
- PTFE-Halbzeuge

Compounds

Compounds auf Basis von PTFE und modifiziertem PTFE sind gefüllt mit Glasfasern, Kohlefasern, Kohle, Grafit, Molybdändisulfid, Bronze oder organischen Füllstoffen (Hochleistungsthermoplasten). Damit erreicht man eine vielfach höhere Verschleißfestigkeit und Wärmeleitfähigkeit, eine signifikante Reduktion des Kaltflusses unter Belastung und eine Verringerung der Wärmeausdehnung.

Technische Beratung

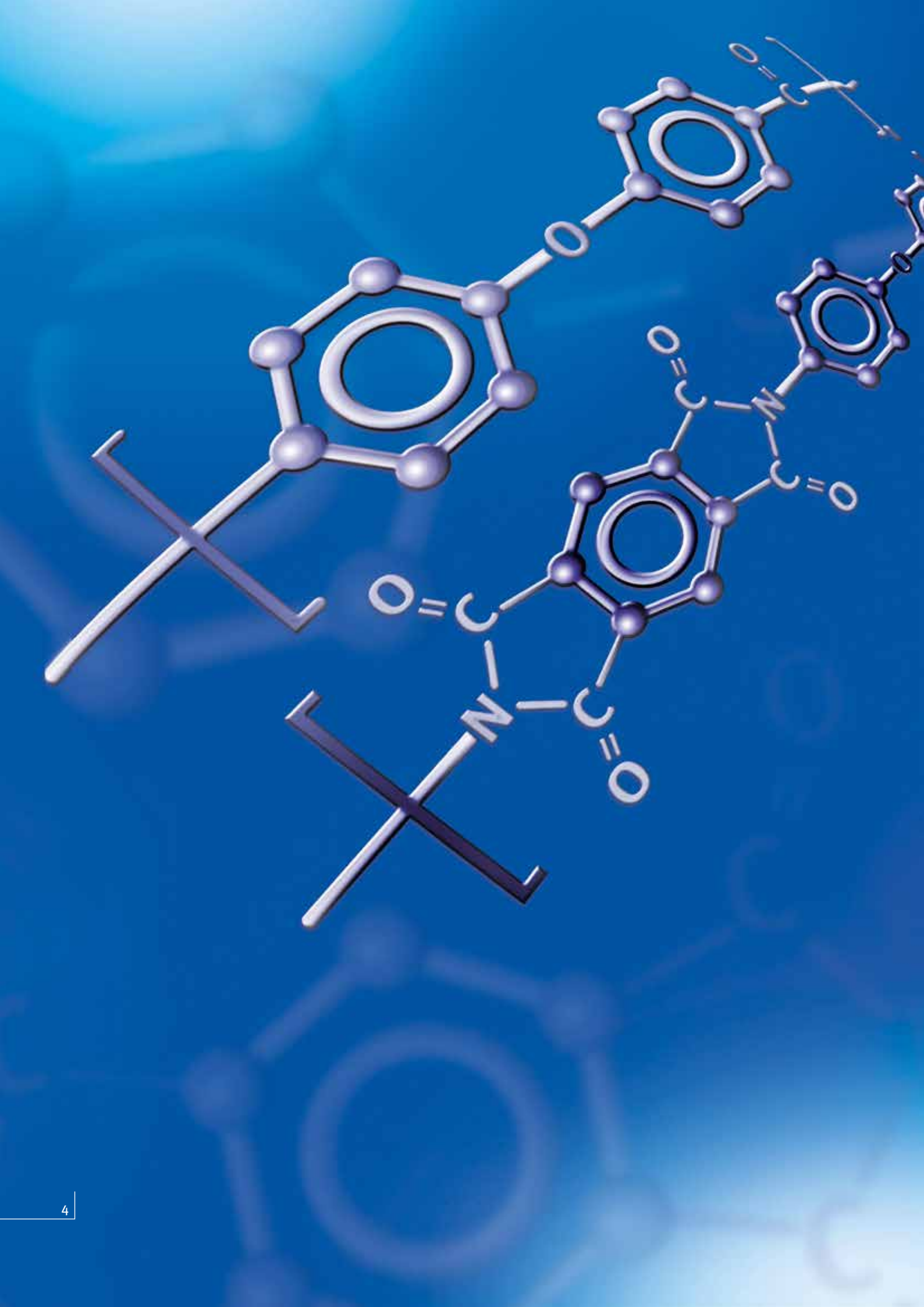
Gerne unterstützen wir Sie bei der Auswahl Ihres optimalen Werkstoffes oder Halbzeugs. Damit Sie für Ihr Anwendungsgebiet maßgeschneidert die funktionalste und wirtschaftlichste Lösung erhalten.

Qualitäts- und Umweltpolitik

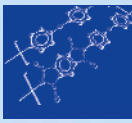
Spitzenqualität und aktiver Umweltschutz sind Voraussetzungen für den nachhaltigen Erfolg von ElringKlinger Kunststofftechnik am Markt. Deshalb sind wir zertifiziert nach ISO/TS 16949 und DIN EN ISO 14001.

(1) Grenzwerte:
Die hier wiedergegebenen Informationen wurden aufgrund langjähriger Erfahrungen mit großer Sorgfalt zusammengetragen. Für die Angaben kann jedoch keine Garantie übernommen werden, da eine einwandfreie Funktion nur dann gewährleistet ist, wenn die besonderen Umstände jedes Einzelfalles berücksichtigt werden. Wir empfehlen Ihnen in jedem Fall eine Bemusterung und die Durchführung von Versuchen. Hierzu steht Ihnen auch unsere Entwicklungsabteilung mit ihren vielfältigen Möglichkeiten der Werkstoffcharakterisierung, der Ermittlung von anwendungstechnischen Eigenschaften oder mit Prüfständen zur Komponenten- und Systemüberprüfung zur Verfügung.

(2) Diagramme:
Die Angaben der Diagramme basieren auf von ElringKlinger Kunststofftechnik ermittelten Vergleichswerten. Sie sind unter speziellen, definierten Bedingungen entstanden und nicht exakt auf andere Anwendungen übertragbar. Die Diagramme ermöglichen einen grundsätzlichen Vergleich der Eigenschaften unserer Werkstoffe und Halbzeuge.



PTFE – Spezialkunststoff überall wirtschaftlich im Einsatz



Anwendungen

- Dichtungs- und Gleitelemente im Maschinen- und Kraftfahrzeugbau
- Korrosionsschutz in der chemischen Industrie auf Basis von ungefülltem PTFE, Compounds oder Laminaten
- Isolierwerkstoff für die Elektronik und Elektrotechnik
- Dichtungen im Bereich der Kraftstoffversorgung und -einspritzung bei Fahrzeugen
- Komponenten von Abgassensoren bei Autos
- Dicht- und Gleitelemente bei Flugzeugen
- Ummantelungen und Beschichtungen von Kolben, Heizelementen, Walzen, Membranen etc.
- Medizinischer Apparatebau
- Einsatz von PTFE-Erzeugnissen in der Lebensmittelindustrie
- PTFE-Schläuche in der chemischen, pharmazeutischen und Kfz-Industrie
- Großdimensionierte Dichtungen in der Öl- und Gasförderung (Offshore-Anlagen)
- Dichtungen und Gleitelemente bei Windkraftanlagen

Aufgrund der außergewöhnlichen Eigenschaften bieten PTFE und modifiziertes PTFE bzw. die daraus hergestellten Compounds den Konstrukteuren neue Aspekte zur technischen Problemlösung.

PTFE eignet sich aufgrund seiner ungewöhnlichen Eigenschaften als Spezialkunststoff für viele Einsatzgebiete.

PTFE-Teile können trotz höherer Werkstoffkosten im Vergleich zu den bekannten Massenkunststoffen die kostengünstigere Alternative sein.

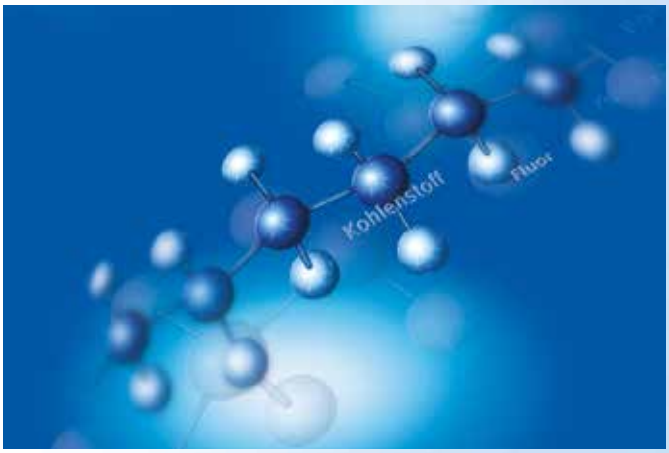
Der Einsatz von PTFE bringt bei kritischen Anwendungen höhere Standzeiten, mehr Sicherheit, verbesserte Funktionen und bietet Ihnen damit zusätzlich Wettbewerbsvorteile auf schwierigen Märkten.

Aufbau

Das teilkristalline Polytetrafluorethylen (PTFE) wird durch Polymerisation aus dem Monomer Tetrafluorethylen (TFE) gewonnen. Die dabei entstehenden Makromoleküle haben einen linearen Aufbau. Der Kettenaufbau von PTFE weist zwei interessante Besonderheiten auf:

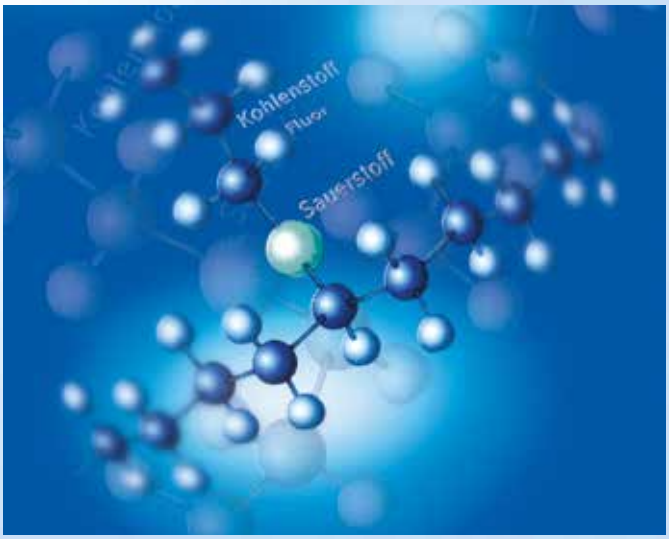
PTFE

Die Kohlenstoffkette ist nahezu vollständig mit Fluoratomen umhüllt und damit vor äußeren Einflüssen geschützt. Die Kohlenstoff-Fluorverbindung stellt eine der stärksten Bindungen in der organischen Chemie dar (Dissoziationsenergie 460 KJ/mol). Daraus resultiert die außergewöhnlich hohe chemische und thermische Beständigkeit von PTFE.



Modifiziertes PTFE

Modifiziertes PTFE wird aus den Monomeren Tetrafluorethylen (TFE) und einem ebenfalls perfluorierten Modifier, Perfluorpropylvinylether (PPVE), hergestellt. Die im Vergleich zu Standard-PTFE kürzeren Molekülketten haben eine höhere Tendenz zum Kristallisieren. Dadurch würden sich die mechanischen Eigenschaften des Werkstoffes verschlechtern. Der Modifier stört die Kristallisation wirkungsvoll. Dadurch gelingt es bei modifiziertem PTFE, thermoplastische Eigenschaftskomponenten, bedingt durch die kürzeren Molekülketten, mit den guten mechanischen Eigenschaften von Standard-PTFE zu verknüpfen.



Physikalische und chemische Eigenschaften von ungefülltem PTFE

Besonderheiten

Die Besonderheit dieses Werkstoffes ist die unter Kunststoffen einmalige Konzentration herausragender Eigenschaften:

- Ein außergewöhnlich breiter thermischer Anwendungsbereich von –260 °C bis +260 °C (kurzzeitig auch bis +300 °C)
- Nahezu universelle chemische Beständigkeit
- Licht- und witterungsbeständig
- Beständig gegen Heißwasserdampf
- Sehr gute Gleiteigenschaften
- Antiadhäsives Verhalten
- Nicht brennbar; LOI › 95
- Gute elektrische und dielektrische Eigenschaften
- Keinerlei Wasseraufnahme
- Physiologisch unbedenklich (Lebensmittelzulassung nach BgVV, EU und FDA)

Vorteile von modifiziertem PTFE

Unter Beibehaltung der für PTFE typischen positiven Eigenschaften weist modifiziertes PTFE noch weitere Vorteile auf:

- Reduzierter Kaltfluss um den Faktor 3
- Reduzierte Permeation von Chemikalien und Gasen bis auf die Hälfte des PTFE-Wertes
- Auf die Hälfte verminderte Porosität
- Minimale Tendenz zur Porenbildung beim Recken
- Verschweißbar nach speziellen Methoden

Nachteile

Daneben weist ungefülltes PTFE auch einige Nachteile auf:

- Das Kaltflussverhalten
- Die verhältnismäßig geringe Verschleißfestigkeit
- Die geringe Beständigkeit gegen energiereiche Strahlung
- Das schlechte Klebeverhalten von PTFE
- PTFE ist nicht spritzbar und nur schlecht verschweißbar

Compounds auf Basis von PTFE und modifiziertem PTFE

Das Einmischen von Füllstoffen in PTFE geschieht aus folgenden Gründen:

- Die Verschleißfestigkeit wird signifikant erhöht
- Der Kaltfluss unter Belastung wird signifikant reduziert
- In Abhängigkeit vom Füllstoff kann sich die Wärmeleitfähigkeit auf ein Vielfaches erhöhen
- Die Wärmeausdehnung wird verringert
- Bei Bedarf können durch entsprechende Füllstoffauswahl die elektrischen Eigenschaften der PTFE-Matrix geändert werden
- Außerdem beeinflusst die Wahl des Füllstoffes auch das Verschleißverhalten des Gegenlaufpartners

Die Einflüsse auf die Endeigenschaften des Compounds, die sowohl von der PTFE-Matrix als auch vom Füllstoff beeinflusst werden können, sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Einfluss-größe	*Mechan. Eigenschaften*	*Kaltfluss*	*Reibungs-koeffizient*	*Abrieb*	*Chemikalien-beständikeit*	*Ausdehnungs-koeffizient*	*Therm. Leitfähigkeit*
Auswirkungen beim Austausch von PTFE durch mod. PTFE	→	↘ ↘	→	→	→	→	→
Einfluss von Füllstoffen auf die Produkteigenschaften von Compounds	↘	↘	↗	↘ ↘	↘	↘	↗

Trends: → *Positiv*
→ *Neutral*
→ *Negativ*

Die Pfeilrichtung bedeutet die Ab- oder Zunahme des Wertes. Die Pfeilfarbe beschreibt die Einflüsse auf die Endeigenschaften des Compounds.

Die gebräuchlichsten Füllstoffe und ihre Einflüsse auf die Werkstoffeigenschaften

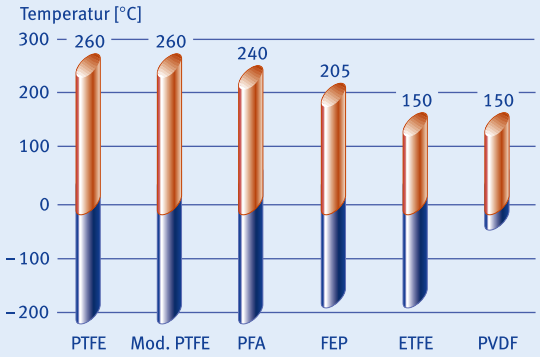
PTFE-Typ	*Einfluss der Füllstoffe*	*Füllstoffanteil in Gewichts-%*	*Einsatzgrenzen*
PTFE gefüllt mit Glasfasern	• höhere Druck- und Verschleißfestigkeit sowie bessere Wärmeleitfähigkeit • sehr gute chemische Beständigkeit • gute dielektrische Eigenschaften	bis 40 %	beständig gegen organische Lösemittel, nicht alkalien- und säurebeständig
PTFE gefüllt mit Kohlefasern	• sehr geringe Deformation unter Last • gute Verschleißbeständigkeit, auch in Wasser • höhere Wärmeleitfähigkeit und geringere Wärmeausdehnung als Glasfasern • sehr gute chemische Beständigkeit	bis 25 %	Kohlefasern sind chemisch inert
PTFE gefüllt mit Kohle	• hohe Druckfestigkeit und Härte • gute Gleit- und Verschleißeigenschaften • gute Wärmeleitfähigkeit • gute chemische Beständigkeit • niederer Durchgangs- und Oberflächenwiderstand • elektrisch leitend	bis 35 %, auch in Kombination mit Grafit	Compound spröde, Füllstoff kann durch oxidierende Medien angegriffen werden
PTFE gefüllt mit Grafit	• guter Schmiereffekt • niederer Reibkoeffizient • keine statische Aufladung • gute Wärmeleitfähigkeit • sehr gute chemische Beständigkeit	übliche Anteile bis 5 %, in Ausnahmefällen bis 15 %, auch in Kombination mit Glasfasern oder Kohle	hoher Abrieb bei harten Metallen, wird von stark oxidierenden Medien angegriffen
PTFE gefüllt mit Molybdändisulfid (MoS_2)	• gute Gleit- und Verschleißeigenschaften • gute Trockenlaufeigenschaften in Kombination mit Bronze	bis 10 %, auch in Kombination mit Glasfasern oder Bronze	nicht beständig bei heißer konz. Schwefelsäure
PTFE gefüllt mit Bronze	• gute Gleit- und Verschleißeigenschaften • geringer Kaltfluss • gute Wärmeleitfähigkeit • geringere chemische Beständigkeit • hohe Druckfestigkeit	bis 60 %, auch in Kombination mit MoS_2	Angriff durch Säuren und Wasser möglich
PTFE gefüllt mit organischen Füllstoffen (Hochleistungsthermoplasten)	• hervorragende Gleit- und Verschleißeigenschaften • gute chemische Beständigkeit • z. T. hohe Druckstandfestigkeit • für weiche Gegenlaufpartner, z. B. Aluminium • nicht abrasiv wirkend	bis 20 %, bei Kombination verschiedener Füllstoffe auch höher	abhängig vom jeweiligen Füllstoff

Thermische Eigenschaften

Thermische Belastbarkeit

Die thermische Belastbarkeit von PTFE reicht von –260 °C bis +260 °C, kurzzeitig auch bis +300°C (z. B. keine Versprödung in siedendem Helium bei –269 °C). Dieser Temperaturbereich wird von keinem anderen Kunststoff erreicht. Die Dauergebrauchstemperaturen richten sich jedoch nach den jeweils vorliegenden Beanspruchungen. Das bedeutet in der Praxis, dass PTFE bei mäßiger mechanischer Beanspruchung von –200 °C bis +260 °C eingesetzt werden kann.

Temperatureinsatzgrenzen einiger Fluorkunststoffe [2]



Schmelzbereiche:

PTFE:	320 – 340 °C
Mod. PTFE:	320 – 340 °C
PFA:	280 – 310 °C
FEP:	260 – 290 °C
ETFE:	265 – 278 °C
PVDF:	170 – 180 °C

Wärmeausdehnung von PTFE und modifiziertem PTFE

Bei der Konstruktion von Bauteilen ist auf die verhältnismäßig hohe Wärmeausdehnung dieser Werkstoffe zu achten:

10 – 30 °C: $\alpha = 21 \times 10^{-5}$ 1/K

30 – 100 °C: $\alpha = 11 \times 10^{-5}$ 1/K

30 – 200 °C: $\alpha = 13 \times 10^{-5}$ 1/K

30 – 300 °C: $\alpha = 19 \times 10^{-5}$ 1/K

Werden PTFE-Bauteile von +20 °C auf –260 °C abgekühlt, so tritt dabei ein Längenschrumpf von ca. 2 % auf.

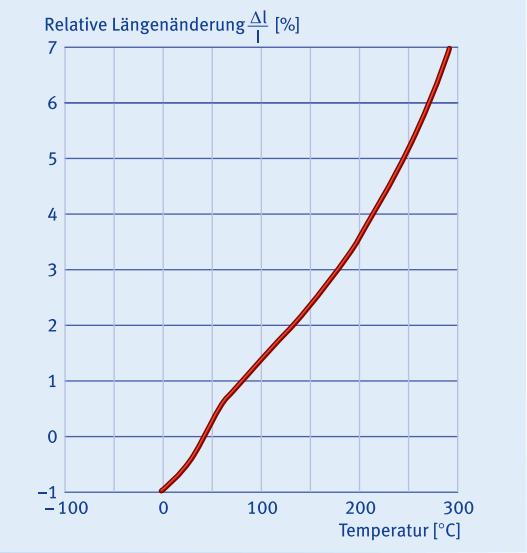
Im Verlauf des linearen Ausdehnungskoeffizienten sind zwei Bereiche auffallend:

- **Bei 19 °C findet eine Umwandlung im Kristallgitter statt (‹19 °C triklin, ›19 °C hexagonal)**
- **Bei ca. 327 °C findet man eine noch stärkere Unstetigkeit, den Kristallschmelzpunkt**

Hinweis

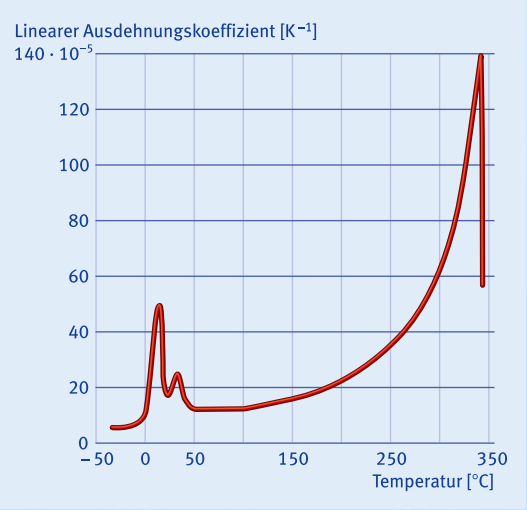
- **Bei exakten Messungen eng tolerierter Bauteile aus PTFE ist deshalb unbedingt eine Messtemperatur von 23 +/–2 °C vorzusehen**
- **In der Regel haben PTFE-Compounds eine geringere Wärmeausdehnung. Die Abhängigkeit zwischen Temperatur und Wärmedehnung ist hier dargestellt (siehe Grafik nächste Seite)**

Relative Längenänderung von ungefülltem PTFE in Abhängigkeit von der Temperatur[2]



Kristallitumwandlung bei 19 °C (triklin -› hexagonal)

Linearer Ausdehnungskoeffizient von ungefülltem PTFE in Abhängigkeit von der Temperatur[2]



Kristallitumwandlung bei 19 °C (triklin -› hexagonal)

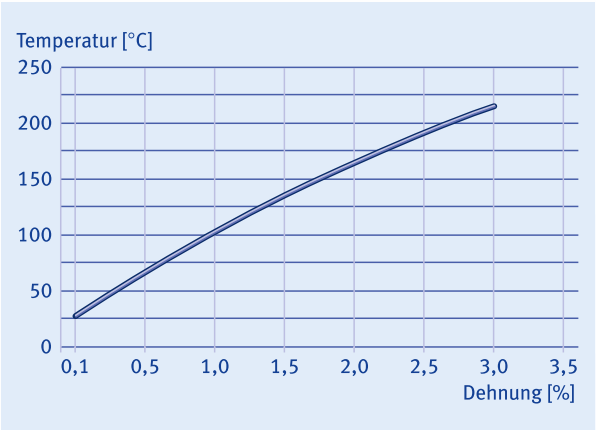
Thermische Eigenschaften

Wärmeausdehnung von ungefülltem PTFE und PTFE-Compounds, gemessen längs und quer zur Pressrichtung[2]

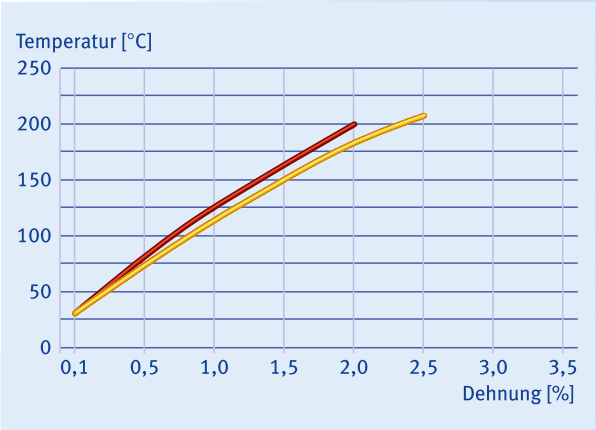
Prüfkörper: Durchmesser 16 mm, Länge 40 mm

quer *längs* *quer = längs*

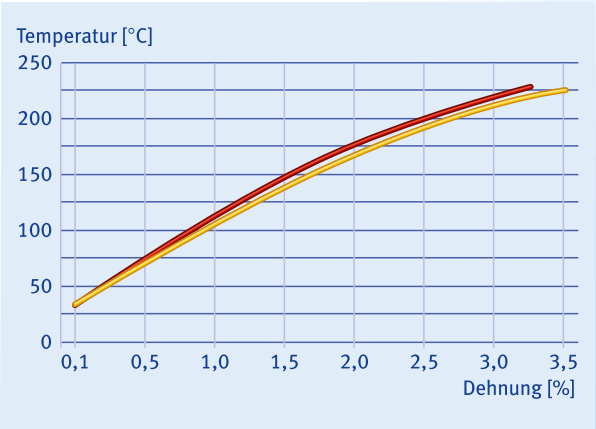
PTFE reinweiß



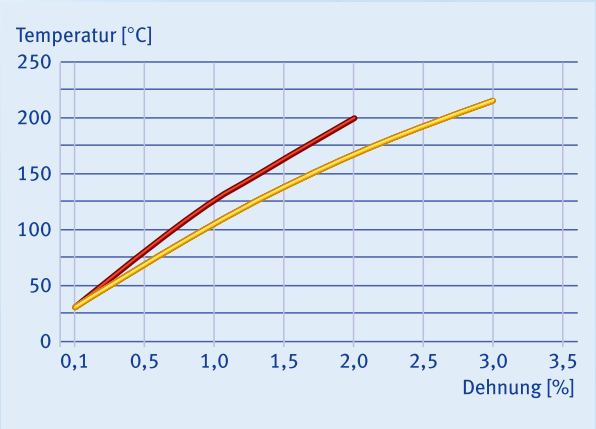
PTFE mit 60 % Bronze



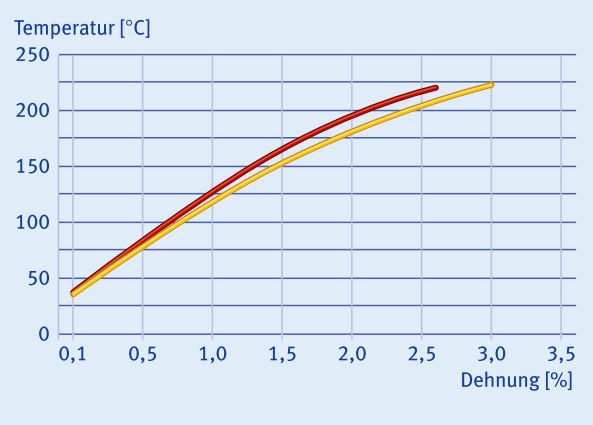
Werkstoff HS 21059



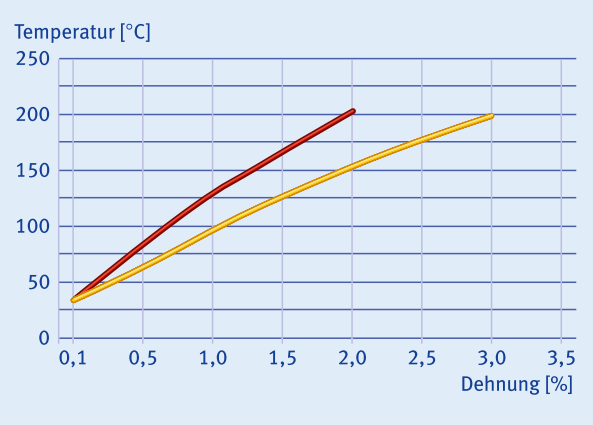
PTFE mit 25 % Glasfasern



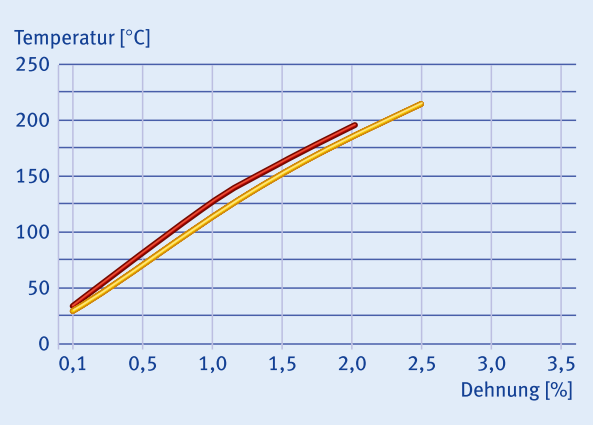
Werkstoff HS 21037



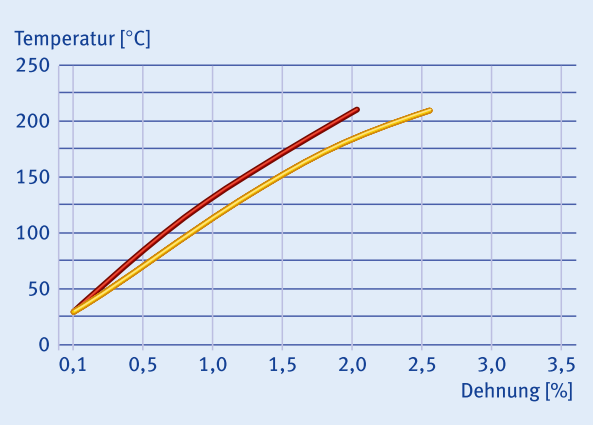
PTFE mit 10 % Glasfasern und 10 % Grafit



PTFE mit 25 % Kohle



PTFE mit 30 % Kohle und 3 % Grafit



Chemisches und physikalisches Verhalten

Chemische Beständigkeit
Bedingt durch die starke Fluor-Kohlenstoffbindung und die nahezu vollständige Abschirmung der C-Atome durch Fluor verfügen PTFE und modifiziertes PTFE über eine nahezu universelle Chemikalienbeständigkeit.

- **Weder Lösungsmittel wie Alkohole, Ester, Ketone noch aggressive Säuren (wie rauchende Schwefel- oder Salpetersäure, Flusssäure o. a.) verändern die Eigenschaften von PTFE**
- **Lediglich beim Einsatz in Kältemitteln (z. B. Frigene) wird eine reversible Gewichtszunahme zwischen 4 und 10 % gemessen**
- **Eine chemische Reaktion (Braunfärbung) von PTFE tritt nur mit geschmolzenen oder gelösten Alkalimetallen ein**
- **Bei höheren Temperaturen und Drücken reagiert PTFE mit elementarem Fluor- und Chlortrifluorid**
- **Monomere wie Styren, Butadien oder Acrylnitril können in geringem Umfang in PTFE oder mod. PTFE eindringen und falls dann Bedingungen gegeben sind, die eine spontane Polymerisation auslösen, kann dies zum Aufquellen des Werkstoffes führen**

Aus diesen Gründen erübrigen sich bei PTFE umfangreiche Tabellen oder Beständigkeitslisten.

Licht- und Witterungsbeständigkeit
PTFE zeichnet sich durch eine hervorragende Licht- und Witterungsbeständigkeit aus.

PTFE kann deshalb ohne Einschränkung für den Außeneinsatz unter extremen Witterungsbedingungen verwendet werden, ohne dass dadurch nennenswerte Veränderungen der mechanischen oder elektrischen Eigenschaften auftreten.

Energiereiche Strahlung
PTFE zählt nicht zu den strahlungsbeständigen Kunststoffen. PTFE sollte daher nicht in strahlengefährdeten Bereichen eingesetzt werden. Eine hohe Strahlungsdosis kann zur Zersetzung von PTFE führen. Dabei werden durch Bruch der Molekülketten die Polymereigenschaften sukzessive verschlechtert. Letztendlich kann der Abbau bis zur Monomerfreisetzung führen und neben anderen korrosiven und toxischen Verbindungen wird gasförmiges TFE abgespalten.

- **Bei einer aufgenommenen Strahlungsdosis von 102 J/kg beginnen sich die Polymereigenschaften zu ändern**
- **Bei einer Strahlungsdosis von 5×10^4 J/kg: Abnahme der Zugfestigkeit um 50 – 90 %. Abnahme der Bruchdehnung um › 90 %**

Brennbarkeit
Brandtechnische Prüfungen weisen aus, dass Fluorpolymere von allen Kunststoffen am schwierigsten zu entflammen sind. Nur im Bereich einer Fremdflamme entzünden sich die gasförmigen Zersetzungsprodukte. Nach Entfernen der Zündflamme hört der Brennvorgang sofort auf. Die nach ASTM D 1929 an PTFE-Halbzeugen gemessenen Zündtemperaturen liegen im Bereich von 500 bis 560 °C, der LOI-Index (Sauerstoffindex) beträgt 95 %. Nach Underwriters Laboratories (UL) sind die verschiedenen PTFE-Typen in Brandklasse V-0 gelistet. Der elektrische und mechanische relative Temperaturindex (RTI) liegt für PTFE allgemein bei 180 °C.

Wird für eine besondere Anwendung ein höherer Wert gefordert, so ist eine spezielle Messung zu dessen Bestimmung erforderlich.

Wasseraufnahme
Die Wasseraufnahme von PTFE ist praktisch gleich null. Auch nach langen Einlagerungen in Wasser kann nach DIN 53472/8.2 keine Wasseraufnahme festgestellt werden.

Physiologische Eigenschaften
Ungefülltes PTFE ist physiologisch inert. Zulassungen nach FDA, EU und BgVV liegen vor.

Für die Glasfaser-Compounds sowie für die Füllstoffe PEEK und $PPSO_2$ liegen FDA Konformitätserklärungen vor.

Cytotoxizitätsprüfungen wurden erfolgreich durchgeführt. Der Einsatz ist daher sowohl im Medizin- als auch im Lebensmittelbereich zulässig.

Sehr positiv weist sich in diesem Zusammenhang die Beständigkeit gegen Heißdampf aus, so dass PTFE-Teile im medizinischen Einsatzbereich, in der Pharma- oder Lebensmittelindustrie gut sterilisiert werden können.

Gleitverhalten
Die sehr niedrigen zwischenmolekularen Kräfte führen u.a. dazu, dass PTFE von allen festen Werkstoffen den niedrigsten Reibungskoeffizienten besitzt. Bei PTFE ist der statische und dynamische Reibungskoeffizient nahezu gleich. Daher tritt kein „Stick-Slip-Effekt“ auf.

Selbst bei Temperaturen unterhalb von 0 °C bleiben diese günstigen Gleiteigenschaften erhalten. Ab 20 °C nimmt die Reibungszahl von PTFE geringfügig zu. Ungefüllt zeigen PTFE und modifiziertes PTFE in etwa das gleiche Abriebverhalten. Bei dynamischen Dichtungen aus modifiziertem PTFE ist bei gleicher Dichtungsauslegung die Flächenpressung (⇨ Radialkraft) oft höher als beim Gegenstück aus regulärem PTFE. Dies ist darin begründet, dass die modifizierte Dichtung infolge des geringeren Kaltflusses weniger ausweicht und auch über längere Zeit weniger abfällt. Diese Tatsache kann einerseits höheren Werkstoffabrieb bewirken, ist aber andererseits oft Garant für längere Dichtheit.

Bei Zugabe von Füllstoffen wird der Reibungskoeffizient tendenziell erhöht; der Abrieb wird aber signifikant reduziert.

Reibungszahlen PTFE/Perlitguss bei Trockenlauf[(1)]
($p = 0{,}2\ N/mm^2$, $T = 30\ °C$, $R_{z\ Perlitguss} \leq 1{,}5\ \mu m$)

PTFE-Type	*Gleitgeschwindigkeit*	
	v = 0,5 m/s	*v = 1,0 m/s*
PTFE ungefüllt	0,25	0,27
PTFE +25 % Glasfasern	0,15	0,15
PTFE +15 % Grafit	0,14	0,14
PTFE +25 % Kohle	0,22	0,21
PTFE +60 % Bronze	0,20	0,22

Verschleißverhalten

Die Verschleißfestigkeit von reinem PTFE ist relativ gering. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die PTFE-Moleküle wegen ihrer kompletten Umhüllung durch Fluoratome nur minimale intermolekulare Wechselwirkungen ausbilden können. In den kristallinen Regionen des Werkstoffes können die Molekülschichten, ähnlich dem Grafit, bei tribologischer Belastung Lage für Lage abgeschoben werden.
In den amorphen Bereichen ist der Polymerverbund infolge intermolekularer Verschlaufung stabiler, jedoch macht dieser Anteil nur ca. 30 Vol.-% des Polymers aus.

Eine wesentliche Verbesserung der Verschleißfestigkeit wird durch Füllstoffe wie z. B. Kohle, Grafit, Glas- und Kohlefasern, Bronze oder organische Füllstoffe erreicht.

Gegenüber dem mineralisch bzw. metallisch gefüllten PTFE besitzen die neu entwickelten Spezialcompounds HS 21059, HS 21037 und HS 10300 auch im absoluten Trockenlauf ein deutlich verbessertes Abriebverhalten und eine sehr geringe Einlaufneigung auf der Gegenlauffläche. Dies ist selbst dann noch der Fall, wenn die Gegenlauffläche ungehärtet ist.

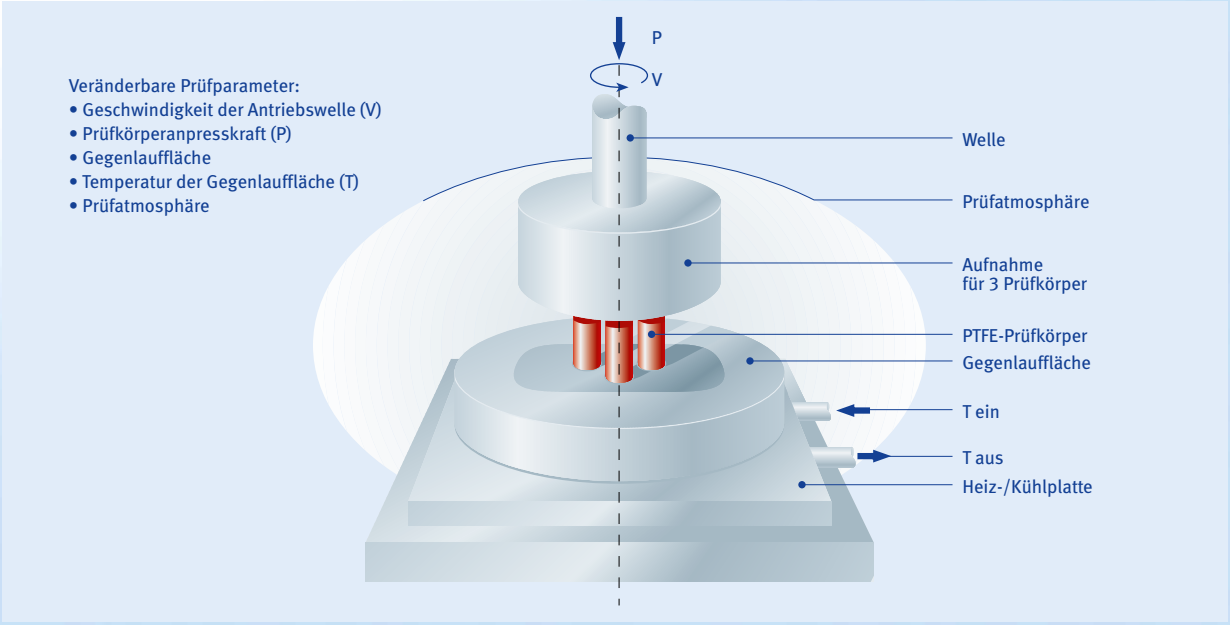
Die Gleitreibungszahl der jeweiligen Laufpaarung spielt beim Abriebverhalten eine untergeordnete Rolle. Vielmehr ist der Verschleiß in weit größerem Umfang von den Einsatzbedingungen (Medium, Druck, Geschwindigkeit, Temperatur, Schmierung, Oberflächenrauheit) abhängig. Da kein PTFE-Compound alle Anforderungen erfüllen kann, muss für den jeweiligen Einsatzfall die am besten geeignete PTFE-Compound-Type ermittelt werden.

Bei der experimentellen Ermittlung des Verschleißes ist zu berücksichtigen, dass jede Prüfmethode eigene Datensätze liefert.

Ein direkter Werkstoffvergleich ist deshalb nur innerhalb jeder einzelnen Prüfmethode – unter gleichen oder ähnlichen Prüfparametern – möglich.

Ziel sollte es immer sein, Werkstoffe möglichst praxisnah zu testen. Dies ist in den ElringKlinger Kunststofftechnik-Entwicklungslabors möglich.

Langzeitverschleißprüfstand



Verschleiß von ungefülltem PTFE im Vergleich mit verschiedenen PTFE-Compounds

Langzeitverschleiß im Trockenlauf [2]

Prüfbedingungen:

Prüfatmosphäre: Luft

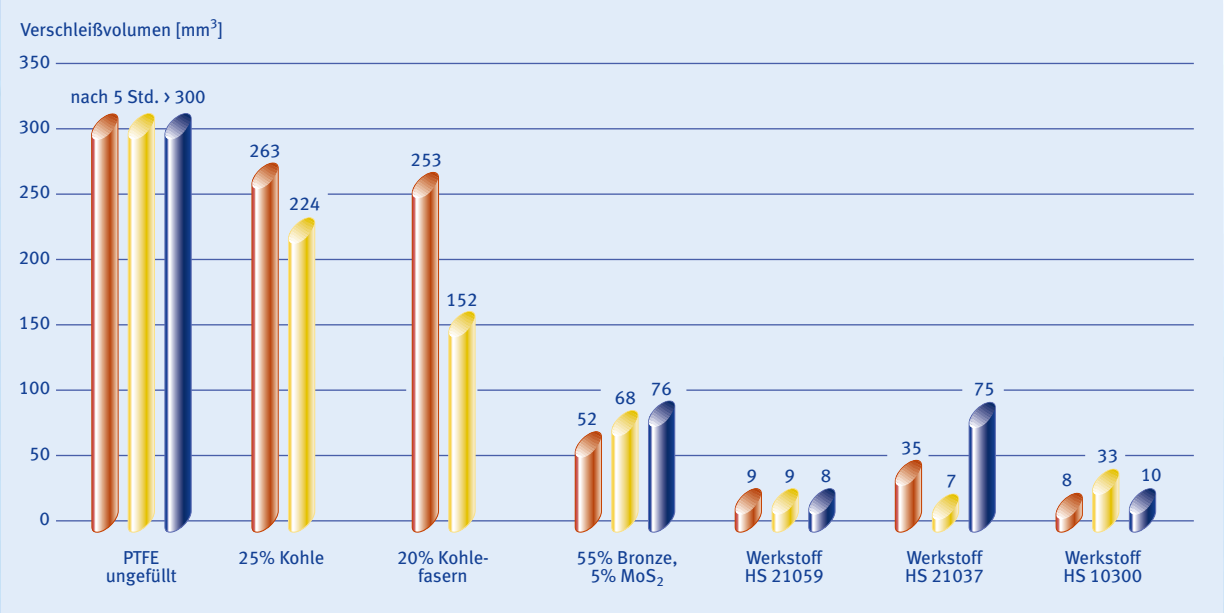
T = 100 °C

v = 4 m/s

p = 0,42 N/mm²

Rz = 2 µm

Prüfdauer: 100 h



Eigenschaften von Fluorkunststoffen

Physikalische Eigenschaften von PTFE im Vergleich mit Fluorthermoplasten[1]

Eigenschaften	*Prüfmethode*	*Einheit*	*Werkstoffe*					
			PTFE	*PTFE mod.*	*FEP*	*PFA*	*PCTFE*	*PVDF*
Dichte	ISO 12086	g/cm³	2,15 – 2,19	2,15 – 2,19	2,12 – 2,17	2,12 – 2,17	2,10 – 2,20	1,76 – 1,78
Reißfestigkeit 23 °C	ISO 12086	N/mm²	22 – 40	22 – 40	18 – 25	27 – 29	30 – 38	38 – 50
Reißdehnung 23 °C	ISO 12086	%	250 – 500	400 – 700	250 – 350	300	80 – 200	30 – 40
Kugeldruckhärte 23 °C	ISO 12086	N/mm²	23 – 32	23 – 32	23 – 28	25 – 30	30	65
Steckgrenze 23 °C	ISO 12086	N/mm²	10	11	12	14	40	46
Zug-E-Modul 23 °C	ISO 12086	N/mm²	400 – 800	440 – 880	350 – 700	650	1000 – 2000	800 – 1800
Biege-E-Modul 23 °C	ISO 12086	N/mm²	600 – 800	660 – 880	660 – 680	650 – 700	1200 – 1500	1200 – 1400
Grenz-Biegespannung 23 °C	ISO 12086	N/mm²	18 – 20	18 – 20		15	52 – 63	55
Shorehärte D 23 °C	ISO 12086		55 – 72	55 – 72	55 – 60	60 – 65	70 – 80	73 – 85
Schmelztemperatur	ASTM 2116	°C	327	327	253 – 282	280 – 310	185 – 210	165 – 178
Dauergebrauchstemp. ohne Belastung		°C	260	260	205	260	150	150
Wärmeausdehnungskoeffizient 10^{-5}	DIN 53752	K^{-1}	10 – 16	10 – 16	8 – 14	10 – 16	4 – 8	8 – 12
Wärmeleitfähigkeit 23 °C	DIN 52612	W/K · m	0,25	0,25	0,2	0,22	0,19	0,17
Spezifische Wärme 23 °C		KJ/kg · K	1,01	1,01	1,17	1,09	0,92	1,38
Sauerstoffindex		%	›95	›95	›95	›95	›95	›43
Wasseraufnahme	DIN 53495	%	‹0,01	‹0,01	‹0,01	‹0,03	‹0,01	‹0,03

Physikalische Eigenschaften von ungefülltem PTFE im Vergleich mit verschiedenen PTFE-Compounds[1]

Eigenschaften	*Prüfmethode*	*Einheit*	*Werkstoffe*							
			PTFE ungefüllt	*PTFE + 60 % Bronze*	*PTFE +10 % AP* + 1 % Ruß*	*PTFE + 25 % Glasfaser*	*PTFE + 15 % Grafit*	*PTFE + 10 % Glasfaser + 10 % Grafit*	*PTFE + 25 % Kohle*	*PTFE + 30 % Kohle + 3 % Grafit*
Dichte	ISO 12086	g/cm³	2,15	3,85±5 %	2,04±3 %	2,23±3 %	2,16±3 %	2,17±3 %	2,09±3 %	2,0±4 %
Reißfestigkeit 23 °C	ISO 12086	N/mm²	≥ 25	≥ 12	≥ 14	≥ 14	≥ 12	≥ 14	≥ 13	≥ 10
Reißdehnung 23 °C	ISO 12086	%	≥ 280	≥ 120	≥ 160	≥ 160	≥ 120	≥ 200	≥ 100	≥ 60
Kugeldruckhärte 135/60 23 °C	ISO 12086	N/mm²	≥ 22,6	≥ 33	≥ 32	≥ 27	≥ 28	≥ 30	≥ 34	≥ 40
Spez. Widerstand	DIN VDE 0303 Teil 30 IEC 93	Ω· cm	$>10^{18}$			$>10^{15}$	$>10^{10}$	$>10^{12}$	$>10^{2}$	
Oberflächenwiderstand	DIN VDE 0303 Teil 30 IEC 93	Ω	$>10^{17}$			$>10^{15}$	$>10^{11}$	$>10^{12}$	$>10^{2}$	
Wärmeleitfähigkeit	DIN 52612	W/m · K	0,25	0,6 – 0,8	–	0,4 – 0,5	0,7 – 0,9	0,4 – 0,6	0,5 – 0,7	0,6 – 0,8
Wärmeausdehnung	siehe Wärmeausdehnungskurven Seite 11 bis 13									

*AP = aromatischer Polyester

Für Anwendungen in gasförmigem oder flüssigem Sauerstoff fragen Sie bitte unsere speziellen BAM-geprüften PTFE-Typen an.

Eigenschaften von Fluorkunststoffen

Elektrische Eigenschaften [1]

In nachfolgender Tabelle sind einige elektrische Kenngrößen von Fluorkunststoffen zusammengefasst.

Eigenschaften	*Prüfmethode*	*Einheit*	*Werkstoffe*				
			PTFE	*FEP*	*PFA*	*PCTFE*	*PVDF*
Dielektrizitätskonstante	DIN 53483	10^3 Hz 10^6 Hz	2,1 2,1	2,1 2,1	2,06 – 2,1 2,06 – 2,1	2,5 – 2,8 2,3 – 2,4	7,8 – 9,0 6,4 – 7,6
Dielektrischer Verlustfaktor	DIN 53483	10^3 Hz · 10^{-4} 10^6 Hz · 10^{-4}	0,3 0,7	2 – 8 2 – 8	0,2 0,8	250 – 300 80 – 120	120 – 200 1500 – 1900
Spezifischer Widerstand	DIN 53482	Ω · cm	10^{18}	10^{18}	10^{18}	10^{18}	10^{15}
Oberflächenwiderstand	DIN 53482	Ω	10^{17}	10^{16}	10^{17}	10^{15}	10^{13}
Kriechstromfestigkeit	DIN 53480		KA 3c	KA 3c		KA 3c	KA 1
Durchschlagsfestigkeit	DIN 53481	KV/mm	40 – 80	50 – 80	50 – 80	50 – 70	40 – 80

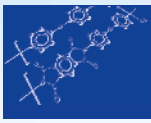
Bemerkenswert ist, dass der spezifische Durchgangswiderstand von PTFE bis ca. 150 °C nahezu konstant bleibt.

Besonders interessant ist weiterhin die niedrige Dielektrizitätskonstante und der geringe dielektrische Verlustfaktor von PTFE.

Die Durchschlagsfestigkeit beträgt bei einer porenfreien PTFE-Folie mit einer Dicke von 0,2 mm ca. 60 KV/mm. Bei Verwendung von modifiziertem PTFE kann die Durchschlagsfestigkeit bei dieser Folienstärke bis auf zu ca. 100 KV/mm ansteigen.

Bei der Bestimmung von Folien größerer Dicke muss eine höhere Prüfspannung angelegt werden. Dadurch verändert sich der Durchschlagsmechanismus, z. B. in Folge von Luftfeuchtigkeit oder Ionisationsvorgängen. Die Erfahrungswerte für die Durchschlagsfestigkeit von Folien mit Dicken von wenigen mm liegen im Bereich von 30 – 40 KV/mm; im Falle von modifiziertem PTFE geringfügig darüber.

Chemisches und physikalisches Verhalten



Adhäsionsverhalten

Die Adhäsion von reinem PTFE ist sehr gering (antiadhäsiv), was auf die Abschirmung der Kohlenstoffkette durch die Fluoratome und deren geringe Polarisierbarkeit zurückzuführen ist. Dadurch lässt sich PTFE nur schwer benetzen (Kontaktwinkel mit Wasser 126°).

Auch für PTFE-Compounds gilt im Prinzip diese Eigenschaft in abgeminderter Form. Hochgefüllte Compounds können im Benetzungsverhalten stark von dem des ungefüllten PTFE abweichen. Dies gilt sowohl für Wasser oder andere Lösemittel als auch für Klebstoffe.

Vorteil

- **Bei Auskleidungen bzw. Ummantelungen von Bauteilen keine Haftung der Medien**

Nachteil

- **Durch die schlechte Benetzbarkeit ist ein Verkleben von PTFE in diesem Zustand nicht möglich**

Verklebbarkeit

Geringe zwischenmolekulare Kräfte und die geringe Polarisierbarkeit der Fluoratome sind die Ursache für die schlechte Verklebbarkeit von PTFE. Voraussetzung zur Verklebung ist deshalb eine chemische Vorbehandlung der Oberfläche z. B. durch in Ammoniak gelöstes Natrium.

Verschweißbarkeit

PTFE kann aber auch unter bestimmten Voraussetzungen verschweißt werden. Als verbindende Schicht zwischen den beiden PTFE-Flächen wird hierbei ein Schmelzkleber aus PFA verwendet.

Modifiziertes PTFE kann auch ohne Schweißhilfsmittel verschweißt werden. Für dünne Folien ist hierfür ein Balkenschweißgerät geeignet, mit dem die erforderlichen Temperaturen von ca. 350 °C aufgebracht werden können.

Für dickere Profile muss ein spezielles Schweißverfahren angewandt werden: In der Kontaktzone werden durch einen lokalen Temperaturzyklus, der einer üblichen Sinterkurve angelehnt ist, die beiden Partner miteinander verbunden.

Vorteil

- **PTFE-Oberfläche muss nicht geätzt werden**

Nachteil

- **Die Verschweißung erfolgt nur bei sehr hohen Temperaturen von 325 – 335 °C (≅ Kristallitschmelztemperatur von PTFE)**

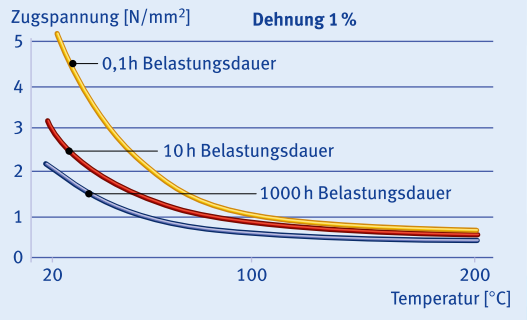
Physikalisches Verhalten

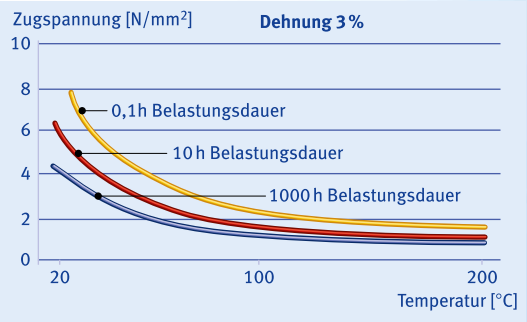
Kaltflusseigenschaften

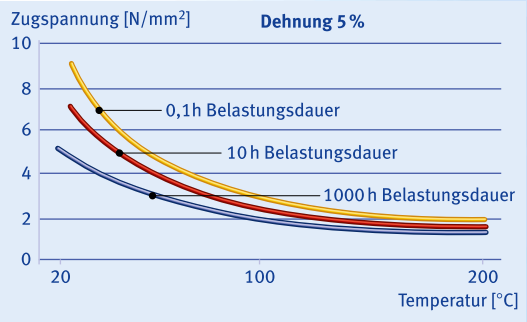
PTFE hat die Eigenschaft, unter konstanter Zug- oder Druckbelastung bereits bei Raumtemperatur auszuweichen – zu fließen. Diese Eigenschaft ist abhängig von der ausgeübten Druck- oder Zugspannung, der Belastungszeit und der Temperatur.

Aufgrund dieser Eigenschaften werden mechanisch höher beanspruchte PTFE-Teile entweder gekammert, und damit am Ausweichen gehindert, oder PTFE-Compounds mit deutlich verbesserten Druckstandfestigkeiten eingesetzt. Auch die Verwendung von modifiziertem PTFE ist eine geeignete Maßnahme, den Kaltfluss zu reduzieren.

Spannungs-Dehnungsdiagramme für ungefülltes PTFE [2]







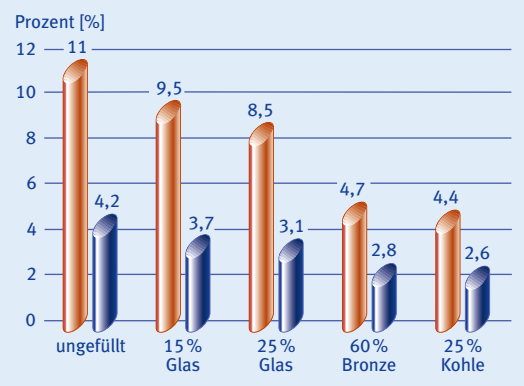
Mechanische Eigenschaften

Deformation unter Last (Kaltfluss) von PTFE-Compounds und Compounds auf Basis von modifiziertem PTFE

Für den in der Praxis häufigeren Belastungsfall, die Druckbelastung, können die Kennwerte den folgenden Diagrammen entnommen werden. Man erkennt hier eindeutig die geringere Verformung der PTFE-Compounds mit den Füllstoffen Glasfaser, Kohle bzw. Bronze. Signifikant ist der Leistungsgewinn bei Verwendung von Compounds auf Basis von modifiziertem PTFE bei der Kaltflussbetrachtung.

Deformation unter Last nach ASTM D621[2]

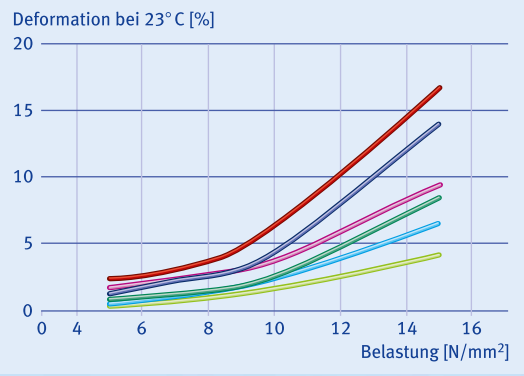
(15 N/mm², 100 h Belastung + 24 h Rückstellung (= bleibende Verformung), 23 °C, gepresster Probekörper: Ø 10 mm, 10 mm hoch)



PTFE
Modifiziertes PTFE

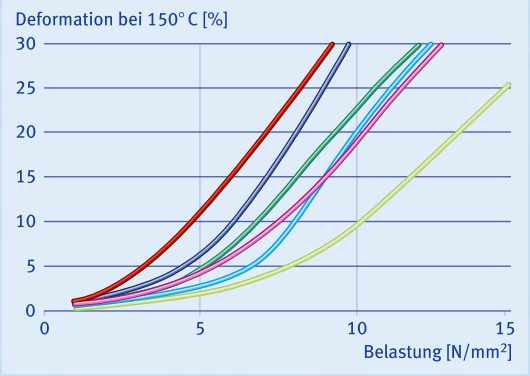
Deformation unter Last von PTFE, PTFE-Compounds und den modifizierten Alternativen[2]

Prüftemperatur: 23 °C
Prüfdauer: 100 h, keine Rückstellung



Deformation unter Last von PTFE, PTFE-Compounds und den modifizierten Alternativen[2]

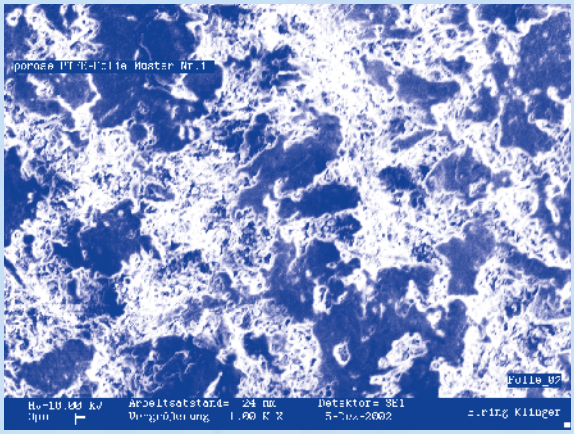
Prüftemperatur: 150 °C
Prüfdauer: 100 h, keine Rückstellung



PTFE ungefüllt
Mod. PTFE ungefüllt
PTFE + 25 % Glas
Mod. PTFE + 25 % Glas
PTFE + 25 % Kohle
Mod. PTFE + 25 % Kohle

Poröses PTFE für optische Anwendungen und Medientrennung

Durch Anwenden eines speziellen Press- und Sinterverfahrens kann porenhaltiges PTFE hergestellt werden. Die Größe der Poren ist statistisch verteilt und bewegt sich im Bereich zwischen 1 und 20 µm.
Der mittlere Porendurchmesser beträgt ca. 2 µm bei höher verdichteten Varianten und ca. 6 µm bei höher durchlässigen Einstellungen.



Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen am Beispiel P 150: statistische Porengrößenverteilung durch „Zwickelbildung“ bei der Verpressung von weitgehend vorgesintertem PTFE; unvollständiges Verfließen der Partikel während der Sinterung.

Die Struktur dieses neuartigen porösen Werkstoffes zeigt die nebenstehende Abbildung.
Eines der wesentlichen Merkmale dieses Werkstoffes ist seine hohe mechanische Festigkeit, die „selbsttragende“ technische Lösungen ermöglicht. Er setzt sich diesbezüglich positiv ab gegenüber Konkurrenzprodukten, die nicht gesintert und deshalb mechanisch sehr fragil sind. Diese müssen in der Anwendung häufig gestützt werden.

Anwendungen

Anwendungen von porösem PTFE für die Trennung von Medien, Charakterisierung von Werkstoffen aus porösem PTFE.

Die Luftdurchlässigkeit und die Wassersäulenbeständigkeit sind die üblichen Parameter zur Charakterisierung von porösem PTFE für Anwendungen in der Medientrennung.

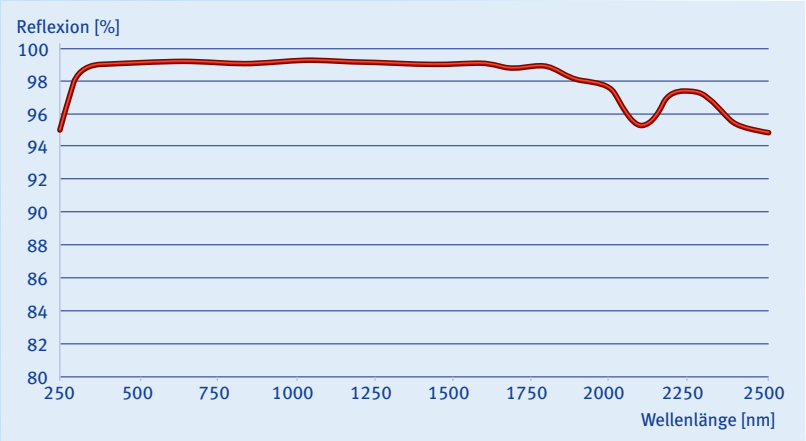
Für Foliendicken im Bereich 0,1 bis 3,0 mm und „Porenwerten“ von P 60 bis P 200 ergeben sich dabei die folgenden Werte:

Luftdurchlässigkeit und Wassersäulenbeständigkeit von porösem PTFE[2]

Optische Anwendungen von porösem PTFE

Poröses PTFE eignet sich in hervorragender Weise auch für optische Anwendungen, da es ein hohes Reflexionsvermögen im UV-, im sichtbaren und im nahen Infrarotbereich aufweist. Im Wellenlängenbereich 250 – 2000 nm ist das Reflexionsvermögen nahezu konstant und damit unabhängig von der Wellenlänge.

Das Reflexionsspektrum von porösem PTFE im Wellenlängenbereich 250 – 2500 nm[2]



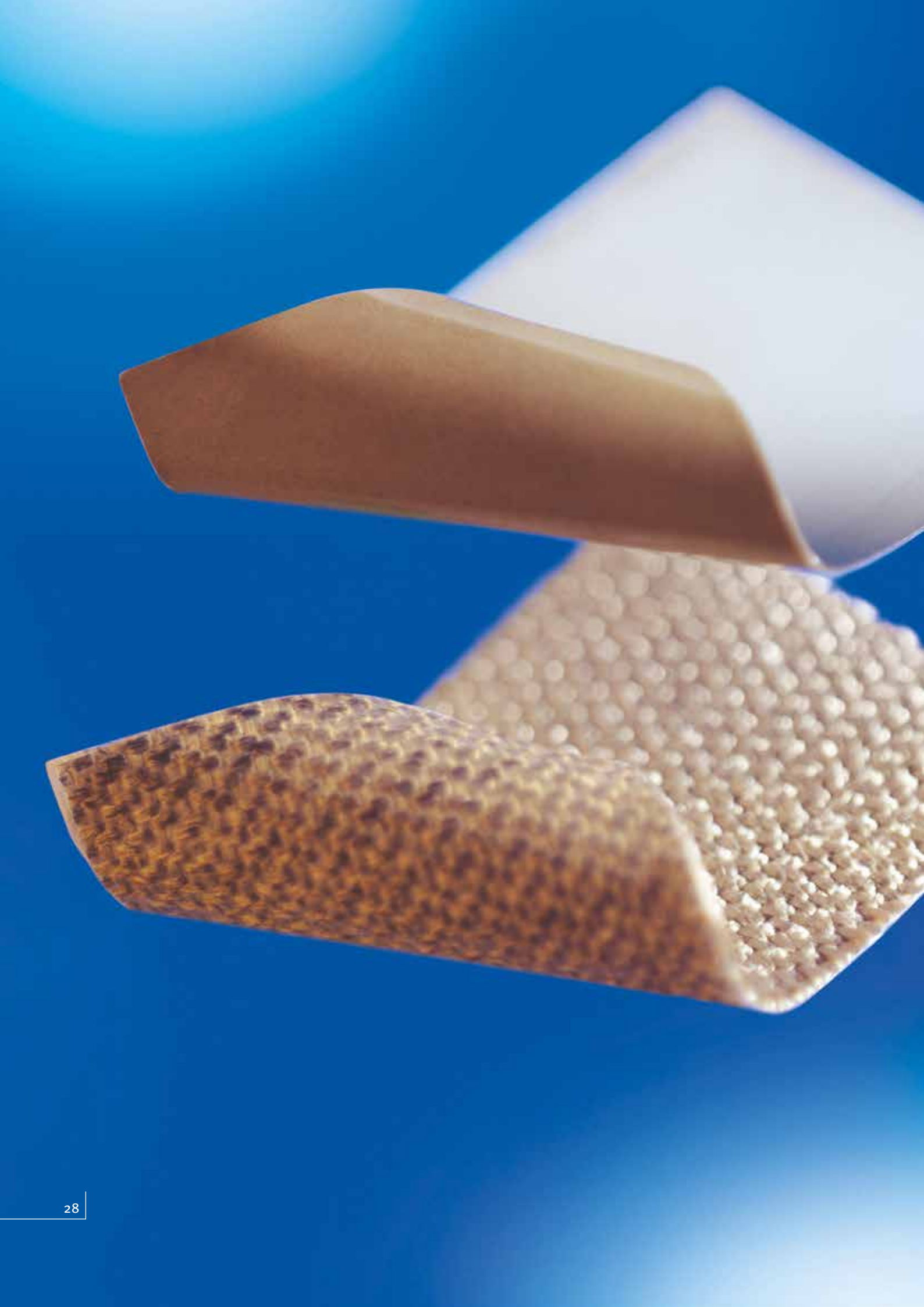
Typische Anwendungen sind Ulbrichtkugeln zur Messung von diffuser Reflexion und gestreuter Transmission, zur Charakterisierung von Lichtquellen (z. B. Glühlampen oder LEDs) oder zur Leistungsmessung von Lasern, Laserdioden und LEDs.

Daneben wird poröses PTFE aber auch eingesetzt als Lambertsche Reflektoren und Diffusoren. Diese finden Verwendung z. B. als Reflexionsnormale, Basismaterial für Integrationskugeln, Projektionswände oder Detektionssensoren und optische Abschwächer.

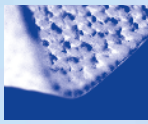
Verfügbarkeit von porösem PTFE

Typische Anwendungsformen sind Folien im Dickenbereich 0,1 bis 3,0 mm; jedoch können auch Platten mit nahezu jeder beliebigen Dicke hergestellt werden. Die Folienbreite liegt üblicherweise im Bereich 100 mm für niedere P-Wert-Einstellungen und kann bei P 250 Breiten bis ca. 1300 mm erreichen. Speziell für Filter oder Anwendungen im optischen Bereich ist „alles möglich“, was durch Zerspanungstechnik aus den vorgenannten Halbzeugen herstellbar ist.

Filtereinsätze mit hohen Festigkeitsanforderungen im Aufnahmebereich lassen sich aus einem Kombinationswerkstoff: „Kompaktes PTFE im Aufnahmebereich – poröses PTFE im Filterbereich“ herstellen.

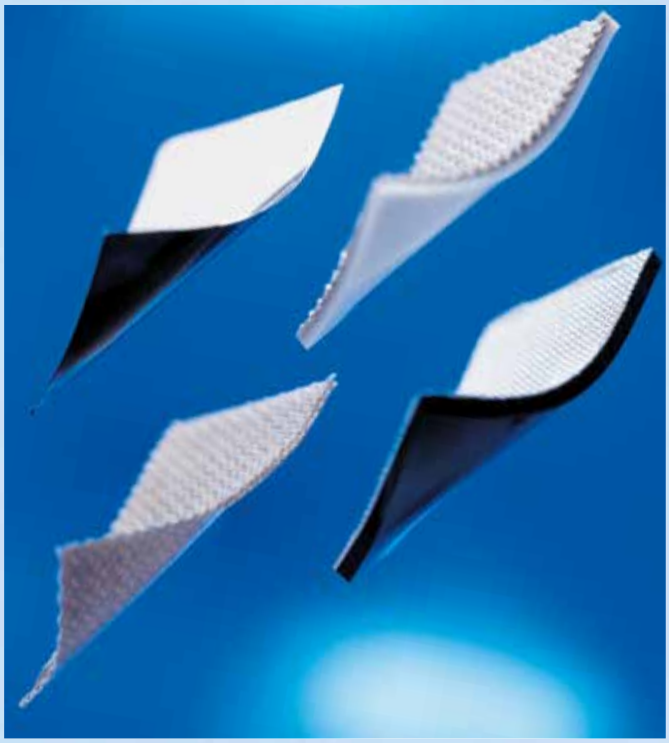


Laminate auf Basis PTFE und modifiziertem PTFE



Unter Laminaten versteht man verstärktes PTFE, das sich zum Einen aus einer PTFE-Folie oder -Platte und zum Anderen aus einem Substrat aufbaut. Die Werkstoffschichten sind fest miteinander verbunden. Als Substrat kommen Gewebe, Fasern oder Gewirke, aber auch Folien zum Einsatz.

Diese bestehen z. B. aus Glas, Metall, Keramik, Elastomeren oder Hochleistungspolymeren. Der Aufbau kann aus zwei oder mehreren Schichten bestehen. Konstruktionen bis zu 7 Lagen sind dabei keine Seltenheit.



Folie aus leitfähigem PTFE oder modifiziertem PTFE, kaschiert mit Glasgewebe. Eine Kaschierung mit Kohlefaser-Gewebe ist ebenso möglich zur Verbesserung der Chemikalienbeständigkeit, insbesondere bei Anwendungen für Flusssäure.

Anwendungsgebiete

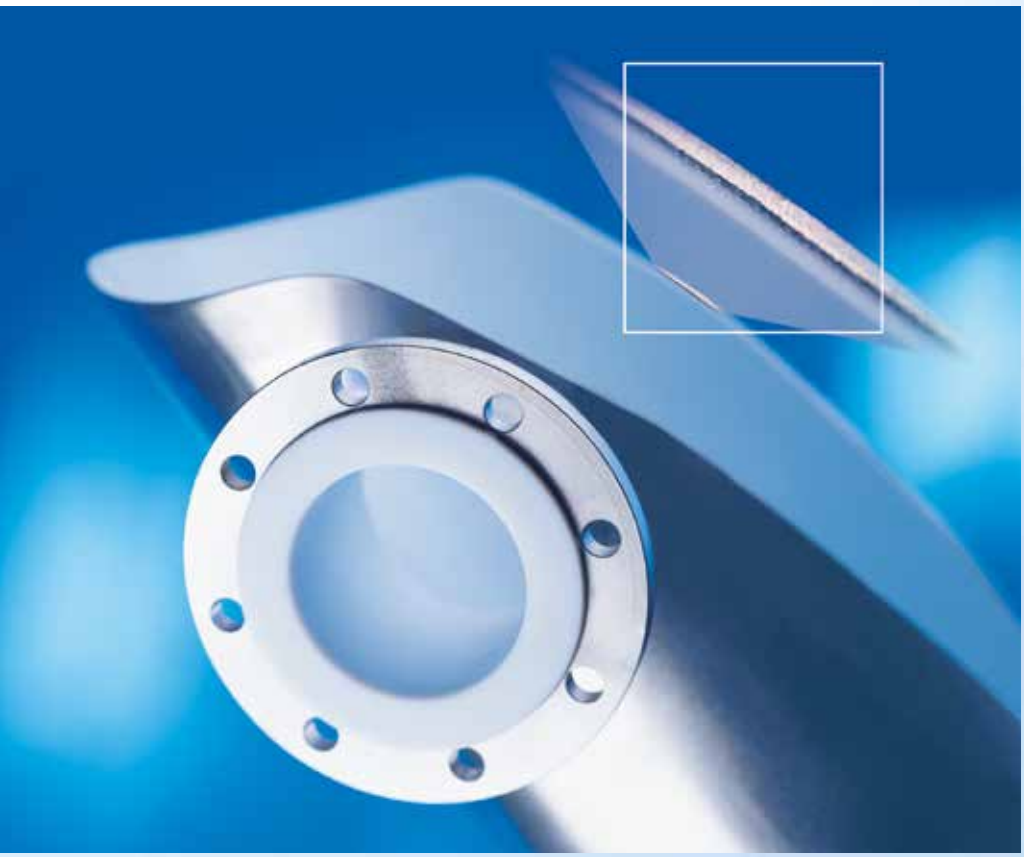
Typische Anwendungen sind Auskleidungen im Anlagenbau, Bauteile für Elektro- und Elektronikanwendungen, Membranen im Pumpen- oder Sensorenbau oder optisch durchlässige Verbunde für textiles Bauen.

Laminate auf Basis von Standard-PTFE zeichnen sich durch die folgenden Eigenschaften aus:

- **Hervorragende und breite Chemikalienbeständigkeit**
- **Sehr breiter Temperatureinsatzbereich. Nach oben ausschließlich begrenzt durch die Beständigkeit des verwendeten Klebstoffes**
- **Sehr gute Antihafteigenschaften**
- **Form- und Spannungsrissbeständigkeit**
- **Keine Versprödung, keine Alterung**

Bei Verwendung von modifiziertem PTFE als Folienwerkstoff werden diese Eigenschaften noch verstärkt durch:

- **Dichteres porenarmes Polymergefüge**
- **Geringere Permeabilität**
- **Bessere Verschweißbarkeit**



Aufbau und Anwendungen von Laminaten auf Basis von PTFE und modifiziertem PTFE am Beispiel einer Kesselauskleidung.

XYMON, ein Fluorpolymer-Compound der neuen Art

Mit Xymon bietet ElringKlinger Kunststofftechnik einen neuen Verbundwerkstoff auf Basis von Fluorkunststoffen an, der herkömmlichen PTFE-Compounds in seinen mechanischen Werten weit überlegen ist, ohne seine hervorragenden chemischen Eigenschaften einzubüßen.

Eigenschaften

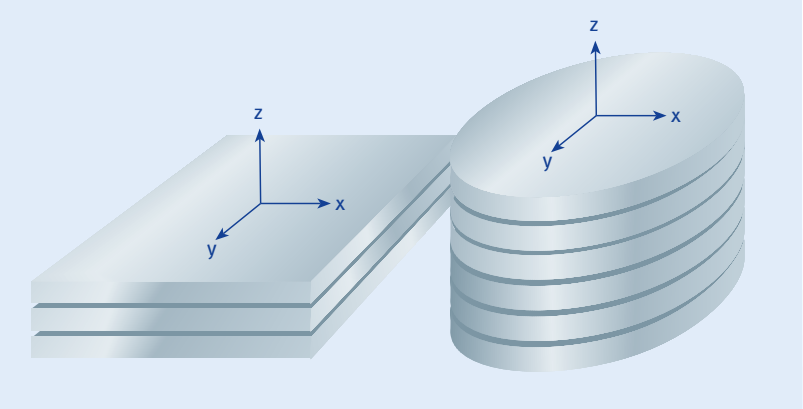
- Nahezu universelle Chemikalienbeständigkeit
- Extrem hohe Reißfestigkeit
- Hohe Druckbeständigkeit
- Extrem kaltflussresistent
- Hohe Abriebbeständigkeit

Anwendungsbeispiele

- Ventildichtungen
- Lager
- Armaturen
- Ventilsitze
- Flachdichtungen
- Pumpenflügel
- Ventilkomponenten
- Kolbenringe
- Automobildichtungen

Aufbau

Xymon ist ein mit Kohlelangfasern (C-Fasern) verstärktes Fluorpolymer-Compound mit anisotropem Eigenschaftsprofil. Es wird als Platte, Scheibe oder Ring gefertigt. Die Hauptausrichtung der Kohlenstofflangfasern liegt in der xy-Ebene:



Alle Fasern sind gleichmäßig in der xy-Ebene verteilt.

Im Vergleich zu ungefülltem PTFE oder typischen Compounds mit Kohle- oder Glasfaserfüllstoff ist der Eigenschaftsgewinn, gemessen parallel zur Faserrichtung, enorm[1]:

	XYMON UC-3000	*XYMON UC-1500*	*PTFE 25 % Kohle*	*PTFE 25 % Glas-faser*	*PTFE ungefüllt*
E-Modul	10000 MPa*	5000 MPa*	–	800 MPa	750 MPa
Reißfestigkeit	60 MPa*	45 MPa*	15 MPa	17 MPa	33 MPa
Deformation unter Last	‹ 1 %	‹ 2 %	8,5 %	14 %	15 %

* Parallel zur Faserrichtung

Chemikalienbeständigkeit

Die sehr gute Beständigkeit der C-Fasern und die Tatsache, dass diese vom Fluorpolymer eng umschlossen sind, führen zu der einzigartigen Beständigkeit von Xymon, die der des reinen PTFE sehr nahe kommt. Der Werkstoff kann beispielsweise in Flusssäure, Salzsäure, Phosphorsäure, Mineralölen, Tetrahydrofuran und vielen anderen Medien eingesetzt werden.

Halbzeuge – leistungsfähige Vielfalt für die Weiterverarbeitung

ElringKlinger Kunststofftechnik bietet Halbzeuge in Form von Folien, Platten, Ringen, Stäben und Rohren an. Das komplette Sortiment ist in vier verschiedenen Werkstoffvarianten verfügbar. Eingesetzt werden:

- **Virginales PTFE**
- **Virginales modifiziertes PTFE**
- **Compounds**
- **Poröses PTFE**

Compound-Halbzeuge

Man unterscheidet Compounds mit anorganischen Füllstoffen – wie z. B. Glasfasern, Glaskugeln, Kohle, Kohlefasern, Bronze, Molybdändisulfid, Grafit – und Compounds mit organischen Füllstoffen. Hierzu zählen Polyimid (PI), Polyphenylensulfid (PPS), Polyphenylensulfiddioxid ($PPSO_2$), Polyetheretherketon (PEEK), Polyamidimid (PAI) oder aromatische Polyester (Econol®, SumikaSuper®).

Auf Wunsch können für nahezu jeden Anwendungsfall maßgeschneiderte Compounds hergestellt werden. Dank der Eigencompoundierung verfügen wir inzwischen über ca. 500 verschiedene Compounds.

Wenn nicht anders erwähnt oder vom Kunden spezifiziert, werden die Halbzeuge auf der Basis von nichtrieselfähigen Compounds hergestellt. Dadurch wird die maximal mögliche Qualität des zugrunde liegenden Werkstoffes ausgeschöpft.

Poröses PTFE

Bei porösem PTFE kann in weiten Bereichen Dichte, Porosität, Luftleitwert oder Wassersäulenbeständigkeit variiert und auf die speziellen Wünsche des Kunden eingestellt werden.

Zulassungen und Richtlinien

Für kritische Anwendungen werden häufig besondere Zulassungen gefordert. Dank dem bevorzugten Einsatz hochwertiger Rohstoffe bezüglich der PTFE-Matrix als auch des Füllstoffs, unterstützt ElringKlinger Kunststofftechnik Anwendungen durch die Bereitstellung spezifischer Zertifikate, z. B. für den Einsatz mit Lebensmittelkontakt oder in Gegenwart von Sauerstoff.

Darüber hinaus wird auch die Konformität, sofern diese gegeben ist, für EU-Richtlinien bestätigt, wie z. B. 2002/95/EG (RoHS) und 2002/96/EG (WEEE), oder für viele weitere Anforderungen, die geregelt sind durch KTW, USP Class VI, 3-A Sanitary, NSF, VDA, WRAS oder GADSL.

Auf Seite 39 und 40 sind beispielhaft verschiedene PTFE-Typen und Compounds mit ihren Zulassungen bzw. Prüfungen hinsichtlich BgVV, EU, FDA und BAM aufgeführt.

Produkte

Wenn nicht weiter angegeben, dann gelten GKV-Werte für physikalische Eigenschaften und Toleranzen in der jeweils neuesten Ausgabe.

Bei porösem PTFE können die Werkstoffeigenschaften in folgenden Bandbreiten eingestellt werden:

Eigenschaft	*Dimension*	*Minimal*	*Maximal*
Dichte	g/cm³	1,20	1,80
Porosität	Vol.-%	40	20
Luftleitwert (1 mm)	ml/sec x cm² x bar	100	10
Wassersäule (1 mm)	mbar	300	700

Aufgrund der reduzierten physikalischen Eigenschaften, insbesondere der hochporösen Varianten dieser Produktlinie, können die maximal herstellbaren Dimensionen kleiner ausfallen als im Folgenden für „kompaktes“ PTFE oder Compounds angegeben.

Folien

Als Folien werden aus Blöcken geschälte Halbzeuge bezeichnet, die eine maximale Dicke von 5 mm aufweisen.

Verfügbare Abmessungen

Dicke (µm)	*Breite Min. (mm)*	*Breite Max. (mm)*
30 – 100	10	300
100 – 5000	10	1600

Platten

Platten sind in Stärken von 6 – 150 mm lieferbar in den Standardabmessungen:

Länge (mm)	*Breite (mm)*
300	300
500	500
620	620
1000	500
1000	1000
1200	300
1200	1200
1500	1500
2000	1000
2000	500
3000	1000

Viele Sondermaße können durch vorhandene Einzelplattenwerkzeuge auf speziellen Kundenwunsch gefertigt werden.

Besonderheit:

Schälfolien und Standardplatten der Stärke 0,5 – 50 mm sind ab Lager im Werkstoff PTFE lieferbar!

Ringe

Insgesamt über 2.500 Werkzeugkombinationsmöglichkeiten stehen bereit, um den Durchmesserbereich an Ringen von 30 mm bis 3000 mm abzudecken. Ringhöhen bis zu 80 mm gehören zum Standard; Höhen bis 150 mm sind auf Anfrage lieferbar.

Auf Wunsch können Ringe bis 3000 mm spanabhebend auf Endmaß bearbeitet werden.

Ronden

Ronden sind Zylinder mit 150 mm Kernbohrung.

Folgende Abmessungen sind lieferbar

Max. Außendurchmesser (mm)	*Max. Höhe (mm)*
600	1600
700	150
1500	70

Vollstäbe

Vollstäbe in gepresster Qualität können in folgenden Dimensionen gefertigt werden:

	Durchmesser (mm)	*Länge (mm)*
Minimal	80	1000
Maximal	500	1000

Isostatisch gepresste Rohre und Sonderteile

ElringKlinger Kunststofftechnik verfügt über isostatische Pressen in unterschiedlichen Größen. Sie ermöglichen die Herstellung isostatisch gepresster Rohre und Sonderteile bis zu folgenden Abmessungen:

Max. Durchmesser (mm)	*Max. Höhe (mm)*
400	1500
700	1100

Zulassungen und Richtlinien (Product Stewardship)

ATEX

ATEX-Richtlinie 94/9/EG (Geräterichtlinie)

Am 01. Juli 2003 trat die ATEX-Richtlinie (**At**mosphères **Ex**plosibles = explosionsfähige Atmosphären) 94/9/EG als nationale Europanorm EN 13436 in Kraft, wonach europaweit auch nichtelektrische Geräte für den Ex-Bereich zugelassen sein müssen. Die ATEX-Richtlinie reguliert den Explosionsschutz nichtelektrischer Systeme, Geräte und Komponenten in explosionsgefährdeten Bereichen und somit die Pflichten für den Gerätehersteller.

Atmosphären werden als potenziell explosionsfähig bezeichnet, wenn sie dazu neigen durch Umgebungs- und Betriebsbedingungen explosionsfähig zu sein. Die ATEX-Richtlinie definiert eine explosionsfähige Atmosphäre „als Gemisch aus brennbaren Stoffen in Form von Gasen, Dämpfen, Nebeln oder Stäuben und Luft unter atmosphärischen Bedingungen, in dem sich der Verbrennungsvorgang nach erfolgter Zündung auf das gesamte unverbrannte Gemisch überträgt“.

ATEX-Konformitätsbescheinigungen beziehen sich auf Geräte und Komponenten. Für Werkstoffe sind entsprechende Bescheinigungen nicht erforderlich, jedoch werden seitens der Rohstoffhersteller relevante Werkstoffkennwerte beigestellt, die ATEX-Anwendungen unterstützen.

Festlegung von Werkstoffen und Kenndaten

Neben dem Aufwand für Kennzeichnung, EG-Konformitätserklärung, Abnahme und Zertifizierung der ATEX ertüchtigten Geräte, steht für die Hersteller die geeignete Wahl der Werkstoffe im Vordergrund.
Ein wichtiges Kriterium der Werkstoffwahl ist z. B., elektrostatische Entladungsprozesse (Electronic Static Discharge = ESD) zwischen Gegenständen mit unterschiedlichem elektrischem Potenzial zu vermeiden. Bei Entladungsvorgängen entstehen elektrische Lichtbögen, die eine explosionsfähige Atmosphäre zur Zündung bringen. Die entstehenden Bauteilschäden gehen jährlich in die Millionen.
Eine der Maßnahmen, dies zu verhindern ist die Verwendung von Materialien mit speziellen physikalischen Eigenschaften, insbesondere mit spezifischem elektrostatischem Ableitverhalten. Die geeignete Wahl der Werkstoffe mit den notwendigen Eigenschaften liegt in der Verantwortung des Geräteherstellers und richtet sich nach der entsprechenden Gerätekategorie.

Die für die ATEX-Anwendungen relevanten Werkstoffkenndaten ergeben sich wie folgt:

- **Werkstoffbezeichnung**
- **Mechanische Eigenschaften (Biegefestigkeit, Zugfestigkeit)**
- **Temperaturbeständigkeit (TI)**
- **Elektrische Eigenschaften (Kriechstromfestigkeit, Oberflächenwiderstand, elektrische Durchschlagsfestigkeit, Entflammbarkeit, Lichtbeständigkeit, Chemikalienbeständigkeit)**

PTFE und PTFE-Compounds für ATEX-Anwendungen

PTFE und PTFE-Compounds sind für ATEX-Anwendungen eine geeignete Wahl:
Hochwertiges PTFE und PTFE-Compounds qualifizieren sich für ATEX-Anwendungen durch ausgezeichnete Langzeittemperaturbeständigkeit, Chemikalienbeständigkeit sowie Stabilität gegenüber UV-Strahlung (Lichtbeständigkeit).

LOI-Werte und eine „UL 94 Flame Class“ Einstufung von 94V-0 qualifizieren die Produkte auch im Bereich der Entflammbarkeit auf einem sehr hohen Niveau.

Es stehen hochwertige leitfähige PTFE-Compounds zur Verfügung, die die elektrischen Anforderungen (Kriechstromfestigkeit, Oberflächenwiderstand und elektrische Durchschlagsfestigkeit) erfüllen. Die Temperaturbeständigkeit liegt ebenfalls auf einem hohen Niveau in Bereichen von 180 °C (RTI-Werte nach UL).

Werden für spezielle Anwendungen höhere RTI-Werte gefordert, so sind diese durch gesonderte Messungen zu ermitteln.

Grundlegende rechtliche Anforderungen für den Lebensmittelkontakt
Die grundlegenden rechtlichen Anforderungen an Materialien oder Gegenstände für den Lebensmittelkontakt sind innerhalb der EU durch das EU-System und die Richtlinien der Europäischen Kommission sowie durch das jeweilige nationale Recht der Mitgliedsländer bestimmt. Aufgrund des weit fortgeschrittenen Harmonisierungsprozesses kommen bei Anwendungen im Kunststoffbereich zunehmend die EU-Richtlinien zum Tragen.

Das weltweit bedeutendste regulative System für Lebensmittelanwendungen sind die Verordnungen der US-amerikanischen FDA (Food & Drug Administration, Nahrungs- und Arzneimittelbehörde). Der Inverkehrbringer von Bauteilen im Lebensmittelkontakt sollte, abhängig vom angestrebten Absatzmarkt, die Anforderungen der beiden großen regulativen Systeme EU und FDA sowie der jeweiligen länderspezifischen Vorschriften berücksichtigen.

In Deutschland sind die rechtlichen Voraussetzungen für Materialien oder Gegenstände im Lebensmittelkontakt in der Bedarfsgegenständeverordnung (LMBG) festgelegt. Weiterhin kommen die Kunststoff-Empfehlungen des ehemaligen Bundesinstitutes für gesundheitlichen Verbraucherschutz und Veterinärmedizin (BgVV) zur Anwendung. Zum 01.11.2002 wurde dieses Institut aufgelöst. Das neu geschaffene Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) übernahm die Verantwortung für die Bereiche Lebensmittelsicherheit und Verbraucherschutz. Nach heutigem Kenntnisstand werden die BgVV-Kunststoff-Empfehlungen im Rahmen des EU-Harmonisierungsprozesses bis zum Jahr 2005 durch das EU-System abgelöst.

Migration (Abgabe von PTFE- und Compoundbestandteilen)
An Polymerbestandteilen bei PTFE und PTFE-Compounds können spezifisch migrieren:

Virginales PTFE (Migration)
An Bestandteilen aus virginalem PTFE können migrieren:
- **Monomere (wie TFE, HFP und PPVE)**
- **Nicht umgesetzte Monomere: Oligomere mit niedrigem Molekulargewicht**

An Bestandteilen aus virginalem PTFE können „in der Regel“ nicht migrieren:
- **Additive (üblich bei anderen Polymeren)**
- **Virginale PTFE-Typen werden „in der Regel“ ohne Additive hergestellt und sind absolut frei von Additiven wie**
  - **Antioxidanzien, Gleitmitteln, Weichmachern sowie**
  - **Stabilisatoren (flammwidrige Additive, UV-Absorber)**

Virginale PTFE-Compounds (Migration)
An Bestandteilen aus virginalen PTFE-Compounds können migrieren:
- **Monomere (wie TFE, HFP und PPVE)**
- **Nicht umgesetzte Monomere: Oligomere mit niedrigem Molekulargewicht**
- **Additive (z. B. Bestandteile aus „Glasfaser“, aus „Grafit“ sowie aus „E-Kohle“)**

Aufgrund der aufgezeigten Eigenschaftsmerkmale von PTFE (Migrationsverhalten) mit seinen ausgezeichneten Reinheitskritierien (frei von Antioxidanzien, Gleitmitteln, Weichmachern und Stabilisatoren wie flammwidrige Additive und UV-Absorbern) wird PTFE bevorzugt für Anwendungen mit höchsten Anforderungen an Reinheit und physiologische Unbedenklichkeit im Lebensmittelkontakt, in der Pharmazie sowie für Anwendungen mit Biokompatibilität gewählt.

Konsequenzen für den Weiterverarbeiter

- Die Hinweise, die der Polymerhersteller in Form der Migrationswerte weitergibt, haben informativen Charakter; die Verantwortung liegt auf der Ebene der Person, die den Fertigartikel auf den Markt bringt.
- Grenzen (wie SMLs, OMLs ...) können nicht durch den Polymerhersteller kontrolliert werden, da er keinen Einfluss nimmt auf
  - Modifikationen des Materials und die Prozessführung bei der Verarbeitung
  - die Form des Fertigartikels sowie auf
  - Einflussgrößen der beabsichtigten Anwendung wie (Lebensmitteltyp, Temperaturen, Einwirkzeit und -dosis ...)

In der folgenden Tabelle wird über geeignete PTFE und PTFE-Compounds für Anwendungen im Lebensmittelkontakt gegenüber den erläuterten regulativen Systemen nach EG-Recht, LMBG sowie FDA hingewiesen. Für jeden Anwendungsfall sind Bestätigungen von den Rohstoffherstellern einzuholen.

Produkt-Beschreibung	*Überreinstimmung mit*		
	BgVV	*EU*	*FDA*
Virginales PTFE (S-PTFE)	•	•	•
Virginales modifiziertes PTFE (S-PTFE modifiziert)	•	•	•
Virginales PTFE (E-PTFE)	•	•	•
Virginales modifiziertes PTFE (E-PTFE modifiziert)	•	•	•
PTFE-E-Kohle-Compound	•	•	–
PTFE-Grafit-Compound	•	•	–
PTFE-Kohle-Grafit-Compound	–	–	–
PTFE-Glasfaser-Compound	•	•	•
PTFE-Glasfaser-Grafit-Compound	•	•	–
PTFE-Leitfähigkeitscompound	•	•	–
PTFE-Leitfähigkeitscompound (FDA)	•	•	•
PTFE-Bronze-Compound	–	–	–

Erläuterungen

1) Tabelle dient zur Information und Orientierung, die Angaben dürfen nicht als lebensmittelrechtliche Bestätigung verwendet werden.

2) Mit „•“ gekennzeichnete Produkte „können“ dem genannten lebensmittelrechtlichen System entsprechen, lebensmittelrechtliche Bestätigungen sind seitens der Rohstoffhersteller einzuholen.

PTFE und PTFE-Compounds in Gegenwart von Sauerstoff (BAM)

PTFE und PTFE-Compounds werden aufgrund ihrer positiven Eigenschaftsmerkmale im Sauerstoffkontakt vielseitig als Dichtwerkstoffe in sauerstoffgeführten Anlagen unter anderem als Dichtungselemente für Armaturen (Ventile und Druckregler) und für Rohrleitungen in Flanschverbindungen und Verschraubungen eingesetzt.

Werkstoffe, Materialien und Bauteile, die für den Einsatz in sauerstoffgeführten Anlagen bestimmt sind, müssen sicherheitstechnisch geeignet sein und werden daher speziellen Prüfungen unterzogen.

Viele Werkstoffe, die in der Atmosphäre nicht brennbar sind, brennen in einer mit Sauerstoff angereicherten Atmosphäre: Nicht nur leicht brennbares Öl und Fett, Gummi und Kunststoff, sondern auch Aluminium, Stahl und Messing können in Sauerstoff brennen.

BAM-Prüfverfahren für Dichtwerkstoffe

Die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) hat als ein von der Berufsgenossenschaft anerkanntes Prüfinstitut in den letzten fünf Jahrzehnten Prüfverfahren und Beurteilungsgrundlagen für den sicheren Betrieb von Sauerstoffanlagen sowie für die Prüfung und Beurteilung von nichtmetallischen Dichtwerkstoffen und Dichtungen entwickelt:

1. Zündtemperatur in verdichtetem Sauerstoff
2. Alterungsbeständigkeit in verdichtetem Sauerstoff
3. Einwirkung von Sauerstoff-Druckstößen
4. Prüfung von Flachdichtungen für Flanschverbindungen
5. Reaktionsfähigkeit mit flüssigem Sauerstoff bei Schlagbeanspruchung

Diese Prüfverfahren und Beurteilungsgrundlagen erlauben, die für den jeweiligen Werkstoff sicherheitstechnisch zulässigen Betriebsbedingungen zu ermitteln.

PTFE und PTFE-Compounds für Anwendungen im Sauerstoffkontakt

Von der BAM werden „nichtmetallische Materialien“ aus PTFE und PTFE-Compounds für spezifische Anwendungsbereiche in Sauerstoff-Anlagen geprüft und beurteilt.

Die seitens der Rohstoffhersteller bei der BAM in Auftrag gegebenen Prüfungen sollen in der Regel rein orientierende Versuchsergebnisse liefern.

Für spezielle Anwendungen ist das entsprechende Gutachten beim Rohstoffhersteller einzuholen.

IMDS – das Internationale Materialdatensystem

Hintergrund (EU-Richtlinie 2000/53/EG über Altfahrzeuge)
Hintergrund der Einführung des Internationalen Materialdatensystems IMDS ist die nationale und internationale Umweltgesetzgebung, nach der jeder Hersteller für die ökologischen Auswirkungen seiner Produkte verantwortlich ist (EU-Richtlinie 2000/53/EG über Altfahrzeuge, Kreislaufwirtschaftsgesetz, ISO 14040ff, Integrated Product Policy …).

Um dieser Forderung gerecht zu werden, sind u.a. genaue Kenntnisse über die Zusammensetzung der Bauteile in Kraftfahrzeugen und der in ihnen verwendeten Materialien und Substanzen erforderlich. Im Verband der Automobilindustrie VDA wurde 1996 deshalb beschlossen, den Erstmusterprüfbericht gemäß VDA-Handbuch um ein Blatt: „Inhaltsstoffe der Zukaufteile (Materialdatenblatt)“ zu ergänzen.
Der VDA-Vorstand beschloss 1998 ferner, ein System zu schaffen, das es gestattet, Materialdatenblätter elektronisch zu erstellen und zu verarbeiten.

Die Systematik des Internationalen Materialdatensystems IMDS
Mit dem Internet-basierten Internationalen Materialdatensystem IMDS wurde ein IT-Konzept zusammengestellt, um die erforderlichen Daten elektronisch abzubilden. Dieses Konzept wird für das elektronische Sammeln und Berichten für/über Produktdaten verwendet.

Das System bedient sich dabei folgender Listen:
- **Die Reinstoffliste**
- **Die Liste für deklarationspflichtige Stoffe**
- **Die GADSL (Global Automotive Declarable Substance List)**

Weitere Informationen erhalten Sie auch über die WEB-Adressen:
- **Das Internationale Materialdatensystem IMDS: www.mdsystem.com**
- **EDS, Informationstechnologie und Service GmbH, Frankfurt: www.eds.de**
- **EUR-Lex, das Portal zum Recht der Europäischen Union: http://europa.eu.int/eur-lex/de/index.html**

Für den Inhalt der genannten Webseiten übernehmen wir keinerlei Haftung.

Verarbeitungstechnische Hinweise

Verarbeitung (Presspulver S-PTFE)
Die Verarbeitung von PTFE erfolgt nach Verfahren, die der Verarbeitung von Sinterwerkstoffen sehr ähnlich sind. Wegen der hohen Schmelzviskosität von PTFE ist eine Verarbeitung wie bei anderen Hochleistungsthermoplasten nicht möglich.

Bei hoher Temperatur (340 – 380 °C) wird PTFE lediglich hochviskos, so dass Spritzgießen oder gewöhnliches Extrudieren nicht möglich ist. Halbzeuge werden deshalb durch Pressen und Sintern oder durch Ramextrusion hergestellt.

Pressen und Sintern
PTFE-Pulver wird in ein zylindrisches Werkzeug gegeben und anschließend unter großem Druck verdichtet. Wichtig dabei ist, dass die in dem Werkzeug eingeschlossene Luft nahezu vollständig entweichen kann.

Das Verpressen des Pulvers geschieht entweder auf hydraulischen Pressen mit einer Geschwindigkeits-, Druck- und Zeitsteuerung, auf isostatischen oder automatischen Pressen. Nach dem Pressen werden die Vorformlinge in elektrisch beheizten Umluftöfen nach festgelegten Programmen gesintert. Dabei sind Press- und Sinterparameter auf die jeweilige PTFE-Pulverform oder, im Falle von Compounds, auf die Zusammensetzung abzustimmen. Nur so können optimale Werkstoffeigenschaften gewährleistet werden.

Ramextrusion
Die Ramextrusion ist ein Pressverfahren, das die Herstellung endloser Profile ermöglicht. Dabei wird das Granulat über eine Dosiervorrichtung in ein zylindrisches Extrusionsrohr geleitet, mit einem hydraulisch betätigten Stempel verdichtet und im Rohr durch eine auf Sintertemperatur beheizte Zone befördert.

In der Sinterzone „schmelzen“ die einzelnen Dosierchargen zu einem Endlosprofil zusammen.

Verarbeitung (E-PTFE, Pastenpulver)
PTFE, das durch Emulsionspolymerisation hergestellt wurde, kann durch die sog. Pastenextrusion verarbeitet werden. Dabei wird das Pulver mit einem Gleitmittel, z.B. Benzin, angeteigt und dann mittels einer Kolbenpresse bei Raumtemperatur zu einfachen Profilen, wie z.B. Strängen, Schläuchen oder Bändern, verarbeitet.

Der Extrusion schließt sich ein Trockenschritt zur Entfernung des Gleitmittels an. Danach erreicht der Werkstoff durch Sinterung bei ca. 350 – 380 °C seine endgültigen Eigenschaften.

Die Verarbeitung von E-PTFE-Compounds ist ebenfalls mittels Pastenextrusion möglich.

Headquarter und weitere Werke der ElringKlinger Kunststofftechnik GmbH

ElringKlinger Kunststofftechnik GmbH | Etzelstraße 10 | D-74321 Bietigheim-Bissingen
Fon +49 7142 583-0 | Fax +49 7142 583-200 | sales.ekt@elringklinger.com | www.elringklinger-kunststoff.de

www.ek-kt.de/shop

Werk Heidenheim | Badenbergstraße 15 | D-89520 Heidenheim
Fon +49 7321 9641-0 | Fax +49 7321 9641-24 | sales.ekt@elringklinger.com | www.elringklinger-kunststoff.de

Werk Mönchengladbach | Hocksteiner Weg 40 | D-41189 Mönchengladbach
Fon +49 2166 9590-0 | Fax +49 2166 9590-55 | sales.ektp@elringklinger.com | www.elringklinger-kunststoff.de

ElringKlinger Engineered Plastics (Qingdao) Co., Ltd. | No. 101&201 Room, A2 Building 1000 Yuntai Shan Road
International Innovation Park | Sino German Ecopark Huangdao District | 266500 Qingdao V.R. China
Fon +86 532 6872 2830 | Fax +86 532 6872 2838 | info.ektc@elringklinger.com | www.elringklinger-ep.cn

ElringKlinger Engineered Plastics North America, Inc. | 4971 Golden Parkway | Buford, GA 30518 USA
Fon +1 678 730 8190 | Fax +1 770 932 2385 | info.ektu@elringklinger.com | www.elringklinger-ep.com

IATF 16949:2016 | DIN EN ISO 14001 | ISO 50001

GMP

EN ISO 13485

elringklinger
Kunststofftechnik

Die hier gemachten Angaben – aus langjähriger Erfahrung und Erkenntnis – erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Etwaige Ersatzansprüche aufgrund dieser Informationen können nicht anerkannt werden. Einbau aller Ersatzteile nur durch geschultes Fachpersonal. Änderungen im Leistungsspektrum und technische Änderungen vorbehalten. Keine Gewähr bei Druckfehlern. ©ElringKlinger Kunststofftechnik GmbH | 03/2019