

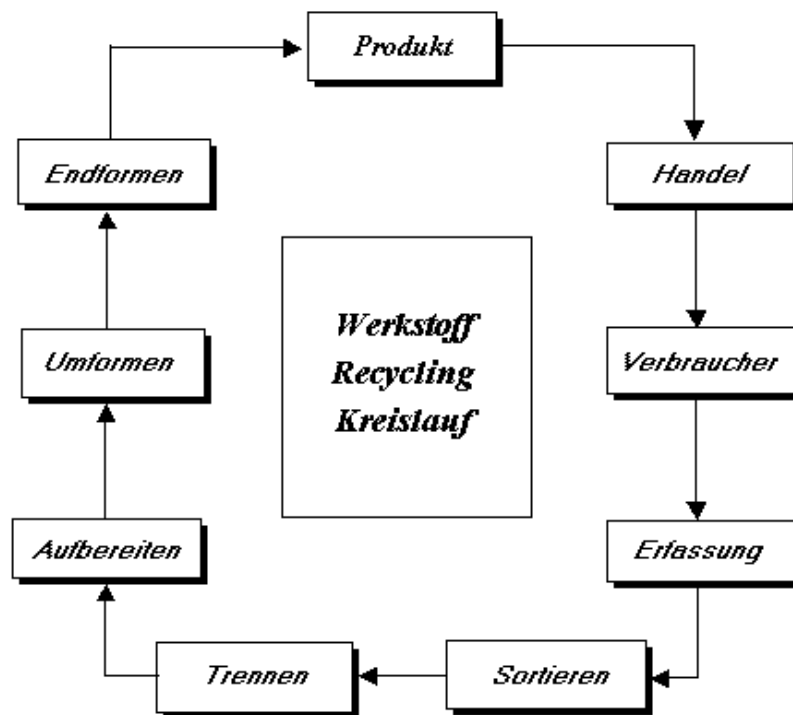
Die stoffliche und energetische Nutzung von Kunststoffabfällen

Dipl.-Ing. Helmut Schalles

Vortrag an den 9. Schweriner Wissenschaftstagen, 10.09.2004

Kunststoffe sind moderne Chemiewerkstoffe, die in großer Vielfalt für optimale Produktanwendung entwickelt wurden. In allen Bereichen der Technik und des täglichen Lebens sind Kunststoffe unentbehrlich geworden und bei sinnvoller Anwendung durch andere Werkstoffe nicht zu ersetzen.

Kunststoffe sind grundsätzlich recyclingfähig und haben auf Deponien nichts zu suchen! Wenn Kunststoffprodukte am Ende ihres Lebensweges ankommen, haben sie noch viel zu bieten. Kein anderes Material bietet so viele unterschiedliche Verwertungswege.



Das Recycling von Kunststoffen begann bereits in den 50-er Jahren mit dem Wiedereinsatz von Produktionsabfall. Die ersten positiven Versuche einer Wiederverwertung von verschmutzten Kunststoffabfällen, sortenrein und vermischt, wurden in den 70-er Jahren auf Basis der positiven Ergebnisse beim Produktionsabfall-Recycling durchgeführt. Das praktizierte Kunststoff-Recycling war damals eine ausschließlich werkstoffliche Verwertung, und es wurde ebenso ausschließlich nur in kleinen und mittelständischen Unternehmen aus rein wirtschaftlichen Gründen und nach marktwirtschaftlichen Prinzipien durchgeführt.

Die höchste Ausbeute an Erhalt von Werkstoff und gebundener Energie erbringt das werkstoffliche Recycling. Wo sich dieses Verfahren aus ökologischen und ökonomischen Gründen nicht einsetzen lässt, bietet das rohstoffliche Verfahren eine praktikable Alternative. Thermisch / energetische Abfallnutzung wie der Einsatz als Brennstoff in der Zementindustrie und in Heizkraftwerken oder auch die rohstoffliche Nutzung im Hochofen stellen eine endgültige Materialvernichtung dar, und sollten daher auch nur bei eindeutigem Ausschluss der sonstigen Verwertungsmöglichkeiten anstelle einer Deponierung verwendet werden.

Energiebilanz am Beispiel von LD-PE:

Ausgangswerte:	Heizwert (H_u) LD-PE	43 MJ/kg
	Heizwert (H_u) Heizöl	41 MJ/kg

LD-PE		43 MJ/kg
Energiebedarf (Ölförderung bis Granulat)	~	25 MJ/kg
Verarbeitung bis Endprodukt	~	<u>10 MJ/kg</u>
Energieäquivalent für Produkt aus LD-PE	~	78 MJ/kg

Thermische / energetische Nutzung

Input	~	78 MJ/kg	
Entsorgung + Prozessaufwand	~	<u>10 MJ/kg</u>	
Energieäquivalent	~	88 MJ/kg	
Output bei 65% NE vom Heizwert	~ +	28 MJ/kg	
Ressourcenverlust gegenüber Neuware	~ -	60 MJ/kg	entspr. - 1,5 ltr Heizöl

Werkstoff-Recycling

Input	~	78 MJ/kg	
Aufwand Entsorgung bis Regranulat	~	20 MJ/kg	
Verarbeitung bis Endprodukt	~	<u>10 MJ/kg</u>	
Energieäquivalent	~	103 MJ/kg	
Energieäquivalent abzgl. Neuware	~	30 MJ/kg	
Ressourcengewinn gegenüber Neuware	~ +	48 MJ/kg	entspr. + 1,2 ltr Heizöl

Recycling, und das gilt für alle Werkstoffe, beginnt bereits bei der Entwicklung eines Produktes, egal ob es sich dabei um ein technisches Produkt oder um eine Verpackung handelt. Der werkstoffgerechte Einsatz unter Berücksichtigung der Produktwege entscheidet schon zu Beginn über die Qualität einer späteren Wiederverwertung oder Wiederverwendung, denn:

Der Verwertungsgrad eines Produktes verhält sich proportional zu dem Grad seiner Nachhaltigkeit.

Die Qualität des Recyclings orientiert sich an der Art der Erfassung, dem Typ des zu verwertenden Kunststoffes, der Sortenreinheit, der Sauberkeit und der vorgesehenen Produktanwendung.

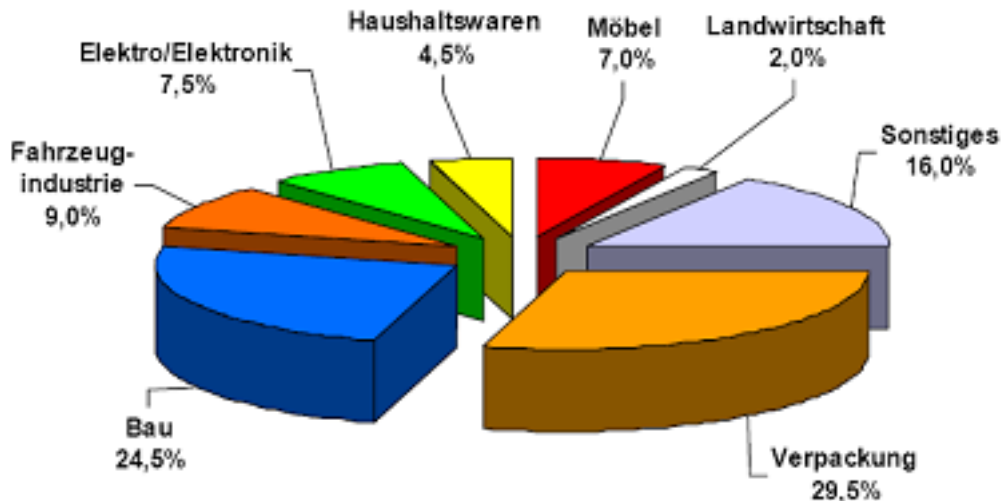
Bevor das eigentliche Thema behandelt wird, sind zum besseren Verständnis einige Basisinformationen erforderlich.

2003 wurden weltweit ca. 202 Mio. to. Kunststoffe hergestellt,

- davon in Westeuropa 52,25 Mio to und
- wiederum davon 16,8 Mio to in Deutschland. (= ca. 8,5% der Weltproduktion)

2003 betrug der Verbrauch an Kunststoff-Werkstoffen in Westeuropa ca. 34,435 Mio to ,

- davon in Deutschland 7,975 Mio to (= ~ 99 kg/Kopf) Quelle: VKE. April 2004
- - Im-/Export-bereinigt 8,9 Mio to (= ~ 110 kg/Kopf) Quelle: VKE/Consultic 9/04



Einsatzgebiete von Kunststoffen

Quelle: VKE/Widat

Die Menge an registrierten Kunststoffabfällen betrug 2003 in Westeuropa rund 21,15 Mio to, davon wurden 8,25 Mio to (= ~ 39 %) verwertet.

- 4,75 Mio t (= 22,5 %) energetisch
- 3,06 Mio t (= 14,5 %) werkstofflich
- 0,33 Mio t (= 1,6 %) rohstofflich Quelle: PlasticsEurope / VKE - April 2004

In Deutschland ergab sich 2003 ein Kunststoff-Abfallaufkommen von 4,0 Mio to, davon wurden 2,3 Mio to (= 58,4 %) verwertet.

- 0,59 Mio to (= 14,7 %) energetisch
 - 1,35 Mio to (= 33,7 %) werkstofflich
 - 0,40 Mio to (= 10,0 %) rohstofflich Quelle: VKE / Consultic – Sept. 2004
-

Kunststoffe sind für den jeweiligen Anwendungszweck maßgeschneiderte Chemiewerkstoffe. Dieser Vorteil ihrer Anwendung ist auch gleichzeitig der Nachteil bei der Wiederverwertung. Vielfach werden Produkte aus unterschiedlichen Kunststoffen gemeinsam erfasst (z. B. Leichtverpackungen im DSD), häufig handelt es sich um Verbundwerkstoffe, bei denen unterschiedliche Kunststoffe in Lagen miteinander verbunden sind, um z.B. bei Sperrschichtfolien die Eigenschaften der einzelnen Werkstoffe zu kombinieren. Häufig sind die Sortier- und Trennmöglichkeiten über die Dichte oder das elektrostatische Verhalten, das thermische Verhalten oder die Optik nur bedingt gegeben, sodass aufwändige Prozesse erforderlich sind, die dann wiederum die Wirtschaftlichkeit in Frage stellen.
Nachhaltige Ökologie ist auch beim Recycling leider ohne Ökonomie nicht machbar !

Kunststoffe können auf drei unterschiedliche Arten verwertet werden:

Werkstoff-Recycling

- ist die mechanische Aufbereitung von gebrauchten Kunststoffprodukten. Die chemische Struktur bleibt unverändert.

Die Altprodukte werden zerkleinert, ggf. gereinigt und nach Sorten getrennt.

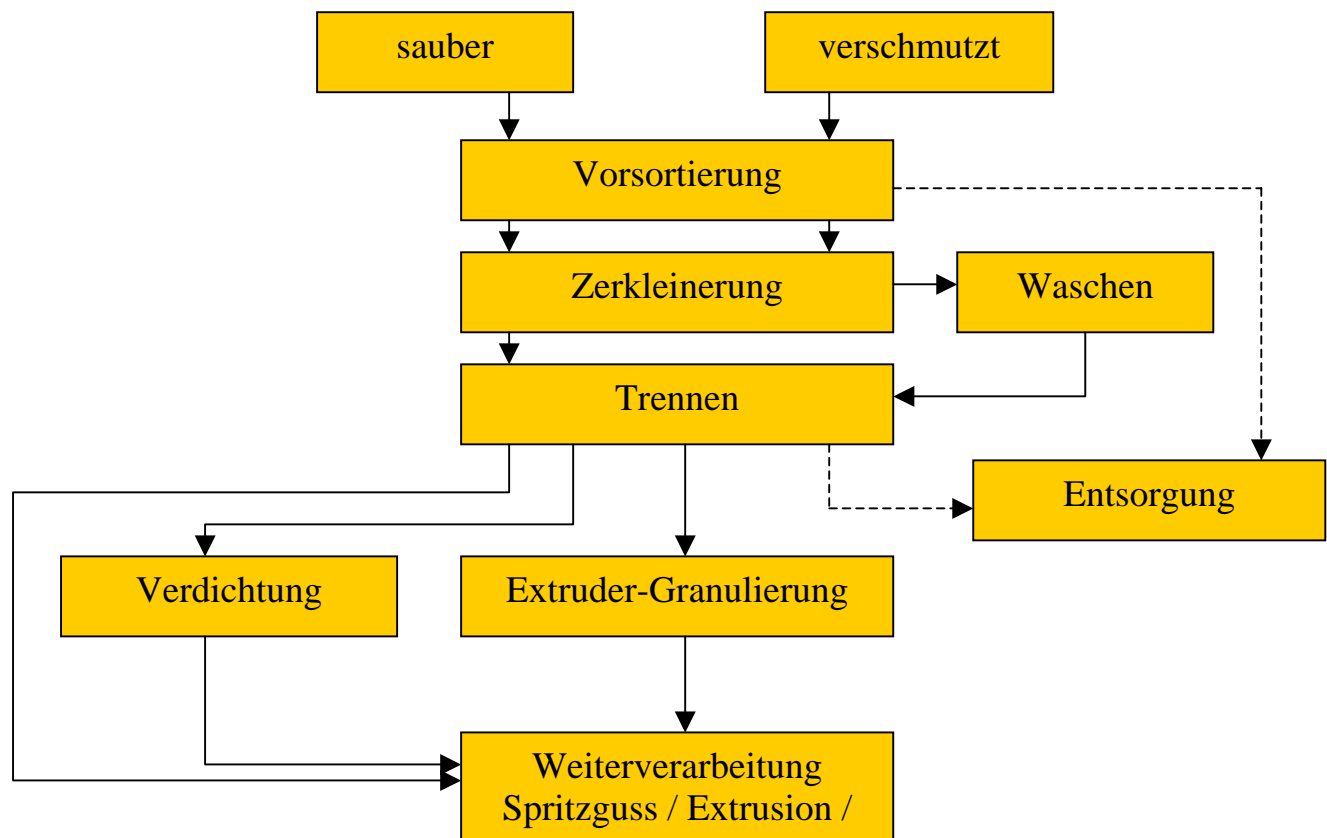
Werkstoffliches Recycling von Kunststoffen konzentriert sich in erster Linie auf die Thermoplaste. Duroplaste lassen sich im werkstofflichen Bereich nur als Füllstoffe mit gezielten Eigenschaften nutzen.

Beim Wiederaufbereiten von Thermoplasten müssen die Abfälle in folgende Kategorien eingeteilt werden, die eine teilweise unterschiedliche Aufbereitungs- und Verfahrenstechnik erfordern :

- 1.) sortenreine Abfälle
- 1.1.) sauber
- 1.2.) verschmutzt
- 2.) vermischte, sortierfähige Abfälle
- 2.1.) sauber
- 2.2.) verschmutzt
- 3.) vermischte, nicht sortierfähige Abfälle
- 3.1.) sauber
- 3.2.) verschmutzt

Letztendlich entscheidet beim werkstofflichen Recycling das vorgesehene, herzustellende Produkt und seine Wirtschaftlichkeit über den Rohstoff und die einzusetzende Technik

Als Beispiel für die Verfahrenstechnik sollen die Arbeitsschritte für die Aufbereitung von vermischtem und sortierfähigem Kunststoffabfall dienen.



	ABS	ASA	PA	PBT	PBT+PC	PC	PC+ABS	PC+PBT	PE	PET	PMMA	POM	PP	PPO	PPO+PS	PS	PVC	SAN	TPU
ABS	V	V	BV	V	V	V	V	V	BV	BV	V	BV	BV	BV	BV	BV	V	V	V
ASA	V	V	BV	V	V	V	V	V	BV	BV	V	BV	BV	BV	BV	BV	V	V	V
PA	BV	BV	V	BV	BV	U	U	U	BV	BV	BV	BV	BV	U	BV	BV	U	BV	V
PBT	V	V	BV	V	V	V	V	V	BV	BV	BV	BV	BV	BV	BV	BV	U	V	BV
PBT+PC	V	V	BV	V	V	V	V	V	BV	BV	BV	U	BV	BV	BV	BV	U	V	V
PC	V	V	U	V	V	V	V	V	BV	V	V	U	BV	BV	BV	BV	U	V	BV
PC+ABS	V	V	BV	V	V	V	V	V	BV	V	V	BV	BV	BV	BV	BV	U	V	V
PC+PBT	V	V	U	V	V	V	V	V	BV	V	V	BV	BV	BV	BV	BV	U	V	V
PE	U	U	BV	U	U	BV	U	U	V	U	U	U	V	U	BV	U	BV	U	BV
PET	V	V	BV	V	V	V	V	V	BV	V	BV	BV	BV	BV	BV	BV	U	V	BV
PMMA	V	V	BV	BV	BV	V	V	V	BV	BV	V	U	BV	BV	BV	BV	BV	V	BV
POM	BV	BV	BV	BV	BV	U	U	U	BV	BV	U	V	BV	BV	BV	BV	BV	BV	BV
PP	U	U	BV	U	U	U	U	U	BV	U	U	U	V	U	BV	U	BV	U	BV
PPO	BV	BV	BV	BV	BV	BV	BV	BV	BV	BV	BV	BV	BV	V	V	V	U	BV	BV
PPO+PS	BV	BV	V	BV	BV	BV	BV	BV	BV	BV	BV	BV	BV	V	V	V	U	BV	BV
PS	BV	BV	BV	BV	BV	BV	BV	BV	BV	BV	BV	BV	BV	V	V	V	BV	BV	BV
PVC	V	V	U	U	U	U	U	U	BV	U	V	V	BV	U	BV	BV	V	V	V
SAN	V	V	BV	V	V	V	V	V	BV	BV	V	BV	BV	BV	BV	BV	V	V	BV
IPU	V	V	V	BV	V	V	V	V	BV	V	V	V	BV	BV	BV	BV	V	V	V
V = verträglich BV = bedingt verträglich U = unverträglich																			
horizontal = Überschubkomponente																			
vertikal = Mischungskomponente																			
															compatib.wps				

Verträglichkeit von Kunststoffen untereinander

Verschiedene Kunststoffe sind miteinander verträglich und können zusammen aufgeschmolzen und verarbeitet werden. Verträglichkeiten werden häufig dazu genutzt, sogenannte Compounds mit besonderen Eigenschaften herzustellen. Dazu werden heute auch bereits Rezyklate eingesetzt.

Aufgrund der erforderlichen Investitionen in das werkstoffliche Recycling ist für einen wirtschaftlichen Betrieb die kontinuierliche Verfügbarkeit der jeweiligen Kunststoffabfälle erforderlich.

Rohstoff-Recycling

- ist die Spaltung der Polymerketten z.B. durch Einwirkung von Wärme.

Die dabei entstehenden Produkte sind Monomere oder petrochemische Grundstoffe wie Öle und Gase, die zur Herstellung neuer Kunststoffe oder auch anderer Chemieprodukte eingesetzt werden können. Allerdings können die gewonnenen Öle und Gase auch energetisch genutzt werden, in der Regel mit höheren Nutzeffekten gegenüber der normalen „klassischen“ Verbrennung.

Das Rohstoff-Recycling sollte ausschließlich für vermischte und auch verschmutzte Kunststofffraktionen verwendet werden, die für ein werkstoffliches Recycling nicht in Frage kommen.

Z.B. lassen sich nicht alle Kunststoffverpackungen aus dem „gelben Sack“, insbesondere die sogenannten Verbunde, ökoeffizient zu neuen Produkten verarbeiten, jedoch sind sie, wie andere Kunststoff-Mischfraktionen auch, hervorragend für die Erzeugung von Synthesegas geeignet. Der Aufwand ist allerdings beträchtlich.

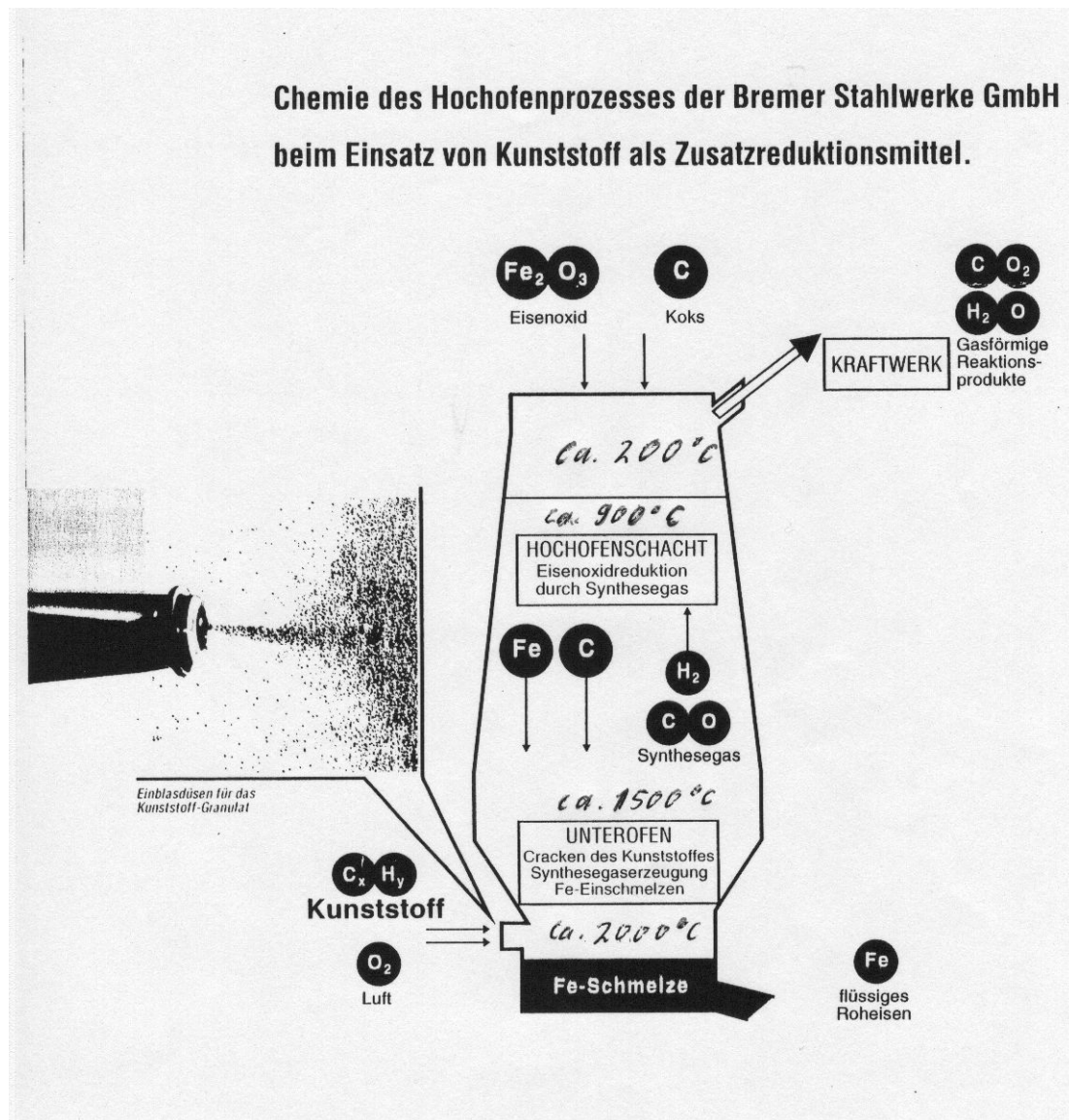
Zunächst wird die Kunststofffraktion zerkleinert und meist auch gewaschen, um einen unnötigen Schmutzeintrag in den Vergasungsprozess zu vermeiden.

Wenn keine Rieselfähigkeit des Mahlgutes gegeben ist, wird das Material agglomeriert bzw. brikettiert. Die darauf folgende Vergasung kann nach unterschiedlichen Techniken erfolgen. Wenn Schwelprozesse zum Einsatz kommen, ist das Schmelzverhalten der Thermoplaste zu berücksichtigen (Gefahr des Löschens der Schwelglut).

Als bekanntes Beispiel zählt hier die SVZ - Sekundärrohstoff-Verwertungszentrum Schwarze Pumpe GmbH, die aus Synthesegas – gewonnen aus Kunststoffen, aber auch anderen organischen Fraktionen – Methanol herstellt.

Die Wirtschaftlichkeit des Prozesses in Verbindung mit der Methanol-Vermarktung wirft allerdings durch die Insolvenz des Unternehmens gewisse Fragen auf.

Neben rein chemischen Verfahren, in denen die Kunststoffabfälle nach unterschiedlichen Methoden (Hydrierung, Hydrolyse, Pyrolyse, Thermolyse, Vergasung etc.) bis in ihre Grundmoleküle zerlegt werden, wird auch die Kunststoffverwertung im Hochofenprozess als Ersatz für Schweröl zum Zwecke der Reduktion als rohstoffliche Verwertung im Sinne einer Kreislaufwirtschaft anerkannt.



Für die rohstoffliche Verwertung im Hochofenprozess empfehlen sich prozessbedingt alle Kunststoffe mit hohem Anteil von Kohlenstoff (C) und Wasserstoff (H). Halogenhaltige Kunststoffe (- z.B. PVC, PTFE etc. -) sollten aus korrosiven Gründen vermieden werden. Ebenfalls nicht ideal scheint der Einsatz von Kunststoffen mit hohem Sauerstoffanteil, da der Kohlenstoff möglichst ausschließlich für die Reduktion des Erzes zur Verfügung stehen sollte.

Energetische Verwertung

- ist die Rückgewinnung der im Kunststoff enthaltenen Energie.

Bei der energetischen Verwertung ersetzen Kunststoffabfälle fossile und andere Brennstoffe in der Industrie oder in Kraftwerken bei der Erzeugung von Strom und Wärme. Der Energiegehalt von nicht besser verwertbaren Kunststoffen kann so zur Einsparung von Kohle, Öl oder Gas beitragen.

Kunststoffe stellen die höchste Form gebundener Energie dar:

Heizwerte (H_u = unterer Heizwert):

Steinkohle	26 - 29 MJ/kg (Asche 13,5%)
Braunkohle	8 - 20 MJ/kg (Asche 3 - 13%)
Heizöl	41 MJ/kg (Asche 0,1%)
BRAM = Brennstoff aus Müll	16 - 18 MJ/kg (Asche 16 - 25%)
BRAP = Brennstoff aus Papier	13 - 17 MJ/kg (Asche 4,6%)
Hausmüll	ca. 8 MJ/kg (Asche 25 - 33%)
Holz	15 MJ/kg (Asche 0,05%)
Altöl	35 - 42 MJ/kg (Asche 0,1-1,3%)
Altreifen	27 - 34 MJ/kg (Asche 12 - 18%)
Polyolefine	42 MJ/kg
Polystyrol	40 MJ/kg
PVC - Polyvinylchlorid	18 MJ/kg

Energetische Verwertung ist allerdings auch Materialvernichtung und in der Energiebilanz eindeutig schlechter als stoffliche Verfahren.

Seit 1998 ist die energetische Verwertung grundsätzlich für Kunststoffverpackungen zugelassen, sofern keine höherwertige stoffliche Verwertung zur Verfügung steht.

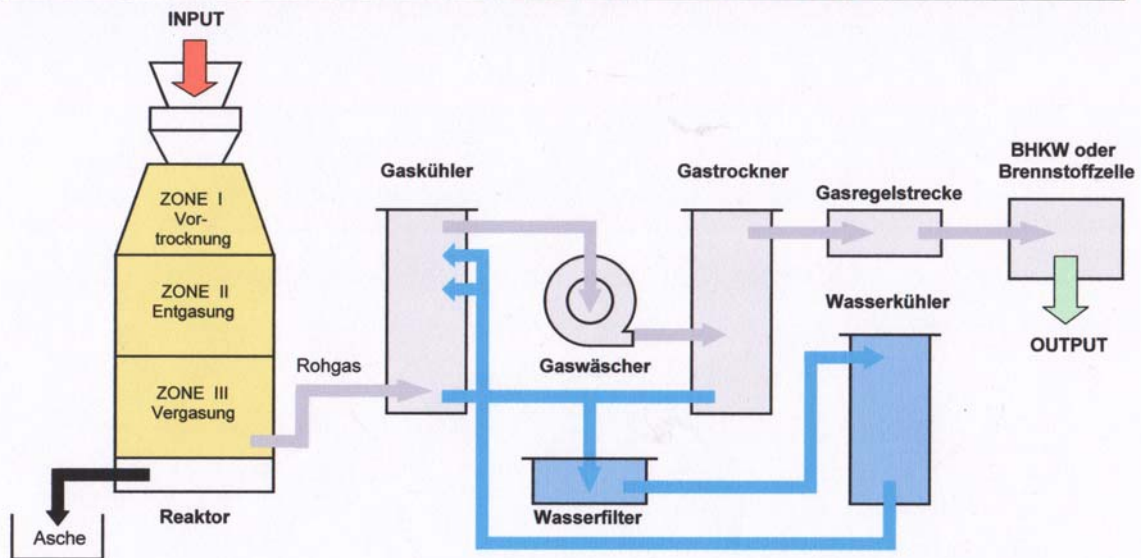
In 2003 sind rund 10.000 Tonnen davon (entspr. 2 % der Gesamtmenge) energetisch verwertet worden.

Nach europäischem und deutschem Recht ist die Verbrennung von Abfällen in einer MVA keine Verwertung. Allerdings ist die energetische Verwertung auch nicht an bestimmte Anforderungen an den Abfall gebunden. Es zählt die Tatsache des Ersatzes von Primärenergie. Für ein Vergasungsverfahren, bei dem ohne Einsatz von Primärenergie aus Abfällen elektrische und thermische Energie gewonnen wird, ist damit die energetische Verwertung bestätigt.

In den letzten Jahren sind bekannte Vergasungstechniken systematisch und mit großem Erfolg weiterentwickelt worden. Kleinere Einheiten in Kombination mit BHKW's erlauben einen dezentralen und wirtschaftlichen Betrieb mit hohen Gesamtwirkungsgraden .

Ein klassisches Beispiel dieser Technologie ist der Festbett-Schachtvergaser, bei dem die Vergasung nach dem Mehrzonenverfahren erfolgt. Es handelt sich hierbei um eine Kombination aus dem absteigenden und aufsteigenden Vergasungsverfahren bei geringem Unterdruck.

VERFAHRENSSCHEMA VERGASUNGSANLAGE MIT ENERGETISCHER NUTZUNG



Quelle: UBB Magdeburg

Die Leistung des Vergasers wird über die Gasabnahme geregelt. Durch den Unterdruckbetrieb ist nicht mit schädlichen Emissionen zu rechnen.

Der Gesamtwirkungsgrad der Verwertungsanlage beträgt nach Aussage des Herstellers mehr als 87 % und liegt damit wesentlich über dem von klassischen Verbrennungsanlagen und anderen bekannten Verfahren. Die Energieerzeugung ist sowohl über BHKW als auch über Brennstoffzellen realisierbar.

Unter ökologischen und ökonomischen, d.h. ökoeffizienten, Gesichtspunkten ist ein Verwertungsmix aus allen drei Verwertungsverfahren – werkstofflich, rohstofflich, energetisch – sinnvoll, um eine optimale Ressourcenschonung bei niedrigen Gesamtkosten zu erzielen.

Der Nachhaltigkeitswert einer Industriegesellschaft lässt sich an dem Grad ihrer Abfallverwertung erkennen. In 2003 wurden nach Angabe des Verbandes der Kunststoffhersteller *PlasticsEurope* (vormals VKE) in Europa rund 21,5 Mio Tonnen an Kunststoffabfällen erfasst. Davon wurden ca. 8,25 Mio Tonnen verwertet, entsprechend einer Verwertungsquote von knapp 39 %. (2002 = 37,9 %).

Dipl.-Ing. Helmut Schalles VDI

IKR Ingenieurbüro für Kunststoffverarbeitung und Recycling

Franziskanerstr. 17, D – 51491 Overath

Tel.: 02206 – 902295

Fax.: 02206 – 902297

Internet: <http://www.ikr-schalles.de>

Email: schalles@ikr-schalles.de