



pro-K Fluoropolymergroup

Technisches Merkblatt 10

Recycling von Fluorpolymeren

Vorwort

Das vollfluorierte Hochleistungspolymer Polytetrafluorethylen (PTFE) ist der am meisten eingesetzte Fluorkunststoff und hat sich aufgrund seiner einzigartigen Eigenschaften als unverzichtbarer Werkstoff in der modernen Industriegesellschaft etabliert.

Als außergewöhnliche Eigenschaften von PTFE sind die hervorragende und breite Chemikalienbeständigkeit, der breiteste Temperatureinsatzbereich, die exzellenten (di)elektrischen Eigenschaften, die Beständigkeit gegen Versprödung, die Alterungsbeständigkeit sowie die hohe Reinheit des Werkstoffes hervorzuheben.

Während im Falle von reinem PTFE bereits bewährte Verwertungsverfahren bestehen, müssen derzeit noch viele Verarbeiter von PTFE-Compounds ihre Verarbeitungsabfälle kostenpflichtig, zumeist über Deponierung entsorgen.

Für vollfluorierte, reine Fluorthermoplaste existieren ebenfalls effiziente Verwertungsverfahren. Hingegen müssen z.B. eingefärbte und auch elektrisch leitfähige Fluorthermoplaste entsorgt werden.

Am Beispiel der vollfluorierten Fluorpolymere ist es gelungen, das chemische Recycling in industriellem Maßstab einzuführen.

Das vorliegende Merkblatt informiert über die verschiedenen Möglichkeiten und Verfahren Fluorkunststoffe einer Wiederverwertung zuzuführen.

Bildnachweis (Vorderseite): © Heute + Comp

Wichtiger Hinweis:

Diese Ausarbeitung dient lediglich Informationszwecken. Die in dieser Ausarbeitung enthaltenen Informationen wurden nach derzeitigem Kenntnisstand und nach bestem Gewissen zusammengestellt. Die Autoren und pro-K übernehmen jedoch keine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit der Informationen. Jeder Leser muss sich daher selbst vergewissern, ob die Informationen für seine Zwecke zutreffend und geeignet sind.

Stand: Mai 2017

Fluoropolymergroup

Die Fluoropolymergroup ist eine Fachgruppe von pro-K Industrieverband Halbzeuge und Konsumprodukte aus Kunststoff e.V.; Städelstraße 10, D-60596 Frankfurt am Main; Tel.: 069 - 27105-31; Fax 069 - 239837;

E-Mail: info@pro-kunststoff.de; www.pro-kunststoff.de

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung
2. Gesetzliche Anforderungen
3. Verwertung von PTFE und Fluorthermoplasten
 - 3.1 Primäres Recycling
 - 3.2 Sekundäres Recycling
 - 3.3 Tertiäres Recycling = sogenanntes Up-Cycling
4. Recycling von Fluorthermoplasten
5. Lager- und Transportverpackung
6. REACH
7. Anhang
 - 7.1 Firmen, die Recycling von PTFE-Produkten durchführen
 - 7.2 Firmen, die Up-Cycling von PTFE und ausgewählten PTFE-Compounds sowie vollfluorierten Fluorthermoplasten durchführen
 - 7.3 Brennwerte von Fluorpolymeren
8. Glossar

1. Einführung

Aufgrund seiner einzigartigen Eigenschaften hat sich der Werkstoff Polytetrafluorethylen (PTFE) seit vielen Jahren als unverzichtbarer Werkstoff in der modernen Industriegesellschaft etabliert. Dort findet er hauptsächlich wegen seiner herausragenden Eigenschaften Anwendung in besonders anspruchsvollen Umgebungen. Da PTFE mit über 50 Prozent der wichtigste Vertreter der Fluorpolymere ist, beziehen sich die nachfolgenden Angaben im Wesentlichen auf diese Materialtypen.

PTFE zeichnet sich aus durch:

- Hervorragende, nahezu universelle Chemikalienbeständigkeit
- Breitester Temperatureinsatzbereich
- Exzellente dielektrische Eigenschaften
- Exzellente Antihaf- und Gleiteigenschaften
- Keine Versprödung und Alterung

Diese Eigenschaften beruhen einerseits auf der linearen, helikalen Molekülstruktur, in der die Fluoratome das Kohlenstoffgerüst hermetisch abschirmen, der hohen Bindungsenergie der Fluor-Kohlenstoff-Bindung, die seine außergewöhnliche Temperaturbeständigkeit erklärt und dem hohen Molekulargewicht von 10^7 – 10^8 g/mol. Diese Eigenschaften begründen die lange Nutzungsdauer von PTFE im Vergleich zu klassischen Polymeren.

PTFE wird entsprechend seinem Herstellungsverfahren unterschieden in:

- Suspensions-PTFE (S-PTFE)
- Emulsions-PTFE (E-PTFE)
- PTFE-Compounds
- PTFE-Mikropulver

Die überwiegende Mehrheit der Suspensionspolymerisate enthält herstellungsbedingt keine Zusätze, wie z.B. Emulgatoren, die zur Freisetzung unerwünschter Substanzen führen könnten.

Zur Herstellung von Emulsions-PTFE wie auch Fluorthermoplasten wird ein fluorierter Emulgator eingesetzt, der weitestgehend zurückgewonnen wird. Die in der Association of Plastics Manufacturers Europe (APME) organisierten Hersteller von Fluorpolymeren setzen seit 2015 keine Perfluoroktansäure bzw. deren Salze (PFOA bzw. APFO) als Emulgator mehr ein. Diese Vorgabe wurde auch in die europäische Chemikalienverordnung (REACH) aufgenommen.

Es liegt in der Verantwortung des Herstellers und Inverkehrbringers von Produkten aus Fluorpolymeren sicherzustellen, dass die von ihm eingesetzten Artikel gemäß REACH ohne die Verwendung von PFOA bzw. APFO hergestellt wurden.

PTFE-Compounds bestehen überwiegend aus S-PTFE und anorganischen oder organischen Füllstoffen. Eine Trennung der Einzelkomponenten ist weder im pulverförmigen Compound noch im verarbeiteten Fertigprodukt möglich.

Bei PTFE-Mikropulver handelt es sich um niedermolekulares PTFE, das sich in vielfältigen Varianten als Additiv wiederfindet.

2. Gesetzliche Anforderungen

Gemäß Kreislaufwirtschafts-/abfallgesetz (KrWG) ist eine Entsorgung von Abfällen nur dann zulässig, wenn eine stoffliche und/oder thermische Verwertung aus technischen, ökonomischen oder ökologischen Gründen nicht möglich ist.

Gemäß § 6 – 8 KrWG von 2012 gilt die neue fünfstufige Abfallhierarchie:

Stufe 1: Abfallvermeidung

Qualitative, quantitative Abfallvermeidung, Wiederverwendung, bevorzugt Mehrweganwendungen, langlebiges Wirtschaftsgut.

Beispiele:

- Durch den vermehrten Einsatz von Formpressteilen bei der Verarbeitung von PTFE wird ein konturnahes Zwischenprodukt hergestellt und dadurch Zerspanungsabfall und Energieeinsatz minimiert.
- Aufgrund der Langlebigkeit von Pumpen und Behältern aus Fluorpolymeren können diese nach der Erstverwendung in eine Zweitverwendung überführt werden. Dabei ist jedoch darauf zu achten, dass Ausführbeschränkungen für bestimmte Anwendungen bestehen und deshalb eine Dokumentationspflicht herrscht.

Stufe 2: Vorbereitung zur Wiederverwertung

Sortenrein sammeln, reinigen, wiederverwenden.

Beispiele:

- Zerspanen ohne Zusatz von Schmier- und Kühlstoffen um Kontamination der Späne zu vermeiden
- Gruppierung von Verarbeitungsmaschinen und Konfiguration von Spanabsauganlagen nach Fluorpolymer-Produktgruppen.

Stufe 3: Werkstoffliches Recycling

Sammeln von Produkten mit gleichen Materialeigenschaften, Reinigung und Aufarbeitung, Überführung in Sekundärrohstoffe wie PTFE-Regenerat bzw. PTFE-Mikropulver und Up-Cycling.

Up-Cycling stellt ein Chemisches Recycling dar, das die Rückspaltung in die Monomere, deren Reinigung und den anschließenden Einsatz für die erneute Polymerisation beinhaltet.

Beispiele:

- Sammeln von PTFE-Abfällen, getrennt nach Standard PTFE, modifiziertem PTFE und sortenreinen Compounds. Aufarbeitung für die Verwendung als vorgesintertes Granulat zur Ramextrusion oder nach Strahlenabbau für die Herstellung von PTFE-Mikropulver.
- Vollfluorierte Fluorthermoplastabfälle werden granuliert, gereinigt, und dann entweder als Reinkomponente oder als Zuschlagstoff für die erneute thermoplastische Verarbeitung eingesetzt.
- Up-cycling (Pyrolyse) von End of Life Produkten aus PTFE, PFA und FEP

Stufe 4: Sonstige Verwertung

Sonstige stoffliche Verwertung: die Möglichkeit der energetischen Verwertung als Ersatzbrennstoff entfällt, da der Heizwert von PTFE viel kleiner als der gemäß §8 KrWG geforderte Heizwert von 11.000 kJ/kg ist.

Beispiele:

- Für gesinterte Fluorpolymerabfälle besteht die Möglichkeit des stofflichen Einsatzes als Flussmittel in der Stahl- oder Zementindustrie.
- Für ungesinterte Zerspanungsabfälle besteht die Möglichkeit des Wiedereinsatzes als Presspulver. Voraussetzung hierfür ist, dass durch Mahlung eine Zerkleinerung zur Pulverkonsistenz möglich ist und die Produkte frei von Zerspanungshilfsmitteln, wie Kühlflüssigkeiten sind

Stufe 5: Abfallbeseitigung

Verbrennung ohne ausreichende Energienutzung. Deponierung reaktionsarmer Materialien.

Beispiele:

Für Compoundabfälle besteht derzeit in den meisten Fällen nur die Möglichkeit der kostenpflichtigen Entsorgung, z.B. Deponierung.

In § 9 KrWG wird darüber hinaus zur Förderung der Verwertung gefordert, spezifische Abfälle (Metall, Kunststoff etc.) getrennt zu sammeln.

Im Falle der Verschmutzung von Abfällen aus Fluorpolymeren können diese in die Stoffklasse der gefährlichen Abfälle fallen. In diesem Fall ist gemäß § 50 KrWG die Nachweispflicht in der Entsorgungskette zu beachten: „Die Erzeuger, Besitzer, Sammler, Beförderer und Entsorger von gefährlichen Abfällen haben sowohl der zuständigen Behörde gegenüber als auch untereinander die ordnungsgemäße Entsorgung gefährlicher Abfälle nachzuweisen“.

Zu diesem Zweck ist dem betreffenden Abfall die geeignete AVV-Schlüsselnummer zuzuordnen.

Beispiele:

- | | |
|---------|---|
| 070213: | Kunststoffabfälle |
| 120105: | Kunststoffe und Drehspäne |
| 200138: | Kunststoffe |
| 170204: | Kunststoffe, die gefährliche Stoffe enthalten |

Eine Deponierung ist nur dann zulässig, wenn der betreffende Abfall keine gefährlichen Stoffe, d.h. organische Bestandteile oder lösliche Schwermetalle freisetzt, und der Brennwert des Abfalls < 6.000 kJ/kg beträgt. Dies ist in aller Regel bei PTFE-Abfällen gegeben, da der Brennwert von reinem PTFE ca. 5.400 kJ/kg beträgt. Wird der Wert von 6.000 kJ/kg überschritten, ist eine Verbrennung des Abfalls gefordert. Dabei ist jedoch darauf zu achten, dass die gewählte Verbrennungsanlage über einen Säurewäscher verfügt und die Verbrennungstemperatur über 800 °C liegt. Metallstücke, die PTFE enthalten und keine auslaugbaren Bestandteile abgeben, können in Untertagedeponien oder auf Deponien der Klasse II (DepV Anh. 3) abgelagert werden. Auch besteht die Möglichkeit, den PTFE Inliner mechanisch zu entfernen und dem Up-Cycling zuzuführen. Der verbleibende Metallanteil kann als Schrott dem Hochofen zugeführt werden.

Abfälle aus der Herstellung und Verarbeitung von S- und E-PTFE sind in der Regel sortenrein und damit gut zu recyceln. Die Aufarbeitung erfolgt durch spezialisierte Fachbetriebe. Typische Produkte sind PTFE-Mikropulver und Regenerat für den Einsatz in der Ramextrusion.

Dagegen sind PTFE-Produkte nach Erreichen des Endes ihres Lebenszyklus oft mit verschiedenen anderen Stoffen verunreinigt. In diesen Fällen ist eine gesonderte Vorbehandlung erforderlich, um sie der Wiederverwendung zugänglich zu machen.

PTFE-Compounds enthalten Füllstoffe, die eine stoffliche Verwertung mit den bestehenden Methoden nur mit starken Einschränkungen ermöglichen.

3. Verwertung von PTFE und Fluorthermoplasten

Es gibt mehrere Wege der stofflichen Verwertung von vollfluorierten Fluorpolymeren:

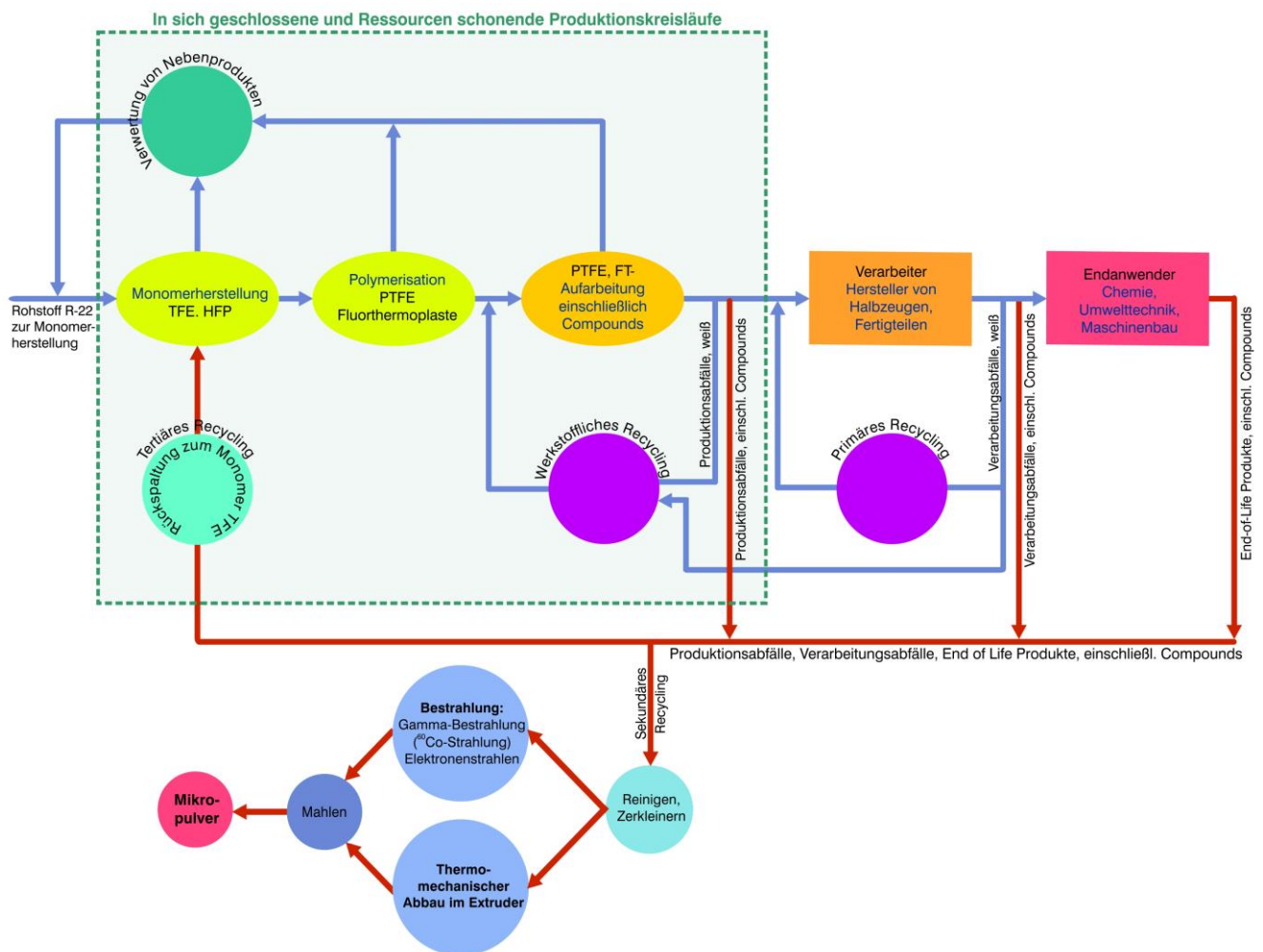


Abb. 1: Verwertungskreislauf von PTFE und Fluorthermoplasten

3.1 Primäres Recycling

Beim primären Recycling werden gesinterte PTFE-Abfälle gesammelt, sortiert, gereinigt und anschließend zu rieselfähigem Pulver gemahlen. Eine erneute Verarbeitung von bereits gesintertem PTFE ist nur durch gleichzeitiges Einwirken von Temperatur und Druck, also z.B. durch Ramextrusion möglich. Die physikalischen Eigenschaften (z.B. Reißfestigkeit und –dehnung, sowie Kaltfluss) dieses PTFE-Regenerats unterscheiden sich grundsätzlich von denen des virginalen PTFE. Die Unterschiede sind dem Merkblatt TM 04 zu entnehmen. Adressen von geeigneten Recyclingfirmen sind im Anhang aufgeführt.

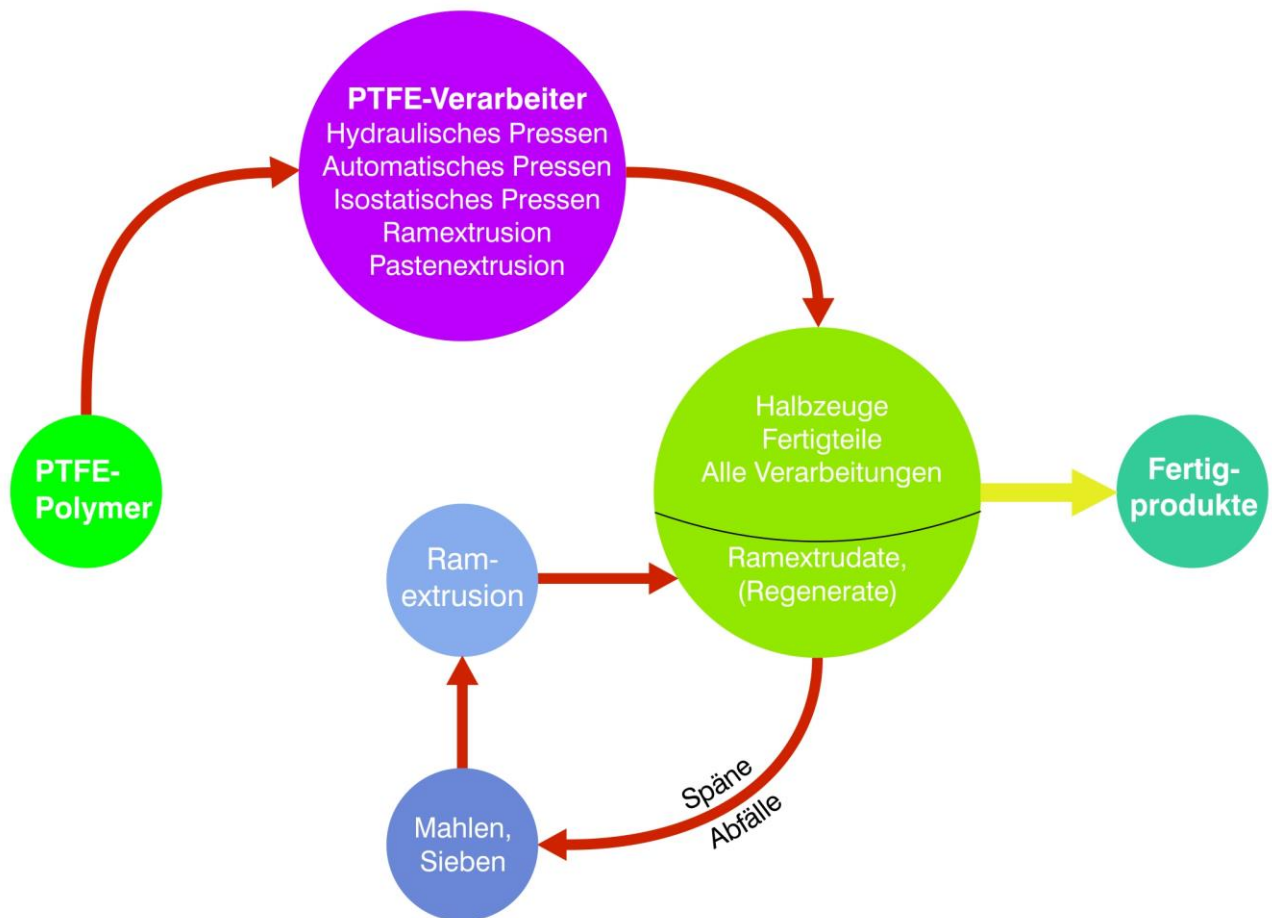


Abb. 2: Primärer Recyclingkreislauf

3.2 Sekundäres Recycling

Im Gegensatz zum primären Recycling findet beim sekundären Recycling ein Abbau von hochmolekularem PTFE zu PTFE-Mikropulver statt. Dies kann entweder durch thermomechanischen Abbau im Extruder oder durch Strahlenabbau mittels energiereicher Strahlung erfolgen. Typischerweise werden Strahlungsquellen aus dem Bereich der Medizintechnik eingesetzt:

- Gamma-Strahlung einer ^{60}Co -Quelle
- Elektronenstrahlung in Form von Beta-Strahlung

Bedingt durch diesen Prozess, bei dem die Molekülkette auf ca. 1% der ursprünglichen Kettenlänge verkürzt wird, ändern sich die Eigenschaften des abgebauten PTFE sehr stark. Die erhaltenen Produkte können für

übliche PTFE-Anwendungen nicht mehr eingesetzt werden. Vielmehr eignen sich die nach den vorgenannten Verfahren hergestellten PTFE-Mikropulver als Additiv für vielfältige Anwendungen. Hierzu zählen Zuschlagstoffe in:

- Nicht PTFE-Kunststoffen zur Verbesserung der Gleiteigenschaften
- Nicht PTFE-Kunststoffen zur Verbesserung der Verarbeitungseigenschaften
- Schmierstoffen zur Verbesserung der Schmiereigenschaften
- Elastomeren zur Verbesserung der Anti-Haft-Eigenschaften
- Drucktinten zur Reduzierung der Klebrigkeit / der Oberflächenverschmutzung
- Farben und Lacken zur Verbesserung der Verarbeitungs- und Anti-Haft-Eigenschaften

Das Verfahren der Bestrahlung ist so ausgereift, dass dadurch auch Zuschlagstoffe für Kunststoffe, die für den wiederholten Kontakt mit Lebensmitteln vorgesehen sind, hergestellt werden können (FDA-Zulassung).

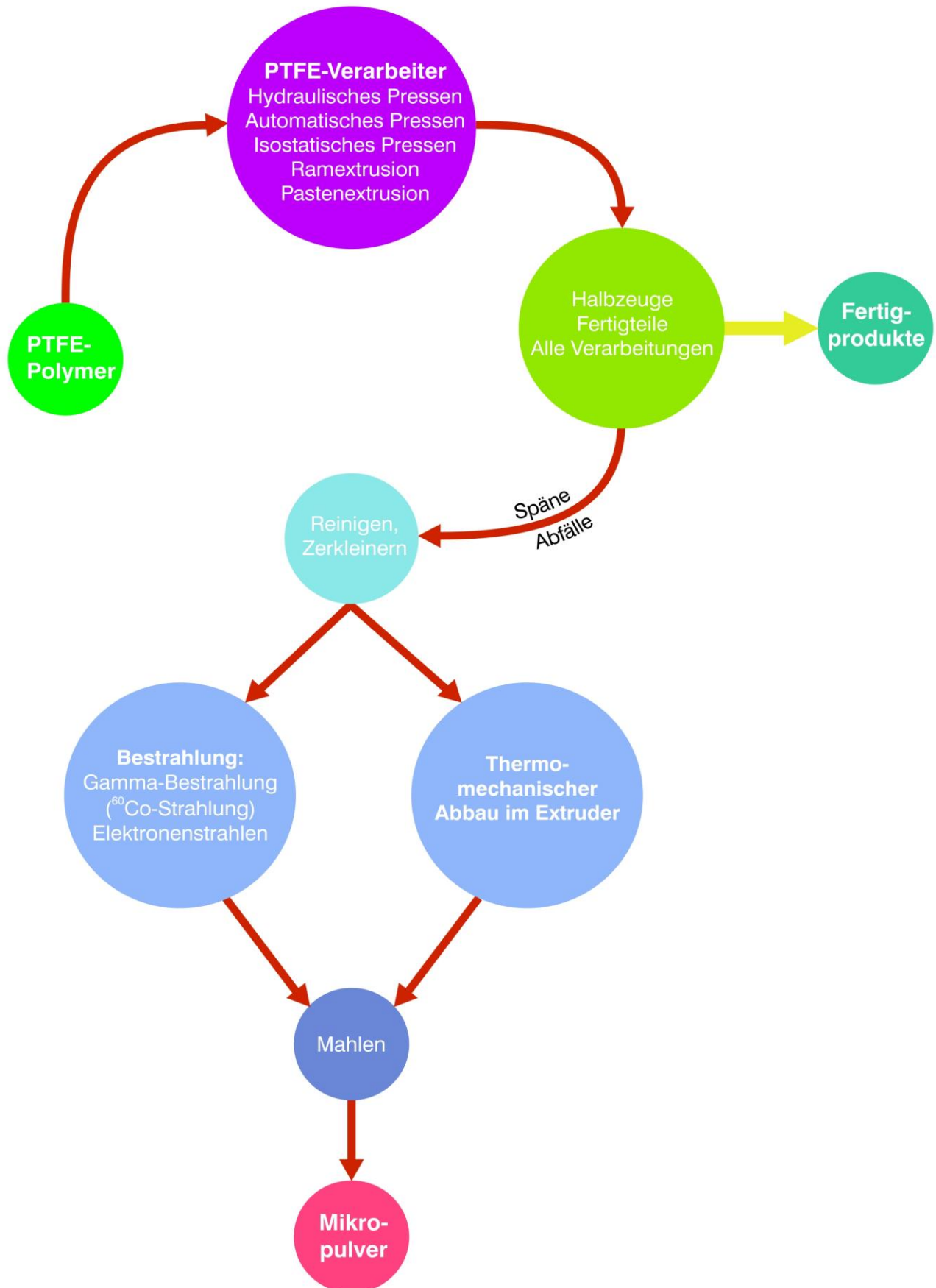


Abb.3: Sekundärer Recyclingkreislauf

3.3 Tertiäres Recycling, sogenanntes Up-Cycling

Bei diesem Verfahren handelt es sich um eine Pyrolyse von PTFE unter Inertgasatmosphäre, die in großer Ausbeute zu den Monomeren Tetrafluorethylen (TFE) und Hexafluorpropylen (HFP) führt.

Der Vorteil dieses Verfahrens besteht darin, dass nicht nur sortenreines PTFE, sondern auch vollfluorierte Thermoplaste wie PFA oder FEP eingesetzt werden können. Selbst Compounds, insbesondere solche mit mineralischen Füllstoffen, können bei diesem Verfahren recycelt werden.

Der Kreislauf wird geschlossen:

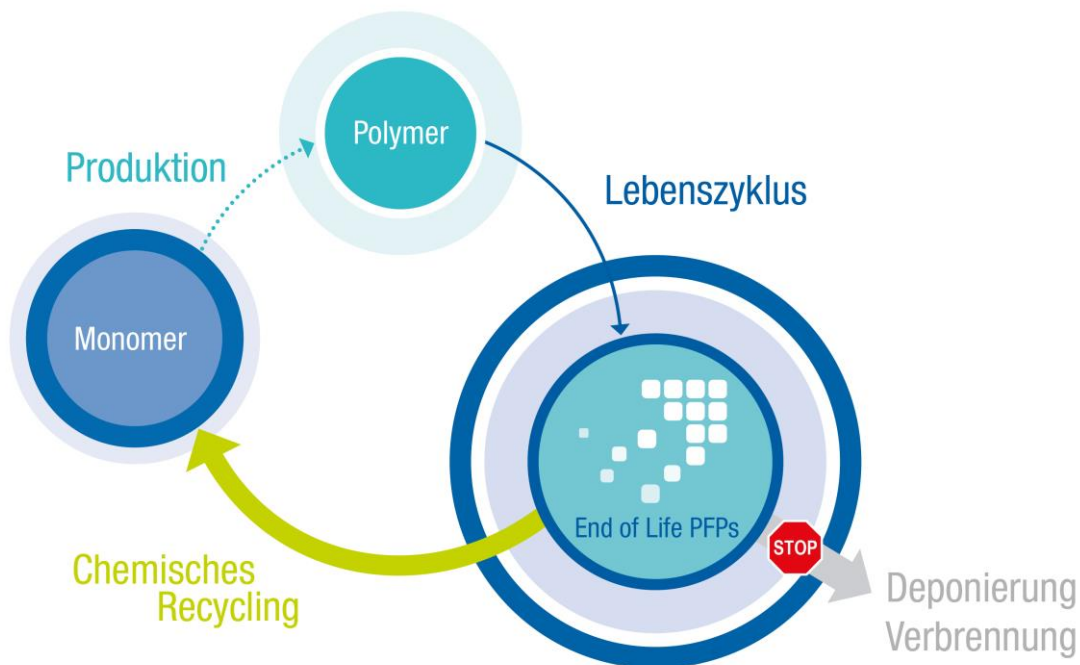


Abb.4: Up-Cycling Kreislauf

Da dieses Recyclingverfahren nur im Rahmen einer bestehenden Infrastruktur zur Aufarbeitung von Fluormonomeren betrieben werden kann, kommen hierfür ausschließlich entsprechend ausgerüstete Unternehmen in Frage.

4. Recycling von Fluorthermoplasten

Fluorthermoplaste mit einem Brennwert > 11.000kJ/kg müssen, wenn sie nicht stofflich verwertet werden können, der thermischen Verwertung zugeführt werden.

Für Fluorthermoplaste sind mehrere mögliche Varianten des primären Recyclings Stand der Technik. So werden beispielsweise bei der Folienproduktion die Randbeschnitte unmittelbar granuliert und erneut dem

Folienextruder zugeführt. An- und Abfahrmaterialien, die sich in den Eigenschaften vom Zielprodukt unterscheiden können, werden sortenrein gesammelt, granuliert, gereinigt und erneut der Thermoplastverarbeitung zugeführt. Das bedeutet, dass die daraus hergestellten Produkte nicht für alle Anwendungen geeignet sein können. Sie haben jedoch inzwischen ihren festen Platz am Markt gefunden. Hierzu zählen Schläuche und Haltevorrichtungen in den Bereichen Architektur und Kraftwerksbau.

Wenn aus verfahrenstechnischen oder sonstigen Gründen kein primäres Recycling für Fluorthermoplaste, wie z.B. PFA und FEP möglich ist, dann können sie dem tertiären Up-Cycling zugeführt werden.

5. REACH

REACH gilt nicht für Fluorpolymere, da Fluorpolymerprodukte per Definition Erzeugnisse und keine chemischen Stoffe sind. Dies gilt in gleicher Weise auch für PTFE-Mikropulver und Fluorpolymer-Rezyklate.

Nichtsdestotrotz ist es wichtig für einen Informationsaustausch mit den Rohstofflieferanten über REACH relevante Werkstoffeigenschaften zu sorgen.

6. Lager- und Transportverpackung

Mit Einführung der Verpackungsverordnung wurden die Inverkehrbringer seit 1991 verpflichtet, leere Verpackungen zurückzunehmen und zu verwerten.

7. Anhang

7.1 Firmen, die Recycling von Fluorkunststoffen durchführen:

7.1.1 Fluorthermoplaste, FTP:

Aturon GmbH
Parkweg 3
CH 9443 Widnau
Schweiz
Tel.: +41 (0) 71 351 47 61
www.aturon.ch

Trifluor Kunststoff GmbH
Am Langenhorster Bahnhof 18
D 48607 Ochtrup
Deutschland
Tel: +49 (0) 2553 93640
www.trifluor.de

7.1.2 Polytetrafluorethylen, PTFE:

Heroflon S.p.A.
Via de Gasperi 4
I 25060 Collebeato
Italien
Tel: +39 (0) 30 2511495
www.heroflon.com

Shamrock Technologies BVBA
Heersterveldeweg 21
B-3700 Tongeren
Belgien
Tel.: +32 (0)12 45 83 30
www.shamrocktechnologies.com

Mikro-Technik GmbH & Co.KG
Industriestrasse 4
D-63927 Bürgstadt
Deutschland
Tel.: +49 (0)9371 4005-43
Fax.: +49 (0)9371 4005-70
www.mikro-technik.com

United Polymer Mixers (U.P.M. Kunststoffen B.V.)
Ramgatsweg 14
NL-4941 VS Raamsdonksveer
Niederlande
Tel.: +31 (0)1625 14 945
www.upmkunststoffen.nl

7.2 Firmen, die Up-Cycling von PTFE und ausgewählten PTFE-Compounds sowie vollfluorierten Fluorthermoplasten durchführen:

Dyneon GmbH
Bau 172
Industrieparkstrasse 1
D-84508 Burgkirchen
Tel.: +49 (0)8679 74 709
www.3M.com

7.3 Brennwerte von Fluorpolymeren

PTFE:	5400 kJ/kg
PTFE Glascompound:	5020 kJ/kg

8. Glossar

Abfallbilanz

Die Abfallbilanz fasst die Art, Menge und den Verbleib von Abfällen zusammen, die innerhalb eines bestimmten Zeitraumes in einem begrenzten Gebiet angefallen sind. Abfallbilanzen können beispielsweise für einzelne Unternehmen, für Kommunen oder für Bundesländer erstellt werden. Das Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) schreibt vor, dass Abfallerzeuger eine Abfallbilanz erstellen müssen, wenn sie jährlich mehr als eine bestimmte Menge an besonders überwachungsbedürftigen oder überwachungsbedürftigen Abfällen eines Abfallschlüssels erzeugen.

Abfallverzeichnis-Verordnung (Verordnung über das Europäische Abfallverzeichnis)

Die Abfallverzeichnis-Verordnung (AVV) gibt die Bezeichnung von Abfällen sowie die Einstufung der Abfälle nach ihrer Gefährlichkeit vor. Zur Bezeichnung sind in den Anlagen der Verordnung (Abfallverzeichnis) Abfallarten und sechsstellige Abfallschlüssel aufgeführt. Die AVV setzt das Europäische Abfallverzeichnis in deutsches Recht um.

Abfallhierarchie

Ein zentraler Bestandteil des Kreislaufwirtschaftsgesetzes ist die fünfstufige Abfallhierarchie, die in Paragraph 6 geregelt ist. Die Vorgabe dazu wurde in der EU-Abfallrahmenrichtlinie festgelegt. Sie definiert, gemäß welcher Reihenfolge mit Abfällen umgegangen werden muss.

1. Vermeidung
2. Vorbereitung zur Wiederverwendung
3. Recycling
4. Sonstige Verwertung, insbesondere energetische Verwertung und Verfüllung
5. Beseitigung

Trotz der vermeintlich strikten Rangfolge muss bei der Auswahl der Maßnahmen immer die Option gewählt werden, die Mensch und Umwelt am besten schützt. Dabei sind auch technische, wirtschaftliche und soziale Gesichtspunkte zu berücksichtigen.

Für Diskussionen sorgen die Verwertungsunterscheidungen in den Stufen 2, 3 und 4 da im Einzelfall nicht immer klar ist, welche Option die beste ist. Da nicht für jede Abfallart die beste Verwertungsoption vorgegeben ist, gilt das sogenannte Heizwertkriterium als Übergangsregelung. Das bedeutet, dass die energetische Verwertung von Abfällen ab einem Heizwert von 11.000 kJ/kg als „ökologisch gleichwertig“ mit der stofflichen Verwertung angesehen und damit akzeptiert wird. Die Klausel hat in der Vergangenheit für viel Diskussion in der Branche geführt. Mitte 2016 hat die Bundesregierung angekündigt, die Klausel zu streichen. Nur noch in Ausnahmefällen soll die energetische vor der stofflichen Verwertung stehen dürfen.

Cradle to Cradle

Wörtlich bedeutet Cradle to Cradle „Von der Wiege zur Wiege“ und ist ein Designkonzept zur Herstellung. Die Idee dahinter ist, dass Produkte so hergestellt werden, dass sie am Ende ihres Gebrauchs entweder kompostiert werden oder wieder in ihre ursprünglichen Bestandteile zerlegt werden können. Diese sollen dann erneut in den Wirtschaftskreislauf eingebracht werden. Das Wort „Abfälle“ kommt in dem Cradle to Cradle-Prinzip nicht vor – alles wird entweder abgebaut oder neu eingesetzt.

Energetische Verwertung

Können Abfälle nicht mehr stofflich recycelt werden, dann ist die energetische Verwertung eine weitere Option. In diesem Fall wird der Abfall verbrannt und zur Energienutzung verwendet – in Form von Wärme oder Strom. Dies kann in Form von Ersatzbrennstoff (EBS) oder auch in einer Müllverbrennungsanlage geschehen. Das Kreislaufwirtschaftsgesetz zieht in seiner fünfstufigen Abfallhierarchie zunächst das Recycling der energetischen Verwertung vor. Hat jedoch der zu verbrennende Abfall einen Heizwert über 11.000 kJ/kg dann wird die energetische Verwertung auf eine Stufe mit dem Recycling gestellt. In Ausnahmefällen ist eine energetische Verwertung auch unterhalb des Heizwerts möglich: Wenn dadurch der Schutz von Mensch und Umwelt im Vergleich zu anderen Verwertungsoptionen besser gewährleistet ist.

Energieeffizienz

Die Energieeffizienz ist ein Maßstab für die Menge an Energie, die aufgewendet werden muss, um einen bestimmten Nutzen, z.B. die Kühlung der Lebensmittel in einem Kühlschrank, zu erreichen. Je weniger Energie nötig ist, um diesen Nutzen zu erreichen, desto energieeffizienter ist ein Vorgang bzw. ein Gerät. Seit 1998 kennzeichnet die Europäische Union die Energieeffizienz von Haushaltsgeräten durch das EU-Energielabel. 7/34 Erfassung

Europäische Abfallrichtlinie

Die Richtlinie 2008/98/EG über Abfälle von 2008 (Europäische Abfallrichtlinie) legt den Rechtsrahmen für den Umgang mit Abfällen von der Erzeugung bis zur Beseitigung in den Mitgliedstaaten der Europäischen Union fest. Die darin festgeschriebene fünfstufige Abfallhierarchie gibt die Prioritätenfolge im Umgang mit Abfällen vor: Vermeidung, Vorbereitung zur Wiederverwendung, Recycling, sonstige Verwertung (zum Beispiel energetische Verwertung) sowie Beseitigung.

Gefahrgut

Als Gefahrgut bezeichnet man Stoffe, Zubereitungen (Gemische, Gemenge, Lösungen) und Gegenstände, welche Stoffe enthalten, von denen aufgrund ihrer Natur, ihrer physikalischen oder chemischen Eigenschaften oder ihres Zustandes beim Transport bestimmte Gefahren für die öffentliche Sicherheit oder Ordnung. Insbesondere gilt dies für die Allgemeinheit, wichtige Gemeingüter, Leben und Gesundheit von Menschen, Tieren und anderen Sachen. Diese Güter sind aufgrund von Rechtsvorschriften als gefährliche Güter einzustufen.

Gewerbeabfallverordnung (GewAbfV)

Um die ordnungsgemäße Entsorgung von gewerblichen Siedlungsabfällen und von bestimmten Bau- und Abbruchabfällen sicherzustellen, trat im Jahr 2003 die Gewerbeabfallverordnung (GewAbfV) in Kraft. Unter gewerblichen Siedlungsabfällen werden Abfälle verstanden, die den Resten aus Haushalten ähneln, beispielsweise Abfälle aus Büros und Handwerksbetrieben, aber auch öffentlichen Einrichtungen wie Schulen, Kindergärten und Hotels. Die Verordnung schreibt zunächst vor, dass die Abfälle bei Gewerbebetrieben bereits an der Anfallstelle getrennt gesammelt werden müssen, damit eine möglichst hochwertige Verwertung möglich ist. Die Getrennthaltungspflicht betrifft Papier und Pappe, Glas, Kunststoffe, Metalle und biologisch abbaubare Abfälle. Eine Ausnahme von der Getrenntsammlung ist beispielsweise dann möglich, wenn die Abfallgemische nachweislich über eine Anlage sortiert und anschließend verwertet werden. Diese Anforderungen an diese Anlagen sind ebenfalls in der GewAbfV festgelegt, beziehungsweise wird auf die Entsorgungsfachbetriebeverordnung (EfbV) verwiesen.

Heizwert

Der Heizwert ist ein Maß für die Wärme, die bei Brennstoffen maximal nutzbar ist, ohne dass es im Abgas zu einer Kondensation des darin enthaltenen Wasserdampfs kommt. Der Wert ist massebezogen und wird häufig in Kilojoule pro Kilogramm angegeben. Umgangssprachlich wird auch von Energiegehalt gesprochen. Auf diese Bestimmung wurde sich geeinigt, da der Wert für technische Anwendungen geeignet ist, da in vielen Anlagen der Wasserdampf entweicht und so nicht zur Energiegewinnung genutzt werden kann. Weil sich der Heizwert oft schwer bestimmen lässt, wird häufig zunächst der Brennwert festgestellt. Dieser beschreibt die Wärmeenergie ohne die Berücksichtigung der Kondensation und liegt daher in der Regel über dem Heizwert. Anschließend wird der Brennwert um die sogenannte Verdampfungsenthalpie des Wassers gemindert. Meist liegt der Heizwert etwa 10 Prozent unter dem Brennwert. In der Abfallwirtschaft spielt vor allem das sogenannte Heizwertkriterium bei der Verbrennung von Abfällen eine Rolle. Denn das Kreislaufwirtschaftsgesetz zieht in seiner fünfstufigen Abfallhierarchie zunächst das Recycling der energetischen Verwertung vor. Hat jedoch der zu verbrennende Abfall einen Heizwert über 11.000 kJ/kg, wird die energetische Verwertung auf eine Stufe mit dem Recycling gestellt. Mitte 2016 hat die Bundesregierung jedoch angekündigt, die Klausel zu streichen.

Kreislaufwirtschaftsgesetz

Das Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) ist das elementare Bundesgesetz des Abfallrechts in Deutschland. Mit der Novelle vom 24.2.2012 wird die EU-Abfallrahmenrichtlinie in deutsches Recht umgesetzt und das bestehende deutsche Abfallrecht umfassend modernisiert. Ziel des Gesetzes ist eine nachhaltige Verbesserung des Umwelt- und Klimaschutzes sowie der Ressourceneffizienz in der Abfallwirtschaft durch Stärkung der Abfallvermeidung und des Recyclings von Abfällen. Kern ist eine fünfstufige Abfallhierarchie (Vermeidung, Vorbereitung zur Wiederverwendung, Recycling, sonstige Verwertung, Beseitigung). Abfällen. Kern ist eine fünfstufige Abfallhierarchie (Vermeidung, Vorbereitung zur Wiederverwendung, Recycling, sonstige Verwertung, Beseitigung).

Nachhaltigkeit

Der Begriff der Nachhaltigkeit wird in vielen Kontexten verwendet. Im Allgemeinen versteht man darunter die gleichberechtigte Berücksichtigung von ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Aspekten. Nachhaltiges Handeln zielt darauf ab, nicht nur für die Gegenwart, sondern auch für die Zukunft das Wohlergehen von Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft gleichermaßen sicherzustellen.

Ökobilanz

Eine Ökobilanz ist ein Instrument, mit dem die Umwelteinflüsse eines Produktes während seines gesamten Lebenszyklus aufgezeigt und die dadurch entstehenden Umweltbelastungen bewertet werden. Die Ökobilanz fungiert als Entscheidungsgrundlage für umweltorientierte Verbesserungsmaßnahmen innerhalb des Produktlebenszyklus. Sie spielt etwa bei der Auswahl und der Verwertungsform von Verpackungen eine wichtige Rolle.

Produktverantwortung

Die Produktverantwortung wurde in Deutschland erstmals 1991 durch die Verpackungsverordnung für einen Teilbereich des Abfallrechts eingeführt. Sie beschreibt die Verantwortlichkeit eines Produzenten oder Inverkehrbringers für den gesamten Lebenszyklus des Produkts – also von der Herstellung bis zur Entsorgung. Kernstück sind umfassende Rücknahme-, Verwertungs- und Pfandpflichten. Gemäß der

Verpackungsverordnung hat jedes Unternehmen, das Verkaufsverpackungen in Verkehr bringt, diese nach deren Gebrauch unentgeltlich zurückzunehmen und einer Verwertung zuzuführen. Durch das Kreislaufwirtschaftsgesetz wurde die Produktverantwortung als Grundvoraussetzung einer zielführenden Kreislaufwirtschaft bestimmt und auf alle Konsum- und Gebrauchsgüter ausgedehnt.

REACH; Verordnung zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe

Die Verordnung zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe ist eine Vorgabe der Europäischen Gemeinschaft zur Reformierung des Chemikalienrechts. Die Bezeichnung REACH leitet sich aus dem Englischen "Registration, Evaluation and Authorisation of Chemicals" ab. Die Verordnung ist seit dem 1. Juni 2007 in Kraft. Für die Registrierung gibt es je nach Stoff und Menge unterschiedliche Übergangsfristen. Bis spätestens 2018 müssen aber Hersteller und Importeure neue und rund 30.000 alte Chemikalien bei der "Agentur für chemische Stoffe" ECHA in Helsinki registrieren lassen. Abfälle sind von der Registrierung ausgenommen. Die Ziele von REACH sind laut EU die Verbesserung des Schutzes der menschlichen Gesundheit und der Umwelt vor möglichen chemikalienbedingten Risiken.

Recycling

Recycling bezeichnet die Wiedereinführung gebrauchter Materialien (u. a. Verpackungen) in den Stoffkreislauf. Dazu werden die Materialien gesammelt, sortiert und veredelt, um anschließend stofflich oder energetisch verwertet zu werden. Durch das Recycling können Ressourcen zur Herstellung neuer Produkte geschont und Abfälle vermieden werden.

Reduktionsverfahren

Das Reduktionsverfahren ist eine Methode der rohstofflichen Verwertung von Kunststoffabfällen, die zur Eisengewinnung eingesetzt wird. Dabei wird dem Eisenerz, das in einem Hochofen bei über 2.000 Grad geschmolzen wird, ein Kunststoffagglomerat zugeführt. Durch seinen Kohlenstoffgehalt entzieht der Kunststoff dem Eisenerz den Sauerstoff, wobei Roheisen entsteht. Der Kunststoffabfall kann auf diese Weise Schweröl ersetzen.

Regranulat

Thermoplastische Kunststoffe werden von den Herstellern an die kunststoffverarbeitende Industrie üblicherweise in Form von Granulat geliefert. Diese linsen- oder zylinderartigen Kunststoffteilchen sind rieselfähig und z.B. in Säcken leicht zu transportieren. Das Material wird als Regranulat bezeichnet, wenn es aus Altkunststoffen hergestellt wurde.

Rezyklat

Rezyklat ist ein Überbegriff für die Kunststoffe, die aus dem Recycling von Kunststoffabfällen gewonnen werden. Dazu zählen etwa Regranulate.

Rohstoffliche Verwertung

Bei der rohstofflichen Verwertung werden Altkunststoffe chemisch verändert und wieder in ihre enthaltenen Rohstoffe wie Öl, Methanol oder Kohlenmonoxid umgewandelt. Die so entstandenen chemischen bzw. petrochemischen Vorprodukte und Rohstoffe werden in Raffinerien oder Chemieanlagen wieder einem Stoffkreislauf zugeführt. Die bedeutendsten Verfahren der rohstofflichen Verwertung sind das Reduktionsverfahren und die Methanolerzeugung.

Sekundärrohstoffe

Rohstoffe, die durch Recycling wiedergewonnen werden und als Ausgangsstoffe für neue Produkte dienen, bezeichnet man als Sekundärrohstoffe. So werden in den Haushalten anfallende Verpackungen aus Glas, Papier, Kunststoffen, Aluminium, Weißblech und Verbundstoffen durch verschiedene Verwertungsverfahren wieder in den Produktionsprozess zurückgeführt.

Stoffliche Verwertung

Von einer stofflichen Verwertung wird gesprochen, wenn die Nutzung der stofflichen Eigenschaften der Abfälle angestrebt wird. Es werden also Sekundärrohstoffe hergestellt. Im Sprachgebrauch wird die stoffliche Verwertung auch als Recycling bezeichnet. Es kann zwischen der werkstofflichen und der rohstoffliche Verwertung unterschieden werden.

Bei der werkstofflichen Verwertung wird der Abfall als Wertstoff für ein neues Produkt genutzt, wie zum Beispiel für Kunststoffregranulate. Wird der Abfall chemisch in seine Bestandteile zerlegt und diese wieder als Rohstoffersatz genutzt, spricht man von rohstofflicher Verwertung.

Stofflich werden unter anderem Metalle, Kunststoffe, Glas und Papier verwertet. Dafür werden die Abfälle meist getrennt gesammelt oder in Behandlungsanlagen nachträglich sortiert. Je nach Abfallstoff, wird dieser dann so behandelt, dass er als Sekundärrohstoff wieder in der Produktion eingesetzt werden kann.

Gemäß der fünfstufigen Abfallhierarchie, ist die stoffliche Verwertung der energetischen Verwertung prinzipiell vorzuziehen. Um die stoffliche Verwertung weiter zu fördern, hat die Bundesregierung im (KrWG) seit Anfang 2015 eine Getrenntsammlungspflicht von Papier-, Metall-, Kunststoff- und Glasabfällen festgesetzt. Die Sammlung soll dann über die erfolgen. Noch ist das entsprechende Gesetz nicht fertig.

Up-Cycling

Von Up-Cycling wird gesprochen, wenn aus Abfallstoffen ein Produkt hergestellt wird, das einen höheren Wert und bessere Eigenschaften hat, als das Ursprungsprodukt – es kommt zu einer stofflichen Aufwertung. Nicht immer muss für das Up-Cycling der Abfallstoff aufwendig recycelt werden. Beim Up-Cycling werden Abfälle auch teilweise lediglich umfunktioniert. Ein Beispiel ist ein Kerzenhalter aus einer Bierflasche. Das Gegenteil von Up-Cycling ist das Downcycling. Hierbei ist es nicht möglich, das Abfallmaterial so zu bearbeiten, dass es als Sekundärrohstoff dieselbe Qualität hat, wie der ursprüngliche Primärrohstoff.

Verwertung

Vorschriften über die Verwertung von Abfällen sind im Kreislaufwirtschaftsgesetz geregelt. Grundsätzlich hat die Verwertung Vorrang vor der Beseitigung. Bei der Verwertung wird zwischen stofflicher und energetischer Verwertung unterschieden. Gemäß der fünfstufigen Abfallhierarchie hat die stoffliche Verwertung zunächst Vorrang vor der energetischen Verwertung. Insgesamt soll aber immer die umweltverträglichere Möglichkeit vorgezogen werden. Bei der stofflichen Verwertung unterscheidet man drei Formen:

- Die Substitution von (Primär-) Rohstoffen aus Abfällen, zum Beispiel Papierfasern aus Altpapier, Stahl aus Stahlschrott.
- die Nutzung der stofflichen Eigenschaften von Abfällen für den ursprünglichen Zweck wie die Herstellung von Schmieröl aus Altöl.
- die Nutzung der stofflichen Eigenschaften von Abfällen für andere Zwecke, beispielsweise Kompost aus organischen Abfällen als Bodenverbesserer.

Von energetischer Verwertung spricht man, wenn der Hauptzweck in der Energiegewinnung und nicht in der Beseitigung von schadstoffhaltigen Abfällen oder in der Volumenreduzierung liegt. Die Abfälle dienen dabei als Ersatz für herkömmliche Energieträger zur Strom- und Wärmeenergiegewinnung.

Verwertungsquoten

Die Verwertungsquoten geben den dualen Systemen je Materialart vor, wie viel Prozent der Masse aller beim privaten Endverbraucher anfallenden Verkaufsverpackungen, die bei ihnen lizenziert sind, einer stofflichen Verwertung zugeführt werden müssen. Die Quoten sind in der Verpackungsverordnung festgeschrieben.

Werkstoffliche Verwertung

Die werkstoffliche Verwertung von Abfällen verändert die verwendeten Stoffe chemisch nicht. Die Abfälle werden i.d.R. sortiert, gewaschen und aufbereitet. Die rückgeführten Stoffe können in den etablierten Produktionsprozessen wieder eingesetzt werden. In den Bereichen Papier/Pappe, Glas und Metalle wird schon seit Langem eine werkstoffliche Verwertung erfolgreich durchgeführt. Bei der werkstofflichen Verwertung von gebrauchten Kunststoffen entstehende durch Umschmelzen Rezyklate, zumeist Regranulate, die zur Herstellung neuer Produkte wie beispielsweise Pullover, Decken, Kleiderbügel oder Parkbänke verwendet werden. Gegenüber der rohstofflichen und thermischen Verwertung hat die werkstoffliche Verwertung entscheidende Vorteile. Wertstoffe sind Stoffe, die sich zu einer weiteren Verwertung eignen. In der Regel werden darunter Kunststoffe, Metalle, Papier, Verbunde, Textilien und Glas gezählt. In den vergangenen Jahren hat sich die Abfallwirtschaft immer mehr zu einer Wertstoffwirtschaft entwickelt.

Quellennachweis: UBA, BAUA, Alba-Group; reclay-group