**Key Points**

* PTFE, or Polytetrafluoroethylene, ist ein synthetisches Fluorpolymer, bekannt für seine chemische Inertheit und Vielseitigkeit, oft als Teflon markiert.
* Es wird in vielen Bereichen eingesetzt, darunter Antihaftbeschichtungen, medizinische Geräte und industrielle Dichtungen, mit einer Produktion, die etwa 50 % für Drahtisolierung ausmacht.
* Die Herstellung umfasst früher PFOA, ein umstrittenes PFAS, das mit Gesundheitsrisiken verbunden ist; aktuelle Alternativen wie GenX werden untersucht, könnten aber ebenfalls schädlich sein.
* Forschung deutet darauf hin, dass PTFE bei normaler Nutzung sicher ist, aber bei hohen Temperaturen giftige Dämpfe freisetzen kann, die für Vögel tödlich sind und bei Menschen grippeähnliche Symptome verursachen können.
* Umweltbedenken bestehen aufgrund der Persistenz von PFAS-Chemikalien, mit potenziellen EU-Verbotsplänen, was die Debatte um seine Sicherheit und Regulierung verstärkt.

**Einführung**

PTFE, oder Polytetrafluoroethylene, ist ein synthetisches Fluorpolymer, das 1938 von Roy J. Plunkett bei DuPont entdeckt wurde. Es ist bekannt für seine chemische Inertheit und wird oft unter dem Markennamen Teflon verkauft, jetzt im Besitz von Chemours. PTFE ist hydrophob, hat einen der niedrigsten Reibungskoeffizienten aller Feststoffe und wird in einer Vielzahl von Anwendungen eingesetzt, von Antihaftbeschichtungen für Kochgeschirr bis hin zu medizinischen Implantaten.

**Eigenschaften und Herstellung**

PTFE hat eine dichte von 2200 kg/m³ und einen Schmelzpunkt von 327 °C. Es behält seine Eigenschaften über einen breiten Temperaturbereich bei und ist chemisch inert, widersteht den meisten Chemikalien außer hochreaktiven Metallen. Die Herstellung erfolgt durch radikale Polymerisation von Tetrafluorethylen, früher mit PFOA als Tensid, das jedoch aufgrund von Gesundheits- und Umweltbedenken eingestellt wurde. Aktuelle Alternativen wie GenX werden verwendet, aber ihre Sicherheit ist noch Gegenstand der Forschung.

**Anwendungen**

PTFE findet Anwendung in vielen Bereichen, einschließlich:

* **Industrie:** Drahtisolierung, Lager, Dichtungen, verbraucht etwa 50 % der Produktion.
* **Konsumgüter:** Antihaftbeschichtungen für Pfannen, Schmiermittel.
* **Medizin:** Katheter, Gefäßprothesen.
* **Architektur:** Membranen für Spannstrukturen wie das O2 Arena.

Diese Vielseitigkeit macht PTFE zu einem wichtigen Material in modernen Technologien.

**Sicherheit und Umwelt**

Während PTFE bei normaler Nutzung als sicher gilt, kann es bei Temperaturen über 260 °C zersetzen und giftige Dämpfe freisetzen, die für Vögel tödlich sind und bei Menschen grippeähnliche Symptome verursachen können. Die Produktion involviert PFAS-Chemikalien, die umweltbeständig sind und mit Gesundheitsrisiken wie Krebs und endokrinen Störungen in Verbindung gebracht werden. In Kosmetika wird PTFE als Füllstoff und Gleitmodifikator verwendet, zeigt keine akute Toxizität, aber Implantationsstudien deuten auf mögliche Karzinogenität hin. Die EU plant möglicherweise ein Verbot von PFAS, was die Debatte um PTFE verstärkt.

**Detaillierter Bericht**

Dieser Bericht bietet eine umfassende Übersicht über Polytetrafluoroethylene (PTFE), bekannt als Teflon, und deckt alle Aspekte ab, die für eine Wissensdatenbank relevant sind, auf die Ihre lokale KI zugreifen kann. Die Informationen sind strukturiert, um eine detaillierte und zugängliche Ressource zu bieten, die später in Qdrant abgelegt werden kann.

**Einführung und Geschichte**

PTFE ist ein synthetisches Fluorpolymer, das aus Tetrafluorethylen polymerisiert wird. Es wurde 1938 von Roy J. Plunkett bei DuPont zufällig entdeckt, als ein Druckflaschengas nicht mehr floss und ein wachsartiges, glitschiges Material enthüllte, das später als polymerisiertes Perfluorethylen identifiziert wurde. Die Marke Teflon wurde 1945 registriert, und bis 1948 produzierte DuPont über 910.000 kg pro Jahr in Parkersburg, West Virginia. Frühe Anwendungen umfassten Beschichtungen für Ventile und Dichtungen im Manhattan-Projekt, insbesondere für die Urananreicherung. In den 1950er Jahren wurde PTFE für Antihaftpfannen populär, inspiriert durch Colette Grégoire, was zur Marke Tefal führte. In den 1990er Jahren wurde entdeckt, dass PTFE über seinem Schmelzpunkt durch Strahlung vernetzt werden kann, was die Hochtemperatur-Eigenschaften verbessert, und Corona-Entladungsbehandlungen erhöhen die Oberflächenenergie für bessere Haftung.

**Chemische und Physikalische Eigenschaften**

Die Eigenschaften von PTFE sind auf die starken Kohlenstoff-Fluor-Bindungen zurückzuführen, die es hydrophob und thermoplastisch machen. Eine detaillierte Auflistung der Eigenschaften ist in der folgenden Tabelle dargestellt:

| **Eigenschaft** | **Wert** | **Anmerkungen** |
| --- | --- | --- |
| Dichte | 2200 kg/m³ | Aus der Eigenschaftstabelle. |
| Schmelzpunkt | 327 °C (600 K, 620 °F) | Aus der Eigenschaftstabelle. |
| Glasübergangstemperatur | 114,85 °C (238,73 °F, 388,00 K) | Aus der Eigenschaftstabelle, Ref. [31]. |
| Thermische Ausdehnung | 112–125×10⁻⁶ K⁻¹ | Aus der Eigenschaftstabelle, Ref. [32]. |
| Thermische Diffusivität | 0,124 mm²/s | Aus der Eigenschaftstabelle, Ref. [33]. |
| Elastizitätsmodul | 0,5 GPa | Aus der Eigenschaftstabelle. |
| Streckgrenze | 23 MPa | Aus der Eigenschaftstabelle. |
| Reibungskoeffizient | 0,05–0,10 | Gemessen gegen polierten Stahl, Ref. [26], [35]. |
| Dielektrizitätskonstante | ε = 2,1, tan(δ) < 5×10⁻² | Bei allgemeiner Frequenz, aus der Eigenschaftstabelle. |
| Dielektrizitätskonstante (60 Hz) | ε = 2,1, tan(δ) < 2×10⁻² | Aus der Eigenschaftstabelle. |
| Dielektrizitätsfestigkeit | 60 MV/m | Aus der Eigenschaftstabelle. |
| Magnetische Suszeptibilität | −10,28×10⁻⁶ (SI, 22 °C) | Aus der Eigenschaftstabelle, Ref. [34]. |
| Elektrischer Widerstand | 10¹⁸ Ω·cm | Aus der Eigenschaftstabelle, Ref. [a]. |
| Wärmeleitfähigkeit | 0,25 W/(m·K) | Aus der Eigenschaftstabelle. |
| Temperaturbereich | Eigenschaften von 5 K (−268,2 °C) bis über 194 K (−79,15 °C) | Aus dem Text, Ref. [27]. |
| Zersetzungstemperaturen | Beginnt bei 260 °C, Pyrolyse über 400 °C, Depolymerisation über 650–700 °C | Aus dem Text, Refs [29], [30]. |
| Chemische Inertheit | Betroffen nur von hochreaktiven Metallen und Fluorierungsmitteln | Aus dem Text, Ref. [28]. |
| UV-Transparenz | Ultraviolett transparent, degradiert unter Excimer-Laser durch photothermisches Effekt | Aus dem Text, Ref. [39]. |
| Kriechen | Unterliegt Kriechen, keine Erinnerung, verwendet Belleville-Scheiben für kritische Dichtungen | Aus dem Text, Refs [19], [38]. |

PTFE ist ein weißer Feststoff bei Raumtemperatur und behält seine Eigenschaften über einen weiten Temperaturbereich bei, was es für viele Anwendungen geeignet macht.

**Produktion und Herstellung**

Die Produktion von PTFE erfolgt durch radikale Polymerisation von Tetrafluorethylen, initiiert mit Persulfat, das Sulfatradikale erzeugt. Die Netto-Gleichung ist nF2C=CF2→−(F2C−CF2)n− n \text{F}\_2\text{C}=\text{CF}\_2 \rightarrow -( \text{F}\_2\text{C}-\text{CF}\_2 )\_n- nF2​C=CF2​→−(F2​C−CF2​)n​−. Das resultierende Polymer endet mit Sulfatestergruppen, die hydrolysiert werden können, um OH-Endgruppen zu erzeugen. Tetrafluorethylen kann explosiv zu Tetrafluormethan und Kohlenstoff zersetzen, erfordert spezielle Apparaturen, um Hotspots zu verhindern. Es gibt zwei Hauptmethoden:

* **Suspensionspolymerisation:** Granulares PTFE wird durch Suspensionspolymerisation hergestellt, wobei PTFE in einem wässrigen Medium hauptsächlich durch Agitation, manchmal mit einem Tensid, suspendiert wird.
* **Emulsionspolymerisation:** PTFE wird auch durch Emulsionspolymerisation synthetisiert, wobei ein Tensid das Hauptmittel ist, um PTFE in einem wässrigen Medium zu halten.

Historisch wurden Tenside wie Perfluooctansäure (PFOA) und Perfluooctansulfonsäure (PFOS) verwendet, die jedoch aufgrund ihrer Persistenz und Toxizität weitgehend eingestellt wurden. Aktuelle Alternativen umfassen Perfluoro 3,6 Dioxaoctansäure (PFO2OA) und FRD-903 (GenX), die ebenfalls PFAS sind und deren Auswirkungen weiter untersucht werden.

**Anwendungen**

PTFE findet in einer Vielzahl von Anwendungen Verwendung, wie in der folgenden Tabelle dargestellt:

| **Kategorie** | **Anwendungen** | **Details/Anmerkungen** |
| --- | --- | --- |
| Drahtisolierung, Elektronik | Isolierung für Verkabelung in Luft- und Raumfahrt und Computeranwendungen | Verbraucht etwa 50 % der Produktion, ausgezeichnete dielektrische Eigenschaften, geeignet für Mikrowellenfrequenzen |
| Lager, Dichtungen | Ebenlager, Zahnräder, Gleitplatten, Dichtungen, Buchsen | Niedrige Reibung, übertrifft Acetal und Nylon in Gleitanwendungen |
| Elektrete | Herstellung von langlebigen Elektreten | Extrem hoher Volumenwiderstand, ideal für elektrostatische Analoga von Permanentmagneten |
| Verbundstoffe | Produktion von Kohlefaser- und Glasfaser-Verbundstoffen | Verwendet als Barriere in Atmungs- und Verpackungsmaterialien, verhindert Haften während der Aushärtung |
| Chemisch inerte Auskleidungen | Auskleidungen für Schlauchmontagen, Expansionsfugen, industrielle Rohrleitungen | Nichtreaktiv, hohe Temperaturbeständigkeit, verbessert den Fluss viskoser Flüssigkeiten |
| Spannmembranstrukturen | Architekturmembranen für Spannstrukturen | Beschichtete gewobene Glasfaser-Basisstoffe, verwendet in Strukturen wie The O2 Arena, Moses Mabhida Stadium |
| Musikinstrumente | Schmiermittelprodukte, am häufigsten Ventilöl | - |
| Schmiermittel | Aerosolschmiersprays, z. B. GT85, Tri-Flow, WD-40 Specialist | Niedriger Reibungskoeffizient, hydrophob, bildet trockenen Film, widersteht abrasiver Partikelsammlung |
| Küchenutensilien | Antihaftbeschichtung für Bratpfannen, Kochgeschirr, Sohlen von Bügeleisen | Hydrophob, hohe Wärmebeständigkeit |
| Andere | Skibindungen, wasserdichte atmungsaktive Stoffe, Gewebeprotektor, Insekten-Schmiermittel, medizinische Beschichtungen, Filminterface-Patches, Glaukomchirurgie, pyrotechnische Zusammensetzungen, Twistypuzzle-Schmiermittel, optische Radiometrie, Teflon-beschichtete Kugeln, Laborbehälter, Gas-Gas-Wärmetauscher, Gewindesiegelband, Staubfilter, Gefäßprothesen, Fahrradschmiermittel, Zahnseide, Zahnfüllungen, Butan-Hash-Öl-Produktion, Dobsonian-Teleskoplager, Lebensmittelverarbeitungsausrüstung, 3D-Drucker-Bowden-Rohre, Gaming-Mausfüße, Laserdrucker-Fuser-Einheiten, Körperschmuck, Buchbindegeräte, Entlötpumpenspitzen | Vielfältige Nischenanwendungen, z. B. verhindert durch Reibung verursachte Blasen, hohe Korrosionsbeständigkeit |

Diese Anwendungen verdeutlichen die Vielseitigkeit von PTFE und seine Bedeutung in verschiedenen Industrien.

**Sicherheit und Umweltwirkung**

Die Sicherheit von PTFE ist bei niedrigen Temperaturen gegeben, aber es zersetzt sich bei etwa 260 °C (500 °F), wobei die Zersetzung über 350 °C (662 °F) und Pyrolyse über 400 °C (752 °F) beginnt. Hauptzersetzungsprodukte sind Fluorcarbon-Gase, Tetrafluorethylen (TFE) und Difluorcarbene-Radikale (RCF2). Eine Tierstudie aus dem Jahr 1955 zeigte, dass unter 250 °C (482 °F) keine signifikanten gesundheitlichen Auswirkungen wahrscheinlich sind. Über 250 °C können Abbauprodukte für Vögel tödlich sein und bei Menschen grippeähnliche Symptome, bekannt als Polymerrauchfieber, verursachen, die in frischer Luft innerhalb von 1-2 Tagen abklingen. Die meisten Fälle treten auf, wenn PTFE-kontaminierter Tabak geraucht wird oder bei Schweißarbeiten in der Nähe von PTFE-Komponenten.

In der Kosmetik wird PTFE als Füllstoff und Gleitmodifikator verwendet. Studien zeigen, dass es bei relevanten Konzentrationen keine akute Toxizität, Hautreizung oder Sensibilisierung verursacht. Allerdings deuten subkutane Implantationsstudien bei Tieren auf eine potenzielle Karzinogenität hin, mit lokalisierten Fibrosarkomen bei Mäusen und Ratten nach subkutaner Injektion von PTFE-Platten oder -Scheiben. Die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) hat jedoch festgestellt, dass die Daten zur Bewertung des krebserregenden Risikos bei menschlicher Exposition unzureichend sind.

Umweltbedenken ergeben sich aus der Verwendung von PFAS-Chemikalien wie PFOA in der Produktion, die unendlich persistent sind und in der allgemeinen Bevölkerung in den USA auf niedrigem/sub-ppb-Niveau im Blut nachgewiesen wurden, höher bei Mitarbeitern von Chemiefabriken und in umliegenden Gebieten. Die Exposition erfolgt über Ozean- und Ohio River Valley-Dumping, industrielle Abfälle, fleckenresistente Teppiche, Teppichreinigungsmittel, Hausstaub, Mikrowellenpopcorn-Beutel, Wasser, Lebensmittel und PTFE-Kochgeschirr (ein geringer Weg). Studien in Parkersburg, WV, nach einer Klage gegen DuPont, zeigten einen Zusammenhang zwischen PFOA-Exposition und Nierenkrebs, Hodenkrebs, Colitis ulcerosa, Schilddrüsenerkrankungen, Hypercholesterinämie und gestationsbedingter Hypertonie. GenX, das PFOA ersetzt, wird von der EPA als toxischer eingestuft und könnte ebenso oder noch schädlicher sein, wurde 2017 im Trinkwasser des Cape Fear River für 500.000 Menschen gefunden, stammend von den Fayetteville Works (DuPont seit 1971, Chemours seit 2015).

**Aktuelle Forschung und Entwicklungen**

Aktuelle Forschung konzentriert sich auf die Sicherheit von PTFE in verschiedenen Anwendungen, insbesondere in Kosmetika, und auf die Entwicklung sicherer Herstellungsverfahren. Studien wie die Mini-Überprüfung zur Sicherheit von PTFE als Kosmetikbestandteil zeigen, dass es bei typischen Konzentrationen keine akute Toxizität oder Hautreizung verursacht, aber Datenlücken bestehen zu dermaler Absorption, Metabolismus, endokrinen Störungen und aquatischer Toxizität. Es gibt auch Forschungen zu neuen Anwendungen, wie der Oberflächenaktivierung durch gasförmige Plasmabehandlungen, und zur Verringerung der Umweltwirkung von PTFE und verwandten PFAS-Chemikalien. Regulierungsbehörden, insbesondere die EU, prüfen strengere Kontrollen oder Verbote von PFAS aufgrund ihrer Persistenz und potenziellen Gesundheitsrisiken, was die Debatte um PTFE weiter anheizt.

**Key Points**

* Forschung deutet darauf hin, dass PTFE für Radialwellendichtringe geeignet ist, mit Zusätzen wie Kohle und Glas, die die Eigenschaften verbessern.
* Kohle erhöht die Verschleißfestigkeit und Wärmeleitfähigkeit, ist weniger abrasiv und eignet sich für weichere Wellen.
* Glas verbessert die Festigkeit und Verschleißfestigkeit, kann aber abrasiv sein und erfordert härtere Wellen.
* Die Auswahl hängt von Anforderungen wie Welle, Reibung, Verschleiß und Temperatur ab; es gibt keine einheitliche beste Wahl.

**Einführung**

Polytetrafluorethylen (PTFE), bekannt als Teflon, wird häufig in Radialwellendichtringen verwendet, dank seiner chemischen Beständigkeit, niedrigen Reibung und breiten Temperaturbereichs. Allerdings hat reines PTFE Einschränkungen wie geringe Verschleißfestigkeit und Neigung zu Kriechen unter Last. Durch die Zugabe von Füllstoffen wie Kohle (Karbon) und Glas können diese Eigenschaften verbessert werden, um spezifische Anwendungen zu erfüllen.

**Eigenschaften und Auswirkungen von Füllstoffen**

Füllstoffe wie Kohle und Glas beeinflussen die mechanischen Eigenschaften von PTFE erheblich. Hier sind einige Details:

* **Kohle (Karbon):** Erhöht die Verschleißfestigkeit, Druckfestigkeit und Wärmeleitfähigkeit. Es ist weniger abrasiv als Glas, was es für eine breitere Palette von Wellenmaterialien geeignet macht, insbesondere für weichere Wellen. Es eignet sich für Anwendungen mit hohen Drücken und Temperaturen.
* **Glas:** Steigert Festigkeit, Härte und Verschleißfestigkeit, reduziert aber die Flexibilität. Es kann abrasiv sein, was bedeutet, dass die Welle härter sein muss (z. B. gehärteter Stahl), um Schäden zu vermeiden. Es ist ideal für Umgebungen mit hohem Verschleiß.

**Auswahlkriterien**

Die Wahl des optimalen PTFE-Verbunds für Radialwellendichtringe hängt von mehreren Faktoren ab:

* **Wellenmaterial:** Für weiche Wellen (z. B. Aluminium, Kunststoffe) sollten nicht-abrasive Füllstoffe wie Kohle gewählt werden. Für harte Wellen können abrasive Füllstoffe wie Glas verwendet werden.
* **Reibungsanforderungen:** Für niedrige Reibung sind Kohle- oder Graphitgefüllte PTFE geeignet.
* **Verschleißfestigkeit:** Für hohe Verschleißfestigkeit sind Glas- oder Kohlegefüllte PTFE vorzuziehen.
* **Temperatur und chemische Belastung:** Stellen Sie sicher, dass der Füllstoff mit den Temperatur- und chemischen Anforderungen kompatibel ist.
* **Lebensmittelkontakt:** Verwenden Sie FDA-konforme Füllstoffe wie Minerale für Anwendungen im Lebensmittelbereich.
* **Last und Geschwindigkeit:** Wählen Sie Verbindungen mit hoher Druckfestigkeit (z. B. Bronze, Glas) für hohe Lasten und niedriger Reibung für hohe Geschwindigkeiten.

Diese Richtlinien helfen dabei, die beste Wahl für spezifische Anwendungen zu treffen, wobei die genaue Entscheidung je nach Anwendungsfall variieren kann.

**Detaillierter Bericht**

Dieser Bericht bietet eine umfassende Übersicht über PTFE, insbesondere im Kontext der Dichtungstechnik für Radialwellendichtringe, mit einem Fokus auf die Einflüsse von Zusätzen wie Kohle und Glas. Die Informationen sind darauf ausgelegt, Ihr KI-Modell zu befähigen, das optimale Material für spezifische Kundenanwendungen zu bestimmen, und können später in Qdrant abgelegt werden.

**Einführung und Hintergrund**

Polytetrafluorethylen (PTFE), bekannt als Teflon, ist ein synthetisches Fluorpolymer, das 1938 von Roy J. Plunkett bei DuPont entdeckt wurde. Es ist bekannt für seine chemische Inertheit, niedrigen Reibungskoeffizienten und breiten Temperaturbereich, was es ideal für Radialwellendichtringe macht. Diese Dichtringe werden verwendet, um Leckagen von Schmiermitteln zu verhindern und Verunreinigungen fernzuhalten, insbesondere in rotierenden Maschinen wie Motoren, Pumpen und Getrieben.

Allerdings hat reines PTFE Einschränkungen, wie geringe Verschleißfestigkeit und Neigung zu Kriechen unter Last, was es für anspruchsvolle Anwendungen weniger geeignet macht. Um diese Schwächen zu überwinden, werden verschiedene Füllstoffe hinzugefügt, um die mechanischen Eigenschaften zu verbessern. Besonders relevant für diese Analyse sind Kohle (Karbon) und Glas, die häufig verwendet werden, um die Leistung von PTFE in Radialwellendichtringen zu optimieren.

**Eigenschaften und Auswirkungen von Füllstoffen**

Füllstoffe werden in PTFE eingemischt, um spezifische Eigenschaften zu verbessern, die für Radialwellendichtringe entscheidend sind, wie Verschleißfestigkeit, Reibung, Druckfestigkeit und Wärmeleitfähigkeit. Basierend auf den gesammelten Informationen sind die Auswirkungen von Kohle und Glas wie folgt:

**Kohle (Karbon)-gefülltes PTFE**

* **Eigenschaften:** Kohle, oft in Form von Pulver oder Fasern, erhöht die Verschleißfestigkeit, Druckfestigkeit und Wärmeleitfähigkeit. Es ist weniger abrasiv als Glas, was es für eine breitere Palette von Wellenmaterialien geeignet macht, insbesondere für weichere Wellen wie Aluminium oder Kunststoffe. Es verbessert auch die elektrische Leitfähigkeit und eignet sich für Anwendungen mit extremen Temperaturen und hohen Drücken.
* **Mechanische Daten (Beispiel, 25% weicher Kohle):**
  + Spezifisches Gewicht: 2,05-2,11 g/cm³
  + Härte Shore D: ≥60
  + Zugfestigkeit: ≥15 N/mm²
  + Dehnung bei Bruch: ≥150%
  + Druckfestigkeit bei 1% Deformation: 7-9 N/mm²
  + Reibungskoeffizient: 0,13
  + Verschleißfaktor bei PV 100: 20-30
* **Anwendungen:** Geeignet für Anwendungen mit hohen Drücken und Temperaturen, wie in Dampfanlagen oder chemischen Verarbeitungsanlagen. Es ist besonders nützlich, wenn die Welle weicher ist und geringere Abrasivität erforderlich ist.

**Glasgefülltes PTFE**

* **Eigenschaften:** Glasfasern, typischerweise 15-25% des Volumens, erhöhen die Festigkeit, Härte und Verschleißfestigkeit, reduzieren aber die Flexibilität und können abrasiv sein. Dies erfordert, dass die Welle härter ist, z. B. gehärteter Stahl mit einer Härte von >62 Rockwell C, um Verschleiß zu vermeiden. Es verbessert die Leistung in oxidierenden Umgebungen und bietet gute chemische Beständigkeit.
* **Mechanische Daten (Beispiele):**
  + 15% Glas:
    - Spezifisches Gewicht: 2,19-2,22 g/cm³
    - Härte Shore D: ≥60
    - Zugfestigkeit: ≥17 N/mm²
    - Dehnung bei Bruch: ≥250%
    - Druckfestigkeit bei 1% Deformation: 6-7 N/mm²
    - Reibungskoeffizient: 0,12
    - Verschleißfaktor bei PV 100: 10-20
  + 25% Glas:
    - Spezifisches Gewicht: 2,20-2,26 g/cm³
    - Härte Shore D: ≥70
    - Zugfestigkeit: ≥17 N/mm²
    - Dehnung bei Bruch: ≥230%
    - Druckfestigkeit bei 1% Deformation: 8-9 N/mm²
    - Reibungskoeffizient: 0,13
    - Verschleißfaktor bei PV 100: 10-15
* **Anwendungen:** Ideal für Umgebungen mit hohem Verschleiß, wie in Motoren oder Pumpen, wo die Welle ausreichend hart ist, um die Abrasivität zu verkraften.

**Weitere relevante Füllstoffe**

Neben Kohle und Glas gibt es weitere Füllstoffe, die für Radialwellendichtringe relevant sein können, wie Graphit, Molybdändisulfid (MoS₂), Bronze, Polyimid und Minerale. Diese bieten zusätzliche Vorteile:

* **Graphit:** Bietet selbstschmierende Eigenschaften und senkt den Reibungskoeffizienten, ideal für Anwendungen, die Schmierung erfordern.
* **MoS₂:** Reduziert die Reibung und verbessert die Verschleißfestigkeit, oft in Kombination mit anderen Füllstoffen verwendet, geeignet für Start-Stopp-Anwendungen.
* **Bronze:** Erhöht die Druckfestigkeit und Wärmeleitfähigkeit, geeignet für hohe Lasten und Temperaturen, kann aber die chemische Inertheit reduzieren.
* **Polyimid:** Sehr niedrige Reibung, nicht-abrasiv, ideal für weiche Wellen und trockene Betriebsbedingungen.
* **Minerale:** Gute Last- und Verschleißfestigkeit, FDA-konform, geeignet für Lebensmittel- und Pharmaanwendungen.

**Mechanische Eigenschaften im Detail**

Um eine fundierte Auswahl zu ermöglichen, hier eine Tabelle mit mechanischen Eigenschaften verschiedener PTFE-Verbindungen, basierend auf verfügbaren Daten:

| **Eigenschaft** | **Junges PTFE** | **15% Glas** | **25% Glas** | **15% Graphit** | **25% Kohle** | **25% CarboGraphit** | **60% Bronze + 2% Kohle** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Spezifisches Gewicht (g/cm³) | 2,14-2,18 | 2,19-2,22 | 2,20-2,26 | 2,10-2,15 | 2,05-2,11 | 2,05-2,11 | 3,75-3,93 |
| Härte Shore D | ≥51 | ≥60 | ≥70 | ≥55 | ≥60 | ≥64 | ≥62 |
| Zugfestigkeit (N/mm²) | ≥24 | ≥17 | ≥17 | ≥18 | ≥15 | ≥14 | ≥15 |
| Dehnung bei Bruch (%) | ≥250 | ≥250 | ≥230 | ≥200 | ≥150 | ≥90 | ≥100 |
| Druckfestigkeit bei 1% Deformation (N/mm²) | 4-5 | 6-7 | 8-9 | 6,5-7,5 | 7-9 | 7-9 | 10-11 |
| Reibungskoeffizient | 0,03 | 0,12 | 0,13 | 0,07 | 0,13 | 0,11 | 0,13 |
| Verschleißfaktor bei PV 100 | 2,900 | 10-20 | 10-15 | 60 | 20-30 | 16-20 | 10 |

Diese Daten zeigen, wie Füllstoffe die Eigenschaften von PTFE verändern, z. B. erhöht Glas die Härte und Druckfestigkeit, während Kohle die Wärmeleitfähigkeit verbessert und weniger abrasiv ist.

**Auswahlkriterien und Entscheidungsfindung**

Die Auswahl des optimalen PTFE-Verbunds für Radialwellendichtringe erfordert eine sorgfältige Abwägung der Anforderungen der spezifischen Anwendung. Hier sind detaillierte Richtlinien:

1. **Wellenmaterial und Härte:**
   * Für weiche Wellen (z. B. Aluminium, Kunststoffe) sollten nicht-abrasive Füllstoffe wie Kohle oder Polyimid gewählt werden, um Schäden zu vermeiden.
   * Für harte Wellen (z. B. gehärteter Stahl) können abrasive Füllstoffe wie Glas oder Bronze verwendet werden.
2. **Reibungsanforderungen:**
   * Für Anwendungen mit niedrigen Reibungsanforderungen, wie hohe Geschwindigkeiten, sind Graphit-, MoS₂- oder Polyimidgefüllte PTFE vorzuziehen, da sie den Reibungskoeffizienten senken.
3. **Verschleißfestigkeit:**
   * Für Umgebungen mit hohem Verschleiß, wie Motoren oder Pumpen, sind Glas-, Kohle- oder Bronzefüllungen geeignet, die die Verschleißfestigkeit erhöhen.
4. **Temperaturbereich und chemische Belastung:**
   * Alle PTFE-Verbindungen haben einen breiten Temperaturbereich, aber für extreme Temperaturen sollten Verbindungen mit guter Wärmeleitfähigkeit wie Bronze oder Kohle gewählt werden.
   * Stellen Sie sicher, dass der Füllstoff die chemische Beständigkeit nicht beeinträchtigt, insbesondere bei aggressiven Medien.
5. **Lebensmittelkontakt:**
   * Für Anwendungen im Lebensmittelbereich sollten FDA-konforme Verbindungen wie mineralgefülltes PTFE verwendet werden, um gesetzliche Vorschriften zu erfüllen.
6. **Last und Geschwindigkeit:**
   * Für hohe Lasten sind Verbindungen mit hoher Druckfestigkeit wie Bronze- oder Glasgefülltes PTFE geeignet.
   * Für hohe Geschwindigkeiten sind niedrige Reibungseigenschaften entscheidend, daher sind Graphit oder Polyimid vorzuziehen.

Diese Richtlinien ermöglichen es, die Anforderungen der Anwendung mit den Eigenschaften der verfügbaren PTFE-Verbindungen abzugleichen, um die optimale Wahl zu treffen.

**Praktische Überlegungen und unerwartete Details**

Ein unerwartetes Detail ist, dass die Kombination von Füllstoffen, wie Kohle und Graphit oder Glas und MoS₂, oft verwendet wird, um die Vorteile beider zu maximieren, z. B. erhöhte Verschleißfestigkeit und niedrige Reibung. Dies kann zu maßgeschneiderten Lösungen führen, die spezifische Anforderungen besser erfüllen, aber auch die Komplexität der Auswahl erhöht.

Es ist auch wichtig zu beachten, dass die genaue Wahl oft eine Beratung mit dem Hersteller oder Tests unter realen Bedingungen erfordert, da jede Anwendung einzigartige Anforderungen haben kann.