

PTFE-Halbzeuge

extrudierte Stäbe bis 110 mm Ø

extrudierte, geschliffene Stäbe bis 40 mm Ø

gepreßte Stäbe bis 500 mm Ø

extrudierte Rohre bis 150 mm Ø

gepreßte Rohre bis 500 mm Ø

gepreßte Ringe bis 1470 mm Ø

gepreßte Platten bis 1400 x 1400 mm

Folien bis 1200 mm Breite

PTFE-Fertigteile

in auftragsgebundener Ausführung:

Faltenbälge, Kompensatoren,

Kolben- und Stangendichtungen,

Dachmanschetten, Flanschdichtungen,

Pumpenkörper- und Laufräder,

Membranen, Gleitringe, Kugelsitzringe,

Kugeln, Ventilgehäuse, Kolonnen- und

Korbböden, Stützringe, Flanschdichtungen ...

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

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.

PTFE-Compounds

Eigenschaften und Kenndaten

Alle Angaben beziehen sich auf Erfahrungswerte und dienen zur Beratung. Verbindlichkeiten können nicht abgeleitet werden.

Kurzfassung

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. 1 und 2).

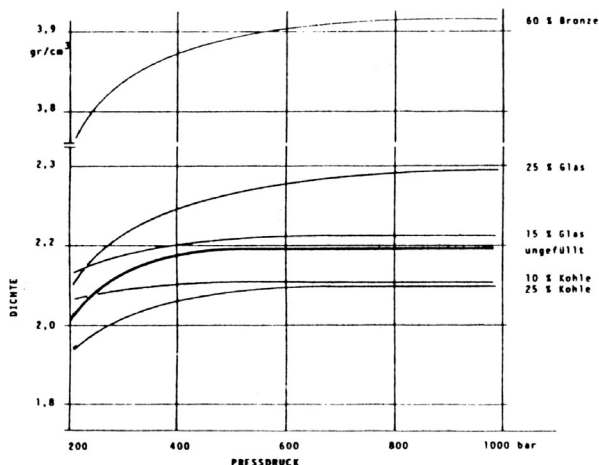


Abb. 1 Abhängigkeit der Dichte vom Vorformdruck

Diese Beispiele zeigen, wie wichtig die exakte Einhaltung der für jedes PTFE-Compound definierte Verarbeitungsbedingung im Hinblick auf die Optimierung der Eigenschaften ist.

Eignung und Bewährung der ausgewählten Werkstoffe in der Praxis hängen nicht zuletzt von der Qualität der Verarbeitung ab.

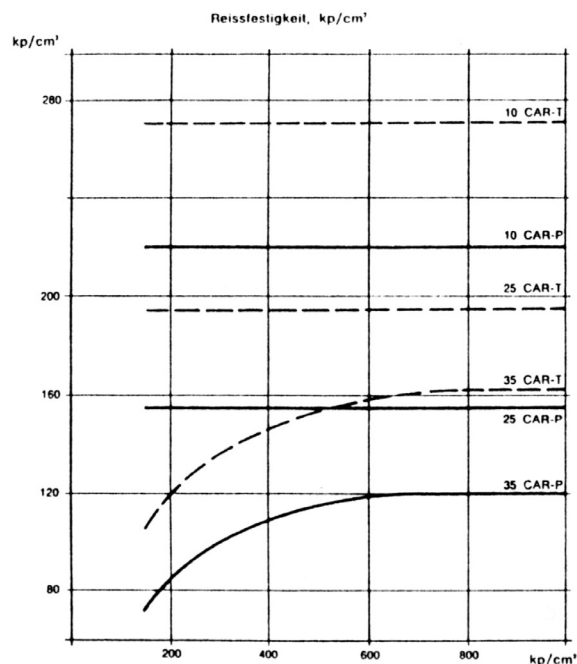


Abb. 2 Abhängigkeit der Reißfestigkeit vom Vorformdruck

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

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 Kunststoffs 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.

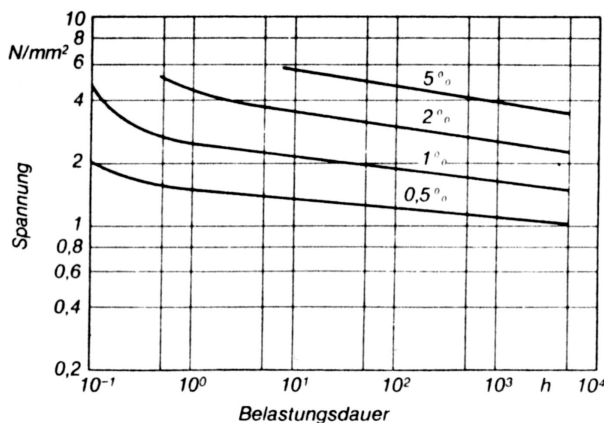


Abb. 3 Zeitdehnspannungen in Abhängigkeit von der Belastungsdauer bei einer Lufttemperatur von 20°C (geprüft nach DIN 53 444)

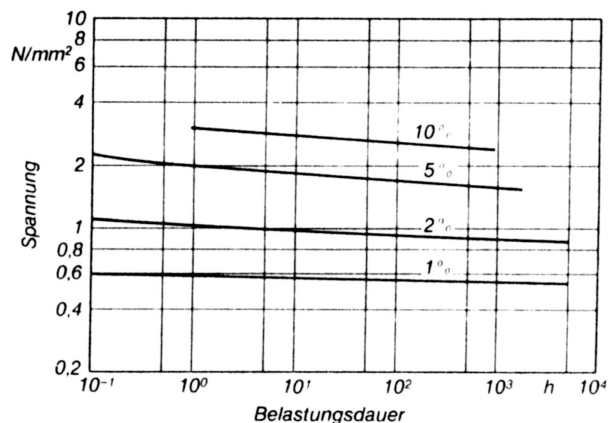


Abb. 4 Zeitdehnspannungen in Abhängigkeit von der Belastungsdauer bei einer Lufttemperatur von 100°C (geprüft nach DIN 53 444)

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 werden bei entsprechend großer Stückzahl mit kurzen Zykluszeiten automatisch gepreßt. 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, schließendem 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 den 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 sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Die Kenndaten gefüllter PTFE-Werkstoffe zeigt Tabelle 2.

In den Abbildungen 5 bis 13 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.

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

Füllstoff	Füllstoff-Gehalt in Gew.-%)	in Vol.-%	Verbesserung der Eigenschaften
Glas	15	13	Druckfestigkeit
	20	17	Verschleißfestigkeit
	25	22	
	40	36	
Kohle	10	11	Druckfestigkeit
	25	27	Verschleißfestigkeit
	35	37	Wärmeleitfähigkeit
Graphit	10	10	Wärmeleitfähigkeit
	15	15	Reibungskoeffizient
	20	20	
Glas + MoS ₂	15 + 3	13,5 + 1,5	Verschleißwiderstand
MoS ₂	3	1,5	Reibungskoeffizient, Verschleißfestigkeit
Bronze	40	14	Druckfestigkeit
	60	27	Wärmeleitfähigkeit
Keramik	15	9	Druckfestigkeit
V2A	25	9,5	Druckfestigkeit, Wärmeleitfähigkeit

Tabelle 2 **Eigenschaften von PTFE-Compounds**

	Einheit	Prüfmethode	Füllstoffe					
Füllstoffart	-	-	-	gemahl.	Glasfasern	E-Kohle	Naturgraphit	Bronze 90/100
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 x K	DIN 52 612	0,23	0,35	0,35	0,7	0,93	0,7
Linearer Ausdehnungskoeffizient zw. 30 u. 100 °C	K ⁻¹	DIN 52 328 (Dilatometer)	1,6 x 10 ⁻⁴	1,1 x 10 ⁻⁴	1,0 x 10 ⁻⁴	1,0 x 10 ⁻⁴	1,1 x 10 ⁻⁴	0,7 x 10 ⁻⁴

Diagramme Abb. 5 bis 13

Mechanische Eigenschaften von PTFE-Compounds im Vergleich zu ungefülltem PTFE.

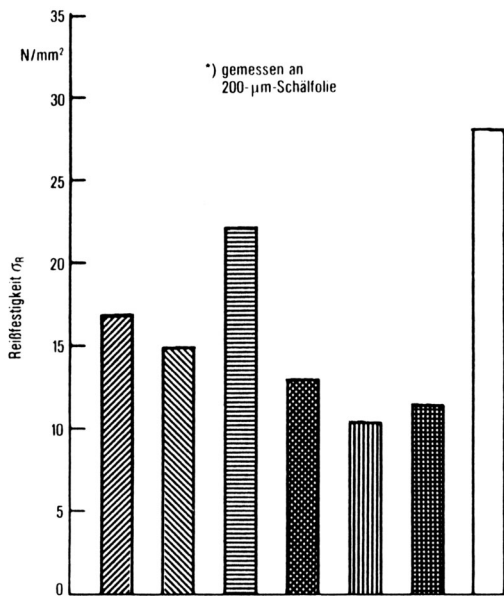


Abb. 5 Reißfestigkeit nach ASTM D 1457 (ramextrudierte Probekörper)

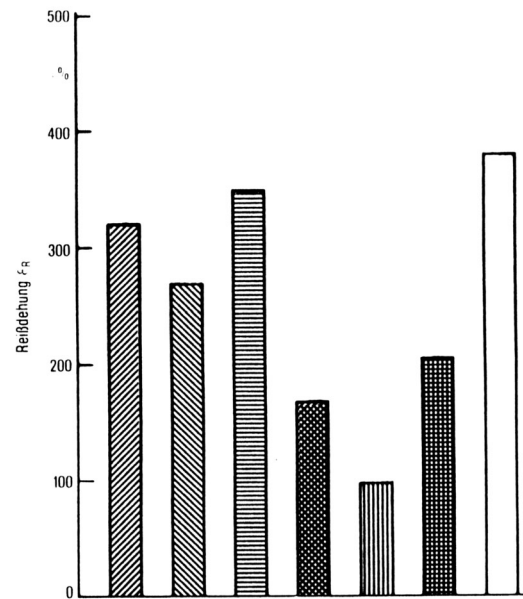


Abb. 6 Reißfestigkeit nach DIN 53 455 (ramextrudierte Probekörper)

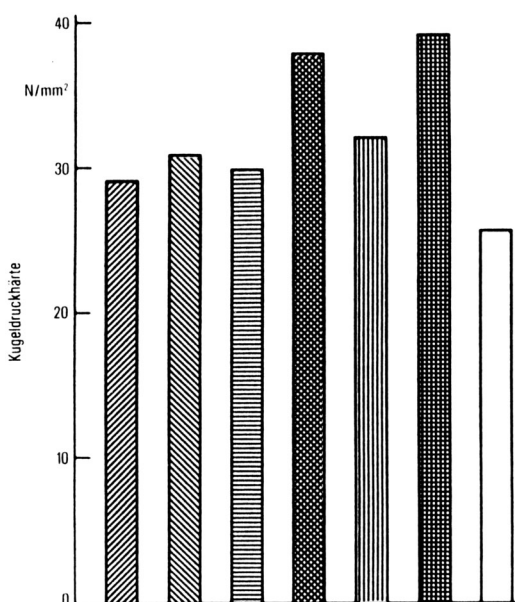


Abb. 7 Kugeldruckhärte nach DIN 53 456 (gepreßte Probekörper)

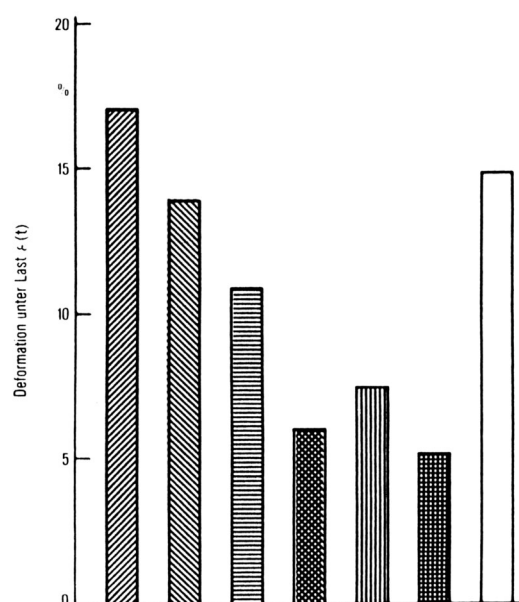


Abb. 8 Deformation unter Last nach ASTM D 612 (15N/mm², 100 h, 23 °C, gepreßte Probekörper)

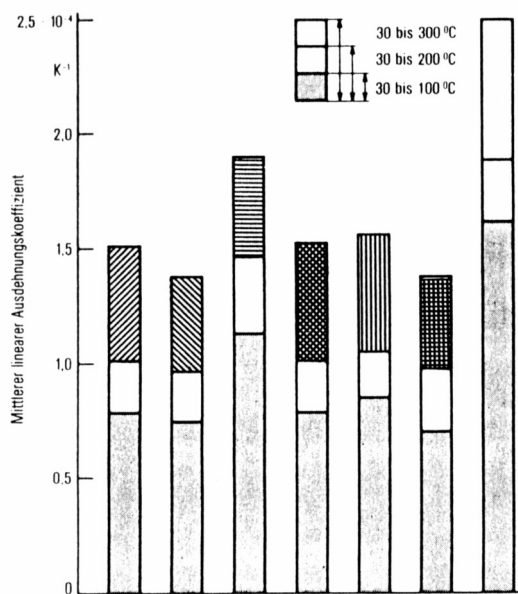


Abb. 9 Mittlerer linearer Ausdehnungskoeffizient quer zur Preßrichtung

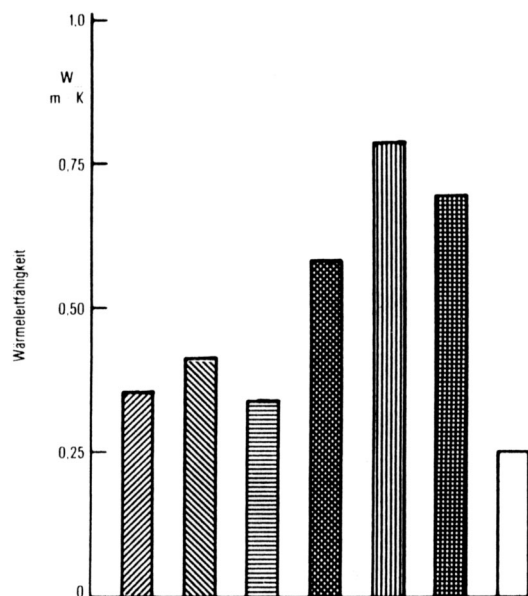


Abb. 10 Wärmeleitfähigkeit nach DIN 52 612

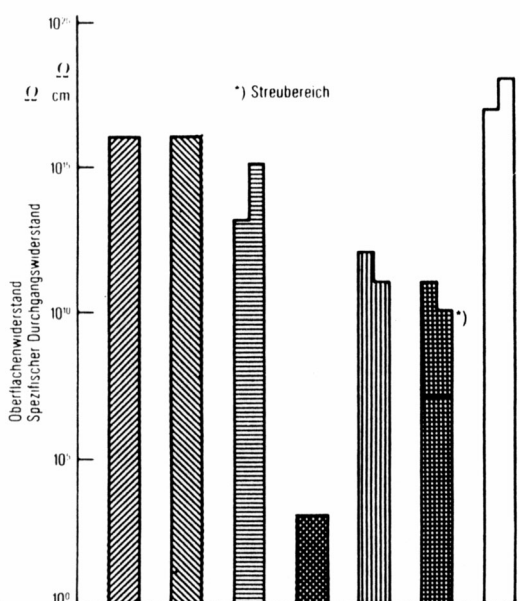


Abb. 11 Oberflächenwiderstand (linke Balkenhälfte) und spezifischer Durchgangswiderstand (rechte Balkenhälfte) nach DIN 53 482

Abbildung 12 bis 13. **Reibungszahlen von PTFE-Compounds** im Vergleich zu ungefülltem PTFE im Temperaturbereich 30 - 100 °C bei verschiedenen Gleitgeschwindigkeiten.

Interne Prüfmethode: Gegenlaufpartner Perlitguß mit Rauhtiefe $R_t \leq 1,5\mu\text{m}$, Belastung $0,2 \text{ N/mm}^2$

 PTFE mit 15% Glas  PTFE mit 10% Kohle
 PTFE mit 25% Glas  PTFE mit 25% Kohle

 PTFE mit 15% Graphit  PTFE, ungefüllt
 PTFE mit 60% Bronze

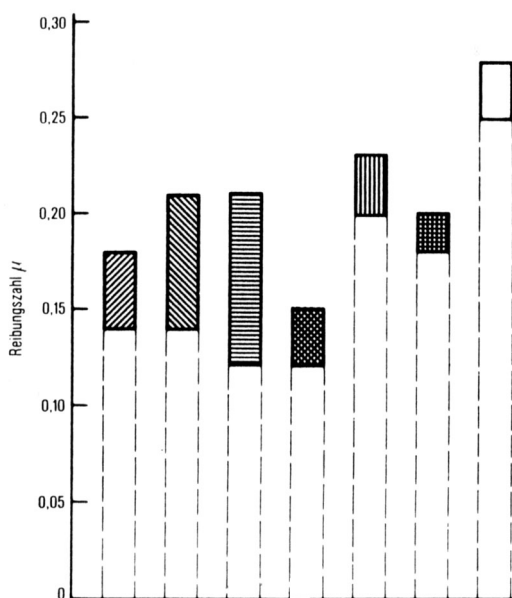


Abb. 12 Reibungszahlen bei Gleitgeschwindigkeit $v = 1,9 \text{ m/s}$

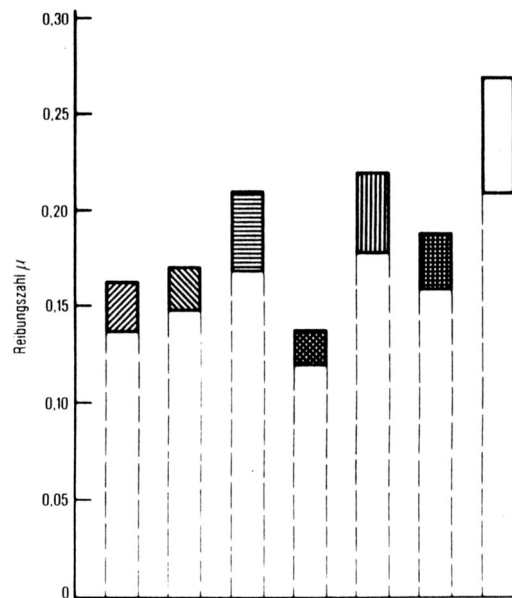


Abb. 13 Reibungszahlen bei Gleitgeschwindigkeit $v = 1,0 \text{ m/s}$

Abbildungen 14 und 15. **Verschleißverhalten von gefülltem und reinem PTFE**. Der dargestellte Verlauf ergibt sich bei

Zugrundelegung gleicher Prüfmethode in Abhängigkeit von der Belastungsdauer und vom Gegenlaufwerkstoff.

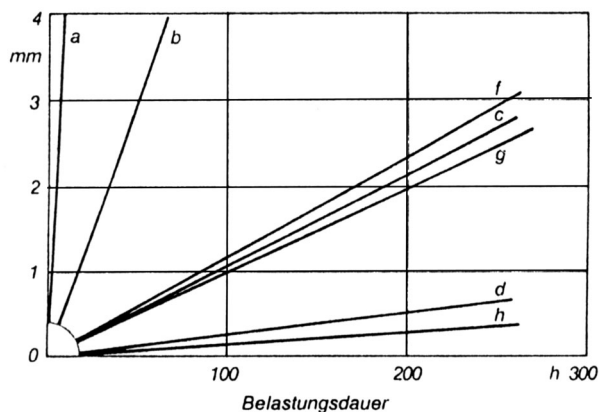


Abb. 14 Abriebhöhe als Funktion der Belastungsdauer, Gegenlaufwerkstoff ST 50

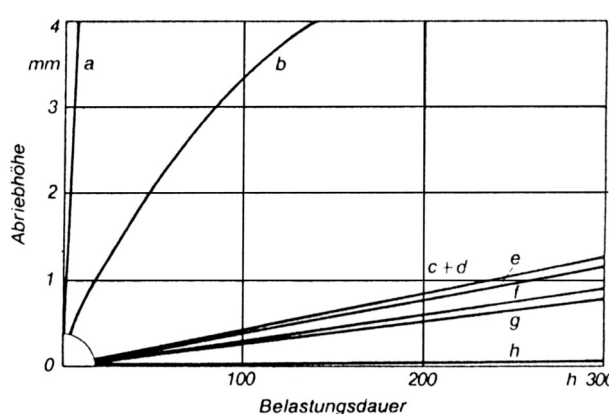


Abb. 15 Abriebhöhe als Funktion der Belastungsdauer, Gegenlaufwerkstoff Perlitguß

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

Materialeigenschaften von PTFE

PTFE ist ein unverzweigtes, linear aufgebautes, teilkristallines Polymer aus Kohlenstoff und Fluor. Die Kohlenstoff-Fluor-Verbindung 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-Fluor-Verbindung 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 Abb. 16 aufgezeigt.

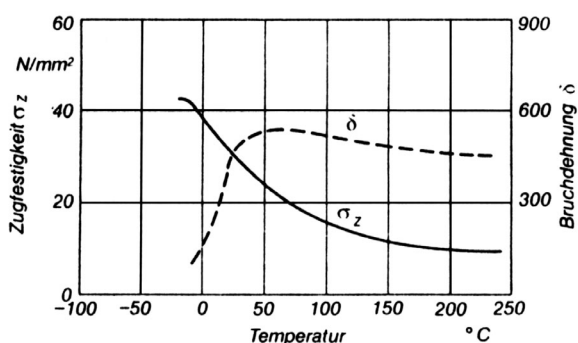


Abb. 16 Zugfestigkeit und Bruchdehnung in Abhängigkeit von der Temperatur

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 bis über +200 °C nur geringfügig verändert.

Antihaft- 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 17 dargestellt.

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

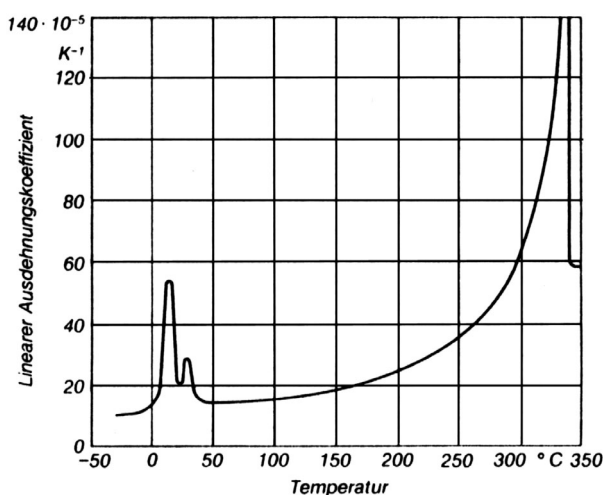


Abb. 17 Linearer Ausdehnungskoeffizient in Abhängigkeit von der Temperatur

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 und 4 (Seite 3) die Zeitdehnspannungen in Abhängigkeit von der Belastungsdauer aufgezeigt.