

# Kreislauf geschlossen

## Up-Cycling von Altteilen aus Fluorkunststoffen

Ausgediente Bauteile unterschiedlicher Anwendungen aus Fluorkunststoffen müssen nun nicht mehr verbrannt werden. Mit einem speziellen Verfahren lassen sich die Altteile durch chemisches Recycling wieder in ihre Ausgangsstoffe zerlegen. Das Neuartige daran ist jedoch, dass durch den innovativen Prozess am Ende keine Rezyklate, sondern Neustoffe gewonnen werden.

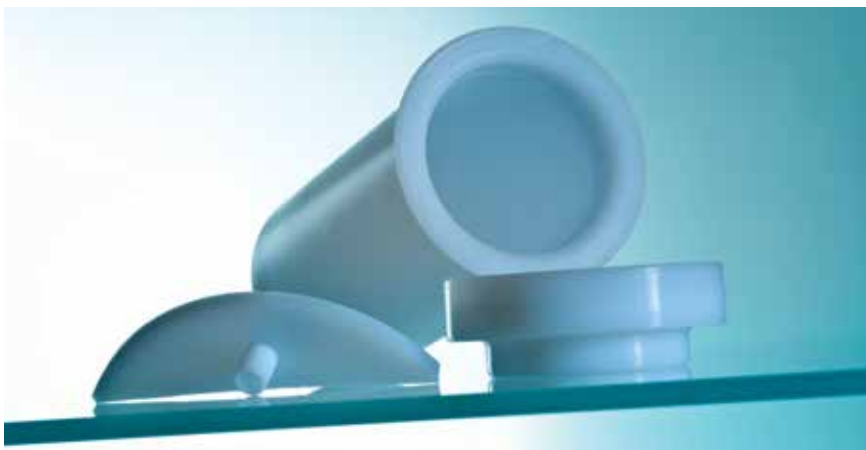
**F**luorkunststoffe sind als Hochleistungskunststoffe für anspruchsvolle Anwendungen aus unserem täglichen Leben sowie in Schlüsselanwendungen der Industrie und bei Verbrauchsgütern nicht mehr

stellt und in Kooperation mit der Universität Bayreuth und InVerTec, Osburg, in einem durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt geförderten Projekt ein Verfahren entwickelt, das diese End-of-Life-Pro-

sich in diesem Bereich schon früh eine Recycling-Industrie ausgebildet. Spezialisierte Unternehmen verwerten Zerspansabfälle und Reststücke der PTFE-Verarbeitung im Wesentlichen nach zwei verschiedenen Methoden: Zum einen werden die Reste gereinigt sowie zerkleinert und dann als vorgesintertes Repro-PTFE wieder für die Verarbeitung mittels eines speziellen Druck-Sinterverfahrens, der Ramextrusion, in den Produktzyklus zurückgebracht. Zum anderen erfolgt nach vorbereitenden Schritten, z.B. Sortieren, Reinigen und Zerkleinern, ein PTFE-Polymerabbau bis ca. 1% des ursprünglichen Polymerisationsgrads, wobei Elektronenstrahlen, Gamma-Strahlen oder der thermomechanische Abbau zum Einsatz kommen.

Auch für die typischen Abfälle der Spritzgießverarbeitung von PFA (Perfluoralkoxy-Polymere) oder FEP (Fluoriertes Ethylen-Propylen), den beiden vollfluorierten Varianten der Fluorthermoplastproduktgruppe, z. B. Angüsse, existiert ein Recyclingkonzept: Die Abfälle werden zerkleinert, gereinigt und dann nach der Granulierung wieder der Verarbeitung durch Spritzgießen oder Extrusion zugeführt. Diese Verarbeitungsabfälle sind keine Ausgangsstoffe für das neue 3M Up-Cycling-Konzept. Für ihre Weiterverarbeitung und Wiederverwendung ist bereits gesorgt. Märkte, in denen diese Rezyklate ihre Anwendung finden können, sind bereits vorhanden.

Bisher völlig ausgeschlossen von der Möglichkeit des werkstofflichen Recyclings waren Produkte, hergestellt aus PTFE, PFA oder FEP, nach Erreichen des



Die Up-Cycling Anlage verarbeitet zunächst reine Fluorpolymermaterialien, d. h. feuchte Produktionsrückstände, nicht spezifikationsgerechte Produkte und Verarbeitungsrückstände aus ungefülltem PTFE.

wegzudenken. Für ihre Herstellung werden große Mengen an Energie und Rohstoffressourcen verbraucht, was sich auch in den hohen Materialpreisen abbildet. Eine bereits etablierte Recyclingindustrie stellt sicher, dass ein großer Teil der Abfälle entlang der Wertschöpfungskette erfasst und nach physikalischer Aufarbeitung für weitere selektierte Anwendungen zur Verfügung steht.

Doch was geschieht mit den übrigen Abfällen und den Fluorkunststoffprodukten, nachdem sie das Ende ihres Lebenszyklus erreicht haben? Die Dyneon GmbH, Burgkirchen, eine Tochtergesellschaft von 3M, hat sich dieser Frage ge-

dukte mit hohem Umwandlungsgrad in Neuprodukte ohne Qualitätsverlust überführen kann.

### Existierende Verfahren

Polytetrafluorethylen (PTFE) wird nicht mit klassischen Thermoplastverfahren, z.B. Spritzgießen oder Extrusion, verarbeitet, sondern meist mit aufwendigen Press-Sinter-Verfahren, denen eine zerspanende Bearbeitung zur Herstellung der Endteilgeometrie nachgeschaltet ist. Aufgrund dieser abfallintensiven Fertigungsmethoden, und auch wegen des vergleichbar hohen Polymerpreises, hat



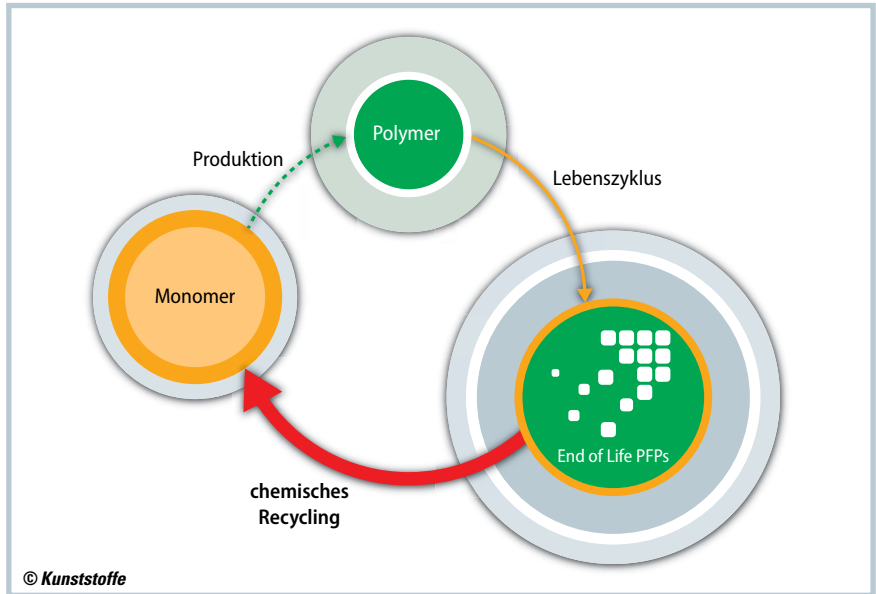
**Bild 1.** Pilotanlage von Dyneon für Up-Cycling von End-of-Life-Fluorkunststoffen mit einer Kapazität von 500 t/a (Bilder: Dyneon)

Endes ihres Lebenszyklus. Hierzu zählen beispielsweise die PTFE-Rohrauskleidungen in Chemieanlagen oder alle anderen Anlagenkomponenten aus diesen Werkstoffen, seien es Pumpen, Behälterauskleidungen, Dichtungen, Schläuche, Kompensatoren oder viele weitere Fluorkunststoff-Komponenten und -Systeme.

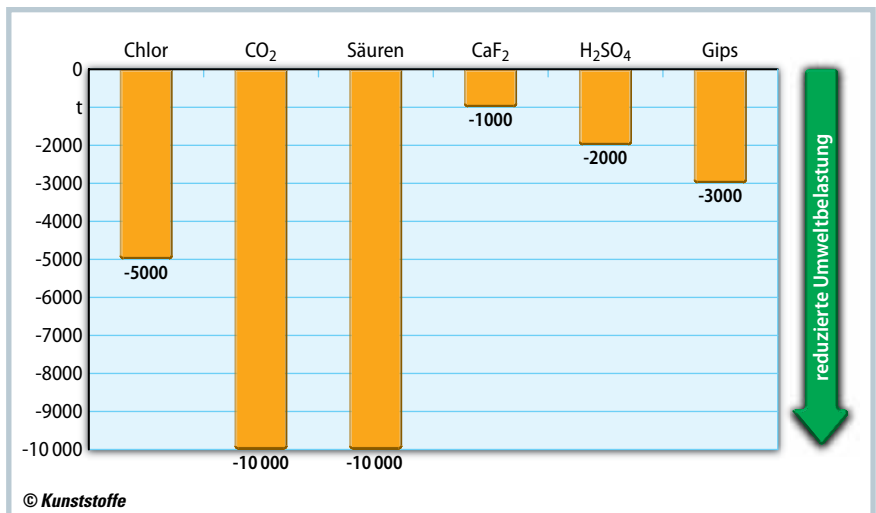
Wie funktioniert nun das neue Dyneon Up-Cycling-Verfahren, das eine Wiederverwertung von Bauteilen ermöglicht, für die es bisher keine Recycling-Möglichkeit gab?

**Prozess für Neustoffe**

Im Gegensatz zu den existierenden Recycling-Verfahren für Fluorkunststoffe steht am Ende dieses innovativen Prozesses nicht etwa die Herstellung eines Rezyklats, sondern die eines Neustoffs. In der Fluorpolymerwelt werden diese Neustoffe, die noch keinen Verarbeitungsprozess durchlaufen haben, auch als virginales (reines) PTFE, PFA oder FEP bezeichnet. Um den neuen Denkansatz des Up-Cyclings zu verwirklichen, bedurfte es der Zusammenarbeit mehrerer Firmen und Institute: Neben dem DBU, der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, haben auch das Bundesministerium für Umwelt,



**Bild 2.** Nach dem Erreichen des Endes ihres Lebenszyklus werden Bauteile aus perfluorierten Polymeren (PFPs) in ihre Monomere zerlegt und wieder dem Polymerisationsprozess zugeführt



**Bild 3.** Umfang der Umweltentlastung durch das neue Hochtemperatur-Pyrolyseverfahren, dargestellt für das Up-Cycling von 1000 t PFPs

Naturschutz und Reaktorsicherheit, die Universität Bayreuth und das InVerTec, ein Institut für innovative Verfahrenstechnik, zum Gelingen des Gesamtkonzepts beigetragen. Die Laborphase der Prozessentwicklung ist beendet. Derzeit wird eine Pilotanlage mit einer Kapazität von 500 t/a perfluorierter Polymere (PFP) gebaut, deren Inbetriebnahme für die zweite Jahreshälfte 2014 vorgesehen ist (Bild 1). Die Aufnahme des Betriebs in vollem Umfang ist dann für den Beginn des Jahres 2015 vorgesehen.

In dem neuen Hochtemperatur-Recyclingverfahren werden die PFP, bevorzugt Produkte nach dem Ende ihres Lebenszyklus, nach Durchlaufen einer

Zerkleinerungsstufe bei Temperaturen über 600 °C in ihre Monomere zurückgespalten. Dies sind dieselben chemischen Bausteine, aus denen die Polymere bei Ihrer Herstellung produziert worden sind. Hauptsächlich entstehen bei der sogenannten Pyrolyse Tetrafluoräthylen (TFE) und Hexafluorpropylen (HFP), wobei die Wiedergewinnungsrate 90 bis 95 % beträgt. Dieses Gasmisch wird dann in den Reinigungsstrakt der Dyneon Monomeranlage eingespeist, und zusammen mit dem Rohgas der normalen Monomerproduktion destillativ aufgereinigt. Das Hauptprodukt der Monomersynthese, TFE, wird dabei mit einer 6-Neuner-Reinheit gewonnen, »

es enthält also 99,9999% TFE. Daher unterscheiden sich die Folgeprodukte, unabhängig ob es sich hierbei um PTFE-Produkte, Fluorthermoplaste oder Elastomere handelt, in keiner Weise von den Ausgangswerkstoffen. Deshalb eignet sich für dieses Verfahren nicht die Bezeichnung „Recycling“, sondern es wird zu Recht als „Up-Cycling“-Prozess bezeichnet: Produkte nach dem Erreichen des Endes ihres Lebenszyklus werden in Neuprodukte überführt (**Bild 2**).

Die Herstellung der TFE/HFP-Monomeren erfordert enorme Mengen an Energie. Über 10000 kWh/t TFE sind erforderlich, verbunden mit enormem Ausstoß an CO<sub>2</sub> bei der Energieerzeugung. Als weitere Rohstoffe werden Flusspat, CaF<sub>2</sub>, Chlor und Schwefelsäure benötigt, während auf der Abfallseite Gips und Salzsäure anfallen. Bei der Monomerherstellung nach dem Hochtemperatur-Pyrolyseverfahren aus gebrauchten PFP-Produkten werden die Ressourcen entsprechend geschont und die Umwelt entlastet (**Bild 3**).

### Gesamtkonzept mit Partnern

Bisher wurden die Zielprodukte im Wesentlichen über die Deponie oder Verbrennung entsorgt, verbunden mit einem beachtlichen Kostenfaktor. Jetzt müssen sie möglichst am Ort der Entstehung, also nach Durchlaufen ihres Lebenszyklus, erfasst, gegebenenfalls aufbereitet und dann zum Rohstofflieferanten Dyneon zurücktransportiert werden. Aufbau und Organisation des Logistiksystems werden durch Dyneon

Produktart	Werkstoff	Anmerkung
Bauteile nach Erreichen des Endes ihres Lebenszyklus: z.B. Rohr- und Armaturenauskleidungen, Pumpen, Kabelisolierungen u.s.w.	PTFE, modifiziertes PTFE, PFA, FEP	Trennung, z.B. von Metall, erforderlich
Verarbeitungsabfälle	Compounds auf Basis PTFE, PFA und FEP	Sortenreine Erfassung ist Voraussetzung, Füllstoff ist auf Eignung für Up-Cycling zu prüfen

**Tabelle 1.** Für Up-Cycling geeignete perfluorierte Polymerabfälle

bzw. Partner bewerkstelligt. Die Erfassung der Produkte selbst muss aber am Entstehungsort, also beispielsweise durch den Betreiber von Chemieanlagen, erfolgen. Ein umfangreicher Austausch von Informationen ist hierfür erforderlich. Dabei sind Fragen zu beantworten, wie:

- Welche Produkte sind geeignet?
- Ist eine Produkttrennung erforderlich?
- Müssen die Produkte vorgereinigt werden?
- Wie erfolgt der Entsorgungsnachweis?

Dies sind nur einige Fragen, die durch intensive Kommunikation zwischen den Partnern des Up-Cycling-Wertschöpfungsprozesses geklärt werden müssen.

Häufig fallen die PFPs auch nicht als Reinkomponente, beispielsweise in Form eines PFA-Schlauchs oder als PTFE-Rohr an, sondern in Form von Werkstoffverbunden. Hierzu zählen im Chemieanlagenbau insbesondere die mit PTFE ausgekleideten Rohre, Behälter, Pumpen oder Destillationskolonnen. Während diese Problemteile bisher häufig nur über die Deponie entsorgt werden konnten, entweder im Verbund, in Einzelteilen oder in Fraktionen nach vorheriger Reinigung, besteht nun die Möglichkeit, nach erfolgter Stahl-PTFE(PFP)-Trennung durch Fachunternehmen alle Komponenten wieder in die Stoffkreisläufe zurückzuführen. Neben den Komponenten von Chemieanlagen steht auch das werkstoffliche Recycling von mit Fluorpolymeren ummantelten Kabeln im Fokus des neuen Konzepts.

### Möglichkeiten für Verarbeiter

Wenngleich das Recycling von Produktionsabfällen der PTFE-, PFA- und FEP-Verarbeitung nach erprobten Verfahren durch etablierte Firmen erfolgreich durchgeführt wird, bestehen doch auch in diesem Bereich Problemfälle, für die es bisher keine sinnvolle oder technisch machbare Lösung gibt. Hierzu zählen insbesondere PTFE-

Compounds, also Werkstoffe, bei denen die Basis-PFPs noch zusätzlich Füllstoffe enthalten. Typische Füllstoffe in diesem Bereich sind Glasfasern, Glaskugeln, Kohle, Graphit und Ruß. Auch in den Fällen, in denen bisher technisch ein Recycling möglich wäre, scheiterte die Umsetzung zumeist an der fehlenden Möglichkeit, Rezyklate (mit den bekannten Nachteilen) wegen fehlender Akzeptanz beim Endabnehmer wieder in den Markt zurückzuführen (**Tabelle 1**).

Der weltweite Verbrauch an PFP-Rohstoffen dieser Problemkategorie beträgt derzeit ca. 25000 t/a. Während sich die Press-Sinterverarbeitung der PTFE-Compounds als sehr abfallintensiv darstellt, eine Abfallquote bis 75% zählt nicht zur Seltenheit, können Fluorthermoplast-Compounds mit weit geringerem Abfallanteil verarbeitet werden. Zusammengenommen beträgt der jährlich über die Deponie entsorgte PFP-Compoundabfall deshalb etwa 10000 bis 12000 t. Dieses riesige Potenzial steht natürlich auch im Zentrum des Dyneon Up-Cycling-Konzepts. Verschiedene, sortenrein erfasste Compound-Verarbeitungsabfälle wurden deshalb auf ihre Eignung zum Up-Cycling in der Laboranlage der Universität Bayreuth bereits untersucht.

### Fazit

Mit dem neuen Up-Cycling-Verfahren besteht die Möglichkeit, den Werkstoffkreislauf der PFPs vollständig zu schließen. Erstmals können auch Bauteile nach Erreichen des Endes ihres Lebenszyklus sowie Problemabfälle in der Wertschöpfungskette mit hohem Umwandlungsgrad in Monomere zurückgeführt werden. Für die daraus erneut hergestellten Fluorpolymerprodukte müssen keine Qualitätseinbußen in Kauf genommen werden.

Die Erfassung der Wertstoffe, ihre Aufbereitung und das Up-Cycling zu neuen Originalprodukten erfordert die enge Zusammenarbeit zwischen allen involvierten Geschäftspartnern. ■

## Die Autoren

**Dr. Michael Schlipf** ist Consultant der Dyneon GmbH, Burgkirchen.

**Dr. Thorsten Schwalm** arbeitet als Manufacturing Technology Specialist bei der Dyneon GmbH, Burgkirchen.

## Service

### Digitalversion

- Ein PDF des Artikels finden Sie unter [www.kunststoffe.de/830566](http://www.kunststoffe.de/830566)

### English Version

- Read the English version of the article in our magazine *Kunststoffe international* or at [www.kunststoffe-international.com](http://www.kunststoffe-international.com)