



FORTRON® PPS
POLYPHENYLENSULFID (PPS)

Inhaltsverzeichnis

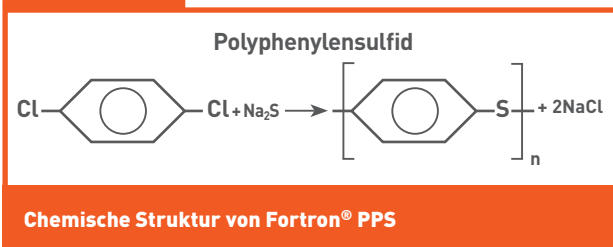
1	Einleitung	4
1.1	Anwendungsspektrum	4
2	Produktlinie	6
2.1	Typen	6
2.2	Einfärbungen	8
2.3	Verpackung	8
2.4	Qualitätsmanagement	8
3	Eigenschaften	9
3.1	Physikalische Eigenschaften	9
3.2	Mechanische Eigenschaften	9
3.3	Thermische Eigenschaften	15
3.4	Elektrische Eigenschaften	17
3.5	Oberflächeneigenschaften	19
4	Umgebungseinflüsse	20
4.1	Wärmealterung	20
4.2	Wasseraufnahme	20
4.3	Chemikalienbeständigkeit	20
4.4	Beständigkeit gegen UV-Licht	22
4.5	Permeabilität	22
5	Spezifikationen und Normen	23
5.1	Automobilspezifikationen	23
5.2	Entflammbarkeit und Verbrennung	23
5.3	Trinkwasser-Zulassungen	25
5.4	Produkte für Lebensmittelkontakt-Anwendungen/Bedarfsgegenstände	26
5.5	Produkte für medizinische und pharmazeutische Anwendungen	26
6	Allgemeine Verarbeitungshinweise	27
6.1	Sicherheit	27
6.2	Inbetriebnahme und Außerbetriebsetzung	28
6.3	Anmerkungen zum Trocknen	28
6.4	Maschinenreinigung	28

7	Spritzgießen	29
7.1	Anmerkungen zur Spritzgießmaschine	29
7.2	Werkzeugauslegung	30
7.3	Heißkanalsysteme	34
7.4	Verarbeitungsbedingungen	35
7.5	Verwendung von Recyclaten	38
7.6	Empfehlungen zur Fehlersuche	38
8	Extrusionsverarbeitung	43
8.1	Verarbeitungsbedingungen	43
8.2	Profile	43
8.3	Extrusionsbeschichtung und Kabelummantelung	46
9	Andere Verarbeitungsverfahren	47
9.1	Blasformen	47
9.2	Verbundwerkstoffe	48
9.3	Pulverbeschichtung	49
10	Technische Textilien	50
10.1	Meltblown-Vliese	50
10.2	Spunbond-Vliese	51
10.3	Stapelfasern	51
10.4	Monofilamente	51
10.5	Multifilamente	52
11	Nachbearbeitung	53
11.1	Nachbehandlung in der Wärme	53
11.2	Spanende Bearbeitung	54
11.3	Fügen von Formteilen aus Fortron®PPS	55
11.4	Oberflächenbehandlung	58
12	Stichwortverzeichnis	59
13	Umrechnungstabellen	62

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.

Abb. 1.1



Fortron® PPS ist ein lineares, teilaromatisches PPS, bestehend aus Phenylenringen und Schwefelatomen, die alternierend in Parastellung verknüpft sind (**Abb. 1.1**).

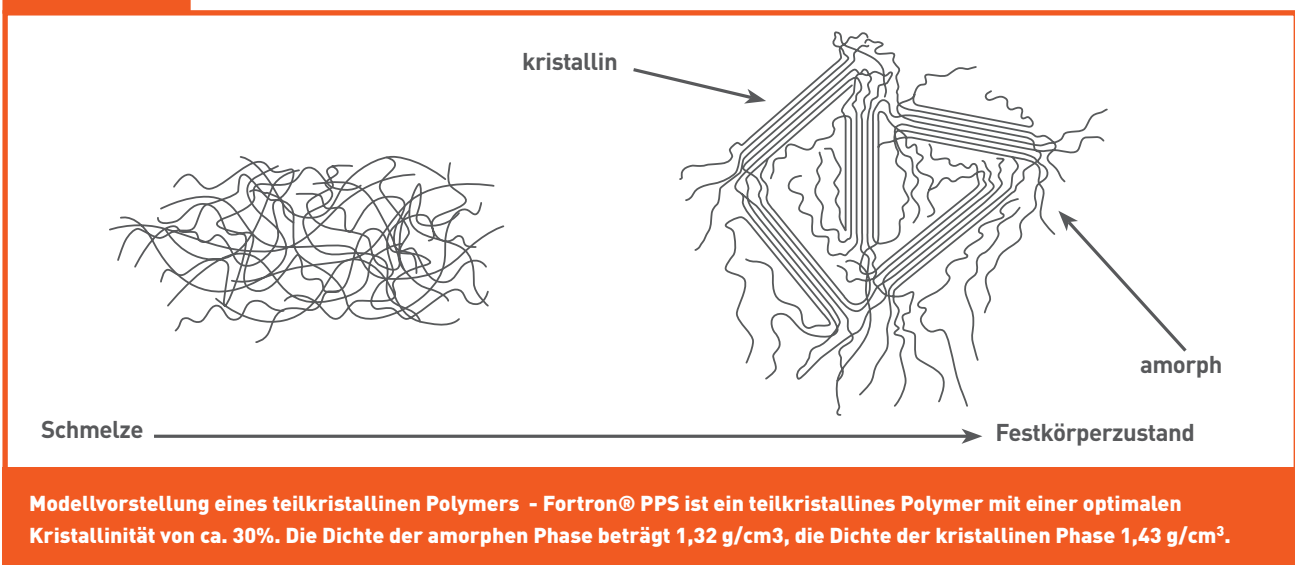
Die Synthese erfolgt durch eine komplexe Reaktion von Paradichlorbenzol und Natriumsulfid in einem speziellen Lösungsmittel. Nach dem Erstarren ist Fortron® teilkristallin (**Abb. 1.2**), wobei ihm seine lineare Struktur im Vergleich zu vernetztem PPS eine relativ hohe Zähigkeit verleiht.

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 **Tab. 1.1**. Wenn eine hohe Chemikalienbeständigkeit, mechanische Widerstandsfähigkeit und Kriechfestigkeit erforderlich sind, wird Fortron® PPS häufig an Stelle von Metallen, 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 immer häufiger eingesetzt. Zu den spezifischen Anwendungsmöglichkeiten in diesem Bereich gehören Luftansaugsysteme, Dichtungen, Kraftstoffverteilerleisten, Ventilkappen, Verteiler, Stecker, Lampensockel und Reflektoren.

Abb. 1.2



Tab. 1.1

Wichtigste Einsatzgebiete von Fortron® PPS

Marktsektor	Vorteile der Anwendung von Fortron® PPS
Automobilindustrie	Lösemittelbeständigkeit, Temperaturbeständigkeit, Formbeständigkeit
Technische Textilien	Temperaturbeständigkeit, Chemikalienbeständigkeit, Flammschutzeigenschaft
Rohre	Chemikalienbeständigkeit, Temperaturbeständigkeit, Biessamkeit, Schlagfestigkeit, Steifheit
Folien	Gute Verarbeitbarkeit, Steifheit, Festigkeit, Chemikalienbeständigkeit
Industrie	Reibungs- und Verschleißverhalten, Steifheit, Festigkeit, Formbeständigkeit, Temperaturbeständigkeit
Elektrotechnik/Elektronik	Formbeständigkeit, Wärmeformbeständigkeit, Ionenreinheit, Flammwidrigkeit, Fließfähigkeit
Gesundheitswesen	Chemikalienbeständigkeit, Sterilisationsbeständigkeit, Steifheit, Festigkeit
Audio/Video	Steifheit, Festigkeit, Formbeständigkeit, Temperaturbeständigkeit
Telekommunikation	Formbeständigkeit, Steifheit, Festigkeit
Faseroptik	Maßgenauigkeit, ausgezeichnete Barrierewirkung
Tiefemperaturtechnik	Hervorragende Sperrschicht, gute Fließfähigkeit bei niedrigen Temperaturen, Steifheit, Festigkeit
Büromaschinen	Formbeständigkeit, Chemikalienbeständigkeit
Luftfahrt	Chemikalienbeständigkeit, Temperaturbeständigkeit, Steifheit, Festigkeit

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 blasgeformten und extrudierten Folien oder Fasern verwendet. In Kohleboilern, Kraft-Wärme-Kopplungs-Anlagen und Zementöfen wird es sowohl als Filtermedium als auch als Filterhalter eingesetzt. Auch zum Filtrieren aggressiver Flüssigkeiten wie heißes Wasser, Amin, Glykol, Sulfolan, Methylenchlorid, Naphtha und Kalilauge findet es Verwendung.

Es kann zu verschiedenen Profilen wie Voll- und Hohlstäbe, Rohre und Platten extrudiert werden. In Form eines feinen Pulvers wird es als Bindemittel in Verbundstoffen für Produkte vom Golfschläger bis hin zu Flugzeugtragflächen verwendet.

Fortron® ICE PPS, die neue Generation von Fortron® PPS, bietet Verarbeitungsvorteile gegenüber herkömmlichem Fortron® PPS. Beim Spritzgießen ermöglicht Fortron® ICE PPS verkürzte Zykluszeiten durch rasche Kristallisation. Ferner wird die Gratbildung an den Formteilen minimiert. So ermöglicht Fortron® ICE PPS Seine höhere Produktivität und die Realisierung komplexer Formteile.

Literatur

1. Cebe, Peggy, Review of Recent Developments in Poly(Phenylene Sulphide), Polymers and Polymer Composites, Bd. 3, Nr. 4, 1995, S. 239 - 266

2 Typensortiment

2.1 Typen

Das Fortron® PPS-Sortiment umfasst ein breites Spektrum von Standard- und Spezialtypen für verschiedene Verarbeitungsverfahren wie Spritzgießen, Extrusion, Faserherstellung und Blasformen **Tab. 2.1 – 2.2**. Unverstärkte Typen sind als Granulat und als rieselfähiges Pulver verfügbar. Verstärkte und gefüllte Typen werden in Form von Granulat angeboten.

Dank seiner Affinität zu Füllstoffen kann Fortron® PPS mit bis zu 70% Füllstoffen und Verstärkungsstoffen versetzt werden. Typen mit Glasfasern und Glasfaser-Mineral-Mischungen sind im Hinblick auf eine ideale Mischung von Steifheit, Festigkeit, Zähigkeit und Wärmeformbeständigkeit optimiert. Das Fortron®-Sortiment bietet sowohl bei den unverstärkten als auch bei den verstärkten Produkten eine Vielfalt von Typen mit unterschiedlicher Schmelzeviskosität und Fließfähigkeit.

Unverstärkte Typen finden hauptsächlich bei der Extrusion von Fasern, Monofilamenten und Multifilamenten Verwendung, ferner bei der Herstellung von Vollstäben, Platten, Rohren, Folien, Fasern und anderen extrudierten Produkten. Pulvertypen werden bei einer Vielzahl von Pulvertechnologien als Verbundwerkstoffe, Beschichtungsmaterial und Bindemittel eingesetzt.

Celanese passt das Fortron® PPS-Sortiment entsprechend den Kundenwünschen weiter an. Neben den in **Tab. 2.1 – 2.2** aufgeführten Produkten werden auch Spezialtypen angeboten, die sich durch erhöhte Festigkeit, verbesserte elektrische Eigenschaften, Oberflächeneigenschaften, höhere Formbeständigkeit und andere Eigenschaften auszeichnen. Dazu gehören auch elektrostatische Dissipation, reflektierende Oberflächen, etwa für Scheinwerferreflektoren, Wärmeleitfähigkeit sowie langfaserverstärkte Typen mit Zusätzen von Glas-, Kohlenstoff- und anderen Fasern. Die langfaserverstärkten PPS-Typen werden unter dem Handelsnamen Celstran® PPS angeboten.

Des Weiteren sind spezielle Typen für die Medizintechnik verfügbar. Die für medizintechnische Anwendungen optimierten Fortron® MT® PPS-Typen sind hinsichtlich spezifischen Eigenschaften und Qualitätsstandards zertifiziert und erfüllen die geltenden regulatorischen Anforderungen. Wesentlich ist dabei auch die von externen Instituten zertifizierte Biokompatibilität aller medizintechnischer Typen. Fortron® MT®-Typen verfügen über die notwendigen Zertifizierungen (Food and Drug Administration, Europäische Union, BgVV). 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.

Tab. 2.1

Unverstärkte Fortron® PPS-Typen

Unverstärkte Typen	Lieferform	Beschreibung
0203B6, 0203P6	Pulver, Pellets und kristallisierte Pellets	Sehr niedrige Schmelzeviskosität
0205B4, 0205P4	Pulver, Pellets und kristallisierte Pellets	Niedrige Schmelzeviskosität
0205B4/20 µm	Feines Pulver	Niedrige Schmelzeviskosität für die Pulvertechnologie
0214B1, 0214P1, 0214C1	Pulver, Pellets und kristallisierte Pellets	Mittlere Schmelzeviskosität
0309B4	Pulver, Pellets und kristallisierte Pellets	Niedrige Schmelzeviskosität
0320B0, 0320P0, 0320C0	Pulver, Pellets und kristallisierte Pellets	Hohe Schmelzeviskosität

Tab. 2.2

Verstärkte Fortron® PPS-Typen und Fortron® PPS-Spezialtypen

Verstärkte Typen	Füllstoffe Glasfaser/Mineralstoffe	Verfahren	Beschreibung
1115E7	15%	Spritzguss	Sehr gute Fließfähigkeit
1120L4	20%	Spritzguss	Mittlere Fließfähigkeit
1130L4	30%	Spritzguss	Mittlere Fließfähigkeit
1140L4	40%	Spritzguss	Mittlere Fließfähigkeit
1140L6	40%	Spritzguss	Bessere Fließfähigkeit
ICE 504L	40%	Spritzguss	Mittlere Fließfähigkeit
ICE 506L	40%	Spritzguss	Bessere Fließfähigkeit
4184L4	53%	Spritzguss	Mittlere Fließfähigkeit
4184L6	53%	Spritzguss	Bessere Fließfähigkeit
4332L6	65%	Spritzguss	Sehr gute Fließfähigkeit
ICE 716L	65%	Spritzguss	Sehr gute Fließfähigkeit
4665B6	65%	Spritzguss	Mittlere Fließfähigkeit
6160B4	60%	Spritzguss	Sehr gute Fließfähigkeit
6165A4	65%	Spritzguss	Mittlere Fließfähigkeit
6165A6	65%	Spritzguss	Bessere Fließfähigkeit
ICE 716A	65%	Spritzguss	Mittlere Fließfähigkeit
6850L6	50%	Spritzguss	Verzugsarm
1115L0	15%	Blasformen und extrusion	Hohe Schmelzeviskosität
1131L4 ITT	30%	Spritzguss	Geringe Neigung zur Schwimmhautbildung
1140L0	40%	Extrusion	Hohe Schmelzeviskosität
1141L4	40%	Spritzguss	Geringe Neigung zur Schwimmhautbildung
1342L4	40% verschleißarm modifiziert	Spritzguss	Mittlere Schmelzeviskosität
6341L4	40% verschleißarm modifiziert	Spritzguss	Mittlere Schmelzeviskosität
6345L4	30% verschleißarm modifiziert	Spritzguss	Mittlere Schmelzeviskosität
6450A6	65% verschleißarm modifiziert	Spritzguss	Mittlere Schmelzeviskosität
6162A7	60%	Spritzguss	Sehr gute Fließfähigkeit
717F	65%	Spritzguss	Erhöhte Medienbeständigkeit/ Niedrige Quellung
CES51	20%	Spritzguss	Niedriger Chloridgehalt
1200L1	Ungefüllt	Extrusion, spritzguss	Erhöhte Schlagzähigkeit
FX32T4	Ungefüllt	Spritzguss	Flexibles PPS
FX4382T1	Ungefüllt	Extrusion	Verbesserte Schlagzähigkeit
FX55T1	Ungefüllt	Blasformen, beschichten	Flexibles PPS
FX72T6	Ungefüllt	Spritzguss	Flexibles PPS
FX75T1	Ungefüllt	Blasformen	Flexibles PPS
SKX-390	Leitfähig modifiziert	Spritzguss	Wärme-/Elektrisch leitfähig

Tab. 2.3**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

2.2 Einfärbungen

Verstärkte Fortron® PPS-Typen sind in Naturfarbe (beige) sowie in schwarzer Einfärbung verfügbar, die untersteckten Typen nur in Naturfarbe.

In anderen Farben formulierte Farbkonzentrate (oder Masterbatches) können eingesetzt werden, um spezielle Anforderungen hinsichtlich der Farbgebung zu erfüllen **Tab. 2.3**. Alle Farbkonzentrate sind cadmiumfrei. Von der FDA zugelassene Farben sind erhältlich.

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. Ferner kann es durch oxidative Reaktionen unter dem Einfluss von Licht und Wärme zu einer Farbverschiebung in dünnen Randteilen kommen. Verarbeiter, die ihre eigenen Farbstoffe einsetzen, sollten sicherstellen, dass diese sich bei den Verarbeitungstemperaturen von Fortron® PPS (bis zu 350 °C) nicht zersetzen oder ihre Farbe ändern. Endanwender sollten eingefärbte Komponenten testen, um sich zu vergewissern, dass sie den Spezifikationen entsprechen. Fortron® PPS-Produkte eignen sich zur Farbkodierung, nicht aber zur spezifischen Farbnachstellung.

(Für weitere Informationen werden Sie sich bitte an Ihren Ansprechpartner bei Celanese).

2.3 Verpackung

Die Fortron®-Produkte sind in Säcken mit 15, 20, 25 kg, 1000 kg Gaylord Boxen und Oktabins mit 500 und 750 kg erhältlich. Manche Produkte sind nur in bestimmten Gebindegrößen verfügbar.

2.4 Qualitätsmanagement

Die Erfüllung der Qualitätsanforderungen unserer Kunden ist ein grundlegender Prozess für Celanese. In diesem Prozess pflegen und aktualisieren wir permanent die für diesen Zweck erforderlichen Zertifizierungen. Unser Qualitätsmanagement-System ist bereits seit den frühen 1990iger Jahren nach der ISO 9000 Reihe zertifiziert.

Auf dieser Grundlage wurde 2003 das Globale Integrierte Management-System von Celanese (TIMS) für Qualität, Umweltschutz und Risiko-Management aufgebaut. Die wichtigen Zertifizierungen schließen folgende Standards ein:

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

Zertifikate zum Qualitätsmanagement-System gemäß ISO 9001 und ISO/TS 16949 sind für alle relevanten Produktionsstandorte von Celanese erteilt.

Alle relevanten Produktionsstandorte der Celanese sind nach der Norm ISO 14001 für Umweltmanagement-Systeme zertifiziert.

Alle wichtigen Celanese Laboratorien sind gemäß den generellen Anforderungen der ISO/IEC 17025:2005 für Prüf- und Kalibrierlaboratorien akkreditiert.

Weitere Informationen finden Sie auf der Homepage www.celanese.com unter „Qualitätsmanagement und Zertifizierungen“. Diese Informationen umfassen Angaben zu den zertifizierten Geschäftsbereichen und Standorten und PDF-Dateien aller aktuellen Zertifikate für den Download.

Fortron® PPS ist ein Hochleistungswerkstoff, der sich in anspruchsvollen Umgebungen bewährt hat. Er zeichnet sich durch hohe Härte, Steifheit und Formbeständigkeit, hervorragende Wärmeformbeständigkeit, inhärente Flammwidrigkeit, geringe Kriechneigung, geringe Wasseraufnahme und viele weitere Vorteile aus. Ferner verfügt Fortron® PPS über eine exzellente Medienbeständigkeit

Die in **Tab. 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 **Tab. 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.

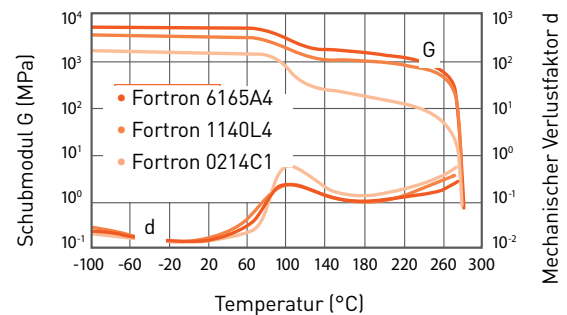
3.2 Mechanische Eigenschaften

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

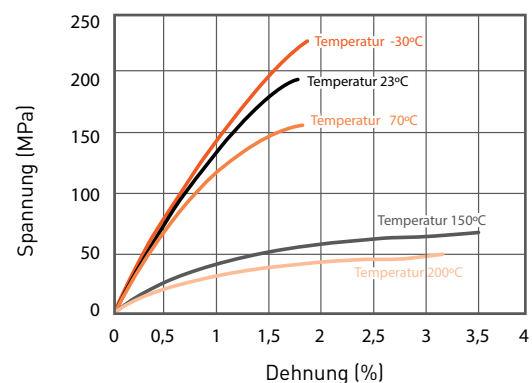
Das Verhalten von Werkstoffen bei kurzzeitiger Beanspruchung wird nach ISO 527-1,2 untersucht. Hiermit werden unter anderem die Zugfestigkeit und die Bruchdehnung bestimmt. **(Abb. 3.2 und 3.3)** zeigen das Spannungs-Dehnungsverhalten von Fortron® 1140L4 und 6165A4 bei fünf Temperaturen von –30 bis 200 °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.

Abb. 3.1



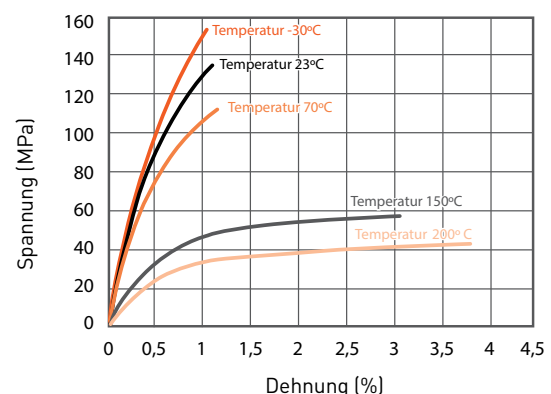
Schubmodul u. mechanischer Verlustfaktor in Abhängigkeit von der Temperatur (ISO 6721-1,2)

Abb. 3.2



Spannungs-Dehnungskurven für Fortron® 1140L4 bei fünf Temperaturen

Abb. 3.3



Spannungs-Dehnungskurven für Fortron® 6165A4 bei fünf Temperaturen

Tab. 3.1
Verhalten ausgewählter Fortron® PPS-Typen bei kurzzeitiger Beanspruchung*

Physikalische Eigenschaften	Prüfmethode	1140L4	6165A4	0320	0214
Dichte, g/cm ³	ISO 1183	1650	1950	1350	1350
Verarbeitungsschwindigkeit – parallel, 2 mm, 600bar, %	ISO 294-4	0,3	0,2	1,2	1,2
Verarbeitungsschwindigkeit – senkrecht, 2 mm, 600bar, %	ISO 294-4	0,6	0,5	1,5	1,5
Wasseraufnahme (23 °C, Sättigung), %	ISO 62	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Mechanische Eigenschaften					
Zugmodul (1mm/min), MPa	ISO 527-2/1A	14700	19000		3800
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
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		
Schlagzähigkeit (Charpy) bei -30 °C, kJ/m ²	ISO 179/1eA	10	7		
Schlagzähigkeit (Izod) 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 ⁻⁶ in 1/K, -50 bis 250 °C	ISO 11359-2	9	13	52	52
Längenausdehnungskoeffizient (senkrecht), 10 ⁻⁶ in 1/K, -50 bis 250 °C	ISO 11359-2	65	45	53	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, 10 ⁻⁴	IEC 60250	2	10		
Dielektrischer Verlustfaktor - 1MHz, 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 Celanese-Website www.celanese.com, und in dem Fortron® PPS Faltblatt.

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 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 Biegemodule (**Abb. 3.4 and 3.5**). Beide Module sind bei Fortron® 6165A4 mit 65% Mineralfüllung höher als bei Typen mit 40% Glasfasern.

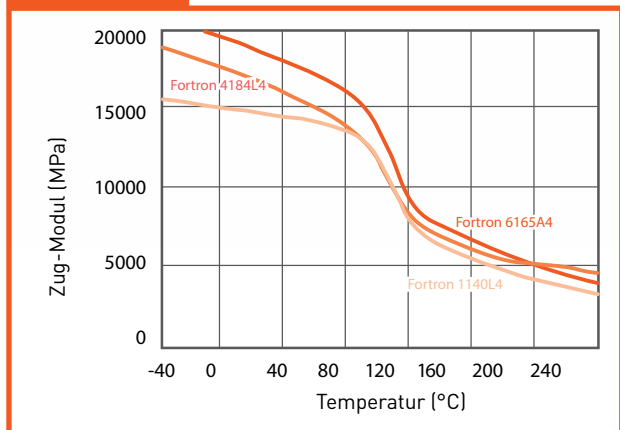
3.2.2 Verhalten bei langzeitiger Beanspruchung

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 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.

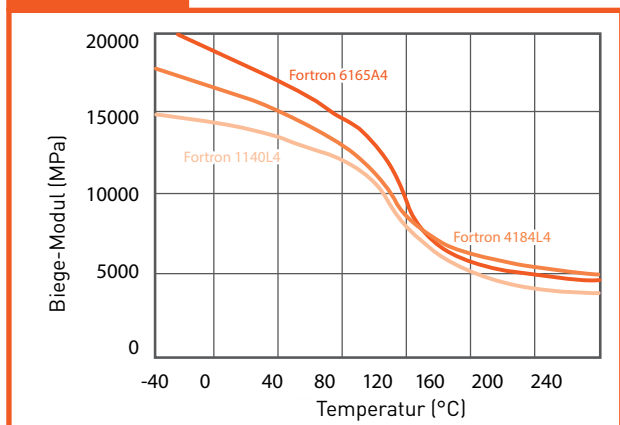
Die Verformung eines Formteils aus Kunststoff ist zeit- und temperaturabhängig und hängt auch von der Art der Beanspruchung ab. Bei kleineren Verformungen können die Abweichungen der Werkstoff-Kennwerte vernachlässigt werden. So kann zum Beispiel der Zeitverlauf der Stauchung eines druckbeanspruchten Formteils auch mit dem bei Biegebeanspruchung ermittelten Biege-Kriechmodul ausreichend genau berechnet werden.

Abb. 3.4



Zug-E-Modul für ausgewählte Fortron® PPS-Typen

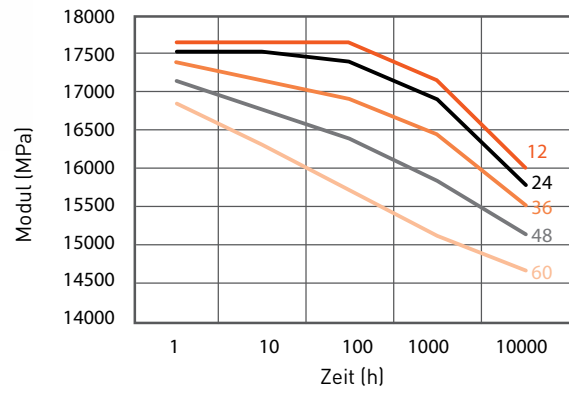
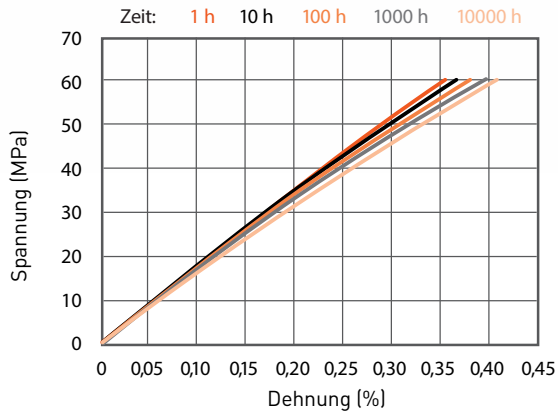
Abb. 3.5



Biege-E-Modul für ausgewählte Fortron® PPS-Typen

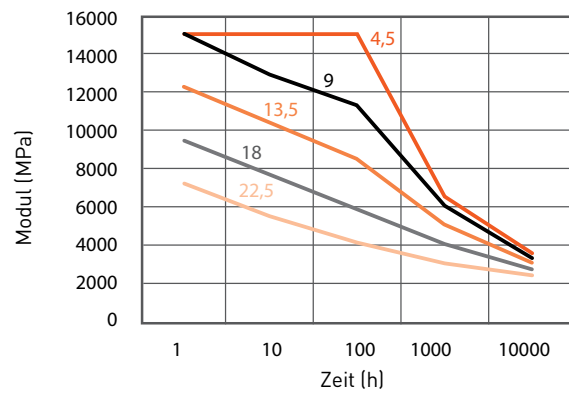
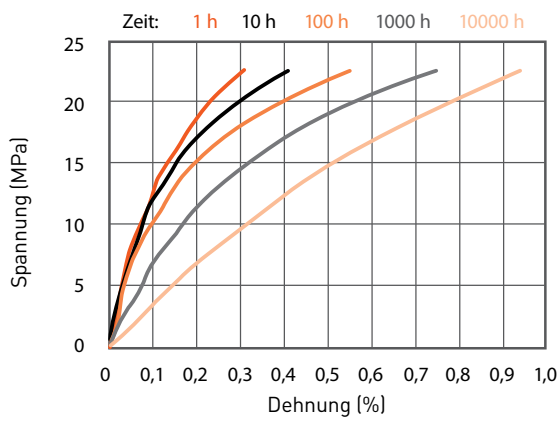
Der Zeitstandversuch zeigt, dass verstärktes Fortron® PPS nur eine geringe Kriechneigung besitzt, wie aus (**Abb. 3.6 bis 3.8**) für Fortron® 1140L4 hervorgeht. Diese Versuche wurden bei einer Belastungsdauer bis zu 1.000 h durchgeführt und auf 10.000 h extrapoliert. Eine Auswahl von Kriechmodul-Kurven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

Abb. 3.6



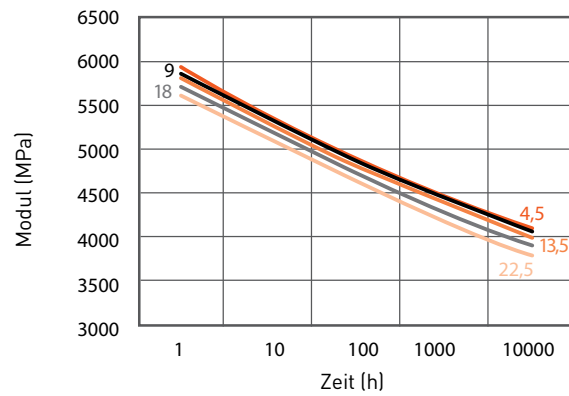
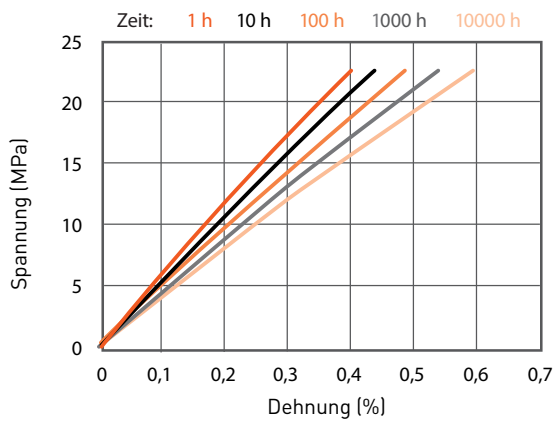
Fortron® 1140L4 (Normalklima 23/50)

Abb. 3.7



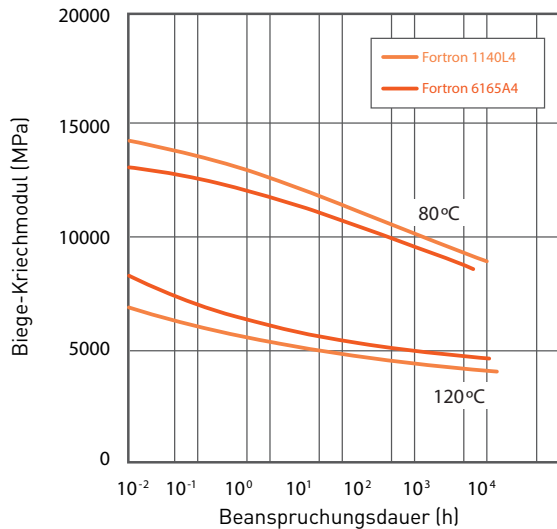
Fortron® 1140L4 bei 120°C

Abb. 3.8



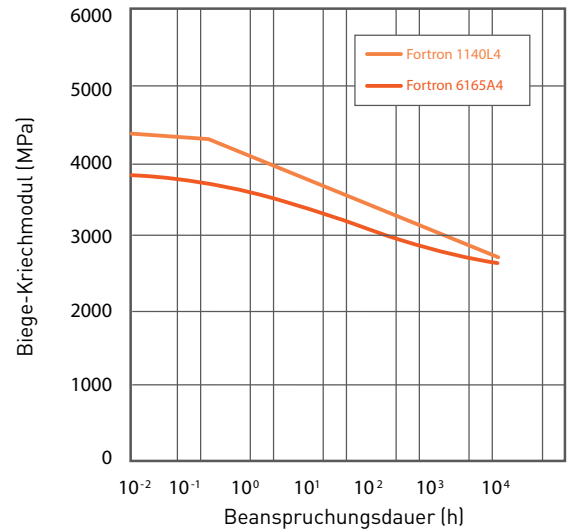
Fortron® 1140L4 bei 200°C

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



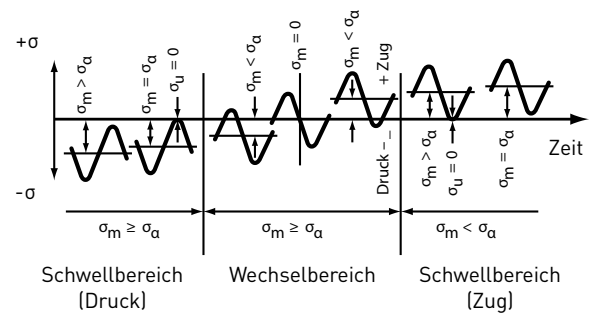
Biege-Kriechmodul für Fortron® 1140L4 und 6165A4 bei 200 °C (gemessen mit Randfaserspannung $\sigma_b=30$ MPa)

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 °C 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 Spannungsausschlag 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.

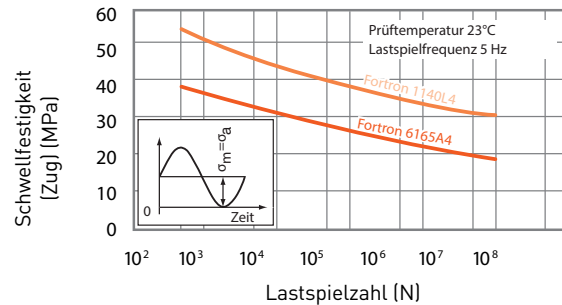
Abb. 3.11



Beanspruchungsbereiche im Dauerschwingversuch

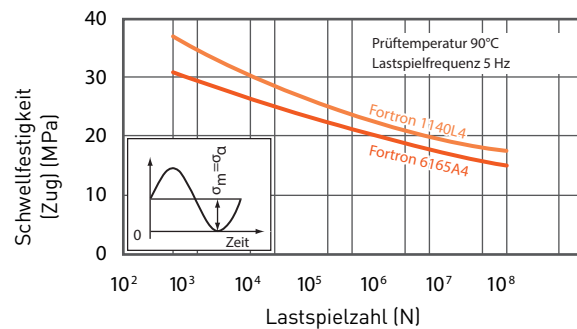
Für Fortron® PPS beträgt die Zeitschwingfestigkeit bei 10⁷ Lastwechseln ca. 15 bis 30% seiner Zugfestigkeit. (Abb. 3.12 und 3.13) zeigen, wie sich Fortron® PPS 1140L4 und 6165A4 im Zug-Schwellbereich bei 23 und 90 °C verhalten. Die Zeitschwingfestigkeit sinkt mit steigender Temperatur und mit zunehmender Lastwechselfrequenz. Die Wöhler-Kurven für die Biege-Wechselbeanspruchung von vier Fortron® PPS-Typen sind in (Abb. 3.14) dargestellt.

Abb. 3.12



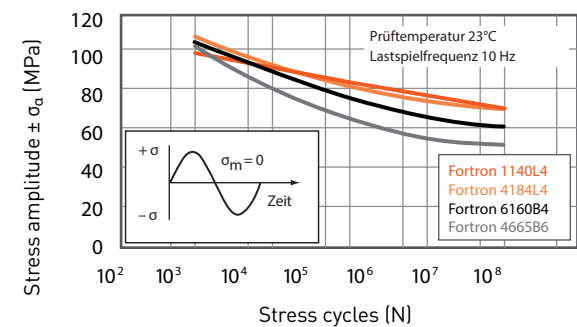
Wöhler-Kurve für Fortron® 1140L4 und 6165A4, ermittelt im Zug-Schwellbereich bei 23°C

Abb. 3.13



Wöhler-Kurve für Fortron® 1140L4 und 6165A4, ermittelt im Zug-Schwellbereich bei 90°C

Abb. 3.14



Wöhler curve for four Fortron® grades in the fluctuating tensile stress range at 23°C

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. Diese Typen besitzen folgende thermische Umwandlungsbereiche:

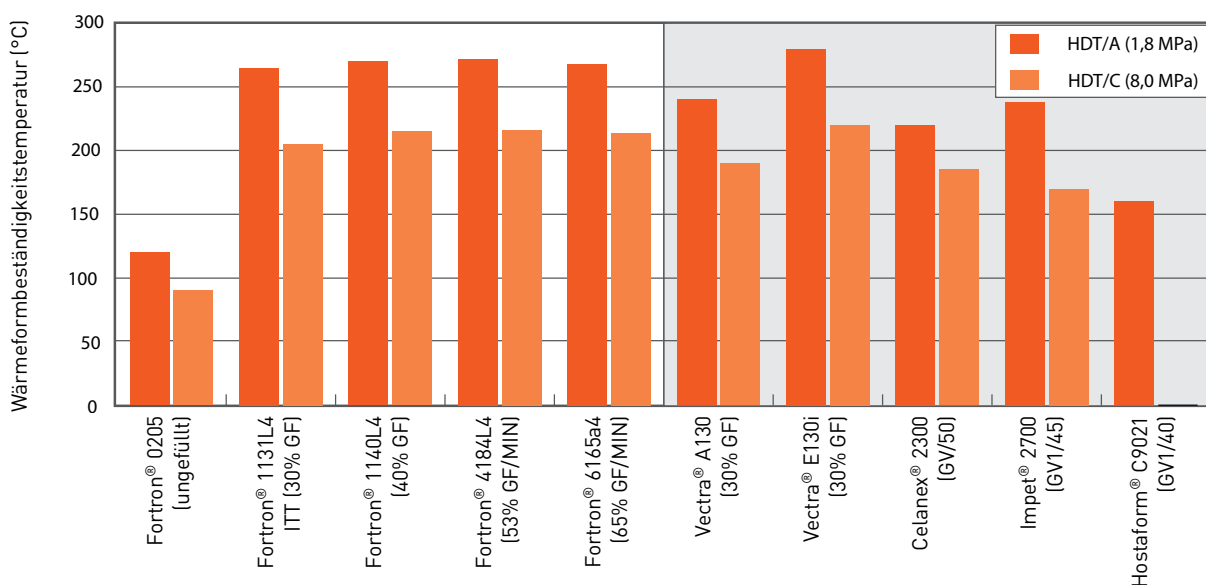
Glastemperatur, T_g	85 - 95°C
Nachkristallisationstemperatur, T_c	120 - 130°C
Rekristallisationstemperatur, T_{c2}	220 - 255°C
Kristallitschmelzbereich T_m	275 - 285°C
Schmelzenthalpie	ca. 112 J/g ¹

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

3.3.1 Wärmeformbeständigkeit unter Belastung

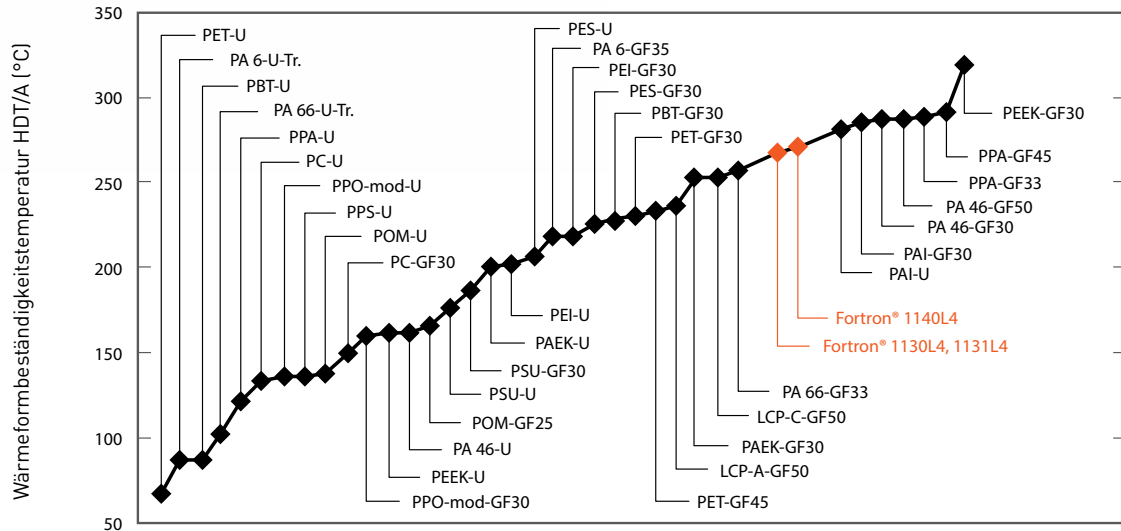
Die Wärmeformbeständigkeit (HDT) wird nach ISO 75-1,2 mit den Prüfspannungen A, B und C (A = 1,8 MPa, B = 0,45 MPa, C = 8,0 MPa) ermittelt. Sie gibt erste Hinweise auf die Dauergebrauchstemperatur, der ein Kunststoff standhalten kann. In **(Abb. 3.15)** werden die HDT-Werte von fünf Fortron® PPS-Typen bei Belastungen von 1,8 MPa und 8,0 MPa mit der Wärmeformbeständigkeit eines flüssigkristallinen Polymers, eines Polyesters und eines Acetalcopolymeren verglichen.

Abb. 3.15



Wärmeformbeständigkeit nach ISO 75 unter Belastung bei Fortron® PPS und anderen Polymeren

Abb. 3.16



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

Die verstärkten Fortron® PPS-Typen erreichen Wärmeformbeständigkeiten im Bereich des Kristallitschmelzpunktes. Die Wärmeformbeständigkeit von verstärkten Fortron® PPS-Typen beträgt 270 °C bei 1,8 MPa und bis zu 220 °C bei 8 MPa. Das sind Spitzenwerte unter den Thermoplasten (Abb. 3.16).

3.3.2 Längenausdehnungskoeffizient

Der Längenausdehnungskoeffizient (ISO 11359) für verschiedene Fortron® PPS-Typen ist längs und quer zur Fließrichtung unterschiedlich. Er liegt in den folgenden Bereichen:

Längs zur Fließrichtung,
 -50° bis 90°C: ca 12×10^{-6} 1/K to 17×10^{-6} 1/K
 90° bis 250°C: ca 7×10^{-6} 1/K to 25×10^{-6} 1/K

Quer zur Fließrichtung,
 -50° bis 90°C: approx. 25×10^{-6} 1/K to 40×10^{-6} 1/K
 90° bis 250°C: approx. 60×10^{-6} 1/K to 90×10^{-6} 1/K

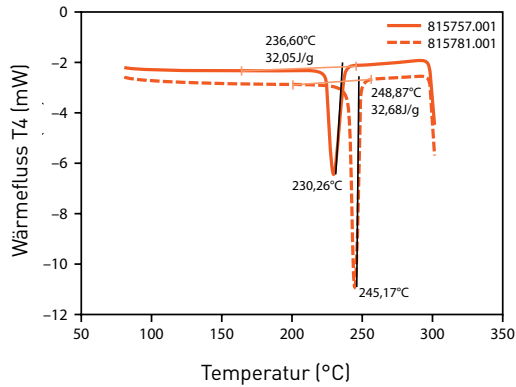
Diese Werte sind vergleichbar mit den Längenausdehnungskoeffizienten von einigen Metallen.

Tab. 3.2

Typische Längenausdehnungskoeffizienten ausgewählter Typen in K⁻¹)

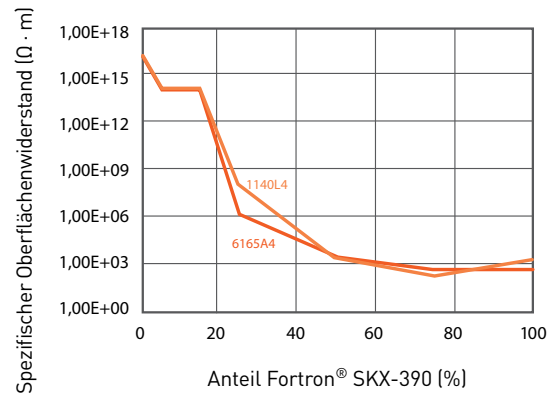
Fortron® PPS-Typ	-50° bis +90° C parallel/senkrecht Fließrichtung	+90° bis +250° C parallel/senkrecht Fließrichtung	-50° bis +250° C parallel/senkrecht Fließrichtung
1140L4	$12 \times 10^{-6} / 40 \times 10^{-6}$	$7 \times 10^{-6} / 90 \times 10^{-6}$	$9 \times 10^{-6} / 65 \times 10^{-6}$
6165A4	$14 \times 10^{-6} / 25 \times 10^{-6}$	$13 \times 10^{-6} / 60 \times 10^{-6}$	$13 \times 10^{-6} / 45 \times 10^{-6}$
4184L4	$13 \times 10^{-6} / 36 \times 10^{-6}$	$12 \times 10^{-6} / 80 \times 10^{-6}$	$13 \times 10^{-6} / 60 \times 10^{-6}$

Abb. 3.17



Kristallisation der Polymerschmelze: Fortron® ICE im Vergleich mit Standard-Fortron®

Abb. 3.18



Spezifischer Oberflächenwiderstand von Fortron® SKX-390 PPS-Blends

3.3.3 Wärmeleitfähigkeit

Die Wärmeleitfähigkeit von Fortron® PPS entspricht der Wärmeleitfähigkeit anderer teilkristalliner Polymere und ist nahezu unabhängig von der Temperatur **Tab. 3.3**.

Fortron® SKX-390 ist ein Spezialtyp mit einer Wärmeleitfähigkeit von ca. 2,3 W/m·K. Er kann bei Spritzgussanwendungen alleine oder als Masterbatch mit anderen Fortron® PPS-Typen eingesetzt werden, so dass mittlere Wärmeleitfähigkeiten eingestellt werden können.

So hat zum Beispiel ein Gemisch aus 50% Fortron® SKX390 und 50% Fortron® 1140L4 eine Wärmeleitfähigkeit von ca. 1,3 W/m·K.

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

Tab. 3.3

Wärmeleitfähigkeit [W/m · K]

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

3.3.4 Lötbeständigkeit

Verstärkte Fortron® PPS-Typen werden oft für Surface Mounted Devices (SMD) verwendet und mittels Gasphasen-, Infrarot- oder Schwalllötten mit gedruckten Schaltungen und anderen Bauteilen verbunden. Fortron®-Typen sind selbst bei hohen Löttemperaturen durch eine ausgezeichnete Formbeständigkeit sowie durch eine sehr geringe und voraussagbare Schwindung gekennzeichnet. Bei optimal geformten Teilen werden Verkrümmung oder Verzug minimiert. Dank der Beständigkeit gegen diese hohen Temperaturen ist bleifreies Löten möglich. Fortron® PPS entspricht dabei auch den Anforderungen von RoHS und WEEE.

ROHS: Restriction of the Use of Hazardous Substances in electrical and electronic equipment
WEEE: Waste on Electrical and Electronic Equipment

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.

Tab. 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	Reibungskoeffizient	Abrieb Kugel*	Abrieb 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 $\text{mm}^2 \cdot 10^{-3}$

** Abrieb nicht messbar

*** Diese Werte waren durch eine größere Streubreite gekennzeichnet

3.4.1 Spezifischer Durchgangswiderstand und Oberflächenwiderstand

Der spezifische Durchgangswiderstand ungefüllter Fortron® PPS-Typen bei 23 °C ist $> 10^9 \Omega \cdot \text{m}$, bei verstärkten Fortron® PPS-Typen $> 10^{13} \Omega \cdot \text{m}$ (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 Forton® PPS ist der spezifische Oberflächenwiderstand im Allgemeinen $> 10^{15} \Omega$ (IEC 60093).

Fortron® SKX-390 ist ein elektrisch leitfähiger Spezialtyp mit $400 \Omega \cdot \text{m}$ spezifischem Durchgangswiderstand und 500Ω spezifischem Oberflächenwiderstand. Dieser Typ weist auch eine verbesserte Wärmeleitfähigkeit auf. Der Durchgangswiderstand und der spezifische Oberflächenwiderstand werden nach IEC 60093 gemessen. Zur Einstellung des spezifischen Durchgangswiderstands auf einen bestimmten Bereich kann dieser Typ mit anderen Fortron® PPS-Typen gemischt werden (Abb. 3.18).

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 4,1 und 5,6 (Abb. 3.19). 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 bis $1,0 \cdot 10^{-3}$ bei 10 kHz und 1,0 bis $2,0 \cdot 10^{-3}$ bei 1 MHz (Abb. 3.20). Dieser Faktor wird von Frequenz und Temperatur beeinflusst.

3.4.3 Durchschlagfestigkeit

Die Durchschlagfestigkeit beschreibt das Verhalten bei kurzzeitiger Beanspruchung durch hohe elektrische Wechselspannungen. Bei der Prüfung auf Durchschlagfestigkeit wird die Spannung ($f = 50 \text{ Hz}$) 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

Bei 23 °C und relativ hoher Flächenpressung durchgeführte Versuche nach UTI siehe (Abb. 3.21) zur Bestimmung der dynamischen Reibungszahl zwischen verschiedenen Fortron®-Typen und Stahl ergaben einen Mittelwert von 0,4. Gleiteigenschaften sind im Zusammenhang mit tribologischen Systemen zu betrachten. Dementsprechend hängt die dynamische Reibungszahl von Gleitpartner, Flächenpressung, Gleitgeschwindigkeit und von der Messanordnung ab.

Bei der Entwicklung abriebbeanspruchter Formteile ist das Abriebverhalten unter simulierten Gebrauchsbedingungen zu prüfen.

Fortron® PPS-Typen mit verbesserten Gleit- und Abriebeigenschaften sind 6341L4, 1324L4, 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

Literatur

1. Cebe, Peggy, Review of Recent Developments in Poly(Phenylene Sulphide), Polymers and Polymer Composites, Bd. 3, Nr. 4, 1995, S. 239 – 266
2. Modern Plastics Encyclopedia '95, Ausgabe Mitte November 1994 (71) 12, New York, S. B-150.

Abb. 3.19

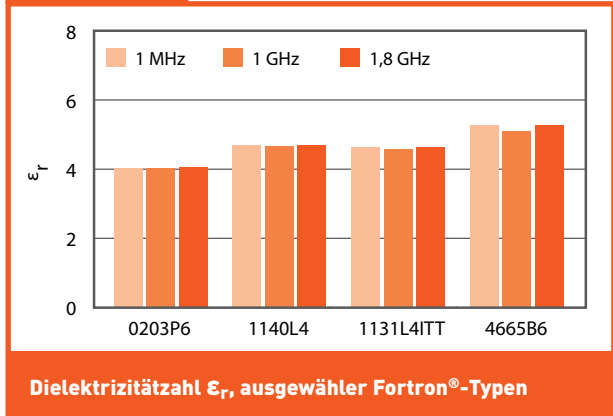


Abb. 3.20

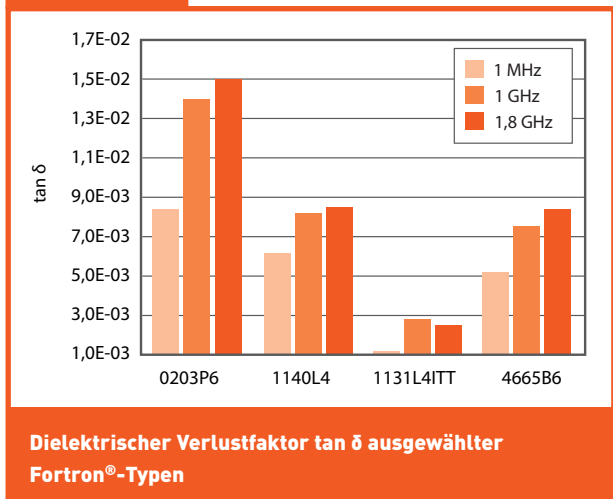
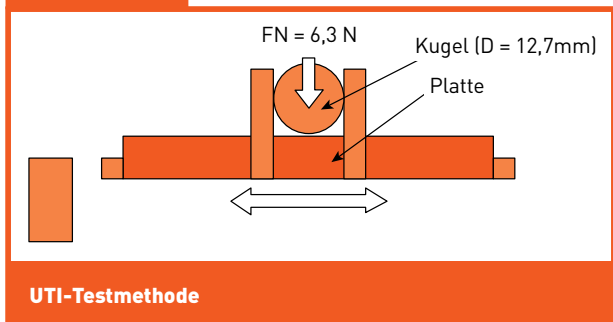


Abb. 3.21

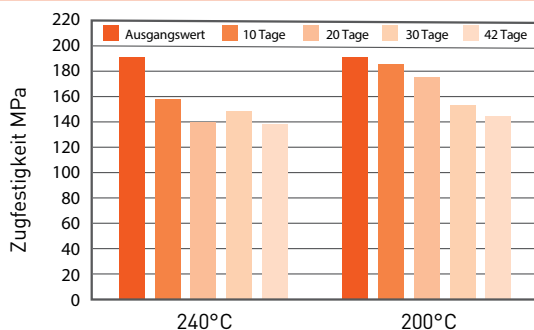


4.1 Wärmealterung

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 über Jahre hinweg stand.

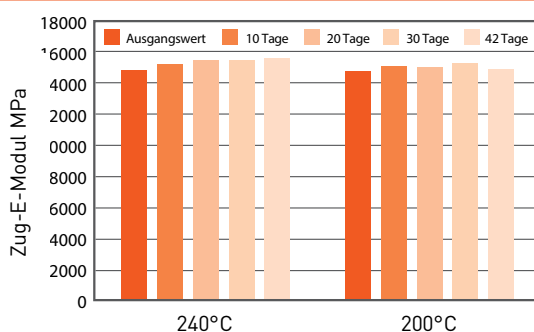
(Abb. 4.1 und 4.2) zeigen die Veränderung der Zugfestigkeit und des Zug-E-Moduls von Fortron® 1140L4 in heißer Luft in Abhängigkeit von der Zeit. Die Probekörper waren während der Beanspruchungsdauer mechanisch unbelastet.

Abb. 4.1



Wärmealterungsversuch: Zugfestigkeit von Fortron® PPS 1140L4 schwarz

Abb. 4.2



Wärmealterungsversuch: Zug-E-Modul von Fortron® PPS 1140L4 black

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.

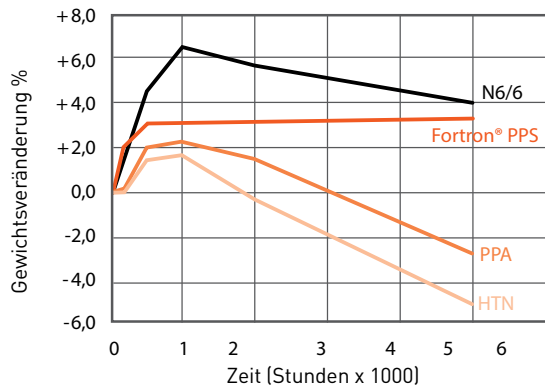
Die Hydrolysebeständigkeit von Fortron® PPS ist exzellent. Bei einer Lagerung von über 1000 h bei 1 bar in warmem Wasser (95 °C) sind nur geringe oder überhaupt keine Veränderungen der Zugfestigkeit und des Zug-E-Moduls zu beobachten. Glasfaserverstärkte Typen zeigen reduzierte mechanische Eigenschaften, 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 Kapillarwirkung 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, oxidierende Bleichmittel und viele andere Chemikalien nicht angegriffen. Eine Verschlechterung seiner mechanischen Eigenschaften ist jedoch zu beobachten, wenn es mit konzentrierter Salpetersäure und anderen oxidierenden Säuren in Berührung kommt.

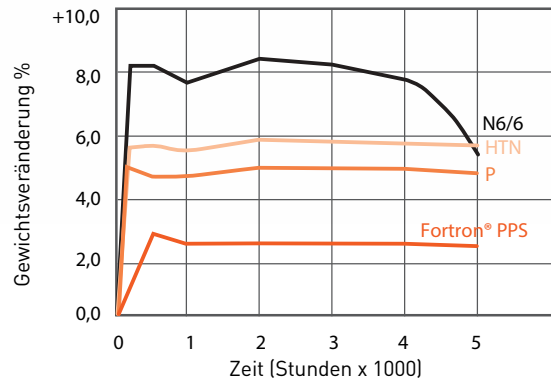
Fortron® PPS ist durch eine hervorragende Beständigkeit gegen alle flüssigen und gasförmigen Kraftstoffe einschließlich Methanol und Ethanol gekennzeichnet und hält heißen Motorenölen, Fetten, Frostschutzmitteln und anderen in Automobilen verwendeten Flüssigkeiten stand. Fortron® PPS eignet sich wegen seiner Stabilität bei langdauerndem Kontakt mit Benzinformulierungen jeder Oktanzahl und mit unterschiedlichen Gehalten an Schwefel, Sauerstoff, Verunreinigungen und sonstigen Additiven besonders gut für Bauteile, die mit Kraftstoffen in Berührung kommen.

Abb. 4.3



Gewichtsänderung in CAP Kraftstoff* (121°C)

Abb. 4.4



Gewichtsänderung in CM 15A Kraftstoff* (121°C)

* Kraftstoff-CAP enthält Kraftstoff C (50% Isooctan und Toluol), aggressives Wasser und Peroxid (saurer Gas).
 Fuel CM15A enthält 85% Treibstoff C, 15% Methanol und aggressives Wasser.

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 im Vergleich zu Nylon 6/6, 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. 3,5% ab. (Abb. 4.3). 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 Fortron® PPS war nach einer anfänglichen Gewichtserhöhung zwischen 3,0% und 3,5% keine Veränderung zu verzeichnen.

Auch in CM15A*-Kraftstoff nahm das Gewicht von Nylon 6/6 am stärksten zu (Abb. 4.4).

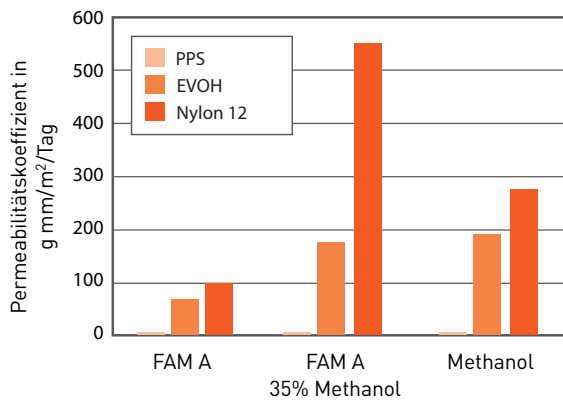
Tab. 4.1

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

Belichtungsdauer (h)	Zugversuch nach ASTM D 638			ASTM D 256
	Zugfestigkeit (MPa)	Bruchdehnung (%)	Zug-E-Modul (MPa)	Kerbschlagzähigkeit (Izod) (J/m)
Fortron® Typ 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
Fortron® Typ 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

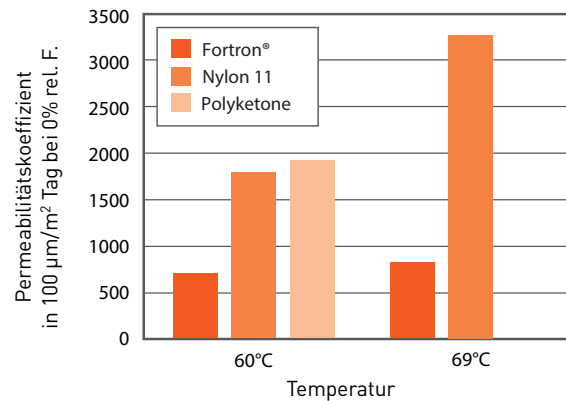
** Prüfung an gespritzten Probekörpern, Apparatur nach ASTM G 23, Methode 3, ohne Wassersprühung. Schwarzstandard-Temperatur 60 °C, Bestrahlungsdichte 0,35 W/m² · nm, 30% relative Luftfeuchte, unter Xenon-Bogenlampe nach ASTM G 26. Prüfung der mechanischen Eigenschaften nach ASTM-Normen. Eine Erosion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

Abb. 4.5



Permeationskoeffizienten in verschiedenen Medien

Abb. 4.6



CO₂ - Permeabilität

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 zunächst die größten Maßänderungen zu beobachten, die jedoch im weiteren Verlauf der Studie zurückgingen. Bei PPA und Fortron® PPS blieben die Abmessungen nach einer anfänglichen Erhöhung konstant. Bei Fortron® 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.

Mit Fortron® ICE 717F können wir einen Spezialtyp für Anwendungen mit Kraftstoffkontakt anbieten. Es verfügt über eine bessere Kraftstoffbeständigkeit als andere vergleichbare PPS-Compounds. Darüber hinaus weist dieser Typ die besten Verarbeitungseigenschaften beim Spritzgießen auf und ermöglicht durch seine schnelle Kristallisation kürzere Zykluszeiten.

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 sogenannten Labor-Weather-O-Meter (einem Gerät zu künstlichen Bewitterung von Probekörpern im Labor) ergaben nach 2000-stündiger Belichtung nur geringe Veränderungen von Zugfestigkeit, Kerbschlagzähigkeit und anderen mechanischen Eigenschaften **Tab. 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 Fortron® PPS-Typen sind die Durchlässigkeitswerte am niedrigsten. Aufgrund seiner geringen Durchlässigkeit in Kombination mit einer hohen Chemikalienbeständigkeit ist Fortron® für ein breites Spektrum von Anwendungen bestens geeignet, z.B. im Kraftfahrzeugbau, in der industriellen Verfahrenstechnik, der Chemie, der Mineralölwirtschaft, der Luftfahrt und auch für Anwendungen in der Medizintechnik und Verpackungen, die eine starke Gasbarriere erfordern.

Literatur

1. Kohlhepp, K., "High-Performance Plastic for Difficult Components," *Kunststoffe plast Europe*, Bd. 85, Nr. 8 (deutsche Fassung: *Kunststoffe 85* (1995) 8, S. 1095 – 1100)
2. Fortron® PPS Chemical Resistance Guide Version 3.0, celanese.com

Fortron® PPS hat sich in vielen Industriezweigen bewährt, die besondere Anforderungen stellen, vom Trinkwassersektor über den Automobilbau bis hin zum Gesundheitswesen und dem Lebensmittelsektor. 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:

Ford-ISO-Spezifikationen (weltweit gültig):

- WSL-M4D 807-A für Fortron® 1140L4 und 1140L6
- WSF-M4D 803-A2 für Fortron® 6165A4 und 6165A6

Chrysler:

- MS-DB-570 CPN3502 or CPN3314 Black for Fortron® PPS 1140L4
- MS-DB-570 CPN4241 Natural for Fortron® PPS 1140L4
- MS-DB-570 CPN4241 Natural for Fortron® PPS ICE504L
- MS-DB-570 CPN 3502 Black for Fortron® PPS ICE504L
- MS-DB-570 CPN 3243 Black & Natural for Fortron® PPS ICE716A

General Motors*:

- GMP.PPS.001 für Fortron® PPS 1140L4 und 1140L6
- GMP.PPS.002 für Fortron® PPS 6165A4 und 6165A6
- GMP.PPS.004 für Fortron® PPS 4184L4 und 4184L6

*Die Übersetzung von GMP für Fortron® PPS zu den neuen globalen GMW Standards von General Motors ist in Vorbereitung.

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

Zudem entsprechen unsere Produkte der GADSL (Global Automotive Declarable Substance List), welche die entsprechenden individuellen Normen der Automobilhersteller ersetzt. Sie ist über den folgenden Link verfügbar: gadsl.org.

5.2 Entflammbarkeit und Verbrennung

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

Der Sauerstoffindex (LOI-Wert) steht für den Sauerstoffgehalt der Umgebungsatmosphäre, bei dem ein Polymer nach dem Entzünden ohne zusätzliche Energiequelle weiter brennt. Der LOI-Wert von Fortron® PPS liegt bei etwa 50%. Unter normalen Bedingungen brennt es nicht weiter, da der Sauerstoffgehalt der Luft ca. 21% beträgt.

Als eine direkte Reaktion auf Anforderungen des Marktes nach technischen Kunststoffen, die OEM-Herstellern im Elektro- und Elektroniksektor und ihren Zulieferern helfen, umweltfreundliche Produkte herzustellen, entwickelten wir Fortron® PPS-Produkte, die hinsichtlich eines Brom- und Chlorgehalts von jeweils weniger als 900 ppm die relevanten Industrienormen (vor allem IEC 61249) erfüllen. Die Fortron® PPS-Typen CES51 (PPS-GF-20) und die mit Glas mineral gefüllten Fortron-Materialien mit einer Füllstoffkonzentration von 65% (z. B. Fortron® PPS 6165A4) erfüllen die Anforderungen der IEC 61249 bezüglich der Begrenzung Werte für Halogene. Diese Fortron® PPS-Typen ergänzen das Sortiment von Celanese an Hochleistungspolymeren gemäß UL 94, V0, die bereits die Anforderungen für umweltfreundliche Elektro- und Elektronikprodukte erfüllen.

Tab. 5.1

Rauchgasdichte von Fortron® PPS nach NFPA 258*

Probe – 1/8" (3,2 mm)	Fortron® PPS1140L4		Fortron® PPS6165A4	
	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
Verdunklungszeit*** (Min) (Zeit bis DS-16)	—	4,1	—	7,j1

* 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 Verdunklungszeit 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.

5.2.1 Elektro/Elektronik

Der Heißdraht-Test in IEC 60695 Teil 2-11 / -12 / -13 (Für 1, 2 und 3 mm Dicke) ergab eine Glühdraht-Zündtemperatur (GWIT) von 850°C für die Fortron® PPS-Typen 1140L4, 6165A4 und 4665B6. Die GWIT ist die maximale Temperatur, die auf das Material angewendet wird und zu keiner Entzündung des Materials nach 5 Sekunden führt. Die GWIT wird 25 Kelvin höher als die real angewandte Temperatur ohne Zündung angegeben.

5.2.2 Automotive

Die drei bei der Glühdrahtprüfung verwendeten 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® PPS ausgehende Rauch einen normierten Raum nicht verdunkelt **Tab. 5.1**.

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

5.2.3 Luftfahrt und Schienenverkehr

Fortron® 0214C1 und 1140L4 erfüllen alle Anforderungen nach FAR 25.853 und ABD0031. FAR 25.853 ist eine 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.

Fortron® 1140L0 und 1140L4 erreichten nach ausführlicher Ausprüfung durch Airbus Industries die Aufnahme in die Listung AIMS04-01-018, Issue 1. Beide Typen sind in verschiedenen Farben für Anwendungen bei Airbus gelistet.

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

5.3 Trinkwasser-Zulassungen

Fortron® PPS-Typen sowie Farbkonzentrate auf Basis von Fortron® PPS 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 Celanese) 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 Celanese 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 den Endkunden jedoch nicht von der Prüfung am Endprodukt durch ein Prüfinstitut.

Die wichtigsten Anmeldeverfahren der EU-Länder (UK, F, D, NL) und der 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-Typen sind gelistet, und für den Kontakt mit Trinkwasser bis zu einer Temperatur von 85°C „vorgetestet“ – diese können auf der Website von WRAS wras.co.uk/ abgerufen werden.

D – KTW (Kunststoffe im Trinkwasserbereich)

In Deutschland absolvierten die Fortron® PPS-Typen 1140L4 und 1140L6 in 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.

F – ACS (Attestation Conformité Sanitaire) Sanitär Konformitätszertifikat

Die Fortron® PPS-Typen MT®9115L0 DW und MT®9141L4 DW wurden gemäß den französischen ACS-Anforderungen an Prüfplatten getestet.

Für glasfaserverstärkte Kunststoffe muss die verwendete Glasfaser auf der französischen Positivliste für Glasfasern stehen, damit das Endprodukt getestet werden kann; die in den glasfaserverstärkten Fortron® PPS-Typen eingesetzten Glasfasern sind gelistet.

USA – NSF (National Sanitary Foundation)

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

Die globalen Trinkwassertypen Fortron® MT9115L0 DW und MT9141L4 DW

Für Fortron® MT®9115L0 DW und MT®9141L4 DW konnte an entsprechenden Prüfmustern die Konformität mit allen oben angeführten Trinkwasserregularien (WRAS, KTW ACS und NSF) gezeigt werden.

Mit Fortron® MT®9115L0 DW stellen wir dem Anwender ein Material mit hoher Schmelzfestigkeit zum Hohlkörperblasen und für die Extrusion zur Verfügung. Fortron® MT®9141L4 DW ist ein äußerst vielseitiger Typ für Spritzgussanwendungen und enthält 40% Glasfaserfüllung.

Wichtig: Die Trinkwasser-Regularien decken Produkte des Trinkwasserversorgungssystems vom öffentlichen Wasserspeicher über das Rohrsystem und 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 FDA Lebensmittel-Bedarfsgegenstände-Regularien (s.a. Abschnitt 5.3).

5.4 Produkte für Lebensmittelkontakt-Anwendungen (z.B. Bedarfsgegenstände, Teile in der Lebensmittelverarbeitungsanlagen, Verpackung)

Celanese Engineered Materials unterhält ein Portfolio von Produkten für den Einsatz in Lebensmittelkontakt-Anwendungen. Die Konformität des Lebensmittelkontakts beruht auf dem fertigen Erzeugnis und seinem Verwendungszweck. Fortron® Produkte sind Bestandteile einer Endanwendung. Folglich kann Celanese keine Compliance-Erklärung für die Endanwendung abgeben. Stattdessen kann auf Anfrage eine Bestätigung über die Einhaltung der Lebensmittelkontaktbestimmungen von Fortron® Produkten vorgelegt werden. Es liegt in der Verantwortung des Herstellers oder Verkäufers der finalen Anwendung zu beweisen, dass dieser den geltenden gesetzlichen Bestimmungen entspricht.

In der EU wird die Einhaltung durch Vorschriften geregelt: (EC) 1935/2004 (Framework Regulation), (EC) 2023/2006 (GMP) und die Kunststoffverordnung (EU) 10/2011. Die Konformitätserklärung für Lebensmittelkontakt (EC) 1935/2004 legt allgemeine Regeln für alle Klassen von Materialien fest, die mit Lebensmitteln in Berührung kommen, ohne besondere Regeln für die Sicherheit von Artikeln mit Lebensmittelkontakt festzulegen. Kunststoffmaterialien, z.B. Polymerverbindungen, wie durch Engineered Materials verkauft, werden durch die Verordnung und ihre Anhängen geregelt.

Monomere die zur Herstellung von Polyphenylensulfid (PPS), Basispolymer in Fortron® PPS, sind in Annex I der Verordnung (EU) 10/2011 vom 14. Januar 2011 gelistet. Zusätzliche Bestandteile entsprechen der Empfehlung (EU) 10/2011 (Additive) BfR¹ LII „Füllstoffe für Bedarfsgegenstände aus Kunststoffen“ (Füllstoffe) und Empfehlung IX „Farbmittel zum Einfärben von Kunststoffen...“ und mit Resolution AP 89/1 der Council of Europe (Farbstoffe).

In den USA, halten sich Fortron® Lebensmittelkontakt-Typen an die FDA Mitteilung Inventory of Effective Food Contact Substance FCN 40 „Polyphenylene sulfide polymers“ (CAS Reg.No. 25212-74-2 oder 26125-40-6) für die wiederholte Verwendung als polymere Komponente in Lebensmittelkontakt.

5.5 Fortron® Produkte für medizinische und pharmazeutische Anwendungen²

Die Fortron® MT® Reihe wurde speziell für den Einsatz in medizinischen und pharmazeutischen Anwendungen entwickelt. Diese Produkte sind als Bioverträglich zertifiziert.

Sie entsprechen der US Pharmacopoeia Class VI und der International Standards Organization (ISO) 10993. Für spezielle Anforderungen sind ebenfalls FDA Daten (Drug- und Device-Master-Files) verfügbar.

Zu der Reihe von Fortron® MT® Typen gehören auch unverstärkte Typen zum Extrudieren von Rohren, Profilen und Filamenten sowie verstärkte Typen für das Spritzgießen.

¹ BfR = Bundesinstitut für Risikobewertung (Federal Institute for Risk Assessment) 2/39/EWG, 93/9/EWG, 95/3/EG, 96/11/EG, 99/91/EG, 2001/62/EG und 2002/17/EG.

² Fortron® MT® Typen sind nicht für medizinische oder zahnärztliche Anwendungen gedacht. Wir empfehlen oder unterstützen nicht die Verwendung unserer Produkte in bestimmten medizinischen oder pharmazeutischen Anwendungen ohne unser Wissen und die Genehmigung spezifischer Anwendungen.

Fortron® PPS ist vor allem als Spritzgussmaterial bekannt. Es wird aber auch mit einer Vielzahl anderer Verfahren zu nützlichen Produkten verarbeitet. 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 Schmelztemperatur 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

Auch wenn es bei der Verarbeitung von PPS zur Geruchsbildung kommt, bedeutet dies keine Gesundheitsgefahr. Aufgrund der vorhandenen Rückstände niedermolekularer organischer Substanzen, einschließlich verschiedener schwefelhaltiger Verbindungen, können bei der Verarbeitung von PPS unter gewissen Bedingungen unangenehme Gerüche entstehen.

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® PPS-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 6.4). Anschließend wird 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 ein höherer 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 weniger als 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 Fortron® 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® PPS 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® PPS 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.

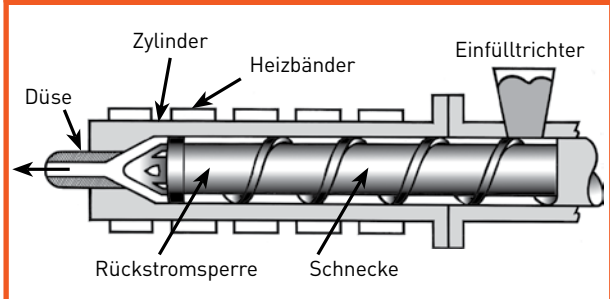
7 Spritzgießen

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 Kristallanteil hergestellt und in der Praxis bei einer höheren Anwendungstemperatur eingesetzt, kommt es zur Nachkristallisation und Nachschwindung siehe **Abschnitt 11.1**. Formteile, die mit Werkzeugtemperaturen unter 140°C hergestellt werden, können eine raue Oberfläche aufweisen. Eventuell freiliegende Füll- und Verstärkungsstoffe können dann durch Chemikalien angegriffen werden.

Fortron® PPS-Schmelzen zeigen bei der Verarbeitung eine hervorragende Fließfähigkeit. Prozessnah kann das Fließverhalten durch die Ermittlung der Fließweglänge in einer Fließspirale bei definierter Temperatur und Injektionsdruck charakterisiert werden. Die ermittelte Fließweglänge gibt einen Hinweis auf das Fließverhalten während der Verarbeitung. Einen Vergleich des Fließverhalten verschiedener Fortron® PPS-Compounds für den Spritzguss finden Sie in **(Abb. 7.1)**.

Abb. 7.1



Schematische Darstellung einer Spritzgießmaschine

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).

Tab. 7.1

Werkzeugstähle zur Verwendung mit Fortron® PPS (bis zu 50.000 Spritzgusszyklen)

Stahlart	Bezeichnung nach DIN 17 006	Werkstoff Nr.	Oberflächenhärte (HRC)	Bemerkungen
Einsatzstähle	X 6CrMo4	1.2341	55	Nicht korrosionsbeständig
	21 MnCr5	1.2162	55	Geringe 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	
Korrosionsbeständige 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.

Tab. 7.2

Werkzeugstähle zur Verwendung mit Fortron® PPS (über 50.000 Spritzgusszyklen)

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

7.2 Werkzeugauslegung

7.2.1 Materialien für Werkzeug, Schnecke und Zylinder

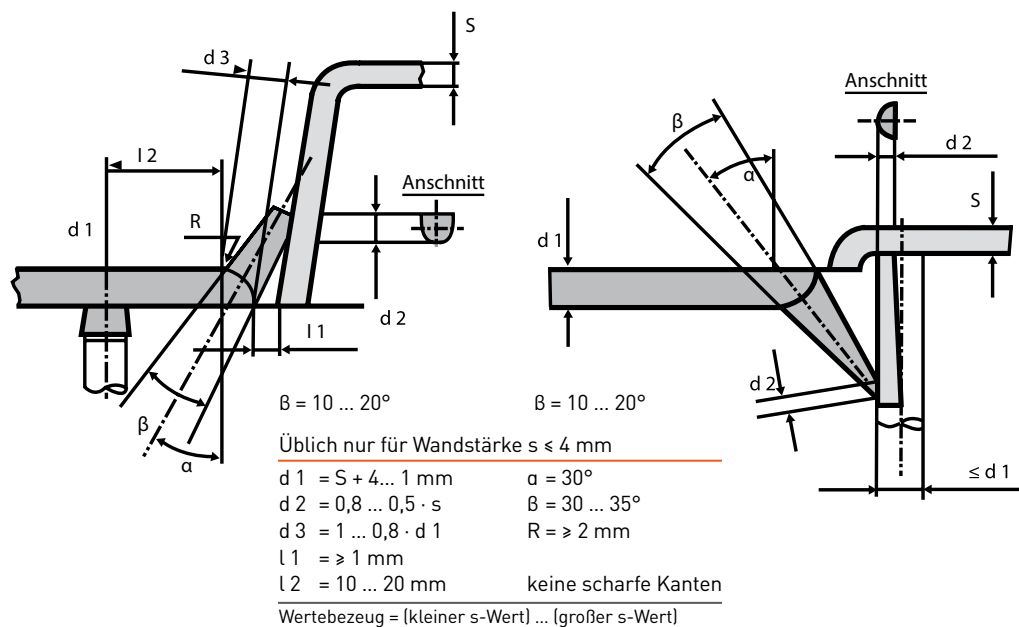
Wegen der Verschleißwirkung von Glasfaser- und Mineralfüllstoffen von Fortron® PPS-Typen sind Werkzeuge, Schnecken und Zylinder aus geeigneten Stahlsorten einzusetzen.

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

Tab. 7.2 Schnecken aus durhhärtenden Stählen oder Hartmetallen sowie Zylinder 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 Oberflächenhärtung gegen Verschleiß geschützt werden. Die bei solchen Verfahren verwendeten Temperaturen dürfen in keinem Fall die Anlasstemperatur des Stahls erreichen. Beschichtungsmaterialien können auch verwendet werden. Chromhaltige Beschichtungen (z.B. Chromnitrid) bieten einen besseren Schutz gegen Verschleiß als Titanitrid. 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.

Abb. 7.2



Beispiele für einen Tunnelanschnitt

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 $0,01 \text{ mm}$ 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.

Aufgrund der hohen Steifheit und der geringen Dehnung von Fortron® PPS sollten Hinterschnitte, die eine Entformung des Formteiles behindern können, vermieden werden. Diese Hinterschnitte können nur mit entsprechenden Werkzeugteilen, wie zum Beispiel mit Schiebern oder zusammenlegbaren Kernen, realisiert werden.

7.2.6 Entlüftung

Wird ein Werkzeug unzulänglich entlüftet, kann dies aufgrund der hohen Verdichtung der eingeschlossenen Luft zu sogenannten Brennern am Formteil führen und einen korrosiven Verschleiß am Werkzeug verursachen. Entlüftungen sind dort vorzusehen, wo Lufteinschlüsse durch das geschmolzene Fortron® PPS zu erwarten sind, insbesondere in den zuletzt gefüllten Bereichen.

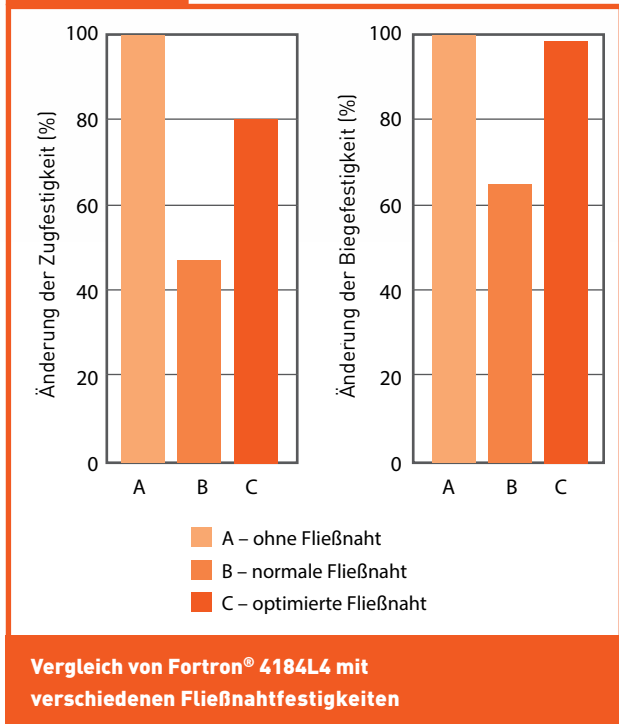
Eine wirksame Entlüftung kann in vielen Fällen mit Kanälen in der Trennebene erreicht werden. Zur Vermeidung von Gratbildung sollte die Entlüftungsspalttiefe 0,006 bis 0,007 mm nicht überschreiten. Die Breite der Kanäle ist von der Formteilgröße abhängig. Eine angemessene Oberflächenbehandlung, z.B. Polieren, der Entlüftungsbereiche wird empfohlen.

Die Entlüftung in unzureichend entlüftbaren Bereichen kann über entsprechend bearbeitete Auswerferstifte verbessert werden. Auch ein Entlüften der Verteilerkanäle hat sich bewährt.

7.2.7 Bindenähte

Im Bindenahtbereich sind faserförmige Verstärkungsstoffe weitgehend parallel zur Bindenaht ausgerichtet und schwächen dadurch das Formteil. Bindenähte sollten durch eine gezielte Anschnittlage in Formteilmereiche mit geringerer Beanspruchung gelegt werden. Die Bindenahtfestigkeit kann mit geeigneten konstruktiven Werkzeugmaßnahmen erhöht werden, beispielsweise durch größere Wanddicken im Bindenahtbereich oder wirksames Entlüften und andere Maßnahmen. In (Abb. 7.4) wird die Zugfestigkeit und Biegefestigkeit von Fortron® 4184L4 (50% glasfaserverstärkt) mit verschiedenen Bindenahtfestigkeiten verglichen.

Abb. 7.4



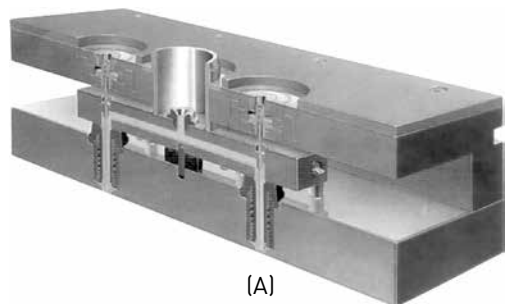
7.2.8 Rippen und Radien

Die Dicke einer Rippe sollte möglichst mit der angrenzenden Wanddicke übereinstimmen. reten 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.

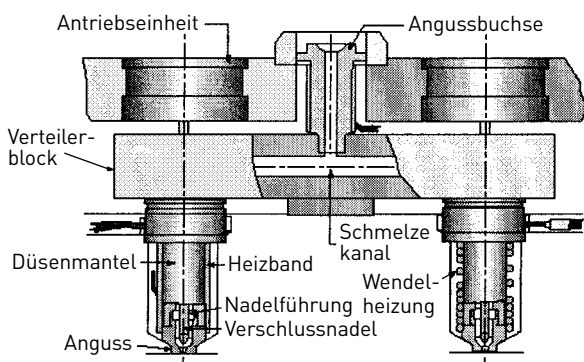
7.2.9 Toleranzen

Fortron® PPS ist für die Einhaltung enger maßlicher Toleranzen geeignet. Glasfaser- und mineralverstärkte Typen ermöglichen Toleranzen unter 0,3%. Die Einhaltung so extrem enger Toleranzen setzt allerdings eine sachgemäße Konstruktion und einen höheren Aufwand im Werkzeugbau und in der Spritzgießverarbeitung voraus.

Abb. 7.5



(A)



(B)

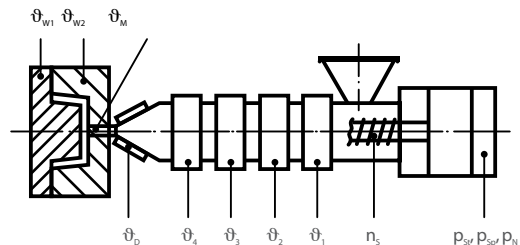
Schematische Darstellung eines Heißkanalsystems

7.3 Heißkanalsysteme

Fortron® PPS kann mit handelsüblichen Heißkanalwerkzeugen verarbeitet werden (Abb. 7.5) deren Spezifikationen, Konstruktion und Betrieb denen für andere technische Kunststoffe entsprechen. Die Gestaltung von Heißkanalsystemen (Geometrie, Auswahl der Stahlarten und der Bauteile) erfolgt gewöhnlich beim Heißkanalhersteller. Die nachfolgenden Informationen über die Verwendung von Heißkanalsystemen mit Fortron® PPS sollten in Zusammenarbeit mit den Heißkanalherstellern angewandt werden.

Für Heißkanalsysteme mit langen Standzeiten 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. Siehe 7.3.1 für weitere Angaben zum Verschleißschutz.

Abb. 7.6



Zylindertemperaturen:	ϑ_1 : 300-320°C
	ϑ_2 : 310-330°C
	ϑ_3 : 320-340°C
	ϑ_4 : 320-340°C
	ϑ_M : 320-340°C
	ϑ_m : 310-340°C
Max. Verweilzeit im Zylinder:	≤ 30 min (bei 320-340°C)
Spritzdruck p_f :	500-1000 bar (spez.)
Nachdruck p_h :	300-700 bar (spez.)
Staudruck p_A :	niedrig
Schneckendrehzahl n_S :	niedrig, z.B. 40-100 min ⁻¹
Einspritzgeschwindigkeit:	mittel bis hoch
Werkzeugwandtemperaturen $\vartheta_{C1}, \vartheta_{C2}$:	140-145°C
Düse:	offene Düse, vorzugsweise s Verschlussdüse

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

Verarbeitungsbedingungen für verstärktes und unverstärktes Fortron® PPS

7.3.1 Heißkanaldüsen

Fortron® PPS lässt sich mit verschiedenen Düsensystemen verarbeiten (Abb. 7.6). Empfohlen werden außenbeheizte 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. Heißkanalsysteme können eingesetzt werden, indem die PPS-Formteile direkt oder über einen anschließenden Kaltkanal-Unterverteiler angebunden werden.

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 Materialausflusses oder eines kalten Pfropfens für die direkte Anbindung nicht zu empfehlen
- ▶ der Düsenausfluss bzw. kalte Pfropfen kann durch eine Veränderung der Heißkanaldüsentemperatur und der Landzone L (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.

7.4 Verarbeitungsbedingungen

Fortron® PPS lässt sich mit konventionellen Spritzgießmaschinen verarbeiten. Fortron® PPS-Standardtypen sind vor Verwendung 3 – 4 Stunden lang bei 135°C zu trocknen siehe **Abschnitt 6.3**. Bei einigen 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. 7.6**) 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.

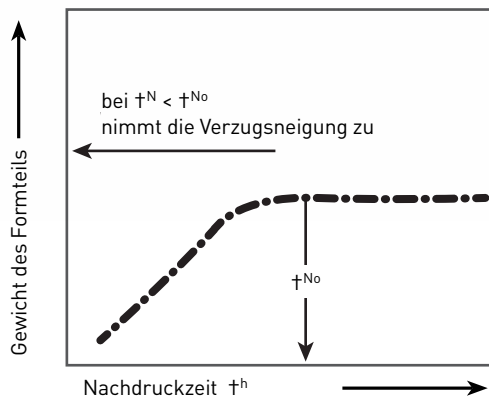
Es wird empfohlen, die Schmelzetemperatur mit einem Einstichthermometer zu prüfen, wobei darauf zu achten ist, dass die Temperatur der Schmelze 370°C nicht überschreitet. Die Werkzeugtemperatur sollte 140°C betragen, damit das PPS ausreichend kristallisieren kann.

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 Sicherheitsdatenblätter des Herstellers zu achten. Wenn der Zylinder frei von PPS ist, können die Zylinderheizungen der Plastifiziereinheit abgestellt werden. Halten Sie die Schnecke beim Abschalten in der Vorlaufposition.

Fortron® PPS ist leicht zu verarbeiten. Bei der Verarbeitung von Fortron® PPS ist unter anderem folgendes zu beachten:

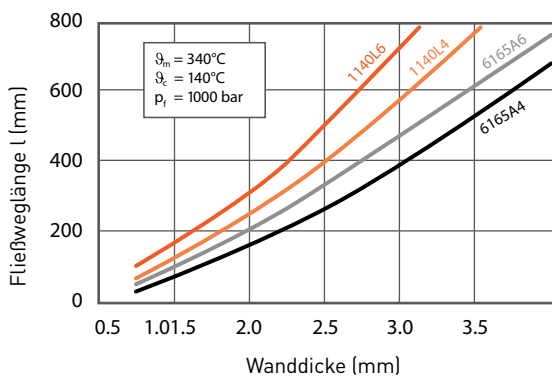
- Die Temperatur der Masse sollte typenabhängig zwischen 320 und 340°C liegen. Massetemperaturen über 340°C sind möglich, wenn die Werkzeuggeometrie dies erfordert (zum Beispiel geringere Wandstärken).

Abb. 7.7



Optimale Nachdruckzeit

Abb. 7.8



Fließweglänge als Funktion der Wand-dicke einiger Fortron®-Typen

- Um dimensionsstabile Formteile mit ausreichender Kristallinität herzustellen, muss die Werkzeugwandtemperatur mindestens 140°C betragen. Empfohlen wird der Einsatz von Temperiergeräten mit Wärmeträgerölen. 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 Werkzeugentlüftung 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 (spezifischer Druck, umzurechnen in hydraulischen Druck).
- Die Nachdruckzeit ist im Wesentlichen von der Ausführung des Angussverteilers, des Anschnittes und der Wanddicke des Formteils abhängig. Die erforderliche Nachdruckzeit richtet sich nach der ermittelten Siegelpunktzeit. Kürzere Nachdruckzeiten können zum Verzug der Formteile führen (**Abb. 7.7**).
- 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.
- Die Zykluszeit hängt von der Art des zu fertigenden Formteils ab. Theoretische Kühlzeiten sind 20 bis 30 Sekunden für 4 mm dicke Teile, 10 bis 15 Sekunden für $2,5 \text{ mm}$ Wanddicke und 5 bis 10 Sekunden für $1,5 \text{ mm}$ dicke Teile.

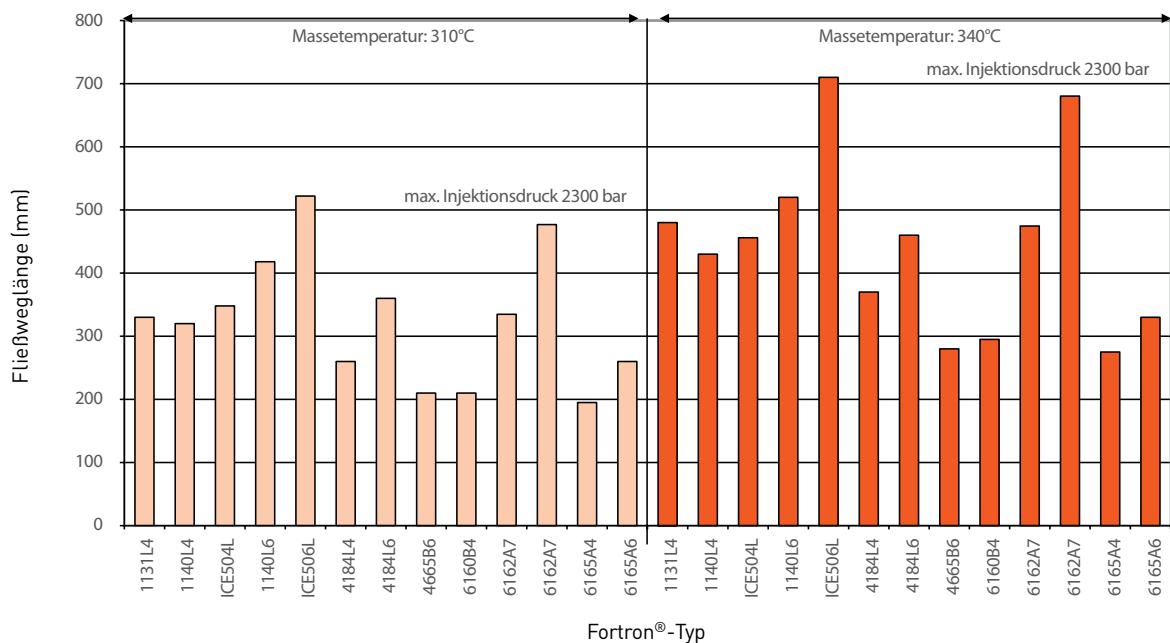
- Empfohlen wird ein Schussgewicht von 50 bis 70 % der Maschinenkapazität.
- Eine Verweilzeit im Zylinder von weniger als 3 Minuten kann zu einer unzureichenden Homogenität der Schmelze führen.

Fortron® ICE-Typen kristallisieren schneller als die Fortron®-Standardtypen. Durch die kürzeren Abkühlzeiten des Teils im Werkzeug ermöglichen sie kürzere Zykluszeiten.

Die Fortron® PPS-Typen weisen eine gute Fließfähigkeit auf. Das Fließverhalten wurde praxisnah im Spiralttest untersucht. Zur Charakterisierung der Fließfähigkeit dient die Länge einer unter definierten Bedingungen spritzgegossenen Spirale.

(Abb. 7.8) zeigt die erreichbaren Fließweglängen einiger Fortron® PPS-Typen als Funktion der Wanddicke, jeweils für Massetemperaturen von 340°C. Diese Grafik kann zur Auswahl von Typen verwendet werden. In (Abb. 7.9) sind die mit einer Spiraldicke von 2 mm erreichbaren Fließweglängen verschiedener Fortron® PPS-Typen aufgeführt, und zwar für Massetemperaturen von 310°C und 340°C. Mit diesen Hinweisen kann abgeschätzt werden, inwieweit durch die Erhöhung der Massetemperatur eine Verbesserung der Fließfähigkeit zu erreichen ist.

Abb. 7.9



Fortron® PPS-Compounds für den Spritzguss

7.5 Verwendung von Recyclaten

Ein Wiederaufschmelzen und Regranulieren von Fortron® PPS 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. Um typische Materialeigenschaften zu erreichen, darf der Regranulatzusatz 25% nicht übersteigen (**Abb. 7.10 und 7.11**). 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. 7.12**).

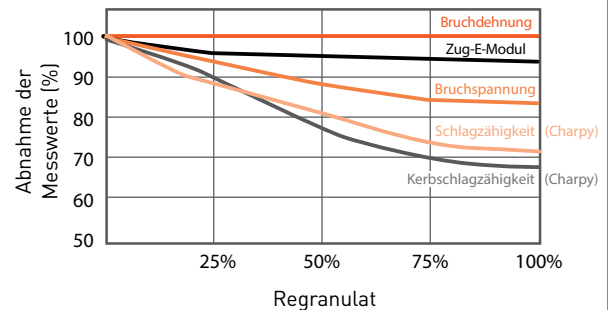
7.6 Empfehlungen zur Fehlersuche

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

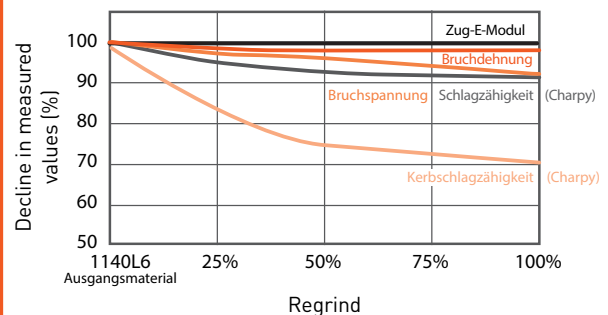
- Prüfen, ob die Entlüftung ausreichend ist
- Einspritzgeschwindigkeit herabsetzen
- Nachdruckzeit verkürzen
- Anordnung des Anschnitts verändern
- Anschnitt vergrößern

Abb. 7.10



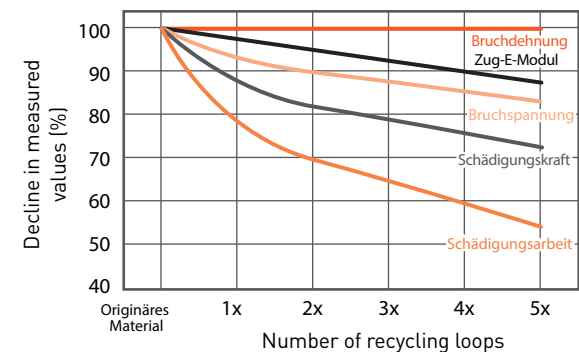
Mechanische Eigenschaften von Fortron® PPS 6165A4 mit Regranulatzusätzen

Abb. 7.11



Mechanische Eigenschaften von Fortron® PPS 1140L6 mit Regranulatzusätzen

Abb. 7.12



Mechanische Eigenschaften in Abhängigkeit von der Mehrfachverarbeitung

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.

- Heizzyylinder reinigen
- Werkstofftemperatur herabsetzen durch:
 - ▶ Verringerung der Zylindertemperaturen
 - ▶ Verringerung der Schneckendrehzahl
 - ▶ Verringerung des Staudrucks
- Düsentemperatur herabsetzen
- Gesamtzykluszeit verkürzen
- Fülltrichter und Einzugszone auf Verunreinigung prüfen
- Trichter und 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 Spritzgießmaschine mit größerer Schließeinheit geben, wenn Einspritzdruck zu hoch ist
- Druck durch Verwendung eines Polymers mit geringerer Viskosität verringern
- 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
- Regelsysteme verwenden
- 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
- Nachdruckzeit verlängern
- Booster einsetzen und Einspritzgeschwindigkeit maximieren
- 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/Nachdrucktemperatur herabsetzen
- Einspritzgeschwindigkeit verringern
- Boosterzeit verkürzen
- Nachdruckzeit verkürzen
- Formschließzeit verlängern
- Werkzeugtemperatur herabsetzen
- Zylinder- und Düsentemperatur verringern
- Werkzeug auf Hinterschnitte und/oder unzureichende Entformungsschräge prüfen

Anhaften am Kern

- Einspritzdruck erhöhen
- Nachdruckzeit verlängern
- Einspritzgeschwindigkeit erhöhen
- Formschließzeit verkürzen
- Kerntemperatur herabsetzen
- Werkzeug auf Hinterschnitte 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
- Fortron® ICE kann aufgrund seiner raschen und homogenen Kristallisation Vorteile bieten

Qualität der Bindaht

- Einspritzdruck erhöhen
- Nachdruckzeit verlängern
- Einspritzgeschwindigkeit erhöhen
- Werkzeugtemperatur erhöhen
- Werkstofftemperatur erhöhen durch:
 - ▶ Anhebung der Zylindertemperaturen
 - ▶ Erhöhung der Schneckendrehzahl
 - ▶ Erhöhung des Staudrucks
- Kavität im Bereich der Bindaht entlüften
- In der Höhe der Bindaht 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
- Einspritzen in einen kurzen sekundären Kaltkanal

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 Anschnittbuchsen herabsetzen
- Temperatur am Heißkanalverteiler herabsetzen
- Temperatur am Heißkanalgefälle herabsetzen
- Zykluszeit verlängern
- Dauer der Werkzeugöffnung verkürzen
- Werkzeug ändern, um Anschnittgröße zu reduzieren oder die Steglänge des Anschnitts zu vergrößern

Blasen im Formteil

- Sicherstellen, dass das Material trocken ist
- Werkzeugentlüftung optimieren

Literatur

1. Weitere Hinweise finden sich in der Broschüre Fortron® Poyphenylene Sulfide Process and Troubleshooting Guide (FN-6) und auf der Celanese Website, celanese.com.

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

Tab 8.1 enthält Richtwerte für die Extrusion von Fortron® PPS.

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 Massetemperatur 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 Einzugszone.

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 empfohlen.

Tab. 8.1

Richtwerte für die Extrusionstemperatur von Fortron® PPS*

Extrusionsparameter	Ungefüllt	Gefüllt
Einzugszone	285-290°C	290-300°C
Kompressionszone	290-295°C	290-310°C
Austragszone	290-300°C	300-320°C
Adapter	300-310°C	300-320°C
Düse	300-310°C	300-320°C
Massetemperatur	295-330°C	305-340°C

*Sicherheitshinweis: Die Massetemperatur 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.

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 Umlenkopf zugeführt wird.

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.

Tab. 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

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 Querschnittverringerng 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 Haftvermittler 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 **Tab. 8.1.** 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. Monolayer Fortron® PPS-Schläuche können auch als flexible Barriere- oder Schutzverkleidungen für Stahlrohre eingesetzt werden.

Bei dreischichtigen 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 Schmelzzustand 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 Abziehgeschwindigkeit siehe **Tab. 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 Abziehgeschwindigkeit sollte so eingestellt werden, dass Rohre oder Schläuche aufgewickelt 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. 8.1**). Stäbe haben gewöhnlich 6 bis 80 mm Durchmesser, Platten sind 6 bis 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 Schneckengeometrie 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 mindestens 140°C (besser 150 bis 170°C) aufgeheizt werden.

Abb. 8.1

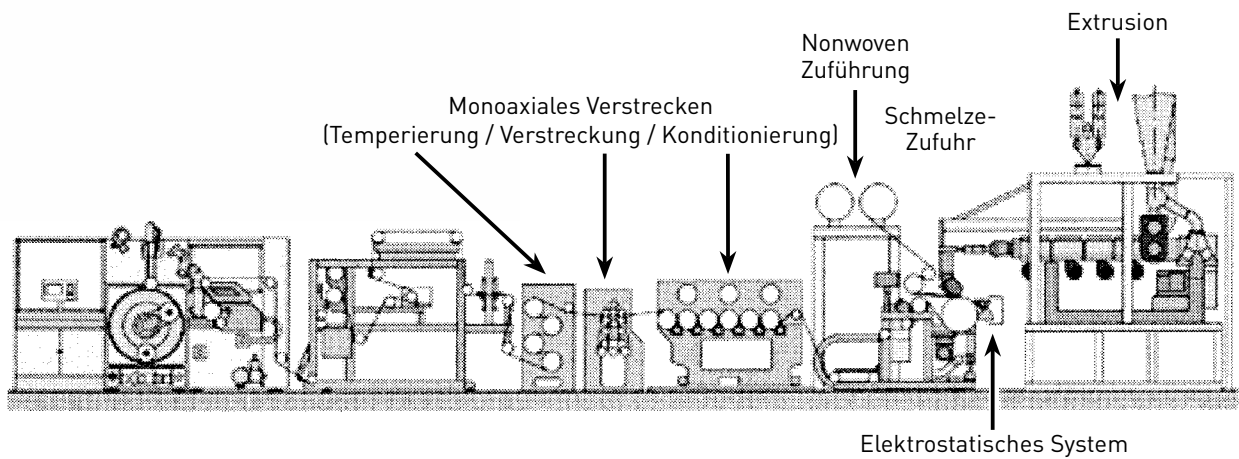


Aus 40% glasfaserverstärktem Fortron® PPS extrudierte Stangen und Platten

Ist die Endtemperatur erreicht, ist diese pro 1 mm Wanddicke 10 Minuten 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 langsames Aufheizen und ein noch langsames Abkühlen wichtig, um speziell bei dickwandigen Extrudaten innere Spannungen zu vermeiden.

Abb. 8.2



Darstellung des Extrusionsbeschichtungsprozesses

8.3 Extrusionsbeschichtung und Kabelummantelung

Bei der Extrusionsbeschichtung und der Herstellung von Kabelmanteln wird ein Substrat aus Papier, Pappe, Textil oder Draht in einem einzigen Prozess schmelzbeschichtet (**Abb. 8.2**). 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 Kupfer- oder Aluminiummagnetdraht extrudiert. Die Manteldicke beträgt 0,1 bis 0,5 mm und wird durch ein speziell für diesen Zweck konzipiertes Werkzeug konstant gehalten.

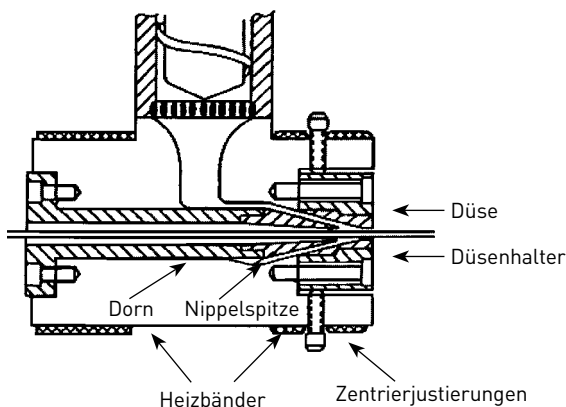
Mit Fortron® PPS ummantelte Drahnte werden in Transformatoren verwendet, weil PPS sehr wenig Wasser aufnimmt (< 0,2% nach 24-stündiger Lagerung in Wasser). Der Mantel zeichnet sich auch durch eine hohe Wärmebeständigkeit und eine höhere Durchschlagfestigkeit als viele andere Werkstoffe aus.

Bei einer typischen Kabelummantelung (**Abb. 8.3**), reguliert die Profilduse im Umlenkkopf die Dicke der ringförmigen Beschichtung des Kabels, das mittig eingeführt wird. Ein Zentrierstift sorgt für eine rundum gleichmäßige Beschichtung des Drahts.

Literatur:

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

Abb. 8.3



Pineolen - Umlenkkopf für die Kabelummantelung

Celanese 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.

Fortron® PPS hat hervorragende Verarbeitungseigenschaften, sodass Vernetzungsreaktionen und die dadurch bedingten Variationen reduziert werden. Die herausragenden Verarbeitungseigenschaften von Fortron® PPS beruhen auf seiner hohen Schmelzfestigkeit, Reinheit, Wärmeformbeständigkeit und den engen Viskositätsspezifikationen. Dies ermöglicht die Herstellung hochwertiger blasgeformter Bauteile und Halbzeuge. Es kann auch in Verbundwerkstoffen zur Herstellung anspruchsvoller Teile, von Sportartikeln bis hin zu Flugzeugtragflächen, sowie für Blasfolien und Pulverbeschichtungen eingesetzt werden. Ferner kann Fortron® durch Formpressen (langfaserverstärkt mit Glas-, Kohlenstoff-, Stahlfasern etc.) oder Rotationsformen verarbeitet werden.

Tab. 9.1

Blasformbedingungen für Fortron® 1115L0



Trocknungsbedingungen für Fortron® 1115L0

TDr = 80 – 100°C/3-4 Stunden

Temperaturen

Zylinder: 300-330°C

Düse: 310-330°C

Verweilzeit im Zylinder ≤ 30 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 zur Herstellung gut definierter Blasformteile geeignet.

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

Abb. 9.1

Saugblasformmaschine
(Foto SIG-Kautex)

Abb. 9.2



Blasgeformtes Ladeluftrohr für Turbodieselmotoren mit spiegelgeschweißtem Anschlussflansch (Mann & Hummel)

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

Fortron® PPS-Typen (insbesondere Fortron® 0214, 0205 oder 0320) können aufgrund ihres Viskositätsprofils 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. 9.3



Tragflächenkante des Airbus A340 und A380



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 separat hergestellte Folie gewöhnlich hochmolekulare Fortron® PPS-Typen wie 0214 oder 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 monoaxial 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® PPS-Verbundwerkstoffen ist die vordere Tragflächenkante des Airbus A340 und A380 (**Abb. 9.3**). Dabei wird in einem ersten Schritt Fortron® 0214C1 PPS zu einer 50 bis 200 µm dicken Folie verarbeitet. Diese Folie wird dann in einer Formpresse mit hohem Druck und bei hohen Temperaturen auf eine Carbonfasermatte kaschiert. Auf diese Weise entstehen formbeständige, hochfeste Verbundstoffplatten, die erwärmt und 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 auf Nieten, Bolzen oder Schrauben verzichtet werden kann.

9.3 Pulverbeschichtung

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

Zum Beispiel wird Fortron® PPS bei der Beschichtung von Kochtöpfen und Pfannen als Haftvermittler zwischen PTFE und Metall eingesetzt. Des Weiteren kann es als Korrosionsschutzbeschichtung bei Metallen eingesetzt werden.

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. Es 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 im speziellen 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, Öle, Amine, Glykol, Sulfolan, Methylenchlorid, Naphtha und Kaliumhydroxid lösungen.

Die Verarbeitung von Fortron® PPS erfolgt auf herkömmlichen 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®-Typen empfiehlt sich die Verwendung korrosionsbeständiger Stähle für die Metalldüsen.

10.1 Meltblown-Vliese

Fortron® PPS ist ein leicht zu verarbeitender Werkstoff mit einem breiten Verarbeitungsfenster. So lassen sich beispielsweise schmelzgeblasene Faservliese herstellen, die als Filtermedien in der chemischen Industrie, in Filteranlagen für Kraftwerke und für andere industrielle Anwendungen eingesetzt werden können.

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 **Tab. 10.1**. Der Abstand zwischen Düse und Förderband sollte ca. 10 bis 40 cm betragen.

Tab. 10.1

Typische Parameter für das Schmelzblasen von Fortron® PPS

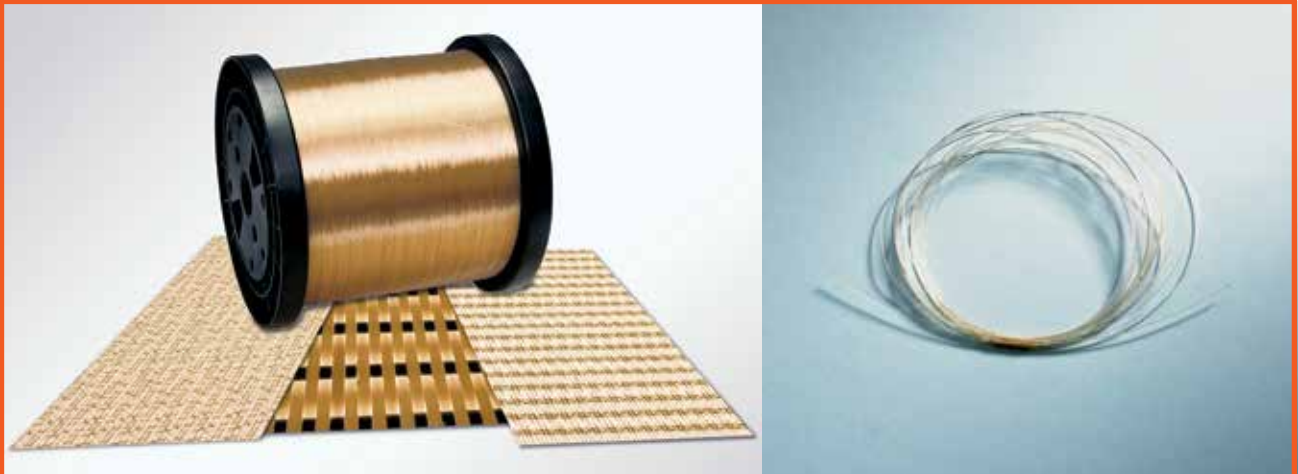
Parameter	Empfohlene Einstellung
Abstand Düse-Förderband	15-20 cm für größere Durchmesser, 25-40 cm für kleinere Durchmesser
Kühlluft	Keine bis minimal
Extruderprofil:	
Zone 1	260-270°C
Zone 2	280-290°C
Zone 3	285-295°C
Zone 4	295-305°C
Zone 5	305-315°C
Massetemperatur an der Düse.	305-320°C
Prozessluft: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

Tab. 10.2

Typische Parameter für die Herstellung von Spunbond-Vliesen aus Fortron® PPS

Parameter	Empfohlene Einstellung
Extruderprofil:	
Zone 1	274°C
Zone 2	285°C
Zone 3	296°C
Zone 4	310°C
Zone 5	320°C
Massetemperatur an der Düse	320°C
Kalander, graviert / glatt	107-107°C
Grundgewicht, g/m ²	34,0-68,0 g/m ²

Abb. 10.1



Trocknungsbänder aus Fortron® 0320C0 Monofilamenten

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 **Tab. 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. 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.

Fortron® PPS Stapelfasern mit verschiedenen Stärken und Querschnitten als Einkomponenten- und Bikomponentenfasern werden zu Vliessubstraten verarbeitet, beispielsweise für Nadelvliese. Multifilamente aus Fortron® PPS werden auch für Industrieanwendungen eingesetzt, die gewebte Textilien erfordern.

10.4 Monofilamente

Monofilamente aus Fortron® PPS, vor allem aus den Fortron®-Typen 0214 und 0320 werden zu Geweben und Blattbildungssieben in Papiermaschinen verarbeitet (**Abb. 10.1**). Bei der Verarbeitung muss der Durchmesser der Monofilamente sorgfältig überwacht werden, da die Gleichmäßigkeit des Gewebes von einem einheitlichen Durchmesser abhängig ist.

Tab. 10.3**Typische Prozessparameter für die Herstellung von Monofilamenten aus Fortron® PPS**

Parameter	Empfohlene 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

Bei der Herstellung von Monofilamenten wird das geschmolzene Polymer durch eine Monofilament-Düse extrudiert und abgekühlt **Tab. 10.3**.

Um eine hohe Zugfestigkeit zu erhalten, wird das Monofilament danach über Walzen verstreckt. Nach der ersten Reckeinheit wird es erhitzt und durchläuft eine zweite mit einer anderen linearen Geschwindigkeit. Abschließend folgt eine dritte Einheit, die das Monofilament auf Spulen aufwickelt.

10.5 Multifilamente

Fortron® PPS-Monofilamente, hauptsächlich aus Fortron® 0320, werden zu Multifilamenten verarbeitet. Bei der Verarbeitung muss der Multifilamentdurchmesser sorgfältig kontrolliert werden, da die Gleichmäßigkeit des Gewebes von einem einheitlichen Durchmesser abhängig ist.

Mit Fortron® 0320 können sehr zähe und hochfeste Multifilamente hergestellt werden.

Infolge ihrer Wärmebeständigkeit (bis zu 200°C) und 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.

Durch die Kombination von Fortron® PPS und Multifilamenten mit Kautschuk entstehen besonders flexible Schläuche. Neben einer hohen Zähigkeit verfügen Multifilamente aus Fortron® PPS auch über die für die Radialausdehnung der Schläuche infolge von Volumenzunahme und Drucksteigerung erforderliche Dehnbarkeit. Die Dimensionsstabilität von Fortron® 0320 sorgt für eine sehr gute und einheitliche Schwindung der Multifilamente (Schwindung unter 1%).

Literatur:

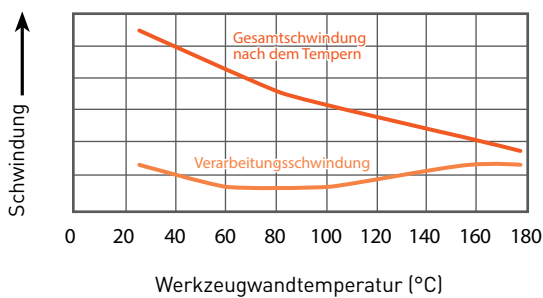
1. 2003, Chemical Economics Handbook, SRI International.
2. Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, 4. Auflage, Bd. 17, John Wiley & Sons, 1996, S. 336-368.

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

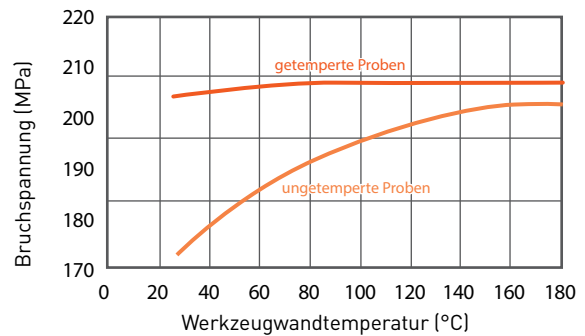
Fortron® PPS-Formteile, die mit Werkzeugwandtemperaturen von mindestens 140 °C hergestellt wurden, sind gut kristallisiert. Wenn sie später hohen Temperaturen ausgesetzt werden, kommt es nur zu einer geringen Schwindung, so dass sie nicht getempert werden müssen, um Nachschwindungseffekte zu vermeiden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

Abb. 11.1



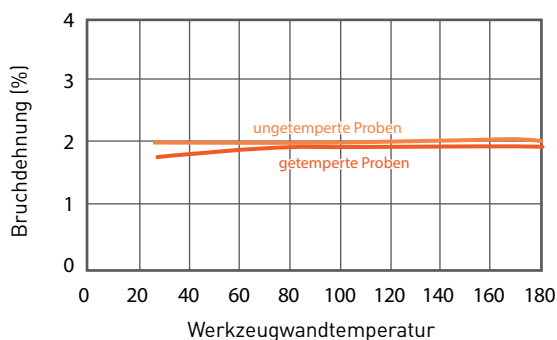
Schwindung von Fortron® 1140L4 Probekörpern (ISO 3167) als Funktion der Werkzeugwandtemperatur, Temperierung: 3h, 200°C

Abb. 11.2



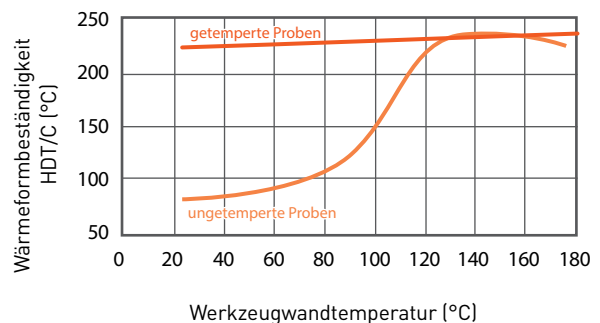
Zusammenhang zwischen Bruchspannung und Werkzeugwandtemperatur von getemperten und ungetemperten Fortron® 1140L4 Proben

Abb. 11.3



Zusammenhang zwischen Bruchdehnung 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

Eine Untersuchung der Nachschwindung von Fortron® PPS-Formteilen mit 3 mm Wanddicke, die mit Werkzeugtemperaturen von 140°C hergestellt wurden, ergab bei den Typen 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.

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 Oberfräsen, Schleifmaschinen, Sägen, Drehbänke und anderen 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 Bindenähte 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, Ethylenglykol 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 jeweiligen 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 Durchmessern 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® PPS

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

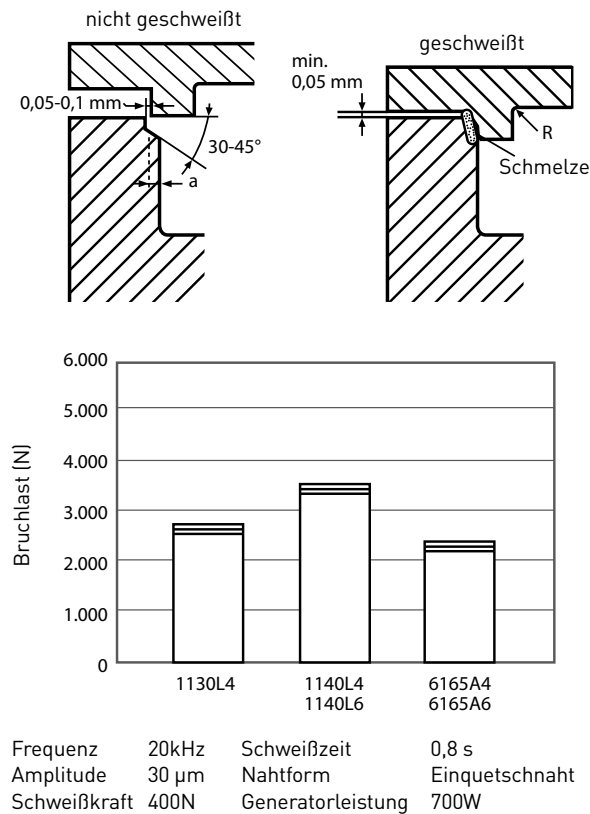
11.3.1 Schweißen

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, Vibrationsschweißen, 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® PPS-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 ebenso hoher Festigkeit wie das PPS (**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.

Fig. 11.5



Bruchlast von Ultraschall geschweißten Probekörpern verschiedener Fortron® PPS Typen

- 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 Vorkehrungen im Hinblick auf die Bauteilkonstruktion zu treffen. Schwingweite, Schweißzeit, Schweißdruck und andere Maschineneinstellungen sind zu optimieren. Fortron® PPS-Typen mit bis zu 40% Verstärkungsstoffen bringen noch gute schweißtechnische Resultate. Bei einem höheren Gehalt an Verstärkungsstoffen verschlechtert sich jedoch die Schweißfähigkeit.
- Durch Rotationsreißschweißen werden Formteile miteinander verbunden, deren Fügeflächen rotationssymmetrisch 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.

- 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 Keramikteilchen 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

Hochgefülltes Fortron® PPS ist nur eingeschränkt für Schnappverbindungen geeignet. Bei der Konstruktion von Fortron® PPS-Schnappverbindungen ist die Abhängigkeit der zulässigen Randfaserdehnung von der Wanddicke und vom jeweiligen Orientierungszustand der Glasfasern zu berücksichtigen. Richtwerte für die Obergrenze der Randfaserdehnung:

Fortron® PPS1131L4 ITT, 1140L4, 1140L6:	1,3%
Fortron® PPS 4184L4, 4184L6:	1,1%
Fortron® PPS 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® PPS auf Fortron® PPS und 0,4 für Fortron® PPS auf Stahl. Bei der Auslegung von Schnappverbindungen sind Praxisversuche zu empfehlen.

11.3.3 Kleben

Fortron® PPS kann mittels Haftklebung verbunden werden. Das Verfahren ist schnell, wirtschaftlich und erfordert nur eine geringe oder keine Vorbereitung der Formteile und keine Spezialgeräte. 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. Bei Klebeversuchen empfiehlt sich eine enge Zusammenarbeit mit der Klebstoffindustrie.

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 mittels gewindefurchender 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 die Auswahl geeigneter Verbindungselemente und den Einsatz von drehmomentüberwachten bzw. drehmomentbegrenzenden Schraubgeräten begrenzt werden. Bei Versuchen mit Schraubverbindungen empfiehlt sich die Zusammenarbeit mit dem Hersteller.

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 sorgfältig auszulegen. 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.

Diese Spannungen können durch die Auswahl geeigneter Verbindungselemente und die entsprechende Auslegung der Werkstücke vermieden werden. Der Einsatz drehmomentüberwachter bzw. drehmomentbegrenzender Schraubgeräte ist Stand der Technik und sollte zur sachgerechten Herstellung von Verbindungen berücksichtigt werden. Zur Auslegung, Erprobung und Absicherung von Schraubverbindungen ist die Zusammenarbeit mit dem Verbindungselementhersteller zu empfehlen.

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 anderen Verfahren kann 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® PPS 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 nasschemischen oder elektrochemischen Verfahren sowie durch Bedampfen im Vakuum metallisiert werden. Das Werkzeug muss während der Verarbeitung wirksam entlüftet werden, da zum Metallisieren eine einwandfreie Oberfläche erforderlich ist.

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. Celanese GmbH, Berechnen von Schnappverbindungen aus technischen Kunststoffen, August 1996 / 2. Ausgabe.
© 2004 Celanese GmbH, Kelsterbach.

- a**trieb..... 18, 19, 58
airbus..... 24, 48, 49
anguss 28, 29, 32, 34, 36, 38, 40, 41
anhafprobleme 40
anschnitt..... 30-36, 38, 40, 42
- b**educken 58
beschichtung..... 6, 30, 46, 47, 49
biege-kriechmodul 11, 13
bindenähte..... 32, 33, 54, 58
blasen im formteil..... 42
blasformen 6, 7, 27, 47, 48
blasformmaschine..... 47
bohren..... 54, 55
- c**AP-Kraftstoff 21
- d**auergebrauchstemperatur 15, 20
dielektrizitätszahl 10, 18
dimensionsstabilität 4, 9, 52
drehen..... 54, 55
durchgangswiderstand..... 10, 18
durchschlagfestigkeit 10, 18, 46
düsen mit seitlicher Anbindung..... 35
düsen mit Spitzen 35
düsen 34, 35, 39-41, 43, 44, 46, 50-52
- e**infallstellen 33, 40, 58
einsätze 30, 43, 57
einspritzdruck 36, 39-42
elektrische eigenschaften..... 4, 6, 10, 17
empfehlungen zur Fehlersuche 38
entflammbarkeit 23, 24
entformungsfläche 32
entformungsschräge 31, 32, 40, 41
entformungswinkel..... 32
entlüftung 27, 32, 33, 36, 38-40, 42
extrusion..... 6, 7, 25-27, 43-47, 50
extrusionsbeschichtung 46
- f**arbkonzentrate 8, 25
fasern 5, 6, 9, 11, 25, 27, 43, 47, 49-51, 57
flammwidrigkeit..... 4, 5, 9
fließweglänge..... 29, 32, 36, 37
folien 5, 6, 27, 43, 47, 49, 58
fräsen..... 54, 55
fügen 6, 47, 52, 55, 56
füllverhalten 32
- g**efüllte Typen..... 6
gewinde 54, 57
glastemperatur (T_g) 15
glühdrahtprüfung 23, 24
granulat 6, 35, 38, 41, 49
gratbildung..... 5, 32, 33, 39, 54
- h**artstofflegierungen..... 30
heißkanaldüsen 34, 35
heißkanalsysteme..... 34
heißprägen 58
heizelementschweißen..... 55, 56
hinterschnitt..... 31, 32, 40, 41
hinterschnitt..... 27, 34
hydrolyse 20
hygroskopisch 20, 28

i nduktionsschweißen.....	56	n achbehandlung in der Wärme	53
k abelummantelung	46	nachdruck	34, 36, 39
kleben	55, 57	nachdruckzeit.....	36, 38-42
kraftstoff.....	4, 20-22, 48, 49	normen	21, 23, 24
kraterbildung	40	ABD	24
kristallisation	5, 22, 29, 41	Airbus.....	24
kristallisationstemperatur	15	Automobilspezifikationen GADSL.....	23
kühlzeit.....	36, 37	Automobilspezifikationen GMP.....	23
l ackieren.....	58	Automobilspezifikationen IMDS.....	23
längenausdehnungskoeffizient.....	10, 16	Automobilspezifikationen MS-DB.....	23
laser.....	56, 58	Automobilspezifikationen WSL WSF	23
laserschweißen.....	55, 56	BfR	26
löten	17	BgVV, BGA.....	6, 26
lufteinschlüsse.....	28, 33, 40	FAR.....	24
m aschinenreinigung.....	28	FCN	24
masse-temperatur	28, 35, 37, 41, 43, 44, 50, 52	FDA.....	6, 8, 25, 26, 50
mechanische Eigenschaften	8-10, 20, 38	FMVSS 302 (US Kraftfahrzeugsicherheit)	24
meltblown-Vliese.....	50, 51	ISO 9000	8
metallisieren	58	National Bureau of Standards NFPA 208	24
metallnieten	58	RoHS	17
monofilamente.....	6, 51, 52	SAE.....	21
multifilamente.....	6, 50, 52	Schienenfahrzeuge	24
		SML	26
		Trinkwasser DE KTW	25
		Trinkwasser FR ACS	25
		Trinkwasser UK WRAS	25
		Trinkwasser US NSF.....	25
		WEEE	17
		o berflächenbehandlung	33, 58
		oberflächenriffelung.....	40
		oberflächenwiderstand	10, 17, 18
		p hysikalische Eigenschaften	9, 10
		platten.....	5, 6, 25, 43, 45, 49
		profile.....	5, 26, 27, 43, 45, 54
		prozessparameter	44
		prozessparameter, Monofilamente	51
		prozessparameter, Schmelzblasen	50
		prozessparameter, Spritzguss	29
		prozessparameter, Spunbond.....	51
		pulverbeschichtung	47, 49

q ualitätsmanagement	8	u ltraschallschweißen	55, 56
r adien	33, 45	umlenkkopf	43, 46
rauchgasdichte	24	unverstärkte Typen	6, 19, 26, 28
recyclate	38	uV-Bestrahlung	21
rippen	33	v erarbeitungstemperatur	8, 28, 50
rockwellhärte	10, 19	verbrennung	23, 38, 54
rohre	5, 6, 44, 48	verbundwerkstoffe	6, 47, 48, 49
rotation	47, 55, 56	verfärbungen	39, 54
s ägen	54, 55	verschraubung	57
schließkraft	29	verteiler, kreisrund	32
schläuche	26, 44, 52, 55	verteiler, trapezförmig	32
schnappverbindungen	57, 58	verteiler	4, 32-36, 40, 42, 48
schnecken	30, 34, 36, 39-42, 45, 50	verweilzeit	27, 34, 36, 37, 47,
schneckendrehzahl	34, 36, 39-42	verzug	7, 36, 41, 45
schnittgeschwindigkeit	54	w ärmeformbeständigkeitstemperatur (HDT)	15, 16
schrauben	49, 57	wärmeleitfähigkeit	6, 17, 18, 54
schussgewicht	37	wasseraufnahme	4, 9, 20, 29
schweißen	49, 55, 56	wechselspannungen	18
schwindung	10, 17, 29, 52-54	werkzeugauslegung	30
short shots	40	werkzeugstähle	29, 30
spanende Bearbeitung	54	werkzeugtemperatur	29, 35, 39-42, 47, 54
spannungsrelaxationsversuch	11	werkzeugwandtemperatur	15, 34, 36, 53, 54
spritzgießmaschine	28-30, 35, 39, 41	wöhler-Kurve	13, 14
spritzguss	7, 17, 25-27, 29, 30, 37	z eitschwingfestigkeit	13, 14
spritzguss, Verarbeitungsbedingungen	35	zeitstandversuch	11
spunbond-Vliese	50, 51		
stäbe	5, 6, 27, 43, 45, 58		
stapelfasern	51		
staudruck	34, 36, 39, 41, 42		
t echnische Textilien	5, 50		
thermische Eigenschaften	10, 15		
toleranzen	30, 33, 55		
toxizität	24		

Unit conversion factors

———— Multiplizieren ————>
 <———— Dividieren ————

Länge

Inch (in)	0,0254	Meter (m)
Foot (ft)	0,305	Meter (m)

Fläche

Square inch (in ²)	$6,45 \times 10^{-4}$	Quadratmeter (m ²)
Square feet (ft ²)	0,0929	Quadratmeter (m ²)

Volumen

Cubic inch (in ³)	$1,64 \times 10^{-5}$	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)	$6,897 \times 10^3$	Pascal (Pa)
lbf/in ² (psi)	$6,897 \times 10^{-3}$	Mega Pascal (MPa)
kg/cm ²	$9,81 \times 10^4$	Pascal (Pa)
bar	10^5	Pascal (Pa)

Viskosität

Poise	0,1	Pascal · Sekunde (Pa · s)
-------	-----	---------------------------

Energie

Kalorie (cal)	4,2	Joule (J)
Calories/gram (cal/g)	4,2	Kilojoule/kilogramm (kJ/kg)
Joule/kilogramm (J/kg)	$2,33 \times 10^3$	BTU/lb

Technische Textilien**Fadengröße**

1 tex	9	Denier
1 dtex	0,1	mg/m

Reißfestigkeit

1 cN/tex	0,1132	g/denier
----------	--------	----------

Umrechnung von Zug- oder Biegeeigenschaften

Festigkeit

Modul

MPa	psi	MPa	psi x 10 ⁶
75	10.900	6.000	0,87
100	14.500	8.000	1,16
125	18.000	10.000	1,45
150	21.800	12.000	1,74
175	25.400	14.000	2,03
200	29.000	16.000	2,32
225	32.700	18.000	2,61
250	36.300	20.000	2,90
275	39.900	22.000	3,19
300	43.500	24.000	3,48

Unit conversion factors	
Grad Celsius (°C)	Grad Fahrenheit (°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

Umrechnung von Zug- oder Biegeeigenschaften				
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



ENGINEERED MATERIALS

celanese.com/engineered-materials

Kontaktinformationen

Amerika

8040 Dixie Highway, Florence, KY 41042 USA

Product Information Service

t: +1-800-833-4882 t: +1-859-372-3244

Customer Service

t: +1-800-526-4960 t: +1-859-372-3214

e: info-engineeredmaterials-am@celanese.com

Europa

Am Unisys-Park 1, 65843 Sulzbach, Germany

Product Information Service

t: +(00)-800-86427-531 t: +49-(0)-69-45009-1011

e: info-engineeredmaterials-eu@celanese.com

Asien

4560 Jinke Road, Zhang Jiang Hi Tech Park

Shanghai 201203 PRC

Customer Service

t: +86 21 3861 9266 f: +86 21 3861 9599

e: info-engineeredmaterials-asia@celanese.com

Copyright © 2017 Celanese oder verbundene Unternehmen. Alle Rechte vorbehalten.

Celanese® oder das eingetragene C-Ball-Design und alle hier mit ®, TM, SM gekennzeichneten Marken sind, sofern nicht anders ausgewiesen, eingetragene Marken der Celanese oder deren verbundener Unternehmen.

Die vorliegende Publikation wurde im Januar 2017 erstellt. Sie basiert auf dem Kenntnisstand von Celanese zu diesem Zeitpunkt. Celanese ist nicht zu ihrer Aktualisierung verpflichtet. Da Celanese keinen Einfluss darauf hat, unter welchen Bedingungen ein Produkt eingesetzt wird, schließt Celanese jedwede ausdrückliche oder stillschweigende Gewährleistung aus. Auch eine Haftung in Verbindung mit dem Gebrauch dieser Informationen ist ausgeschlossen. Keine der in diesem Dokument enthaltenen Informationen oder Aussagen sind als Erteilung einer Lizenz an einem Patent oder als Empfehlung zur Verletzung eines Patents zu betrachten.