

**Kurzfassung der Ergebnisse des UFOPLAN-Vorhabens
„Verwertungspotenziale von Kunststoffabfällen (Nicht-Verpackungen) aus Gewerbe
und Privathaushalten“
FKZ 200 33 327**

1 Zusammenfassung der Ziele

Kunststoffabfälle entstehen bei der Erzeugung der Kunststoffformmassen, bei deren Verarbeitung zu Halbzeugen und Fertigerzeugnissen und nach Nutzung dieser Produkte. Die Abfallverwertungsquoten in den einzelnen Verursacherbereichen differieren stark voneinander. Während in den Bereichen der Produktion und der Verarbeitung von Kunststoffen die Abfallverwertungsquoten bei etwa 90 % liegen, wurden und werden Post-Consumer-Abfälle aus den Bereichen gewerblicher Endverbrauch und Haushalt zu höchstens 50 % verwertet. Fast 95 % der insgesamt in Deutschland beseitigten Kunststoffabfälle (2001: 1,6 Mio. t) stammten aus den beiden Abfallbereichen des gewerblichen und privaten Endverbrauchs.

Diese aus Umweltsicht unbefriedigende Situation hat das UBA bewogen, das o. a. Vorhaben in den UFOPLAN 2000 aufzunehmen. Die Ziele des Vorhabens bestanden darin, das mengenmäßige Aufkommen und die qualitative Beschaffenheit der Kunststoffabfälle hinreichend genau zu beschreiben, für eine Verwertung geeignet erscheinende Kunststoffabfallfraktion zu bestimmen und Verwertungsoptionen zu benennen. In einer ökobilanziellen Betrachtung sollten die Umweltauswirkungen verschiedener Verwertungsalternativen für bestimmte Kunststoffabfallströme berechnet werden.

Die Auswertung der Ökobilanzergebnisse war gemäß ISO 14043 und der UBA-Methode „Bewertung in Ökobilanzen“ durchzuführen. Sie sollte, bei gleichzeitiger Daten- und Konsistenzprüfung, die Ergebnisse aus Sachbilanz und Wirkungsabschätzung über alle untersuchten Szenarien zusammenführen. Für die Rangbildung sollte die Methode der verbalargumentativen Bewertung angewendet und die Wirkungskategorien gemäß dem Vorschlag des UBA zur Hierarchisierung von Wirkungskategorien gegeneinander abgewogen werden. Im Ergebnis sollten Empfehlungen für die aus Umweltsicht zu präferierenden Entsorgungsvarianten der jeweils betrachteten Kunststoffabfallströme gegeben werden.

Die im Rahmen der Ökobilanz für die betrachteten Abfallfraktionen abgebildeten Verwertungswege sollten schließlich mit ökonomischen Daten hinterlegt werden, d. h. den erforderlichen Prozessschritten sollten Kosten und Erlöse zugeordnet werden. Ziel dieses Arbeitspaketes war es, stoffliche und energetische Verwertungsverfahren hinsichtlich der erforderlichen ökonomischen Aufwendungen miteinander und mit dem Referenzsystem MVA vergleichen zu können.

Abschließend waren die Auftragnehmer aufgefordert, aus den Ergebnissen aller Teilberichte, insbesondere aber der Ökobilanz und der ökonomischen Betrachtung, zusammenfassende Schlussfolgerungen zu ziehen.

Der Aufgabenstellung folgend, gliedert sich das Gesamtvorhaben in sieben Teilberichte und den Bericht des Critical-Review-Panels:

- Teilbericht 1: Darstellung der Aufkommens- und Entsorgungswege für den Bezugszeitraum 1999
- Teilbericht 2: Prognosemodelle zur Entwicklung des Kunststoffabfallaufkommens bis zum Jahr 2010 (Hochrechnung)
- Teilbericht 3: Verwertungsoptionen und Begründung der Auswahl der in Teilbericht 4 zu untersuchenden Kunststofffraktionen
- Teilbericht 4: Ökologische Betrachtung von potenziellen Verwertungswegen
- Teilbericht 5: Auswertung der Ökobilanzergebnisse
- Bericht des Critical-Review-Panels
- Teilbericht 6: Ökonomische Betrachtung potenzieller Entsorgungswege
- Teilbericht 7: Schlussfolgerungen (der Auftragnehmer)

2 Ergebnisse des Vorhabens

Die wesentlichen Ergebnisse der einzelnen Teilberichte lassen sich wie folgt zusammen fassen:

Teilbericht 1: Darstellung der Aufkommens- und Entsorgungswege für den Bezugszeitraum 1999

Für die Bearbeitung des Gesamtvorhabens war es unverzichtbar, zunächst Basisdaten über die Erzeugung und den Verbrauch sowie über die Verwertung und Beseitigung von Kunststoffabfällen zu ermitteln. Für die wichtigsten Kunststoffe bzw. Kunststoffgruppen (insgesamt neun; ohne DSD-Abfälle) wurde deshalb die Aufkommens- und Entsorgungssituation in den Bereichen Kunststofferzeugung, Kunststoffverarbeitung, gewerblicher Endverbrauch und privater Endverbrauch beschrieben.

Zur Datenerhebung wurde auf Produktions- und Verbrauchsstatistiken des Statistischen Bundesamtes und von Kunststoffverbänden sowie auf Daten und Informationen der Deutschen Gesellschaft für Kunststoffrecycling und von Kunststoffverwertern zurück gegriffen. Abfallanalysen wurden im Rahmen des Projektes nicht vorgenommen, stattdessen wurden vorliegende Abfallanalysen aus dem Bezugszeitraum 1999 genutzt, die teilweise durch den Auftragnehmer selbst, teilweise durch Dritte erstellt wurden.

Bezüglich des mengenmäßigen Aufkommens, der Verwertung und der Beseitigung von Abfällen in den untersuchten Anfallbereichen sind dem Bericht folgende zentrale Aussagen zu entnehmen:

Im Berichtszeitraum fielen insgesamt ca. 3.060 kt Kunststoffabfälle an. Etwa 60 kt Abfälle stammten aus der Kunststofferzeugung und 900 kt aus der Kunststoffverarbeitung. Aus den Bereichen gewerblicher Endverbrauch und private Haushalte resultierten insgesamt rund 2.100 kt (1.200 kt Gewerbe, 900 kt Haushalte). Verwertet wurden 1999 davon etwa 500 kt Abfälle aus gewerblichem Anfall und rund 90 kt aus Privathaushalten. Im Post-Consumer-Bereich waren damit Verwertungsquoten von nur etwa 42% bzw. 10% realisiert.

Teilbericht 2: Prognosemodelle zur Entwicklung des Kunststoffabfallaufkommens bis zum Jahr 2010 (Hochrechnung)

Die angestellten Hochrechnungen beziehen sich nur auf die Post-Consumer-Abfallmengen. Verarbeitungs- und Produktionsabfälle wurden in die Betrachtung nicht mit einbezogen. Es wurde davon ausgegangen, dass in diesen Bereichen trotz steigender Produktion auf Grund kontinuierlicher Verbesserungen der Verarbeitungsprozesse die Abfall- und Ausschussmengen weiter gesenkt werden können.

Die im Teilbericht 2 dargestellten Prognosemodelle sind ein vereinfachtes Abbild der Realität. Erfahrungen der Vergangenheit zeigen insbesondere, dass die Inputmengen von Kunststoffen zur Verarbeitung in den einzelnen Einsatzbereichen nicht unmittelbar mit den Kunststoffabfallmengen des jeweiligen Jahres korrelieren.

Entsprechend der Verweildauer der Kunststoffe in den jeweiligen Produkten/Anwendungen fallen diese *früher* oder *später* als Abfall an. Produktlebenszyklen können nach Einsatzbereichen zwar grob festgelegt werden, die Zeitspanne vom Inverkehrbringen bis zum Anfall als Abfall fällt häufig dennoch unterschiedlich aus. Insofern lassen sich über den tatsächlichen Anfall von Kunststoffprodukten als Abfallmenge relativ schwierig Aussagen treffen. Aus diesem Grund konnten frühere, alle nur auf dem Weg über den Produktlebenszyklus ermittelten Mengenprognosen (z. B. nach der ARGUS-Methodik) keine zutreffenden Größenordnungen darstellen.

Für die Entwicklung der Kunststoffabfallmengen bis zum Jahr 2010 wurden drei Varianten nach unterschiedlichen Modellen berechnet:

- Modell 1: Lineares Wachstum der Kunststoffabfallmengen von durchschnittlich 3,5% pro Jahr. Dies entspricht einer linearen Fortführung und Entwicklung der Abfallmengen der vergangenen Jahre.
- Modell 2: Lineares Wachstum plus Sondereffekte durch Rückfluss langlebiger Kunststoffprodukte.
- Modell 3: Inputbasierte Entwicklung der Kunststoffabfallmengen, die sich an den Annahmen und Berechnungen der Arbeitsgruppe ARGUS orientiert. Dabei wird davon ausgegangen, dass sowohl kurz- als auch langlebige Kunststoffprodukte generell nach dem Ende ihres Produktlebenslaufes als Abfall zur Entsorgung anfallen und das darüber hinaus in zunehmendem Maße langlebige Kunststoffprodukte aus dem Zeitraum der 70er bis 90er Jahre als Abfall anfallen. Selbst bei moderat steigendem Kunststoffverbrauch wird das Abfallaufkommen damit wesentlich stärker steigen als bei den anderen Annahmen.

Die folgende Übersicht gibt einen Gesamtüberblick über die mit Hilfe der drei Prognosemodelle hochgerechneten Kunststoffabfallmengen.

Tabelle 1 Kunststoffmengen aus den Prognosemodellen [in t]

Jahr	tatsächlicher Kunststoff-Inlandsverbrauch	Abfallmengen		
1994	5.655.000	2.240.000		
1997	7.830.000	2.280.000		
1999	8.900.000	2.795.000		
		Modell 1	Modell 2	Modell ARGUS

2005 (Hochrechnung)	11.190.000	3.435.000	3.875.000	5.300.000
2010 (Hochrechnung)	15.200.000	4.080.000	4.730.000	7.800.000

Nach Ansicht der Autoren der Studie werden die tatsächlich in den nächsten 5 bis 10 Jahren anfallenden Kunststoffabfallmengen dicht an den errechneten Werten von Prognosemodell 2 liegen, also für das Jahr 2005 etwa 3,875 Mio. t und für das Jahr 2010 etwa 4,730 Mio. t betragen.

Setzt man diese hochgerechneten Zahlen für das Jahr 2005 in Vergleich zu den zwischenzeitlich ermittelten „tatsächlichen“ Abfallmengen der Jahre 2001 (2.930.000 t) und 2003 (3.115.000 t), scheinen aber eher die Annahmen des Modells 1 zuzutreffen.

Für das Jahr 2005 ist demzufolge eine Abfallmenge von weniger als 3,5 Mio. t und für das Jahr 2010 eine von weniger als 4 Mio. t zu erwarten.

Teilbericht 3: Verwertungsoptionen und Begründung der Auswahl der in Teilbericht 4 zu untersuchenden Kunststofffraktionen

Als für die weitere Untersuchung besonders relevante Anfallorte mit bisher überwiegend beseitigten Kunststoffabfällen wurden die in Tabelle 2 aufgeführten Bereiche ermittelt.

Tabelle 2 Kunststoffabfälle nach Abfallorten

Anfallort	Gesamtmenge [kt]	Verwertung [kt]	Beseitigung [kt]
Restmüll Haushalte	595	0	595
Gewerbeabfälle über private Entsorger	730	328	402
Gewerbeabfälle über öffentl.-rechtl. Ents.	185	0	185
Sperrmüll Haushalt	135	5	130
Schredderbetriebe	145	33	112
Wertstoffsammlung E+E	55	0	55

Aus der Tabelle geht hervor, dass die größten Mengen beseitigter Kunststoffabfälle aus dem über private Entsorger entsorgten Gewerbeabfall und dem Restmüll der Haushalte stammen. Im Rahmen der Planung des Vorhabens wurden drei Abfall-Qualitätsstufen definiert:

- saubere und verschmutzte sortenreine Kunststoffabfälle
- saubere und verschmutzte vermischte Kunststoffabfälle, Materialverbunde
- Kunststoffe mit Störstoffen

Aufgrund von Schätzungen der Auftragnehmer wurden in Tabelle 3 die derzeit beseitigten Kunststoffabfallmengen den genannten Abfall-Qualitätsstufen und Verwertungsverfahren zugeordnet.

Tabelle 3 Zuordnung von derzeit beseitigten Kunststoffabfällen zu Verwertungsverfahren gemäß Anfallorten und Qualitäten

Verwertungsmöglichkeiten entsprechend der Qualitäten (in Tonnen)	1. werkstoffliche Verwertung (Priorität) 2. Auch nutzbar für SVZ (Vergasung) Reduktionsmittel (Hochofen) und Sekundärbrennstoffe	1. werkstoffliche Verwertung mit hohem Sortieraufwand 2. SVZ (Vergasung) 3. Reduktionsmittel (Hochofen) 4. Sekundärbrennstoff	1. SVZ 2. Sekundärbrennstoff 3. Müllheizkraftwerk
Anfallorte/Qualitäten	Saubere und verschmutzte <u>sortenreine</u> Kunststoffe	Saubere und verschmutzte <u>vermischte</u> Kunststoffe, Materialverbunde (i.d.R. Verpackung)	Kunststoffe mit Störstoffen
Restmüll Haushalte, inkl. Geschäftsmüll		541.800	53.200
Sperrmüll Haushalte		129.500	500
Gewerbeabfälle über öffentlich-rechtliche Entsorger		175.700	9.300
öffentliche rechtliche Werkstoffsammlung/Haushalte (E-Schrott)			55.000
Gewerbeabfälle über private Entsorger	14.000	322.000	66.000
Shredderbetrieb			112.000

Auf der Basis bereits vorliegender Untersuchungen zum Abfallaufkommen aus dem Gewerbe wurde eine Fokussierung auf die Bereiche

- Bau
- Altfahrzeuge
- Elektrotechnik/Elektronik
- Garten-, Land-, Forstwirtschaft

vorgenommen.

Aus diesen Bereichen wurden folgende Fraktionen für eine *werkstoffliche* Verwertung prinzipiell als geeignet angesehen:

- PVC- und PO-Rohre aus Sperrmüll/Gewerbe
- Matratzen und Polster aus Sperrmüll
- Folien aus Landwirtschaft und Bauwesen
- Nicht bromierte Kunststoffgehäuse aus E/E-Bereich
- PUR-Sitzpolster aus Altautos
- Kabelabfälle

Andere Produktfraktionen (wie z. B. Hohlkörper und Spielzeug) schieden aufgrund von Kontaminationen, zu uneinheitlicher Zusammensetzung oder zu geringer Mengen aus. Des Weiteren wurden für eine werkstoffliche Verwertung (nach materialspezifischer Sortierung aus dem Gesamtabfallstrom) prinzipiell als geeignet angesehen:

- Kunststoffe aus dem Restmüll der Haushalte sowie
- Kunststoffe aus Sperrmüll und Gewerbe.

Für eine *rohstoffliche oder energetische* Verwertung wurden folgende Kunststofffraktionen als geeignet angesehen:

- Kunststoffe aus dem Restmüll der Haushalte
- Kunststoffe aus Sperrmüll und Gewerbe
- Kunststoffe aus E/E-Werkstoffsammlung
- Kunststoffe aus Shredderbetrieben

Als Entsorgungsverfahren wurden nachfolgend genannte Optionen in Betracht gezogen:

- werkstoffliche Verwertung (Granulatherstellung, Flockenverbundherstellung) zur Substitution von primären Kunststoffen, Substitutionsfaktor 1 bzw. nahe 1)
- rohstoffliche Verwertung durch Einsatz in der SVZ-Vergasung oder im Hochofen
- energetische Verwertung durch Einsatz im Kraftwerk, Zementofen oder Verbrennung in der MVA.

Aus den genannten Fraktionen und Verwertungsverfahren ergeben sich rechnerisch über 90 Kombinationsmöglichkeiten. Im Rahmen der Untersuchung musste die Anzahl der zu untersuchenden Kombinationen eingeschränkt werden. Dies geschah unter den Aspekten:

- technische Durchführbarkeit
- Datenverfügbarkeit
- voraussichtliche Übertragbarkeit von berechneten Ergebnissen auf vergleichbare Fraktionen
- Relevanz der Verwertungsoption.

In Tabelle 4 wird eine Übersicht über die derzeit beseitigten Kunststoffabfallmengen und die betrachteten Entsorgungswege gegeben. Zu der Spalte „Fraktion“ sind die oben genannten 14 Fraktionen an den sechs Anfallorten aufgeführt. Im Kopf des rechten Tabellenbereiches stehen die letztendlich fünf berücksichtigten Verfahren. Die konkret zu untersuchenden Kombinationen sind durch ein „X“ bezeichnet; die Kombinationen, auf die eine Übertragung möglich erscheint, sind durch „XX“ gekennzeichnet.

Tabelle 4: Übersicht über die betrachteten Entsorgungswege

Anfallort	derzeit beseitigt [kt]	Fraktion	Verwertungs-/Entsorgungsverfahren				
			werk- stoff- lich	SVZ	Hoch- ofen	Zement- ofen	MVA
Restmüll Haushalte	595	KS insgesamt	X	X	X	X	X
HM-ähnliche Gewerbeabfälle	185	KS insgesamt		XX	XX	XX	XX
Sperrmüll Haushalte							
	130	KS insgesamt		XX	XX	XX	XX
davon	4,5	Rohre	XX		XX	XX	XX
	30	Matratzen und Polster	X		X	X	X
Gewerbeabfälle über private Entsorger	402	KS insgesamt	X	XX	XX	XX	XX
davon	17	Rohre	X		X	X	X
	35	Agrarfolien			XX	XX	XX
	5	Baufolien			XX	XX	XX
	15	Kabel	X				
	30	E&E-Geh., nicht brom.	X				
Shredderbetriebe							
	112	KS insgesamt		X	X	X	X
davon	11	PUR-Sitze Auto	X		XX	XX	XX
Wertstoffsammlung (ÖRe)	E&E 55	KS insgesamt					

Teilbericht 4: Ökologische Betrachtung von potentiellen Verwertungswegen für Kunststoffabfälle aus Gewerbe und Privathaushalten und

Teilbericht 5: Auswertung der Ökobilanzergebnisse

Aus Umweltsicht stellen die Teilberichte 4 und 5 die „Kernberichte“ des Gesamtvorhabens dar; ihre Ergebnisse werden deshalb hier zusammengefasst dargestellt.

Die Ökobilanz hatte das Ziel, die unter Umweltaspekten beste/n Verwertungslösung/en für bisher beseitigte Kunststoffabfälle zu ermitteln. Dazu wurden die Verwertungsoptionen die in den Teilvorhaben 1 und 3 unter qualitativen und technischen Aspekten sowie unter Beachtung der anfallenden Abfallmengen identifiziert wurden, einem ökobilanziellen Vergleich unterzogen.

Die ökologische Untersuchung richtete sich nach ISO 14040 ff. sowie den UBA-Verfahrensregeln zur Erstellung von Ökobilanzen und wurde einer begleitenden kritischen Begutachtung nach ISO 14040, Kap. 7.3.3 unter Beteiligung interessierter Kreise unterzogen.

Es wurden Sachbilanzen und Wirkungsabschätzungen durchgeführt, wobei neben den obligatorischen Bestandteilen der Wirkungsabschätzung (Auswahl der Kategorien, Klassifizierung und Charakterisierung) auch eine Normierung vorgenommen wurde.

Die in der Sachbilanz ermittelten Daten wurden je nach ihren potenziellen Wirkungen den Wirkungskategorien zugeordnet. Hierbei wurden auch Mehrfachzuordnungen vorgenommen.

Folgende Wirkungskategorien wurden ausgewertet:

- Treibhauseffekt
- Abfallaufkommen (getrennt nach Siedlungs- und Sonderabfall) als Indikator für Naturraumbeanspruchung
- Eutrophierungspotenzial, terrestrisch
- Eutrophierungspotenzial, aquatisch
- Versauerungspotenzial
- Rohöläquivalent
- Primärenergiebedarf

Orientierend wurden außerdem Wirkungsindikatorergebnisse in der Kategorie Photochemische Oxidantienbildung ermittelt. Auf Grund der Datenlage sind die Ergebnisse zu dieser Kategorie aber nur eingeschränkt aussagefähig.

Für die durch die Verwertung erzeugten Verwertungsprodukte (Dampf und Strom aus der MVA, Rezyklate aus der werkstofflichen Verwertung, Methanol und Strom aus der Verwertung im SVZ, Ofenwärme im Zementofen und Reduktionsmittel im Hochofen) wurden ökologische Gutschriften gemäß ihrem Substitutionspotential erteilt.

Die Ergebnisse wurden als Effekte gegenüber dem Referenzsystem „Behandlung in einer mittleren MVA“ (als durchschnittliche Entsorgung nach derzeitiger Praxis unter der Vorgabe, nicht zu deponieren) ausgewiesen und diskutiert.

Folgende allgemeine Schlussfolgerungen lassen sich aus der ökologischen Betrachtung ziehen:

- Die Erhöhung der Verwertung bisher beseitigter Kunststoffabfälle ist anzustreben.
- Das größte Umweltentlastungspotential liefert grundsätzlich eine werkstoffliche Verwertung. Diese erscheint in jedem Fall sinnvoll für gut identifizierbare und leicht und sauber aus dem gesamten Kunststoffabfallstrom abtrennbare Fraktionen, mit deren Abtrennung gleichzeitig eine Sortierung nach Kunststoffarten stattfindet.
- Es gibt allerdings kein Verwertungsverfahren, welches den anderen Alternativen generell, d. h. für alle Anfallorte und alle Fraktionen überlegen ist.
- In einem Gesamtkonzept zur Erhöhung der Verwertung sind unterschiedliche Verfahren parallel zu berücksichtigen (Verwertungs-Mix).
- Bei hoher Energieumsetzung kann auch die MVA eine sinnvolle, „Verwertungs“-Alternative sein.
- Die Randbedingungen bestimmen den jeweils sinnvollsten Verwertungs-Mix.

Zum Teilbericht 5 erfolgte eine Auswertung der mit dem Teilbericht 4 vorgelegten Sachbilanzen und Wirkungsabschätzungen. Die Auswertung wurde vom Auftragnehmer gemäß der UBA-Methode „Bewertung in Ökobilanzen“ vorgenommen, wobei der spezifische Beitrag in Beziehung zu ökologischer Gefährdung und Abstand zum Umweltziel gesetzt wird. Die Ergebnisse werden verbal argumentativ bewertet.

Die im Kapitel 4 des Teilberichtes 5 niedergelegten konkreten zusammenfassenden Schlussfolgerungen und Empfehlungen wurden von den Auftraggebern UBA und VKE verfasst und lauten wie folgt:

- Für ***Nicht-Verpackungs-Kunststoffe aus Haushalten*** ist eine werkstoffliche Verwertung unter den gewählten Rahmenbedingungen in der Tendenz die umweltgünstigste Entsorgungsvariante. Die werkstoffliche Verwertung besitzt in allen diskutierten Wirkungskategorien Vorteile gegenüber einem Verbleib in der Restmülltonne, aber auch, wenn auch weniger ausgeprägt, Vorteile gegenüber den untersuchten Verwertungsalternativen. Hervorzuheben ist, dass die werkstoffliche Verwertung die beschriebenen Vorteile aufweist, obgleich für sie erheblich geringere Ausbeuten angesetzt wurden, als für die rohstofflichen oder energetischen Verwertungsalternativen.
Aus ökologischer Sicht ist es deshalb angebracht, geeignete Kunststoffe (PE, PP, PS, PVC) in möglichst großem Umfang dem Haushaltsrestmüll zu entziehen und einer werkstofflichen Verwertung zuzuführen. Die Erfassung ließe sich unter Mitnutzung des bereits bestehenden Dualen Systems realisieren.
- Auch die bisher beseitigte ***Kunststofffraktion aus hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen*** ist aus ökologischer Sicht am sinnvollsten werkstofflich zu verwerten. Im Vergleich zu Kunststoffen aus dem Haushaltsrestmüll sind die Abfälle allerdings von geringerer Qualität. Gleichzeitig dürfte der Umstand, dass das Verwertungspotenzial von Kunststoffen aus hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen im Vergleich zu Kunststoffen aus dem Haushaltsrestmüll wesentlich geringer ist, eine werkstoffliche Verwertung erschweren.
Von den rohstofflichen und energetischen Verwertungsalternativen dürfte tendenziell die Verwertung im Hochofen aus ökologischer Sicht am günstigsten abschneiden. Mit Zementwerk und SVZ stehen weitere Verwertungsalternativen zur Verfügung.

- Für **Kunststoffe aus dem Sperrmüll und aus Gewerbeabfällen**, die über private Entsorger entsorgt werden, ist eine werkstoffliche Verwertung aus Umweltsicht für gut identifizierbare und relativ leicht und sauber aus dem Abfallstrom abtrennbare Fraktionen sinnvoll. Abfälle, die nach den Ergebnissen der Ökobilanz werkstofflich verwertet werden sollten sind Rohre, Matratzen und Polster, Autositze, Folien, Kunststoffgehäuseteile aus dem E/E-Bereich sowie Kabelabfälle. Die werkstoffliche Verwertung dieser Abfallfraktionen weist gegenüber allen bestehenden Alternativen deutliche Umweltvorteile auf.
Eine getrennte Bereitstellung der genannten Kunststoffabfallfraktionen mit dem alleinigen Ziel, diese rohstofflich oder energetisch zu verwerten, ist aus ökologischer Sicht nicht angebracht. Die damit verbundenen Umwelteffekte zeigen keine eindeutigen Vorteile gegenüber einer Beseitigung durch Verbrennung in der MVA.
- **Kunststoffe aus Shredderbetrieben** können nach dem Stand der Technik nicht werkstofflich verwertet werden. Ein Vergleich der rohstofflichen und energetischen Verwertungsalternativen führt hinsichtlich ihrer ökologischen Effekte in den einzelnen Wirkungskategorien zu keinem eindeutigen Ergebnis. In Summe betrachtet, ist jedoch die Verwertung von Shredderabfällen zur Methanolerzeugung als ökologisch günstiger zu bewerten als die Verwertung im Hochofen und Zementofen und der Einsatz in der MVA.

Es soll an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass die ökobilanzielle Untersuchung unter Annahme festgelegter Randbedingungen (z. B. Transportentfernungen, Erfassungsquoten/Ausbeute, Substitutionsfaktor bei werkstofflicher Verwertung, Marktaufnahmefähigkeit von Rezyklaten, Verbleib von Sortierresten) erfolgte. Veränderte Randbedingungen führen somit zu anderen Ökobilanzergebnissen. Insofern liefert die Studie (nur) erste Hinweise für eine zukünftige Optimierung der Entsorgungswege von Kunststoffabfällen. Weiterhin sei festgehalten, dass sich die Ökobilanz naturgemäß auf umweltbezogene Fragestellungen beschränkt. Bei der Wahl eines Verwertungsweges werden neben den Ökobilanzergebnissen auch die technische Machbarkeit und ökonomische Kriterien (s. auch Teilbericht 6) Berücksichtigung finden müssen.

Teilbericht 6: Ökonomische Betrachtung potenzieller Entsorgungswege

Die im Teilbericht 4 beschriebenen Verwertungswege für bestimmte Fraktionen wurden im Teilbericht 6 mit ökonomischen Daten hinterlegt. Damit handelt es sich beim hier erarbeiteten Kostengerüst nicht um eine eigenständige Kostenrechnung für die aufgeführten Entsorgungswege, vielmehr werden die aus dem Ökologieteil der Studie vorgegebenen Annahmen und Rahmenbedingungen übernommen und die einzelnen Prozessschritte (Erfassung, Transporte, Aufbereitung, Verwertung) mit Kosten und Erlösen hinterlegt. Es gilt in diesem Zusammenhang zu beachten, dass die meisten der untersuchten Szenarien zum Zeitpunkt der Vorhabensbearbeitung nicht existent waren.

Das Referenzsystem zu allen ausgewählten Verwertungsverfahren stellt immer die Behandlung von Kunststoffabfällen in der MVA dar. Analog zur ökologischen Betrachtung wird davon ausgegangen, dass alle bei Sortier- und Aufbereitungsprozessen anfallenden Reste ebenfalls über die MVA entsorgt werden.

Die Kosten und Erlöse für die betrachteten Verfahren und Verfahrensschritte wurden durch Erhebungen bei Anlagebetreibern ermittelt. Teilweise wurden aber auch bereits vorliegende Kostenrechnungen übernommen oder Kosten geschätzt. Im Bericht wird darauf verwiesen, dass die Preise zum Teil deutlichen Schwankungen unterliegen.

In der folgenden Tabelle 5 werden die den jeweiligen Entsorgungswegen zugeordneten Kosten ausgewiesen.

Tabelle 5 (Gerundete) Kosten der betrachteten Entsorgungsverfahren

Verwertungs- bzw. Entsorgungsweg	Gesamt- menge in t	Erfasste Menge in t	Logistik- kosten in €/ t erfasste Menge	Prozess- kosten in €/ t erfasste Menge	Gesamt- kosten in €/ t erfasste Menge	Erlöse in €/ t erfasste Menge	Gesamt- kosten minus Erlös in €/ t
Restmüll HH/ KS gesamt/ werkstofflich	595.000	476.000	263	402	665	99	567
Restmüll HH/ KS gesamt/ MVA	595.000	595.000	150	150	300	0	300
Restmüll HH/ KS gesamt/ Zementofen	595.000	476.000	265	209	474	0	474
Restmüll HH/ KS gesamt/ Hochofen	595.000	476.000	265	247	512	0	512
Restmüll HH/ KS gesamt/ SVZ	595.000	476.000	266	267	534	0	534
GW/ KS gesamt/ werkstofflich	402.000	321.600	28	264	292	59	233
GW/ Rohre/ werkstofflich	17.000	13.600	54	247	301	353	-52
GW/ Rohre/ MVA	17.000	17.000	67	150	217	0	217
GW/ Rohre/ Zementofen	17.000	13.600	43	202	245	0	245
GW/ Rohre/ Hochofen	17.000	13.600	43	218	261	0	261
GW/ E/E-Gehäuse/ werkstofflich	30.000	24.000	80	246	326	572	-246
GW/ Kabelabfälle/ werkstofflich	15.000	12.000	22	401	423	383	39
Schredderbetriebe/ KS gesamt/ Hochofen	112.000	112.000	10	270	280	0	280
Schredderbetriebe/ KS gesamt/ Zementofen	112.000	112.000	10	252	262	0	262
Schredderbetriebe/ KS gesamt/ SVZ	112.000	112.000	19	317	335	0	335
GW/ PUR-Sitze-Altauto/ werkstofflich	11.000	11.000	87	1.256	1.343	485	885
Sperrmüll/ PUR/ werkstofflich	30.000	28.500	105	840	946	472	474
Sperrmüll/ PUR/ MVA	30.000	30.000	67	150	217	0	217
Sperrmüll/ PUR/ Zementofen	30.000	28.500	86	208	293	0	293
Sperrmüll/ PUR/ Hochofen	30.000	28.500	86	260	345	0	345

Die wichtigsten Ergebnisse des Teilberichts 6 lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Logistikkostenanteile nehmen im Regelfall eine eher untergeordnete Rolle ein. Lediglich im Bereich der Kunststoffe aus Haushalten schlägt die teure Sammlung deutlich zu Buche.
- Die Prozesskosten der verschiedenen Verwertungsvarianten liegen durchgehend über denen des Referenzszenarios MVA.
- Unter den angenommenen Randbedingungen ist es aus ökonomischer Sicht nur sinnvoll, Kunststoffabfälle in Form von Rohren, Gehäusen aus dem Elektrotechnik-/Elektronikbereich und Kabelabfälle aus dem Gewerbebereich werkstofflich zu verwerten. Es ist jedoch nicht auszuschließen, dass im Gesamtabfallstrom weitere Abfälle aus Kunststoffprodukten (die im Rahmen der Studie nicht betrachtet wurden) vorhanden sind, deren werkstoffliche Verwertung nicht nur unter ökologischen, sondern auch unter ökonomischen Aspekten Sinn macht. Hauptvoraussetzung dafür ist ihre möglichst saubere und sortenreine Erfassung.

Teilbericht 7: Schlussfolgerungen (der Auftragnehmer)

Der Teilbericht 7 ist der Versuch, die Ergebnisse der ökologischen und der ökonomischen Untersuchung zusammenzuführen.

Eine rein verbale und qualitative Interpretation und Verknüpfung der ökologischen und ökonomischen Ergebnisse schien den Auftragnehmern nicht angebracht, da die Aussagen zu unübersichtlich und sehr schwer einzuordnen seien.

Deswegen wurde eine qualitative Auswertung in grafischer Form gewählt. Dabei werden die Umweltentlastungseffekte in Einwohnerdruckschnittswerten sowie die Mehr- oder Minderkosten einer jeden Entsorgungsoption jeweils gegenüber der MVA dargestellt.

In der Zusammenschau von Ökologie und Ökonomie ergeben sich für folgende Abfallströme keine eindeutigen Vorteile für die eine oder andere Verwertungsvariante:

- Kunststoffabfälle aus dem Haushaltsrestmüll
- Kunststoffabfälle aus hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen
- Kunststoffabfälle aus der Shredderleichtfraktion
- Kunststoffabfälle aus dem Sperrmüll

Für eine werkstoffliche Verwertung bieten sich wegen der geringeren Kosten und der größeren Umweltentlastungseffekte im Vergleich zu rohstofflichen und energetischen Verwertungsalternativen folgende Abfallströme an:

- Kunststoffabfälle aus dem gemischten Gewerbeabfall
- Kunststoffrohre aus dem gemischten Gewerbeabfall
- Kunststoffrohre aus dem Sperrmüll

Für die nachfolgend aufgeführten Abfallfraktionen ist aus Umweltsicht eine werkstoffliche Verwertung tendenziell zu favorisieren. Es sind die größten Umweltentlastungseffekte zu erzielen, gleichzeitig ist die werkstoffliche Verwertung aber mit den höchsten Kosten verbunden:

- PUR-Sitze aus Altautos
- PUR-Matratzen und Polster aus dem Sperrmüll

Bei der Bewertung gilt in jedem Fall zu beachten, dass im Teilbericht 7 nur die Basisvarianten der verschiedenen Verwertungswege betrachtet wurden. Wie die Sensitivitätsanalysen zeigen, können andere Randbedingungen das Ergebnis durchaus signifikant beeinflussen.

Für werkstofflich verwertete Kabelabfälle und Kunststoffgehäuse aus dem E/E-Bereich werden in der Studie positive ökonomische Gesamtergebnisse ausgewiesen bzw. erwartet. Durch die Realität wurden die Vorhabensergebnisse mittlerweile bestätigt. Das werkstoffliche Kabelrecycling ist Stand der Technik und für die werkstoffliche Verwertung von E/E-Gehäusen gibt es zumindest Insellösungen.

Aus den vorgelegten Ergebnissen lässt sich die allgemeine Schlussfolgerung ziehen, dass es sowohl ökologisch als auch ökonomisch sinnvoll ist, gut identifizierbare und leicht und sauber aus den einzelnen Kunststoffabfallströmen abtrennbare Fraktionen werkstofflich zu verwerten.

Die Frage, welche Abfallkompartimente das konkret sein könnten, ist mit den vorliegenden Ergebnissen aber nicht zu beantworten, sondern muss gegebenenfalls in weiteren Untersuchungen geklärt werden.