

Fortron®

Polyphenylensulfid (PPS)



- exzellente Medien- und Chemikalienbeständigkeit
- inhärent flammwidrig
- hohe Härte und Steifheit
- geringe Kriechneigung
- Gebrauchstemperatur bis +240 °C

Fortron® Polyphenylensulfid (PPS)

Ticona

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	2
1.1 Anwendungsspektrum	2
2. Fortron-Typensortiment	4
2.1 Typen	4
2.2 Einfärbungen	5
2.3 Verpackung	6
2.4 Qualitätsmanagement	6
3. Eigenschaften	7
3.1 Physikalische Eigenschaften	7
3.2 Mechanische Eigenschaften	7
3.3 Thermische Eigenschaften	12
3.4 Elektrische Eigenschaften	15
3.5 Oberflächeneigenschaften	16
4. Umgebungseinflüsse	17
4.1 Wärmealterung	17
4.2 Wasseraufnahme	18
4.3 Chemikalienbeständigkeit	18
4.4 Beständigkeit gegen UV-Licht	19
4.5 Permeabilität	19
5. Spezifikationen und Normen	21
5.1 Automobilspezifikationen	21
5.2 Trinkwasser-Zulassungen	21
5.3 Produkte für Lebensmittelkontakt-Anwendungen/ Bedarfsgegenstände	22
5.4 Produkte für medizinische und pharmazeutische Anwendungen	22
6. Allgemeine Verarbeitungshinweise	23
6.1 Sicherheit	23
6.2 Inbetriebnahme und Außerbetriebsetzung	23
6.3 Anmerkungen zum Trocknen	24
6.4 Maschinenreinigung	24

7. Spritzgießen	24	<i>Einleitung</i>	1
7.1 Anmerkungen zur Spritzgießmaschine	24		
7.2 Werkzeugauslegung	25		
7.3 Heißkanalsysteme	29		
7.4 Verarbeitungsbedingungen	30	<i>Fortron-Typensortiment</i>	2
7.5 Verwendung von Rezyklaten	31		
7.6 Empfehlungen zur Fehlersuche	32		
8. Extrusionsverarbeitung	35	<i>Eigenschaften</i>	3
8.1 Verarbeitungsbedingungen	35		
8.2 Profile	35		
8.3 Extrusionsbeschichtung und Kabelummantelung	37	<i>Umgebungseinflüsse</i>	4
9. Andere Verarbeitungsverfahren	39		
9.1 Blasformen	39		
9.2 Verbundwerkstoffe	39	<i>Spezifikationen und Normen</i>	5
9.3 Pulverbeschichtung	41		
10. Technische Textilien	42		
10.1 Meltblown-Vliese	42	<i>Allgemeine Verarbeitungshinweise</i>	6
10.2 Spunbond-Vliese	42		
10.3 Stapelfasern	43		
10.4 Monofilamente	43		
10.5 Multifilamente	43	<i>Spritzgießen</i>	7
11. Nachbearbeitung	45		
11.1 Nachbehandlung in der Wärme	45		
11.2 Spanende Bearbeitung	46	<i>Extrusionsverarbeitung</i>	8
11.3 Fügen von Formteilen aus Fortron	47		
11.4 Oberflächenbehandlung	49		
12. Stichwortverzeichnis	51	<i>Andere Verarbeitungsverfahren</i>	9
Anhang			
Umrechnungstabellen und Faktoren	54	<i>Technische Textilien</i>	10
		<i>Nachbearbeitung</i>	11
		<i>Stichwortverzeichnis</i>	12

1. Einleitung

Fortron® Polyphenylensulfid (PPS) ist ein Hochleistungsthermoplast, der sich durch eine hervorragende Kombination von Eigenschaften auszeichnet. Er ist steif, fest, hart und zäh und besitzt eine ausgezeichnete Chemikalien- und Oxidationsbeständigkeit. Diese Eigenschaften bleiben auch bei Temperaturen weit über 200 °C erhalten, so dass die Gebrauchstemperatur von Fortron PPS bis 240 °C geht. Fortron PPS verfügt neben einer geringen Wasseraufnahme auch über eine gute Dimensionsstabilität und inhärente Flammwidrigkeit. Es hat hervorragende elektrische Eigenschaften, ist für die meisten Flüssigkeiten und Gase hochgradig undurchlässig, hat auch bei höheren Temperaturen nur eine geringe Kriechneigung und ist aufgrund seines guten Fließvermögens auch für lange, schmale Formteile und komplexe Werkzeuggeometrien geeignet.

Fortron ist ein lineares PPS mit teilkristalliner Struktur [1], bestehend aus Phenylenringen und Schwefel-Atomen, die alternierend in Parastellung verknüpft sind. (Abb. 1.1) Die Synthese erfolgt durch eine komplexe Reaktion von Paradichlorbenzol und Natriumsulfid in einem speziellen Lösungsmittel. Nach dem Erstarren ist Fortron teilkristallin (Abb. 1.2), wobei ihm seine lineare Struktur im Vergleich zu vernetztem PPS eine relativ hohe Zähigkeit verleiht.

1.1 Anwendungsspektrum

In der chemischen und pharmazeutischen Industrie, in der Lebensmittelindustrie und in den meisten anderen Industriezweigen ist Fortron PPS oft das Material der Wahl für heiße, korrodierende Umgebungen (Tabelle 1.1). Wenn eine hohe Chemikalienbeständigkeit, mechanische Widerstandsfähigkeit und Kriechfestigkeit erforderlich sind, wird Fortron PPS häufig an Stelle von Leichtmetall-Legierungen, Duroplasten und anderen Thermoplasten gewählt.

In der Automobilindustrie, in der Beständigkeit gegen Kraftstoffe, Frostschutzmittel, verschiedene Öle und Bremsflüssigkeiten bei erhöhten Motorraumtemperaturen von großer Bedeutung ist, wird Fortron PPS

Abb. 1.1 · Chemische Struktur von Fortron PPS

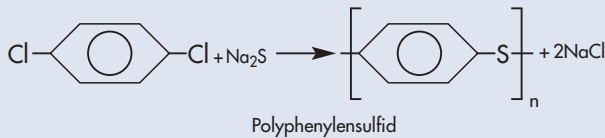
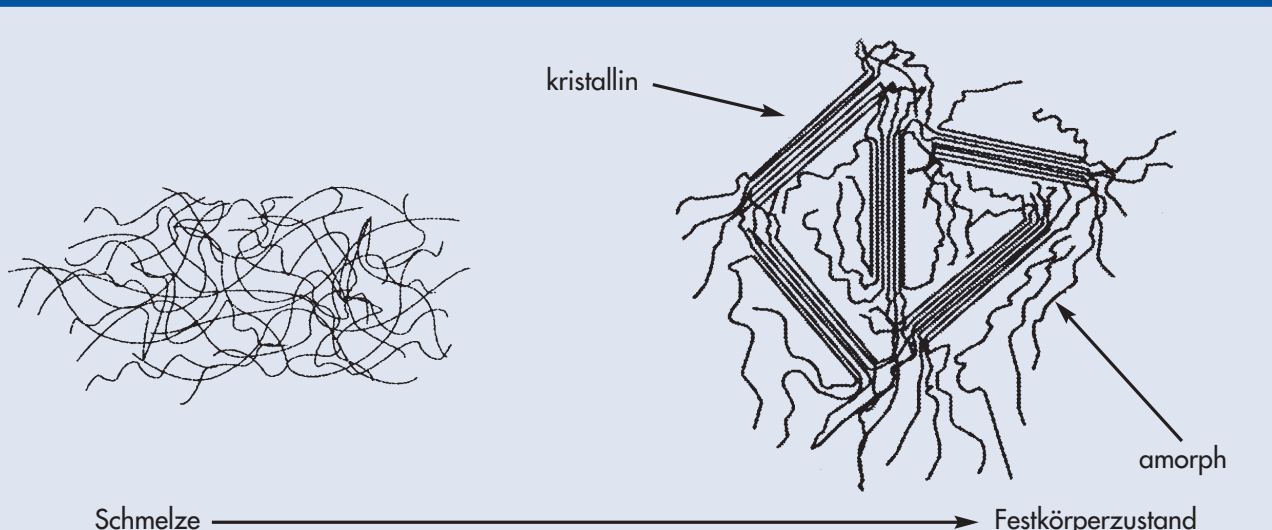


Abb. 1.2 · Modellvorstellung



Fortron PPS ist ein teilkristallines Polymer mit einer optimalen Kristallinität von ca. 30 Vol%¹. Die Dichte der amorphen Phase beträgt 1,32 g/cm³, die Dichte der kristallinen Phase 1,43 g/cm³.

immer häufiger eingesetzt. Zu den spezifischen Anwendungsmöglichkeiten in diesem Bereich gehören Luftansaugsysteme, Dichtungen, Kraftstoffverteilerleisten, Ventilkappen, Verteiler, Stecker, Lampensockel und Reflektoren.

Formteile für die Industrie wie Pumpengehäuse, Ventile, chemische Füllkörper, Bauteile für die Erdölgewinnung, Motorglocken für Elektromotoren, Transportbandverbindungen, Sensoren und Heizgerätegehäuse werden gewöhnlich spritzgegossen. Anwendungsmöglichkeiten in der Elektrotechnik und Elektronik sind zum Beispiel komplizierte Steckverbindungen, Schalttafeln, Spulenkörper, Relaissteile und Schalter sowie Gehäuse von Kondensatoren und Transistoren.

Für spezielle Filtermedien, Transportbänder und flammwidrige Textilien wird Fortron PPS in Form von Folien oder Fasern verwendet. In der Rauchgasfiltration wird Fortron PPS in Form von Fasern / Geweben sowohl als Filtermedium als auch als Filterhalter eingesetzt. Auch zum Filtrieren aggressiver Flüssigkeiten wie heißes Wasser, Amin, Glycol, Sulfolan, Methylenchlorid, Naphtha und Kalilauge findet es Verwendung.

In Form eines feinen Pulvers wird es als Bindemittel und als Beschichtungsmaterial für Geräte in der Lebensmittelindustrie und in der chemischen Verfahrenstechnik verwendet. Ferner verleihen Fortron PPS-Verbundstoffe einer Vielfalt von Produkten, vom Golfschlägerschaft bis hin zu Flugzeugtragflächen, die nötige Festigkeit.

Tabelle 1.1 · Wichtigste Einsatzgebiete von Fortron® PPS	
Marktsektor	Vorteile der Anwendung von Fortron® PPS
Automobilindustrie	Chemikalienbeständigkeit, Temperaturbeständigkeit, Formbeständigkeit
Industrie	Reibungs- und Verschleißverhalten, Steifheit, Festigkeit, Formbeständigkeit, Temperaturbeständigkeit, Chemikalienbeständigkeit
Technische Textilien	Temperaturbeständigkeit, Chemikalienbeständigkeit, Flammschutzeigenschaft
Folie	Gute Verarbeitbarkeit, Steifheit, Festigkeit, Elastizität
Rohre	Chemikalienbeständigkeit, Temperaturbeständigkeit, Biegsamkeit, Schlagfestigkeit, Steifheit, Festigkeit
Elektrotechnik, Elektronik	Formbeständigkeit, Wärmeformbeständigkeit, Ionenreinheit, Flammwidrigkeit, Fließfähigkeit
Audio/Video	Steifheit, Festigkeit, Formbeständigkeit, Temperaturbeständigkeit
Telekommunikation	Formbeständigkeit, Steifheit, Festigkeit
Faseroptik	Maßgenauigkeit, ausgezeichnete Barrierewirkung
Gesundheitswesen	Chemikalienbeständigkeit, Sterilisationsbeständigkeit, Steifheit, Festigkeit
Tiefemperaturtechnik	Hervorragende Sperrschicht, Steifheit, Festigkeit
Büromaschinen	Formbeständigkeit, Chemikalienbeständigkeit
Luffahrt	Chemikalienbeständigkeit, Temperaturbeständigkeit, Steifheit, Festigkeit

Literatur

1. Cebe, P, Polym. Polym. Comp. 3, (1995) 239

2. Fortron-Typensortiment

2.1 Typen

Das Fortron PPS-Sortiment umfasst ein breites Spektrum von Compounds und unmodifizierten Typen für verschiedene Verarbeitungsverfahren wie Spritzgießen, Extrusion, Folien- und Faserherstellung und Blasformen (Tabelle 2.1 – 2.3). Unverstärkte Typen sind als Granulat und als rieselfähiges Pulver verfügbar. Verstärkte und gefüllte Typen werden in Form von Granulat angeboten.

Unverstärkte Typen finden hauptsächlich bei der Extrusion von Monofilamenten, Multifilamenten und Stapelfasern Verwendung, ferner bei der Herstellung von Halbzeugen und Folien.

Pulvertypen werden bei einer Vielzahl von Pulvertechnologien als Beschichtungsmaterial und Bindemittel eingesetzt.

Tabelle 2.1 · Unverstärkte Fortron PPS-Typen

Unverstärkte Typen	Lieferform	Beschreibung
0203B6, 0203P6, 0203C6	Pulver, Pellets und kristallisierte Pellets	Sehr niedrige Schmelzeviskosität
0205B4, 0205P4	Pulver und Pellets	Niedrige Schmelzeviskosität
0205B4/20 µm	Feines Pulver	Niedrige Schmelzeviskosität für die Pulvertechnologie
0214B1, 0214P1, 0214C1	Pulver, Pellets und kristallisierte Pellets	Mittlere Schmelzeviskosität
0317B1, 0317P1, 0317C1	Pulver, Pellets und kristallisierte Pellets	Hohe Schmelzeviskosität
0320B0, 0320P0, 0320C0	Pulver, Pellets und kristallisierte Pellets	Hohe Schmelzeviskosität

Tabelle 2.2 · Verstärkte Fortron PPS-Typen

Verstärkte Typen	Füllstoffe Glasfaser	Verfahren	Beschreibung
1115E7	15 %	Spritzguss	Sehr leichtfließend, geringe Neigung zur Schwimmhautbildung
1130L4	30 %	Spritzguss	Mittlere Fließfähigkeit
1140L4	40 %	Spritzguss	Mittlere Fließfähigkeit
1140L6	40 %	Spritzguss	Bessere Fließfähigkeit

Fortron PPS kann mit bis zu 70% Füllstoffen und Verstärkungsstoffen versetzt werden. Typen mit Glasfasern und Glasfaser-Mineral-Mischungen besitzen eine größere Steifheit, Festigkeit und Wärmeformbeständigkeit als Typen ohne Zuschlagstoffe. Das Fortron-Sortiment bietet sowohl bei den unverstärkten als auch bei den verstärkten Produkten eine Vielfalt von Typen mit unterschiedlicher Schmelzeviskosität und Fließfähigkeit.

Das Fortron PPS-Sortiment wird entsprechend den Kundenwünschen angepasst. Neben den in Tabelle 2.1-2.2 aufgeführten Produkten bietet Ticona auch Spezialtypen an, die sich durch erhöhte Festigkeit, verbesserte elektrische Eigenschaften, Oberflächeneigenschaften, höhere Formbeständigkeit und elektrostatische Dissipation auszeichnen. Dazu gehören auch Typen mit verbesserter Zähigkeit, sowie langfaserverstärkte Typen mit Zusätzen von Glas-, Kohlen-

Tabelle 2.2 · Verstärkte Fortron PPS-Typen (Fortsetzung)

Verstärkte Typen	Füllstoffe Glasfaser/Mineralstoffe	Verfahren	Beschreibung
6850L6	50 %	Spritzguss	Geringe Verzugsneigung
4184L4	53 %	Spritzguss	Mittlere Fließfähigkeit
4184L6	53 %	Spritzguss	Bessere Fließfähigkeit
6160B4	60 %	Spritzguss	Hohe Fließfähigkeit
4332L6	65 %	Spritzguss	Hohe Fließfähigkeit
6165A4	65 %	Spritzguss	Mittlere Fließfähigkeit
6165A6	65 %	Spritzguss	Bessere Fließfähigkeit
4665B6	65 %	Spritzguss	Mittlere Fließfähigkeit

Tabelle 2.3 · Fortron PPS-Spezialtypen

Spezialtypen	Füllstoffe Glasfaser	Verfahren	Beschreibung
1115L0	15 %	Blasformen u. Extrusion	Hohe Viskosität
1120L0	20 %	Extrusion	Hohe Viskosität
1131L4 ITT	30 %	Spritzguss	Geringe Neigung zur Schwimmhautbildung
1140L0	40%	Extrusion	Hohe Viskosität
1141L4	40 %	Spritzguss	Geringe Neigung zur Schwimmhautbildung
1342L4	40 % verschleißarm modifiziert	Spritzguss	Mittlere Viskosität
6341L4	40% verschleißarm modifiziert	Spritzguss	Mittlere Viskosität
6345L4	30 % verschleißarm modifiziert	Spritzguss	Mittlere Viskosität
6450A6	65 % verschleißarm modifiziert	Spritzguss	Mittlere Viskosität
1200L1	Unmodifiziert	Extrusion und Spritzguss	Erhöhte Zähigkeit
SKX-390	Leitfähig modifiziert	Spritzguss	Elektrisch leitfähig

stoff- und anderen Fasern. Diese langfaserverstärkten PPS-Typen werden unter dem Handelsnamen Celstran® angeboten.

Des Weiteren sind spezielle Typen für die Medizintechnik verfügbar. Die für medizintechnische Anwendungen optimierten Fortron MT®-Typen verfügen über besondere Kennzeichen hinsichtlich der Produktqualität, -konformität und -verfügbarkeit. Wesentlich ist dabei auch die von externen Instituten zertifizierte Biokompatibilität. Fortron MT®-Typen entsprechen den Zulassungsanforderungen der europäischen Behörden sowie der amerikanischen Food and Drug Administration (FDA). Bei der FDA sind

die für die Zulassung in den USA wichtigen Drug Master Files bzw. Device Master Files hinterlegt.

Weitere Informationen sind in der Produkt-Info „Kunststoffe für Anwendungen in der Medizintechnik“ (B 254 PR D) zusammengefasst. Auf Anfrage senden wir Ihnen diese gerne zu.

2.2 Einfärbungen

Die verstärkten Fortron PPS-Typen sind in Naturfarbe (beige) sowie in schwarzer Einfärbung verfügbar, die unverstärkten Typen nur in Naturfarbe. In anderen Farben formulierte Farbkonzentrate (oder Master-

Tabelle 2.4
Verfügbare Farbkonzentrate für Fortron PPS

Farb-Nr.	Standard-Konzentr.	Farbe
SD3002 K40	40:1	schwarz
SD3039 K40	40:1	FDA-schwarz
SJ3013 K20	20:1	grün
SY3004 K40	40:1	braun
SN3012 K20	20:1	orange
SC3010 K20	20:1	dunkelgrau
SC3011 K20	20:1	hellgrau
SL3017 K20	20:1	gelb
SS3006 K20	20:1	rot
SG3005 K20	20:1	blau

batches) können eingesetzt werden, um spezielle Anforderungen hinsichtlich der Farbgebung zu erfüllen (Tabelle 2.4). Alle Farbkonzentrate sind cadmiumfrei.

Eingefärbte Formteile sind vom Endbenutzer daraufhin zu prüfen, ob sie seinen Spezifikationen entsprechen. Wie bei den meisten Polymeren können sich durch den Zusatz von Farbmitteln die Fließfähigkeit und mechanische Eigenschaften wie Bruchspannung und Bruchdehnung in geringem Maße verändern.

Zu beachten ist, dass dauerhaft farbtreue Einstellungen nicht möglich sind. Dies ist mit photo-oxidativen Reaktionen zu erklären, die unter dem Einfluß von Licht und Wärme beispielsweise zu einer Farbverschiebung dünnster Randschichten von Bauteilen führen können. Eine Veränderung mechanischer Eigenschaften wurde dabei nicht nachgewiesen.

2.3 Verpackung

Die Fortron-Produkte sind in Säcken mit 15, 20, 25 kg und in Gebinden mit 500 kg erhältlich. Manche Produkte sind nur in bestimmten Gebindegrößen verfügbar.

2.4 Qualitätsmanagement

Die Erfüllung der Qualitätsanforderungen unserer Kunden ist ein grundlegender Prozess für Ticona. In diesem Prozess pflegen und aktualisieren wir permanent die für diesen Zweck erforderlichen Zertifizierungen. Unser System ist bereits seit den frühen 90iger Jahren nach der ISO 9000 Reihe zertifiziert. Auf dieser Grundlage wurde 2003 das Globale Ticona Integrierte Management-System (TIMS) für Qualität, Umweltschutz und Risiko-Management aufgebaut.

Die wichtigen Zertifizierungen schließen folgende Standards ein:

- ISO 9001
- ISO/TS 16949
- ISO 14001
- ISO/IEC 17025

Zertifikate zum Qualitätsmanagement-System gemäß ISO 9001:2000 und ISO/TS 16949:2002 sind für alle Produktionsstandorte und unterstützenden Standorte von Ticona weltweit erteilt. Der ISO/TS 16949:2002 Standard kombiniert die europäischen automobilen Regelwerke VDA 6.1, EAQF und AVSQ mit den Anforderungen der QS-9000 in Nordamerika und ersetzt diese. Ticona erreichte die Zertifizierung hierfür im Jahr 2003.

Der Ticona Standort Oberhausen in Deutschland erreichte die Zertifizierung nach der Umweltmanagement-System Norm ISO 14001 bereits im Jahr 1999. Alle Einrichtungen von Ticona in Amerika erhielten die Zertifizierung Ende 2002. Für den Standort Kelsterbach in Deutschland ist der Abschluss der Zertifizierung 2005 erfolgt.

Alle relevanten Ticona Laboratorien sind gemäß den generellen Anforderungen der ISO/IEC 17025:2000 für Prüf- und Kalibrierlaboratorien akkreditiert.

Auf der Homepage www.ticona.com finden Sie unter „Company“ > „Quality and Certifications“ weitere Informationen zum Umfang der Zertifizierungen sowie PDF-Dateien der aktuellen Zertifikate.

3. Eigenschaften

Fortron PPS ist ein Hochleistungswerkstoff, der sich unter anderem durch gute mechanische Eigenschaften und Dimensionsstabilität sowie durch hervorragende Wärmeformbeständigkeit, inhärente Flammwidrigkeit, geringe Kriechneigung und geringe Wasseraufnahme auszeichnet. Ferner zeichnet sich Fortron PPS durch seine exzellente Medienbeständigkeit aus.

Die in Tabelle 3.1 angegebenen Werte wurden mit Standard-Prüfverfahren ermittelt und können für einen Vergleich zwischen den verschiedenen Fortron-Typen herangezogen werden. Diese Angaben können bei der Planung von Fertigteilen zwar hilfreich sein, aber die Bauteile müssen dennoch unter praktischen Bedingungen daraufhin geprüft werden, ob sie den vorgegebenen Anforderungen entsprechen.

Die in der Tabelle 3.1 aufgeführten Fortron Typen stellen einen Auszug aus dem Produktsortiment dar. Weitere Daten sind dem Fortron Faltblatt zu entnehmen.

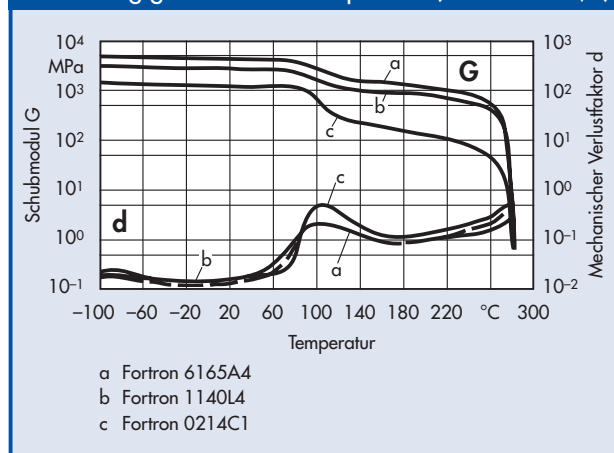
3.1. Physikalische Eigenschaften

Die Typen der Fortron PPS-Familie haben eine Dichte von 1,35 bis über 2,0 g/cm³. Fortron PPS absorbiert praktisch kein Wasser (0,01 – 0,02% nach 24-stündiger Lagerung bei 23 °C) und besitzt eine ausgezeichnete Dimensionsstabilität.

3.2 Mechanische Eigenschaften

Die mechanischen Eigenschaften von Kunststoffen verändern sich mit der Temperatur. Abb. 3.1 zeigt die

Abb. 3.1 · Schubmodul u. mechanischer Verlustfaktor in Abhängigkeit von der Temperatur (ISO 6721-1,2)



Veränderungen des Schubmoduls und des mechanischen Verlustfaktors von Fortron PPS bei Temperaturen von –100 bis 300 °C. Die Wendepunkte der Kurven entsprechen dem Bereich der Glasübergangstemperatur (ca. 90 °C) und dem Schmelzbereich (ca. 280 °C).

3.2.1 Verhalten bei kurzzeitiger Beanspruchung

Das Verhalten von Werkstoffen bei kurzzeitiger Beanspruchung wird nach ISO 527-1,2 untersucht. Hiermit werden unter anderem die Zugfestigkeit und die Bruchdehnung bestimmt. Abb. 3.2 und 3.3 zeigen das Spannungs-Dehnungsverhalten von Fortron 1140L4 und 6165A4 bei fünf Temperaturen von –30 bis 200 °C. Über und unter dem Glasübergangsbereich zeigen das mit 40% Glasfasern verstärkte Fortron 1140L4 und das mit 65% Glasfasern/Mineral verstärkte Fortron 6165A4 vergleichbare Werte.

Weitere unter kurzzeitiger Belastung bestimmte Eigenschaften sind der Zug-E-Modul und der Biege-E-Modul nach ISO 527-1,2 und ISO 178. Diese Größen sind ein Maß für die Steifheit und dienen nicht nur der Charakterisierung von Kunststoffen, sondern sie können auch zur Festigkeitsberechnung und Dimensionierung von Formteilen herangezogen werden.

Der Zugmodul und der Biegemodul von Fortron PPS gehen bis ca. 80 °C mit steigender Temperatur zurück und fallen dann zwischen ca. 80 und 120 °C stark ab. Verstärktes Fortron PPS hat hohe Zug- und Biegemoduln (Abb. 3.4 und 3.5). Beide Module sind bei Fortron 6165A4 mit 65% Mineralfüllung höher als bei Typen mit 40% Glasfasern.

3.2.2 Verhalten bei langzeitiger Beanspruchung

Dauerversuche liefern dem Konstrukteur Daten für Bauteile, die einer langzeitigen Beanspruchung standhalten müssen. Die Eigenschaften der Werkstoffe werden in zwei Grundversuchen geprüft: Zeitstandversuch nach ISO 899-1, bei dem die Deformationszunahme von Probekörpern bei konstanter Spannung gemessen wird, und dem Spannungsrelaxationsversuch nach DIN 53 441, der zur Messung des Spannungsabbaus bei konstanter Dehnung dient.

Der Zeitstandversuch ergibt die Zeitstandfestigkeit, d.h. die Zeit, nach der ein mit vorgegebener Spannung

Tabelle 3.1 · Verhalten ausgewählter Fortron PPS-Typen bei kurzzeitiger Beanspruchung*					
Physikalische Eigenschaften	Prüfmethode	1140L4	6165A4	0320	0214
Dichte, g/cm ³	ISO 1183	1,65	1,95	1,35	1,35
Verarbeitungsschwindigkeit – parallel, %	ISO 294-4	0,2 – 0,6	0,2 – 0,6	1,2 – 1,5	1,2 – 1,5
Verarbeitungsschwindigkeit – senkrecht, %	ISO 294-4	0,4 – 0,6	0,3 – 0,7	1,5 – 1,8	1,5 – 1,8
Wasseraufnahme (23 °C, Sättigung), %	ISO 62	0,02	0,02	0,02	0,02
Mechanische Eigenschaften					
Zugfestigkeit (5mm/min), MPa	ISO 527-2/1A	195	130	90	90
Bruchdehnung (5mm/min), %	ISO 527-2/1A	1,9	1,2	8	3
Zug-E-Modul (1mm/min), MPa	ISO 527-2/1A	14700	19000	3500	3800
Biegemodul (23 °C), MPa	ISO 178	14500	18800	4200	3750
Biegefestigkeit, MPa	ISO 178	285	210	145	125
Schlagzähigkeit (Charpy) bei 23 °C, kJ/m ²	ISO 179/1eU	53	20		
Schlagzähigkeit (Charpy) bei 30 °C, kJ/m ²	ISO 179/1eU	53	20		
Kerbschlagzähigkeit (Charpy) bei 23 °C, kJ/m ²	ISO 179/1eA	10	7		
Kerbschlagzähigkeit (Charpy) bei 30 °C, kJ/m ²	ISO 179/1eA	10	7		
Schlagzähigkeit (Izod, Vollprüfstab) bei 23 °C, kJ/m ²	ISO 180/1U	34	20	82	45
Kerbschlagzähigkeit (Izod) bei 23 °C, kJ/m ²	ISO 180/1A	10	6	2,6	3,5
Kerbschlagzähigkeit (Izod) bei 30 °C, kJ/m ²	ISO 180/1A	10	6	2,5	
Rockwellhärte, Skala M	ISO 2039-2	100	100	90	95
Thermische Eigenschaften					
Schmelztemperatur (10°C/min), °C	ISO 11357-1,-2,-3	280	280	280	280
Glasübergangstemperatur (10°C/min), °C	ISO 11357-1,-2,-3	90	90	90	90
Wärmeformbeständigkeitstemp. bei 1,8 MPa, °C	ISO 75-1, -2	270	270	115	110
Wärmeformbeständigkeitstemp. bei 8.0 MPa, °C	ISO 75-1, -2	215	215	95	95
Längenausdehnungskoeffizient (parallel), 10 ⁻⁴ /°C	ISO 11359-2	0.26	0.19	0.52	0.52
Längenausdehnungskoeffizient (senkrecht), 10 ⁻⁴ /°C	ISO 11359-2	0.62	0.24	0.53	0.53
Sauerstoffindex (LOI-Wert), %	ISO 4589	47	53		
Brennbarkeit/Geprüfte Dicke (H), mm	UL94	V-0/0,38	V-0/0,75	V-0/3	
Elektrische Eigenschaften					
Dielektrizitätszahl – 10KHz	IEC 60250	4	5.4	2.7	3.2
Dielektrischer Verlustfaktor – 10KHz, E-10 ⁻⁴	IEC 60250	2	10		
Dielektrischer Verlustfaktor – 1MHz, E-10 ⁻⁴	IEC 60250	62	20	11	
Spezifischer Durchgangswiderstand, Ω · m	IEC 60093	>10 ¹³	>10 ¹⁵	10 ⁹	10 ⁹
Spezifischer Oberflächenwiderstand, Ω	IEC 60093	>10 ¹⁵	>10 ¹⁵		
Durchschlagfestigkeit kV/mm	IEC 60243-1	28	25	18	18
Kriechwegbildung, CTI-Wert	IEC 60112	125	175	125	125

* Nähere Angaben über Eigenschaften von Fortron PPS finden sich auf der Ticona-Website www.ticona.com und in dem Fortron Falblatt (B 260 FB D).

Abb. 3.2 · Spannungs-Dehnungskurven für Fortron 1140L4 bei fünf Temperaturen

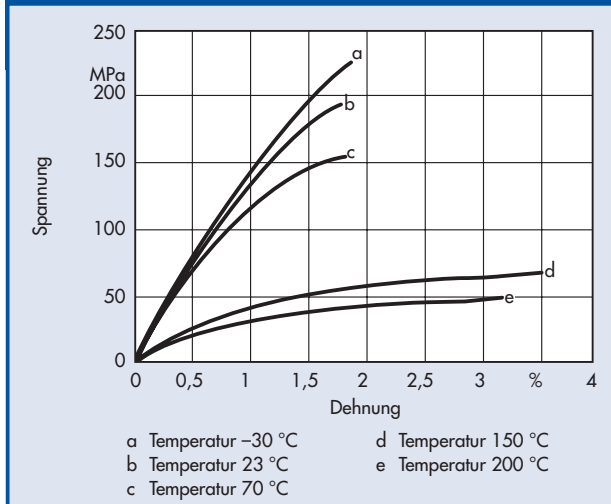


Abb. 3.4 · Zug-E-Modul für ausgewählte Fortron PPS-Typen

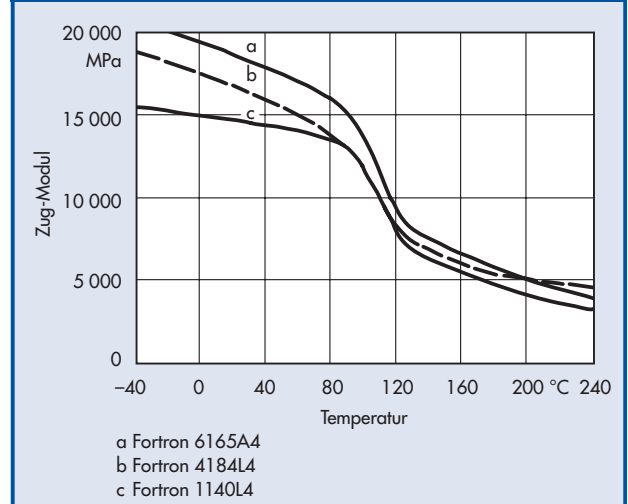


Abb. 3.3 · Spannungs-Dehnungskurven für Fortron 6165A4 bei fünf Temperaturen

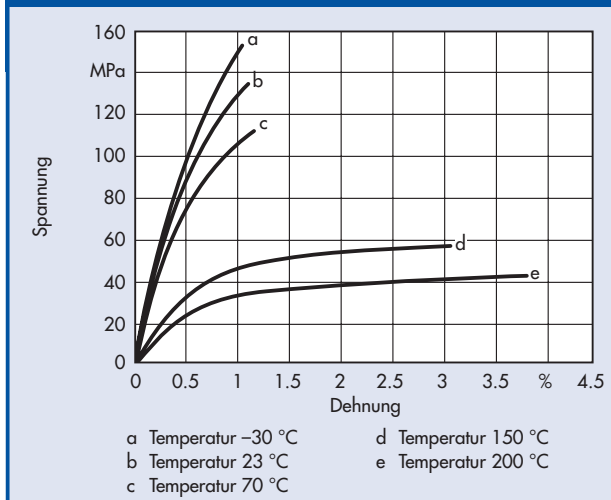
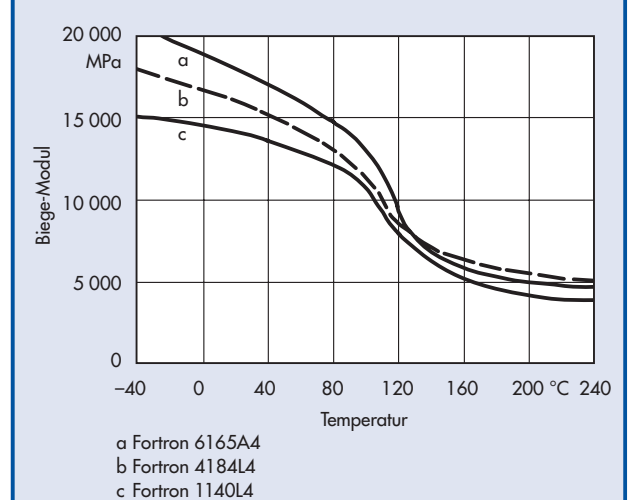


Abb. 3.5 · Biege-E-Modul für ausgewählte Fortron PPS-Typen



belasteter Probestab unter bestimmten Umgebungsbedingungen, an der Luft oder in einem anderen Medium, bricht. Die bei diesem Versuch ermittelten Werte für Dehnungen und Kriechmodul können in guter Näherung in der Praxis auch für Biege- und Druckbeanspruchungen verwendet werden. Die Ergebnisse aus Zeitstandversuchen im einachsigen Spannungszustand können nur bedingt auf den mehrachsigen Spannungszustand übertragen werden.

Die Verformung eines Formteils aus Kunststoff ist zeit- und temperaturabhängig und hängt auch von der Beanspruchung ab. Bei kleineren Verformungen können die Abweichungen der Werkstoff-Kennwerte

vernachlässigt werden. So kann zum Beispiel der Zeitverlauf der Stauchung eines druckbeanspruchten Formteils auch mit dem bei Biegebeanspruchung ermittelten Biege-Kriechmodul ausreichend genau berechnet werden.

Der Zeitstandversuch zeigt, dass verstärktes Fortron PPS nur eine geringe Kriechneigung besitzt, wie aus Abb. 3.6 bis 3.8 für Fortron 1140L4 hervorgeht. Diese Versuche wurden bei einer Belastungsdauer bis zu 1.000 h durchgeführt und auf 10.000 h extrapoliert. Eine Auswahl von Kriechmodul-Kurven für Fortron 1140L4 und 6165A6 bei anderen Temperaturen ist der Ticona-Website zu entnehmen.

Abb. 3.6 · Kennwerte für das Kriechverhalten von Fortron 1140L4 bei Zugbeanspruchung im Normalklima 23/50

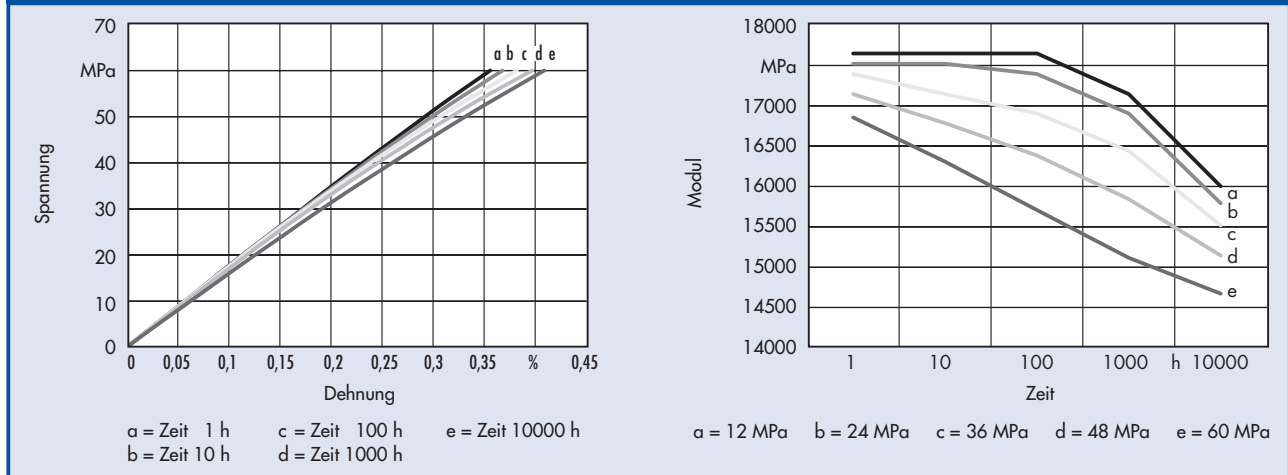


Abb. 3.7 · Kennwerte für das Kriechverhalten von Fortron 1140L4 bei Zugbeanspruchung bei 120 °C

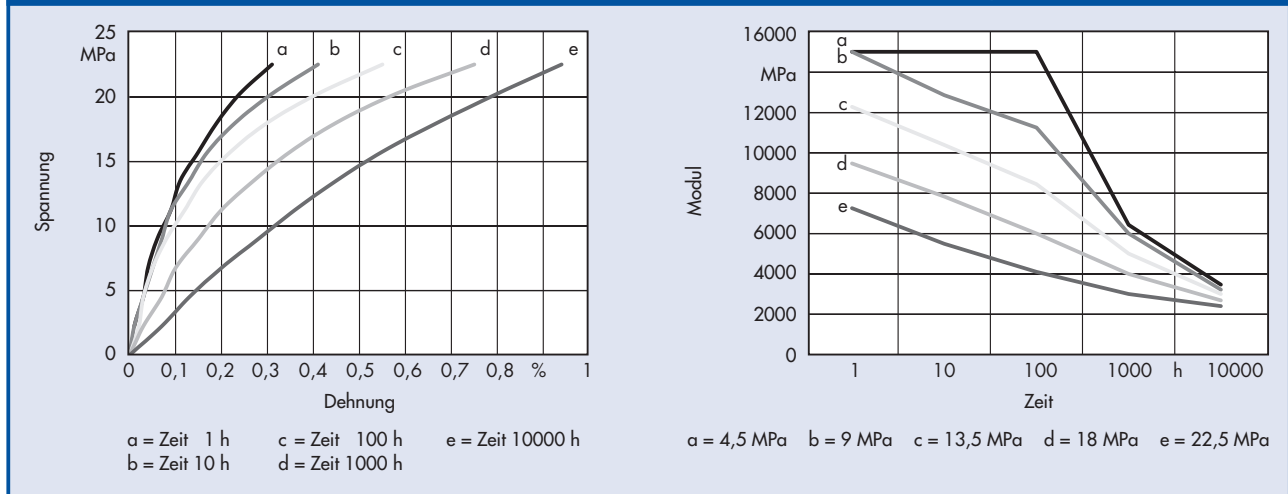


Abb. 3.8 · Kennwerte für das Kriechverhalten von Fortron 1140L4 bei Zugbeanspruchung bei 200 °C

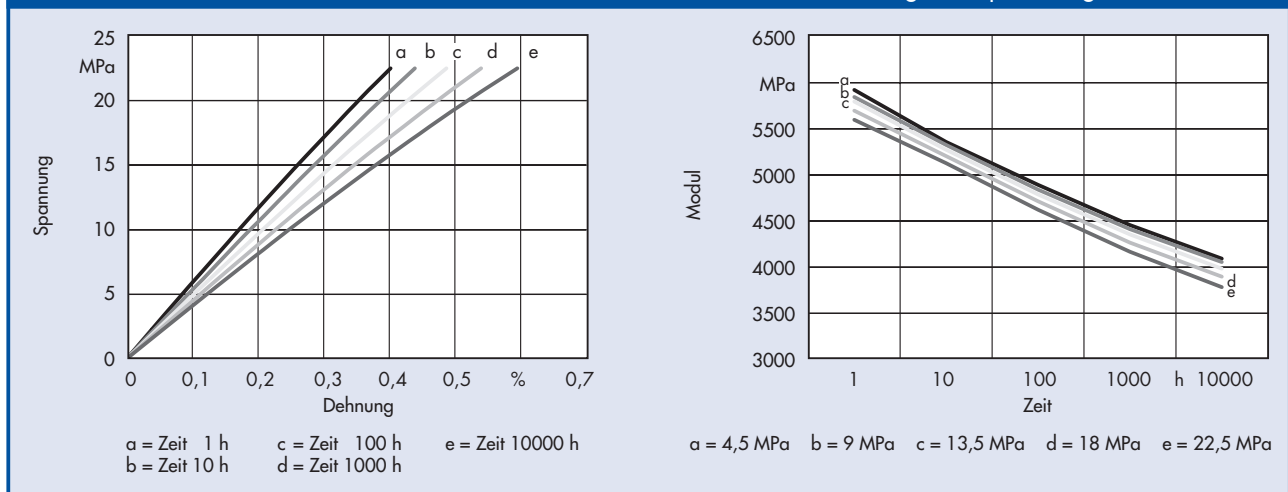


Abb. 3.9 · Biege-Kriechmodul für Fortron 1140L4 und 6165A4 bei 80 und 120 °C (gemessen mit Randfaserspannung $\sigma_b = 50$ MPa)

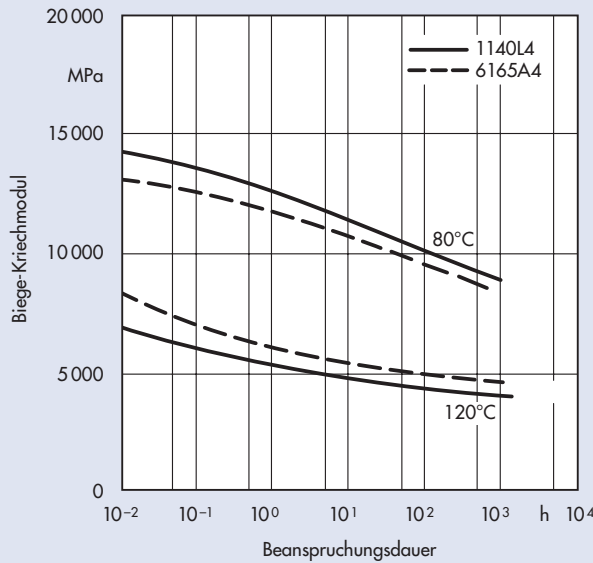
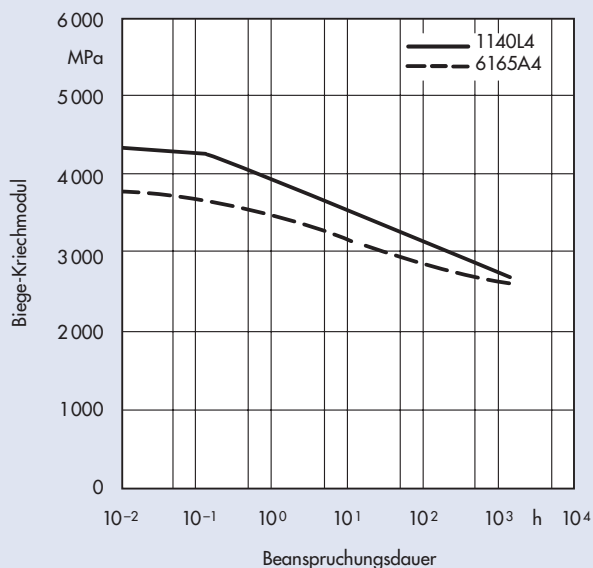


Abb. 3.10 · Biege-Kriechmodul für Fortron 1140L4 und 6165A4 bei 200 °C (gemessen mit Randfaserspannung $\sigma_b = 30$ MPa)



Neben dem Kriechverhalten bei Zugbeanspruchung ist auch das Verhalten eines Polymers bei Biegebeanspruchung ein wichtiger Aspekt für das Dimensionieren zahlreicher Konstruktionsteile. Abb. 3.9 und 3.10 zeigen Biege-Kriechmodulkurven von Fortron 1140L4 und 6165A4 bei 80, 120 und 200 °C.

Bei Temperaturen über und unter der Glasübergangstemperatur (T_g) – 80 bzw. 120 °C – sind ähnliche Abbaugeschwindigkeiten des Biege-Kriechmoduls zu beobachten. Dies lässt darauf schließen, dass das Material über und unter der T_g ein weitgehend vergleichbares Verhalten aufweist. Abb. 3.10 zeigt selbst bei einer erheblich höheren Temperatur (200 °C) ein ähnliches Verhalten.

3.2.3 Verhalten bei schwingender Beanspruchung

Für Teile, die einer periodischen Belastung ausgesetzt sind, ist die Zeitschwingfestigkeit eine wichtige Größe.

Darunter versteht man den im Schwingversuch ermittelten Spannungsausgang σ_a bei gegebener Mittelspannung σ_m , den eine Probe für eine bestimmte Lastspielzahl ohne Bruch aushält. Die verschiedenen Beanspruchungsbereiche, in denen solche Versuche durchgeführt werden, sind in Abb. 3.11 als Wöhler-Kurven wiedergegeben.

Abb. 3.11 · Beanspruchungsbereiche im Dauerschwingversuch

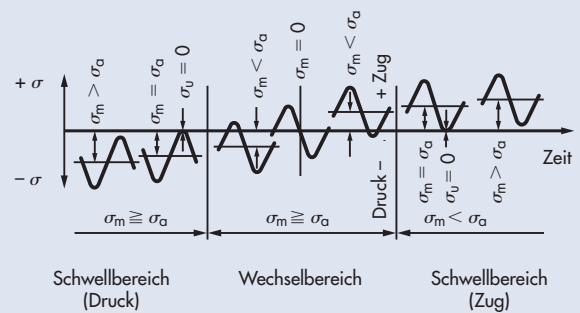


Abb. 3.12 · Wöhler-Kurve für Fortron 1140L4 und 6165A4, ermittelt im Zug-Schwellbereich bei 23 °C

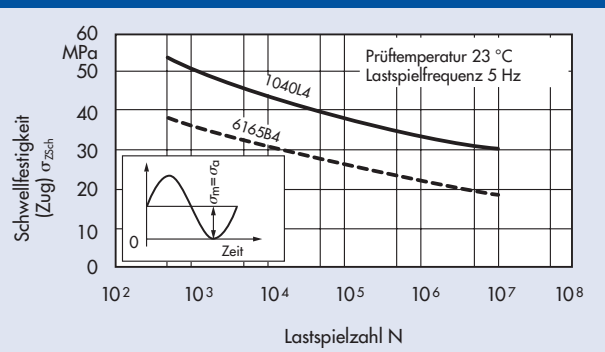


Abb. 3.13 · Wöhler-Kurve für Fortron 1140L4 und 6165A4, ermittelt im Zug-Schwellbereich bei 90 °C

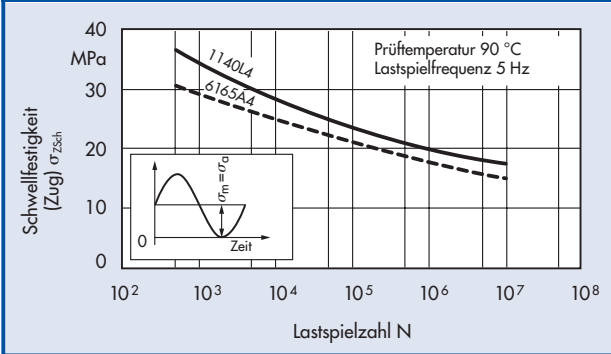
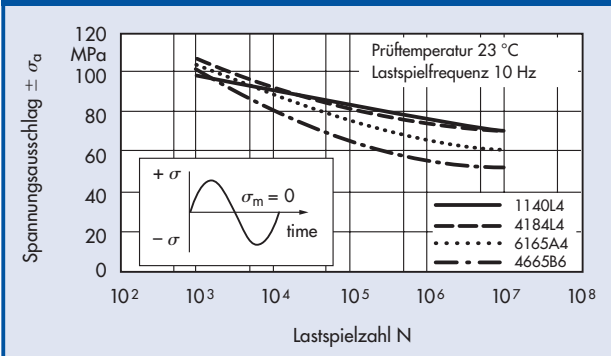


Abb. 3.14 · Wöhler-Kurve für vier Typen, ermittelt im Zug-Schwellbereich bei 23 °C



Für Fortron PPS beträgt die Zeitschwingfestigkeit bei 10⁷ Lastwechseln ca. 15 bis 30% seiner Zugfestigkeit.

Abb. 3.12 und 3.13 zeigen, wie sich Fortron 1140L4 und 6165A4 im Zug-Schwellbereich bei 23 und 90 °C verhalten. Die Zeitschwingfestigkeit sinkt mit steigender Temperatur und mit zunehmender Lastwechselhäufigkeit. Die Wöhler-Kurven für die Biege-Wechselbeanspruchung von vier Fortron-Typen sind in Abb. 3.14 dargestellt.

3.3 Thermische Eigenschaften

Wegen seiner außergewöhnlichen thermischen Eigenschaften kann Fortron PPS bei hohen Temperaturen eingesetzt werden. Die Dauergebrauchstemperatur von Fortron PPS liegt bei 240 °C.

Fortron PPS besitzt folgende thermische Umwandlungsbereiche:

- Glasübergangstemperatur, T_g : 85 – 95 °C
- Nachkristallisationstemperatur, T_{CC} : 120 – 130 °C
- Kristallisationstemperatur T_{CH} : 220 – 255 °C
- Kristallitschmelzbereich T_m : 275 – 285 °C
- Schmelzenthalpie: ca. 112 J/g¹

Abb. 3.15 · Wärmeformbeständigkeit nach ISO 75 unter Belastung bei Fortron PPS und anderen Polymeren

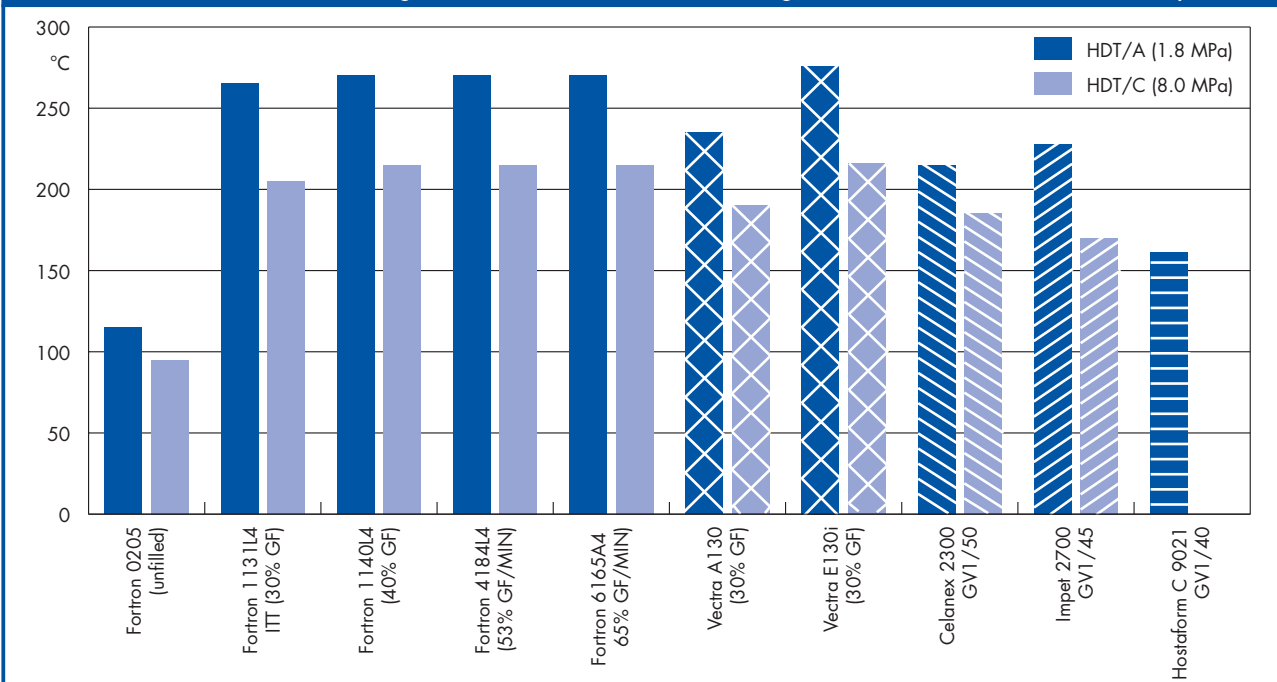
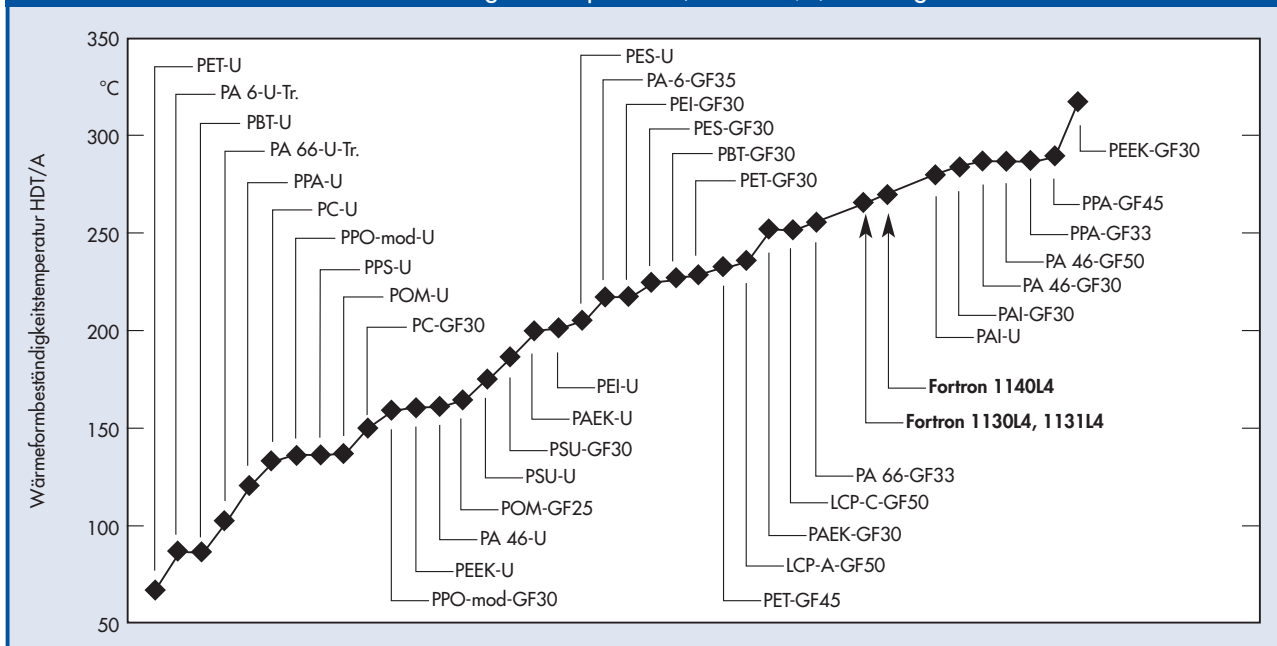


Abb. 3.16 · Wärmeformbeständigkeitstemperaturen unter Belastung (1,8 MPa) bei technischen Thermoplasten und Hochleistungsthermoplasten (ISO 75-1,2)² im Vergleich



Diese Temperaturen sind bei der Wahl der Verarbeitungsbedingungen zu beachten. So sollten zum Beispiel bei der Spritzgießverarbeitung Werkzeugwandtemperaturen eingestellt werden, die oberhalb der T_{CC} liegen.

3.3.1 Wärmeformbeständigkeit unter Belastung

Die Wärmeformbeständigkeit wird nach ISO 75-1,2 mit den Prüfspannungen A, B und C (A = 1,8 MPa, B = 0,45 MPa, C = 8,0 MPa) ermittelt. In Abb. 3.15 werden die HDT-Werte von 5 Fortron PPS-Typen bei Belastungen von 1,8 MPa und 8,0 MPa mit der Wärmeformbeständigkeit eines flüssigkristallinen Polymers, eines Polyesters und eines Acetalcopolymer verglichen.

Durch die Verstärkungsstoffe wird die Wärmeformbeständigkeit bis in die Nähe des Kristallitschmelzpunktes angehoben. Die verstärkten Fortron-Typen erreichen Wärmeformbeständigkeiten von 220 °C bei 8 MPa. Das ist ein Spitzenwert unter den Thermoplasten (Abb. 3.16).

3.3.2 Längenausdehnungskoeffizient

Der Längenausdehnungskoeffizient (ISO 11359) ist längs- und quer zur Fließrichtung unterschiedlich.

In Längsrichtung schwankt er bei verschiedenen Fortron-Typen zwischen -50 und 90 °C von ca. $12 \times 10^{-6} \text{ 1/K}$ bis $17 \times 10^{-6} \text{ 1/K}$ und zwischen 90 und 250 °C von $7 \times 10^{-6} \text{ 1/K}$ bis $25 \times 10^{-6} \text{ 1/K}$. In Querrichtung bewegt er sich bei diesen Typen zwischen -50 und 90 °C von ca. $25 \times 10^{-6} \text{ 1/K}$ bis $40 \times 10^{-6} \text{ 1/K}$ und zwischen 90 und 250 °C von $60 \times 10^{-6} \text{ 1/K}$ bis $90 \times 10^{-6} \text{ 1/K}$. Die o.a. Werte sind vergleichbar mit den Längenausdehnungskoeffizienten von einigen Metallen.

3.3.3 Wärmeleitfähigkeit

Die Wärmeleitfähigkeit von Fortron PPS entspricht der Wärmeleitfähigkeit anderer teilkristalliner Polymere und ist nahezu unabhängig von der Temperatur (Tabelle 3.2).

Tabelle 3.2 · Wärmeleitfähigkeit [W/mK]		
Temperatur [°C]	Fortron 1140L4	Fortron 6165A4
25	0,20	0,30
125	0,20	0,35
230	0,25	0,35
300	0,25	0,35

Fortron SKX-390, ein Spezialtyp mit einer angehobenen Wärmeleitfähigkeit von ca. 2,3 W/mK, kann bei Spritzgussanwendungen alleine oder als Masterbatch mit anderen Fortron-Typen eingesetzt werden, so dass mittlere Wärmeleitfähigkeiten eingestellt werden können. So hat zum Beispiel ein Gemisch aus 50% Fortron SKX-390 und 50% Fortron 1140L4 eine Wärmeleitfähigkeit von ca. 1,3 W/mK.

Die Wärmeleitfähigkeit geht mit einer elektrischen Leitfähigkeit einher, siehe auch Kapitel 3.4.

3.3.4 Lötbeständigkeit

Verstärkte Fortron PPS-Typen werden oft für Surface Mounted Devices (SMD) verwendet und mittels verschiedenster Lötverfahren mit gedruckten Schaltungen und anderen Bauteilen verbunden. Diese Typen sind selbst bei hohen Löttemperaturen durch eine ausgezeichnete Formbeständigkeit sowie durch eine sehr geringe und voraussagbare Schwindung gekennzeichnet. Hierdurch ist bleifreies Löten möglich (RoHS und WEEE).

3.3.5 Entflammbarkeit und Verbrennung

Fortron PPS ist inhärent flammwidrig und selbstverlöschend und erfüllt die UL-Anforderungen ohne flammhemmende Zusatzstoffe (UL 94 V-0, einige Typen 5 VA).

Der Sauerstoffindex (LOI-Wert) steht für den Sauerstoffgehalt der Umgebungsatmosphäre, bei dem ein

Polymer nach dem Entzünden ohne zusätzliche Energiequelle weiterbrennt.

Der LOI-Wert von Fortron PPS liegt bei etwa 50 %. Fortron brennt unter normalen Bedingungen nicht, da der Sauerstoffgehalt der Luft ca. 21 % beträgt.

Die Glühdrahtprüfung nach IEC 60695, Teil 2-1 (1 mm, 2 mm und 4 mm Dicke) ergab für die Fortron-Typen 1140L4, 4184L4, 4665B6, 6160B4 und 6165A4 jeweils einen Wert von 960 °C. Ferner wurden Fortron 1140L4, 6165A4 und 4665B6 einer Glühdrahtprüfung nach IEC 60335 unterzogen (1 mm, 2 mm und 3 mm Dicke) und bestanden auch diesen Test bei 850 °C.

Die fünf bei der Glühdrahtprüfung verwendeten Fortron-Typen wurden auch nach der US-Kraftfahrzeug-Sicherheitsnorm FMVSS 302 geprüft. Nach einer Beflammungszeit von 15 Sekunden wurde kein weiteres Brennen festgestellt, so dass keine Brenngeschwindigkeit angegeben werden kann. Dies lässt auf eine hervorragende Flammfestigkeit schließen. Ferner entspricht Fortron 1140L4 natur den Anforderungen der Brandklasse B2 nach DIN 4102, Teil 1 für Wanddicken von 3 mm und 6 mm. Die Prüfungen wurden nach DIN 50 050, Teil 1 (1/88) unter Beflammung des Probenrands durchgeführt.

Bei der Prüfung auf Entflammbarkeit nach den vom National Bureau of Standards angegebenen Verfahren (NFPA 258) zeigte sich, dass der von schwelendem Fortron ausgehende Rauch einen normierten Raum nicht verdunkelt (Tabelle 3.3).

Tabelle 3.3 · Rauchgasdichte von Fortron PPS* nach NFPA 258

Probe – 1/8" (3,2 mm)	Fortron 1140L4		Fortron 6165A4	
	Schwelen	Brennen	Schwelen	Brennen
Maximale spezifische optische Dichte** (DS)	12	95	10	44
DS, berichtigt	11	91	9	42
Minimale spezifische optische Dichte bei 1,5	0	1	0	0
Minimale spezifische optische Dichte bei 4,0	0	18	1	4
Verdunkelungszeit*** (min) (Zeit bis DS-16)	—	4,1	—	7,1

* Nach den vom National Bureau of Standards vorgeschlagenen Verfahren (NFPA 258). Die Prüfungen wurden in einer Aminco-NBS Rauchgasdichtekammer durchgeführt.
 ** Die optische Dichte zeigt die Abschwächung eines Lichtstrahls durch Rauch an, der sich in einer geschlossenen Kammer während der Zersetzung und/oder des Verbrennens eines Materials ansammelt.
 *** Die Verdunkelungszeit ist die Zeitspanne, bis in einem typischen Raum eine kritische Rauchgasdichte erreicht wird. Bei dieser Dichte sind die Sichtverhältnisse so stark beeinträchtigt, dass eine im Raum befindliche Person am Verlassen des Raums gehindert wird. Der kritische Wert der Rauchgasdichte oder der spezifischen optischen Dichte beträgt 16.

Verschiedene Fortron PPS-Typen wurden nach den Normen der Luftfahrtindustrie und des Schienenfahrzeugbaus geprüft.

Fortron 0214C1 und 1140L4 erfüllen alle Anforderungen nach FAR 25.853 und ABD0031. Die FAR 25.853 ist die gesetzliche Anforderung für die Luftfahrtindustrie. Die ABD0031 (Airbus-Norm) schließt die FAR 25.853 mit ein und beinhaltet zusätzlich zur Brandprüfung und Rauchgasdichte die Prüfungen der Toxikologie.

Die Brandbeständigkeit für den Schienenfahrzeugbau wurde an Fortron 0214C1 mittels DIN5510 geprüft und bestanden. Des weiteren werden die Anforderungen der Rauchgasdichte und Toxikologie nach DIN5659 erfüllt.

3.4 Elektrische Eigenschaften

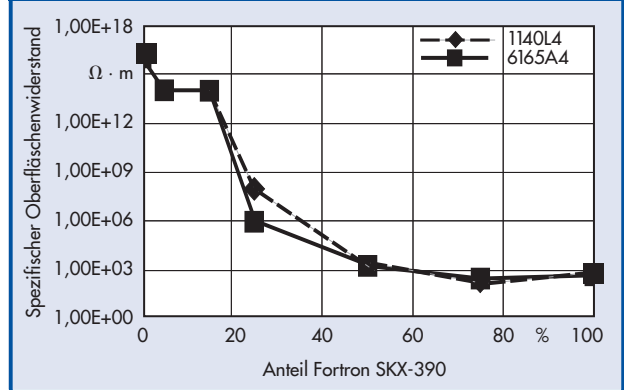
Fortron PPS ist ein hochreines Material, das nur einen geringen Anteil ionischer Verunreinigungen enthält. Es hat gute elektrische Isoliereigenschaften und einen niedrigen dielektrischen Verlustfaktor. Daher ist es ein sehr gutes Isoliermaterial, insbesondere bei hohen Temperaturen.

3.4.1 Spezifischer Durchgangswiderstand und Oberflächenwiderstand

Der spezifische Durchgangswiderstand ungefüllter Fortron-Typen bei 23 °C ist $>10^9 \Omega \cdot m$, bei verstärkten Typen $>10^{13} \Omega \cdot m$ (IEC 60093), wobei diese Werte mit steigender Temperatur abnehmen. Der spezifische Oberflächenwiderstand gibt Auskunft über den Isolationswiderstand an der Oberfläche eines Werkstoffs, der von der Luftfeuchtigkeit und von Oberflächenverunreinigungen beeinflusst wird. Bei Fortron ist der spezifische Oberflächenwiderstand im allgemeinen $>10^{15} \Omega$ (IEC 60093).

Fortron SKX-390 ist ein elektrisch leitfähiger Spezialtyp mit $400 \Omega \cdot m$ spezifischem Durchgangswiderstand und 500Ω spezifischem Oberflächenwiderstand. Dieser Typ weist auch eine verbesserte Wärmeleitfähigkeit auf. Zur Einstellung des spezifischen Durchgangswiderstands auf einen bestimmten Bereich kann Fortron SKX-390 mit anderen Fortron-Typen gemischt werden (Abb. 3.17).

Abb. 3.17 · Spezifischer Oberflächenwiderstand von Fortron SKX-390 PPS-Blends



3.4.2 Dielektrizitätszahl und dielektrischer Verlustfaktor

Die Dielektrizitätszahl für Fortron PPS liegt bei 10 kHz zwischen 4,0 und 5,4 und bei 1 MHz zwischen

Abb. 3.18 · Dielektrizitätszahl ϵ_r ausgewählter Fortron-Typen

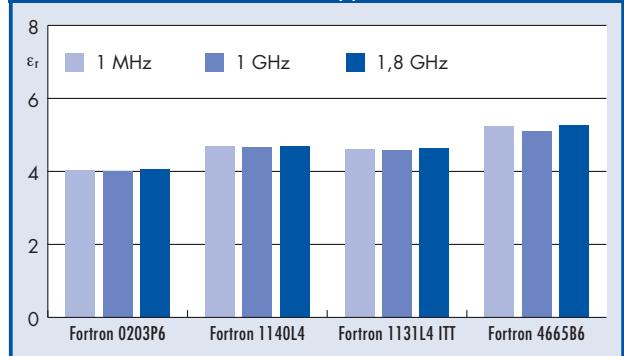
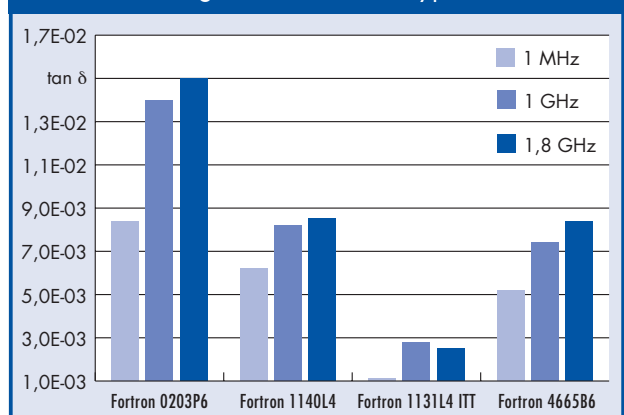


Abb. 3.19 · Dielektrischer Verlustfaktor $\tan \delta$ ausgewählter Fortron-Typen



4,1 und 5,6 (Abb. 3.18). Die Dielektrizitätszahl steigt mit zunehmender Temperatur leicht an.

Der dielektrische Verlustfaktor $\tan \delta$ ist ein Maß für die Energie, die im Dielektrikum durch Umsatz in Wärme verloren geht. Bei Fortron PPS betragen die Werte $0,2 \cdot 10^{-3}$ bis $1,0 \cdot 10^{-3}$ bei 10 kHz und $1,0 \cdot 10^{-3}$ bis $2,0 \cdot 10^{-3}$ bei 1 MHz (Abb. 3.19). Dieser Faktor wird von Frequenz und Temperatur beeinflusst.

3.4.3 Durchschlagfestigkeit

Die Durchschlagfestigkeit beschreibt das Verhalten bei kurzzeitiger Beanspruchung durch hohe elektrische Wechselspannungen. Sie ist kein Maß für die zulässige Dauerbeanspruchung. Bei der Prüfung auf Durchschlagfestigkeit wird die Spannung ($f = 50$ Hz) stetig mit einer Steigerungsrate von 1 kV/s bis zum Durchschlag erhöht (IEC 60243-1). Bei Fortron PPS betragen die Werte für die Durchschlagfestigkeit 25 bis 28 kV/mm.

3.5 Oberflächeneigenschaften

3.5.1 Härte

Fortron PPS ist ein hartes Material mit einer Kugeldruckhärte (ISO 2039, Teil 1) von 190 für unverstärkte Typen und von ca. 320 bis 460 für gefüllte und verstärkte Typen. Die Rockwellhärte (ASTM D 785)

beträgt 93 für unverstärkte Typen und 100 für Fortron 1140L4 und 6165A4.

3.5.2 Tribologische Eigenschaften

Gleiteigenschaften sind im Zusammenhang mit tribologischen Systemen zu betrachten. Dementsprechend hängt die dynamische Reibungszahl von Gleitpartner, Flächenpressung, Gleitgeschwindigkeit und von der Messanordnung ab. Bei 23 °C und relativ hoher Flächenpressung durchgeführte Versuche nach UTI (Abb. 3.20) zur Bestimmung der dynamischen Reibungszahl zwischen verschiedenen Fortron-Typen und Stahl ergaben einen Mittelwert von 0,4. Die Gleit- und Abriebeigenschaften sind in Tabelle 3.4 zusammengestellt.

Bei der Entwicklung abriebbeanspruchter Formteile aus Fortron PPS ist das Abriebverhalten unter simulierten Gebrauchsbedingungen zu prüfen. Fortron-Typen mit verbesserten Gleit- und Abriebeigenschaften sind 6341L4, 1342L4, 6345L4 und 6450A6.

Methode:

UTI-Test (Prüfung auf dynamische Reibung und Verschleiß)

Geschwindigkeit: 10 mm/s

Amplitude: 5 mm

Frequenz: 1 Hz

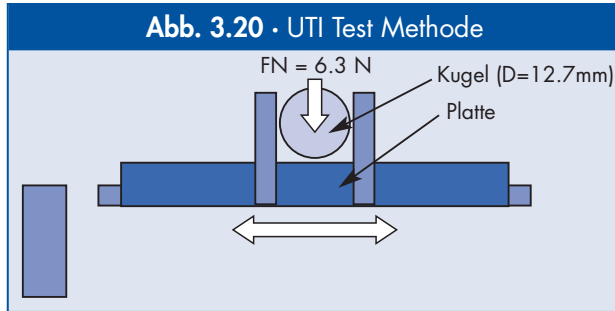
Prüfdauer: 8 h pro Prüfkörper

Anzahl der Prüfkörper: 5 für jedes Material

Tabelle 3.4 · Reibung und Verschleiß von Fortron PPS auf Stahl

Stahlkugel	Fortron PPS Platte	Reibungskoeffizient	Abrieb Kugel*	Abrieb Platte*
100 Cr6	6165A6	0,5	(1)**	10
100 Cr6	1140L4	0,6	41***	90***
100 Cr6	1342L4	0,3	0,2	4
100 Cr6	4184L4	0,5	(1)**	6
Fortron PPS Kugel	Fortron PPS Platte			
6165A6	6165A4	0,3	22	71
1140L4	6165A4	0,4***	133***	59***
1342L4	6165A4	0,3***	41	15
4184L4	6165A4	0,4	4	79***

* Gemessen als $\text{mm}^2 \times 10^{-3}$
 ** Abrieb nicht messbar
 *** Diese Werte waren durch eine größere Streubreite gekennzeichnet.



Literatur

1. Cebe, P., Polym. Polym. Comp. 3 (1995) 239
2. Modern Plastics Encyclopedia '95, Ausgabe Mitte November 1994 (71) 12, New York, S. B-150

4. Umgebungseinflüsse

4.1 Wärmealterung

Fortron PPS ist besonders beständig gegen thermisch-oxidativen Abbau. Aus diesem Material hergestellte Fertigteile sind daher hohen Wärmebeanspruchungen gewachsen. Der zeitliche Ablauf der Wärmealterung wird durch die in der Praxis herrschenden Umgebungsbedingungen beeinflusst. Daher sind Wärmebeständigkeit und Dauergebrauchstemperatur im Zusammenhang mit den jeweiligen Anforderungen zu sehen. Wie die Erfahrung gezeigt hat, hält Fortron PPS Gebrauchstemperaturen bis 240 °C längerfristig stand.

Abb. 4.1 und 4.2 zeigen die Veränderung der Zugfestigkeit und des Zug-E-Moduls von Fortron 1140L4 in heißer Luft in Abhängigkeit von der Zeit.¹ Die Probekörper waren während der Beanspruchungsdauer mechanisch unbelastet.

Abb. 4.1 · Wärmealterungsversuch: Zugfestigkeit von Fortron 1140L4 schwarz

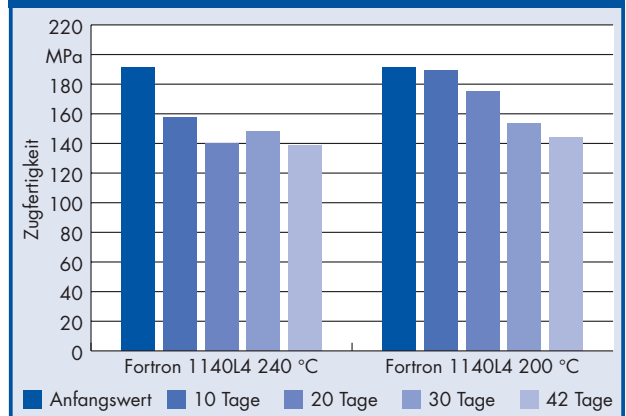
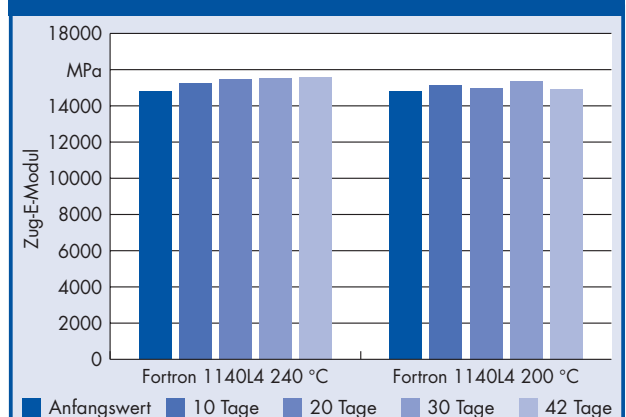


Abb. 4.2 · Wärmealterungsversuch: Zug-E-Modul von Fortron 1140L4 schwarz



4.2 Wasseraufnahme

Fortron PPS ist nicht hygroskopisch. Bei der Lagerung in Wasser (23 °C, 24 h) beträgt die Wasseraufnahme lediglich 0,02% (ASTM D-570). Dieser Wert liegt weit unter den mit vielen anderen Polymeren erzielten Ergebnissen. Im Gegensatz z.B. zu den Polyamiden dehnt sich Fortron PPS nicht aus, wenn es mit Wasser in Berührung kommt. Bei Lagerung in trockener Luft wird die aufgenommene Feuchtigkeit wieder abgegeben. Die aufgenommene Luftfeuchtigkeit bewirkt keinen molekularen Abbau.

Die Hydrolysebeständigkeit von Fortron PPS ist exzellent. Bei einer Lagerung von über 1000 h bei 1 bar in warmem Wasser (95 °C) sind nur geringe oder überhaupt keine Veränderungen der Zugfestigkeit und des Zug-E-Moduls zu beobachten.

Glasfaserverstärkte Typen zeigen reduzierte mechanische Eigenschaften, wenn sie mehrere Monate bei einer Temperatur von 95 °C in Wasser gelagert werden. Dies ist, wie bei vielen anderen glasfaserverstärkten Kunststoffen, durch die Beeinträchtigung der Glasfaserhaftung und der damit verbundenen Kapillarkapillareffekte an den Grenzflächen Glasfaser/Polymer zu erklären.²

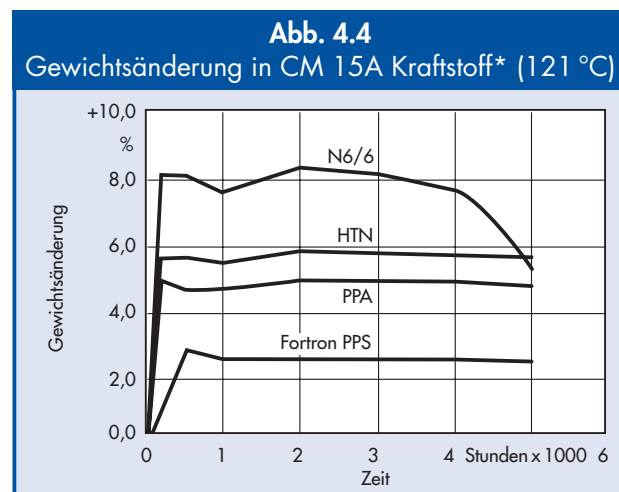
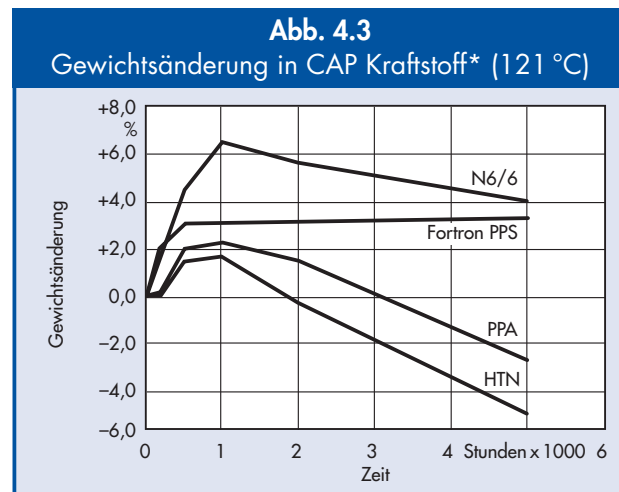
4.3 Chemikalienbeständigkeit

Die Chemikalienbeständigkeit von Fortron PPS ist ausgezeichnet. Es löst sich in keinem bekannten organischen Lösemittel unter 200 °C und wird auch über einen längeren Zeitraum bei erhöhten Temperaturen durch Säuren, Basen, Alkohole, Bleichmittel und viele andere Chemikalien nicht angegriffen.² Eine Verschlechterung seiner mechanischen Eigenschaften ist jedoch zu beobachten, wenn es mit konzentrierter Salpetersäure und anderen oxidierenden Säuren in Berührung kommt.

Fortron PPS ist durch eine hervorragende Beständigkeit gegen alle flüssigen und gasförmigen Kraftstoffe einschließlich Methanol und Ethanol gekennzeichnet und hält heißen Motorenölen, Fetten, Frostschutzmitteln und anderen in Automobilen verwendeten Flüssigkeiten stand. Fortron PPS eignet sich wegen seiner Stabilität bei langdauerndem Kontakt mit Benzinformulierungen jeder Octanzahl und mit unter-

schiedlichen Gehalten an Schwefel, Sauerstoff, Verunreinigungen und sonstigen Additiven besonders gut für Bauteile, die mit Kraftstoffen in Berührung kommen.

Bei einem 5000 Stunden dauernden Lagerungsversuch in verschiedenen Testkraftstoffen (entsprechend dem SAE1681-Protokoll) wurde die Alterung häufig in Kraftstoffsystemen verwendeter Kunststoffe verglichen. Bei dieser Studie zeigte sich, dass Fortron 1140L4 bei einer Kraftstofftemperatur von 121 °C – einer für den Motorraum von Kraftfahrzeugen repräsentativen Temperatur – im Vergleich zu Nylon 6/6,



* CAP-Kraftstoff enthält Kraftstoff C (50% Isooctan und Toluol), aggressives Wasser und Peroxid (Sauer gas). CM15A-Kraftstoff enthält 85% Kraftstoff C, 15% Methanol und aggressives Wasser.

Tabelle 4.1 · Änderung der mechanischen Eigenschaften von Fortron PPS nach UV-Bestrahlung in einem Atlas Weather-O-meter*

Zugversuch nach ASTM D 638				ASTM D 256	
Fortron Typ	Belichtungs-dauer (h)	Zugfestigkeit [MPa]	Bruchdehnung [%]	Zug-E-Modul [MPa]	Kerbschlagzähigkeit (Izod) [J/m]
1140L4 natur	0	181	1,7	15200	85
	200	181	1,7	15200	85
	500	179	1,6	15200	85
	1000	177	1,7	14500	85
	2000	176	1,6	14500	85
1140L4 schwarz	0	176	1,7	13800	80
	200	176	1,7	14500	75
	500	178	1,6	15200	80
	1000	176	1,7	14500	80
	2000	175	1,6	15200	80

* Prüfung an gespritzten Probekörpern, Apparatur nach ASTM G 23, Methode 3, ohne Wassersprühung, Schwarzstandard-Temperatur 60 °C, Bestrahlungsdichte 0,35 W/m² · nm, 30% relative Luftfeuchte, unter Xenon-Bogenlampe nach ASTM G 26. Prüfung der mechanischen Eigenschaften nach ASTM-Normen. Eine Erosion der Probekörper war in keinem Fall sichtbar.



Hochtemperatur-Nylon (HTN) und Polyphthalamid (PPA) die geringsten Gewichts-, Maß- und Zugfestigkeitsveränderungen aufwies. Dies gilt sogar für die aggressiveren Kraftstoffe.

In CAP-Kraftstoff war bei Nylon 6/6 zunächst die größte Gewichtszunahme zu beobachten. Dann fiel das Gewicht nach 5000 h um ca. 2,5% ab. Bei PPA und HTN ergab sich ein ähnlicher Verlauf, der zu einem 3%igen bzw. 5%igen Gewichtsverlust bei Beendigung der Studie führte. Nur bei linearem PPS war nach einer anfänglichen Gewichtszunahme keine Veränderung zu verzeichnen (Abb. 4.3).

Auch in CM15A-Kraftstoff nahm das Gewicht von Nylon 6/6 am stärksten zu (Abb. 4.4). Andere Polymere zeigten nach einer anfänglichen Gewichtserhöhung ein konstantes Gewicht, wobei die Gewichtszunahme bei PPS am geringsten ausfiel.

Bei HTN und Nylon 6/6 waren die größten Maßänderungen zu beobachten. Bei PPA und PPS blieben die Abmessungen nach einer anfänglichen Erhöhung konstant.

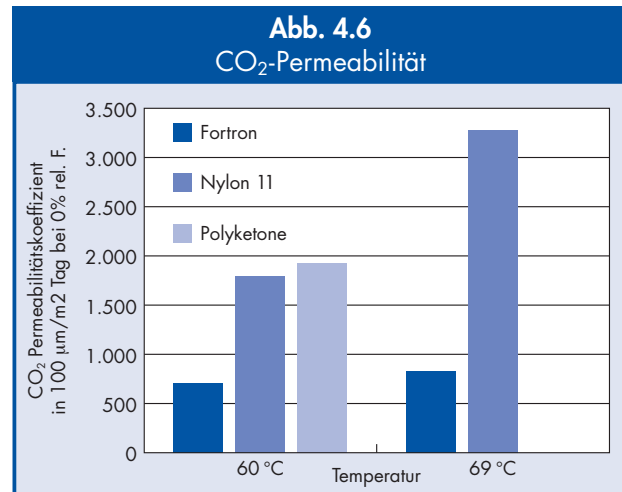
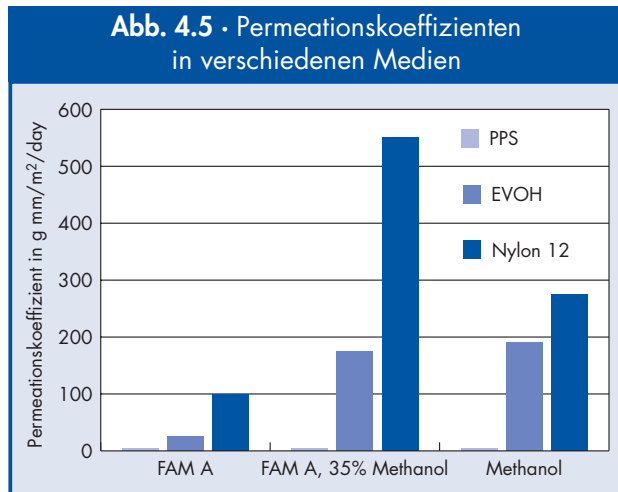
Bei PPS blieb die ursprüngliche Zugfestigkeit am Ende des Versuchs zu 80% erhalten, während die Werte bei den anderen Materialien auf 30% bis 40% ihrer Ausgangswerte abgesunken waren.

4.4 Beständigkeit gegen UV-Licht

Fortron PPS weist eine gute Beständigkeit gegen Ultraviolett-Strahlung auf. Versuche an unpigmentierten und pigmentierten, spritzgegossenen Probekörpern mit einem Labor-Weather-O-meter ergaben nach 2000-stündiger Belichtung nur geringe Veränderungen von Zugfestigkeit, Kerbschlagzähigkeit und anderen mechanischen Eigenschaften (Tabelle 4.1).

4.5 Permeabilität

Fortron PPS ist im Vergleich zu anderen Materialien für Gase, Kraftstoffe und andere Flüssigkeiten relativ undurchlässig (Abb. 4.5 und 4.6). Bei ungefüllten Typen sind die Durchlässigkeitswerte am niedrigsten. Aufgrund seiner geringen Durchlässigkeit in Kombination mit einer hohen Chemikalienbeständigkeit ist Fortron PPS für ein breites Spektrum von Anwen-



dungen bestens geeignet, z.B. im Kraftfahrzeugbau, in der industriellen Verfahrenstechnik, der Chemie, der Mineralölwirtschaft, der Luftfahrt und auch für Anwendungen in der Medizintechnik, die alle eine starke Gasbarriere erfordern.

Literatur

1. Kohlhepp, K., „High-Performance Plastic for Difficult Components“, Kunststoffplast Europe, Bd. 85, Heft Nr. 8 (deutsche Fassung: Kunststoffe 85 (1995) 8, S. 1095 - 1100)
2. Fortron Chemical Resistance Guide Version 3.0, www.Ticona.com

5. Spezifikationen und Normen

Fortron PPS hat sich in vielen Industriezweigen bewährt, die besondere Anforderungen stellen, wie z.B. Automobilbau, Industrie-, Elektroanwendungen, Luft- und Raumfahrttechnologie, sowie im Gesundheitswesen, Lebensmittel- und Trinkwassersektor. Im Laufe der Jahre wurde es nach einer Vielzahl von Spezifikationen und Normen für diese Anwendungen zertifiziert.

5.1 Automobilspezifikationen

Fortron PPS wird international vermarktet und muss daher weltweit allen einschlägigen Spezifikationen der Automobilindustrie in Bezug auf mechanische, elektrische, thermische und andere Eigenschaften sowie Brennbarkeit entsprechen. Als typische Beispiele für Spezifikationen der Automobilindustrie, denen Fortron PPS gerecht wird, seien erwähnt:

- Weltweit gültige Ford-ISO-Spezifikationen:
 - WSL-M4D 807-A für Fortron 1140L4 und 1140L6
 - WSF-M4D 803-A2 für Fortron 6165A4 und 6165A6
- Chrysler: MS-DB 570 CPN Nr. 3502 für Fortron 1140L4, 4184L4 und 6165A4
- General Motors:
 - GMP.PPS.001 für Fortron 1140L4 und 1140L6
 - GMP.PPS.002 für Fortron 6165A4 und 6165A6
 - GMP.PPS.004 für Fortron 4184L4 und 4184L6

Fortron-Produkte sind im IMDS (International Material Data System), der Materialdatenbank der Automobilindustrie, enthalten. Das Internet basierte System (www.mdssystem.com) soll der Automobilindustrie und ihren Partnern Informationen über die Inhaltsstoffe der eingesetzten Materialien geben, um so die Wiederverwertung der Alautos zu ermöglichen.

Zudem entsprechen unsere Produkte der GADSL (Global Automotive Declarable Substance List), welche die entsprechenden individuellen Normen der Automobilhersteller ersetzt. Sie ist über folgenden link verfügbar: <http://www.gadsl.org>.

5.2 Trinkwasser-Zulassungen

Fortron® PPS Typen sowie Farbkonzentrate auf Basis von Fortron sind prinzipiell für den Einsatz im Trinkwasserbereich geeignet. In verschiedenen Ländern gibt es unterschiedliche Anmeldeverfahren, wobei das Anmeldeprozedere bei allen Ländern nach dem gleichen Prinzip erfolgt: Der Endkunde schickt sein Produkt an das Prüfinstitut, welches dann – auf Anfrage – vom Materialhersteller (im speziellen Ticona) die entsprechende Rezeptur erhält und die Prüfung durchführt. Schließlich wird der Endkunde über die bestandene Prüfung informiert und bekommt ein entsprechendes Prüfzertifikat vom Prüfinstitut.

In einigen Ländern hat Ticona die entsprechenden Untersuchungen für Standardtypen an Testkörpern durchgeführt und bestanden, um dem Endkunden die größtmögliche Sicherheit zu geben, dass sein Produkt dann ebenfalls diese Prüfung besteht. Das Vorliegen eines solchen „Materialprüfzertifikates“ entbindet jedoch nicht von der Prüfung am Endprodukt.

Die wichtigsten Anmeldeverfahren der EU-Länder UK, F, D, NL und den USA unterscheiden sich in einigen Details, die bei den Materialtests zu Zulassungen zu berücksichtigen sind:

UK – WRAS (Water Regulations Advisory Scheme)

Im britischen WRAS müssen alle Materialien gelistet sein, damit ein Test überhaupt durchgeführt werden kann: verschiedene Fortron® PPS sind gelistet, und für den Kontakt mit Trinkwasser bis zu einer Temperatur von 85 °C „vorgetestet“ – diese können auf der Website von WRAS: <http://www.wras.co.uk/> abgerufen werden.

DE – KTW (Kunststoffe im Trinkwasserbereich)

In Deutschland absolvierte der Fortron-Typ 1140L4 schwarz erfolgreich die KTW-Tests, die an Platten durchgeführt wurden. Die Platten wurden sowohl dem Kalt- als auch dem Heißwasser Test bei 90 °C unterzogen. Das uns hierzu vorliegende KTW-Zertifikat ist auf Anfrage erhältlich.

FR – ACS (Attestation Conformite Sanitaire)

Die Fortron® PPS-Typen 1140L4 und 1140L6 PPS werden z.Z. gemäß den französischen ACS An-

forderungen an Prüfplatten getestet (Attestation Conformite Sanitaire)

Für glasfaserverstärkte Kunststoffe muss die entsprechende Glasfaser auf der französischen Positivliste für Glasfasern stehen, damit das Endprodukt getestet werden kann; die bei glasfaserverstärkten Fortron® PPS Typen eingesetzte Faser ist gelistet.

USA – NSF (National Sanitary Foundation)

In den USA wurden die Fortron® PPS Typen 1140L4 und 1140L6 PPS gemäß den Anforderungen des NSF Standards 61 erfolgreich getestet und sind somit für Anwendungen mit Trinkwasserkontakt geeignet.

Wichtig: Die Trinkwasser-Regularien decken Produkte des Trinkwasserversorgungssystems vom öffentlichen Wasserspeicher über das Rohrsystem, Hausinstallationen bis zum Ende des Wasserhahnes ab. Hat das Wasser diesen verlassen, greifen für Produkte, die als Bedarfsgegenstand mit dem Wasser in Berührung kommen, ausschließlich die Lebensmittel-Bedarfsgegenstände-Regularien (s.a. Kap. 5.3.).

5.3 Produkte für Lebensmittelkontakt-Anwendungen/Bedarfsgegenstände

In der EU ist die Voraussetzung für eine Anwendung von Kunststoffen im Lebensmittelkontakt die Listung der eingesetzten Ausgangssubstanzen in der deutschen Bedarfsgegenständeverordnung bzw. entsprechenden nationalen Verordnungen wie z.B. den Empfehlungen des BfR (Bundesinstitut für Risikobewertung, früher: BgVV, davor: BGA).

Die zur Herstellung des Fortron-Typs 1140L4 verwendeten Monomere und sonstigen Ausgangsstoffe sind in den EU-Richtlinien 2002/72/EG und deren 3 Novellierungen 2004/1/EG, 2004/19/EG, 2005/79/EG gelistet. Diese Listungen werden mit der deutschen Bedarfsgegenständeverordnung vom 23.12.1997 in nationales Recht umgesetzt (zuletzt geändert am 13.07.2005). Weisen dort gelistete Substanzen Beschränkungen auf, so sind diese am Fertigteil vom Hersteller oder Verkäufer zu prüfen. Besteht der Kunststoff aus gelisteten Substanzen, die keiner individuellen Beschränkung unterliegen, so ist die Globalmigration gemäß EU-Richtlinie (Migrations-RL 82/711) am Fertigteil zu prüfen.

Für Fortron® PPS Polymere gilt eine Beschränkung für 1,4-Dichlorbenzol: SML = 12 mg/kg Lebensmittel.

Für die USA ist die Voraussetzung für die Anwendung im wiederholtem Lebensmittelkontakt („repeated use“) durch die Food Contact Substance Notification (FCN) Nummer 40 „Polyphenylene sulfide polymers (CAS Reg. No. 25212-74-2 or 26125-40-6)“ der Food and Drug Administration (FDA) gegeben (s.a.: <http://www.cfsan.fda.gov>).

5.4. Produkte für medizinische und pharmazeutische Anwendungen

Die Fortron® PPS MT9XXX-Reihe ist die erste PPS-Linie, die speziell für die Herstellung von medizinischen und pharmazeutischen Produkten entwickelt wurde.

Die Typen dieser Produktlinie sind entsprechend den Anforderungen der US Pharmacopeia Class VI auf Bioverträglichkeit getestet worden. Des Weiteren sind die Fortron® PPS MT-Typen in einem Drug Master File und einem Device Master File der FDA gelistet, welche für Zulassungen in den USA notwendig sind.

6. Allgemeine Verarbeitungshinweise

Fortron PPS ist vor allem als Spritzgussmaterial bekannt. Es kann auch mit einer Vielzahl anderer Verfahren verarbeitet werden; dazu gehören die Extrusion von Folien, Profilen, Hohl- und Vollstäben, Filamenten und Fasern sowie Blasformen, Thermoformen und die Herstellung von Verbundmaterialien. In den Abschnitten 7, 8, 9 und 10 werden die einzelnen Verfahren näher beschrieben, während dieser Abschnitt sich mit allgemeinen Aspekten befasst, die für alle Verarbeitungsmethoden relevant sind.

6.1 Sicherheit

Fortron PPS ist ein relativ inertes Material, so dass im Verarbeitungsumfeld kaum Sicherheitsfragen auftreten, wenn im Zusammenhang mit der maximalen Schmelzetemperatur und der Be- und Entlüftung einige einfache Vorkehrungen getroffen werden.

6.1.1 Thermische Beanspruchung

Beim Verarbeiten von Fortron PPS sollte die Temperatur der Schmelze (unter Berücksichtigung der zulässigen Verweilzeiten im Zylinder) 370 °C nicht übersteigen. Bei überhöhter thermischer Beanspruchung kommt es zum Abbau des Materials und zur Bildung von Gasen, zum Beispiel verschiedener schwefelhaltiger Verbindungen. Wird thermische Zersetzung im Zylinder vermutet oder festgestellt, ist das Material abzupumpen und in Wasser abzukühlen, um die Geruchsbelästigung auf ein Minimum einzuschränken. Weitere Angaben über die sichere Handhabung und Verarbeitung des Materials sind dem Sicherheitsdatenblatt zu entnehmen.

6.1.2 Geruchsbildung bei der Verarbeitung

Aufgrund der vorhandenen Rückstände niedermolekularer organischer Substanzen, einschließlich verschiedener schwefelhaltiger Verbindungen, können bei der Verarbeitung von PPS unter gewissen Bedingungen unangenehme Gerüche entstehen. Laboranalysen und Untersuchungen in Produktionsbetrieben haben gezeigt, dass das an den Produktionseinrichtungen oder im Verarbeitungsbereich beschäftigte Personal nicht mit potenziell gesundheitsgefährdenden Abgasen in Berührung kommt, wenn Fortron PPS unter den empfohlenen Bedingungen verarbeitet wird.

Zur Überwachung der Arbeitshygiene wurden Messungen der bei der Verarbeitung von Fortron PPS entstehenden Abgase durchgeführt. Dabei lag die Konzentration organischer Gase stets unter der Nachweisgrenze der verwendeten Analyseverfahren und war weit niedriger als die gesetzlich vorgeschriebenen bzw. empfohlenen maximalen Arbeitsplatzkonzentrationen.

Zur Vermeidung von Geruchsbildung sind beim Spritzgießen, Extrudieren und anderen Verfahren angemessene Be- und Entlüftungen des Arbeitsraums zu empfehlen. Weitere Angaben zur Sicherheit und zum Gesundheitsschutz sind dem Sicherheitsdatenblatt zu entnehmen.

6.1.3 Brandschutzmaßnahmen

Fortron PPS ist inhärent flammwidrig. Dennoch sollten die Verarbeiter bei Lagerung, Verarbeitung und Konfektionierung Maßnahmen des vorbeugenden Brandschutzes treffen, insbesondere die in den einzelnen Ländern gesetzlich vorgeschriebenen Maßnahmen. Für bestimmte Endprodukte und Anwendungsbereiche können besondere brandtechnische Anforderungen bestehen. Es liegt in der Verantwortung des Verarbeiters, diese festzustellen und einzuhalten. Sicherheitsdatenblätter für die einzelnen Fortron-Typen stehen zur Verfügung.

6.2 Inbetriebnahme und Außerbetriebsetzung

Bei der Inbetriebnahme sollten sich die bei der Verarbeitung verwendeten Maschinen zunächst 30 Minuten lang bei den empfohlenen Temperaturen stabilisieren. Beim Spritzgießen ist die Maschine mit einem geeigneten Material zu reinigen (siehe Abschnitt 7.4). Anschließend wird Fortron PPS zugegeben, bis nur noch dieses Material aus der Düse austritt. Die Temperatur der Schmelze ist mit einem Pyrometer zu prüfen, damit gewährleistet ist, dass sie sich innerhalb des empfohlenen Bereichs befindet. Wenn eine zur Verarbeitung von Fortron PPS eingesetzte Maschine außer Betrieb genommen wird, muss die Betriebstemperatur bis zur Reinigung mit einem geeigneten Material aufrechterhalten werden.

6.3 Anmerkungen zum Trocknen

Fortron PPS ist nicht hygroskopisch, so dass es kaum zu einer feuchtigkeitsbedingten Zersetzung kommen kann. Dennoch sollte bei der Verarbeitung trockenes Material eingesetzt werden, weil auch ein geringer Wassergehalt zur Bildung von Lufteinschlüssen und Schlieren in Angussnähe führen kann, was sowohl die Funktion als auch das Aussehen des Formteils beeinträchtigen kann. Unverstärkte Typen (Tabelle 2.1) sind bei 120° C 1-2 Stunden, verstärkte Typen (Tabelle 2.2) bei 140 °C ≥ 4 Stunden zu trocknen. Bei manchen Spezialtypen können schonendere Trocknungsbedingungen erforderlich sein. Eine Trocknung von Fortron PPS in einem Trockenluft-Trockner wird empfohlen.

6.4 Maschinenreinigung

6.4.1 Übergang von einem anderen Thermoplasten auf Fortron PPS

Da viele Kunststoffe bei den Verarbeitungstemperaturen von PPS instabil sind, müssen sie vor dem Spritzgießen von PPS aus der Maschine entfernt werden. Zum Sauberfahren bieten sich unter anderem Polyethylen hoher Dichte (HDPE), Polyamid (PA) und vernetztes Polymethylmethacrylat (PMMA) an. Diese Materialien werden mit den entsprechenden Massetemperaturen bei zurückgefahrenem Zylinder wiederholt ins Freie gespritzt.

Sobald das vorherige Fremdmaterial völlig verdrängt ist, wird der Zylinder auf das für Fortron PPS empfohlene Temperaturprofil eingestellt. Dann wird Fortron in die Spritzgießmaschine gegeben und damit das Reinigungsmaterial verdrängt. Erst nach dem vollständigen Verdrängen des Reinigungsmaterials kann mit dem Spritzgießen der Formteile begonnen werden.

6.4.2 Übergang von Fortron auf einen anderen Thermoplasten

Sobald die Schmelze frei von PPS-Spuren ist, werden die Zylindertemperaturen auf die für das Reinigungsmaterial gültigen Temperaturen abgesenkt. Dabei wird die Schmelze weiterhin ins Freie gespritzt. Sobald diese Temperaturen erreicht sind, ist das Sauberfahren der Maschine abgeschlossen.

7. Spritzgießen

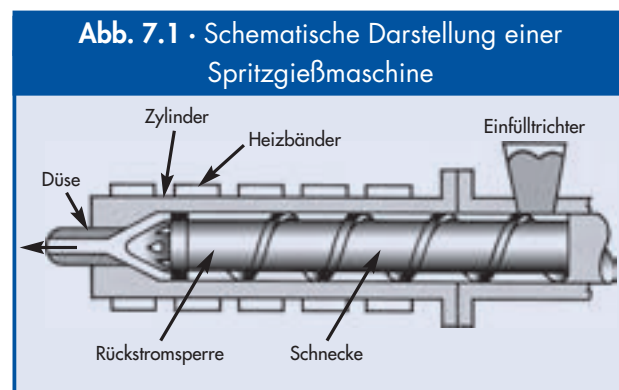
Fortron PPS kann in herkömmlichen Spritzgießmaschinen verarbeitet werden. Das Vortrocknen des Materials wird trotz der geringen Wasseraufnahme empfohlen (siehe Abschnitt 6.3).

Damit die hergestellten Formteile auch bei hohen Anwendungstemperaturen dimensionsstabil bleiben, sollte die empfohlene Werkzeugtemperatur eingehalten werden. Zur Kristallisation von Fortron PPS ist eine gemessene Werkzeugoberflächentemperatur von mindestens 140 °C erforderlich. Wird ein Formteil mit zu geringem Kristallitanteil hergestellt und in der Praxis bei einer höheren Anwendungstemperatur eingesetzt, kommt es zur Nachkristallisation und Nachschwindung (siehe Kap.11.1). Formteile, die mit Werkzeugtemperaturen < 140 °C hergestellt werden, können eine raue Oberfläche aufweisen. Eventuell freiliegende Füll- und Verstärkungsstoffe können dann durch Chemikalien angegriffen werden.

7.1 Anmerkungen zur Spritzgießmaschine

Bei der Herstellung hochwertiger sowie maßlich eng tolerierter Formteile sind präzise arbeitende Spritzgießmaschinen erforderlich. Eine genaue Kenntnis des Formgebungsverfahrens und der verwendeten Spritzgießmaschine ist daher von großer Bedeutung. Abb. 7.1 zeigt eine schematische Darstellung einer Spritzgießmaschine.

Die Werkzeugform wird durch eine Kniehebelverriegelung oder eine hydraulische Schließeinheit verschlossen. Mit Fortron PPS muss die Schließkraft dieser Vorrichtung bei einer typischen Spritzgießmaschine bei 5 bis 6 kN/cm² projizierte Fläche liegen (einschließlich Angusskanal).



7.2 Werkzeugauslegung

7.2.1 Materialien für Werkzeug, Schnecke und Zylinder

Wegen der Verschleißwirkung von Glasfaser- und Mineralfüllstoffen von Fortron-Typen sind Werkzeuge, Schnecken und Zylinder aus geeigneten Stahl-

sorten einzusetzen. Für Vorserienwerkzeuge und Werkzeuge für Kleinserien (Schusszahlen < 50 000) sind die in Tabelle 7.1 aufgeführten Stähle ausreichend. Bei höheren Produktionsstückzahlen benötigt man zur Verlängerung der Standzeit der Kavität und zur Einhaltung enger Toleranzen Stähle der Oberflächenhärte > 56 HRc (Tabelle 7.2). Schnecken aus durchhärtenden Stählen oder Hartmetallen sowie Zylinder

Tabelle 7.1 · Werkzeugstähle zur Verwendung mit Fortron PPS (unter 50 000 Spritzgusszyklen)

Stahlart	Bezeichnung nach DIN 17 006	Werkstoff Nr.	Oberflächen-einbauhärte (HRc)	Bemerkungen
Einsatzstähle	X 6CrMo4	1.2341	55	Nicht korrosionsbeständig, geringe
	21 MnCr5	1.2162	55	Maßhaltigkeit
Durchhärtende Stähle	X 210Cr 12	1.2080*	54	Nicht korrosionsbeständig,
	X 38CrMoV 51	1.2343*	53	sehr gute Maßhaltigkeit,
	X 40CrMoV 51	1.2344*	55	hohe Druckfestigkeit
	X 45NiCrMo4	1.2767*	42	
	90 MnCrV 8	1.2842	43	
Korrosionsbest. Stähle	X 42CrMO 13	1.2083	51	Noch unzureichende
	X 36CrMo 17	1.2316	46	Korrosionsbeständigkeit und Härte

* Stahl auch in ESU-Ausführungen (ESU = Elektro-Schlacke-Umschmelzverfahren) erhältlich, mit einer homogeneren Struktur und einer höheren Korrosionsbeständigkeit und Verschleißfestigkeit.

Tabelle 7.2 · Werkzeugstähle zur Verwendung mit Fortron PPS (über 50 000 Spritzgusszyklen)

Stahlart	Bezeichnung n. DIN 17 006 oder Warenzeichen	Werkstoff Nr.	Oberflächen-einbauhärte (HRc)	Bemerkungen
Durchhärtende Stähle	X 155CrVMo 121	1.2379	58	Polierbar, aber nicht korrosionsbest.
	Böhler "M 340"	—	>56	Zusätzlich korrosionsbeständig
Martensit-aushärtende Stähle (Gruppe PM-Stähle)	Uddeholm "Elmax"	—	57	Hohe Verschleiß- und Korrosionsfestigkeit
	Böhler "K 190"	—	60-63	Hohe Verschl. u. Korrosionsfestigkeit
	Böhler "M 390"	—	56-62	Hohe Verschl. u. Korrosionsfestigkeit
	Zapp CPM T420V	—	57	Sehr gut polierbar
	Zapp CPM 3 V	—	57-63	Zusätzlich hohe Zähigkeit, nicht korrosionsfest
	Zapp CPM 9 V	—	57-67	Zusätzlich hohe Zähigkeit, nicht korrosionsfest
	Hartstofflegierungen	Ferro-Titanit S	—	66-70
WST "G25"		—	64-66	Extrem hoch verschleißfest und korrosionsbeständig

aus Bimetall-Werkstoffen haben sich bewährt. Unsachgemäße Materialkombinationen für Schnecke und Zylinder können zu vorzeitigem Verschleiß führen. Daher wird empfohlen, beim Hersteller der Spritzgießmaschinen Informationen über kompatible Materialien einzuholen. Werkzeugstähle der Härte < 56 HRC können durch eine Oberflächenbeschichtung gegen Verschleiß geschützt werden. Die bei solchen Verfahren verwendeten Beschichtungstemperaturen dürfen in keinem Fall die Anlasstemperatur des Stahls erreichen. PVD-Beschichtungen (Physical Vapor Deposition), wie z.B. Chromnitrid (CrN) und Titan-Carbonitrid (TiCN), bieten einen besseren Schutz gegen Verschleiß als Titanitrid (TiN). Ausgewählte chem. Nickel-Beschichtungen sind ebenfalls möglich. Besonders verschleißfeste und korrosionsbeständige Hartstoff-Legierungen wie Ferro-Titanit S können für Einsätze im Anschnittbereich verwendet werden, wo größere Scherkräfte auftreten und ein stärkerer Verschleiß zu beobachten ist.

7.2.2 Entformungsschräge

Fortron PPS ist im Allgemeinen durch eine relativ große Steifheit und eine geringe Dehnung gekennzeichnet. Daher ist zum Entformen der Formteile eine

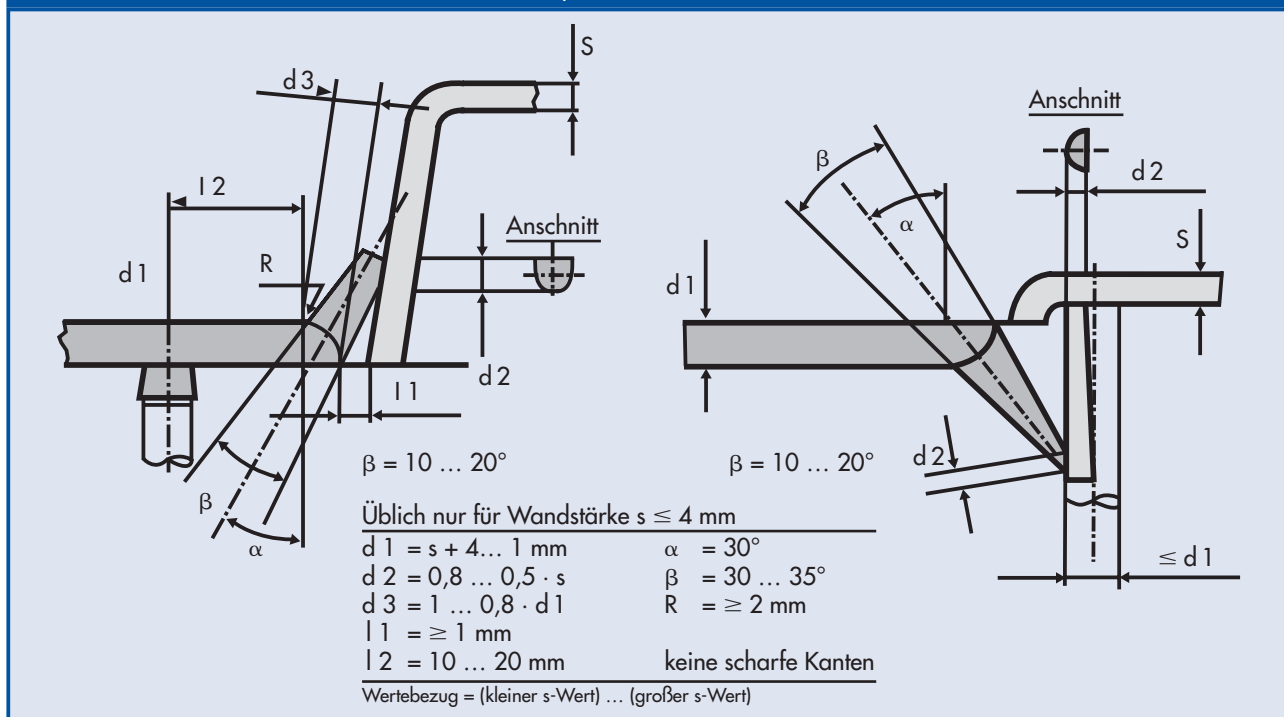
Entformungsschräge erforderlich. Zur Gestaltung einer sachgemäßen Entformungsschräge sind folgende Empfehlungen zu beachten:

- Für Formteilbereiche, die senkrecht zur Trennebene stehen, sollte eine Schräge von $\geq 1^\circ$ vorgesehen werden.
- Bei geringen Formteilhöhen mit kurzen Entformungswegen und bei Werkzeugoberflächen mit einer Strichpolitur in Entformungsrichtung ist eine Schräge von $< 1^\circ$ möglich. Wird eine geringere Schräge verwendet, so können zusätzliche Auswerferstifte erforderlich werden, um die Entformung zu erleichtern.
- Bei strukturierten Werkzeugoberflächen ist die Entformungsschräge um mindestens 1° pro 0,01 mm Narbungstiefe zu vergrößern.

7.2.3 Hinterschnitte

Hinterschnitte bzw. Hinterschneidungen sind Formteilkonturen, die quer zur Entformungsrichtung gestaltet werden. Sie sind entweder konstruktionsbedingt unvermeidbar oder können auch für eine Bauteilfunktion erforderlich sein.

Abb. 7.3 · Beispiele für einen Tunnelanschnitt



Aufgrund der hohen Steifheit und der geringen Dehnung von Fortron sollten Hinterschnitte, die eine Entformung des Formteils behindern können, vermieden werden. Konstruktiv nicht vermeidbare Hinterschnitte können mit entsprechenden Werkzeugteilen, wie z. B. mit Schiebern oder zusammenlegbaren Kernen, realisiert werden.

Unter bestimmten Voraussetzungen der Formteilgestaltung und der Formteilentformung können allerdings Hinterschnitte mit geringen Hinterschnitthöhen realisiert werden. In diesem Fall gelten die folgenden Empfehlungen:

- Maximale Hinterschnitthöhe in Abhängigkeit von der Formteilgestaltung und dem Verstärkungsanteil im PPS (zul. Randfaserdehnung):
 - $h = 0,05$ bis $0,1$ mm für 65% glasfaser/mineralverstärktes Fortron und
 - $h = 0,1$ bis $0,2$ mm für 40% glasfaserverstärktes Fortron
- Entformungsfläche im Werkzeug mit Strichpolitur in Entformungsrichtung ausführen.
- Entformungswinkel $< 30^\circ$ an Wanddickenübergängen vorsehen, Ecken und Kanten ausrunden.

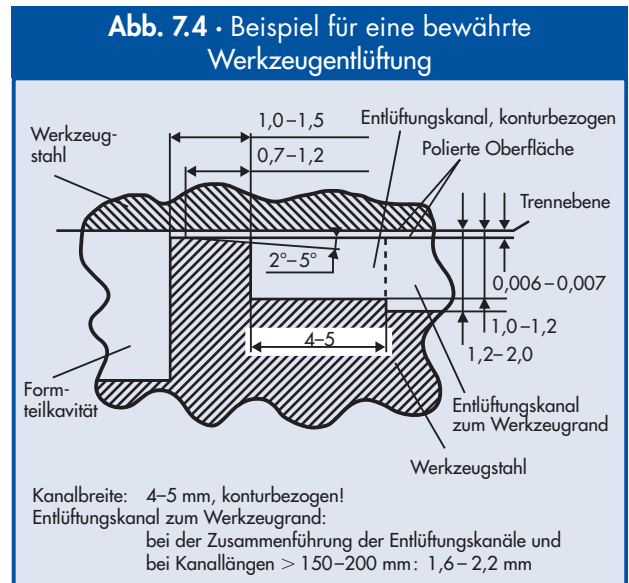
7.2.4 Angüsse und Verteiler

Angüsse und Verteiler sind so auszulegen, dass ein natürlich balanciertes Füllverhalten in jeder Kavität gewährleistet ist. Hierfür sollte die Entformungsschräge $2 - 3^\circ$ betragen. Ein Angussdurchmesser von 4 mm ist in vielen Fällen ausreichend. Anschnittbuchsen, Verteiler und Angusskanäle sollten poliert sein.

Kreisrunde Verteiler mit bis zu 3,2 mm Durchmesser (Wanddicken-abhängig) oder entsprechende trapezförmige Verteiler können für Fortron PPS verwendet werden. In Mehrfachwerkzeugen ist das Verteilersystem so einzurichten, dass eine gleichzeitige Füllung der Kavitäten erreicht und keine Kavität überfüllt wird.

7.2.5 Anschnitte

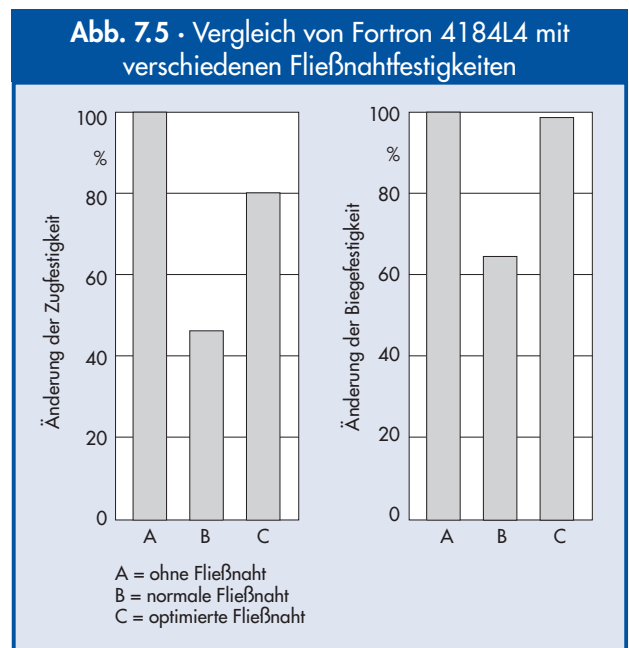
Bei Formteilen mit großen Fließweglängen und/oder geringen Wanddicken können zur Minimierung von Druck und Gratbildung mehrere Anschnitte erforderlich sein. Die Anschnitte sind so vorzusehen, dass sich die Bündenähte in den am geringsten belasteten Berei-



chen befinden. Mit einer Entlüftung im Bereich der Bündenäht kann die Bündenähtfestigkeit erhöht werden.

Anschnitte sollten möglichst groß dimensioniert sein, um Verschleiß im Anschnittbereich zu verringern.

Bei der Verarbeitung von Fortron PPS können die verschiedensten Arten von Angüssen eingesetzt werden. Die Anschnitte haben gewöhnlich einen Durchmesser von > 1 mm (Abb. 7.3). Bei Tunnelangüssen sollte ein Auswerferstift im Anschnittbereich vorge-



sehen werden, um die Entformung zu erleichtern. Generell richten sich die Anschnittdurchmesser nach der Wanddicke im Anschnittbereich. In der Praxis haben sich Durchmesser bzw. Größen der 0,5- bis 0,8fachen Wanddicke bewährt.

Rechteckanschnitte und Schirmanschnitte finden häufig bei ringförmigen, konzentrischen Einfachwerkzeugen mit kleinen bis mittleren Innendurchmessern Verwendung.

7.2.6 Entlüftung

Wird ein Werkzeug unzulänglich entlüftet, kann dies aufgrund der hohen Verdichtung der eingeschlossenen Luft zu Brennern am Formteil führen und einen korrosiven Verschleiß am Werkzeug verursachen. Entlüftungen sind in denjenigen Bereichen vorzusehen, in denen Lufteinschlüsse in der Kavität zu erwarten sind – besonders in den Bereichen, die zuletzt gefüllt werden.

Eine wirksame Entlüftung kann in vielen Fällen mit Kanälen in der Trennebene erreicht werden. Zur Vermeidung von Gratbildung sollte die Entlüftungsspalttiefe in der Stegzone 0,006 bis 0,007 mm nicht überschreiten. Die Breite der Kanäle ist von der Formteilgröße abhängig. Es wird empfohlen, die Entlüftungskanäle in der Stegzone und auf der gegenüberliegenden Fläche zu polieren (Abb. 7.4).

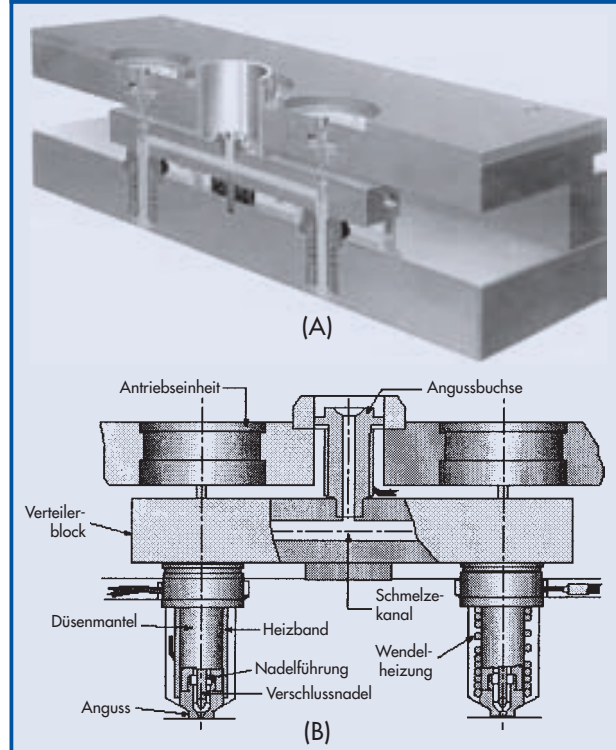
Die Entlüftung kann über entsprechend bearbeitete Auswerferstifte erfolgen oder verbessert werden. Auch ein Entlüften der Verteilerkanäle hat sich bewährt.

7.2.7 Bindenähte

Im Bindenahtbereich sind faserförmige Verstärkungstoffe weitgehend parallel zur Bindenaht ausgerichtet und tragen so zur geringen Festigkeit der Bindenähte bei. Bindenähte sollten durch eine gezielte Anschnittlage in Formteilmereichen mit geringerer Beanspruchung gelegt oder durch geeignetes Design generell vermieden werden.

Die Bindenahtfestigkeit kann mit geeigneten konstruktiven Werkzeugmaßnahmen erhöht werden, beispielsweise durch größere Wanddicken im Bindenahtbereich oder durch wirksames Entlüften. In Abb. 7.5 wird die Zugfestigkeit und Biegefestigkeit von

Abb. 7.6 · Schematische Darstellung eines Heißkanalsystems



Fortron 4184L4 mit verschiedenen Bindenahtfestigkeiten verglichen.

7.2.8 Rippen und Radien

Die Dicke einer Rippe sollte möglichst mit der angrenzenden Wanddicke übereinstimmen. Treten Einfallstellen an einer der Rippe gegenüberliegenden Wandung auf, so ist die Dicke der Rippe auf das 0,5- bis 0,7fache der angrenzenden Wanddicke zu beschränken. Rippen sollten über Radien mit der angrenzenden Wand verbunden sein. Radien von 0,1- bis 0,2-mal der Dicke der angrenzenden Wand sind üblich. Um Kerbspannung bei mechanisch höher belasteten Teilen zu verringern, sollten Radien von mindestens 0,5 mm vorgesehen werden. Ebenso sind Übergänge, Ecken und Formteilkanten mit großzügigen Radien zu versehen.

7.2.9 Toleranzen

Fortron PPS ist für die Einhaltung enger maßlicher Toleranzen geeignet. Glasfaser- und mineralverstärkte Typen ermöglichen Toleranzen unter 0,3%. Die Ein-

haltung so extrem enger Toleranzen setzt allerdings eine sachgemäße Konstruktion und einen höheren Aufwand im Werkzeugbau und in der Spritzgießverarbeitung voraus.

7.3 Heißkanalsysteme

Fortron PPS kann mit handelsüblichen Heißkanalwerkzeugen verarbeitet werden (Abb. 7.6).

Klären der Verwendungsmöglichkeiten sowie die kunststoffgerechte Gestaltung von Heißkanalsystemen (Geometrie, Auswahl der Stahlarten und der Bauteile) erfolgt gewöhnlich beim Heißkanalhersteller.

Für Heißkanalsysteme empfiehlt sich die Verwendung verschleißfester Stähle mit einer Oberflächen- und Verarbeitungshärte > 56 HRC. Der für Heißkanalbauteile (Verteilerblöcke, Angusskanäle, Düsenspitzen, Nadeln, Nadelführungsteile und damit verbundene Bauteile) verwendete Stahl kann dazu beschichtet oder oberflächenbehandelt werden (weitere Angaben zum Verschleißschutz in 7.3.1).

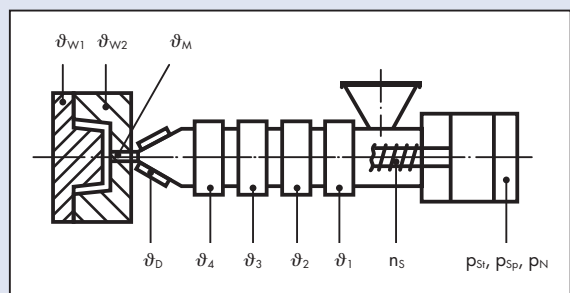
7.3.1 Heißkanaldüsen

Fortron PPS lässt sich mit verschiedenen Düsen-systemen verarbeiten. Empfohlen werden außen-beheizte Düsen, da innenbeheizte Systeme und indirekt beheizte Düsen zu keiner ausreichend gleichförmigen Erwärmung der Schmelze führen. Ferner kann bei diesen Systemen zersetztes Material in der Isolierschicht Formteilfehler verursachen, und die Isolierschicht kann bei hoch gefüllten Fortron PPS-Typen Druckabfälle auslösen. Für die Verarbeitung der verstärkten Fortron PPS-Typen werden in der Regel auswechselbare oder einschraubbare Anschnittbuchsen, Düsenspitzen, Verschlussnadeln und Nadelführungsteile empfohlen.

- Offene Düsen
 - sind wegen eines möglichen Materialausflusses oder eines kalten Pfropfens für die direkte Anbindung nicht zu empfehlen
 - der Düsenausfluss bzw. kalte Pfropfen kann durch eine Veränderung der Heißkanaldüsen-temperatur und der Landzone (Kontaktlänge zur Formplatte) beeinflusst werden
 - sind zur Verwendung mit einem Kaltkanalunterverteiler (indirekte Anbindung) nur bedingt geeignet. Mögliche kalte Pfropfen sollten in einer

- Überlaufnase im Kaltkanalverteiler aufgefangen werden
- Düsen mit Spitzen
 - sind für die direkte Anbindung geeignet
 - können bei einer guten Temperaturführung in die Düsenspitze kalte Pfropfen klein halten oder auch vermeiden
- Nadelverschlussdüsen
 - Nadelverschlussdüsen mit direkter Anbindung können für alle verstärkten Fortron PPS-Standardtypen verwendet werden
 - durch Schmelzetrennung mit der Nadel entstehen bei idealer thermischer Auslegung des Anschnittbereichs keine kalten Pfropfen
- Düsen mit seitlicher Anbindung
 - geeignet für direkte Anbindungen senkrecht zur Trennebene
 - durch die gute Temperaturführung der Düse und eine bis zur Anschnittfläche gehende Spitze können kalte Pfropfen klein gehalten oder ganz vermieden werden

Abb 7.7 · Verarbeitungsbedingungen für verstärktes und unverstärktes PPS



Zylindertemperaturen:	\varnothing_1 : 300–320 °C
	\varnothing_2 : 310–330 °C
	\varnothing_3 : 320–340 °C
	\varnothing_4 : 320–340 °C
	\varnothing_M : 320–340 °C
	\varnothing_m : 310–340 °C
Max. Verweilzeit im Zylinder:	≤ 60 min (bei 320–340 °C)
Spritzdruck p_{Sp} :	500–1000 bar (spez.)
Nachdruck p_N :	300–700 bar (spez.)
Staudruck p_{St} :	niedrig
Schneckendrehzahl n_5 :	niedrig, z.B. 40–100 min ⁻¹
Einspritzgeschwindigkeit:	mittel bis hoch
Werkzeugwandtemperaturen $\varnothing_{W1}, \varnothing_{W2}$:	140–150 °C
Düse:	offene Düse, vorzugsweise Verschlussdüse

Anmerkung:
Werkzeugstahl gehärtet und korrosionsfest.
Zylinder und Schnecke korrosionsfest.

7.4 Verarbeitungsbedingungen

Fortron PPS lässt sich mit konventionellen Spritzgießmaschinen verarbeiten. Standardtypen sind vor Verwendung 3 – 4 Stunden lang bei $> 135\text{ °C}$ zu trocknen (siehe Kapitel 6.3). Bei einigen Fortron PPS-Spezialtypen muss eine geringere Trocknungstemperatur verwendet werden.

Zu Produktionsbeginn ist sicherzustellen, dass sich die Spritzgießmaschine und das Werkzeug in einem thermischen Gleichgewicht befinden.

Bei Inbetriebnahme sollte die Spritzgießmaschine 30 Minuten lang im empfohlenen Temperaturbereich gehalten werden (Abb. 7.7), bevor die Maschine in Betrieb genommen wird. Falls eine Reinigung des Zylinders erforderlich ist, wird empfohlen, Polyethylen hoher Dichte (HDPE), Polypropylen (PP) oder ein spezielles Reinigungsmittel zu verwenden.

Es wird empfohlen, die Schmelzetemperatur mit einem Einstichthermometer zu prüfen, wobei darauf zu achten ist, dass die Temperatur der Schmelze 370 °C nicht überschreitet. Die Werkzeugtemperatur sollte mindestens 140 °C betragen, damit das PPS ausreichend kristallisieren kann.

Nach der Spritzgießverarbeitung von Fortron PPS sollte die Reinigung der Plastifiziereinheit mit HDPE oder PP bei gleicher Zylindertemperatur durchgeführt werden. Wenn spezielle Reinigungsgranulate eingesetzt werden, ist auf die Hinweise und Angaben des Herstellers zu achten. Wenn der Zylinder frei von PPS ist, können die Zylinderheizungen der Plastifiziereinheit abgestellt werden.

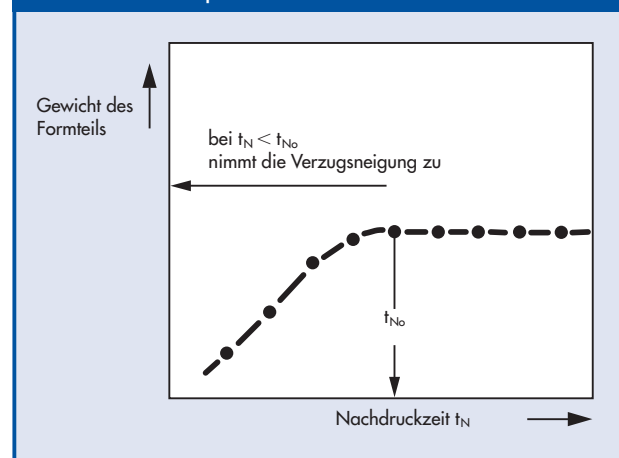
Bei der Verarbeitung von Fortron PPS ist unter anderem folgendes zu beachten:

- Die Temperatur der Masse sollte typenabhängig zwischen 320 und 340 °C liegen. Massetemperaturen über 340 °C sind möglich, wenn die Werkzeuggeometrie dies erfordert (zum Beispiel geringere Wandstärken).
- Um qualitativ hochwertige Formteile mit ausreichender Kristallinität herzustellen, muss die Werkzeugwandtemperatur mindestens 140 °C betragen. Empfohlen wird der Einsatz von Temperiergeräten mit Wärmeträgerölen oder Wasser. Bei der Verwendung von Wasserdruckgeräten sind wegen des

erhöhten Wasserdampfdruckes von ca. 8 bar entsprechende Sicherheitsvorkehrungen zu treffen. Das Beheizen von Werkzeugen mit Heizpatronen mit einer Leistungsdichte von $40 - 50\text{ W/kg}$ wird nur für Vorserienwerkzeuge empfohlen.

- In der Praxis haben sich mittlere bis schnelle Einspritzgeschwindigkeiten bewährt, wobei diese jeweils von Formteilgeometrie, Werkzeugdesign und hauptsächlich von der Werkzeuggentlüftung abhängig sind.
- Die Schneckendrehzahl sollte je nach Durchmesser zwischen 40 und 100 U/min liegen.
- Für die Plastifizierung ist ein geringer Staudruck unter 30 bar ausreichend. Ein erhöhter Staudruck kann zu höherem Schneckenverschleiß führen.
- Der spezifische Einspritzdruck sollte zwischen 500 und 1000 bar liegen.
- Der spezifische Nachdruck beträgt üblicherweise 300 bis 700 bar .
- Die Nachdruckzeit ist im Wesentlichen von der Ausführung des Angussverteilers, des Formteilanschnittes und der Formteilmwanddicke abhängig. Die erforderliche Nachdruckzeit richtet sich nach der ermittelten Siegelpunktzeit. Optimale Nachdruckzeiten ergeben verzugsarme Formteile, während zu kurze Nachdruckzeiten zum Verzug der Formteile führen können (Abb. 7.8).
- Bei einer Verweilzeit im Zylinder von mehr als 20 Minuten kann es zu einer etwas geringeren Viskosität und zu einem geringen Nachdunkeln der Farbe kommen. Die mechanischen Eigenschaften bleiben dabei praktisch unverändert.

Abb. 7.8
Optimale Nachdruckzeit



- Die Zykluszeit hängt von der Art des zu fertigen Formteils ab. Theoretische Kühlzeiten sind 25 bis 30 Sekunden für 4 mm dicke Teile, 10 bis 15 Sekunden für eine 2,5 mm Wanddicke und ca. 5 Sekunden für 1,5 mm dicke Teile.
- Empfohlen wird ein Schussgewicht von 50 bis 70% der Maschinenkapazität.

7.5 Verwendung von Rezyklaten

Ein Wiederaufschmelzen und Regranulieren von Fortron ist möglich. Sortenreine Angüsse, Ausschussteile, thermisch nicht geschädigte Formteile und gebrauchte Produkte lassen sich in Form von Mahlgut mit Originalmaterial vermischt wieder verarbeiten. Auf Sortenreinheit, gute Trocknung und Sauberkeit der Teile ist hier besonderes Augenmerk zu richten. Um eine Beschädigung der Füll- und Verstärkungsstoffe in Fortron PPS-Compounds bei der Zerkleinerung auf ein Mindestmaß einzuschränken, sollten die Formteile unter schonendsten Bedingungen gemahlen werden.

Die Zugabe von Mahlgut kann sich auf das Einzugsverhalten nachteilig auswirken. Es empfiehlt sich daher, die Teilchengröße des Mahlguts dem Originalmaterial anzupassen. Ferner sollten Regranulatzusätze von 25 bis 30% nicht überschritten werden (Abb. 7.9 und 7.10). Ist der Anteil des zugesetzten Materials zu hoch, so ist eine Verschlechterung der Eigenschaften der hergestellten Formteile zu erwarten. Wird dasselbe Material mehrfach granuliert, kommt es ebenfalls zu einer Verschlechterung der physikalischen Eigenschaften (Abb. 7.11).

Abb. 7.9 · Mechanische Eigenschaften von Fortron 6165A4 mit Regranulatzusätzen

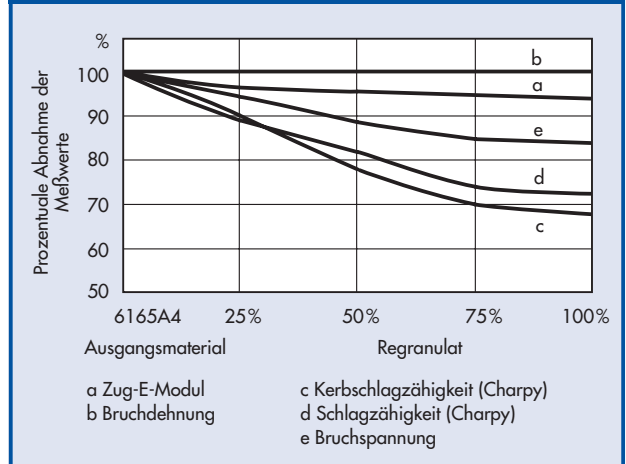


Abb. 7.10 · Mechanische Eigenschaften von Fortron 1140L6 mit Regranulatzusätzen

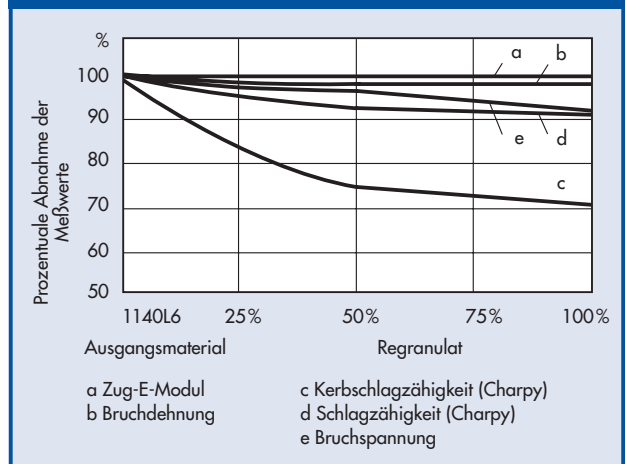
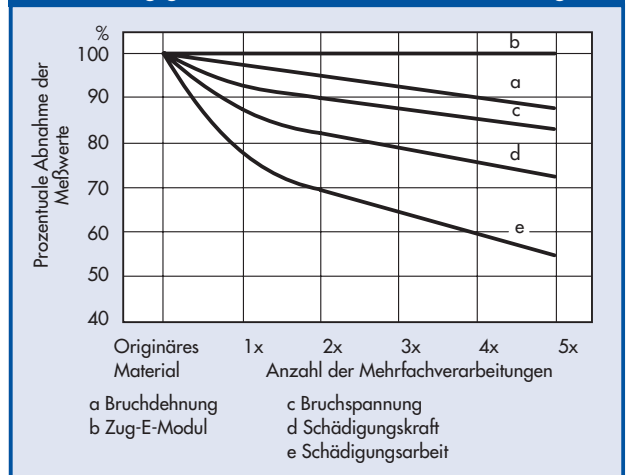


Abb. 7.11 · Mechanische Eigenschaften in Abhängigkeit von der Mehrfachverarbeitung



7.6 Empfehlungen zur Fehlersuche

Viele Verarbeitungsprobleme sind auf Umstände zurückzuführen, die leicht zu beseitigen sind, zum Beispiel auf nicht ausreichendes Trocknen, falsche Temperaturen und/oder Drücke usw. Solche Schwierigkeiten lassen sich oft durch Einhaltung der folgenden Empfehlungen beheben. Führen Sie diese Maßnahmen in der Reihenfolge durch, in der sie in den einzelnen Problemkategorien aufgelistet sind.

Verbrennungen

- prüfen, ob die Entlüftung ausreichend ist
- Einspritzgeschwindigkeit herabsetzen
- Nachdruckzeit verkürzen
- Anordnung des Anschnitts verändern
- Anschnitt vergrößern

Verfärbungen können bei Fortron PPS durch überhöhte Temperaturen entstehen. Dabei handelt es sich hauptsächlich um einen Oberflächeneffekt und nicht unbedingt um einen Hinweis auf eine Zersetzung.

- Zylinder reinigen
- Werkstofftemperatur herabsetzen durch
 - Verringerung der Zylindertemperaturen
 - Verringerung der Schneckendrehzahl
 - Verringerung des Staudrucks
- Düsentemperatur herabsetzen
- Gesamtzykluszeit verkürzen
- Fülltrichter und Einzugszone auf Verunreinigung prüfen
- Einzugszone auf ordnungsgemäße Kühlung prüfen
- Werkzeug in eine Spritzgießmaschine mit kleinerem Schussvolumen geben
- Im Werkzeug für zusätzliche Entlüftung sorgen.

Eine **stumpfe Oberfläche** ist gewöhnlich auf ein zu kaltes Werkzeug zurückzuführen (< 135 °C).

- Werkzeugtemperatur erhöhen
- Einspritzgeschwindigkeit erhöhen
- Fülldruck/Nachdruck erhöhen

Gratbildung

- prüfen, ob das Werkzeug ordnungsgemäß schließt
- prüfen, ob an der Trennebene Material eingequetscht ist

- Werkstofftemperatur herabsetzen durch
 - Verringerung der Zylindertemperaturen
 - Verringerung der Schneckendrehzahl
 - Verringerung des Staudrucks
- Einspritzdruck/Einspritzgeschwindigkeit verringern
- Nachdruckzeit verkürzen
- Werkzeugtrennebene auf Verschleiß prüfen
- Werkzeug in eine größere Spritzgießmaschine geben, wenn Einspritzdruck zu hoch ist
- Verwendung eines Polymers mit geringerer Viskosität
- Werkzeugoberflächen nacharbeiten.

Düsenprobleme

Nachlaufen an der Düse

- Düsentemperatur herabsetzen
- Schneckendekompression verlängern
- Werkstofftemperatur herabsetzen durch
 - Verringerung der Zylindertemperaturen
 - Verringerung der Schneckendrehzahl
 - Verringerung des Staudrucks
- Öffnungszeit des Werkzeugs verkürzen
- Material trocknen
- Düse mit kleinerer Öffnung verwenden
- Düse mit konischer Erweiterung verwenden
- Verschlussdüse verwenden

Einfrieren der Düse

- Düsentemperatur erhöhen
- Zykluszeit verkürzen
- Werkzeugtemperatur erhöhen
- Düse mit größerer Öffnung verwenden
- bei Verwendung eines kalten Werkzeugs (ca. 80 °C) Düse von Werkzeug isolieren

Unzureichende Maßhaltigkeit

- bei jedem Schuss gleiche Füllmenge/gleiches Massepolster verwenden
- Werkzeug möglichst rasch füllen
- Anschnitt vergrößern
- Auslegung von Verteilern, Anschnitt und Kavität aufeinander abstimmen
- zusätzliche Entlüftung vorsehen
- Hydraulische und elektrische Systeme auf Unregelmäßigkeiten prüfen
- Anzahl der Kavitäten im Werkzeug verringern

Short Shots, Kraterbildung und Oberflächenriffelung lassen auf eine mangelhafte Füllung oder auf ein Leck an der Rückstromsperre schließen.

- am Fülltrichter prüfen, ob genügend Material bereitsteht (andernfalls Material zugeben)
- feststellen, ob ein Massepolster entsprechender Größe vorhanden ist und Zugabemenge erforderlichenfalls erhöhen/verringern
- Einspritzdruck erhöhen
- Einspritzgeschwindigkeit erhöhen
- Nachdruckzeit verlängern
- Temperatur der Schmelze erhöhen durch
 - Anhebung der Zylindertemperatur(en)
 - Erhöhung der Schneckendrehzahl (nur bei nicht gefüllten Typen)
- Werkzeugtemperatur erhöhen
- Entlüftung der Kavitäten auf Verstopfung prüfen (eingeschlossenes Gas behindert den Füllvorgang)
- Anguss/Verteiler/Anschnitt vergrößern

Einfallstellen und Lufteinschlüsse

- Einspritzdruck erhöhen (nur bei Einfallstellen)
- Nachdruckzeit verlängern
- Einspritzgeschwindigkeit optimieren
- Werkzeugtemperatur anheben (nur bei Lufteinschlüssen)
- Werkzeugtemperatur absenken (nur bei Einfallstellen)
- Massepolster anpassen
- Anguss/Verteiler/Anschnitt vergrößern
- Anschnitt(e) in Bereiche mit stärkerem Querschnitt verlegen

Anhaftprobleme

Anhaften in der Kavität

- Werkzeugtemperatur auf Überhitzung prüfen
- Einspritztemperatur herabsetzen
- Einspritzgeschwindigkeit verringern
- Nachdruckzeit und -höhe anpassen
- Kühlzeit verlängern
- Zylinder- und Düsentemperatur verringern
- Werkzeug auf Hinterschnitte und/oder unzureichende Entformungsschräge prüfen

Anhaften am Kern

- Einspritzdruck erhöhen
- Nachdruckzeit verlängern

- Einspritzgeschwindigkeit steigern
- Formschließzeit verkürzen
- Kerntemperatur herabsetzen
- Werkzeug auf mögliche Hinterschnittoptimierung und/oder unzureichende Entformungsschräge prüfen

Anhaften in der Angussbuchse

- Größe und Ausrichtung der Bohrungen in der Düse/Angussbuchse prüfen
- Einspritzdruck herabsetzen
- Nachdruckzeit verkürzen
- Formschließzeit verlängern
- Düsentemperatur erhöhen
- wirksamere Auszugskralle verwenden

Nicht geschmolzenes Granulat

- Massetemperatur erhöhen
- Staudruck erhöhen
- Material trocknen/vorwärmen
- passenden Schneckentyp verwenden
- prüfen, ob Rückstromsperre einwandfrei funktioniert und einen Materialrückfluss verhindert (Kann die Maschine das Massepolster halten?)
- Werkzeug in eine Spritzgießmaschine mit größerer Schusskapazität geben

Verzug und Verformung der Formteile

- für gleichmäßige Temperatur in beiden Werkzeughälften sorgen (Überhitzungsstellen beseitigen)
- Werkzeug auf (mangelnde) Gleichmäßigkeit der Entformung prüfen
- feststellen, ob Formteile nach der Entformung ordnungsgemäß behandelt werden
- Nachdruckzeit verlängern
- je nach Bedarf Druck anheben oder absenken
- Feststellen, ob Verunreinigungen vorliegen
- Werkzeugtemperatur kontrollieren
- Formschließzeit verlängern
- Werkstofftemperatur herabsetzen durch
 - Verringerung der Zylindertemperaturen
 - Verringerung der Schneckendrehzahl
 - Verringerung des Staudrucks
- zur Vermeidung von Verzug unterschiedliche Temperaturen im Werkzeug ausprobieren
- Formteil einspannen und gleichmäßig abkühlen

Qualität der Bindenaht

- Einspritzdruck erhöhen
- Nachdruckzeit verlängern
- Einspritzgeschwindigkeit erhöhen
- Werkzeugtemperatur erhöhen
- Werkstofftemperatur erhöhen durch
 - Anhebung der Zylindertemperaturen
 - Erhöhung der Schneckendrehzahl
 - Erhöhung des Staudrucks
- Kavität im Bereich der Bindenaht entlüften
- in der Höhe der Bindenaht Überlaufbohle vorsehen
- zur Verbesserung des Materialflusses Anschnitt verlegen

In Werkzeugsystemen ohne Verteiler können die folgenden Richtlinien oft typische Probleme lösen. Weitere Informationen erteilt der Hersteller des Heißkanalsystems.

Einfrieren des Anschnitts

- Temperatur der Anschnittbuchse erhöhen
- Temperatur des Heißkanalverteilers erhöhen
- Temperatur am Heißkanalgefälle erhöhen
- alle Heizkreise auf einwandfreie Funktion prüfen
- Heizband an der Maschinendüse anbringen (falls nicht vorhanden)
- Zykluszeit verkürzen
- an bestimmten Stellen der Werkzeugkavität Temperatur erhöhen
- einen optimierten Anschnitt verwenden
- ggf. eine Überlaufbohle vorsehen

Mehrfachwerkzeug: Manche Anschnitte frieren ein, andere bleiben offen

- Temperatur der Anschnittbuchsen nur an den eingefrorenen Anschnitten anheben
- die unter „Einfrieren des Anschnitts“ empfohlenen Lösungen versuchen

Nachlaufen am Heißkanalanschnitt

- sicherstellen, dass die Schneckendekompression wirksam ist
- Temperatur der Heißkanaldüse herabsetzen
- Temperatur am Heißkanalverteiler herabsetzen
- Zykluszeit verlängern
- Dauer der Werkzeugöffnung verkürzen
- Temperatur der Heißkanaldüsenbuchse anpassen

Blasen im Formteil

- sicherstellen, dass das Material trocken ist
- Werkzeugentlüftung optimieren

Literatur

1. Weitere Hinweise finden sich in der Broschüre „Berechnen, Gestalten, Anwenden A.2.1“ und auf der Website der Ticona GmbH (<http://www.ticona.com>).

8. Extrusionsverarbeitung

Fortron PPS kann zu Hohl- und Vollstäben, Platten, Profilen, Folien und Fasern auf Standardextrudern verarbeitet werden.

8.1 Verarbeitungsbedingungen

Fortron PPS sollte vor der Verarbeitung getrocknet werden (siehe Abschnitt 6.3).

Bei manchen Spezialtypen für die Extrusion müssen schonendere Trocknungsbedingungen zur Anwendung kommen (3 – 4 Stunden bei ca. 90 °C). Richtwerte für die Verarbeitung von Fortron PPS enthält die Tabelle 8.1.

8.1.1 Gestaltung der Schnecke

Die besten Ergebnisse erzielt man mit einer Dosierschnecke mit einer einheitlichen „quadratischen“ Steigung und einem Verdichtungsverhältnis (Tiefe der Einzugszone/Tiefe der Austragszone) von 3:1 bis 4:1. Dieser Bereich ermöglicht eine optimale Kombination von hohem Ausstoß, niedriger Masetemperatur und Druckveränderungen. Das L/D-Verhältnis der Schnecke kann von 16:1 bis 24:1 gehen. Für die Verteilung der Bereiche gilt: 1/3 Austragszone, 1/3 Kompressionszone und 1/3 Meteringzone.

8.1.2 Siebpackung

Um die Filterleistung einzustellen, können Einsätze verschiedener Maschenweite in der Siebpackung zur Anwendung kommen. Die meisten Fortron-Typen lassen sich ohne Siebpackung extrudieren. Bei manchen Spezialtypen bzw. Anwendungen sind jedoch Siebe erforderlich, um nicht geschmolzenes Material zu entfernen und einen kontrollierten Materialfluss zu gewährleisten. Hier werden üblicherweise Siebe mit Maschenweiten von 40 – 90 µm eingesetzt.

8.1.3 Extruderkopf und Düse

Bei der Extrusion von Folien und Bahnen werden gewöhnlich Kleiderbügeldüsen eingesetzt, wobei die Schmelze durch einen für die Herstellung einlagiger und mehrlagiger Folien und Bahnen konzipierten Umlenkkopf zugeführt wird.

Tabelle 8.1 · Richtwerte für die Extrusionstemperatur von Fortron PPS*		
Extrusionsparameter	Ungefüllt	Gefüllt
Einzugszone	285 – 290 °C	290 – 300 °C
Umformzone	290 – 295 °C	290 – 310 °C
Dosierzone	290 – 300 °C	300 – 320 °C
Adapter	300 – 310 °C	300 – 320 °C
Düse	300 – 310 °C	300 – 320 °C
Masetemperatur	295 – 330 °C	305 – 340 °C
Typische Verringerung des Querschnitts	2:1	2:1
* Sicherheitshinweis: Die Masetemperatur darf 370 °C nicht überschreiten. Andernfalls kann sich PPS zersetzen und Gase bilden, die an Augen und Atemwegen Reizerscheinungen hervorrufen können. Weitere Angaben sind dem Sicherheitsdatenblatt für Fortron PPS zu entnehmen.		

Zur Regulierung des Materialflusses und der Oberflächenbeschaffenheit des Extrudats muss die Öffnung der Düse entsprechend eingestellt werden. Im Extruderkopf und in der Düse sollten möglichst wenig Staupunkte vorhanden sein, weil sich Fortron PPS in Bereichen mit Materialstau festsetzen und zersetzen kann. Das zersetzte Material kann in das Extrudat gelangen und dort Oberflächenmängel hervorrufen.

8.2 Profile

8.2.1 Folien und Bahnen

Fortron PPS kann zu einlagigen und mehrlagigen Folien und Bahnen extrudiert werden. Bei einlagigen Folien ist besonders auf die Walzentemperatur und die Querschnittverringerung zu achten. Die Oberflächenbeschaffenheit der Folie hängt in hohem Maße von der Walzentemperatur ab, vor allem bei Stahlgusswalzen. Foliendicken von 30 bis 250 µm kommen in Betracht. Dickere Querschnitte lassen sich als bis zu 800 µm dicke Bahnen extrudieren.

Bei einem mehrschichtigen Aufbau (Multilayer) kann Fortron PPS als Außen- oder Innenschicht eingesetzt werden. Gewöhnlich wird zwischen PPS und einem zweiten Substrat eine Verbindungsschicht als Haftmittler eingesetzt.

In der Regel kann eine Standard-Extrusionsschnecke verwendet werden. In manchen Fällen kann es erforderlich sein, eine Barrierschnecke zu verwenden. Die meisten Fortron PPS-Typen können bei den in Tabelle 8.2 aufgeführten Extrusionstemperaturen zu Folien und Bahnen extrudiert werden.

8.2.2 Rohre und Schläuche

Fortron PPS lässt sich problemlos zu Schläuchen und Rohren extrudieren. So werden zum Beispiel Rohre mit 6 mm bis 300 mm Durchmesser und 0,5 mm bis 30 mm Wanddicke in der Öl- und Gasindustrie und in Industriezweigen eingesetzt, in denen durch Kombinationen von Wasser, Gasen wie Schwefelwasserstoff und Kohlenwasserstoffen aggressive Umgebungsbedingungen entstehen. Fortron PPS-Schläuche können auch als flexible Barriere- oder Schutzverkleidungen für Stahlrohre eingesetzt werden.

Bei mehrschichtigen Rohren werden eine Innenschicht aus Fortron PPS und eine Außenschicht aus einem Thermoplasten durch eine Verbindungsschicht zusammengehalten. Bei der Herstellung solcher Produkte sollten die verschiedenen Komponenten in ihrem optimalen Schmelzustand miteinander in Kontakt kommen. Wenn die Schmelzetemperatur für eine der Komponenten zu hoch oder zu niedrig ist, kann es zur Ablösung der einzelnen Schichten kommen.

Zu den wichtigsten Prozessparametern für Fortron PPS-Rohre gehören die Extruderzylindertemperatur, die Temperatur des Kühlbads und die Abziehggeschwindigkeit (siehe Tabelle 8.2). Die Badtemperatur ist für die Kristallinität und Flexibilität wichtig. Mit Kühltemperaturen unter 30 °C erhält man die erforderliche Flexibilität, die ein problemloses Abziehen und Aufwickeln des Produkts ermöglicht. Zur Aufrechterhaltung eines entsprechenden Innendurchmessers der Rohre ist ein Vakuumtank-Kalibriersystem zu verwenden, dessen Kalibrierdüse auf die gewünschte Wanddicke eingestellt werden kann. Die Abziehggeschwindigkeit kann je nach Prozess variieren und sollte so eingestellt werden, dass Rohre oder Schläuche aufgewickelt oder abgezogen werden können, ohne dass es zu einem Schmelzebruch kommt.

8.2.3 Stäbe und Platten

Fortron PPS kann zu Stäben, Platten sowie zu anderen Standardformen und Vollprofilen extrudiert werden (Abb. 8.2). Stäbe haben gewöhnlich 6 – 80 mm Durchmesser, Platten sind 6 – 50 mm dick.

Diese Stäbe und Platten werden spanabhebend zu Produkten für die Luft- und Raumfahrtindustrie, Medizintechnik, Elektrotechnik, Elektronik, Lebensmittel- und Verpackungsindustrie und für andere Industriezweige weiterverarbeitet. Zu ihren Anwendungsmöglichkeiten gehören Handgriffe für chirurgische Scheren; elektrische und elektronische Isolatoren, Gehäuse und Steckverbindungen; Polierringe und Ätzköpfe für die Halbleiterfertigung sowie Kettenführungen, Pumpenteile und andere Bauteile für die Industrie.

Zur Herstellung solcher Profile werden in der Regel Extruder mit der üblichen, aus 3 Zonen bestehende Schneckenengeometrie und einem Kompressionsverhältnis von 2:1 eingesetzt. Die Stäbe werden durch eine Düse in eine Kühlmanschette extrudiert, deren Länge eine weitgehende Abkühlung der Profilwände ermöglicht. Bei einer unzureichenden Abkühlung können die Profilwände durch den Innendruck des geschmolzenen PPS brechen.

Ferner muss die Kühlbadtemperatur so eingestellt werden, dass größere Temperaturgefälle, die zum Verzug des Formteils führen könnten, vermieden werden. Um ein gerades, verzugsfreies Profil zu erhalten, muss die Kühltemperatur mindestens 140 °C betragen. Bei der Extrusion dickwandiger Vollstäbe oder Platten ist ein anschließender Temperprozess vorzusehen. Dabei sollte das Extrudat mit einem Temperaturgradienten von 0,5 °C / min. auf min. 140 °C (besser 150 bis 170 °C) aufgeheizt werden. Ist die Endtemperatur erreicht, ist diese pro 1 mm Wanddicke 10 min. zu halten. Danach kann der Abkühlprozess mit einer empfohlenen Abkühlgeschwindigkeit von 0,2 °C/min beginnen.

Der Aufheiz- und Abkühlvorgang sollte nicht stufenweise, sondern kontinuierlich erfolgen. Dabei sind ein



Abb. 8.2 · Aus 40% glasfaserverstärktem Fortron PPS extrudierte Stangen und Platten

Tabelle 8.2 · Wichtigste Extrusionsparameter für einlagige und mehrlagige Schläuche und Rohre aus Fortron PPS

Parameter	Wert
Extrudertemperatur	290 – 315 °C
Massetemperatur	310 – 320 °C
Düsentemperatur	310 – 320 °C
Extrusionsgeschwindigkeit	3 – 6 m/min
Abzugsgeschwindigkeit	3 – 6 m/min
Kühlbadtemperatur	25 – 40 °C

langsameres Aufheizen und ein noch langsames Abkühlen wichtig, um speziell bei dickwandigen Extrudaten innere Spannungen zu vermeiden.

8.3 Extrusionsbeschichtung und Kabelummantelung

Bei der Extrusionsbeschichtung und der Herstellung von Kabelmänteln wird ein Substrat aus Papier, Pappe, Textil oder Draht in einem einzigen Prozess schmelzbeschichtet (Abb. 8.3). Dieser Prozess hat eine gewisse Ähnlichkeit mit dem Laminieren, wobei jedoch Fortron PPS als Schmelzbahn auf ein Substrat

extrudiert wird, so dass ein extrusionsbeschichteter Verbundwerkstoff entsteht. Dieser kann anschließend weiterbehandelt werden, zum Beispiel durch Erwärmen und/oder Verstrecken, bevor er für den Verkauf als Rollenware aufgewickelt wird.

Zur Herstellung einer Kabelummantelung wird Fortron PPS gewöhnlich als Schicht um einem runden, quadratischen oder rechteckigen Metalldraht extrudiert. Die Manteldicke beträgt 0,1 – 0,5 mm und wird durch ein speziell für diesen Zweck konzipiertes Werkzeug konstant gehalten.

Mit Fortron PPS ummantelte Kabel werden in Transformatoren verwendet, weil PPS u. a. sehr wenig Wasser aufnimmt (< 0,2% nach 24-stündiger Lagerung in Wasser). Der Mantel zeichnet sich auch durch eine

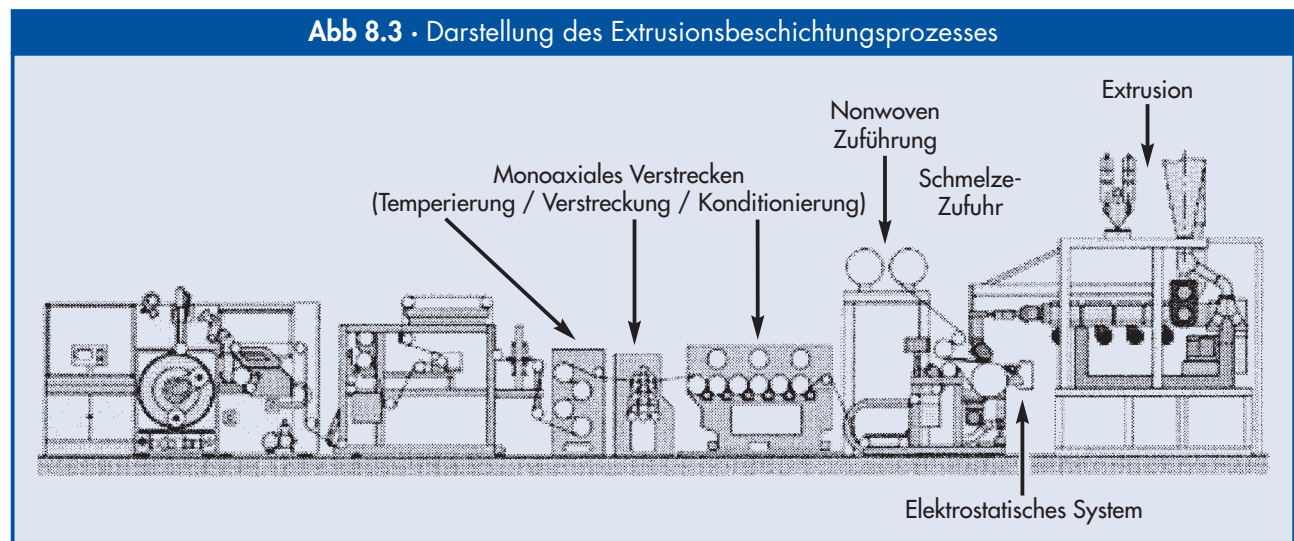


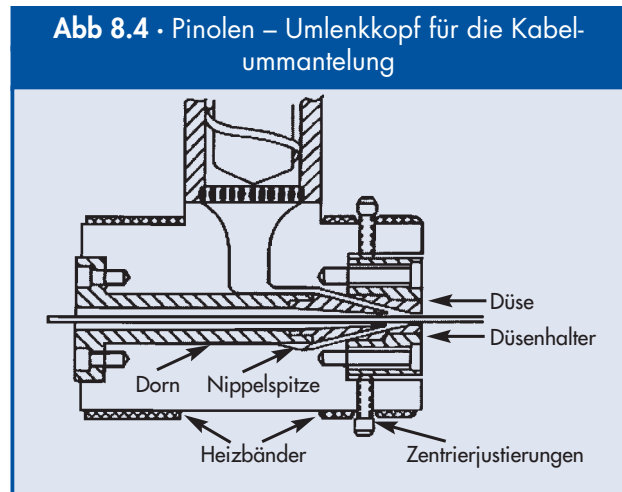
Abb 8.3 · Darstellung des Extrusionsbeschichtungsprozesses

hohe Wärmebeständigkeit und eine höhere Durchschlagfestigkeit aus als viele andere Werkstoffe.

Bei einer typischen Kabelummantelung reguliert die Profildüse im Umlenkkopf die Dicke der ringförmigen Beschichtung des Kabels, das mittig eingeführt wird (Abb. 8.4).

Literatur

1. Principles of Polymer Engineering, McCrum, N. G., Buckley, C. P. und C. B. Bucknall, Oxford Science Publications, 1988

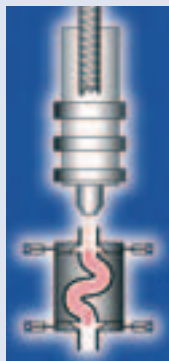


9. Andere Verarbeitungsverfahren

Ticona hat mehrere Fortron PPS-Typen entwickelt, die über die Viskositätsbereiche und sonstige für Extrusion, Blasformen und andere Verfahren erforderlichen Eigenschaften verfügen. Die Tatsache, dass Fortron für verschiedene Herstellungsverfahren geeignet ist, beruht auf der linearen Struktur des Materials.

Aufgrund seiner hohen Schmelzfestigkeit, Reinheit, Wärmeformbeständigkeit und der engen Viskositätspezifikationen ist Fortron PPS besonders gut zu verarbeiten und ermöglicht daher die Herstellung hochwertiger blasgeformter Bauteile und Halbzeuge. Es kann auch in Verbundwerkstoffen zur Herstellung anspruchsvoller Teile, von Sportartikeln bis hin zu Luft- und Raumfahrtanwendungen, sowie für Blasfolien und Pulverbeschichtungen eingesetzt werden. Ferner kann Fortron durch Formpressen (langfaserverstärkt mit Glas-, Kohlenstoff-, Stahlfasern etc.) oder Rotationsformen verarbeitet werden.

Tabelle 9.1 · Blasformbedingungen für Fortron PPS 1115L0



Trocknungsbedingungen für Fortron 1115 L0
TDr = 80 – 100 °C/3-4 Stunden

Temperaturen
Zylinder: 300 – 330 °C
Düse: 310 – 330 °C
Verweilzeit im Zylinder ≤ 60 min

Werkzeugtemperatur:
140 – 150 °C

9.1 Blasformen

Beim Blasformen können Formteile in einem einzigen Produktionsschritt hergestellt werden. Fortron 1115L0 ist wegen seiner hohen Schmelzfestigkeit für diese Technik gut geeignet.

Neben der Schmelzfestigkeit besitzt dieser zu 15% glasfasergefüllte Typ den Viskositätsbereich sowie die Wärmeformbeständigkeit, die für eine Verarbeitung auf herkömmlichen und auf 3-D-Blasformmaschinen (siehe Abb 9.1) erforderlich sind. Dieses Material muss vor Verwendung getrocknet und bei Zylinder-temperaturen von 300 bis 330 °C verarbeitet werden (Tab. 9.1).

Abb. 9.1 · Saugblasformmaschine
(Foto SIG – Kautex)



Fortron PPS eignet sich zum Blasformen verschiedener Bauteile für die Automobilindustrie, chemische Industrie, Haushaltsgeräteindustrie und andere Industriezweige. So kann es zur Herstellung von Ladeluftrohren für Turbodieselmotoren (Abb. 9.2), die einer Wärmebelastung von ca. 200 °C ausgesetzt sind, von Kraftstoffverteilerleisten und Ansaugkrümmern eingesetzt werden. Ferner findet es auch Anwendung in Kühlwassersystemen und Wärmeschutzrohren, Abgasrohren von Gasheizungen sowie Komponenten für den Chemikalientransport und für Kühlsysteme in Kraftwerken.

9.2 Verbundwerkstoffe

Die Fortron PPS-Typen (insbesondere Fortron 0214, 0205 und 0320) können aufgrund ihres Eigenschaftsprofils als thermoplastische Matrix in Verbundwerkstoffen für die Automobilindustrie, Luft- und Raumfahrtindustrie und das Bauwesen eingesetzt werden und mit den verschiedensten Verfahren zu Verbundwerkstoffen verarbeitet werden.

Abb. 9.2 · Blasgeformtes Ladeluftrohr mit spiegelgeschweißtem Anschlussflansch (Mann & Hummel)



Zum Beispiel werden Folien aus Fortron PPS und Verstärkungsschichten mit Geweben aus Glas-, Kohlenstoff- und/oder Aramidfasern aufeinander angeordnet. Um bestmögliche Verarbeitbarkeit und maximale Leistung in der Anwendung zu erzielen, werden für die Folie gewöhnlich hochmolekulare Fortron-Typen wie Fortron 0214 und 0320 verwendet. Das Sandwich aus den aufeinander liegenden Schichten wird in ein Presswerkzeug gegeben, erwärmt und in die gewünschte Form gepresst.

Bei einer anderen weit verbreiteten Technik werden verstärkte Prepregs (mit einer oder mehreren der oben erwähnten Faserarten) hergestellt und zur Maximierung der Eigenschaften in der (den) gewünschten Richtung(en) des Verbundmaterials in verschiedenen Winkeln aufgelegt. Die aufeinander angeordneten Prepregs werden dann wie oben beschrieben formgepresst.

Ein gutes Beispiel für die Anwendung von Fortron-Verbundwerkstoffen ist die vordere Tragflächenkante

Abb. 9.3 · Tragflächenkante des Airbus A340 und A380



des Airbus A340 (Abb. 9.3) und A380. Dabei wird in einem ersten Schritt Fortron 0214C1 zu einer 50 bis 200 µm dicken Folie verarbeitet. Diese Folie wird dann in einer Formpresse auf eine Fasermatte kaschiert. Auf diese Weise entstehen formbeständige, hochfeste Verbundstoffplatten, die unter Druck und Temperatur umgeformt werden können.

Das so hergestellte Bauteil wird den konstruktiven Anforderungen an eine Flugzeugtragfläche gerecht und wiegt ca. 20% weniger als das gleiche Teil aus Aluminium. Darüber hinaus ist es besonders widerstandsfähig gegen Öle, Kraftstoffe, Säuren und Frostschutzmittel. Der Einbau erfolgt mittels induktivem Schweißen, so dass im Vergleich zu Aluminium weitgehend auf Nieten, Bolzen oder Schrauben verzichtet werden kann.

9.3 Pulverbeschichtung

Auch für Pulverbeschichtungsanwendungen wurden geeignete Fortron-Typen entwickelt. Diese Produkte kommen normalerweise für Anwendungen in Betracht, die Chemikalienresistenz und Wärmebeständigkeit erfordern. Hierfür wurden Verfahren entwickelt, die gewährleisten, dass die Fortron-Beschichtung fest mit dem jeweiligen Substrat (auch metallische Oberflächen) verbunden ist.

Zum Beispiel wird Fortron bei Pfannenbeschichtungen als Haftvermittler zwischen PTFE und Metall eingesetzt. Des Weiteren kann es als Korrosionsschutzbeschichtung bei Metallen eingesetzt werden.

10. Technische Textilien

Fortron PPS ist ein vielseitiges Material, das zu Mono- und Multifilamenten versponnen und im Meltblown- und Spunbond-Verfahren zu Vliesen verarbeitet werden kann. Die Herstellung von Netzen ist ebenso möglich.

Als Werkstoff für technische Textilien wird Fortron PPS zu verschiedenen textilen Strukturen für Filter und andere Anwendungen in der Industrie verarbeitet. Fortron PPS findet insbesondere Anwendung in Bereichen, die mit hohen Temperaturen (bis 200 °C), chemisch aggressiven Umgebungen und der Forderung nach einer inhärenten Flammhemmung verbunden sind. Dies gilt insbesondere für die Flüssigkeits- und Gasfiltration in der chemischen, petrochemischen und pharmazeutischen Industrie, sowie im Lebensmittelsektor und in anderen Bereichen. Zu den durch Fortron PPS filtrierten Flüssigkeiten gehören u. a. Heißwasser auf Grund der exzellenten Hydrolysebeständigkeit, desweiteren Öle, Amine, Glycol, Sulfolan, Methylenchlorid, Naphtha sowie Säuren und Laugen.

Die Verarbeitung von Fortron PPS erfolgt auf handelsüblichen Extrusionsanlagen.

Bei der Extrusion von Fortron PPS spielt die richtige Auswahl der Verarbeitungstemperatur und des Fortron-Typs mit der passenden Viskosität eine wichtige Rolle. Für die Verarbeitung von Fortron PPS empfiehlt sich die Verwendung korrosionsbeständiger Stähle.

10.1 Meltblown-Vliese

Mit Fortron PPS lassen sich schmelzgeblasene Faservliese herstellen, die als Filtermedien in der chemischen Industrie und für andere industrielle Anwendungen eingesetzt werden können.

Mit Fortron 0203HS lassen sich weiche, flexible oder steife, feine bis grobe Meltblown-Fasern mit 2 bis 10 µm Durchmesser herstellen. Ein Fortron PPS Typ für medizinische Zwecke (Fortron MT 9203HS) ist in Klasse VI der USP und in Drug Master Files und Device Master Files der FDA gelistet und für den wiederholten Kontakt mit Lebensmitteln zugelassen.

Fortron PPS kann mit Standard-Polypropylenschnellen in konventionellen Meltblown-Anlagen extrudiert werden.

Die Extrudertemperatur sollte zwischen 260 und 315 °C liegen, die Düsentemperatur zwischen 305 und 320 °C (siehe Tabelle 10.1). Der Abstand zwischen Düse und Förderband sollte ca. 10 bis 40 cm betragen.

Der Faserdurchmesser lässt sich durch Anpassung des Abstands zwischen Düse und Förderband und die Durchflussmenge der Kühlluft einstellen. Es empfiehlt sich, Fortron PPS vor der Verarbeitung ca. 2 Stunden bei 120 °C zu trocknen.

10.2 Spunbond-Vliese

Bei Spunbond-Vliesen aus Fortron PPS wird das Polymer auf einer einzigen Fertigungslinie direkt zum Faservlies verarbeitet. Dabei wird zunächst in einem Schmelzspinnprozess ein Endlosfaserbündel hergestellt, das bei hoher Geschwindigkeit auf ein Förderband gelegt wird, so dass ein Spunbond-Substrat entsteht. Das geschmolzene Polymer wird in der Regel durch eine Spinn Düse extrudiert (Tabelle 10.2), abgekühlt und verstreckt.

Meltblown-Vliese werden oft mit Spunbond-Vliesen zu einem Verbundwerkstoff verarbeitet, der in der Industrie und in der Medizin zur Anwendung kommt.

Tabelle 10.1 · Typische Parameter für das Schmelzblasen von Fortron PPS

Parameter	Empf. Einstellung
Abstand Düse – Förderband	15 – 20 cm für größere Durchmesser 25 – 40 cm für kleinere Durchmesser
Kühlluft	Keine bis minimal
Extruderprofil:	
Zone 1	260 – 270 °C
Zone 2	280 – 290 °C
Zone 3	285 – 295 °C
Zone 4	295 – 305 °C
Zone 5	305 – 315 °C
Massetemperatur an der Düse	305 – 320 °C
Prozessluft:	
Lufttemperatur	300 – 330 °C
Luftdurchfluss	500 – 1100 kg/h
Druck am Extruder-ausgang	35 – 40 bar

So können zum Beispiel Filtermedien mit Fortron PPS-Meltblown-Vlies hergestellt werden, bei denen PPS-Spunbond-Vlies als Träger dient.¹

10.3 Stapelfasern

Fortron PPS wird oft zu Stapelfasern verarbeitet, die dann als Ausgangsmaterial für andere Anwendungen dienen. Zum Beispiel zur Herstellung von Nadelvliesen, die dann weiter zu Filterschläuchen verarbeitet werden.

10.4 Monofilamente

Fortron PPS-Monofilamente werden hauptsächlich aus Fortron 0214, 0317 und 0320 hergestellt (Abb. 10.1). Die gute Viskositätsstabilität bei der Verarbeitung ermöglicht die Herstellung einheitlicher Filamentdurchmesser. Typische Prozessparameter zeigt Tabelle 10.3.

10.5 Multifilamente

Fortron 0320C0 ist der geeignete Typ für die Herstellung hochfester Multifilamente.

Mit Fortron 0320C0 können sehr zähe und hochfeste Multifilamente hergestellt werden. Infolge ihrer sehr guten Wärmebeständigkeit und ihrer Chemikalienbeständigkeit sind sie auch für die Vulkanisierung von Kautschuk geeignet. Die Kompatibilität von Fortron PPS mit den in der Automobilindustrie üblichen Elastomeren und Zuschlagstoffen konnte in mehreren Versuchen nachgewiesen werden.

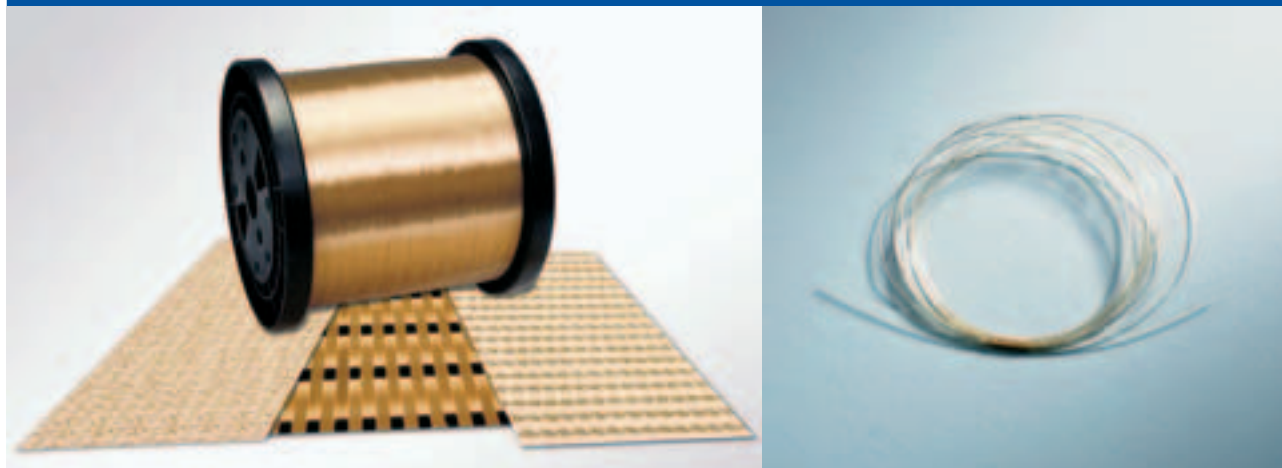
Tabelle 10.2 · Typische Parameter für die Herstellung von Spunbond-Vliesen

Parameter	Empfohlene Einstellung
Extruder	
Zone 1	274 °C
Zone 2	285 °C
Zone 3	296 °C
Zone 4	310 °C
Zone 5	320 °C
Schmelze an der Düse	320 °C
Kalander, (graviert/glatt)	107/107 °C
Grundgewicht	34,0 – 68,0 g/m ²

Tabelle 10.3 · Typische Prozessparameter zur Monofilament-Herstellung

Parameter	Empf. Einstellung
Mittlere Extrudertemperatur	300 – 320 °C
Flanschttemperatur	300 – 310 °C
Düsentemperatur	300 – 310 °C
Massetemperatur	300 – 310 °C
Ofentemperatur	140 – 210 °C
Zugverhältnis	3 – 4
Ballendruck	25 – 100 kg/cm ²
Luftabschreckung	Ja

Abb. 10.1 · Trocknungsbänder aus Fortron 0320C0 Monofilamenten



Durch die Kombination von Fortron PPS-Multifilamenten mit Kautschuk entstehen besonders flexible Schläuche. Neben einer hohen Zähigkeit verfügen Multifilamente aus Fortron PPS als Druckträger auch über die für die Radialausdehnung der Schläuche infolge von Volumenzunahme und Drucksteigerung erforderliche Dehnbarkeit.

Literatur

1. 2003, Chemical Economics Handbook, SRI International
2. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, 4. Auflage, Bd. 17, John Wiley & Sons, 1996, S. 336 – 368

11. Nachbearbeitung

Bei der Nachbearbeitung von Formteilen aus Fortron PPS haben die Hersteller viele Möglichkeiten. Dabei sind konstruktive Gesichtspunkte, der zu verwendende Fortron-Typ, der vorgesehene Verwendungszweck und andere praktische Fragen gleichermaßen zu bedenken, um eine größtmögliche Leistung bei möglichst niedrigen Kosten zu erzielen.

11.1 Nachbehandlung in der Wärme

Fortron PPS-Formteile, die mit Werkzeugwandtemperaturen von mindestens 140 °C hergestellt wurden, sind gut kristallisiert. Wenn sie später hohen Temperaturen ausgesetzt werden, kommt es nur zu einer geringen Schwindung, so dass sie nicht getempert werden müssen, um Nachschwindungseffekte zu vermeiden (Abb. 11.1).

Eine Untersuchung der Nachschwindung von Fortron PPS-Formteilen mit 3 mm Wanddicke, die mit Werkzeugtemperaturen von 140 °C hergestellt wurden, ergab bei Fortron 1140L4 und 6165A4 nach zweistündigem Tempern bei 230 °C nur eine Schwindung von 0,09 bzw. 0,10%. Eine ähnliche Schwindung (0,10 bzw. 0,12%) war nach 24-stündigem Tempern bei 230 °C zu beobachten.

Wird Fortron PPS bei Werkzeugwandtemperaturen < 140 °C verarbeitet, ist die mechanische und thermische Belastbarkeit geringer. Man kann diese Formteile zwar tempern, um ihre Belastbarkeit zu erhöhen, doch kann es dabei zu Verzug kommen. Ein Tempern kann deshalb nur dann empfohlen werden, wenn die Teile mechanisch fixiert werden.

Abb. 11.1 · Schwindung von Fortron 1140L4 Probekörpern (ISO 3167) als Funktion der Werkzeugwandtemperatur, Temperierung: 3 h, 200 °C

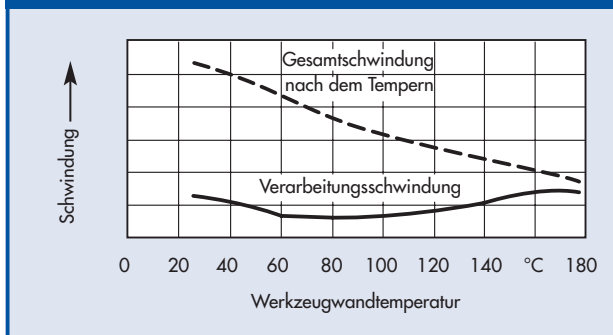


Abb. 11.3 · Zusammenhang zwischen Bruchdehnung und Werkzeugwandtemperatur von getemperten und ungetemperten Fortron 1140L4 Proben

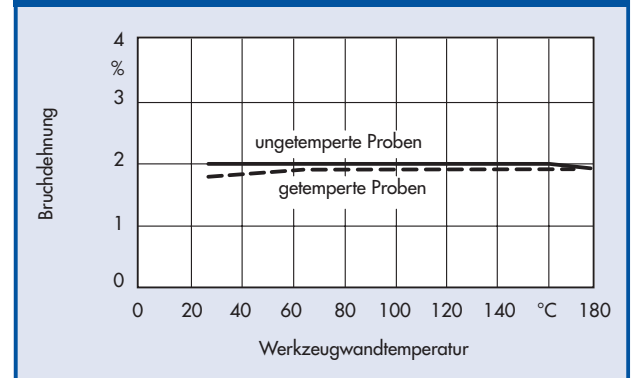


Abb. 11.2 · Zusammenhang zwischen Bruchspannung und Werkzeugwandtemperatur von getemperten und ungetemperten Fortron 1140L4 Proben

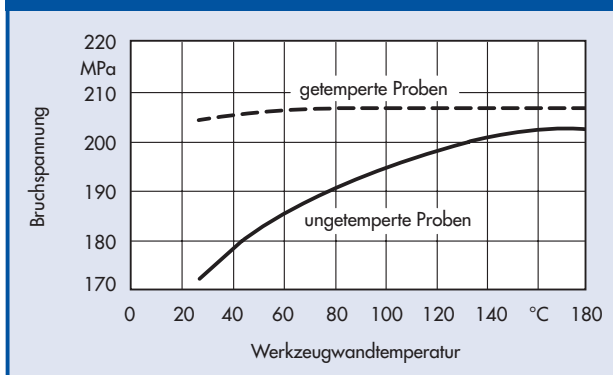
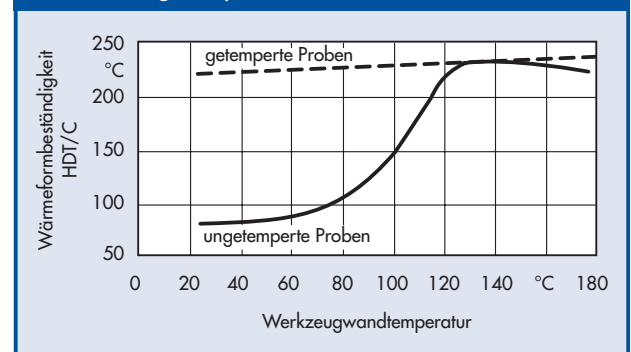


Abb. 11.4 · Zusammenhang zwischen Wärmeformbeständigkeits-Temperatur HDT/C und Werkzeugwandtemperatur von getemperten und ungetemperten Fortron 1140L4 Proben



Die Abb. 11.2, 11.3 und 11.4 zeigen die Bruchdehnung, Bruchspannung und Wärmeformbeständigkeit von getemperten (3 h bei 200 °C) und nicht getemperten Probekörpern aus Fortron 1140L4 in Abhängigkeit von der Werkzeugwandtemperatur. Daraus ist zu ersehen, dass hohe Werkzeugwandtemperaturen bei der Minimierung der Nachschwindung und der Optimierung der mechanischen und thermischen Eigenschaften eine entscheidende Rolle spielen.

11.2 Spanende Bearbeitung

Zur Bearbeitung von Fortron PPS können die gleichen Werkzeugmaschinen verwendet werden wie für Metall und Holz. Spritzgegossene Teile werden zur Herstellung von Konturen nachbearbeitet, die spritzgießtechnisch zu unwirtschaftlich oder nicht genau genug herzustellen sind, oder wenn kritische Binde-nähte vermieden werden sollen. Auch extrudierte Fortron PPS-Profile werden zur Herstellung von Bauteilen für eine Vielzahl von Anwendungen nachbearbeitet.

Empfehlungen für die spanende Bearbeitung von Fortron PPS:

- Die Werkzeuge sollten zur Vermeidung einer zu großen Reibungswärme scharf und kalt sein, damit sich der Kunststoff nicht verzieht, schmilzt oder die Oberflächenqualität beeinträchtigt wird.
- Bei der Wahl der Zerspanungsbedingungen ist die geringe Wärmeleitfähigkeit des Materials zu berücksichtigen. Bei hohen Zerspanungsleistungen kann das Werkzeug mit sauberer Druckluft oder mit den üblichen Schneidflüssigkeiten (zum Beispiel mit Wasser, wässrigen Lösungen, Ethylenglycol oder öligen Flüssigkeiten) gekühlt werden. Geschwindigkeit und Vorschub sind dem Verhalten des Kunststoffs anzupassen. So ist zum Beispiel die Geschwindigkeit zu verringern, wenn der Kunststoff schmilzt oder Verbrennungen oder Verfärbungen auftreten.
- Für eine optimale Kühlung ist eine gute Spanabfuhr erforderlich. Späne von verstärktem oder gefülltem Fortron PPS sind meistens kurz und lassen sich leicht entfernen.
- Für die verwendeten Werkzeugarten werden unterschiedliche Schnittgeschwindigkeiten empfohlen, zum Beispiel 50 bis 200 m/min beim Bohren, 250 bis 500 m/min beim Drehen und Fräsen, 500 bis 800 m/min beim Sägen. Auch die empfohlenen Vorschubgeschwindigkeiten hängen vom jewei-

ligen Bearbeitungsverfahren ab (0,1 bis 0,5 mm/U beim Drehen und 0,1 bis 0,3 mm/U beim Bohren). Bei niedrigeren Vorschubgeschwindigkeiten verstärkt sich der Werkzeugverschleiß, wodurch die Beschaffenheit der Schnittflächen beeinträchtigt werden kann.

- Mit zweizahnigen Strehlern lässt sich eine Gratbildung beim Gewindeschneiden vermeiden. Ein durchmesserabhängiges Aufmaß sollte bei Gewindebohrern verwendet werden. Schneideisen werden nicht empfohlen, weil beim Rücklauf mit einem Nachschneiden zu rechnen ist.
- Bei der Bearbeitung von glasfaserverstärkten oder mineralgefüllten Fortron PPS-Typen sind hartmetall- oder diamantbestückte Werkzeuge von Vorteil, insbesondere bei Großserienfertigung. Bei Werkzeugen aus Schnellschnittstahl ist mit einer kürzeren Standzeit zu rechnen.
- Für das Drehen sind Freiwinkel von 6 bis 8°, Spanwinkel von 0 bis 5° und Einstellwinkel von 45 bis 60° empfehlenswert. Um einen glatten Schnitt zu erzielen, ist ein Spitzenradius von mindestens 0,5 mm vorzusehen.
- Beim Fräsen können übliche Fräser eingesetzt werden. Wegen des größeren Spanraums werden Fräser mit wenigen Zähnen bevorzugt. Dadurch erreicht man ein großes Spanvolumen, so dass die entstehende Wärme mit den Spänen abgeführt werden kann. Freiwinkel von 5 bis 15° und Spanwinkel von 6 bis 10° haben sich in der Praxis bewährt.
- Bohren und Reiben dient zur Vergrößerung und Vertiefung von Löchern und zur Beseitigung von Verjüngungen. Die besten Ergebnisse lassen sich mit Bohrern für Kunststoffe erzielen. Solche Bohrer haben gewöhnlich 1 oder 2 polierte oder verchromte Nuten, enge Schneidrücken und große Steigungswinkel. Daher können sie Späne rasch beseitigen und die Reibung auf ein Mindestmaß einschränken. Die Bohrer sollten scharf sein und müssen bei tiefen Bohrungen unter Umständen häufig zurückgezogen werden, um eine ausreichende Spanabfuhr zu gewährleisten.
- Bei Verwendung von Spiralbohrern für die Metallbearbeitung empfehlen sich Drallwinkel von 12 bis 16°, Freiwinkel von 5 bis 10°, Spanwinkel von 10 bis 30° und Spitzwinkel von 90°. Bei tiefen Bohrungen muss für eine ausreichende Spanabfuhr gesorgt werden, zum Beispiel mit glatten Spiralnuten. Ein Vorbohren bei größeren Durchmesser ist empfehlenswert.

– Beim Sägen sollten dünne Sägeblätter verwendet werden, um unnötige Wärmebildung durch Reibung zu vermeiden. Eine günstige Zahngeometrie ergibt sich mit einem Freiwinkel von 15 bis 30° und einem Spanwinkel von 0 bis 5°. Die Zahnteilung sollte 3 bis 5 mm betragen.

11.3 Fügen von Formteilen aus Fortron

Formteile aus Fortron PPS können getrennt hergestellt und nachträglich durch verschiedene thermische Verfahren, Verkleben und mechanische Methoden miteinander verbunden werden.

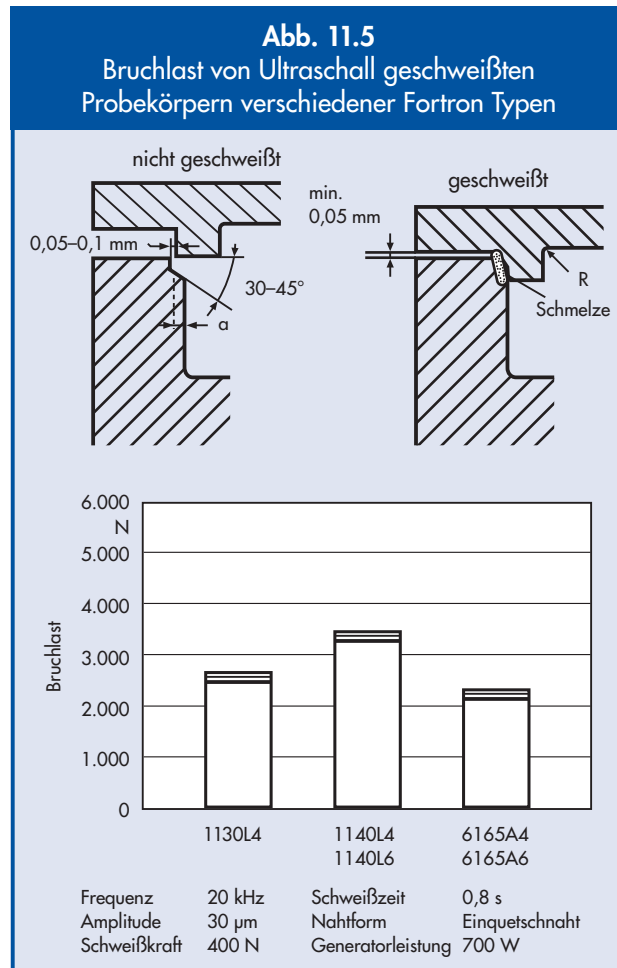
11.3.1 Schweißen

Beim Schweißen wird die Verbindungslinie zwischen zwei Bauteilen zur Herstellung einer Schweißnaht geschmolzen. Schweißen ist eine schnelle, wirtschaftliche und sichere Methode, um zwei Teile aus Fortron PPS zu verbinden.

Der Hersteller hat die Wahl zwischen Ultraschallschweißen, Rotationsreibschweißen, Vibrations-schweißen, Heizelementschweißen, elektromagnetischem Schweißen und Laserschweißen.

Die höchsten Fügenahtfestigkeiten erzielt man mit qualitativ hochwertigen, gut konstruierten und geformten Teilen, die durch enge Toleranzen und eine gute Maßhaltigkeit gekennzeichnet sind. Die Auswahl des Verfahrens im konkreten Anwendungsfall hängt von der Fügeteilform und -gestaltung, dem Fortron-Typ und dem Anforderungsprofil der betreffenden Teile ab.

– Das **Ultraschallschweißen**, bei dem an der Grenzfläche zwischen zwei zu fügenden Teilen hochfrequente Energie angewendet wird, dauert normalerweise pro Schweißnaht weniger als 2 Sekunden. Dabei entstehen zwischen Fortron PPS-Teilen kontinuierliche und dichte Verbindungen mit hoher Festigkeit (Abb. 11.5). In vielen Fällen sind mit 20 bis 40 kHz hergestellte Quetschnähte optimal. Aber auch Quetschnähte mit konischer Anschrägung und mit Schweißwegen über 1 mm kommen in Betracht. Fortron PPS lässt sich sowohl im Nah- als auch im Fernfeld ultraschallschweißen. Allerdings können die von den Fügeteilen aufzunehmenden Wechseldehnungen zu örtlichen Beschädigungen führen. Um dies zu vermeiden, sind besondere Vor-



kehrungen im Hinblick auf die Bauteilkonstruktion zu treffen. Schwingweite, Schweißzeit, Schweißdruck und andere Maschineneinstellungen sind zu optimieren. Fortron-Typen mit bis zu 40% Verstärkungsstoffen bringen noch gute schweißtechnische Resultate. Bei einem höheren Gehalt an Verstärkungsstoffen verschlechtert sich jedoch die Schweißfähigkeit.

– Durch **Rotationsreibschweißen** werden Formteile miteinander verbunden, deren Fügeflächen rotations-symmetrisch angeordnet sind. Dieses Verfahren erfordert eine relativ einfache Ausrüstung, bei der ein Teil statisch bleibt und ein rotierendes Teil mit einem vorgegebenen Druck an das statische Teil gepresst wird. Mit Fortron PPS können gasdichte und hochfeste Verbindungen in weniger als 3 Sekunden hergestellt werden. Die Schweißdaten wie Reibgeschwindigkeit, Anpressdrücke sowie Drehzahlen sind typ- und geometrieabhängig und müssen durch optimierende Versuche ermittelt werden.

- Beim **Vibrationsschweißen** werden die Formteile zur Erzeugung von Reibungswärme aneinander gerieben, gewöhnlich mit Amplituden von 2,5 bis 5 mm und Frequenzen von 120 und 240 Hz. Mit diesem Verfahren lassen sich schnell feste Verbindungen herstellen. Vibrationsschweißen bewährt sich am besten bei großen Teilen mit unregelmäßigen Fügeflächen. Es ist eine ausgezeichnete Alternative, wenn Ultraschall- oder Rotationsreißschweißen wegen der Formteilgeometrie nicht in Betracht kommen.
- Das **Heizelementschweißen** wird angewendet, wenn Verbindungen in der Praxis mechanisch beansprucht werden, wenn eine große Fügenaht zu fertigen ist oder wenn die Formteilgeometrie andere Schweißverfahren ausschließt. Die Heizelemente müssen für die bei PPS erforderlichen hohen Temperaturen ausgelegt sein.
- Beim **elektromagnetischen Induktionsschweißen** werden unter der Wirkung eines Hochfrequenz-Magnetfeldes kleine, magnetisch empfindliche Metall- oder Keramikeilchen in einem als Schweißhilfsmaterial eingesetzten Vorformling angeregt. Die dadurch entstehende Wärme lässt den Vorformling mit angepressten Fortron PPS-Formteilen verschmelzen, so dass gasdichte, hochfeste Verbindungen entstehen. Das elektromagnetische Schweißen ermöglicht die Einbettung von Metallteilen und ist auch bei schwierigen Verbindungen noch anwendbar, bei denen andere Techniken ausscheiden.
- Beim **Laserschweißen** durchdringt ein Laserstrahl ein Formteil und wird vom zweiten Formteil absorbiert. Dabei wird das zweite Teil erwärmt. Bei Fortron PPS sollte das laserdurchlässige Teil aus einem nicht gefüllten Typ hergestellt und weniger als 2 mm dick sein. Das andere Teil ist aus verstärktem Fortron PPS auszulegen, weil diese Typen ein günstiges Absorptionsverhalten besitzen. Bei Versuchen mit diesem Verfahren wenden Sie sich bitte an den Hersteller des Laserschweißsystems.

11.3.2 Schnappverbindungen

Fortron ist nur eingeschränkt für Schnappverbindungen geeignet. Bei der Konstruktion von Fortron PPS-Schnappverbindungen¹ ist die Abhängigkeit der zulässigen Randfaserdehnung von der Wanddicke und vom jeweiligen Orientierungszustand der Glasfasern zu

berücksichtigen. Richtwerte für die Obergrenze der Randfaserdehnung:

Fortron 1131L4 ITT, 1140L4, 1140L6:	1,3%
Fortron 4184L4, 4184L6:	1,1%
Fortron 6165A4, 6165A6:	0,8%

Die für eine Berechnung erforderlichen Reibungszahlen hängen vom Gleitpartner, von der Oberflächenrauheit und der Flächenpressung ab. Typische Reibungszahlen bei Fortron PPS sind 0,3 bis 0,4 für Fortron auf Fortron und 0,4 für Fortron auf Stahl. Bei der Auslegung von Schnappverbindungen sind Praxisversuche zu empfehlen.

11.3.3 Kleben

Fortron PPS kann mittels Haftklebung verbunden werden. Dabei entstehen ausgezeichnete flüssigkeits- und gasdichte Verbindungen, die keine prozessbedingten Bauteilspannungen verursachen.

Je nach Anwendung können Zweikomponenten-Klebstoffe auf Basis von Epoxidharz, Methacrylat oder Polyurethan, Einkomponenten-Klebstoffe auf Basis von Cyanacrylat oder Schmelzklebstoffe verwendet werden. Die Auswahl des Klebstoffes ist von der Dauertemperaturbeanspruchung bei der Anwendung abhängig. Die Klebflächen müssen frei von Fetten, Formtrennmitteln und anderen Verunreinigungen sein, welche die Verbindung beeinträchtigen können. Gegebenenfalls müssen Sie vor dem Verkleben aufgeraut oder angeätzt werden.

Die Fügeflächen für Klebverbindungen können die unterschiedlichsten Formen haben und sind daher unter Anwendungsbedingungen zu testen.

11.3.4 Schrauben und andere mechanische Verbindungselemente

Fortron PPS ermöglicht die Herstellung von Bauteilen mit angeformten Gewinden, umspritzten Einsätzen und Schraubverbindungen in Form von Durchsteck- und Direktverschraubungen (zum Beispiel gewindefurchende Schrauben).

Die Verschraubungsmethode hängt von den Anforderungen des vorgesehenen Verwendungszwecks und der Gestaltung des Formteils ab. Fortron PPS hat ein geringes Dehnvermögen und ist kerbempfindlich.

Daher sollten die Bereiche, in denen voraussichtlich bei der Anbringung mechanischer Verbindungselemente hohe Spannungen auftreten, bei der Formteilgestaltung besondere Beachtung finden.

Diese Spannungen können auch durch Auswahl geeigneter Verbindungselemente und durch Verwendung drehmomentbegrenzender Schraubendreher bei der Montage abgeschwächt werden. Wenden Sie sich bei der Durchführung von Versuchen an die Hersteller der Verbindungselemente.

Wenn eingeformte oder eingepresste Gewindeeinsätze aus Metall verwendet werden, erübrigt sich eine Mutter, so dass die Montage von einer Seite erfolgen kann. Dafür kommen Hohlgewinde, Schraubbolzen, Passstifte und Buchsen in Betracht. Mittels Ultraschall integrierte Einsätze sind im Vergleich zu vielen anderen Arten von Einsätzen stabil und weitgehend frei von Spannungen.

Bei Verwendung gewindefurchender Schrauben ist die Bohrung zur Vermeidung übermäßiger Umfangsspannungen großzügig anzulegen. Ferner muss die Bohrung so tief sein, dass ein Anstehen der Schraube am Bohrungsende vermieden wird. Die Formteilmwand muss so dick sein, dass sie den von der Schraube ausgehenden Spannungen standhalten kann.

Metallnieten schaffen eine permanente Verbindung und können rasch installiert werden. Sie sollten große Köpfe haben, um die Belastung zu verteilen. Der Schließkopf des Niets ist auf dem Metallteil der Baueinheit oder, wenn die zu verbindenden Teile aus Kunststoff sind, auf einer Unterlegscheibe aus Metall anzubringen.

11.4 Oberflächenbehandlung

Zur Verbesserung der Oberfläche von Fortron PPS-Bauteilen, zur Bauteilkennzeichnung und zum Schutz gegen z.B. Wärme, elektromagnetische Strahlung, Chemikalien oder Abrieb hat der Hersteller die Wahl zwischen einer Vielzahl von Methoden zur Oberflächenbehandlung. Dazu gehören Beschriften mittels Laserstrahl, Lackieren, Bedrucken und Metallisieren.

Oft erfordern diese Methoden eine Vorbehandlung, weil die Oberflächenbehandlung in der Regel die besten Ergebnisse bringt, wenn die betreffenden Flächen frei von Öl, Formtrennmitteln und anderen

Verunreinigungen sind. Zur Reinigung werden häufig Lösungsmittel und Detergenzien verwendet, aber auch eine Vorbehandlung der Fläche mit einem Grundiermittel, Ätzen, Trockenschleifen, Beflammung, Plasmabehandlung und andere Verfahren können sich als erforderlich erweisen.

11.4.1 Beschriften mittels Laserstrahl

Zum berührungslosen Beschriften von Fortron PPS-Flächen mit Text, Mustern, Symbolen und Codes sollte ein Nd:YAG-Laser (1064 nm) verwendet werden. Solche Laser erzeugen auf naturfarbigem Fortron PPS dunkle, matte Schriftbilder.

11.4.2 Lackieren

Artikel aus Fortron können nach Vorbehandlung mit einem geeigneten Grundiermittel mit herkömmlichen Decklacken lackiert werden. Die Auswahl der Lacke richtet sich nach den gewünschten Eigenschaften, zum Beispiel Witterungsbeständigkeit, Chemikalienbeständigkeit und Kratzfestigkeit. Insbesondere ist darauf zu achten, dass das Lacksystem den unter Anwendungsbedingungen auftretenden thermischen Belastungen standhalten kann.

11.4.3 Bedrucken

Das Bedrucken von Fortron PPS kann mittels Tiefdruck, Flexodruck, Tampondruck, Offsetdruck, Siebdruck, Digitaldruck und anderer Verfahren erfolgen. Vor dem Druck muss die betreffende Fläche vorbehandelt werden, damit sie fettfrei ist. Je nach Anwendung können Druckfarben auf Basis von Epoxidharz, Acrylharz, Celluloseester oder Zweikomponenten-Druckfarben auf Urethanbasis verwendet werden.

11.4.4 Metallisieren

Bauteile aus Fortron PPS können mit dem nass-chemischen oder elektrochemischen Verfahren sowie durch Bedampfen im Vakuum metallisiert werden.

Beim Galvanisieren werden die Fortron PPS-Bauteile mit Säure angeätzt. Dadurch entsteht eine feinporige Fläche, welche die Haftung des galvanischen Überzugs begünstigt. Durch Eintauchen des Teils in ein Elektrolytbad wird auf der Fläche eine dünne Schicht aus Kupfer oder einem anderen Metall gebildet. Danach wird der galvanische Überzug als relativ

dicke, dauerhafte Schicht von Metallen wie Kupfer, Nickel, Chrom, Messing, Silber oder Gold gebildet. Die Formteile müssen glatt sein und dürfen keine Fehler wie Bindenähte und Einfallstellen aufweisen.

11.4.5 Heißprägen

Beim Heißprägen werden mit Struktur-Werkzeugen Buchstaben und Muster - z.B. einfarbige Flächen, Holzmaserungen, Metallfinish und andere Effekte - von Prägefolien auf die Fläche übertragen. Das

Prägewerkzeug wird bis kurz vor dem Schmelzpunkt des Kunststoffs erwärmt. Beim Thermotransferdruck arbeitet man mit erwärmten, flachen Heizelementen oder Walzen, um mehrfarbige Muster von einer Verbundfolie auf eine Fläche zu übertragen.

Literatur

- [1] Ticona GmbH, Berechnen von Schnappverbindungen aus technischen Kunststoffen, August 1996, 2. Ausgabe

12. Stichwortverzeichnis

- Abrieb 16, 49
 Anguss 27 – 33
 Anguss - Tunnel 27
 Angussdurchmesser 27
 Anhaftprobleme 33
 Anschnitt 27
 Anschnitt - Einfrieren des 34
 Anschnitt - Rechteck 28
 Anschnitt - Schirm 28
 Anschnitt - Tunnel 27
 Anschnittdurchmesser 28
 Außerbetriebnahme 23
 Automobilindustrie 2, 3, 21, 39, 43
 Automobilspezifikationen 21
- Bahnen** 35
 Bedarfsgegenständeverordnung 22
 Bedrucken 49
 Biege-E-Modul 9
 Biegefestigkeit 8, 27, 28
 Biegemodul 7
 Bindenähte 28
 Bindenähte - Qualität der 34
 Biokompatibilität 5
 Blasen im Formteil 34
 Blasformen 23
 Blasformen 39
 Bohren 46
 Brandprüfung 15
 Brandschutz 23
 Brennbarkeit 8
 Bruchdehnung 7
- CAMPUS-Datenbank 8
 Chemikalienbeständigkeit 2, 18
 Compounds 4
 CTI-Wert 8
- Dauergebrauchstemperatur 12, 17
 Dauerschwingversuch 11
 Dichte 7
 Dielektrikum 16
 Dielektrizitätszahl 8, 15
 Dimensionsstabilität 2, 7
 Drehen 46
 Durchgangswiderstand 8, 15
 Durchschlagfestigkeit 8, 16
 Düsen - außenbeheizt 29
 Düsen - indirekt beheizt 29
 Düsen - innenbeheizt 29
 Düsen - mit seitlicher Anbindung 29
- Düsen - mit Spitzen 29
 Düsen - Nadelverschluss 29
 Düsen - offen 29
 Düsenprobleme 32
- Einfallstellen 33
 Einfärben 5
 Einspritzdruck - spezifisch 30
 Einspritzgeschwindigkeit 29 - 30
 Entformungsfläche 27
 Entformungsschräge 26
 Entformungswinkel 27
 Entlüftung - Werkzeug 27, 28
 Extruderkopf 35
 Extrudertemperatur 42
 Extrusion 4
 Extrusion - Düse 35
 Extrusion - Gestaltung der Schnecke 35
 Extrusion - Verarbeitung 35
 Extrusion - Verarbeitungsbedingungen 35
 Extrusionsbeschichtung 37
- Farbkonzentrate 5
 Farbveränderung 6
 Faserdurchmesser 42
 Fehlersuche 32
 Flammwidrigkeit 2, 7, 23
 Fließnaht 27
 Fließvermögen 2
 flüssigkristallines Polymer 13
 Folien 35
 Formbeständigkeit 4
 Fräsen 46
 Fügen 47
- Galvanisieren 49
 Gebrauchstemperatur 2
 Geruch 23
 Gewindeeinsätze 49
 Gewindeschneiden 46
 Glasfaser 4
 Glastemperatur 12
 Glasübergangstemperatur 7, 12
 Glühdrahtprüfung 14
 Granulat 4
 Gratbildung 32
- Heißkanalanschnitt - Nachlaufen 34
 Heißkanaldüsen 29
 Heißkanalsysteme 29
 Heißprägen 50

- Heizelementschweißen 47
 Hinterschnitt 26, 27
 Hydrolysebeständigkeit 18
 hygroskopisch 18
- Inbetriebnahme 23
 Induktionsschweißen 48
- K**abelummantelung 37
 Kalender 43
 Kavität 25
 Kerbschlagzähigkeit 8, 19, 31
 Kleben 47 – 48
 Kohlenstofffaser 4, 5, 39, 40
 Korrosionsbeständigkeit 25, 26, 29, 41, 42
 Kraftstoff 2 – 3, 18 – 19, 39, 41
 Kraterbildung 33
 Kriechmodul 9, 11
 Kriechneigung 2, 7, 9
 Kriechverhalten 10 – 11
 Kriechwegbildung 8
 Kristallisationstemperatur 12
 Kristallitschmelzbereich 12
 Kugeldruckhärte 16
 Kühlzeit - theoretisch 31
- Lackieren 49
 Lackieren 49
 Längenausdehnungskoeffizient 8, 13
 LASER-Beschriften 49
 LASER-Markieren 49
 LASER-Schweißen 48
 Lebensmittelkontakt 21, 22
 Lötbeständigkeit 14
 Lufteinschlüsse 28, 33
 Luftfahrt 3, 15, 20
- M**ahlgut 31
 Maschinenreinigung 25
 Masterbatch 14
 Maximale Arbeitsplatzkonzentration; MAK 23
 Medienbeständigkeit 7
 Medizintechnik 5
 Meltblown - Fasern 42
 Meltblown - Vliese 42
 Metallisieren 49
 Mineralfüllstoffe 25
 Monofilamente 42, 43
 Multifilamente 42, 43
 Multilayer-Folien 35
- Nachbearbeitung 45
 Nachbehandlung in der Wärme 45
 Nachdruck - spezifisch 30
 Nachdruckzeit 30
 Nachkristallisationstemperatur 12, 24
 Nachschwindung 24, 45 – 46
 Naturfarbe 5
 Nieten 49
 Normen
 - ACS 21
 - ABD0031 - Airbus 15
 - BgVV, BGA 22
 - Charpy 8, 31
 - Device Master File 5
 - DIN 5510 Schienenfahrzeuge 15
 - DIN 5659 Rauchgas/-dichte 15
 - Drug Master File 5
 - FAR25.853 - US Luftfahrt 15
 - FDA 5
 - FMVSS (US-Kraftfahrzeug-Sicherheits) 14
 - Food Contact Substance Notification 22
 - ISO 9000 6
 - Izod 8
 - KTW 21
 - LOI 8, 14
 - National Bureau of Standards 14
 - NSF 21
 - RoHS 14
 - UL 14
 - UL94 8
 - US Pharmacopeia Class VI 22
 - UTI 16, 17
 - WEEE 14
 - WRAS 21
 Normklima 10
- Oberflächenbehandlung 49
 Oberflächenbeschichtung 26
 Oberflächenriffelung 33
 Oberflächenwiderstand 8, 15
 Oxidationsbeständigkeit 2
- P**ellet 4
 Permeabilität 19
 Permeationskoeffizient 20
 photo-oxidative Reaktion 6
 Physikalische Eigenschaften 8
 Pinolen - Umlenkkopf 38
 Plastifiziereinheit - Reinigung 30
 Platten 36
 Profile 35

- Pulver 4
- Pulverbeschichtung 41
- Qualitätsmanagement 6
- Radien 28
- Randfaserdehnung 27, 48
- Randfaserdehnung 48
- Randfaserspannung 11
- Rauchgasdichte 15
- Regranulatzusatz 31
- Reibungszahl 48
- Rezyklat 31
- Rippen 28
- Rockwellhärte 8, 16
- Rohre 36
- Rotationsreibschweißen 47
- Sägen 46 – 47
- Sauerstoffindex 8, 14
- Schlagzähigkeit 8
- Schläuche 36
- Schmelzbereich 7
- Schmelzeenthalpie 12
- Schmelzeviskosität 4
- Schnappverbindungen 48
- Schnecke 24 – 35
- Schnittgeschwindigkeit 46
- Schrauben 48
- Schubmodul 7
- Schussgewicht 31
- Schwefelhaltige Verbindungen 23
- Schweißen 47
- Schwimmhaut 4
- Schwindung 45
- Short Shots 33
- Sicherheitsdatenblatt 53
- Siebpackung 35
- Spanende Bearbeitung 46
- Spannungs-Dehnungsverhalten 7
- Spritzguss 4
- Spritzguss - Verarbeitungsbedingungen 29 - 30
- Spunbond - Vliese 42
- Stäbe 36
- Stahlart 25
- Stapelfasern 43
- Staudruck 29 - 30
- Steifheit 7
- Technische Textilien 42
- teilkristallin 2
- Temperiergerät 30
- Tempern 45
- Thermoformen 23
- Toleranzen 28
- Toxikologie 15
- Tribologische Eigenschaften 16
- Trinkwasserzulassung 21
- Trockner 24
- Tunnelanschnitt 26
- Typensortiment 4
- Ultraschallschweißen 47
- UV-Bestrahlung 19
- Verarbeitungsschwindung 8
- Verarbeitung 24, 27, 29 – 32, 39 – 42
- Verarbeitungstemperatur 6
- Verbrennungen 32
- Verbundwerkstoffe 39
- Verfärbungen 32
- Verformung 33
- Verlustfaktor, dielektrischer 8, 15, 16
- Verlustfaktor, mechanischer 7
- Verschlussdüse 29, 32
- Verteiler 27 – 34
- Verweilzeit 29 – 30, 39
- Verzug 33
- Vibrationsschweißen 48
- Vliese 42
- Vorschubgeschwindigkeit 46
- Vortrocknen 24
- Wärmealterung 17
- Wärmeformbeständigkeitstemperatur 13
- Wärmeleitfähigkeit 13, 15
- Wasseraufnahme 2, 7, 8, 17, 24
- Werkzeugauslegung 25
- Werkzeugentlüftung 27, 28
- Werkzeugwandtemperatur 13, 30
- Wöhler-Kurve 11 – 12
- Xenon Bogenlampe 19
- Zeitschwingfestigkeit 11 – 12
- Zeitstandfestigkeit 7, 9
- Zeitstandversuch 7
- Zertifizierung 6
- Zug-E-Modul 8, 17
- Zugfestigkeit 8, 17
- Zugmodul 7
- Zylinder 23 – 25, 29 – 36, 39

Umrechnungstabellen und Faktoren

11.1 · Umrechnungsfaktoren		
— Multiplizieren —→		
← Dividieren —		
Länge		
Inch (in)	0,0254	Meter (m)
Foot (ft)	0,305	Meter (m)
Fläche		
Square inch (in ²)	6,45 x 10 ⁻⁴	Quadratmeter (m ²)
Square feet (ft ²)	0,0929	Quadratmeter (m ²)
Volumen		
Cubic inch (in ³)	1,64 x 10 ⁻⁵	Kubikmeter (m ³)
Cubic feet (ft ³)	0,0283	Kubikmeter (m ³)
Masse		
Pound (lb)	0,454	Kilogramm (kg)
Kraft		
Pound force (lbf)	4,45	Newton (N)
Kilogram force (kgf)	9,81	Newton (N)
Druck		
Newton/meter ² (N/m ²)	–	Pascal (Pa)
lbf/in ² (psi)	6,897 x 10 ³	Pascal (Pa)
lbf/in ² (psi)	6,897 x 10 ⁻³	Mega Pascal (MPa)
kg/cm ²	9,81 x 10 ⁴	Pascal (Pa)
bar	10 ⁴	Pascal (Pa)
Viskosität		
Poise	0,1	Pascal · Sekunde (Pa · s)
Energie		
Kalorie (cal)	4,2	Joule (J)
Kalories/Gramm (cal/g)	4,2	Kilojoule/Kilogramm (kJ/kg)
Joule/Kilogramm (J/kg)	2,33 x 10 ³	BTU/lb
Technische Textilien		
Fadengröße		
1 tex	9	Denier
1 dtex	0,1	mg/m
Zähigkeit		
1 cN/tex	0,1132	gf/denier

11.2 · Umrechnung von Zug- oder Biegeeigenschaften			
Festigkeit		Modul	
MPa	psi	MPa	psi x 10 ⁶
75	10900	6000	0,87
100	14500	8000	1,16
125	18000	10000	1,45
150	21800	12000	1,74
175	25400	14000	2,03
200	29000	16000	2,32
225	32700	18000	2,61
250	36300	20000	2,90
275	39900	22000	3,19
300	43500	24000	3,48

11.3 · Längenumrechnung				
inches	inches	mils	cm	mm
1	1	1000	2,54	25,4
1/2	0,5	500	1,27	12,7
1/4	0,25	250	0,635	6,35
1/8	0,125	125	0,32	3,2
1/16	0,0625	62,5	0,16	1,6
1/32	0,0313	31,3	0,08	0,8
1/64	0,0156	15,6	0,04	0,4

11.4 · Temperatur-Umrechnung	
°C	°F
0	32
10	50
20	68
50	122
75	167
100	212
125	257
150	302
175	347
200	392
225	437
250	482
275	527
300	572
325	617
350	662
375	707
400	752

Umrechnungsfaktor: °F = 1,8 (°C) + 32

Hinweise für Anwender:

Die in dieser Veröffentlichung enthaltenen Informationen sind nach unserem besten Wissen zutreffend. Wir übernehmen jedoch keinerlei Haftung für die Richtigkeit und Vollständigkeit dieser Informationen. Bestimmte Eigenschaften unserer Produkte werden hiermit weder vereinbart noch zugesichert.

Die in dieser Veröffentlichung enthaltenen Berechnungsverfahren beruhen häufig auf Vereinfachungen und sind daher nur annähernder Natur. Wir empfehlen dringend, das Funktionieren des jeweiligen Bauteils in der konkreten Anwendung durch das Ausprüfen von Prototypen sowie genauere Berechnungsverfahren sicherzustellen. Jede Anwendung der in dieser Veröffentlichung enthaltenen Informationen oder der hierin beschriebenen Produktionsmittel, Verarbeitungsverfahren oder Materialien setzt die Einhaltung aller einschlägigen Sicherheitsvorschriften und Bestimmungen zum Schutze der Gesundheit voraus.

Ob durch die Verwendung der in dieser Veröffentlichung genannten Materialien bestehende Patente verletzt werden, hat der jeweilige Anwender in alleiniger Verantwortung zu prüfen.

Die Eigenschaften von Formteilen werden durch verschiedene Faktoren wie etwa Materialauswahl, Zusätze zum Material, Formteildesign, Verarbeitungs- oder Umweltbedingungen beeinflusst. Die Entscheidung über die Eignung eines bestimmten Materials und Bauteildesigns für einen konkreten Einsatzzweck obliegt ausschließlich dem jeweiligen Anwender. Dieser hat sicherzustellen, dass das verarbeitete Material den Anforderungen des jeweiligen Produktes und Einsatzzweckes entspricht. Hierfür hat er Prototypen aller Produkte, die Kunststoffe enthalten, unter den härtesten Bedingungen auszuprüfen, denen die Produkte in der praktischen Anwendung ausgesetzt sein werden.

Die in dieser Veröffentlichung angegebenen Materialdaten und Meßwerte basieren entweder auf Laborversuchen unter standardisierten Bedingungen und bewegen sich innerhalb der normalen Eigenschaften unveränderten Original-Materials, oder sie entstammen verschiedenen veröffentlichten Quellen. Wenngleich davon auszugehen ist, dass diese Daten und Werte für das jeweilige Material typisch sind, bilden sie allein keine ausreichende Grundlage für eine Bauteilauslegung und dienen auch nicht der Festlegung von Maximalwerten, Minimalwerten oder Wertebereichen zu Spezifikationszwecken. Farbstoffe oder sonstige Zusätze können zu erheblichen Abweichungen in den Materialeigenschaften führen.

Wir empfehlen dem Anwender dringend, die aktuellen Anweisungen des jeweiligen Herstellers für den Gebrauch der einzusetzenden Materialien einzuholen und diese zu befolgen sowie die Handhabung der Materialien nur hinreichend geschultem Personal zu überlassen. Wenn Sie zusätzliche technische Informationen benötigen, erreichen Sie uns unter einer der umseitig aufgeführten Telefonnummern. Bei der Verarbeitung unserer Produkte berücksichtigen Sie bitte die entsprechenden Sicherheitsdatenblätter, die Sie von unserem Customer Service unter einer der umseitig aufgeführten Telefonnummern erhalten. Zudem ist es bei vielen Materialien erforderlich, den Kontakt von Menschen mit diesen Materialien im Hinblick auf mögliche schädliche Auswirkungen auf das praktisch geringstmögliche Maß zu reduzieren. Soweit in dieser Veröffentlichung Risiken aufgeführt sind, können darüber hinaus weitere, in dieser Veröffentlichung nicht aufgeführte Risiken bestehen.

Unsere Produkte sind nicht für eine Verwendung in medizinischen oder zahnmedizinischen Implantaten bestimmt.

© Copyright Ticona GmbH
Ausgabe: Mai 2007

Ticona

Hostaform® , Celcon®

Polyoxymethylen Copolymer (POM)

Celanex®

Thermoplastische Polyester (PBT)

Impet®

Thermoplastische Polyester (PET)

Vandar®

Thermoplastische Polyester Blends

Riteflex®

Thermoplastische Polyester Elastomere (TPE-E)

Vectra®

Flüssigkristalline Polymere (LCP)

Fortron®

Polyphenylensulfid (PPS)

Celstran® , Compel®

Langfaserverstärkte Thermoplaste (LFT)

GUR®

Ultrahochmolekulares Polyethylen (PE-UHMW)

Ticona GmbH

Information Service

Tel.: +49 (0) 180 - 5 84 26 62 (Deutschland)*

+49 (0) 69 - 30 51 62 99 (Europa)

Fax: +49 (0) 180 - 2 02 12 02**

e-Mail: infoservice@ticona.de

Internet: www.ticona.com

* 0,14 €/min aus dem Festnetz der T-Com

** 0,06 €/Call aus dem Festnetz der T-Com