



Das elegante Dach mit Dyneon PTFE beschichtetem Glasfasergewebe setzt Akzente im Ehrenhof des Bundeskanzleramts. PTFE macht den größten Anteil unter den verbrauchten Fluorpolymeren aus (© 3M, Foto: Werner Huthmacher)

Fluorpolymere

Gesellschaftliche Megatrends geben Fluorpolymeren Aufschwung

Die Bedeutung von Fluorpolymeren wird auch in den nächsten Jahren zunehmen. Bei einer durchschnittlichen Wachstumsrate von ca. 4,5% werden insbesondere die Thermoplaste die treibende Kraft bei neuen Anwendungen sein. Megatrends lassen den Bedarf an Fluorpolymeren ansteigen. Am Ende ihres Lebenszyklus können die Kunststoffe mit Up-Cycling-Verfahren im großen Maßstab chemisch recycelt werden.

Die wichtigste Rohstoffquelle für alle Fluorpolymere ist Fluorapatit (CaF_2). Nachdem das Mineral in den Jahren 2009/2010 vorübergehend knapp war, wird es nun an immer mehr Orten weltweit mineralisch abgebaut. Damit ist die Versorgung für die nächsten Jahre sichergestellt. Dennoch ist zu berücksichtigen, dass neben der Fluorpolymerindustrie noch weitere Industriezweige auf diese Ressource zugreifen. Hierzu zählen insbesondere die Hersteller von Kältemitteln für Klimaanlage in

Fahrzeugen und Gebäuden, von Schäumungsmitteln zur Fertigung von isolierendem Kunststoffschäum oder von Feuerlöschmitteln, die insbesondere in Luftfahrtanwendungen nicht ohne die hochwirksamen Fluorverbindungen auskommen.

Der Wertschöpfungskette folgend werden zunächst aus Fluorapatit die bekannten Monomere wie z.B. Tetrafluorethylen (TFE), Hexafluorpropylen (HFP) oder Vinylidenfluorid (VDF) synthetisiert, bevor diese dann mittels Polymerisation

zu Fluorpolymeren verarbeitet werden. Änderungen von Gesetzesvorgaben im Bereich des Umweltschutzes und des Schutzes der Erdatmosphäre, der Sicherheit in Verkehr und Luftfahrt, des CO_2 -Ausstoßes und im Bauwesen können somit zu einer entscheidenden Umlenkung der Synthesewege und damit u.U. auch zur Verknappung in Einzelbereichen führen. Eine wichtige Lehre aus der unmittelbaren Vergangenheit: Im Falle geringerer Wirtschaftlichkeit individueller Wertschöpfungsketten bleiben diese

bei Ressourcenknappheit oder Nachfragespitzen unterversorgt.

PTFE ist nach wie vor der bedeutendste Vertreter

Im Jahr 2015 wurden weltweit rund 270 000 t Fluorpolymere verbraucht (**Bild 1**). Der Anteil an Polytetrafluorethylen (PTFE) betrug 52 % (140 000 t) (**Titelbild**). Dahinter folgen die Fluorthermoplaste, von denen Polyvinylidenfluorid (PVDF) mit 15 % (41 000 t) den hinsichtlich des Produktionsvolumens bedeutendsten Vertreter darstellt. Fluorethylenpropylen (FEP) folgt auf Rang drei mit 8 % (22 500 t), noch vor Ethylen-Tetrafluorethylen-Copolymer (ETFE) mit 3 % (8 400 t). Die breit gefächerte Produktgruppe der Fluor-Kautschuke (FKM), die sowohl die sogenannten Bipolymere als auch die Terpolymere umfasst, bildet mit insgesamt 12 % (31 000 t) neben den PTFE-Typen und den Fluorthermoplasten die dritte Säule.

Unter den bipolymeren Fluorelastomeren versteht man diejenigen Vertreter, die wegen ihres reduzierten Fluoranteils insbesondere bei tieferen Temperaturen eingesetzt werden, während die Terpolymere durch den zusätzlichen Einbau von Tetrafluorethylen noch näher an das Eigenschaftsprofil von PTFE herangeführt wurden. Sie weisen besonders eine hohe Medienbeständigkeit auf. Fluorelastomere bedürfen im Gegensatz zu PTFE und den Fluorthermoplasten einer chemischen Vernetzung nach der Formgebung, wodurch die Bauteile ihre endgültige Form beibehalten und der Werkstoff sein eigentliches Eigenschaftsspektrum erhält.

Die Ära thermoplastisch verarbeitbarer Fluorelastomere hat in technischem Umfang noch nicht begonnen. Es bleibt abzuwarten, wie schnell es den Entwicklungsingenieuren gelingt, die positive Entwicklung der thermoplastischen Elastomere auf den Bereich der Fluorelastomere zu übertragen.

Bausektor als Zünglein an der Waage

Auch in Europa stellt PTFE, sowohl in reiner als auch in modifizierter Form, das größte Fluorpolymer-Segment

dar (**Bild 2**). Mit 48 % fällt der Anteil im Vergleich zum weltweiten Verbrauch jedoch etwas geringer aus, was insbesondere auf das schnelle Wachstum der Fluorelastomere und von PVDF zurückzuführen ist. Insbesondere in den Bereichen Automobil und Luftfahrt finden Fluorelastomere immer mehr Anwendungen, während PVDF als Isolationsmaterial in Elektro- und Elektronikanwendungen, sowie als Beschichtung im Bausektor das weltweit am schnellsten wachsende Fluorpolymer darstellt. FEP ist in Europa nur mit ca. 4 % vertreten, während dessen

Anteil weltweit mit 8 % nahezu doppelt so hoch ist. Der Grund dafür liegt in dem in Europa fehlenden Marktsegment der „Plenum-Wire“, also die Isolation von LAN-Kabeln in Gebäuden unter Verwendung von FEP.

Wenngleich FKM und Fluorthermoplaste am schnellsten wachsen, so deckt das Produktsegment PTFE und modifiziertes PTFE nach wie vor den größten Bereich an Anwendungen ab. Dies ist auch in der Tatsache begründet, dass es der Dyneon GmbH, Burgkirchen, mit der Entwicklung von modifiziertem PTFE (3M »

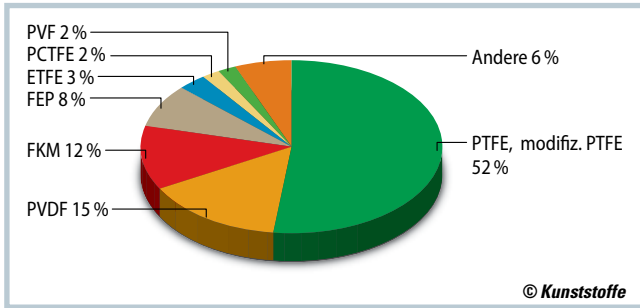


Bild 1. Mit 140 000t (52%) ist PTFE 2015 das am meisten verarbeitete Polymer seiner Klasse. Insgesamt wurden im vergangenen Jahr 268 700t Fluorpolymere verbraucht (Quelle: Dyneon GmbH extrapolated based on CEH report 2013)

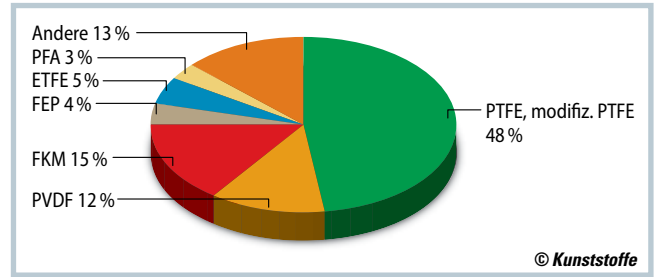


Bild 2. Die fehlende Plenum-Wire-Anwendung für FEP in Europa ist die Ursache dafür, dass FEP unterrepräsentiert ist. Das schnelle Wachstum von PVDF und den Fluorelastomeren lässt den Anteil an PTFE im Vergleich zum Weltverbrauch in Europa auf <50% zurückfallen (Quelle: Dyneon GmbH extrapolated based on CEH report 2013)

Dyneon TFM Modified PTFE) gelungen ist, das Eigenschaftsbild von PTFE in Richtung Fluorthermoplast zu erweitern. Anwendungen, für die in den übrigen Regionen bevorzugt Perfluoralkoy (PFA) eingesetzt wird, werden in Europa mit dem PTFE der zweiten Generation ausgeführt. Hierzu zählen insbesondere Anwendungen in der chemischen Prozessindustrie im Bereich aggressiver Chemikalien, die eine hohe chemische Beständigkeit in Verbindung mit großer Barrierewirkung erfordern. Die zusätzlichen Vorteile des

geringen Kaltflusses werden nicht nur in ungefülltem TFM Modified PTFE genutzt, sondern vorzugsweise auch in vielen Compounds, die vor allem im Dichtungsbereich von Anlagen und Armaturen Verwendung finden.

Die unterschiedlichen Arten des Bauens in Europa im Vergleich zu den USA und anderen Regionen der Welt beeinflusst die regional unterschiedliche Nachfrage an FEP in signifikanter Weise. Da in Europa im Wesentlichen in Massivbauweise gebaut wird, bei der Isolationsma-

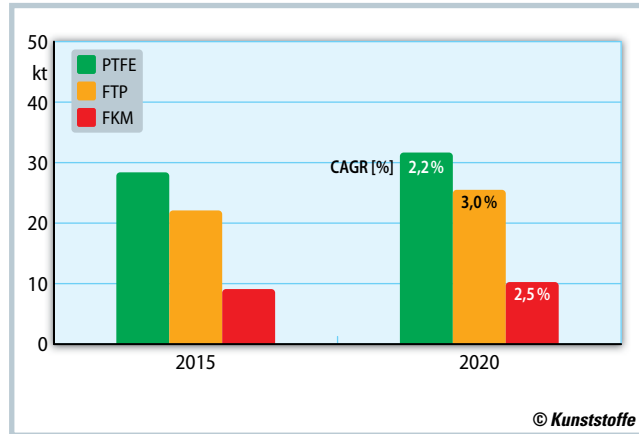
terialien für Elektrokabel fest in der Wand integriert sind, können diese auch aus Standardkunststoffen wie PVC hergestellt werden. Die Leichtbauweise in den USA und die Industriebauweise mit Kabelschächten in abgehängter Deckenkonstruktion erfordern dagegen eine Kabelisolation, die den hohen Anforderungen des Brandschutzes entspricht. Deshalb hat sich in den USA der Plenum-Wire-Markt zum größten Einzelmarkt für Fluorthermoplaste entwickelt. Abgesehen davon ähneln sich die Anwendungen »

Megatrend	Industrie, Märkte	Trends, neue Herausforderungen	Fluorpolymeranwendungen
Endliche Ressourcen	Chemie	Ressourcenschonende Produktion	Up-Cycling von End-of-Life-Produkte
		Verlängerung der Anlagenlaufzeit	Reaktordesign in Voll-Fluorkunststoff-Ausführung für höhere/reinere Reaktionsausbeute Korrosionsschutz mit Fluorpolymeren (Kessel-, Armaturen- und Rohrauskleidung)
	Energie	Variable Auslastung konventioneller Kraftwerke zur Kompensation schwankender Wind- und Solarenergie	Erhöhter Korrosionsschutzbedarf im Bereich der Rauchgasführung und -reinigung durch Auskleidung mit Fluorpolymeren
		Meerwasserbeständige Stromkabel	Isolation durch Fluorpolymere
	Architektur	Energieeinsparung, verlängerte Lebensdauer	Optimierte Membrankonstruktionen für Gebäude
Digitalisierung	Datenübertragung, Datenspeicherung	Platzsparende Bauweisen und höhere Leistung für Hochfrequenzbauteile	Verbesserte Isolierung durch dünnere Isolierungsschichten bei höheren Frequenzen durch vollfluorierte Polymere, auch in Kombination mit Leichtbauweise, Leiterplatten für Hochfrequenztechnologie
	Industrie 4.0	Elektronische Steuerung, Bedienung und Kommunikation von Maschinen	Nichtbrennbare Hochfrequenzkabel und Kabelverbinder für innen
Klima- / Technologiewandel	Automobil	CO ₂ -Reduzierung (Euro6-Norm)	Kraftstoffschläuche mit Permeationsbarrieren
		Reduzierung des Benzinverbrauchs	Mehr Sensortechnik im Abgasstrom
		E-Mobility	Batterien neuer Technologie, Bipolar-Stack-Bauweise unter Verwendung von Fluorpolymeren
	Chemie	Verringerung der Anlagenemission (TA Luft)	Permeationsreduzierte Dichtungen, geschweißte Fluorpolymer-Vollkunststofflösungen ohne ‚Emissionsstelle Dichtung‘
Wachsende / alternde Bevölkerung	Pharma	Steigende Nachfrage nach medizinischen Apparaten	Komponenten für Dialysegeräte
		Patientenspezifische Medikamentierung durch Biotechnologie	Verpackung / Verabreichung von Medikamenten in Flüssigform
	Medizin	Mikroinvasive Chirurgie	Operationsgeräte aus sterilisierbaren Fluorkunststoffen
	Consumerprodukte	Koch- und Backgeschirr für Anstieg der Weltbevölkerung, Schwerpunkt BRIC-Staaten	Antihafbeschichtungen für Reiskocher, Bratpfannen und Backgeschirr

Tabelle 1. Aus Megatrends erwachsen neue Herausforderungen und Anwendungen, die durch Systemlösungen unter Verwendung von Fluorpolymeren gelöst werden können (Quelle: Dyneon)



Bild 3. Kontinuierliches, berechenbares Wachstum (CAGR: durchschnittliche jährliche Wachstumsrate) für alle drei Produktgruppen der Fluorpolymere PTFE, FTP und FKM (Quelle: Dyneon GmbH extrapolated based on CEH report 2013)



für Fluorthermoplaste in Europa und den anderen Regionen des Weltmarkts in hohem Maße.

Neue Anwendungen und Verfahren ermöglichen Wachstum

Unter Berücksichtigung demographischer Veränderungen, jedoch auch vor dem Hintergrund immer neuer Anwendungen, erwarten Experten auch in den Jahren 2016 bis 2020 ein kontinuierliches Wachstum von Fluorpolymerwerkstoffen weltweit. Für Europa wird für die größte Produktgruppe, PTFE, von einem jährlichen Wachstum von 2,2% ausgegangen, während der im Volumen kleinere Bereich der Fluorthermoplaste mit einem überdurchschnittlichen Wachstum von 3,0% jährlich prognostiziert wird. Auch der Einsatz von Fluorelastomeren wird zunehmen, jedoch mit ca. 2,5% lediglich auf dem Durchschnittswert aller drei Produktgruppen (**Bild 3**). Hier wird es entscheidend sein, ob im betrachteten Zeitraum der Durchbruch in Richtung thermoplastisch verarbeitbarer Fluorelastomere gelingen wird. Dieser Innovationsprung könnte dem FKM-Segment neue Wachstumsimpulse verleihen.

Die neuen additiven Verarbeitungsverfahren für Thermoplaste und Duromere wie Stereolithographie (SLA), selektives Lasersintern (SLS), Fused Deposition Modeling (FDM), 3D-Druck oder das PolyJet-Verfahren, werden zwar auch bei Fluorpolymeren auf ihre Anwendbarkeit hin untersucht, spielen derzeit bei den Anwendungs-, Verfahrens- und Marktanteilen jedoch noch keine Rolle.

PTFE nimmt in Europa Sonderstellung ein

Mit über 40% des Marktvolumens ist die chemische Industrie der Hauptabnehmer für PTFE-Produkte in Europa (**Bild 4**). Das liegt vor allem an der universellen Chemikalienbeständigkeit von PTFE und modifiziertem PTFE. Damit eignen sich diese Werkstoffe sehr gut zum Korrosionsschutz von Chemieanlagen. Die dominierende Stellung des chemischen Anlagenbaus in Europa, durch die auch World-Scale-Anlagen insbesondere in China, Saudi Arabien, Indien oder anderen Ländern des asiatischen Raums ausgerüstet werden, ist sicherlich einer der wesentlichen Gründe für die Sonderstellung von PTFE in Europa. In der Halbleiterindustrie,

wo zusätzlich zum Korrosionsschutz noch Metallionenfremdheit gefordert ist, werden Anlagen und Armaturen in Voll-PTFE- bzw. TFM-Modified-PTFE-Ausführung eingesetzt. Hierzu zählen vor allem Pumpen, Ventile oder Rohrleitungen.

Mit 18% Marktanteil liegt der allgemeine Maschinenbau (Schwerpunkte Lebensmittel und Pharmaindustrie) an zweiter Stelle, gefolgt von den Anwendungen in Elektrotechnik/Elektronik, die mit 16% auf Rang drei rangieren. Während im allgemeinen Maschinenbau der Bereich Dichtungen in Form von PTFE-Compounds einen Schwerpunkt der Anwendungen bildet, wird ungefülltes TFM Modified PTFE im Bereich von Lebensmittelmaschinen und Pharmatechnologie wegen des Vorliegens aller erforderlichen Zulassungen und der Beständigkeit gegenüber aggressiven Reinigungschemikalien bevorzugt eingesetzt. Im Bereich Elektro/Elektronik begleiten uns PTFE-Anwendungen in vielfältigem Einsatz. Gründe dafür sind die guten Isolationseigenschaften und die im Vergleich zu anderen Isolationsmaterialien geringe Dämpfung hoher Frequenzen.

Megatrends generieren neue Anwendungen

Wie sich das Wachstum entwickelt, wird auch davon abhängen, in welchem Maße es gelingt, bei der Lösung unserer aktuellen Herausforderungen, den sogenannten Megatrends, Fluorpolymere zu integrieren. Aus der begrenzten Verfügbarkeit von Ressourcen, der Digitalisierung der Welt, dem Klimawandel und der wachsenden und immer älter werdenden Bevölkerung ergeben sich neue Aufgabenstellungen, die nur in gemeinsamer Anstrengung gelöst werden können (**Tabelle 1**).

Service

Digitalversion

- Ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/1652865

English Version

- Read the English version of the article in our magazine *Kunststoffe international* or at www.kunststoffe-international.com

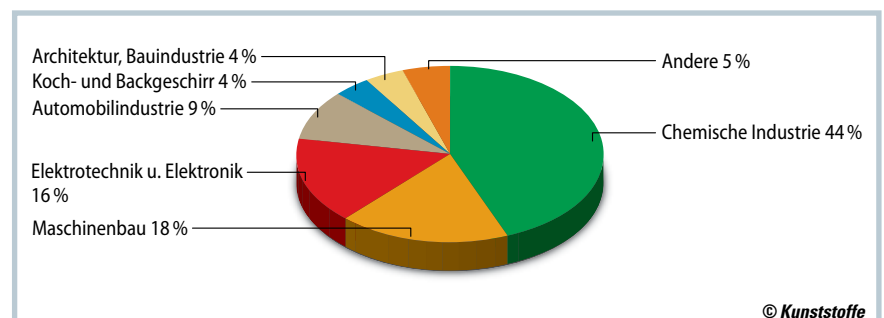


Bild 4. Die chemische Industrie, Maschinenbau, Elektronik sowie die Automobilindustrie sind die Hauptabnehmer für Polytetrafluorethylen in Europa (Quelle: IHS Chemical Estimates)

Am Beispiel des erhöhten Korrosions-schutzbedarfs lässt sich die Komplexität der Zusammenhänge sehr gut zeigen. Die Kompensation der stark schwankenden regenerativen Wind- und Solarenergie in den Stromnetzen durch konventionelle Kraftwerke erfordert eine fortwährende Anpassung der Auslastung dieser zur Abdeckung der Grundlast ausgelegten Kraftwerke. Dadurch ändern sich im Bereich der Abgasreinigung signifikant die Betriebsbedingungen und der häufige Wechsel zwischen Trocken- und Nassfahrweise führt zu einem vorzeitigen Verbrauch der Anlagen durch Korrosion. Die Kurzzeitkonservierung bei vorübergehendem Anlagenstillstand, z.B. an Wochenenden, ist eine weitere ungelöste Herausforderung. Durch die konsequente Umrüstung auf Voll-Fluorpolymermodule, insbesondere im Bereich der Wärmetauscher und des Korrosionsschutzes der Kanalsysteme mittels Fluorpolymerfolien, werden die Nass-Trocken-Wechselbedingungen gemeistert. Zusätzlich kann auf die Konservierung bei Kurzzeitabstellung verzichtet werden.

Up-Cycling – der Kreislauf schließt sich

Erstmals wurde im Bereich des industriellen Polymerrecyclings mit dem Up-Cycling-Verfahren von Dyneon eine Methode im Pilotmaßstab entwickelt, mit dem vollfluorierte Fluorpolymere auch nach dem Ende ihres Lebenszyklus wiederverwendet werden können. Der Anlagenbetrieb wurde 2015 aufgenommen und ermöglicht mittels chemischen Recyclings die Rückspaltung sowohl von End-of-Life-Produkten als auch von Verarbeitungsabfällen. Nach destillativer Reinigung stehen die Monomere wieder für die Polymerisation zur Verfügung.

Im Gegensatz zu mechanischen Recyclingverfahren muss beim chemischen Recycling keine Minderung von Polymereigenschaften in Kauf genommen werden. Die Neuprodukte aus dem Up-Cycling-Prozess unterscheiden sich in keiner Weise von den Originalprodukten. Deshalb kann dieser Kreislaufprozess beliebig oft angewandt wer-

den. Die durch Zurückgewinnung des Monomers Tetrafluorethylen (TFE) erzielbare Umweltentlastung ist wegen des komplexen TFE-Herstellungsverfahrens enorm: Durch Up-Cycling von 1000t TFE wird die Ressourcenentnahme um 2200t wertvoller Flussspat und die Umwelt um rund 20 000t Nebenprodukten entlastet.

Fluorpolymere haben ihren festen Platz in der Industrie und den Produkten unseres täglichen Lebens gefunden. In vielen Anwendungen haben sie sich mittlerweile etabliert. Deshalb wird sich das Wachstum auch in den kommenden Jah-

ren kontinuierlich fortsetzen und zwar bei allen drei Produktbereichen: PTFE, Fluorthermoplasten und Fluorelastomeren. Wenn es gelingt, neue, bedeutende Anwendungen für Fluorpolymere vor allem im Bereich der Megatrends wie Endlichkeit der Ressourcen, Digitalisierung, Klima- bzw. Technologiewandel, Elektromobilität und alternde Weltbevölkerung zu entwickeln, dann wird das Wachstum hierdurch noch zusätzliche Impulse erfahren. ■

*René Krämer, Neuss, und
Dr. Michael Schlipf, Burgkirchen*