



**Anleitung zum sicheren  
Umgang mit Fluorkunststoffen**  
November 2012

# Danksagung

Diese Anleitung wurde von den Mitgliedern des Fluorpolymerkomitees innerhalb von PlasticsEurope erstellt. PlasticsEurope ist der europäische Verband der Kunststoffherzeuger. Er hat mehr als 100 Mitgliedsunternehmen, die über 90 Prozent der Kunststoffe in den 27 EU-Mitgliedsstaaten und Kroatien, Norwegen, der Schweiz und der Türkei erzeugen.

PlasticsEurope dankt der Fluoropolymer Division der USA Society of the Plastics Industry (SPI) für die Genehmigung zur Verwendung von Auszügen des "SPI Guide to the Safe Handling of Fluoropolymer Resins".

## **Gewährleistungsausschluss**

**Die in dieser Broschüre enthaltenen Informationen werden kostenlos abgegeben. Sie sind nach dem besten Wissen von PlasticsEurope korrekt.**

**Die Befolgung dieser Anleitung gibt keine Gewähr für die Einhaltung aller einschlägigen Vorschriften und führt nicht automatisch zu einem sicheren Betrieb von Verarbeitungsanlagen.**

**Nutzer dieser Broschüre müssen sich bewusst sein, dass sich Sachlagen, auf denen die Informationen dieses Dokuments basieren, ändern können.**

PlasticsEurope übernimmt keinerlei Haftung und akzeptiert keine Ansprüche Dritter in Bezug auf in dieser Broschüre dargestellte Informationen. Die Freiheit von Patenten, Urheberrechten und angemeldeten Gebrauchsmustern kann nicht vorausgesetzt werden.

Version 6

# Inhaltsverzeichnis

<b>Einleitung</b>	1
<b>Kapitel I: Typen und Eigenschaften von Fluorkunststoffen</b>	2
1 – Typen von Fluorkunststoffen	2
2 – Thermische Eigenschaften	3
<b>Kapitel II: Mögliche Wirkungen auf die Gesundheit</b>	5
1 – Allgemeine Toxikologie von Polymeren	5
2 – Gesundheitsgefahren bei der Verarbeitung unter Hitze und Toxizität von Zerfallsprodukten	5
3 – Spezifische Gefahren von Zubereitungen/Compounds, die Pigmente und Füllstoffe enthalten	7
<b>Kapitel III: Gefahren und Vorsichtsmaßnahmen bei der Verarbeitung</b>	8
1 – Sintern	8
2 – Thermoplastisches Verarbeiten	8
3 – Pastenextrusion	9
4 – Beschichten/Imprägnieren	9
5 – Zerspanen	9
6 – Schweißen	10
7 – Löten, Schweißen und Entschichten von Metallen	10
8 – Reinigung und Wartung von Verarbeitungsanlagen	10
9 – Verschütten	10
<b>Kapitel IV: Hygiene am Arbeitsplatz</b>	11
1 – Lüftung	11
2 – Persönliche Schutzausrüstung	11
3 – Persönliche Hygiene	12
<b>Kapitel V: Feuer- und Explosionsgefahren</b>	13
1 – Zündverhalten	13
2 – Toxizität von Brandgasen	13
3 – Löschmittel	13
4 – Brandbekämpfung	14
5 – Explosionsschutz	14
6 – Spezifische Gefahren von Fluorpolymeren in Verbindung mit pulverförmigen Materialien	14
<b>Kapitel VI: Umweltinformationen, Recycling und Entsorgung</b>	15
1 – Umweltinformationen	15
2 – Recycling und Entsorgung	15
3 – Recycling der Verpackung	16

<b>Kapitel VII: Lebensmittelkontakt</b>	17
<b>Kapitel VIII: Medizinische Anwendungen</b>	18
<b>Anhang A</b> : Adressen von Fluorpolymerherstellern in PlasticsEurope	19
<b>Anhang B</b> : Aktuelle Bewertung der Toxikologie des Monomers TFE – Auswirkungen auf die sichere Verwendung von Fluorpolymeren	20
<b>Anhang C</b> : Sicherer Umgang mit Fluorpolymerdispersionen	21
<b>Anhang D</b> : Inhalative Toxizität der Verbrennungsprodukte von PTFE und ähnlichen Fluorpolymeren	22
<b>Anhang E</b> : Adressen von Recyclingunternehmen	24

# Einleitung

Fluorkunststoffe werden weltweit von verschiedenen Herstellern produziert und verkauft. Sie werden in nahezu allen Gebieten der modernen Industrie, Technologie und Wissenschaft eingesetzt. In Anwendungen von der Energiegewinnung über die Emissionskontrolle bei Fahrzeugen und die Halbleiterherstellung bis zur Luftfahrtindustrie leisten Fluorpolymere aufgrund ihrer überlegenen Eigenschaften einen wertvollen Beitrag zur Sicherheit in Büros und Wohnungen, der Industrie und in Gemeinden.

Eine der wichtigsten der vielen charakteristischen Eigenschaften für Fluorkunststoffe ist die Wärmebeständigkeit. Während nur wenige Kunststoffe eine Dauergebrauchstemperatur über dem Siedepunkt von Wasser aufweisen, halten Fluorkunststoffe der Temperatur in Backöfen oder den Triebwerksgehäusen von Düsenflugzeugen stand. Die Kombination aus der Beständigkeit gegen Lösungsmittel, Brennstoffe und korrosiven Chemikalien, der Wärmebeständigkeit und den ausgezeichneten dielektrischen Eigenschaften macht die Fluorkunststoffe zu äußerst vielseitigen, technischen Werkstoffen. Diese einzigartigen Eigenschaften bieten Leistungsmerkmale, die z. B. zur Vermeidung eines Brandes, zum Schutz vor Korrosion, zum Schutz der Umwelt vor dem Austreten gefährlicher Stoffe, oder zur Vermeidung elektrischer Überlastung benötigt werden.

Aufgrund der allgemeinen Inertheit der Fluorkunststoffe sind sie in den europäischen Transportbestimmungen nicht als Gefahrgut und in der Richtlinie des Rates der EU (67/548/EWG und EG-Nr. 1272/2008 einschließlich späterer Ergänzungen in Bezug auf die Klassifizierung, Verpackung und Kennzeichnung von gefährlichen Substanzen) nicht als Gefahrstoffe eingestuft.

Wie bei allen natürlichen oder synthetischen Stoffen kann die Überhitzung oder Verbrennung dieser Kunststoffe zur Bildung giftiger Gase führen. Additive, die zusammen mit Fluorpolymeren benutzt werden, können spezifische Gefahren bergen.

**Diese Anleitung enthält Informationen zum sicheren Umgang bei der Verarbeitung und Verwendung der in Kapitel II genannten Produkte. Mischungen von Fluorpolymeren oder Fluorpolymerzubereitungen in Form von Mikropulvern oder Schmierpulvern können hier aufgrund der Unterschiede und Vielzahl der Formulierungen nicht im Einzelnen behandelt werden. Dazu enthält diese Anleitung einige generelle Bemerkungen.**

# Kapitel I

## Typen und Eigenschaften von Fluorkunststoffen

### 1 – Typen von Fluorkunststoffen

Die hauptsächlich in diesem Dokument behandelten Kunststofftypen sind nachfolgend aufgeführt. Einige Unternehmen bieten möglicherweise andere spezielle Fluorpolymere an, die in dieser Anleitung nicht berücksichtigt werden konnten. Für spezifische Informationen zum Umgang mit diesen Polymeren sollten Sie sich an den Hersteller wenden.

#### PTFE

PTFE ist ein Polymer ausschließlich aus Tetrafluorethylen-Monomereinheiten mit der Formel  $[\text{CF}_2\text{-CF}_2]_n$ . PTFE schmilzt nicht zu einer Flüssigkeit und kann nicht schmelzextrudiert werden. Beim Erwärmen auf  $330\text{ °C} \pm 15\text{ °C}$  bildet der virginale Kunststoff ein durchsichtiges, opalisierendes Gel. Nach dem Erhitzen ist der Gelpunkt (oft als Schmelzpunkt bezeichnet)  $10\text{ °C}$  niedriger als der des virginalen Kunststoffes. PTFE wird als körniges Pulver, koagulierte Dispersion, als feines Pulver oder als wässrige Dispersion verkauft. Alle Typen werden unterschiedlich verarbeitet.

#### FEP

Der Fluorkunststoff FEP ist ein Copolymer aus Tetrafluorethylen und Hexafluorpropylen mit der Formel  $[(\text{CF}(\text{CF}_3)\text{-CF}_2)_x(\text{CF}_2\text{-CF}_2)_y]_n$ . Er hat einen Schmelzbereich von  $245\text{ °C}$  bis  $280\text{ °C}$  und kann thermoplastisch verarbeitet werden. Er ist als transparente Pellets, Pulver oder als wässrige Dispersion lieferbar.

#### PFA

Der Fluorkunststoff PFA ist ein Copolymer aus Tetrafluorethylen und einem perfluorierten Vinylether mit der Formel  $[(\text{CF}(\text{OR}_f)\text{-CF}_2)_x(\text{CF}_2\text{-CF}_2)_y]_n$ , wobei  $\text{OR}_f$  für eine Perfluoralkoxy-Gruppe steht. PFA schmilzt ab

$280\text{ °C}$  und kann thermoplastisch verarbeitet werden. Einige Klassen sind chemisch stabilisiert. Es ist in Form von transparenten Pellets, Pulver oder als wässrige Dispersion lieferbar.

#### ETFE

ETFE ist ein Copolymer, das hauptsächlich aus Ethylen und Tetrafluorethylen besteht mit der Formel  $[(\text{CF}_2\text{-CF}_2)_x(\text{CH}_2\text{-CH}_2)_y]_n$  und wird oft mit einem geringen Prozentsatz weiterer Monomere modifiziert. Abhängig von der Molekularstruktur reicht der Schmelzbereich von  $210\text{ °C}$  bis  $270\text{ °C}$ . Es kann thermoplastisch verarbeitet werden und ist als Pellets, Pulver und als Dispersion lieferbar.

#### ECTFE

ECTFE ist ein Copolymer bestehend aus Ethylen und Chlortrifluorethylen, mit der Formel  $[(\text{CH}_2\text{-CH}_2)_x(\text{CFCl-CF}_2)_y]_n$  und wird oft mit einem geringen Prozentsatz eines dritten Monomers modifiziert. Abhängig von der Molekularstruktur reicht der Schmelzbereich von  $190\text{ °C}$  bis  $240\text{ °C}$ . Es ist als transparente Pellets und feines Pulver lieferbar.

#### PVDF

PVDF ist ein Homopolymer aus Vinylidenfluorid mit der Formel  $[\text{CH}_2\text{-CF}_2]_n$ , oder ein Copolymer aus Vinylidenfluorid und Hexafluorpropylen mit der Formel  $[(\text{CF}(\text{CF}_3)\text{-CF}_2)_x(\text{CH}_2\text{-CF}_2)_y]_n$ . PVDF-Homopolymere schmelzen von  $160\text{ °C}$  bis  $175\text{ °C}$ , Copolymere schmelzen von  $135\text{ °C}$  bis  $170\text{ °C}$ , können thermoplastisch verarbeitet und als Pulver, Pellets und Dispersionen geliefert werden.

#### THV

THV ist ein Terpolymer aus Tetrafluorethylen, Hexafluorpropylen und Vinylidenfluorid mit der Formel  $[(\text{CF}(\text{CF}_3)\text{-CF}_2)_x(\text{CF}_2\text{-CF}_2)_y(\text{CH}_2\text{-CF}_2)_z]_n$ . THV kann

thermoplastisch verarbeitet werden und hat in Abhängigkeit von der Zusammensetzung Schmelzpunkte zwischen 120 °C und 230 °C. Es ist in Form von Pellets, Agglomeraten oder wässrigen Dispersionen lieferbar.

Die Lieferanten der o. g. Stoffe und ihre Adressen sind in Anhang A aufgeführt. Es sind viele verschiedene Typen von Fluorkunststoffen lieferbar. Informationen zu spezifischen Produkten erhalten Sie bei den einzelnen Lieferanten.

## 2 – Thermische Eigenschaften

Obwohl Fluorpolymere zu den thermisch stabilsten Polymeren gehören, beginnen sie sich beim Erhitzen auf sehr hohe Temperaturen doch langsam zu zersetzen. Hier gibt es Widersprüche in der veröffentlichten Literatur hinsichtlich der exakten Temperatur, bei der die Zersetzung einsetzt. Zu einer bedeutsamen Zersetzung kommt es jedoch nur beim Überschreiten

der Dauergebrauchstemperatur des betreffenden Polymers. Die Menge der entstehenden Zersetzungsprodukte bleibt gering, solange die normale Verarbeitungstemperatur für das Polymer nicht überschritten wird. Die Raten der thermischen Zersetzung für verschiedene Fluorpolymere wurden mit Hilfe der Thermogravimetrie (TGA) bestimmt (APME, 2000). Die Proben wurden dazu in einem Strom trockener Luft von 30 ml/Minute erwärmt. Die Proben wurden mit einer Rate von 20 °C/Minute von Raumtemperatur auf Testtemperatur erhitzt, dann eine Stunde lang bei Testtemperatur gehalten. Der Gewichtsverlust während dieser Stunde wurde gemessen (isothermer Gewichtsverlust). Die Rate des Gewichtsverlusts wurde für jedes Polymer bei drei konstanten Temperaturen (vier bei PVDF) bestimmt. Die angewandten Testtemperaturen wurden auf das jeweilige Fluorpolymer angepasst und nach der zunehmenden thermischen Stabilität des Polymers aufgetragen. Die Ergebnisse sind in Abbildung 1 dargestellt.

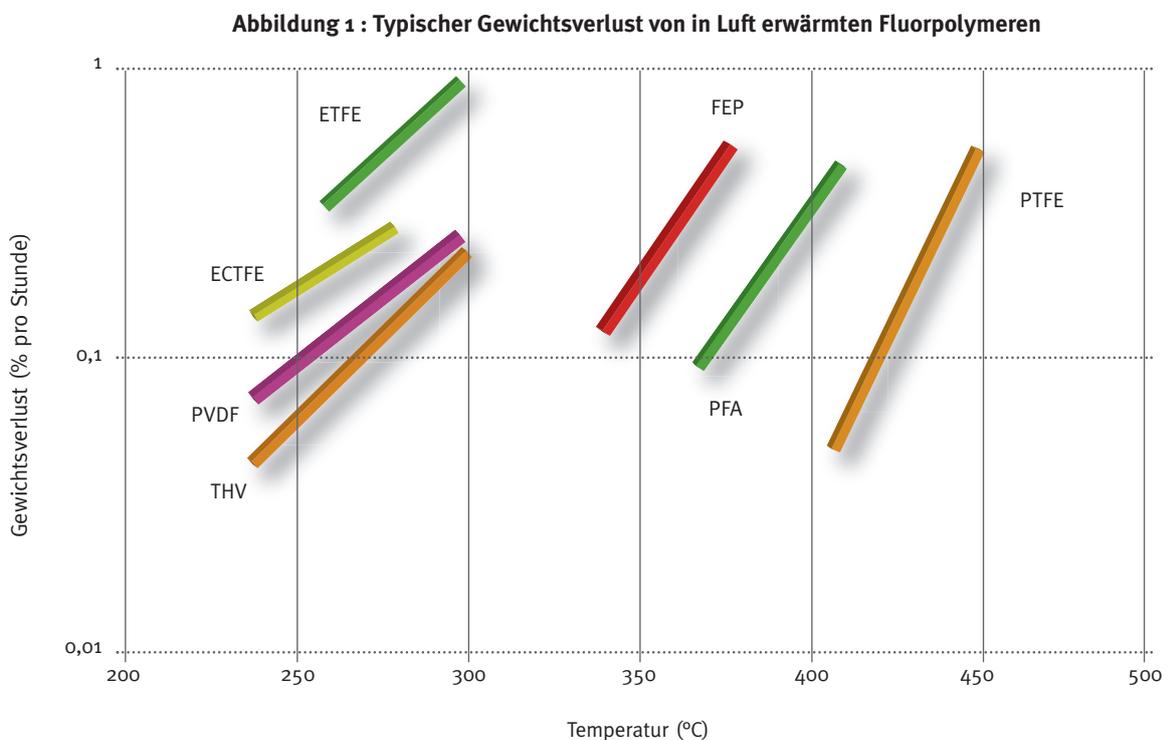


Tabelle 1 enthält typische Schmelzpunkte, Dauerbetriebstemperaturen und Verarbeitungstemperaturen für die verschiedenen Fluorpolymertypen. Unterschiedliche Produkte eines Polymertyps haben je nach den Eigenschaften wie z. B. Molekulargewicht unterschiedliche thermische Stabilitäten.

Die in Abbildung 1 angegebenen Daten geben einen Überblick auf die relativen thermischen Stabilitäten jedes Polymertyps. Für spezifische Informationen über ein bestimmtes Produkt sollten Sie sich an den Lieferanten des Polymers wenden.

**Tabelle 1 : Typische Schmelzpunkte, Dauerbetriebstemperaturen und Verarbeitungstemperaturen von Polymeren**

Polymer	Typischer Schmelzpunkt (°C)	Typische Dauergebrauchstemperatur (°C)	Typische Verarbeitungstemperatur (°C)
PTFE	340	260	380
PFA	265-310	225-260	360-380
FEP	250-270	205	360
ETFE	210-270	150	310
ECTFE	230	150	280
PVDF	160	140	230
THV	110-230	70-130	200-270

\* Bitte beachten Sie: Die angegebenen Verarbeitungstemperaturen sind Polymertemperaturen, sie stellen nicht die Temperaturen von Öfen und Geräten dar, die deutlich höher liegen können.

# Kapitel II

## Mögliche Wirkungen auf die Gesundheit

### 1 – Allgemeine Toxikologie von Polymeren

Fluorkunststoffe sind für ihre hohe chemische Stabilität und damit ihrer geringen Reaktivität bekannt. Sie zeigen, wenn überhaupt, nur eine geringe toxikologische Aktivität. In Studien über die Toxikologie von Fluorpolymeren wiesen die Ergebnisse auf keine signifikante Gefahr für den Menschen hin. Von keinem dieser Fluorpolymere ist bekannt, dass sie bei Menschen eine Hautreizung verursachen oder sensibilisierend wirken.

Nach einer übermäßigen Exposition durch Einatmen von Fluorpolymerstaub kam es zu einem Anstieg von Fluorid im Harn. Es wurden jedoch keine toxischen Wirkungen festgestellt.

Die Zubereitungen vieler Kunststoffe enthalten Additive, Füllstoffe, Pigmente oder Tenside, um die Verarbeitung zu erleichtern oder andere Eigenschaften zu verbessern. Diese Additive können eigene Gefahren bei der Verwendung dieser Kunststoffe bedingen. Für einige dieser Additive gibt es Vorschriften hinsichtlich der zulässigen Exposition. Spezifische Informationen zu den in den Produkten verwendeten Additiven auf die Gesundheit sind den Sicherheitsdatenblättern der jeweiligen Kunststofflieferanten zu entnehmen.

### 2 – Gesundheitsgefahren bei der Verarbeitung unter Hitze und Toxizität von Zerfallsprodukten

Bei Temperaturen, die bei der normalen Verarbeitung von Fluorpolymeren erreicht werden, kommt es zur Entwicklung von geringen Mengen an Dämpfen. Man muss davon ausgehen, dass diese Dämpfe eine mögliche Gefahr für die Gesundheit darstellen. Es ist von wesentlicher Bedeutung, dass für angemessene

Belüftung am Arbeitsplatz gesorgt wird, um eine Exposition am Arbeitsplatz zu vermeiden. (siehe Kapitel IV). Als mögliche Folge einer übermäßigen Exposition gegenüber Zersetzungsprodukten, die sich unter diesen Bedingungen aus Fluorpolymeren bilden, tritt das sogenannte "Polymerfieber" auf. Es handelt sich hierbei um eine vorübergehende, grippeähnliche Erkrankung mit Fieber, Schüttelfrost und manchmal Husten, die etwa 1 bis 2 Tage dauert. Es kann vorkommen, dass Symptome erst nach 24 h auftreten. Daher sollen Personen, die möglicherweise unter einem Polymerfieber leiden, sicherheitshalber einen Arzt aufsuchen. Diese Krankheit wird auch mit der Exposition von Zersetzungsprodukten in Verbindung gebracht, die beim Rauchen von Tabakerzeugnissen, wie z. B. Zigaretten entstehen, wenn sie mit Fluorkunststoff kontaminiert sind. Dabei reichen geringste Spuren auf den Tabakwaren aus, um das "Polymerfieber" zu erzeugen. Es ist daher unerlässlich, dass in Arbeitsbereichen, in denen mit Fluorkunststoffen umgegangen wird, nicht nur das Rauchen, sondern bereits die Mitnahme von Tabakwaren verboten wird, um jegliche Kontaminierung der Tabakwaren zu vermeiden.

Die vier Haupttypen der bei der Zersetzung von Fluorpolymeren gebildeten Stoffe sind Fluoralkene, Fluorwasserstoff, Oxidationsprodukte und Fluorpolymerpartikel mit geringem Molekulargewicht. Für PTFE gibt es in der veröffentlichten Literatur neue Studien, die aus den oben dargestellten Gründen unterschiedliche Ergebnisse zeigen. Mehrheitlich wird jedoch angegeben, dass beim Gelpunkt des Polymers (330 °C) hauptsächlich Tetrafluorethylen als gasförmiges Zersetzungsprodukt entsteht. Bei einem Anstieg der Temperaturen auf rund 450 °C entstehen in Gegenwart von Luft Carbonylfluorid und Fluorwasserstoff als Hauptprodukte. Ferner kann sich etwas Kohlenmonoxid bilden. Carbonylfluorid hydrolysiert in Gegenwart von feuchter Luft schnell zu Fluorwasserstoff und

Kohlendioxid. Bei diesen Temperaturen können auch geringe Mengen von Hexafluorpropylen festgestellt werden. Bei Temperaturen über 475 °C wird in geringen Mengen sehr giftiges Perfluorisobutylen (PFIB) beobachtet. Bei Temperaturen ab 800 °C beginnt sich Tetrafluormethan zu bilden.

Andere Fluorpolymere zeigen ein ähnliches Zersetzungsmuster. Die Art und Menge der entstehenden Zersetzungsprodukte, sowie die Zersetzungstemperaturen, hängen wesentlich vom Typ und der Menge des eingebauten Co-Monomers ab.

Neuere Studien geben Hinweise, dass für einige Fluorpolymere (wie z. B. FEP) die Bildung von PFIB bereits bei 360 °C einsetzt.

Von den wichtigsten Zersetzungsprodukten gehen folgende Gefahren für die Gesundheit aus:

**Fluorwasserstoff:** Die Geruchsschwelle für Fluorwasserstoff ist erheblich niedriger als die Grenzwerte für die Exposition am Arbeitsplatz von 1,8 ppm (Arbeitsplatzgrenzwert gemäß EC 2000/39). Die Inhalation von Fluorwasserstoff führt in höheren Konzentrationen zu Symptomen wie Ersticken, Husten und schwerer Augen-, Nasen- und Halsreizung. In schweren Fällen, möglicherweise nach einiger Zeit ohne Symptome, kann es zu Fieber, Schüttelfrost, Atembeschwerden, Cyanose und Lungenödemen kommen, die zum Tod führen können. Eine akute Überexposition mit Fluorwasserstoff kann zur Schädigung der Leber und Nieren führen.

**Carbonylfluorid:** Zu den möglichen Wirkungen nach Inhalation, Verschlucken, Augen- oder Hautkontakt mit Carbonylfluorid zählen: Hautreizung mit Unbehagen oder Rötung, Augenverätzung mit Bildung von Hornhaut- oder Bindehautgeschwüren, Reizung der oberen Atemwege oder vorübergehende Lungenreizung mit Husten, Unwohlsein, Atembeschwerden oder Kurzatmigkeit. Das Einsetzen der respiratorischen Symptome kann sich um mehrere Stunden verzögern. In einigen europäischen Ländern gilt ein 8-Stunden-Arbeitsplatzgrenzwert von 2 ppm.

**Kohlenmonoxid:** Ein geruchloses Gas, das die Sauerstoffaufnahme-fähigkeit des Blutes reduziert und zu einer verringerten Leistungsfähigkeit, zu einer stär-

keren Belastung des Herzens und bei schwerwiegender Exposition zur Bewusstlosigkeit und zum Tod führt.

**PFIB (Perfluorisobutylen):** PFIB ist bei akuter Inhalation sehr giftig und die Exposition von mehr als 1 ppm kann tödlich sein. Die amerikanische ACGIH hat deshalb einen Spitzengrenzwert von 0,01 ppm festgelegt.

**TFE (Tetrafluorethylen):** Tetrafluorethylen ist ein farbloses, geruchsloses und brennbares Gas, das sich sehr schlecht in Wasser löst. Tetrafluorethylen hat eine sehr geringe akute Toxizität, verursacht keine Herzrhythmusstörungen und zeigt weder in vitro noch in vivo ein gentoxisches Potential. TFE hat sich in Tierversuchen als kanzerogen erwiesen und wurde deshalb gemäß REACH (EC 1907-2006) von der Chemieindustrie als kanzerogen Kategorie 2 (GHS Cat-1b) eingestuft. Derzeit läuft eine epidemiologische Multizentrum-Studie, um die Krebshäufigkeit in Menschen statistisch zu erfassen. Die US ACGIH hat für TFE einen 8-Stunden-Grenzwert von 2 ppm festgelegt. Die daraus resultierenden Folgen für eine sichere Verwendung von Fluorpolymeren werden in Anhang B dargestellt.

**HFP (Hexafluorpropylen):** Hexafluorpropylen ist ein farbloses geruchloses Gas, das sich sehr schlecht in Wasser löst. Hexafluorpropylen zeigt bei einer akuten Exposition nur geringe Toxizität. HFP wurde als nicht gentoxisch eingestuft. Bei Exposition über einen längeren Zeitraum kann es die Nieren schädigen. Die US ACGIH hat für HFP einen 8-Stunden-Grenzwert von 0,1 ppm festgelegt.

### 3 – Spezifische Gefahren von Zubereitungen/Compounds, die Pigmente und Füllstoffe enthalten

Fluorpolymerzubereitungen, die Füllstoffe oder Pigmente enthalten, sind weit verbreitet. Für den Umgang mit ihnen gelten die üblichen Vorsichtsmaßnahmen wie für Fluorpolymere. Die Benutzer müssen jedoch zusätzliche Gefahren berücksichtigen, die sich aus den Füllstoffen oder Pigmenten ergeben. Obwohl viele der

gewöhnlich verwendeten Füllstoffe und Pigmente eine geringe Toxizität aufweisen, sind einige abrasiv und können beim Kontakt mit der Haut Reizungen verursachen. Es wird empfohlen, Hautkontakt, Inhalation oder das Verschlucken von Staub aus Fluorpolymerzubereitungen, die Füllstoffe oder Pigmente enthalten, zu vermeiden. Weitere Angaben finden Sie im Kapitel über Schutz vor Feuer und Explosionen und spezifische Gefahren durch Polymerstäube (Kapitel V). Spezifische Sicherheits-

empfehlungen zur Verwendung von Fluorpolymerzubereitungen, die Füllstoffe und/oder Pigmente enthalten, erhalten Sie von Ihrem Lieferanten. Bevor Sie Pigmente, Füllstoffe oder andere Materialien mit Fluorpolymeren mischen, sind Gesundheits- und Sicherheitsinformationen von den Lieferanten der hinzugefügten Stoffe einzuholen und die Verträglichkeit mit dem Fluorpolymer zu überprüfen.

# Kapitel III

## Gefahren und Vorsichtsmaßnahmen bei der Verarbeitung

### 1 – Sintern

Beim Sintern ist die Benutzung von Hochtemperaturöfen erforderlich. Da sich unterschiedliche Mengen von Zersetzungsprodukten bilden, müssen die Öfen mit einer Zwangsentlüftung mit ausreichendem Luftdurchsatz versehen sein, um zu verhindern, dass Gase, die sich gebildet haben, während des Betriebs des Ofens und bei geöffneter Tür an den Arbeitsplatz gelangen. Die Öfen sind regelmäßig zu warten und insbesondere muss das Austreten der im Ofen gebildeten Gase in den Arbeitsbereich verhindert werden. Temperaturen, die die empfohlenen Sintertemperaturen überschreiten, sind zu vermeiden. Zu diesem Zweck sollten die Öfen neben dem normalen Kontrollsystem mit einer unabhängigen Sicherheits-temperaturabschaltung versehen sein, die auslöst, wenn die gewünschte Sintertemperatur um mehr als 5 % überschritten wird. Beide Systeme müssen in regelmäßigen Abständen kalibriert werden. Es ist wichtig, dass die Heizung automatisch ausschaltet, wenn die Zwangsentlüftung ausfällt. Wurde der Ofen über die Sicherheitsabschalttemperatur erhitzt, müssen vor dem Öffnen der Tür die Heizungen ausgeschaltet, der Ofen auf Raumtemperatur abgekühlt und ordnungsgemäß belüftet werden. Zubereitungen, die Füllstoffe enthalten, sind möglicherweise zersetzungsanfälliger als reines PTFE und erfordern ggf. niedrigere Sintertemperaturen und Abschaltungen. Zum Öffnen eines Sinterofens nach einem Überhitzen, ist eine angemessene Schutzausrüstung des Personals erforderlich, z. B. Schutzkleidung, umluftunabhängiger Atemschutz, Wärmeisolierhandschuhe, Schutzbrille etc.

### 2 – Thermoplastisches Verarbeiten

Die thermoplastische Verarbeitung von Fluorkunststoffen kann bei übermäßig hohen Temperaturen oder bei langem Halten der Kunststoffe bei Verarbeitungstemperatur zur Zersetzung führen. Bei dieser Zersetzung können Gase entstehen und Drücke in den Verarbeitungsanlagen gebildet werden, die hoch genug sind, um rückwärts durch die Einfüllöffnung aus der Maschine zu entweichen. Wenn für diese Gase, wie z. B. beim Formpressen, keine Druckentlastungseinrichtung vorhanden ist, können Drücke entstehen, die Metallteile zerbersten lassen und Personal in der Nähe der Verarbeitungsanlagen gefährden. Aus diesem Grund wird davon abgeraten, sich direkt vor einem Extruder aufzuhalten.

Das Abgas der Vakuumpumpe, die zur Entgasung in der Schmelzzone angewandt wird, kann Zersetzungsprodukte des Fluorpolymeren enthalten und sollte deshalb nach außen abgeleitet werden.

Da Fluorpolymerschmelzen bei höheren Temperaturen korrosiv wirken, müssen die verwendeten Werkzeuge und Maschinen korrosionsbeständig ausgerüstet sein. Informationen zu spezifischen Ausrüstungen erhalten Sie von Ihrem Lieferanten.

Wenn eine Fluorkunststoffschmelze dunkel zu werden beginnt, ist dies ein Zeichen dafür, dass die thermische Zersetzung eingesetzt hat. In diesem Falle sollten die Verarbeitungstemperaturen gesenkt und der Fluorkunststoff aus der Anlage entfernt werden. Fluorkunststoffe sind in Anlagen zu verarbeiten, die über eine genaue, reproduzierbare Temperaturregelung verfügen. Temperaturschwankungen sollten weniger als +/- 5 °C betragen.

### 3 – Pastenextrusion

Die Verarbeitung von koaguliertem PTFE (Pasten-PTFE) erfolgt durch eine spezielle Extrusion, die gemeinhin als Pastenextrusion bezeichnet wird. Dabei wird das Polymer mit einem Gleitmittel, gewöhnlich einer flüchtigen Benzinfraktion, gemischt. Die Verwendung von brennbaren und entzündlichen Flüssigkeiten mit einem relativ niedrigen Flammpunkt stellt eine erhebliche Feuer- und Explosionsgefahr dar. Zur Vermeidung von Funkenquellen müssen elektrisch leitfähige Behälter verwendet und alle Geräte geerdet werden. Darüber hinaus können Lösungsmittel bei Inhalation oder Hautkontakt eine Gefahr für die Gesundheit darstellen. Deshalb sind entsprechende Vorsichtsmaßnahmen für die sichere Verwendung, Lagerung und Handhabung von Fluorkunststoffen zu treffen, die Gleitmittel auf Lösungsmittelbasis enthalten. Beachten Sie die Empfehlungen der Gleitmittelhersteller.

Die Entfernung des Gleitmittels nach dem Extrudieren kann in einem separaten Trockenschrank, oder in einem mit dem Extruder verbundenen kontinuierlich arbeitenden Ofen erfolgen. Dabei sind geeignete Vorsichtsmaßnahmen zu treffen, um die Bildung von explosionsfähigen Luft-Gleitmittelmischungen zu vermeiden. Darüber hinaus sind mögliche Zündquellen auszuschließen. Bei einer kontinuierlichen Extrusion folgt auf den Trocknungsofen unmittelbar ein Hochtemperatur-Sinterofen, wobei die Gefahr besteht, dass eine zündfähige Atmosphäre in den Sinterbereich gelangt, wo mit Sicherheit eine Zündung erfolgen würde. Daher ist es unerlässlich, dass Feuerlöscheinrichtungen zur Verfügung stehen. Bei kleinen Bränden sind tragbare Kohlendioxidlöcher gewöhnlich ausreichend.

Besteht die Gefahr eines größeren Brandes, wird die Installation einer stationären Löschanlage empfohlen, die den ganzen Ofen schnell mit Kohlendioxid füllen kann. Für die Belüftung der Trocken- und Sinteröfen gelten die gleichen Sicherheitsmaßnahmen, wie sie oben für den Betrieb der Sinteröfen am Arbeitsplatz beschrieben wurden.

### 4 – Beschichten/Imprägnieren

Die Verarbeitung von wässrigen Fluorpolymerdispersionen erfordert normalerweise einen Trocknungsprozess, um vor dem Sintern des Fluorpolymers Wasser und Emulgator zu entfernen. Manche Emulgatoren oder ihre Zersetzungsprodukte sind entzündlich und können eine spezifische Reizwirkung oder andere gesundheitsschädliche Wirkungen haben. Der Ofen muss daher mit einer Zwangsentlüftung ausgestattet sein, um eine gefährliche Anreicherung dieser Gase oder Dämpfe zu verhindern. Darüber hinaus kann es zu einer erheblichen Ablagerung von Zersetzungsprodukten in den Öfen kommen. Beim Entfernen dieser Ablagerungen ist eine Schutzausrüstung zu verwenden. Spezifische Informationen erhalten Sie bei dem Lieferanten Ihrer Dispersion. Manche Beschichtungssysteme enthalten neben den Fluorkunststoffen organische Lösungsmittel. Diese Lösungsmittel sind möglicherweise brennbare oder entzündliche Flüssigkeiten mit relativ niedrigem Flammpunkt und stellen daher eine mögliche Feuer- und Explosionsgefahr dar. Darüber hinaus bergen diese Lösungsmittel bei Inhalation oder Hautkontakt oft Gefahren für die Gesundheit. Daher sind entsprechende Vorsichtsmaßnahmen für die sichere Verwendung, Lagerung und Handhabung von solchen Fluorkunststoffzubereitungen zu treffen. Beachten Sie hierzu die Empfehlungen des Lieferanten. Zur Herstellung von Fluorpolymerdispersionen werden fluoridierte Tenside eingesetzt. In den meisten Produkten ist deren Konzentration auf Spuren reduziert worden. Spezifische Informationen zu den am häufigsten eingesetzten Fluorpolymerhilfsmitteln enthält Anhang C.

### 5 – Zerspanen

Schleifen, Sägen, Zerspanen von aus Fluorpolymeren hergestellten Formen sind Routinearbeiten bei den Herstellern. Alle üblichen Techniken zur Hochgeschwindigkeitszerspannung können angewandt

werden, wenn die Werkzeuge scharfe Schneidkanten haben. Kühlmittel werden empfohlen, um die Produktionsraten und Qualität zu verbessern. Daneben dienen sie zur Vermeidung des Überhitzens und machen eine gezielte Belüftung überflüssig. Für den beim Zerspanen erzeugten Staub gelten in der Regel die allgemeinen Staubgrenzwerte. In Deutschland gelten aktuell (DFG 2002) die Grenzwerte  $4 \text{ mg/m}^3$  für den einatembaren Anteil des Staubes und  $1,5 \text{ mg/m}^3$  für den alveolengängigen Staubanteil. Beim Zerspanen von Produkten, die aus Fluorkunststoffen hergestellt werden, die Füllstoffe, Pigmente oder andere Additive enthalten, kann durch diese gefährlicher Staub erzeugt werden. Informationen zu den Additiven entnehmen Sie den Sicherheitsdatenblättern des Lieferanten des Additivs.

## 6 – Schweißen

Besondere Vorsichtsmaßnahmen sind erforderlich, wenn Fluorpolymerteile miteinander verschweißt werden. Bei diesem Prozess werden signifikante Mengen Fluorwasserstoff gebildet. Vollständiger Haut- und Augenschutz sowie entsprechender Atemschutz, wie die Verwendung von umluftunabhängigen Atemgeräten, ist erforderlich.

## 7 – Löten, Schweißen und Entschichten von Metallen

Elektrische Isolierungen stellen eine der wichtigsten Anwendungen von Fluorpolymeren dar. In vielen Fällen gehören das Löten oder die Verwendung eines Heizelements zum Entfernen der Isolierung oder Beschichtung von einem Metallsubstrat zu den Routinearbeiten. Die Kombination aus Temperatur, Polymerdicke, Dauer der Exposition und Lüftungsbedingungen bestimmen zusammen die Arbeitsbedingungen und die Sicherheit der Arbeiter. Die Verwendung von lokalen Rauchabzugshauben, wie im Abschnitt über Entlüftung beschrieben, wird dringend empfohlen.

Durch direkten Kontakt mit Schweißbögen und Schweißbrennern mit Temperaturen von mehr als  $400 \text{ °C}$  kann die Brauchbarkeit von aus Fluorpolymeren hergestellten Teilen rasch zunichte gemacht werden. Bei einer solchen Behandlung können giftige Dämpfe freigesetzt werden und es wird empfohlen, vor der Behandlung eines Werkstückes alle fluorpolymerhaltigen Materialien zu entfernen. Wo dies nicht möglich ist, wie beim Schweißen oder Schneiden von beschichteten Teilen, ist für eine ausreichende Entlüftung zu sorgen, um die Exposition gegenüber Dämpfen zu verhindern. Es ist Schutzausrüstung zu tragen.

## 8 – Reinigung und Wartung von Verarbeitungsanlagen

Reinigungs- und Wartungsarbeiten an Anlagenteilen (Stempel, Siebpackungen, Schnecken etc.) können u. a. durch Pyrolyse von anhaftenden Polymeren erfolgen. Vor dem Abbrennen sollte soviel Polymer wie möglich mechanisch entfernt werden (z. B. Messingbürste). Es sind geeignete Objektabsaugungen zu installieren, die entstehende Gase und Rauche vollständig erfassen. Zusätzliche Informationen zur Entlüftung sind in Kapitel IV enthalten. Reaktoren und Öfen stellen geschlossene Räume dar, für die besondere Vorkehrungen getroffen werden müssen, bevor sie zur Reinigung betreten werden.

## 9 – Verschütten

Rutschige Oberflächen in Verkehrs- und Arbeitsbereichen bedeuten ein erhöhtes Unfallrisiko. Werden Fluorpolymere verschüttet, sollten diese sofort entfernt werden und es sind Maßnahmen zu ergreifen, um zu verhindern, dass der Boden rutschig bleibt. Für Bereiche, in denen regelmäßig mit Fluorkunststoffen umgegangen wird, wird ein rutschhemmender Bodenbelag auf Boden und Stufen empfohlen.

# Kapitel IV

## Hygiene am Arbeitsplatz

### 1 – Lüftung

Wie bei den meisten Polymeren können geringste Mengen von Restmonomeren auch bei niedrigen Temperaturen aus den Polymeren freigesetzt werden. Im Sinne einer guten Hygiene sollten deshalb am Arbeitsplatz Behälter mit Fluorkunststoffen nur in gut belüfteten Bereichen geöffnet und benutzt werden. Beim Öffnen und Schließen von Behältern sollte die Exposition auf ein Minimum reduziert werden. Bei Heißverarbeitungstätigkeiten, wie z. B. Trocknen, Extrudieren oder Sintern, bei denen Dämpfe freigesetzt werden können, ist eine Entlüftung erforderlich. Darüber hinaus kann es bei "kalten" Tätigkeiten wie Spritzlackieren, Mischen und Fräsen oder Zerspanen erforderlich sein, Aerosole, Nebel oder Staub zu entfernen.

Um eine optimale Entlüftung zu erhalten, sind die Prozessbedingungen und örtlichen Gegebenheiten angemessen zu berücksichtigen. Für Spritzkabinen, Laborabzüge oder ähnliches werden in der Regel fertige Systeme angeboten, wobei darauf zu achten ist, dass diese den einschlägigen Normen entsprechen. Wo die Nutzung fertiger Systeme nicht möglich ist, sind speziell für den betreffenden Prozess geeignete Entlüftungseinrichtungen zu konstruieren. In jedem Fall sollten die Entlüftungssysteme von kompetenten Lüftungsspezialisten konstruiert oder geliefert werden. Für die Konstruktion der Abzugshauben, der Lüftungsschächte und der Gebläse muss die Art der Emission bekannt sein. Umgebungseinflüsse und Prozessbedingungen können die Emission beeinflussen oder eine sekundäre Emission verursachen. Die erforderliche Absauggeschwindigkeit an der Entstehungsstelle muss für eine sichere Absaugung spezifiziert werden. Dies hängt von der Entstehungsrate der Emission und Luftströmungen

ab. Ein geeignetes Design (z. B. Schlitz, Randentlüftung, Ringabsaugung, Kabinen und Schränke) ist für eine wirksame Absaugung der Abgase wichtig. Bei der Auslegung sollten alle relevanten Eigenschaften des Abgases berücksichtigt werden. Die wirksamsten Hauben sind solche, die die Emission einschließen. Je offener das System ist, desto mehr Luft wird benötigt.

Um eine ausreichende Absaugung zu gewährleisten, ist der erforderliche Volumenstrom am Entstehungspunkt der Schadstoffe zu ermitteln. Dieser Wert kann aus einschlägigen Tabellen ermittelt werden.

Luftschächte, Gebläse und Abluftreinigungsanlagen können dann korrekt ausgelegt werden. Weitere Anregungen zur Konstruktion und Informationen erhalten Sie bei Ihrem Lieferanten.

Wie in vorangehenden Kapiteln dieser Broschüre beschrieben, können sich bei der Verarbeitung von Fluorpolymeren giftige Gase oder Dämpfe bilden. Verarbeitern wird deshalb empfohlen, Produkte vor der weiteren Verwendung ausgasen zu lassen.

### 2 – Persönliche Schutzausrüstung

Die Verarbeitung von Fluorpolymeren erfolgt bei Temperaturen, die schwere Verbrennungen verursachen können. Es werden daher angemessene Schutzmaßnahmen, wie Schutzbrille, Handschuhe und Armschutz (lange Schutzhandschuhe) empfohlen. Schmuck sollte nicht getragen werden.

Wenn sich beim Umgang mit Fluorkunststoffpulvern oder beim Bearbeiten Staub nicht vermeiden lässt, sind Atemgeräte oder Schutzmasken zu tragen. Detaillierte Informationen sind dem Sicherheitsdatenblatt Ihres Lieferanten zu entnehmen. Beim Verarbeiten und Handhaben von Compounds können neben Staubmasken Augenschutz und Schutzhandschuhe erforderlich sein.

Fluorpolymerdispersionen enthalten Netzmittel, die nicht mit der Haut in Berührung kommen sollten. Daher müssen beim Umgang mit diesen Produkten Schutzhandschuhe und andere Schutzkleidung getragen werden. Das Aufsprühen von Beschichtungen ist in geeigneten Spritzkabinen vorzunehmen. Abhängig von der Wirksamkeit der Schutzeinrichtungen müssen die Bediener möglicherweise Schutzbrille, Atemgeräte und Handschuhe tragen. Es wird empfohlen, die Spritzkabine mit einem Wasserbad auszustatten, um den Sprühnebel aufzufangen. Für Anweisungen zur Entsorgung siehe Kapitel VI.

### 3 – Persönliche Hygiene

Es ist wichtig, dass bei regelmäßigen Schulungen des Personals betont wird, dass in Arbeitsbereichen keine Tabakerzeugnisse mitgeführt oder geraucht werden dürfen. Das Rauchen von Tabak, der mit nur geringsten Mengen von Fluorkunststoffen kontaminiert ist, kann durch eine Inhalation der Zersetzungsprodukte zum “Polymerfieber” führen. Siehe dazu “Gesundheitsgefahren bei der Heißverarbeitung” in Kapitel II. Um zu verhindern, dass Spuren von Fluorkunststoffpulvern an der Kleidung aus dem Arbeitsbereich verschleppt werden, wird empfohlen, dass das Personal seine Arbeitskleidung von seiner normalen Kleidung getrennt aufbewahrt (Doppelspinde oder separate Umkleieräume). Dem Personal sollten angemessene Waschgelegenheiten zur Verfügung stehen und es sollte aufgefordert werden, diese regelmäßig zu benutzen. Zusätzliche Informationen zum sicheren Umgang mit Dispersionen finden Sie im Anhang C.

# Kapitel V

## Feuer- und Explosionsgefahren

### 1 – Zündverhalten

Die Selbstentzündungstemperaturen (SIT) von festen PTFE-Produkten gemessen nach ASTM D 1929, liegen im Bereich von 500 °C bis 560 °C. Damit liegen sie weit über jenen für Materialien, die beim Entfernen der Zündquelle weiter brennen, wie etwa von zellulosehaltigen Stoffen, wie Holz, Papier, Karton, etc. Deren SIT beträgt 240 °C bis 245 °C.

Alle Brand- und Zündversuche zeigen, dass Fluorpolymere zu den Kunststoffen gehören, die am schwierigsten in Brand gesetzt werden können. Wenn die Oberfläche dieser Polymere jedoch von einer Flamme berührt wird, entzünden sie sich aufgrund der Bildung von gasförmigen Zersetzungsprodukten. Wenn die Flamme wieder weggenommen wird, erlischt das Feuer. Beim Verbrennen von Fluorpolymeren entsteht wenig oder kein Rauch. Generell sollte Brandrauch nicht eingeatmet werden, dies gilt auch für Brände an denen Fluorpolymere beteiligt sind.

Die außergewöhnlich geringe Entzündlichkeit der vollfluorierten Polymere wird auch durch ihren hohen Sauerstoffindex (LOI) angezeigt, gemessen nach ASTM D 2863. Der Sauerstoffindex gibt die Mindestsauerstoffkonzentration einer Mischung aus Sauerstoff und Stickstoff an, bei der das Brennen eines Stoffes mit sichtbarer Flamme gerade noch unterstützt wird.

Der LOI für vollfluorierte Polymere wie PTFE, PFA und FEP liegt über 95 %. Bei Polymeren, die nicht vollfluoriert sind, liegt der LOI in Abhängigkeit von der Art des Polymeren zwischen 30 % und 60 %.

Dies liegt in derselben Größenordnung wie der Wert von rund 20 % für Zelluloseprodukte. PTFE bildet unter normalen Verarbeitungsbedingungen keine entzündbaren Staubwolken und fällt wie andere Fluorpolymere unter die Staubexplosionsklasse STO.

### 2 – Toxizität von Brandgasen

In der Regel haben Fluorpolymere nur einen geringen Anteil an den von einem Feuer betroffenen Materialien. Sie haben im Vergleich zu fast allen anderen organischen Stoffen eine sehr hohe Zündtemperatur und können nur schwer eine Flamme unterhalten. Das bedeutet, dass es unwahrscheinlich ist, dass Fluorpolymere allein brennen. Um die möglichen gesundheitlichen Gefahren bei einer Exposition mit Verbrennungsprodukten zu bewerten, ist es wichtig, dass die Eigenschaften aller bei einem Feuer beteiligten Stoffe berücksichtigt werden

Wenn an einem Feuer Fluorpolymere beteiligt sind, sind in den erzeugten, gefährlichen Gasen und Dämpfen Fluorwasserstoff, Carbonylfluorid, Kohlenmonoxid, Fluorpolymere mit geringem Molekulargewicht und Rauche enthalten. Die Toxikologie der Verbrennungsprodukte wurde ausführlich untersucht und dabei wurde gezeigt, dass die Brandgase unter bestimmten Laborbedingungen extrem giftig sein können. Eine detaillierte Bewertung der Toxikologie der Verbrennungsprodukte von Fluorpolymeren ist in Anhang D enthalten. In einer echten Brandsituation ist es nicht wahrscheinlich, dass vorhandene Fluorpolymere durch die Bildung spezifischer thermischer Zersetzungsprodukte (z. B. Fluorwasserstoff) die Toxizität der vorhandenen Brandgase erhöhen, oder gar die Toxizität durch Bildung extrem giftiger Zersetzungsprodukte dominieren würden.

### 3 – Löschmittel

Zur Bekämpfung von Feuern, an denen Fluorpolymere beteiligt sind, sind alle Löschmittel wie Wasser, Kohlendioxid, Trockenpulver oder Schaum geeignet.

Das Löschmittel sollte nach den umgebenden Materialien, den Ort des Brandes und dem Stadium der Entwicklung des Brandes ausgewählt werden. Bei voll entwickelten Bränden ist Wasser das bevorzugte Löschmittel.

## 4 – Brandbekämpfung

Fluorpolymere sind schwer entzündlich, unterhalten selbst keine Flamme und tragen daher nicht zum Beginn oder zur Ausbreitung eines Brandes bei. Wenn sie allerdings bei einem Brand beteiligt sind, können sie sich zersetzen und somit zur Toxizität der sich bildenden Brandgase beitragen. Mehr Informationen sind in Kapitel II und Anhang D enthalten. Deshalb ist es wichtig für Fabriken, in denen Fluorpolymere verarbeitet werden, die üblichen Vorsichtsmaßnahmen zur Reduzierung des Risikos von Industriebränden zu treffen. Weil die Möglichkeit, dass ein Brand entsteht und sich ausbreitet, nie vollkommen ausgeschlossen werden kann, sollten die zuständigen örtlichen Behörden über die chemische Natur der Brandgase informiert werden. Bei einem Feuer sollte die Feuerwehr vor dem Vorhandensein von toxischen und korrosiven Gasen gewarnt werden. Beim Löschen eines Brandes und/oder Aufräumarbeiten in Gegenwart von Brandgasen sind immer umluftunabhängige Atemgeräte zu tragen. Zudem sind geeignete Maßnahmen zu ergreifen, um die Exposition von unbeteiligten Personen zu verhindern. Wenn Personen exponiert waren, kann eine Behandlung wegen Inhalation von Fluorwasserstoff oder anderer Zersetzungsprodukte oder wegen Hautkontakt mit Fluorwasserstoff erforderlich werden. Feuerwehrmitarbeiter und deren Ausrüstung müssen nach einem Löscheinsatz, bei dem Fluorpolymere beteiligt sind, gründlich dekontaminiert werden.

## 5 – Explosionsschutz

Bei der Pastenextrusion werden in der Regel brennbare Gleitmittel verwendet. Daher ist die Gefahr von Feuer oder Explosion durch die Bildung von entzündlichen Dampf-Luft-Mischungen zu berücksichtigen. Analog sind bei pulverförmigen PTFE-Zubereitungen, die Kohlenstoff und Metallpulver enthalten, Maßnahmen zur Verhinderung der Entstehung statischer Aufladung zu ergreifen, wenn bei Tätigkeiten wie beim Mischen die Möglichkeit besteht, dass sich durch die Zuschlagstoffe entzündliche Staub-Luft-Gemische bilden.

## 6 – Spezifische Gefahren von Fluorpolymeren in Verbindung mit pulverförmigen Materialien

Fein verteilte Fluorkunststoffe können in Gegenwart von feinen Metallpartikeln extrem brennbar werden. Zum Beispiel kann Metallpulver (z. B. Bronze, Aluminium), welches mit PTFE-Pulver vermischt wird, bei hohen Temperaturen (über etwa 370 °C) heftig reagieren und entflammen oder explodieren. Selbst bei Sintertemperaturen können exotherme Reaktionen auftreten und Brände verursachen. Exotherme Reaktionen können bei oder unter Sintertemperatur zu Bränden führen.

Andere Fluorpolymere können bei höheren oder niedrigeren Temperaturen als PTFE reagieren. Darüber hinaus können andere Stoffe, wie z. B. Kieselsäure, Siliziumkarbid, Titandioxid, Metallverbindungen und Glasfasern oder Glasperlen die Reaktion beschleunigen oder auslösen. Spezifische Informationen erhalten Sie von Ihrem Lieferanten.

# Kapitel VI

## Umweltinformationen, Recycling und Entsorgung

### 1 – Umweltinformationen

Weder Fluorpolymere selbst noch ihre Zersetzungsprodukte stellen eine Gefahr für die Ozonschicht dar und unterliegen folglich keiner restriktiven Vorschrift im Sinne des Protokolls von Montreal, der US Clean Act Amendments (1993) und deren Bestimmungen für die Kennzeichnung. Sie unterliegen auch nicht entsprechenden vorgeschlagenen, gesetzlichen Maßnahmen innerhalb der Europäischen Union. Difluorchlormethan (HCFC<sub>22</sub>) dient als Rohstoff für die Herstellung von TFE, aus dem die meisten Fluorpolymere hergestellt werden. Diese Substanz hat ein ozonabbauendes Potential von weniger als 1/20 des Standards, Trifluorchlormethan (CFC<sub>11</sub>). Das Protokoll von Montreal und das nachgeordnete Regelwerk zur Kontrolle von ozonabbauenden Substanzen, erkennen an, dass Substanzen, die als chemische Ausgangsstoffe eingesetzt werden, im Laufe des Prozesses umgesetzt werden und somit nicht in die Umwelt gelangen. So genutzt ist deren ozonabbauendes Potential gleich Null. Aus diesem Grund werden diese Substanzen durch das Protokoll ausdrücklich von den Vorschriften ausgenommen.

Die neuen europäischen Vorschriften über ozonabbauende Substanzen (EG 2037/2000 vom 29.06.2000) gestatten die Verwendung von HCFC ohne Einschränkung als Einsatzstoffe (Artikel 5). Ein Einsatzstoff ist definiert als "eine bereits geregelte oder neue Substanz, die in einem chemischen Prozess umgewandelt wird, und deren Emissionen unerheblich sind".

### 2 – Recycling und Entsorgung

Alle Fluorpolymere können wie andere Kunststoffe verwertet werden. Soweit Fluorpolymere nicht sinnvoll von anderen Stoffen getrennt werden können, ist in einigen Bundesländern eine Deponierung möglich. Eine Verbrennung von Fluorpolymerabfällen sollte nur in zugelassenen Anlagen erfolgen (siehe unten). Polymerabfall aus der Verarbeitung von Fluorkunststoffen sollte möglichst recycelt werden. Dies kann vom Verarbeiter selbst oder im großen Maßstab hauptsächlich durch spezialisierte multinationale Recyclingunternehmen vorgenommen werden. Zurzeit sind Zubereitungen, die Füllstoffe enthalten, wie Glasfasern, Kohlenstoff oder Bronze, in geringerem Maße recycelfähig als reine Fluorpolymere. Gegenwärtig werden Anwendungen für Rezyklate entwickelt. Anhang E enthält eine Aufstellung einiger Recyclingunternehmen.

Da Fluorpolymere meist nur als kleiner Anteil in komplexen Fertigprodukten verwendet werden, ist es üblicherweise nicht praktikabel, die geringen Mengen der verwendeten Fluorpolymere zu trennen, zu dekontaminieren und wiederzugewinnen. Das Vorhandensein von Fluorpolymeren ist kein Hindernis für das Recycling der Hauptkomponente. Zum Beispiel können Stahlerzeugnisse, die geringe Mengen eines Fluorpolymerartikels enthalten, wieder eingeschmolzen und das Metall zurück gewonnen werden. Industrieller Fluorpolymerabfall kann in Übereinstimmung mit lokalen Vorschriften auf Deponien entsorgt werden. Fluorpolymere sind umweltneutral und besonders zur Entsorgung auf Deponien geeignet, weil sie inert und gegen hohe thermische Belastungen beständig sind, keine Schadstoffe enthalten, die ausgewaschen werden können, und weil sie keine Gase abgeben.

Zur Entsorgung von wässrigen Fluorpolymerdispersionen wird in der Regel der Feststoffanteil von der Flüssigkeit durch Fällung und Dekantieren oder Filtern getrennt. Die trockenen Feststoffe können unter Beachtung der örtlichen Vorschriften entweder auf einer Deponie entsorgt oder verbrannt werden. Das Filtrat kann unter Beachtung örtlicher Vorschriften oder Genehmigungen in ein Abwassersystem eingeleitet werden.

Industrielle Fluorpolymerabfälle, die Additive wie z. B. Lösungsmittel, Primer oder Verdüner enthalten, gelten als besonders überwachungsbedürftige Abfälle. Für Einzelheiten der einschlägigen Abfallentsorgungsvorschriften sollten sich die Unternehmen an ihre örtliche Abfallentsorgungsbehörde wenden.

Fluorpolymere können in speziellen Abfallverbrennungsöfen bei einer Mindesttemperatur von 800 °C verbrannt werden. Abluftreinigungsmaßnahmen, wie z. B. eine Nasswäsche mit alkalischen Lösungen können erforderlich sein, damit die Emission von Fluorwasserstoff unter den staatlichen oder örtlichen Grenzwerten bleibt. Typische Emissionsgrenzwerte von Fluorwasserstoff sind 1 bis 2 mg/m<sup>3</sup>. Die Abfallverbrennung steht besonders für Abfälle im Vordergrund, bei denen das Fluorpolymer nur einen kleinen Bestandteil eines größeren Produktes darstellt. Für Compounds, die Schwermetalle enthalten, ist die Verbrennung möglicherweise ungeeignet, weil es oft strikte Grenzwerte für Schwermetallemissionen aus Verbrennungsöfen gibt.

### 3 – Recycling der Verpackung

Behälter und Fässer zur Lieferung von festen Fluorkunststoffen können wiederverwendet werden. Es muss jedoch sichergestellt werden, dass keine Spuren von Fluorpolymeren mehr im Behälter vorhanden sind. Andernfalls besteht die Gefahr, dass jemand, der den Behälter wiederverwendet, Pulver auf Tabakerzeugnisse überträgt und anschließend "Polymerfieber" bekommt (siehe Gesundheitsgefahren bei der Heißverarbeitung in Kapitel II).

Behälter, die zur Lieferung von wässrigen Fluorpolymerdispersionen verwendet werden, können wiederverwendet werden. Sie müssen jedoch sorgfältig ausgewaschen werden, um die Fluorpolymerdispersion vollständig zu beseitigen. Das Waschwasser der Behälter kann in Übereinstimmung mit örtlichen Vorschriften und Genehmigungen in ein Abwassersystem eingeleitet werden.

Rücknahmesysteme gibt es für Behälter aus Kunststoff und Faserwerkstoffen. Zur Klärung von Detailfragen wenden Sie sich an Ihren Fluorpolymerlieferanten.

## Kapitel VII

### Lebensmittelkontakt

Aufgrund ihrer Inertheit und hohen Temperaturbeständigkeit sind gesinterte Fluorpolymere besonders für Erzeugnisse geeignet, die bei ihrer Verwendung mit Lebensmitteln in Kontakt kommen. Kunststoffe, die mit Lebensmitteln in Kontakt kommen, unterliegen gegenwärtig in Europa der EG-Rahmenverordnung 1935/2004. Diese fordert, dass Stoffe und Fertigartikel nach den Grundsätzen von Good manufacture practice (GMP) hergestellt werden und unter Gebrauchsbedingungen keine Bestandteile abgeben,

- die eine Gesundheitsgefahr bergen,
- die die Zusammensetzung von Lebensmitteln unerwünscht verändern,
- die die organoleptischen Eigenschaften verschlechtern.

Kunststofferzeugnisse, die mit Lebensmitteln in Berührung kommen können, unterliegen zusätzlich der EG-Verordnung 10/2011 und deren Ergänzungen genannt Plastics Implementing Measure (PIM). Danach müssen alle Monomere oder Ausgangsstoffe ebenso wie Additive in der Unionsliste der zugelassenen Stoffe zur Herstellung von Kunststoffen im Anhang I der Verordnung 10/2011 aufgelistet sein. Ferner müssen ein Gesamtmigrationsgrenzwert und spezifische Migrationsgrenzwerte für die einzelnen, zur Herstellung von Polymeren zugelassenen Stoffe, eingehalten werden. Der Lieferant des fertigen Erzeugnisses ist für die Einhaltung dieser Grenzwerte verantwortlich. (Hinweis: Mit dem 1. Januar 2010 wurde das Verzeichnis von Additiven in der EG Richtlinie 2002/72, über Materialien und Gegenstände aus Kunststoff, die dazu bestimmt sind, mit Lebensmittel in Berührung zu kommen, eine Positivliste.) Die Verordnung (EU) Nr. 10/2011 der Kommission ist ab 1. Mai 2011 anzuwenden und ersetzt die EG Richtlinie 2002/72 und ihre Ergänzungen.

Die aktuelle Verordnung gilt nicht für Beschichtungen auf Substanzen, die nicht aus Kunststoff bestehen. Es gibt in wenigen Ländern (Deutschland, Niederlande und USA), spezifische Vorschriften oder Empfehlungen für Beschichtungen mit Fluorkunststoffen. In jedem Fall hängt die Einhaltung der Vorschriften von dem verwendeten Polymertyp ab. Folglich sollten sich die Benutzer für genauere Informationen an ihre Lieferanten wenden.

Lebensmittelkontakt ist ein sehr komplexes Gebiet der europäischen Gesetzgebung, das sich darüber hinaus sehr schnell ändert. Es ist daher wichtig, dass Lieferanten von Erzeugnissen, die zum Kontakt mit Lebensmitteln vorgesehen sind, mit Hilfe von Experten auf dem aktuellen Stand bleiben.

Für die Ausfuhr in die USA ist zu beachten, dass viele Fluorpolymere die Freigabe zur Verwendung in Kontakt mit Lebensmitteln von der US Food and Drug Administration erhalten haben. Die wesentlichen Vorschriften die Fluorkunststoffe betreffen, sind 21 CFR § 177.1380, § 177.1550 und § 177.2510. Sind im Polymer Additive enthalten, die kein wesentlicher Bestandteil des Polymerisierungsprozesses sind, ist eine Freigabe nach den entsprechenden Vorschriften für Lebensmitteladditive wie 21 CFR § 175.300 oder 21 CFR Teil 178 erforderlich. Für diese Additive kann eine vorherige Zulassung erforderlich sein, oder sie sind als generell sicher anerkannt (GRAS = generally recognised as safe). In begründeten Fällen kann die Migration eines Bestandteils in das Lebensmittel über die Bagatellschwelle hinaus ausgeschlossen werden. Einschränkungen und Einzelheiten erfahren Sie auf Anfrage von Ihrem Lieferanten.

## Kapitel VIII

# Medizinische Anwendungen

Fluorpolymere wurden ursprünglich für industrielle Anwendungen entwickelt. Aufgrund ihrer hervorragenden Eigenschaften werden sie seit mehreren Jahren auch für medizinische Anwendungen verwendet. Eine Vielzahl von Geräten, die Fluorpolymere enthalten, wurde auf ihre Eignung hin untersucht. Zahlreiche kleine und größere PTFE-Schläuche, verschiedene Kleinteile und Folien werden in erster Linie für kurzzeitige Anwendungen eingesetzt. Unserem Wissen nach hat jedoch bisher noch kein Fluorpolymerhersteller ein Fluorpolymerprodukt speziell für eine medizinische Anwendung entwickelt. Es gibt keine allgemeine behördliche Genehmigung für Fluorpolymere speziell für medizinische Anwendungen. Jedes einzelne medizinische Produkt muss den zuständigen Behörden zur Genehmigung vorgelegt werden. Die Hersteller dieser Erzeugnisse und Geräte sollten sorgfältige Nachforschungen in der medizinischen Literatur anstellen, Tests durchführen und

feststellen, ob das Fluorpolymer für den vorgesehenen Zweck geeignet ist. Der Inverkehrbringer dieser Artikel muss alle erforderlichen Genehmigungen der Behörden für das medizinische Produkt, einschließlich der Rohstoffkomponenten, einholen.

In der veröffentlichten medizinischen Literatur findet man Beispiele für erfolgreiche lebensrettende Anwendungen, aber auch Beispiele für ungeeignete Geräte. Für Länder der EU ist die europäische Richtlinie über medizinische Geräte sowie einschlägige nationale Vorschriften zu beachten.

Die in PlasticsEurope zusammengeschlossenen Fluorpolymerlieferanten haben Richtlinien erarbeitet, die den Verkauf ihrer Materialien für medizinische Anwendungen beschränken. Bevor ein Anwender Ressourcen für Tests und Genehmigungsanträge bei Behörden für eine medizinische Vorrichtung aufwendet, sollte er mit seinem Lieferanten vereinbaren, dass er mit dem betreffenden Produkt auch langfristig beliefert wird.

# Anhang A

## Adressen von Fluorpolymerherstellern in PlasticsEurope

### **AGC CHEMICAL EUROPE, LIMITED**

Hillhouse Int., P.O. Box 4  
Thornton Cleveleys  
Lancashire  
FY5 4QD  
Großbritannien  
Tel : +44 (1253)861975  
Fax : +44 (1253)861950  
Web : [www.agcce.com](http://www.agcce.com)  
E-Mail : [Info@agcce.com](mailto:Info@agcce.com)

### **ARKEMA**

Rue d'Estienne d'Orves  
92705 Colombes CEDEX  
Frankreich  
Tel : +33 (1)49 00 80 80  
Fax : +33 (1)49 00 83 96  
Web : [www.arkema.com](http://www.arkema.com)

Gastmitglied :

### **DAIKIN CHEMICAL EUROPE**

Immermannstrasse 65D  
40210 Düsseldorf  
Deutschland  
Tel : +49 (0)211 179 22 50  
Fax : +49 (0)211 164 0732  
Web : [www.daikinchem.de](http://www.daikinchem.de)  
[www.daikin.com](http://www.daikin.com)

### **DUPONT DE NEMOURS INTERNATIONAL**

2, Chemin du Pavillon  
P.O. Box 50 CH-1218  
Le Grand-Saconnex (Genève )  
Schweiz  
Tel : +41 (22)717 51 11  
Fax : +41 (22)717 51 09  
Web : [www.dupont.com](http://www.dupont.com)

### **DYNEON GmbH**

Industrieparkstrasse 1  
84508 Burgkirchen  
Deutschland  
Tel : +49 (0)8679-74709  
Fax : +49 (0)8679-3992  
Web : [www.dyneon.com](http://www.dyneon.com)  
[www.dyneon.eu](http://www.dyneon.eu)

### **HEROFLON S.R.L.**

Via A de Gasperi 4  
25060 Colleferato (Brescia)  
Italien  
Tel : +39 (030)25 20 211  
Fax : +39 (030)25 11 495

### **SOLVAY SPECIALTY POLYMERS ITALY S.p.A**

Via Lombardia 20  
20021 Bollate (Milano)  
Italien  
Tel : +39 (02)38 35 1  
Fax : +39 (02)38 35 26 14  
Web : [www.solvaysolexis.com](http://www.solvaysolexis.com)

# Anhang B

## Aktuelle Bewertung der Toxikologie des Monomers TFE – Auswirkungen auf die sichere Verwendung von Fluorpolymeren

### Übersetzung der englischen Erklärung von Juni 2002

Tetrafluorethylen (TFE) hat in Tierversuchen bei Ratten und Mäusen bei relativ hoher und lang andauernder Exposition gegenüber gasförmigen TFE Krebs verursacht. Es wurden verschiedene Arten von Tumoren der Nieren, Leber und des blutbildenden Systems festgestellt. Vergleichende Studien des TFE-Stoffwechsels bei Menschen und Tieren legen nahe, dass das Risiko der Bildung dieser Tumore beim Menschen geringer ist als bei Ratten und Mäusen. Gegenwärtig wird eine epidemiologische Studie unter Einbeziehung der wichtigsten TFE-Produzenten durchgeführt, bei der die Daten mehrerer Standorte gemeinsam ausgewertet werden.

TFE ist ein Baustein bei der Herstellung von Kunststoffen wie PTFE und anderen Fluorpolymeren, die gewöhnlich als Pulver, Granulat oder wässrige Dispersion an spezialisierte Verarbeiter verkauft werden. Diese wiederum stellen aus den Polymeren Fertigerzeugnisse her.

Feste Fluorpolymere, die von PTFE-Herstellern an die Verarbeiter verkauft werden, enthalten keine nachweisbaren Mengen von TFE. Wässrige Dispersionen können Spuren (weniger als 1 ppm) Rest-TFE enthalten.

Bei der Verarbeitung von Fluorpolymeren bei hohen Temperaturen können geringe Mengen an TFE gebildet werden.

Eine wirksame Entlüftung, die ohnehin erforderlich ist, um akute Gesundheitsrisiken wie Polymerfieber oder die Exposition gegenüber HF zu vermeiden, reicht aus, um eine mögliche TFE-Exposition zu vermeiden.

Bei der Analyse von Fertigprodukten kann TFE nicht nachgewiesen werden, wenn die empfohlenen Herstellungsbedingungen eingehalten wurden. Dies ist unabhängig davon, ob diese aus festen Fluorpolymeren oder aus wässrigen Dispersionen hergestellt wurden.

# Anhang C

## Sicherer Umgang mit Fluorpolymerdispersionen

Die Gefahren beim Umgang mit Dispersionen werden im Wesentlichen durch deren Emulgator bestimmt. Besondere Hinweise dazu finden Sie im Sicherheitsdatenblatt. Es wird dringend empfohlen, Augen- und Hautkontakt mit Fluorpolymerdispersionen zu vermeiden und sie nicht zu verschlucken.

Informationen zu Zersetzungsprodukten, die bei der Verarbeitung entstehen können, finden Sie in Kap. II und III.

Dispersionen dürfen nicht in Seen, Flüsse oder andere Gewässer eingeleitet werden. Bei der Einleitung in Wasser entsteht eine milchige Trübung. Der Anteil an Fluorpolymer ist nicht giftig. Dagegen können die zur Stabilisierung der Dispersionen verwendeten Tenside schädliche Umweltauswirkungen haben. Nähere Informationen können beim jeweiligen Lieferanten angefordert werden.

Empfehlungen zur Entsorgung sind in Kapitel VI beschrieben.

### **Polymerisationshilfsmittel (FPAs) für Fluorpolymere**

In früheren Ausgaben dieser Anleitung behandelte der Anhang C den sicheren Umgang mit Fluorpolymerdispersionen, die FPAs enthalten, fluorierte oberflächenaktive Substanzen wie Ammonium- und Natriumperfluoroktanoat.

Die Mitgliedsfirmen von PlasticsEurope führten Technologien ein, um FPAs in ihren Dispersionsprodukten deutlich zu reduzieren. FPA-spezifische Sicherheitsvorkehrungen sind deshalb nicht länger für Dispersionen erforderlich, die von Mitgliedsfirmen der PlasticsEurope geliefert werden. Es werden aber Dispersionen von Herstellern außerhalb PlasticsEurope angeboten, die diese Technologien nicht eingeführt haben. Bei Verwendung dieser Produkte sollten vom Lieferanten die entsprechenden Anweisungen zum sicheren Umgang angefordert werden.

# Anhang D

## Inhalative Toxizität der Verbrennungsprodukte von PTFE und ähnlichen Fluorpolymeren

In den letzten beiden Jahrzehnten wurden viele Studien zur Erforschung der Toxizität von Verbrennungsprodukten oder thermischen Zersetzungsprodukten von PTFE durchgeführt.

Bis 1982 war man der Ansicht, dass die Hauptzerstzungsprodukte Fluorwasserstoff und Carbonylfluorid für die beobachteten, toxischen Wirkungen an Ratten verantwortlich seien, die ca. 10-mal toxischer als die Verbrennungsprodukte von Holz sind. 1982 berichteten Levin et al., von einer unerwartet hohen Toxizität der Verbrennungsprodukte von PTFE als sie ein vom Nationalen Normeninstitut neu entwickeltes Labortestverfahren zur Bewertung der Toxikologie von Brandgasen testeten. Sie ermittelten dabei für PTFE-Zersetzungsprodukte einen LC<sub>50</sub>-Wert von 0,045 mg/l, der im Vergleich zu einer Standardholzprobe (Douglasfichte 20 - 40 mg/l) eine fast tausendfache höhere Toxizität zeigte. Dieses unerwartete Ergebnis konnte mit den erwarteten Verbrennungsprodukten nicht erklärt werden und führte zu umfangreichen Untersuchungen dieses Phänomens durch viele Labore.

Eine Reihe von Untersuchungsergebnissen wurde bei der Konferenz Interflam '90 vorgestellt (Purser, 1990; Fardell, 1990; Clarke van Kuijk, et al., 1990; Clake, Seidel et al., 1990). Zusammen mit verschiedenen anderen Veröffentlichungen (Warheit et al., 1990; Lee und Seidel, 1991) bieten sie aufschlussreiche Erklärungen für die extreme Toxizität der thermischen Zersetzungsprodukte von PTFE oder ähnlichen Perfluorpolymeren.

Zusammengefasst gibt es einige kritische Parameter, die für das Auftreten der extremen Toxizität von wesentlicher Bedeutung sind. Die thermische Zersetzung muss ohne Flammenbildung stattfinden. Der Versuchsaufbau muss die Rückführung des entwickelten Rauchs durch den Verbrennungsbereich, wie beim NBS-Apparat, oder die schnelle Exposition gegenüber frisch erzeugten Dämpfen, wie von Wahrheit et al. (1990) beschrieben, zulassen.

Besonders giftig sind die im Rauch vorhandenen Feststoffteilchen; insbesondere deren Größe ist ausschlaggebend für die Wirkung. Wenn Rauchgase in einem Temperaturbereich von etwa 450 bis 800 °C erzeugt werden, sind die erzeugten Partikel äußerst fein, in der Regel kleiner als 0,05 µm, und sie werden in einem Apparat wie der NBS-Kammer in einem kleinen Raumvolumen eingeschlossen. Dort verbinden sich die kleinen Partikel zu größeren Rauchpartikeln (thermische Koagulation), die sich in der 200-Liter-Expositionskammer verteilen und dadurch deren Konzentration senken. Im Umluftbetrieb kann es im Ofen zum Aufbrechen der größeren Rauchpartikel kommen, und viele stabile, ultrafeine Partikel gebildet werden, die für die extreme Toxizität verantwortlich sind. In einem wie von Warheit et al. (1990) beschriebenen dynamischen System wird extreme Toxizität auch festgestellt, wenn die Exposition vor dem Einsetzen der Koagulation erfolgt. Sobald die Koagulation stattgefunden hat, wird die Toxizität erheblich reduziert. Es wurde diskutiert, dass die spezifischen Bedingungen zur Erzeugung der extremen Toxizität durch frischen oder recycelten Rauch auch mit der Erzeugung von freien Radikalen bei der Pyrolyse zusammenhängt. In der Tat wird berichtet (Fardell, 1990), dass relativ stabile Alkylfluorperoxy-Radikale nachgewiesen wurden. Dennoch scheint der bedeutendste Faktor die Größe der Partikel beim Einatmen zu sein. Er bestimmt den Anteil, der sich im Bereich der Alveolen absetzt, wo die Schädigung eintritt. Bedeutsamer ist eine mögliche Wechselwirkung der Partikel mit den Epithelzellen. Es gibt zunehmend Beweise dafür, dass ultrafeine Partikel mit einer Größe von weniger als 0,05 µm von an sich hoch inerten Stoffen wie Titandioxid aufgrund des direkten Eindringens oder ihrer Reaktion mit Epithelzellen erheblich toxischer für die Lunge sind als größere Partikel (Oberdorster, 1990). Die extreme Toxizität der PTFE-Pyrolyseprodukte stimmt mit diesem Bild überein.

Die Toxizität der PTFE-Pyrolyseprodukte beeinflusst die Entscheidungen von Behörden zu vielen potenziellen Anwendungen von PTFE, weil diese die Toxizität auf reale Großbrandszenarien hochrechnen, bei denen Menschen Verbrennungsprodukten ausgesetzt sein können. Bei diesen Beschreibungen ist jedoch Vorsicht angebracht: Das einzige Mal, dass extreme Toxizität nachgewiesen wurde, war unter streng kontrollierten Versuchsbedingungen. Es ist nicht auszuschließen, dass diese Bedingungen bei einem echten Brand reproduziert werden könnten, es sind aber auch andere Faktoren zu berücksichtigen. Zunächst wurden bei experimentellen Studien nur Wirkungen festgestellt, wenn PTFE oder Fluorpolymere allein verwendet wurden. Eine Reihe von Studien wurde mit "gemischten" Materialien durchgeführt, als zum Beispiel PTFE zusammen mit Holz verbrannt wurde (Purser, 1990), und es wurde keine extreme Toxizität festgestellt. Dies trifft mehr auf echte Brände zu, bei welchen in der Regel

Materialmischungen beteiligt sind, deren Rauchpartikel größer sein werden und die Tendenz haben, feine PTFE-Partikel aufzunehmen und somit das Brandgas zu entgiften. Weiterhin wurde aufgrund von Großfeuerersuchen mit verschiedenen Zündquellen bei Kabeln, die mit Perfluorpolymeren isolierten waren, berichtet, dass bei Ratten, die diesen Verbrennungsprodukten ausgesetzt waren, die toxische Wirkung auf die hauptsächlich entstandenen, toxischen Stoffe Kohlenmonoxid, Fluorwasserstoff und Carbonylfluorid zurückzuführen war (Clarke, van Kuijk et al., 1990), wobei es keine Hinweise auf ungewöhnliche, extreme Toxizität gab. Im Falle eines echten Brandes ist es daher wahrscheinlicher, dass vorhandene Fluorpolymere in dem Maße zur Toxizität beitragen werden, das aufgrund der üblichen thermischen Zersetzungsprodukte zu erwarteten ist, die Toxizität der Brandgase aber nicht durch Erzeugung von extrem toxischen Produkten verursacht wird.

# Anhang E

## Adressen von Recyclingunternehmen

### **MIKRO-TECHNIK GMBH & CO Betriebe KG**

63886 Miltenberg

Deutschland

Tel : +49 (0)9371 4005 92

Fax : +49 (0)9371 4005 70

Web : [www.mikro-technik.com](http://www.mikro-technik.com)

### **SHAMROCK TECHNOLOGIES bvba**

Heersterveldweg 21

3700 Tongeren

Belgien

Tel : +32 (0)12 45 83 30

Fax : +32 (0)12 45 83 40

Web : [www.shamrocktechnologies.com](http://www.shamrocktechnologies.com)

### **UNITED POLYMER MIXERS**

Ramgatseweg 14

4941 AM RAAMSDONKVEER

Niederlande

Tel : +31 (0)1625 14 945

Fax : +31 (0)1625 22 219

# Literatur

Levin, B.C., et al "Further Development of a Test Method for the Assessment of Acute Inhalation Toxicity of Combustion Products" National Bureau of Standards (US), NBSIR 82-2532 (1982)

Clarke, F B, van Kuijk, H, Valentine, R, Mokovec, G T, Seidel, W C , Baker, B B, Kasprzak, D, Marovec, G J, Bonesteel, J K , Janssens, M and Herpol, C H (1990). The inhalation toxicity of smoke from fires involving perfluoropolymers : full scale fires, proceedings of Interflam '90, 287-295.

Clarke, F B , Seidel, W C, Scherer V Jnr, Clins D Jnr, Olsen, A and Bonesteel, J. (1990). Formation, identity and coagulation of fluoropolymer-derived smoke aerosols. The relationship between aerosol behaviour and observed toxicity of fluoropolymer smoke. Proceedings of Interflam '90, 297-304.

Fardell, P. (1990). UK studies of the toxic potency of PTFE in fire. Proceedings in Interflam '90, 257-271.

Johnston C J, Finkelstein J N, Gelein R and Oberdorster G (1996). Characterization of early pulmonary inflammatory response associated with PTFE fume exposure. Toxicology and applied pharmacology, article 0208, academic press, May 1996.

Lee, K P and Seidel, W C. (1991). Pulmonary response of rats exposed to polytetrafluoroethylene and tetrafluoroethylene hexafluoropropylene copolymer fume and isolated particles. Inhalation Toxicology, 3, 237-264.

Oberdorster, G, Ferin, J, Finkelstein, J, Soderholm, S and Gelein R. (1990). Ultrafine TiO<sub>2</sub> particles as a model for studying overload related mechanisms. J. Aerosol Med. 3, 79.

Purser, D A. (1990). Recent developments in understanding of the toxicity of PTFE thermal degradation products. Proceedings of Interflam '90, 273-286.

Warheit, D B, Seidel, W C, Carakostas, M C and Hartsky, M. (1990). Attenuation of perfluoropolymer fume pulmonary toxicity : effects of filters, combustion methods. and aerosol age. Exp. Mol. Path. 52, 309-329.

PlasticsEurope AISBL  
Avenue E. van Nieuwenhuyse 4/3  
1160 Brussels – Belgium  
Phone +32 (0)2 675 32 97  
Fax +32 (0)2 675 39 35  
info@plasticseurope.org  
www.plasticseurope.org

Eines Broschüre des Fluorpolymerkomitees von PlasticsEurope  
© 2012 PlasticsEurope. All rights reserved.

