



KOMMISSION DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN

Brüssel, den 26.7.2000
KOM(2000) 469 endgültig

GRÜNBUCH

zur Umweltproblematik von PVC

(von der Kommission vorgelegt)

INHALTSVERZEICHNIS

1.	Einleitung	3
2.	Die PVC-Industrie und ihre Produkte.....	4
2.1.	Das Material PVC und seine Anwendungen	4
2.2.	Produktionsprozesse von PVC und PVC compounds.....	5
2.3.	Struktur und Beschreibung der PVC-Industrie.....	7
3.	Verwendung von Additiven in PVC.....	8
3.1.	Sortiment und Arten von Additiven.....	8
3.2.	Stabilisatoren	8
3.3.	Weichmacher	14
4.	PVC-Abfallbewirtschaftung.....	16
4.1.	Derzeitige Situation und zukünftige Entwicklungen	17
4.2.	Werkstoffliches Recycling	19
4.3.	Chemisches Recycling	23
4.4.	Andere Recycling und Verwertungstechnologien, einschließlich Mitverbrennung	26
4.5.	Verbrennung	27
4.6.	Deponierung	33
5.	Andere horizontale Aspekte bezüglich PVC.....	36
6.	Schlussbemerkungen	37

GRÜNBUCH

zur Umweltproblematik von PVC

1. EINLEITUNG

Die Kommission hat sich dazu verpflichtet, eine Bewertung der Auswirkungen von PVC auf die Umwelt, einschließlich damit zusammenhängender Aspekte der menschlichen Gesundheit, in einem integrierten Ansatz vorzunehmen. Im Vorschlag für eine Richtlinie über Altfahrzeuge¹ ist festgelegt, daß *„die Kommission die Umweltaspekte im Zusammenhang mit dem Vorhandensein von PVC in Abfallströmen untersuchen (wird). Auf der Grundlage dieser Erkenntnisse wird sie ihre Politik hinsichtlich PVC in Abfallströmen überprüfen und, sofern dies aus ökologischen oder gesundheitlichen Gründen gerechtfertigt ist, Vorschläge zur Lösung der dabei auftretenden Probleme vorlegen.“* Im Gemeinsamen Standpunkt zu diesem Vorschlag² stellt der Rat fest: *„Die Kommission untersucht derzeit die Auswirkungen von PVC auf die Umwelt. Ausgehend von diesen Arbeiten wird die Kommission gegebenenfalls Vorschläge hinsichtlich der Verwendung von PVC vorlegen, die auch Überlegungen in bezug auf Fahrzeuge enthalten.“*

PVC hat in den letzten Jahrzehnten über weite Strecken im Mittelpunkt einer kontroversen Diskussion gestanden. Zum Thema PVC und seinen Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt hat es eine Vielzahl divergierender Stellungnahmen aus Wissenschaft und Technik sowie aus der Wirtschaft gegeben. Einige Mitgliedstaaten haben Maßnahmen zu speziellen Aspekten des Lebenszyklus von PVC empfohlen oder angenommen. Diese Maßnahmen unterscheiden sich jedoch voneinander und können zum Teil Folgen für den Binnenmarkt haben. Daher ist ein integrierter Ansatz erforderlich, der den gesamten Lebenszyklus von PVC bewertet, um die notwendigen Maßnahmen zur Sicherung eines hohen Schutzniveaus für die menschliche Gesundheit und die Umwelt sowie auch für das ordnungsgemäße Funktionieren des Binnenmarktes zu entwickeln.

Mit dem vorliegenden Dokument werden zwei Ziele verfolgt: Es sollen zum einen die verschiedenen Aspekte der Umweltproblematik von PVC, einschließlich damit zusammenhängender Aspekte zur menschlichen Gesundheit, die sich im Verlauf des PVC-Lebenszyklus ergeben, darstellen und wissenschaftlich bewerten, und zum anderen im Hinblick auf eine nachhaltige Entwicklung eine Anzahl von Optionen zur Reduzierung derjenigen Umweltprobleme beschreiben, für die Handlungsbedarf besteht. Das Dokument ist als Grundlage für eine Beratung mit den betroffenen Interessengruppen gedacht, die dann zur Identifikation von praktischen Lösungen für die durch PVC aufgeworfenen Gesundheits- und Umweltprobleme führen soll.

¹ KOM (97) 358 endg.
² EG 39/1999

2. DIE PVC-INDUSTRIE UND IHRE PRODUKTE

2.1. Das Material PVC und seine Anwendungen

Polyvinylchlorid (PVC) ist ein synthetisches Polymermaterial (oder Harz), das durch Polymerisation des Monomers Vinylchlorid (VCM) mit der Formel $\text{CH}_2=\text{CHCl}$ entsteht. PVC hat somit praktisch die gleiche Struktur wie Polyethylen, mit Ausnahme des Vorhandenseins von Chlor. Das Chlor im PVC macht gewichtsmäßig 57% des reinen Polymerharzes aus. 35 % des Chlors aus der Chlor-Alkali-Elektrolyse werden letztlich zu PVC verarbeitet, das damit die größte Einzelverwendung darstellt.

Reines PVC ist ein steifes Material, das mechanisch widerstandsfähig, relativ witterungsbeständig, resistent gegenüber Wasser und Chemikalien und elektrisch isolierend ist, andererseits aber ein relativ instabiles Verhalten gegenüber Wärme und Licht zeigt. Bei Exposition gegenüber Wärme und UV-Licht kommt es zu einem Verlust von Chlor in Form von Salzsäure (HCl), was sich durch Zufügen von Stabilisatoren verhindern läßt. Stabilisatoren bestehen häufig aus Salzen von Metallen wie Blei, Barium, Calcium oder Cadmium oder aus zinnorganischen Verbindungen³.

Die mechanischen Eigenschaften von PVC können durch Zusatz von niedrigmolekularen Substanzen, die sich mit der polymeren Matrix vermischen, verändert werden. Der Zusatz dieser sogenannten Weichmacher in unterschiedlichen Mengen führt zu Materialien mit einer großen Vielfalt von Eigenschaften, was der Grund dafür ist, daß PVC in einem breiten Spektrum von Einsatzgebieten angewendet wird. Die am häufigsten verwendeten Arten von Weichmachern sind Ester organischer Säuren, darunter vor allem Phthalate und Adipate⁴.

Die Hauptunterscheidung zwischen den zahlreichen Anwendungen ist die zwischen „Hart“-PVC (das etwa zwei Drittel aller Anwendungen ausmacht) und „Weich“-PVC (etwa ein Drittel).

Die nachstehende Tabelle zeigt die Hauptanwendungen von PVC in Europa und die relativen Anteile dieser Anwendungen am Gesamtverbrauch. Die Vielzahl der Anwendungen ist durch einen weiten Bereich von Gebrauchszeiten charakterisiert, der von mehreren Monaten bis zu mehr als 50 Jahren für einige Baustoffe reicht. Die Hauptanwendungen von PVC in Europa liegen im Bausektor, auf den 57 % aller Produkte entfallen und in dem PVC-Produkte auch die längste durchschnittliche Lebensdauer aufweisen.

³ Für nähere Angaben und eine Diskussion der Mengen siehe Abschnitt 3.

⁴ Für nähere Angaben und eine Diskussion der Mengen siehe Abschnitt 3.

Tabelle 1: Haupteinsatzgebiete von PVC in Europa (1999)⁵

Gebrauch / Anwendung	Anteil (in %)	Mittlere Lebensdauer (Jahre)
Baubereich	57	10 bis 50
Verpackungen	9	1
Möbel	1	17
Andere Haushaltsgeräte	18	11
Elektrio-/Elektronikartikel	7	21
Kraftfahrzeugteile	7	12
Andere	1	2-10

2.2. Produktionsprozesse von PVC und PVC compounds

Die Massenproduktion und –anwendung von PVC setzte in den 50er und 60er Jahren ein, während die erste industrielle Produktion in den 30er Jahren begann.

Die Welterzeugung von PVC liegt heute bei mehr als 20 Mio. t pro Jahr – gegenüber 3 Mio. t im Jahre 1965 – entsprechend etwa einem Fünftel der gesamten Kunststoffproduktion. Damit ist PVC einer der wichtigsten synthetischen Werkstoffe. Die Produktion konzentriert sich vor allem auf die USA, Westeuropa und Asien. In Westeuropa lag sie 1998 bei 5,5 Mio. t (etwa 26 % der Weltproduktion). Die durchschnittlichen Wachstumsraten der PVC-Produktion bewegten sich in den letzten Jahren zwischen 2 und 10 % - mit Unterschieden zwischen den Regionen (höher in Asien, geringer in Europa) wie auch zwischen einzelnen Anwendungen (höher für Hart-PVC, niedriger für Weich-PVC). Die Preise für Roh-PVC sind aufgrund von Schwankungen bei Angebot und Nachfrage und bei den Rohstoffpreisen extrem zyklisch.

Für die Produktion von PVC kommen im wesentlichen zwei Verfahren zur Anwendung: die Suspensionspolymerisation von VCM (80%) und die Emulsionspolymerisation (10 %).

Die Produktion von VCM aus Ethylen und Chlor bzw. Ethylen und HCl findet zu einem großen Teil in geschlossenen industriellen Prozessen statt. Es kann zu Emissionen von Chlor, Ethylen, Ethylendichlorid (EDC), HCl, VCM und chlorierten Nebenprodukten einschließlich Dioxinen in die Arbeitsumgebung und in die Umwelt (Luft und Wasser) kommen. Mehrere dieser Chemikalien sind als toxische Substanzen wohl bekannt⁶ und erfordern strenge Emissionskontrollen. Die Produktionsprozesse für PVC und VCM sind den Vorschriften mehrerer Gemeinschaftsrichtlinien⁷ unterworfen.

⁵ Prognos, Mechanical recycling of PVC wastes, Study for DG XI, Januar 2000

⁶ Gemäß Richtlinie 67/548/EWG sind VCM als krebserzeugend (Kategorie 1), EDC als krebserzeugend (Kategorie 2), HCl als ätzend und reizend für die Atmungsorgane eingestuft.

⁷ Richtlinie des Rates 78/610/EWG vom 29.6.1978 über den Schutz der Gesundheit von Arbeitnehmern, die Vinylchloridmonomer ausgesetzt sind. (ABL L 197, 22.7.1978, S. 12).

Die Vorschriften der Richtlinie 96/61/EG über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung, der Richtlinien 76/464/EWG und 86/280/EWG über die Ableitung bestimmter gefährlicher Stoffe, und der Richtlinie 84/360/EWG zur Bekämpfung der Luftverunreinigung durch Industrieanlagen gelten für die Produktionsverfahren von PVC und VCM. Richtlinie 91/61/EG verpflichtet generell zur Verwendung der besten verfügbaren Techniken (BAT) bezüglich Emissionsgrenzwerte. Angaben betreffend BAT für organische Chemikalien mit hohem Produktionsvolumen werden von der Kommission in 2001/2002 veröffentlicht werden, als Teil des

Wie in anderen Bereichen der chemischen Industrie auch, sind die Produktionsprozesse im Laufe der Jahre verbessert worden. Für die Herstellung von VCM und Suspensions-PVC werden die besten verfügbaren Techniken eingesetzt, die zur Festlegung einer Anzahl einschlägiger Emissionsgrenzwerte im Rahmen von OSPAR-Beschlüssen (OSPAR – Übereinkunft zum Schutz der Meeresumwelt im nordöstlichen Atlantik)⁸ geführt haben.

Bereits 1995 ist der Europäische Verband der PVC-Hersteller (ECVM) eine freiwillige Selbstverpflichtung eingegangen. In dieser so genannten Umwelt-Charta der Industrie für die Herstellung von VCM und Suspensions-PVC wurden strenge Emissionsgrenzwerte für eine Anzahl von chemischen Stoffen festgelegt, die bis 1998 zu erfüllen waren. Die Einhaltung wurde durch ein unabhängiges Audit überprüft, bei dem eine Gesamterfüllung aller Standards von 88 % festgestellt wurde. Der ECVM hat seine Absicht bekundet, die 100%ige Erfüllung sobald wie möglich zu erreichen. Neben der Umwelt-Charta für die Produktion von VCM und Suspensions-PVC unterzeichnete der ECVM 1998 eine weitere Umwelt-Charta für die Produktion von Emulsions-PVC mit strengen Grenzwerten für die Emission von VCM in Luft und Wasser sowie für den VCM-Gehalt des polymeren Endprodukts. Unternehmen, die, obwohl sie bereits alle bestehenden nationalen und lokalen Verpflichtungen erfüllen, diese Grenzwerte noch nicht einhalten, haben sich verpflichtet, dies bis 2003 zu erreichen. Eine unabhängige externe Überprüfung ist für Anfang 2004 vorgesehen.

Die Verarbeitung von Roh-PVC zu Fertigprodukten erfolgt in mehreren Schritten. Die Zugabe der notwendigen Additive wird als „PVC-Compounding“ bezeichnet. PVC ist ein Thermoplast, d.h. es schmilzt bei Erwärmung und kann dann durch verschiedene Prozesse in eine Vielzahl von Formen gebracht werden. Nach dem Abkühlen nimmt das Material seine ursprünglichen Eigenschaften wieder an. Zur Verarbeitung von PVC kommen eine Vielzahl von Verfahren in Anwendung, die diese Eigenschaften nutzen, insbesondere Extrudieren, Kalandern, Spritzgießen, Blasformen, Rotationsgießen, Wärmeformen und Filmblasen.

Während des „Compounding“ und der weiteren Verarbeitungsprozesse kann es zur Emission einer Anzahl gefährlicher Stoffe und damit zur Exposition von Arbeitnehmern kommen. Das „Compounding“ von PVC-Pulver und der Additive (auch in Pulverform oder als Flüssigkeit) wird in der Regel in geschlossenen Anlagen vorgenommen. Hier kann es zu einer Exposition von Arbeitnehmern beim Einbringen der Verbindungen in den Mischer kommen. Dies läßt sich gemäß den Bestimmungen der Richtlinie 98/24/EG des Rates⁹ zum Schutz von Gesundheit und Sicherheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch chemische Arbeitsstoffe bei der Arbeit auf ein Minimum reduzieren.

Im Fall einer Überhitzung während der Verarbeitung von PVC durch Erwärmen, Formen und Abkühlen besteht die Gefahr der Emission verschiedener

Informationsaustausches, der gemäß Art. 16 Absatz 2 der Richtlinie 96/61/EG durchgeführt wird. Es ist möglich, daß danach neue Emissionsgrenzwerte gemäß Art. 18 der Richtlinie angenommen werden.

⁸ Die Entscheidungen 98/4 and 98/5 treten am 9 Februar 1999 für neue Anlagen and am 1 Januar 2006 für bestehende Anlagen in Kraft. Die Kommission, hat in ihrem Vorschlag für einen Beschluß des Rates [KOM(1999) 190 endg.] vorgeschlagen, diese Entscheidungen im Namen der Gemeinschaft anzunehmen.

⁹ ABL L 131, 5.5.1998, S. 11.

Abbauprodukte, vor allem von HCl. Allerdings sind die dabei freigesetzten Mengen gering und haben nur ein geringes Potenzial schädlicher Auswirkungen auf die Umwelt. Die Mengen an Vinylchlorid-Restmonomer (VCM), die während der Verarbeitung emittiert werden, werden als sehr niedrig eingeschätzt¹⁰. Die Emissionen an Stabilisatoren und Weichmachern sind ebenfalls gering, wenn geeignete Vorsichtsmaßnahmen getroffen werden. Im allgemeinen müssen die notwendigen Arbeitsschutzmaßnahmen getroffen werden, um die bestehenden Arbeits- und Umweltschutzgesetze einzuhalten¹¹.

2.3. Struktur und Beschreibung der PVC-Industrie

Nach neueren Statistiken der PVC-Industrie umfaßt die gesamte PVC erzeugende und verarbeitende Industrie in Westeuropa insgesamt mehr als 21.000 Unternehmen mit mehr als 530.000 Beschäftigten und einem Umsatz von über 72 Mrd. €. Die Branche läßt sich grob in vier Gruppen unterteilen: Hersteller von PVC, von Stabilisatoren, von Weichmachern und PVC-Verarbeiter.

PVC-Polymer wird von einer relativ kleinen Anzahl von Unternehmen hergestellt, die vor allem in Europa, den USA und Japan angesiedelt sind. Die Produktionskapazitäten in den Entwicklungsländern wachsen ebenfalls beständig an. In Westeuropa liegt der Jahresverbrauch geringfügig über der Produktion, und seit Beginn der frühen 90er Jahre sind die Importe höher als die Exporte, was zu einem geringen Nettoimport führt, 1998 ca. 230.000 t (bei einer innergemeinschaftlichen Produktion von ca. 5,5 Mio. t)¹². Mehrere Hersteller sind in die Chlor- oder petrochemische Industrie integriert und stellen auch Produkte wie Ethylen, Chlor und VCM-Monomer her. Im Jahr 1999 betrieben 10 VCM- und PVC-Hersteller 52 Anlagen an 40 Standorten in zehn Mitgliedstaaten plus Norwegen mit etwa 10.000 Beschäftigten.

Elf europäische Unternehmen (22 Anlagen) erzeugen mehr als 98 % der in Europa umgesetzten Stabilisatoren. Sie beschäftigen ca. 5.000 Mitarbeiter für eine Produktion von 160.000 t Stabilisatorformulierungen und verzeichnen einen Umsatz von etwa 380 Mio. €.

Etwa 1 Mio. t Weichmacher wurden 1999 in Europa von ca. 20 Unternehmen hergestellt, wobei auf die drei größten Unternehmen etwa 40 % der Gesamtkapazität entfallen¹³. Die Anzahl der Unternehmen ist rückläufig: kleinere Firmen geben die Produkte auf oder werden von größeren Firmen aufgekauft. Schätzungen zufolge sind in dieser Teilbranche 6.500 Personen beschäftigt. Der Produktionstrend zeigte von 1990 bis 1995 einen jährlichen Anstieg von 1,5 %. Bei den Weichmachern ist Westeuropa Netto-Exporteur. Die Verarbeitung von PVC zu Fertigprodukten, für die zwei oder drei verschiedene Arbeitsschritte notwendig sind, wird im wesentlichen in über 21.000 kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) durchgeführt. 90 % dieser KMU haben weniger als 100 Beschäftigte, 5 % zwischen 100 und 500 Beschäftigte und 5 % mehr als 500 Beschäftigte. Die Angaben zur Anzahl der Unternehmen, zur

¹⁰ Danish Environmental Protection Agency, Environmental Project No. 313, Environmental Aspects of PVC, 1995.

¹¹ Danish Environmental Protection Agency, ebd.

¹² Quelle: ECVM, gestützt auf Daten von EUROSTAT.

¹³ Angaben vom Europäischen Verband der Weichmacher and Zwischenprodukte

Produktion und zur Beschäftigung für die gesamte PVC-Industrie sind in Tabelle 2 zusammengefaßt.

Tabelle 2: PVC-Industrie: Unternehmen, Produktion, Beschäftigung¹⁴

Produkte	Unternehmen	Produktion (in t)	Beschäftigung
PVC gesamt	21,199	7,900,000	530,000
Weich-PVC-Produkte	10,321	3,700,000	260,000
Hart-PVC-Produkte	10,878	4,200,000	270,000

3. VERWENDUNG VON ADDITIVEN IN PVC

3.1. Sortiment und Arten von Additiven

Um das breite Spektrum an Eigenschaften zu bekommen, das bei den Fertigerzeugnissen benötigt wird, wird PVC-Polymer mit einer Anzahl von Additiven vermischt. Je nach der vorgesehenen Anwendung kann die Zusammensetzung des PVC-Compound (d.h. Harz + Additive) sehr unterschiedlich sein, bedingt durch die Zugabe unterschiedlicher Mengen von Additiven als Füllstoffe, Stabilisatoren, Gleithilfsmittel, Weichmacher, Pigmente oder Flammenschutzmittel. Zur Herstellung von Endprodukten wird eine Vielzahl unterschiedlicher Formulierungen von PVC-Compounds eingesetzt. Die Verwendung von relativ großen Mengen an Weichmachern (hauptsächlich Phthalate) und Stabilisatoren ist ein spezifisches Charakteristikum der Herstellung von PVC im Vergleich zu anderen Kunststoffen. Alle anderen Typen von Additiven werden in mehr oder weniger großen Mengen auch zur Herstellung anderer Kunststoffe verwendet.

Die wichtigsten Kategorien von Additiven, die einer wissenschaftlichen Untersuchung auf Gefahren und Risiken für Mensch und Umwelt bedürfen, sind die Stabilisatoren, dabei vor allem solche, die Schwermetalle wie Blei und Cadmium enthalten, und die Weichmacher, vor allem die Phthalate.

3.2. Stabilisatoren

Der Zusatz von Stabilisatoren zum PVC-Polymer soll dieses vor dem Abbau durch Wärme und Licht schützen. Verschiedene Arten von Stabilisatoren werden verwendet und ihr Gehalt im Fertigprodukt variiert je nach den technischen Anforderungen der beabsichtigten Anwendung.

Gegenwärtig kommen als Stabilisatoren vor allem Bleiverbindungen, insbesondere Bleisulfat und Bleiphosphit, zur Anwendung. Im Jahre 1998 wurden in Europa ca. 112.000 t¹⁵ Bleistabilisatoren mit etwa 51.000 t Bleimetall verwendet; was 70 %¹⁶

¹⁴ Angaben vom Verband Europäischer Kunststoffverarbeiter (EuPC)

¹⁵ Donnelly, J.P. (1999): Risk Assessment of PVC Stabilisers during Production and the Product Life Cycle. Bericht vom OSPARCOM Workshop

¹⁶ Positionspapier der Europäischen Industrie zu PVC and Stabilisatoren. Gemeinschaftliches Dokument von ECVI in Zusammenarbeit mit ELSA and ORTEP, 1997

des Gesamtverbrauchs an Stabilisatoren entspricht. Bei einem Gesamtverbrauch von Blei in Europa von etwa 1,6 Mio. t (1995)¹⁷ entfallen somit auf Bleistabilisatoren etwa 3 % der Gesamtmenge. Bleistabilisatoren werden hauptsächlich in Rohren, Profilen und Kabeln verwendet.

Cadmium-Stabilisatoren werden weiterhin von einigen Herstellern in PVC-Fensterrahmen verwendet, wo ihre Verwendung nach Gemeinschaftsrecht noch erlaubt ist. Die Verwendung von Cadmium in Europa ist stark zurückgegangen (von ca. 600 t/a im Jahr 1992¹⁸ auf 100 t/a in 1997 und 50 t/a in 1998).

1998 wurden in Europa 14.500 t feste Mischmetall-Stabilisatoren und 16.400 t flüssige Stabilisatoren eingesetzt^{19,20}. Am häufigsten sind dabei Calcium/Zink- und Barium/Zink-Systeme.

Zinnorganische Verbindungen haben mit 15.000 t²¹ einen Anteil von etwa 9,3 % am europäischen Verbrauch von Stabilisatoren. Verschiedene Arten von zinnorganischen Verbindungen, insbesondere Mischungen aus mono- und disubstituierten zinnorganischen Verbindungen werden als Stabilisatoren verwendet, zumeist in steifen Verpackungsfolien, Flaschen, Dachbahnen sowie lichtdurchlässigen steifen Bahnen im Bausektor.

Nach der Richtlinie 67/548/EWG des Rates über die Einstufung, Verpackung und Kennzeichnung gefährlicher Stoffe in ihrer geänderten Fassung²² sind die meisten Bleiverbindungen einschließlich der in PVC verwendeten eingestuft als fortpflanzungsgefährdend, gesundheitsschädlich; umweltgefährlich und als mit dem Risiko kumulativer Wirkungen behaftet. Blei ist persistent, und bestimmte Bleiverbindungen reichern sich in bestimmten Organismen an.

Die meisten Cadmiumverbindungen werden von der Richtlinie 67/548/EWG als gesundheitsschädlich und umweltgefährlich eingestuft. Andere Cadmiumverbindungen werden als gesundheitsschädlich, giftig oder sehr giftig eingestuft. Einige Verbindungen sind auch als krebserzeugend (Kategorie 2) eingestuft. Cadmium ist persistent, und bestimmte Cadmiumverbindungen reichern sich in bestimmten Organismen an.

Daten zu den als PVC-Stabilisatoren verwendeten zinnorganischen Verbindungen zeigen, daß Dioctylzinn giftig für das Immunsystem ist. Solche immunotoxischen Effekte wurden nicht für die anderen zinnorganischen Verbindungen beobachtet, die als Stabilisatoren in PVC verwendet werden (Dimethylzinn-, Dodecylzinn-, Monobutylzinnverbindungen). Dioctylzinnverbindungen stellen ein potenzielles Risiko lokal in der aquatischen Umwelt dar.

Eine Unterscheidung muß zwischen den Gefahren und Risiken von chemischen Stoffen gemacht werden. Zur Zeit sind keine umfassenden Risikoabschätzungen zur Verwendung von Cadmium- und Bleiverbindungen als Stabilisatoren in PVC-

¹⁷ Eurometaux, Jahresbericht 1999.

¹⁸ OSPARCOM workshop zu Cadmium 1997

¹⁹ Angaben vom Europäischen Verband der Stabilisatorhersteller (ESPA)

²⁰ Donnelly, J.P. (1999), ebd.

²¹ Donnelly, J.P. (1999), ebd.

²² ABL L 196, 16.8.1967, p. 1.

Produkten durchgeführt worden. Eine im Rahmen der Verordnung 793/93 des Rates vom 23. März 1993 zur Bewertung und Kontrolle der Umweltrisiken chemischer Altstoffe²³ laufende Risikoabschätzung zu Cadmium und Cadmiumoxid steht kurz vor dem Abschluß. Zu Blei hat der Wissenschaftliche Ausschuß für Toxizität, Ökotoxizität und Umwelt (CSTEE) kürzlich eine Stellungnahme zum Entwurf eines Verbots der Verwendung von Blei in Produkten in Dänemark abgegeben²⁴. Zur Zeit ist der CSTEE mit der Frage der Risiken der Verwendung von Blei im allgemeinen befaßt, und eine Stellungnahme bezüglich der Risiken von Blei für die Umwelt und die menschliche Gesundheit, die unter anderem auf einer von den Dienststellen der Kommission in Auftrag zu gebenden Studie basieren wird, sollte bis Mitte 2001 angenommen werden.

Wie die meisten Schwermetalle werden auch Cadmium und Blei außer durch ihre Verwendung in Produkten von einer Vielzahl andere Quellen in die Umwelt abgegeben, die signifikant stärker zur Verbreitung dieser Schwermetalle in der Umwelt beitragen, so z.B. industrielle Aktivitäten, Erdöl, Mineraldünger und Klärschlamm. Außerdem werden beide Schwermetalle in zahlreichen Produkten verwendet. Mengenmäßig sind dabei Anwendungen von Blei und Cadmium in Batterien und Akkumulatoren am wichtigsten. Von der Verwendung in Batterien abgesehen, stellen PVC-Stabilisatoren eines der Haupteinsatzgebiete von Blei dar.

Für die Diskussion der potenziellen Risiken von Blei- oder Cadmium-Stabilisatoren sind die folgenden Punkte am wichtigsten:

- Blei- und cadmiumhaltige Stabilisatoren in PVC bleiben sehr wahrscheinlich während der Anwendungsphase der Produkte fest im PVC gebunden und tragen daher nicht signifikant zur Exposition bei. Zu einer potentiellen Kontamination der Umwelt durch die Verwendung von Blei- oder Cadmium-Stabilisatoren in PVC kann es in der Produktions- und in der Abfallphase kommen.
- Während der Produktionsphase und der Abfallbehandlung müssen eine Anzahl von Arbeitsschutzmaßnahmen getroffen werden, um gemäß den Vorschriften der Gemeinschaft zu Gesundheit und Sicherheit der Arbeitnehmer die Belastung der Beschäftigten durch Blei und Cadmium zu verhindern oder auf ein Minimum zu reduzieren.
- Zum Anteil der Bleistabilisatoren aus PVC an der Gesamtbelastung von zur Deponierung oder Verbrennung bestimmten kommunalem Abfall mit Blei liegen keine genauen Daten vor. Verschiedene Berechnungen und Schätzungen haben zu sehr breit streuenden Ergebnissen geführt: 1 %, 3 %, 6 %, 10 %²⁵ und 28 %²⁶. Für Cadmium wird geschätzt, daß etwa 10% des Cadmumeintrags in Verbrennungsanlagen und auf Deponien aus PVC stammt.²⁷

²³ ABL L 84, 5.4.1993, S. 1.

²⁴ Stellungnahme des CSTEE zu Blei – Dänische Mitteilung 98/595/DK. Stellungnahme angenommen während der 15. Plenarsitzung des CSTEE. Brüssel, 5. Mai 2000.

²⁵ Bertin Technologies, The influence of PVC on quantity and hazardousness of flue gas residues from incineration, Study for DG XI, April 2000

²⁶ The Behaviour of PVC in Landfill, Study for DG ENV, Argus in association with University Rostock, 1999

²⁷ Bertin Technologies, ebd.

- Zum Verhalten von blei- und cadmiumhaltigem PVC-Abfällen auf Deponien sind bisher nur wenige experimentelle Untersuchungen durchgeführt worden. Es kann davon ausgegangen werden, daß Blei- und Cadmiumverbindungen in Hart-PVC-Abfällen eingeschlossen bleiben. Für Blei in Weich-PVC ist die Situation weniger sicher. Insbesondere eine Untersuchung²⁸ hat gezeigt, daß aus einem Typ eines Kabels aus **Weich**-PVC, das eine Mischung aus verschiedenen Weichmachern enthielt, 10 % des Bleistabilisators freigesetzt wurden. Der Beitrag von PVC am Bleigehalt von Deponie-Sickerwässern ist nicht untersucht worden.
- Während der Verbrennung von PVC und anderen Abfällen sammeln sich praktisch das gesamte Blei und Cadmium in Schlacke und Flugasche der Verbrennungsanlagen an. Aufgrund der hohen Kontamination mit Schwermetallen, müssen Flugasche und Rückstände aus der Rauchgasreinigung, die in aller Regel vermischt werden, auf kontrollierte Deponien verbracht werden. Schlacken werden entweder wiederverwendet oder deponiert. Eine Verbreitung von Schwermetallen in die Umwelt kann deshalb nicht ausgeschlossen werden, scheint aber kurzfristig eher unwahrscheinlich.

In Anbetracht der vorstehenden wissenschaftlichen Unsicherheiten, können gegenwärtig die Auswirkungen einer Substitution von Blei oder Cadmium auf die Gesamtemissionen in die Umwelt nicht präzise quantifiziert werden. Es ist allerdings fraglich, ob ein genereller Ersatz dieser Stabilisatoren größere Auswirkungen auf die Gesamtemissionen von Blei oder Cadmium in die Umwelt hätte. Andererseits kommen einige Untersuchungen zum Schluß, daß die langfristige Verwendung von Bleistabilisatoren bedingt durch die Entsorgungsphase zu einem Ansteigen der Bleikonzentrationen in der Umwelt²⁹ führt.

Hinsichtlich der Probleme, die durch das Vorhandensein von gefährlichen Stoffen in Abfällen auftreten, wird in der Gemeinschaftsstrategie für die Abfallwirtschaft³⁰ festgestellt, daß *im Rahmen der Abfallvermeidung in bestimmten Fällen EG-weite Vorschriften notwendig werden, um den Anteil von Schwermetallen in Produkten oder Produktionsverfahren einzuschränken oder bestimmte Stoffe zu verbieten und das Entstehen gefährlicher Abfälle zu verhindern. Dieser Fall könnte eintreten, wenn Wiederverwendung, Verwertung und sichere Entsorgung des jeweiligen Stoffes für die Umwelt keine akzeptable Lösung darstellen.*

Der Schutz von Mensch und Umwelt vor Risiken durch die Exposition gegenüber Cadmium ist in der Gemeinschaftspolitik seit mehreren Jahren ein Thema. Am 25. Januar 1988 verabschiedete der Rat der Europäischen Gemeinschaften eine Entschließung³¹ über ein gemeinschaftliches Aktionsprogramm zur Bekämpfung der Umweltverschmutzung durch Cadmium. Der Rat unterstreicht, daß die Verwendung von Cadmium auf Bereiche begrenzt werden sollte, in denen es keine geeigneten Alternativen gibt.

²⁸ Mersiowski et al., Long-Term Behaviour of PVC-Products under Soil-Buried and Landfill Conditions, Technical University Hamburg-Harburg, July 1999.

²⁹ Swedish National Chemicals Inspectorate, Additives in PVC, Marking of PVC, Bericht einer Regierungskommission, 1997

³⁰ KOM(96)399

³¹ ABL C 30, 4. 2. 1988, S. 1.

Was die Verwendung von Cadmium in PVC-Stabilisatoren anbelangt, so wird dies in einer Reihe von PVC-Produkten bereits durch die Richtlinie 91/338/EWG beschränkt. Der Einsatz von Cadmium in Fensterprofilen ist jedoch noch erlaubt. Schweden, Österreich und die Niederlande haben sämtliche Anwendungen von Cadmium in Stabilisatoren verboten, und die Richtlinie 1999/51/EG sieht eine generelle Ausnahmeregelung für Schweden und Österreich vor, strengere Vorschriften für Cadmium anzuwenden.

Zur Verwendung von Bleiverbindungen als Stabilisatoren gibt es keine gemeinschaftlichen Rechtsvorschriften. Dänemark³², Schweden³³, Österreich³⁴ und Deutschland³⁵ haben weitere – gesetzliche oder freiwillige – Einschränkungen der Verwendung von Blei und Cadmium, insbesondere als Stabilisatoren in PVC, gefordert.

Darüber hinaus wird, wie bereits erwähnt, derzeit eine Risikobewertung für Cadmium vorgenommen und der CSTE arbeitet an einer wissenschaftlichen Bewertung für Blei. Entscheidungen über potenzielle Maßnahmen zur Reduzierung von Risiken sollten auf der Grundlage sämtlicher vorliegenden wissenschaftlichen Bewertungen getroffen werden. Sie sollten im Lichte neuer wissenschaftlicher Entwicklungen, einschließlich der Ergebnisse möglicher zukünftiger Risikoabschätzungen, überprüft werden.

Potenzielle Ersatzstoffe für Blei und Cadmium sind bereits im Einsatz: die wichtigsten sind dabei Calcium-Zink- und zinnorganische Stabilisatoren. Calcium-Zink-Verbindungen haben ein geringeres Gefahrenpotential als Blei- und Cadmiumverbindungen und sind derzeit nicht als gefährlich eingestuft. Der generelle Ersatz von Bleistabilisatoren wird zur Zeit noch durch technische Faktoren (Produktqualität, Normen, Prüfanforderungen) und wirtschaftliche Gründe (höhere Kosten) verhindert. Es ist zu erwarten, daß sich der Preisunterschied zwischen Blei- und Calcium/Zink-Stabilisatoren durch derzeit entstehende neue Produktionskapazitäten verringern wird. Zinn-Stabilisatoren haben mit Blick auf die Umwelt und menschliche Gesundheit weniger günstige Eigenschaften.

Im März 2000 unterzeichnete die gesamte PVC-Industrie (PVC Hersteller, die Hersteller von Additiven und die PVC-Verarbeiter - vertreten durch ihre europäischen Verbände ECVN, ECPI, ESPA, EuPC³⁶) - gemeinsam eine freiwillige Selbstverpflichtung mit der erklärten Absicht, sich „der Herausforderung einer nachhaltigen Entwicklung zu stellen“ und „unter Verwendung eines integrierten

³² Mitteilung Dänemarks eines Entwurfs zur gesetzlichen Einschränkung der Verwendung von Blei in Produkten.

³³ Swedish National Chemicals Inspectorate, Additives in PVC, Marking of PVC, Bericht einer Regierungskommission, 1997

³⁴ Einzelstaatliche österreichische Gesetzgebung zum Verbot von Cadmium in PVC

³⁵ Kommission Human-Biomonitoring des Deutschen Umweltbundesamts "Bleireferenz und Human-Biomonitoring-Werte", 1996

Bericht der Enquête Kommission des Deutschen Bundestags "Die Industriegesellschaft gestalten – Perspektiven für einen nachhaltigen Umgang mit Stoff- und Materialströmen", Empfehlungen bezüglich PVC, Juli 1994.

³⁶ ECVN ist der Europäische Verband der PVC Hersteller; ECPI der Europäische Verband der Weichmacher and Zwischenprodukte; ESPA der Europäische Verband der Stabilisatorhersteller und EuPC der Verband Europäischer Kunststoffverarbeiter.

Ansatzes das Konzept eines verantwortlichen Managements von „der Wiege bis zur Bahre umzusetzen“.

Die Unterzeichner vertreten mehr als 98 % der Hersteller von PVC-Polymer, Additiven und PVC-Compounds sowie zwischen 60 % und 80 % der Hersteller von PVC-Fensterrahmen und -Rohren.

Die freiwillige Selbstverpflichtung betrifft verschiedene Auswirkungen von PVC auf die Umwelt und enthält einen Plan der vorgesehenen Maßnahmen (Reduzierung der Emissionen in der Produktionsphase, Beschränkungen der Verwendung von Cadmium, fortschreitende Umsetzung von Recyclingzielen sowie finanzielle Verpflichtungen zur Schaffung eines Fonds für die Finanzierung einschlägiger Forschungsprojekte. Zu den wichtigsten vorgesehenen Maßnahmen gehören:

- spezielle Verpflichtungen, auf deren Einzelheiten in diesem Dokument an geeigneter Stelle eingegangen wird, für den Zeitraum 2000-2010;
- quantitative and fortschreitende Ziele für das Recycling bestimmter Abfallströme und Beendigung des Einsatzes von Cadmium;
- Veröffentlichung jährlicher Berichte und Verteilung an interessierte Gruppen;
- Prüfung und Bewertung der Ergebnisse durch unabhängige, außenstehende Dritte, erstmals in 2003, später erneut in 2008;
- Überprüfung der gesetzten Ziele zur Berücksichtigung des technischen und wissenschaftlichen Fortschritts und von Vorschlägen von interessierten Gruppen.

Die Unterzeichnung und das Inkrafttreten dieser Verpflichtung stellen einen wichtigen Schritt dar, der in Abhängigkeit der Kriterien bewertet werden muß, die in der Mitteilung der Kommission an den Rat und an das Europäische Parlament über Umweltvereinbarungen (KOM(96)561 endg.) genannt werden.

Der Erfolg dieses Ansatzes erfordert stetige Fortschritte bei den Bemühungen auf den speziellen Gebieten, die Gegenstand der Vereinbarung sind, insbesondere die Reduzierung der Produktion und der Verwendung bestimmter Additive, die Festsetzung anspruchsvollerer Mengenziele für das Recycling, den Beitrag der Industrie zu den Mehrkosten der Müllverbrennung und ein voll funktionsfähiger Finanzierungsmechanismus.

Was Cadmium anbelangt, so hat sich die Industrie verpflichtet, die Verwendung von Cadmium-Stabilisatoren ab 2001 einzustellen. Diese Verpflichtung erfaßt nicht die Importe von PVC aus Drittländern, die durchaus noch Cadmium enthalten können.

Mit Blick auf die Verwendung von Blei hat sich die Vereinigung Europäischer Stabilisator-Hersteller (ESPA) verpflichtet, *„erste Risikoabschätzungen für Stabilisatoren auf Bleibasis im Rahmen des CEFIC- und des ICCA-Programms ‚Vertrauen in Chemikalien‘ bis zum Jahre 2004“* durchzuführen.

ESPA ist die Verpflichtung eingegangen, jährliche Statistiken vorzulegen, aus denen hervorgeht, welche Stabilisatoren von den PVC-Verarbeitern gekauft werden. Gegenwärtig werden von der PVC-Stabilisatoren Industrie keine Maßnahmen zur Eliminierung der Verwendung von Blei in PVC vorgesehen, außer *„weiter an der*

Forschung und Entwicklung alternativer Stabilisatoren zu Systemen auf Bleibasis zu arbeiten“. ESPA prognostiziert einen Rückgang des Verbrauchs von Bleistabilisatoren von 120.000 t im Jahr 1999 auf 80.000 t im Jahre 2010 und stellt dazu fest, daß sie „diesen Trend durch die Entwicklung geeigneter Alternativen unterstützen“ werde.

Zu prüfende Fragen

Die Kommission ist angesichts der vorstehenden Analyse der Ansicht, daß die Kontamination der Umwelt durch Blei und Cadmium so weit wie möglich vermieden werden sollte. Die Kommission tritt Reduzierung der Verwendung von Cadmium- und Bleistabilisatoren in PVC-Produkten ein. Dabei könnte eine Anzahl von Maßnahmen ins Auge gefaßt werden, die im Hinblick auf ihre potenziellen ökologischen und ökonomischen Implikationen untersucht werden sollten.

- 1. Gesetzgeberische Schritte zur Eliminierung oder andere Risikominierungsmaßnahmen bezüglich Cadmium und/oder Blei mit der Möglichkeit zeitlich begrenzter Ausnahmeregelungen für eine***
- 2. Umsetzung der freiwilligen Selbstverpflichtung der PVC-Industrie zu Cadmium***
- 3. Entwicklung weiterer freiwilliger Selbstverpflichtungen zu Blei***

Frage Nr. 1:

Welches Maßnahmenpaket sollte eingesetzt werden, um das Problem der Verwendung von Blei und Cadmium in neuem PVC anzugehen? Innerhalb welchen Zeitrahmens?

3.3. Weichmacher

Weichmacher werden zur Herstellung von Weich-PVC-Produkten benötigt. In Westeuropa werden jährlich etwa 1 Mio. t Phthalate hergestellt, von denen etwa 900.000 t in die PVC-Produktion gehen. 1997 waren 93% der in PVC verwendeten Weichmacher Phthalate. Am häufigsten verwendet werden folgende Phthalate: bis-2-Ethylhexylphthalat (DEHP), Diisodecylphthalat (DIDP) und Diisononylphthalat (DINP). In den letzten Jahren ist die Verwendung von DEHP gesunken, die von DIDP und DINP hingegen angestiegen. Die Mengen an Weichmachern, die dem PVC-Polymer zugesetzt werden, schwanken je nach den erforderlichen Eigenschaften.

In Abhängigkeit von der endgültigen Verwendung bewegt sich der Gehalt an Weichmachern zwischen 15 und 60%, wobei die typischen Bereiche für die meisten Anwendungen zwischen 35 und 40% liegen.

Auch andere Stoffe wie Adipate, Trimellitate, Organophosphate und epoxidiertes Sojabohnenöl können als Weichmacher für PVC eingesetzt werden. Ihr Anteil am Verbrauch von Weichmachern ist jedoch gering. Angaben zu den Auswirkungen dieser Weichmacher auf die Umwelt und die menschliche Gesundheit sind begrenzt

und für eine ordnungsgemäße Bewertung müssten weitere Daten erst noch gewonnen werden. Dieser Abschnitt wird sich deshalb auf die Phthalate konzentrieren, die mengenmäßig die wichtigsten Weichmacher sind und für die auch derzeit hauptsächlich Bewertungen der Umwelt- und Gesundheitsrisiken durchgeführt werden.

Phthalate sind Chemikalien mit hohem Produktionsvolumen, von denen fünf wegen ihrer potenziellen Risiken für Mensch und Umwelt auf die ersten drei Prioritätslisten für eine Risikobewertung gemäß der Verordnung 793/93 über chemische Altstoffe gesetzt worden sind. Die Risikobewertungen für diese fünf Stoffe werden von Berichterstatlern³⁷ in den Mitgliedstaaten durchgeführt. Die Risikobewertungen für DEHP, DIDP, DINP, DBP sind entweder bereits beendet oder ihre Vervollständigung ist noch für das Jahr 2000 vorgesehen, diejenige für BBP für 2001.

DEHP, DINP und DIDP haben ein Bioakkumulationspotential. Die Risikobewertungen gemäß Verordnung 793/93 haben aber festgestellt, daß keine Bedenken hinsichtlich der Akkumulation von DBP, DINP und DIDP bestehen, wohingegen die potenziellen Umweltauswirkungen von DEHP und BBP noch weiterhin untersucht werden. Langkettige Phthalate sind unter den normalen Bedingungen einer Abwasserbehandlung biologisch nur schlecht abbaubar und werden in üblichen Sicker- und Abwasserkläranlagen, wo sie an suspendierten Feststoffe akkumulieren, nur zum Teil abgebaut. Bestimmte Phthalate sowie ihre Stoffwechsel- und Abbauprodukte können schädliche Wirkungen auf die menschliche Gesundheit haben (DINP vor allem auf Leber und Niere und DEHP auf die Hoden). Potentielle Störungen des endokrinen Systems durch diese Stoffe werden derzeit untersucht.

Alle Phthalate, die in PVC-Produkten in großen Mengen verwendet werden, sind heute in der Umwelt weit verbreitet. Sie scheinen vor allem durch Transport in der Luft und dem Austreten aus bestimmten Produkten in die Umwelt zu gelangen. Phthalate werden in hohen Konzentrationen zumeist in Sedimenten und im Klärschlamm gefunden. Berichten aus Dänemark zufolge können die Konzentrationen bestimmter Phthalate die für die Verwendung von Klärschlämmen in der Landwirtschaft festgesetzten nationalen Grenzwerte überschreiten.

Die Risiken aus der Verwendung von Phthalaten in bestimmten Spielzeug- und Babyartikeln aus Weich-PVC sind vom Wissenschaftlichen Ausschuß für Toxizität, Ökotoxizität und Umwelt (CSTEE) untersucht worden. Phthalate treten aus Spielzeug- und Babyartikeln aus, wenn Kleinkinder daran saugen.

In seinen Stellungnahmen hat der CSTEE seine Besorgnis über die Risiken zum Ausdruck gebracht, die für Kleinkinder bei einer Exposition gegenüber zwei (DINP und DEHP) der in diesen Produkten verwendeten Phthalaten wegen potentieller schädlicher Wirkungen auf Leber, Niere und Hoden bestehen. Die Kommission hat am 10. November 1999 einen Vorschlag für eine Richtlinie angenommen und am 7. Dezember 1999 unter Anwendung des von der Richtlinie 92/59/EWG für Notfälle

³⁷

Die fünf Phthalate sind : Bis-(2-ethylhexyl)-phthalat (DEHP), Berichterstatler Schweden; Diisononylphthalat (DINP), Berichterstatler Frankreich; Diisodecylphthalat (DIDP), Berichterstatler Frankreich; Dibutylphthalat (DBP), Berichterstatler Niederlande; Butylbenzylphthalate (BBP), Berichterstatler Norwegen

vorgesehenen Verfahrens eine Entscheidung über das Verbot der Verwendung von Phthalaten in bestimmten Spielzeug- und Babyartikeln, die dazu bestimmt sind, in den Mund genommen zu werden.

Drei Mitgliedstaaten haben, ohne den Abschluß der oben erwähnten Risikobewertungsprozesse abzuwarten, bereits damit begonnen, Risikomanagement-Strategien mit dem allgemeinen Ziel einer Verringerung der Verwendung von Phthalaten zu entwickeln. So hat die schwedische Regierung eine Vorlage über „Schwedische Zielvorstellungen in Bereich der Umweltqualität“ unterbreitet, die darauf abzielt die Verwendung des wichtigsten Phthalats DEHP zu verringern³⁸. Die dänische Regierung hat einen Aktionsplan zur Reduzierung der Verwendung von Phthalaten um 50 % in den nächsten zehn Jahren angenommen. Eine Bewertung der Nachhaltigkeit von Weich-PVC ist auch vom deutschen Umweltbundesamt vorgenommen worden³⁹, das aufgrund der permanenten Verluste von Weichmachern, insbesondere von Phthalaten, an die Umwelt eine graduelle Ablösung von Weich-PVC in solchen Produkten empfiehlt, für die sicherere Alternativen vorhanden sind.

Zu prüfende Fragen

Die Verwendung von Phthalaten in PVC-Produkten wirft die vorstehend beschriebenen Fragen auf, die durch eine Anzahl von Maßnahmen aufgegriffen werden können, darunter gesetzliche oder freiwillige Risikoverminderungsmaßnahmen. Diese potenziellen Maßnahmen sollten im Hinblick auf ihre ökologischen und ökonomischen Implikationen bewertet werden.

Frage Nr. 2:

Sollen spezielle Maßnahmen bezüglich der Verwendung von Phthalaten als Weichmacher in PVC getroffen werden? Wenn ja, wann und mit welchen Instrumenten?

4. PVC-ABFALLBEWIRTSCHAFTUNG

Die Dienststellen der Kommission haben vier Studien zu den technischen Aspekten der wichtigsten Entsorgungsoptionen für PVC-Abfälle - werkstoffliches Recycling⁴⁰, chemisches Recycling⁴¹, Verbrennung⁴² und Deponierung⁴³ - durchführen lassen.

³⁸ Die schwedische Regierung stellt fest, daß “die Verwendung von DEHP und anderen Weichmachern mit schädlichen Auswirkungen in PVC für den Außengebrauch in beschichteten Geweben und Folien und für den Korrosionsschutz von Autos auf freiwilliger Basis bis 2001 eingestellt werden sollte. Andere Verwendungen von DEHP als Weichmacher in PVC, mit Ausnahme von medizinischen Produkten und Pharmazeutika, sollten auf freiwilliger Basis bis 2001 eingestellt werden.”

³⁹ Deutsches Umweltbundesamt, Handlungsfelder und Kriterien für eine vorsorgende nachhaltige Stoffpolitik am Beispiel PVC, 1999

⁴⁰ Prognos, Mechanical recycling of PVC wastes, Study for DG XI, January 2000

⁴¹ TNO, Chemical recycling of plastics waste (PVC and other resins), Study for DG III, December 1999

⁴² Bertin Technologies, The influence of PVC on quantity and hazardousness of flue gas residues from incineration, Study for DG XI, April 2000

⁴³ Argus in association with University Rostock, The Behaviour of PVC in Landfill, Study for DG ENV, February 2000.

Die Entsorgung von PVC-Abfällen sollte im Kontext der europäischen Politik zur Abfallwirtschaft untersucht werden. Die Mitteilung der Kommission zur Überprüfung der Gemeinschaftsstrategie für die Abfallwirtschaft⁴⁴ hat die *Rangfolge der Grundsätze bestätigt, daß die Vermeidung von Abfällen erstes Gebot ist, dann folgt die Verwertung und schließlich die sichere Beseitigung von Abfällen*“. Weiter heißt es in der Mitteilung: *„der stofflichen Verwertung ist gegenüber der energetischen Vorzug zu geben, sofern dies umweltverträglich ist. Diese grundsätzliche Regel basiert auf der Tatsache, daß die stoffliche Verwertung in größerem Umfang zur Vermeidung von Abfällen beiträgt als die energetische Verwertung. Dennoch sind die Auswirkungen auf Umwelt und Wirtschaft sowie die wissenschaftlichen Erkenntnisse bei der jeweiligen Option in Betracht zu ziehen. Die Bewertung dieser Effekte könnte in einzelnen Fällen dazu führen, daß der Option der energetischen Verwertung der Vorzug zu geben ist.“* Der Rat hat diese Hierarchie von Grundsätzen in seinem Beschluß⁴⁵ vom 24. Februar 1997 bekräftigt.

4.1. Derzeitige Situation und zukünftige Entwicklungen

Derzeitige Situation

Die Gesamtmenge an PVC-Abfällen ist abhängig vom PVC-Verbrauch. Allerdings besteht wegen der 50 Jahre und länger währenden Lebensdauer einiger Produkte wie Rohren und Fensterprofilen eine Zeitdifferenz zwischen dem PVC-Verbrauch und dem Erscheinen des PVC im Abfallstrom. PVC-Produkte erreichten in den 60er Jahren einen bedeutenden Marktanteil. Bei einer Lebensdauer von ca. 30 Jahren und mehr ist etwa ab 2010 mit einem bedeutenden Ansteigen der Mengen an PVC-Abfällen zu rechnen.

Da PVC in einem breiten Spektrum von Produkten verwendet wird, sind die Daten über die in der EU anfallenden PVC-Abfälle unsicher. Die neuesten und detailliertesten Daten über PVC-Abfallmengen sind Schätzungen von Seiten der Industrie, die auf Berechnungen unter Verwendung der jährlichen Produktionsmengen und der mittleren Lebensdauer der Produkte beruhen.

Den Schätzungen zufolge lag die Gesamtmenge von PVC-Abfällen in der Gemeinschaft 1999 bei etwa 4,1 Mio. t, die sich in 3,6 Mio. t „Post-Verbraucher“-PVC-Abfälle (Abfälle, die nach der Verwendung beim Verbraucher anfallen) und 0,5 Mio. t „Prä-Verbraucher“-PVC-Abfälle (Produktions- und Verarbeitungsabfälle) aufteilen lassen. Derzeit besteht die Gesamtabfallmenge zu etwa zwei Dritteln aus Weich-PVC und zu einem Drittel aus Hart-PVC.

Etwa 1 Mio. t PVC fallen im Abfallstrom aus Bau- und Abrißschutt an. Eine weitere Mio. t im kommunalen Müll, der sich aus gesammeltem Hausmüll sowie ähnlichen Abfällen aus Industrie und Gewerbe zusammensetzt. Etwa 700.000 t PVC stammen von Verpackungen und weitere etwa 700.000 t aus der Entsorgung von Kraftfahrzeugen und aus Elektro- und Elektronikschrott.

Der zur Zeit wichtigste Entsorgungsweg der Abfallwirtschaft in der Gemeinschaft für alle Arten von „Post-Verbraucher“-Abfällen ist die Deponierung. Dies gilt folglich auch für „Post-Verbraucher“ PVC-Abfälle. Derzeit werden jährlich etwa 2,6

⁴⁴ KOM(96) 399 endg.

⁴⁵ 97/C 76/01

bis 2,9 Mio. t PVC-Abfälle auf Deponien abgelagert. Werkstoffliches Recycling wird nur für einen kleinen Teil der „Post-Verbraucher“-Abfälle (ca. 100.000 t) angewendet. Annähernd 600.000 t PVC werden jährlich in der Gemeinschaft verbrannt.

Zukünftige Entwicklungen: baseline scenario

Dieses Szenario⁴⁶ beschreibt die Situation im Hinblick auf die Menge von PVC-Abfällen und die wichtigsten Entsorgungswege, wie sie für die Jahre 2000, 2010 und 2020 unter der Annahme erwartet werden, daß keine weiteren PVC-spezifischen Maßnahmen über die auf Gemeinschaftsebene und in den Mitgliedstaaten derzeit in Kraft oder in Vorbereitung befindlichen gesetzlichen, administrativen und freiwilligen Maßnahmen hinaus getroffen werden. In diesem Szenario wird davon ausgegangen, daß die bestehenden und künftigen Richtlinien über Abfalldeponien, Verbrennung, Verpackungsmaterial, Altfahrzeuge, sowie Elektro- und Elektronikschrott umgesetzt werden.

Der Schlüsselfaktor bei der Bewirtschaftung der „Post-Verbraucher“-PVC-Abfälle ist der erwartete Anstieg der Mengen an PVC-Abfällen. Prognosen zum künftigen Aufkommen an PVC-Abfällen sind zwar mit Unsicherheiten behaftet, doch wird erwartet, daß das Volumen an PVC-Abfällen bis zum Jahre 2010 um 30 % und bis zum Jahre 2020 um 80 % zunehmen wird, was insbesondere auf den starken Anstieg bei den Abfallmengen aus langlebigen Produkten zurückgeht. Dabei wird es bei den „Post-Verbraucher“-Abfällen einen Anstieg von derzeit etwa 3,6 Mio. t auf etwa 4,7 Mio. t im Jahr 2010 und auf 6,2 Mio. t im Jahre 2020 geben. Das Volumen der „Prä-Verbraucher“- PVC-Abfälle wird von 0,5 auf 0,9 Mio. t zunehmen.

Es wird erwartet, daß sich im Vergleich zur gegenwärtigen Situation die Zusammensetzung des Aufkommens an „Post-Verbraucher“ PVC-Abfällen nach Produktgruppen verändert. So wird der Anteil von PVC-Abfällen aus dem Baubereich sowie aus Haushalten und Gewerbe zunehmen, während der Anteil aus Verpackungen signifikant zurückgehen dürfte. Auch der Anteil an Weich-PVC-Abfällen wird abnehmen.

Im Kontext des „Baseline“-Szenarios für PVC-Abfälle wird erwartet, daß die Änderungen in der Gesetzgebung zur Abfallwirtschaft und in der Praxis, folgendes bewirken werden:

- Die Richtlinie über Abfalldeponien wird einige bedeutende Änderungen für die Abfallwirtschaft bringen, vor allem infolge der erwarteten Erhöhung der Deponiekosten. Einige Mitgliedstaaten, insbesondere Deutschland, Österreich, die Niederlande und Dänemark, haben nationale Maßnahmen zum Verbot der Deponierung unbehandelter organischer Abfälle, darunter auch Plastikabfälle, angekündigt, mit der Ausnahme von PVC-Abfällen in Dänemark.
- In den kommenden Jahrzehnten wird das Recycling wahrscheinlich beträchtlich an Bedeutung gewinnen, insbesondere für solche Abfallströme, für die Recycling-Ziele gesetzt werden. Auch die energetische Verwertung für Abfälle, die nicht recycled werden können, dürfte sich nach den Erwartungen erhöhen.

⁴⁶

Prognos, ebd.

Wie sich dies auf die Behandlung von PVC-Abfällen auswirken wird, wird in den folgenden Abschnitten über die wichtigsten Entsorgungsmöglichkeiten der Abfallwirtschaft detaillierter untersucht werden.

4.2. Werkstoffliches Recycling

Unter dem Begriff des werkstofflichen Recyclings werden Recyclingprozesse zusammengefaßt, bei denen der PVC-Abfall nur mechanisch verarbeitet wird, vor allem durch Shreddern, Sieben und Mahlen. Die dabei entstehenden Recyclate (in Pulverform) lassen sich zu neuen Produkten verarbeiten. Je nach dem Kontaminationsgrad und der Zusammensetzung des Sammelgutes kann die Qualität von PVC-Recyclaten sehr unterschiedlich sein. Die Qualität der Recyclate ist maßgeblich für das Ausmaß, bis zu dem neues Material durch Recyclat ersetzt werden kann: Hochwertige Recyclate können für die gleichen PVC-Produkte wiederverwendet werden, wohingegen minderwertige Recyclate aus Mischmüllfraktionen nur zu Produkten verarbeitet werden können, die normalerweise aus anderen Materialien hergestellt werden („Downcycling“).

Das Recycling von „Post-Verbraucher“-PVC-Abfällen findet in der EU erst auf sehr niedrigem Niveau statt und die recycelten Mengen machen weniger als 3 % der Gesamtmenge aus⁴⁷. Zur Zeit werden in der EU jährlich etwa 100.000 t recycelt. Bei einem großen Teil dieses Recyclings von „Post-Verbraucher“ PVC Abfällen (etwa 70 %) handelt es sich um „Downcycling“ von Kabelabfällen (ca. 38.000 t) und Verpackungsabfällen (ca. 19.000 t).

Das werkstoffliche Recyclen von „Post-Verbraucher“-Abfällen zu hochwertigen Recyclaten befindet sich noch in einem Frühstadium und ist derzeit nur für einige wenige Produktgruppen und zudem in geringen Mengen zu finden (ca. 3.600 t Hart-PVC-Profile, 5.500 t Rohre und 550 t Fußbodenbeläge).

In keinem der Mitgliedstaaten scheint die Recyclingrate von „Post-Verbraucher“-Abfällen signifikant über dem EU-Durchschnitt zu liegen. In einigen Ländern sind - in der Regel auf freiwilliger Basis - Abfallerfassungssysteme eingerichtet worden. Allerdings liegt die Recyclingrate in der Regel unter 5 % und basiert im wesentlichen auf dem „Downcycling“ von Verpackungen und Kabeln.

Was die „Prä-Verbraucher“-Abfälle anbelangt, so wurden 1998 ca. 420.000 t PVC – entsprechend etwa 85% des Abfallaufkommens – recycelt. Werkstoffliches Recyclen von „Prä-Verbraucher“-Abfällen gibt es in allen Mitgliedstaaten und kann als gewinnbringende Wirtschaftstätigkeit angesehen werden.

Eine Reihe von Lebenszyklus-Analysen⁴⁸ an einigen speziellen PVC-Produkten hat gezeigt, daß werkstoffliches Recycling mit Blick auf die Umwelt einige Vorteile bei Produktions- und Verarbeitungsabfällen bringt, wie auch bei „Post-Verbraucher“-PVC-Abfällen, die getrennt werden können. Die Umweltvorteile des „Downcycling“ von Mischkunststoffen zur Herstellung von Produkten, die Beton, Holz oder andere Nicht-Plastik-Erzeugnisse substituieren, sind weniger gewiß.

⁴⁷ Prognos, ebd.

⁴⁸ Prognos, ebd.

Allerdings wirft das Vorliegen von als gefährlich eingestuften Additiven wie Blei, Cadmium und PCBs in großen PVC-Abfallströmen für ihr potenzielles Recycling einige Fragen auf. Das Recycling von schwermetallhaltigen PVC-Abfällen führt zu einer Verdünnung dieser Stoffe in einer größeren Menge PVC, da reines Neumaterial zugesetzt werden muß. Die Schwermetalle werden während des Recycling-Prozesses und des erneuten Anwendungszeitraums nicht direkt in die Umwelt freigesetzt. Das Recyceln von PVC-Material, das diese Schwermetalle enthält, verschiebt die endgültige Entsorgung auf eine spätere Phase. Wenngleich eine Kontrolle der Verwendung von recyceltem blei- und cadmiumhaltigem PVC schwierig sein könnte, ist es aus technischen Gründen unwahrscheinlich, daß PVC-Abfälle aus verschiedenen Anwendungen zusammen recyclet werden, wenn hochwertige Recyclate erhalten werden sollen. Wegen der produktspezifischen Additivformulierungen ziehen es Recycling-Unternehmen vor, das Material zu ähnlichen Produkten wie die ursprünglichen zu recyceln.

Zusätzliche Maßnahmen wie z.B. Einschränkungen des unkontrollierten Verkaufs von schwermetallhaltigen Recyclaten oder des „Downcycling“ könnten ebenfalls getroffen werden. Bei einem Verbot des Recyclens von schwermetallhaltigen PVC-Abfällen stünde das werkstoffliche Recycling von „Post-Verbraucher“-PVC-Abfällen aus dem Baubereich – dem Abfallstrom mit dem größten Potenzial für hochwertiges PVC Recycling - als Option nicht mehr zur Verfügung, da diese praktisch alle Blei oder Cadmium enthalten. Es muß darauf hingewiesen werden, daß mit Ausnahme Dänemarks diejenigen Mitgliedstaaten, die die Verwendung von Cadmium als Stabilisator verboten haben, das Recycling von cadmiumhaltigen PVC-Abfällen erlauben. Das Problem der PCBs in PVC-Kabelabfällen ist in der Richtlinie 96/59/EG über die Beseitigung von PCBs und PCTs behandelt worden, die festlegt, daß Kabel mit einem Gehalt von mehr als 50 ppm PCBs als PCBs angesehen werden und daher entsprechend den Vorschriften dieser Richtlinie zu dekontaminieren bzw. zu entsorgen sind.

PVC kann sich negativ auf das Recycling anderer Kunststoffe in Mischkunststoffabfällen auswirken. Wenn PVC zusammen mit anderen Kunststoffen recycelt wird, wie z.B. im Verpackungsabfallstrom, wird die Prozeßtemperatur auf den PVC-Temperaturbereich eingeschränkt, der im Vergleich zu dem anderer Kunststoffe relativ schmal ist. Wegen ähnlicher Dichten lassen sich Polyethylenterephthalat (PET)- und PVC-Abfälle nur schwer voneinander trennen, und das Vorliegen von PVC verteuert einige PET-Recyclingprogramme, wie das Recycling von PET-Flaschen. In einigen Fällen hat die PVC-Industrie dieses Problem anerkannt und übernimmt einen Teil dieser Extrakosten.

Wie bei anderen Materialien hat auch das Recyceln von PVC seine Grenzen in den Gesamt-Recyclingkosten. Die wirtschaftliche Rentabilität ist erreicht, wenn die Netto-Recyclingkosten (d.h. die Gesamtkosten für die Sammlung, Trennung und Verarbeitung abzüglich der Einnahmen aus dem Verkauf der Recyclate) niedriger sind als die Preise für alternative Behandlungswege für vergleichbare PVC-Abfälle. Wenn eine wirtschaftliche Rentabilität nicht zu erreichen ist, findet unter den Bedingungen des freien Marktes kein PVC-Recycling statt, es sei denn dies wird durch gesetzliche oder freiwillige Verpflichtungen erzwungen bzw. gefördert. Die Sammlung stellt den größten Engpaß im Hinblick auf die Verfügbarkeit von Abfällen und die Kosten dar.

Hochwertiges Recycling von „Post-Verbraucherr“-Abfällen (insbesondere Rohre, Profile, Fußbodenbeläge) bringt derzeit keinen Gewinn, da die Netto-Recyclingkosten klar über den Kosten für das Deponieren und die Verbrennung liegen. Dazu kommen für den Besitzer der Abfälle weitere Kosten für das Trennen der verschiedenen Abfälle auf der Baustelle.

Minderwertiges Recycling von „Post-Verbraucher“-PVC-Abfällen wie z.B. von Verpackungsabfällen wirft keinen wirtschaftlichen Gewinn ab. Eine Wirtschaftlichkeit für andere für das minderwertige Recycling geeignete Abfallströme wie z.B. Büroartikel oder Filme dürfte wahrscheinlich auch nicht zu erreichen sein. Kabelisolierungen sind der einzige „Post-Verbraucher“-Abfall, der zu wettbewerbsfähigen Preisen recycelt werden kann, und dies aufgrund des Vorhandenseins wertvoller Metalle (wie z.B. Kupfer).

Zusammenfassend sei festgestellt, daß das Recycling von „Prä-Verbraucher“-Abfall im Prinzip rentabel sein kann, wohingegen das Recycling von „Post-Verbraucher“-PVC-Abfall weit von der ökonomischen Wettbewerbsfähigkeit entfernt ist. Zusätzlich zur Schaffung von Recycling-Systemen mit einem ausgedehnten regionalen Erfassungsgrad sind finanzielle Anreize für eine sortenreine Sammlung von PVC-Abfällen erforderlich. Darüber hinaus liegt PVC häufig als eine Komponente in Verbundmaterialien oder vermischt in kontaminierten Abfallströmen vor – was den Einsatz spezieller Sammel- und Trenntechniken erfordert. Der Preis des Rohmaterials, der hochvariabel ist (zwischen 0,5 und 0,8 €/kg) hat großen Einfluß auf die Wirtschaftlichkeit des Recyclings. Dazu kommt, daß die Preise für das Deponieren und die Verbrennung niedrig sind. Dennoch ist für die kommenden Jahre zu erwarten, daß sich die wirtschaftlichen Bedingungen für das Recycling sehr wahrscheinlich verbessern werden, insbesondere wegen steigender Kosten für Deponierung und Verbrennung.

Zukünftige Entwicklungen und Orientierungslinien der Politik

Nach dem Baseline-Szenario könnten 2010 und 2020 etwa 9 % aller PVC-Abfälle werkstofflich recycelt werden: das sind ca. 400.000 t PVC-Abfälle im Jahre 2010 und 550.000 t im Jahre 2020⁴⁹. Die Recycling-Raten schwanken je nach den betrachteten spezifischen Abfallströmen.

- Für hochwertiges Recycling könnten die folgenden Recyclingraten für PVC-Abfälle aus Bau- und Abrißschutt erreicht werden: ca. 25 % für Rohre, ca. 40 % für Fensterprofile und ca. 12 % für Fußbodenbeläge.
- Für minderwertiges Recycling lägen die Raten bei etwa 65 % für Kabel im Abfallstrom aus Bau- und Abrißschutt, ca. 30 % für Elektro- und Elektronikmüll und ca. 20 % für Verpackungsmaterial.
- Andere Abfallströme wie Abfälle aus privaten Haushalten sowie dem Gewerbebereich werden nach den in diesem Szenario verwendeten Annahmen wahrscheinlich nicht recycelt.

⁴⁹

Prognos, ebd.

Im Vergleich zum Baseline-Szenario sind die maximalen Recyclingpotentiale geschätzt worden⁵⁰, d.h. die PVC-Mengen, die unter Beachtung der technischen und wirtschaftlichen Grenzen des PVC-Recycling, recycelt werden können. Nach diesem Szenario liegt das Potenzial für „Post-Verbraucher“-Abfälle im Jahre 2010 bei etwa 800.000 t und im Jahre 2020 bei 1,2 Mio. t, was einer Recyclingrate von ca. 18 % entspricht. Dies bedeutet, daß das werkstoffliche Recycling von PVC-Abfall nur zu etwa einem Fünftel zur Entsorgung des „Post-Verbraucher“-Abfalls beitragen könnte. Andere Entsorgungswege der Abfallwirtschaft werden deshalb wichtig bleiben.

In ihrer Selbstverpflichtung vom März 2000 hat die PVC-Industrie sich zu quantifizierten Zielen für das werkstoffliche Recycling von Rohren, Armaturen und Fensterrahmen verpflichtet. Für Rohre lautet die Verpflichtung, „bis 2005 mindestens 50 % der erfaßten verfügbaren Abfallmenge an Rohren und Armaturen zu recyceln“, für Fensterprofile besteht die Verpflichtung, „bis 2005 mindestens 50 % der erfaßbaren verfügbaren Abfallmenge an Fensterprofilen zu recyceln“. Diese Ziele basieren nicht auf dem erzeugten, sondern vielmehr auf dem gesammelten Abfall.

Nach Angaben der PVC-Industrie werden im Jahre 2005 schätzungsweise folgende jährlichen Mengen recycelt: 15.000 t für Rohre und 15.000 t für Fensterprofile. Allerdings werden die nachstehend genannten großen PVC-Abfallströme, die für ein hochwertiges Recycling in Frage kämen, von der Verpflichtung nicht erfaßt: steife Profile außer Fensterprofilen (ca. 240.000 t in 2005), kalanderte Fußbodenbeläge (ca. 240.000 t in 2005) und flexible Profile und Schläuche (ca. 120.000 t in 2005). Nichtsdestoweniger hat die PVC-Industrie in ihrer Selbstverpflichtung erklärt, daß für andere potenzielle Produkte wie z.B. Kabel, Fußbodenbeläge und Dachfolien „weitere Arbeiten nötig sind, um eine geeignete Logistik, Technologien und Wiederverwendungsbereiche entwickeln zu können.“ Darüber hinaus hat sich die Branche verpflichtet, diese Entwicklungen zu unterstützen, einschließlich des Erreichens höherer Ziele für werkstoffliche Recycling „zum frühestmöglichen Zeitpunkt“

Zu prüfende Fragen:

Die Kommission ist angesichts der vorstehenden Analyse und der gegenwärtig geringen Recyclingrate der Ansicht, daß das PVC-Recycling verstärkt angewendet werden sollte. Dies könnte durch eine Reihe von Maßnahmen erreicht werden, die entweder einzeln oder kombiniert angewendet werden könnten. Ihre potenziellen ökologischen und ökonomischen Implikationen sollten bewertet werden. Diese potenziellen Maßnahmen umfassen:

- 1. Obligatorische Sammel- und Recyclingziele für einige wichtige PVC-Abfallströme***
- 2. Freiwillige Selbstverpflichtung der Industrie, das Sammeln und Recyceln einiger wichtiger PVC-Abfallströme zu verbessern und entweder ganz oder teilweise zu finanzieren***
- 3. Empfehlungen an die Mitgliedstaaten mit dem Ziel, getrennte***

	<i>Sammelströme für PVC-Abfall und anderen Abrißschutt einzurichten und auszubauen</i>
4.	<i>Entwicklung geeigneter Normen, die den Einsatz recycelter PVC-Materialien erlauben</i>
5.	<i>Markieren von Plastikprodukten als sinnvolle Maßnahme zur Vereinfachung der Trennung von PVC-Abfällen vom allgemeinen Abfallstrom und Entwicklung anderer Methoden zur Identifikation und Sortierung von Kunststoffen</i>
6.	<i>Entwicklung innovativer Recyclingverfahren für bestimmte „Post-Verbraucher“ PVC-Abfälle</i>
<i>Frage Nr. 3:</i>	
<i>Mit welchem Maßnahmenkatalog ließe sich das Ziel einer stärkeren Nutzung des PVC-Recycling am effektivsten erreichen?</i>	

<i>Das Recycling von schwermetallhaltigem PVC-Abfall wirft spezielle Fragen auf, wegen der potenziellen Verdünnung der Schwermetalle in neuen und möglicherweise breiteren Anwendungsfeldern. Gewisse potenzielle Maßnahmen wären vorstellbar, um diese Probleme aufzugreifen. Diese sollten im Hinblick auf ihre ökologischen und ökonomischen Implikationen bewertet werden. Sie umfassen:</i>	
1.	<i>Gesetzgeberische Akte zur Beschränkung des werkstofflichen Recyclings von blei- und cadmiumhaltigem PVC-Abfall</i>
2.	<i>Spezielle Bedingungen für dieses Recycling wie z.B. Recycling innerhalb der gleichen Produktkategorie, Kontrolle des Inverkehrbringens der Recyclate, Markieren der recycelten Produkte und Kontrolle der Verwendung von Schwermetallen</i>
3.	<i>Keine speziellen Bedingungen für dieses Recycling</i>
<i>Frage Nr. 4:</i>	
<i>Sollte das werkstoffliche Recycling von blei- und cadmiumhaltigem PVC-Abfall an spezieller Bedingungen geknüpft werden? Wenn ja, an welche?</i>	

4.3. Chemisches Recycling

Unter dem Begriff des chemischen Recyclings wird eine Anzahl von Prozessen zusammengefaßt, durch die die Polymermoleküle, aus denen Kunststoffe bestehen, in kleinere Moleküle aufgespalten werden. Dies können dann entweder Monomere sein, die direkt für die Produktion neuer Polymere verwendet werden können, oder andere Stoffe, die anderweitig als Ausgangsmaterialien in Prozessen der chemischen Grundstoffindustrie eingesetzt werden.

Im Falle von PVC wird – neben der Spaltung der Hauptkette der Polymermoleküle - das an die Ketten gebundene Chlor in Form von Salzsäure (HCl) freigesetzt. Je nach verwendeter Prozeßtechnologie kann HCl nach einer Reinigung wiederverwendet

werden oder ist unter Bildung von verschiedenen Produkten zu neutralisieren, die entweder verwendet werden können oder entsorgt werden müssen.

In der Praxis hat es während der letzten fünf Jahren nur eine begrenzte Zahl von Initiativen gegeben, die zum Bau industrieller Anlagen geführt haben oder in näherer Zukunft zur Realisierung solcher Anlagen führen können. Die Prozesse des chemischen Recycling können nach ihrer Fähigkeit kategorisiert werden, Abfälle mit hohem oder niedrigem Chlorgehalt behandeln zu können, wobei Technologien für gering chlorhaltige Abfälle bis zu einem maximalen Chlorgehalt von 4 bis 5 % eingesetzt werden können. Von den drei eigens zum Zweck des chemischen Recyclings gebauten Anlagen für Abfälle mit geringem Chlorgehalt sind zwei aus wirtschaftlichen Gründen und wegen Nachschubproblemen wieder geschlossen worden. Für Abfälle mit hohem PVC-Gehalt gibt es derzeit eine einsatzfähige Technologie auf Verbrennungsgrundlage mit Rückgewinnung von HCl; zwei Pilotanlagen werden in den kommenden Jahren einsatzfähig sein.

Nach den Ergebnissen mehrerer Lebenszyklus-Analysen (LCA) würden bestimmte chemische Recyclingprozesse im Hinblick auf Energieverbrauch und globale Erwärmung wesentlich besser abschneiden als kommunale Müllverbrennungsanlagen und Deponierung. Daneben wird bei einigen Verfahren Chlor zurückgewonnen, so daß eine Neuproduktion durch die energieintensive Chlor-Alkali-Elektrolyse entfällt. Anhand der vorliegenden LCA war eine klare Entscheidung zugunsten einer der untersuchten chemischen Recyclingtechnologien nicht möglich. Das direkte werkstoffliche Recycling von Abfällen mit hohem PVC-Gehalt ist unter Umweltaspekten vorzuziehen, insbesondere wenn es zu hochwertigen Produkten führt und eine extensive Sortierung und Vorbehandlung nicht stattfindet⁵¹.

Zusammen mit den organischen Bestandteilen von PVC werden die Weichmacher zu neuem Rohstoffmaterial („Feedstock“-Material) recycelt. Schwermetallhaltige Stabilisatoren finden sich zum Großteil in den festen Rückständen wieder und müssen mit hoher Wahrscheinlichkeit deponiert werden. Für die meisten dem chemischen Recycling gewidmeten Technologien sind die Emissionen von anderen problematischen Substanzen als die festen Rückstände gering⁵². Bezüglich der Bildung von Dioxinen können endgültige Schlußfolgerungen nicht gezogen werden. Als allgemeine Regel gilt, daß reduzierende Bedingungen und hohe Temperaturen, so wie sie als Betriebsbedingungen in einigen der Technologien vorliegen, den Abbau von Dioxinen begünstigen und die Bildung verhindern.

Es scheint, daß das chemische Recycling von Abfällen mit hohem PVC-Gehalt in solchen Fällen wirtschaftlich nicht attraktiv ist, in denen das werkstoffliche Recycling sich bereits als technisch realisierbar erwiesen hat – möglicherweise mit Ausnahme von Bodenbelägen. Dies würde bedeuten, daß chemische Recyclinganlagen für Abfälle mit hohem PVC-Gehalt sich auf diejenigen Ströme konzentrieren müßten, für die ein werkstoffliches Recycling nicht machbar ist, z.B. für Abfallkategorien, die deshalb nicht mechanisch recycelt werden können, weil dies weitere Trennungsschritte erfordern würde, weil sie zu viele problematische

⁵¹ TNO, Chemical Recycling of plastic waste (PVC and other resins), Study for DG III, December 1999.
⁵² TNO, ebd.

Verunreinigungen enthalten oder wegen anderer Einschränkungen aufgrund von Bedenken für die Umwelt.

Chemisches Recycling muß mit anderen Abfallentsorgungsverfahren in der EU konkurrieren, hauptsächlich der Deponierung und Verbrennung. Deponien und Verbrennungsanlagen erheben die niedrigsten Gebühren. Einen starken Wettbewerb haben speziell dem chemischen Recycling gewidmete Anlagen auch von Hoch- und Zementöfen zu erwarten, die große Mengen von Mischkunststoff mit begrenztem PVC-Gehalt an sich ziehen könnten.

Ein Blick auf die verschiedenen Abfallströme zeigt, daß das chemische Recycling gegenwärtig für Kategorien wie Abfälle aus der Landwirtschaft, Industrie und Haushalt (außer Verpackungsmüll), obwohl technisch machbar, einen schweren Stand im Wettbewerb mit anderen Technologien hat, solange keine entsprechenden rechtlichen oder anderen Steuerinstrumente vorhanden sind. Was Kraftfahrzeugschrott sowie Elektro- und Elektronikschrott anbelangt, so scheint der PVC-Gehalt des Mischkunststoffabfalls zu hoch für die meisten chemischen Recyclingtechnologien für Mischkunststoffe mit niedrigem Chlorgehalt, aber zu gering für eine wirtschaftlich gangbare Trennung mit nachfolgender Behandlung in Anlagen für Abfälle mit hohem PVC-Gehalt.

Zusammenfassend kann also festgestellt werden, daß der erfolgreiche Betrieb von Anlagen, die speziell dem chemischen Recycling gewidmet sind, in erster Linie von wirtschaftlichen Gesichtspunkten abhängt und daß unter den derzeitigen Bedingungen große Fragezeichen hinter die Lebensfähigkeit solcher Anlagen gesetzt werden müssen.

Künftige Entwicklungen und Orientierungslinien der Politik

Chemische Recycling hat Chancen zumeist bei solchen Abfallkategorien, für die das werkstoffliche Recycling als Option nicht zur Verfügung steht und wenn rechtliche oder andere Instrumente so greifen, daß sie den Abfall von den kostengünstigsten Wettbewerbern (wie Zementöfen, kommunalen Müllverbrennungsanlagen und Deponien) abziehen.

Bis zum Jahre 2010 wird die Gesamtmenge an PVC-Abfällen, die nach dem „Baseline“-Szenario chemisch recycelt werden könnte, bei ca. 80.000 t liegen, und zwar als eine Fraktion in Mischkunststoffabfällen mit geringem Chlorgehalt (zumeist aus Verpackungen) und bei ca. 160.000 t in Mischkunststofffraktionen mit höherem PVC-Gehalt, zumeist aus Kraftfahrzeug- und Elektro-/Elektronikschrott.

Die Industrie hat sich dazu verpflichtet, bis zum Jahre 2001 einen Betrag in Höhe von 3 Mio. € in eine Pilotanlage zur Rückgewinnung von Chlor und Kohlenwasserstoffen aus mit PVC beschichteten Textilien zu investieren. Die Ergebnisse dieser Pilotanlage werden bis Mitte 2002 vorliegen; danach soll über den Bau einer kommerziellen Anlage entschieden werden.

Zu prüfende Fragen:

Die Kommission nimmt mit Interesse die oben beschriebenen Anstrengungen zur Kenntnis, chemische Recyclingtechnologien weiterzuentwickeln. In diesem Zusammenhang könnten potenzielle Maßnahmen für eine Ermutigung dieser Entwicklungen ins Auge gefaßt werden. Diese sollten im Hinblick auf ihre ökologischen und ökonomischen Implikationen bewertet werden. Solche Maßnahmen umfassen:

- 1. Weitere freiwillige Initiativen seitens der PVC-Industrie***
- 2. Empfehlungen von Zielmengen für chemisches Recycling für solche Abfallströme, für die ein werkstoffliches Recycling nicht möglich ist***
- 3. Setzen obligatorischer Zielmengen für chemisches Recycling***

Frage Nr. 5:

Welcher Katalog von Maßnahmen wäre am geeignetsten für das chemische Recycling von PVC-Abfall??

4.4. Andere Recycling und Verwertungstechnologien, einschließlich Mitverbrennung

Ein neu entwickeltes Recyclingverfahren beruht auf den physikalischen Prinzipien der Lösung und Fällung ohne Abbau der Polymermoleküle zu Rohstoffmaterialien. Dieses Verfahren wurde speziell für Verbundmaterialien entwickelt, die sowohl PVC als auch andere Komponenten enthalten. Das PVC wird von diesen anderen Komponenten durch selektive Lösung getrennt, und danach wird der gesamte PVC-Compound durch Ausfällung regeneriert. PVC und auch die anderen Komponenten können wiederverwendet werden.

Derzeit befindet sich eine Versuchsanlage mit dieser Technologie in Betrieb; eine Pilotanlage soll bis 2001 einsatzfähig sein. Die Technologie arbeitet in einem geschlossenen System, in dem das Lösungsmittel im Kreis geführt wird.

Für dieses Verfahren werden selektiv gesammelte PVC-Produkte verwendet. Die Qualität muß etwa der für das werkstoffliche Recycling entsprechen, so daß die Kosten für die Beschaffung des Materials vergleichbar sind. Die Entwickler dieses Verfahrens erwarten, daß mit ihrer Technologie auch relativ komplizierte Formulierungen wie Abdeckplanen, Kabel, pharmazeutische Blisterpackungen, Bodenbeläge oder Armaturen Bretter recycelt werden können und daß sie bezüglich der Kosten mit einigen der anderen Recyclingoptionen konkurrieren kann.

Ein deutscher Stahlhersteller verwendet Mischkunststoffabfälle als Reduktionsmittel bei der Produktion von Roheisen in Hochöfen. Mischkunststoffabfälle werden auch in Zementöfen als Ersatz für Kohle, Öl oder Gas zur Wärmeerzeugung eingesetzt.

Die Bewertung der Umweltauswirkungen der Beschickung von Hoch- und Zementöfen mit Mischkunststoffen wird leicht kontrovers diskutiert. Nach einigen Lebenszyklus-Analysen schneiden Hoch- und Zementöfen bezüglich des Energieverbrauchs und der globalen Erwärmung besser ab als kommunale

Müllverbrennungsanlagen. Zum potentiellen Anteil von PVC an den Dioxinmissionen sind sichere Folgerungen nur schwer zu ziehen und dafür wären weitere Forschungen erforderlich.

Hoch- und Zementöfen können Abfälle aus Mischkunststoffen ohne hohe Kapitalinvestitionen behandeln und damit dem Anlieferer niedrige Gebühren bieten. Das Recycling von Mischkunststoffen in Zement- und Hochöfen stellt für andere Anlagen der Abfallwirtschaft eine ernsthafte Konkurrenz dar. Andererseits findet das Beschicken von Zement- und Hochöfen mit Mischkunststoffen seine Grenzen in dessen Chlorgehalt, da Chlor negative Auswirkungen auf die Qualität des produzierten Zements bzw. Eisens haben kann und die Gefahr einer Korrosion der Anlagen aufgrund der Bildung von HCl besteht. Eine Toleranz bis zu etwa 2 bis 3 % PVC oder auch darunter ist möglich⁵³. Theoretisch könnte jedoch die Mitverbrennung von Mischkunststoffabfällen mit niedrigem PVC-Gehalt in Zementöfen an Bedeutung gewinnen.

4.5. Verbrennung

PVC-Abfälle, soweit sie verbrannt werden, werden hauptsächlich in kommunalen Müllverbrennungsanlagen behandelt, aber auch in entsprechende Anlagen in Krankenhäusern, da PVC-Produkte im Krankenhausbereich vielfältige Einsatzmöglichkeiten haben. In der Gemeinschaft werden jährlich etwa 600.000 t PVC verbrannt. Dabei stellt PVC etwa 10 % der verbrannten Kunststofffraktion und etwa 0,7 % der Gesamtmenge des durch Verbrennung entsorgten Abfalles dar⁵⁴.

PVC-Abfälle tragen zwischen 38 und 66 % zum Chlorgehalt der verbrannten Abfallströme bei. Die anderen Hauptquellen für Chlor sind verrottbare Stoffe (etwa 17 %) und Papier (10 %). Im Durchschnitt kann davon ausgegangen werden, daß etwa 50 % des Chloreintrags in Verbrennungsanlagen auf PVC zurückgehen.

Bei der Verbrennung von PVC-Abfällen entsteht im Rauchgas Salzsäure (HCl), die neutralisiert werden muß, wenn nicht eine spezielle Technologie zur Wiederverwendung von HCl verwendet wird. Derzeit wird diese spezielle Technologie nur in fünf Anlagen in Deutschland eingesetzt; drei weitere Anlagen sind im Bau. Alle während der Verbrennung von kommunalem Müll erzeugten sauren Gase (neben HCl im wesentlichen Schwefeloxide) müssen vor der Emission des Restgases in die Atmosphäre neutralisiert werden. Im Gemeinschaftsrecht⁵⁵ sind bereits Grenzwerte für Salzsäure festgelegt. Diese Werte werden derzeit verschärft⁵⁶.

Um die Emissions-Grenzwerte für HCl zu erreichen, werden Neutralisationsmittel – insbesondere Kalk – in das System eingebracht, um die sauren Komponenten des Rauchgases zu neutralisieren. Die vier wichtigsten Neutralisationsprozesse sind das

⁵³ Oder etwa 1-1.5% Chlor. Werte können je nach Anlage und die gesetzlichen Anforderungen je nach Land unterschiedlich sein

⁵⁴ Bertin Technologies, ebd.

⁵⁵ Richtlinie 89/369/EWG über die Verhütung der Luftverunreinigung durch neue Verbrennungsanlagen für Siedlungsmüll sieht Emissionsgrenzwerte für Salzsäure zwischen 50 und 250 mg/Nm³ vor, je nach der Kapazität der Verbrennungsanlage.

⁵⁶ Der Vorschlag für eine Richtlinie des Rates über die Verbrennung von Abfällen [KOM (1998) 558 endg.] und der Gemeinsame Standpunkt zu diesem Vorschlag [98/289 COD vom 25 November 1999] sieht einen strikten Emissionsgrenzwert für HCl von 10 mg/Nm³ vor, der ab 2005 der Emissionsgrenzwert für bestehende und neue Verbrennungsanlagen in der Gemeinschaft werden wird.

trockene, halbtrockene, halbnaß-nasse und das nasse Verfahren, die in Anhang 1 näher erläutert werden.

Eine Berechnung⁵⁷ der Rückstandsmengen aus der Rauchgasreinigung bei der Verbrennung von PVC-Abfällen kam zu dem Schluß, daß die Verbrennung von 1 kg PVC bei Anwendung des Trockenverfahrens mit Kalk, des Halbtrocken- und des Halbnaß-Naß-Verfahrens durchschnittlich⁵⁸ zwischen 1 und 1,4 kg Rückstände ergibt.

Bei Verwendung von Natriumhydrogencarbonat als Neutralisationsmittel im Halbtrockenverfahren erzeugt 1 kg PVC 0,8 kg Rückstände. Bei den Naßverfahren entstehen zwischen 0,4 und 0,9 kg gelöst in der Ablaufflüssigkeit. Bei den erforderlichen Mengen an Neutralisationsmitteln und den erzeugten Rückstandsmengen besteht ein großer Unterschied zwischen Hart- und Weich-PVC. Weich-PVC hat einen geringeren Chlorgehalt als Hart-PVC. Die erforderlichen Mengen an Neutralisationsmitteln und die erzeugten Rückstandsmengen sind daher für Weich-PVC geringer als für Hart-PVC (1 kg Weich-PVC⁵⁹ erzeugt zwischen 0,5 und 0,78 kg Rückstände). Weitere Einzelheiten sind der nachstehenden Tabelle zu entnehmen.

Tabelle 3: Geschätzte Rückstandsmengen bei der Verbrennung von 1 kg PVC-Abfall⁶⁰

		TROCKEN		HALB-TROCKEN	NASS	HALBNASS – NASS
Neutralisationsmittel		Kalk	BICAR	Kalk	Kalk	Kalk
Cl kg pro kg PVC	Min	0.25				
	Max	0.53				
	Mittel	0.45				
Rückstände (kg) (pro kg PVC)	Min	0,78	0,46	0,70	0	0.54
	Max	1.65	0.97	1.48	0	1.15
	Mittel	1,40	0,82	1,26	0	1
Ablauf (Trockenstoffe) (kg pro kg PVC)		0	0	0	0.42 to 0.88	0

Die Rückstände aus der Rauchgasreinigung sind als **gefährlicher Abfall**⁶¹ eingestuft. Die Rückstände fallen getrennt (vor allem im Halbnaß- und im Naßverfahren) oder vermischt mit Flugasche an.

Sie enthalten die Neutralisationssalze, das überschüssige Neutralisationsmittel sowie Schadstoffe wie Schwermetalle und Dioxine, die nicht zerstört wurden. Das

⁵⁷ Bertin Technologies, ebd.

⁵⁸ Die Durchschnittswerte gelten für ein PVC-Materialmix mit 45% Chlor, d.h. zusammengesetzt aus 70% Hart-PVC (53% Chlorgehalt) und 30% Weich-PVC (25% Chlorgehalt)

⁵⁹ Für diese Berechnungen enthält Weich-PVC 25% Chlor

⁶⁰ Bertin Technologies, ebd.

⁶¹ Gemäß der Richtlinie des Rates 94/904/EG, die ein Verzeichnis gefährlicher Abfälle erstellt, ist der gesamte feste Müll von Gasreinigungsanlagen als gefährlich eingestuft (Code 190107)), ABL L 356, 31.12.1994, S.14.

Verbringen dieser Rückstände auf Deponien ist – mit einigen Ausnahmen – der einzige in den Mitgliedstaaten genutzte Entsorgungsweg.

Zur Rückgewinnung von Calciumchlorid und Natriumchlorid aus den Rückständen des Trocken- und des Halbtrocken-Verfahrens sind mehrere Prozesse entwickelt worden, doch werden nur wenige davon derzeit kommerziell genutzt. Abgesehen von einigen speziellen Fällen ist es ungewiß, ob diese Technologien generell zur Rückgewinnung von größeren Rückstandsmengen eingesetzt werden können.

Bei diesen Technologien würde es sich um nachgeschaltete „end of the pipe“-Lösungen handeln, denen eine präventive Maßnahme zur Reduzierung der erzeugten Rückstandsmengen an der Quelle vorzuziehen ist.

In den heute auftretenden Konzentrationen hat PVC im kommunalen Müllstrom die folgenden Auswirkungen auf die Rückstände aus der Rauchgasreinigung, verglichen mit der Verbrennung von PVC-freiem kommunalem Müll⁶²:

- Die Verbrennung von PVC führt zu einem Anstieg der Menge der Rückstände aus der Rauchgasreinigung (ca. 37 % für Trockensysteme, 34 % für Halbtrocken- und 42 % für Halbnaß-Naß-Systeme⁶³).
- Die Verbrennung von PVC führt zu einem um den Faktor 2 erhöhten Gehalt an auslaugbaren Salzen in den Rückständen. Bei diesen handelt es sich in erster Linie um Calcium-, Natrium- und Kaliumchlorid.
- Die Verbrennung von PVC erhöht die Menge an Sickerflüssigkeit aus den auf Deponien abgelagerten Rückständen (ca. 19 % für Trockensysteme, 18 % für Halbtrockensysteme, 15 % für Halbnaß-Naß- und 4 % für Naß-Systeme). Die Sickerflüssigkeit muß vor jeglicher Ableitung behandelt werden.
- Es besteht eine theoretische Möglichkeit, daß erhöhte Mengen z.B. von Cadmium aussickern, bedingt durch die auf die PVC-Verbrennung zurückgehende erhöhte Chloridkomplexierung, doch wären Daten notwendig, um diese Vermutung zu untermauern.
- In dem heute für kommunalen Müll üblichen Temperaturbereich der Verbrennung hat der höhere Chlorgehalt keine signifikanten Auswirkungen auf den Transport von Schwermetallen und Spurenelementen aus der Schlacke in die Rückstände aus der Gasreinigung.

Der potenzielle Einfluß der Verbrennung von PVC-Abfällen auf die Dioxinemissionen stand im Mittelpunkt einer ausgedehnten wissenschaftlichen Debatte, da PVC derzeit die größte Quelle für Chloreinträge in die Verbrennungsanlagen ist. Der Anteil der Verbrennungsanlagen an den Gesamt-

⁶² Bertin Technologies, ebd.
Das untersuchte Szenarium basiert auf der Verbrennung von 1 Mio Tonnen Müll mit und ohne PVC, und der Deponierung der dabei entstehenden Rückstände.

⁶³ Bertin Technologies, ebd.

Dioxin-Emissionen in der Gemeinschaft lag zwischen 1993 und 1995 bei etwa 40 %⁶⁴.

Es ist vorgeschlagen worden, daß die Reduzierung des Chlorgehaltes des Abfalls zu einem Rückgang der Dioxinbildung beitragen kann, auch wenn der tatsächliche Mechanismus noch nicht vollständig verstanden ist. Nach diesen Erwartungen ist der Einfluß auf den Rückgang der Dioxinbildung in einer Relation zweiter oder dritter Ordnung⁶⁵. Es ist sehr wahrscheinlich, daß die wichtigsten Verbrennungsparameter wie Temperatur und Sauerstoffkonzentration einen größeren Einfluß auf die Dioxinbildung haben.

Während bei den derzeitigen Chlorkonzentrationen im kommunalen Müll keine direkte quantitative Beziehung zwischen Chlorgehalt und Dioxinbildung erkennbar ist, ist es möglich, daß eine Erhöhung des Chlorgehaltes im Abfallstrom über eine bestimmte Schwelle hinaus zu einer verstärkten Dioxinbildung in Verbrennungsanlagen führen kann. Als Schwellenwert ist ein Anteil von 1 % Chlor vorgeschlagen worden⁶⁶, doch ist der genaue Wert ungesichert⁶⁷. Hier müßten weitere Untersuchungen durchgeführt werden, um den Schwellenwert zu ermitteln, oberhalb dessen der Chlorgehalt einen Einfluß auf die Dioxinbildung hat. Dieser Schwellenwert könnte durch zunehmende Mengen von chlorhaltigen Abfällen überschritten werden.

Derzeit arbeiten noch nicht alle Verbrennungsanlagen in der Gemeinschaft nach den neuesten und besten Luftemissionsstandards für Dioxine. Der Vorschlag für eine Richtlinie über die Verbrennung von Abfällen⁶⁸ sieht einen Emissionsgrenzwert von 0,1 ng/m³ vor. Dadurch sollen die Emissionen von Dioxinen aus Verbrennungsanlagen reduziert werden.

Diskussionen hat es auch zu der potenziellen Verbindung zwischen der Verbrennung von PVC und der Korrosion der Ausrüstung in den Verbrennungsanlagen gegeben. Einige Betreiber vertreten die Ansicht, daß der Dampfdruck und damit die Energieeffizienz für Abfallströme mit geringerem Chlorgehalt höher sein könnten. Die Abwesenheit von PVC könnte daher eine höhere Effizienz der Energieverwertungssysteme ermöglichen. Diese Frage bedarf weiterer Untersuchungen.

⁶⁴ Identifikation von relevanten industriellen Quellen von Dioxinen und Furanen in Europa, Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen, Essen, 1997

⁶⁵ Danish Environmental Protection Agency, Environmental aspects of PVC, 1996

⁶⁶ Wikstrom, 1996, Einfluß von Gehalt und Form von Chlor auf die Bildung von Chlorierten Dioxinen, Dibenzofuranen und Benzolen während der Verbrennung von künstlichem Brennstoff in einem Laborreaktor.

⁶⁷ Danish Environmental Protection Agency, Dioxins emissions from waste incineration, Environmental Project 117, 1989

Danish Environmental Protection Agency, The effects of chlorine content on the formation of dioxin, Project 118, 1989

Danish Environmental Protection Agency, Dioxins – sources, levels and exposures in Denmark, Working report N°50/1997

⁶⁸ KOM(1998) 558 endg.

Hier sei noch darauf hingewiesen, daß die Verbrennung von PVC-Abfällen mit Energierückgewinnung mehr Energie erzeugt als die Verbrennung des allgemeinen kommunalen Mülls, da der Heizwert von PVC-Abfällen⁶⁹ höher ist.

Die Verbrennung von PVC-Abfällen erhöht die Betriebskosten der Verbrennungsanlagen wegen der zur Neutralisation des sauren Rauchgases erforderlichen Neutralisationsmittel und wegen der zusätzlichen Kosten für die Entsorgung der Rückstände. Die zusätzlichen Gesamtkosten für die Verbrennung von PVC-Abfällen variieren zwischen den Mitgliedstaaten sowie in Abhängigkeit von den angewandten Neutralisationsprozessen und von dem verwendeten Verfahren für die Rückstandsbehandlung. Schätzungen zufolge liegen die Zusatzkosten für die Verbrennung von PVC-Abfällen im Vergleich zu kommunalem Müll zwischen etwa 20 €/t für Naßsysteme und mehr als 300 €/t für Trockensysteme⁷⁰. Die Unterschiede hängen von der verwendeten Technologie und der Art des verbrannten PVC (weich oder hart) ab.

Nähere Angaben zu diesen Kosten sind in Anhang 2 enthalten. Diese Extrakosten werden derzeit nicht speziell von neuen PVC-Produkten oder PVC-Abfällen getragen, sind aber in den Gesamtkosten für die Abfallverbrennung enthalten.

In einer Auftragsstudie⁷¹ sind die wirtschaftlichen Folgen der Umlenkung von PVC-Abfällen von der Verbrennung auf andere Entsorgungswege untersucht worden.

Der entsprechende Bericht analysiert drei Szenarien im Vergleich zum „Baseline“-Szenario (nähere Angaben siehe Anhang 3). In den Szenarien 1 und 2 erhöhen sich die Recyclingraten auf 15 % bzw. 22 % mit einem proportionalen Rückgang der zur Verbrennung und zur Deponierung bestimmten PVC-Menge. Im Falle der Verbrennung entspricht dies im Zeitraum 2000 bis 2020 einer kumulierten Umlenkung von ca. 1.700 Kilotonnen für Szenario 1 (vor allem aus Bauschutt) und 3.800 Kilotonnen für Szenario 2. Im dritten Szenario sind die Recyclingraten gegenüber dem „Baseline“-Szenario unverändert, doch die Verbrennungsrate für 2020 wird auf 28% geschätzt, anstelle der im „Baseline“-Szenario vorhergesagten 45%, aufgrund der Umlenkung von Bauschutt auf Deponien. Dies entspricht im Zeitraum 2000 bis 2020 einer Umlenkung von ca. 10.300 Kilotonnen.

Die für die Szenarien 1 und 2 veranschlagten finanziellen Kosten schließen die eingesparten Verbrennungskosten (einschl. der „speziellen Kosten“⁷²) sowie die

⁶⁹ Der durchschnittliche Energiegehalt von Weich-PVC beträgt etwa 20 GJ/t, von Hart-PVC etwa 16 GJ/t und von kommunalem Müll etwa 10 GJ/t.

⁷⁰ Bertin Technologies, ebd.

⁷¹ AEA Technology, Economic evaluation of PVC waste management, a report produced for the European Commission Environment Directorate-General, May 2000. Die Studie umfaßt die EU Mitgliedstaaten + 6 Beitrittskandidaten. Die vorgestellten Zahlen beziehen sich auf den Durchschnitt von „hohen“ und „niedrigen“ Verbrennungsszenarien. Diese Szenarien beruhen auf der Annahme, daß die Deponierung von PVC-Abfällen in einigen Ländern so wie Schweden, Österreich, Deutschland und den Niederlanden, signifikant zurückgehen wird. Die Unterschiede beziehen sich auf das Ausmaß der erzielten Reduzierung. Die vorgestellten Zahlen beruhen auf einem Diskont Satz von 4%

⁷² Die Verbrennung von PVC mit kommunalem Müll verursacht zusätzliche Betriebskosten für den Betreiber der Verbrennungsanlage durch die Reagenzien zur Verringerung der Emissionen von sauren Gasen und die Behandlung und Entsorgung der Rückstände, obwohl diese teilweise durch höhere Energieverkäufe aufgrund des höheren Energieinhalts von PVC im Vergleich zu kommunalem Müll kompensiert werden

beim Recyclingprozeß anfallenden Nettokosten in Abhängigkeit vom umgeleiteten Abfallstrom ein. Die speziellen Verbrennungskosten schwanken je nach dem verwendeten Rauchgasreinigungsverfahren erheblich. Im Bericht sind Berechnungen für eine „durchschnittliche“ Systemverteilung – 25 % Halbtrocken-, 25 % Naß- und 50 % Halbnaß-Naß-Verfahren – angestellt worden. Die Ergebnisse zeigen, daß abgesehen vom Fall der Hart-PVC-Baustoffe (Rohre, Fenster, Kabelträger und andere starre Profile) und Kabel die Umlenkung von PVC-Abfällen von der Verbrennungsanlage zum Recycling eine Netto-Zunahme der Kosten bewirkt.

Die Kosten pro umgelenkter Tonne werden für Szenario 1 auf ca. 50 €/t und für Szenario 2 auf ca. 190 €/t geschätzt. Szenario 3 ergibt eine Netto-Einsparung von etwa 90 €/t. Diese zuletzt genannte Einsparung ist in der Hauptsache auf die niedrigeren Gebühren der Deponien und in der Annahme begründet, daß die Trennung des Bauschuttes in der Regel noch auf dem Bauplatz zu Lasten des Abfallerzeugers vorgenommen wird. Die Umlenkung anderer Abfallströme auf Deponien (z.B. Haushalt- und Gewerbemüll) würde zu sehr viel höheren Kosten führen.

Die Hauptumweltbelastungen einschließlich der damit zusammenhängenden Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit der drei Szenarien sind ebenfalls bewertet worden. Soweit möglich, und deshalb mit einer Verzerrung durch verstärkte Berücksichtigung der Auswirkungen der Luftverschmutzung, wurden die externen Kosten für jedes der drei Szenarien ermittelt. Die Berechnungen für alle Szenarien weisen umweltrelevante Vorteile aus. Unter Berücksichtigung der Werte, die in der Studie als die „besten“ Annahmen für jede der bewerteten Belastungen angesehen werden, sind die Nutzen für die drei Szenarien auf ca. 190, 140, bzw. 50 € pro umgelenkter Tonne für den Zeitraum 2000-2020 geschätzt worden. Der wichtigste Beitrag zu diesen Ergebnissen kommt zuerst von den vermiedenen Emissionen bei der Herstellung von neuem PVC (im Fall des hochwertigen Recyclings) und zum zweiten von den vermiedenen Emissionen der Verbrennung (einschließlich indirekter Emissionen im Zusammenhang mit der Herstellung der Neutralisationsmittel).

Aus dem Vergleich zwischen der Finanz- und der Umweltanalyse auf der Grundlage der „besten“ Annahmen wird ersichtlich, daß Szenario 1 und Szenario 3 insgesamt zu einem Gesamtnutzen führen, da die Kosten pro umgeleiteter Tonne niedriger als die Nutzen sind. Das Gegenteil trifft auf Szenario 2 zu, wo die Umweltnutzen (obwohl höher als in den Szenarien 1 und 3) dennoch von den geschätzten Kosten übertroffen werden.

Diese Berechnungen beruhen auf einer Anzahl von Annahmen. Insbesondere bei den finanziellen Aspekten beruhen die Kostenelemente notwendigerweise auf sehr wenigen Erfahrungen mit den bestehenden Recycling-Systemen für „Post-Verbraucher“-Abfälle, die sich noch in einem vorläufigen Stadium befinden. Diese Unsicherheiten sind beim Szenario 2 höher. Da der Preis der Recyclate eng an den Preis von neuem PVC gebunden ist, würden steigende Preise für letzteres niedrigere Gesamtkosten bedeuten.

Wie bereits erwähnt, ist die Umweltanalyse in Richtung der Auswirkungen der Luftverschmutzung verzerrt. Es ist jedoch wahrscheinlich, daß der Großteil der nicht berücksichtigten externen Kosten (z.B. für die Entsorgung der Rückstände) den Umweltnutzen der Umlenkung von PVC weg von der Verbrennung noch erhöhen würde.

Die wichtigste Ausnahme sind Phthalat-Weichmacher. Auf Deponien abgelagertes Weich-PVC bildet ein Reservoir für diese Chemikalien, die im Laufe der Zeit langsam aussickern könnten, während eine Verbrennung den Vorteil ihrer Zerstörung hat. Die Verbrennung erlaubt außerdem die Verwertung des Energieinhalts der Phthalate. Dieser Faktor ist in der Umweltanalyse enthalten.

Künftige Entwicklungen und Orientierungslinien der Politik

Nach dem "Baseline"-Szenario würde die Verbrennung von PVC-Abfällen bis 2020 auf ca. 2,5 Mio. t ansteigen, verglichen mit ca. 600.000. t heute. Die Anzahl und die Kapazität der Verbrennungsanlagen, die mit Naß-, Halbnaß-Naß- und Halbtrocken-Neutralisationsverfahren zur Rauchgasreinigung arbeiten, wird zu Lasten der Trocken-Technologien zunehmen.

Zu prüfende Fragen:

Die Kommission ist auf Grund der vorstehenden Analyse der Ansicht, daß die Verbrennung von PVC-Abfällen eine Anzahl von Fragen aufwirft. Eine Reihe potenzieller Maßnahmen wären vorstellbar, um diese Probleme aufzugreifen. Diese sollten im Hinblick auf ihre ökologischen und ökonomischen Implikationen bewertet werden. Solche Maßnahmen umfassen:

- 1. Umlenkung von PVC-Abfall – obligatorisch oder nicht -, soweit wirtschaftlich möglich, von der Verbrennung vorzugsweise zum Recycling oder zur Deponierung. Dies würde die Einführung von Sammelsystemen erforderlich machen, um eine getrennte Sammlung des umzulenkenden PVC sicherzustellen.***
- 2. Ähnliche Umlenkung nur für Hart-PVC.***
- 3. Deckung der zusätzlichen Kosten der Verbrennung (ganz oder teilweise), z. B. durch Internalisierung dieser Kosten in den Preis von neuen PVC-Produkten oder direkter finanzieller Beitrag an die Betreiber von Verbrennungsanlagen.***
- 4. Ermutigung zur Konversion der Rauchgas-Reinigungstechnologien hin zu Verfahren, die zu einer Reduzierung der Rückstandsmengen führen oder das Recycling von HCl anstelle der Neutralisation erlauben.***
- 5. Weitere Untersuchungen zur potenziellen Beziehung zwischen PVC-Verbrennung und Dioxinbildung.***

Frage Nr. 6:

Welcher Maßnahmenkatalog würde die mit der Verbrennung von PVC-Abfall zusammenhängenden Probleme am effektivsten ausräumen?

4.6. Deponierung

Die Deponierung ist der am häufigsten benutzte Entsorgungsweg für PVC-Abfälle. Genaue Zahlen zur Verbringung von PVC-Abfällen auf Deponien sind nicht bekannt und die verschiedenen Schätzungen weisen große Schwankungen auf bis hin zu einem jährlichen Volumen von 2,9 Mio. t. Daraus kann geschlossen werden, daß im

Laufe der vergangenen 30 Jahre mehrere Dutzend Mio. t PVC-Abfälle deponiert worden sind.

Die Mitgliedstaaten müssen die Bestimmungen der Richtlinie 1999/31/EG über Abfalldeponien im Jahre 2001 in Kraft setzen. Die Richtlinie schreibt vor, daß die Deponien eine Anzahl von technischen Standards zum Schutz von Boden und Wasser erfüllen, einschließlich Sickerwassersammlung, Basisabdichtung und Kontrolle der Gasemissionen.

Alle Materialien in Deponien, darunter PVC, unterliegen verschiedenen Reaktionsbedingungen, die von Parametern wie Temperatur, Feuchtigkeit, Vorliegen von Sauerstoff, Aktivität von Mikroorganismen sowie von den Wechselwirkungen zwischen den Parametern während verschiedener Stufen des Alterungsprozesses der Deponie bestimmt werden. Dabei lassen sich vier Hauptphasen unterscheiden: kurze aerobe Anfangsphase, anaerobe acidogene Phase (von unterschiedlicher Dauer, länger als die aerobe Phase), anaerobe methanogene Phase (bis zu mehreren Jahrhunderten), aerobe Schlußphase.

Untersuchungen⁷³ sind sowohl an Hart- als auch an Weich-PVC-Proben durchgeführt worden, vor allem durch Studien mit Laborausrüstungen, Untersuchung der Wirkungen einer biologischen Behandlung und durch mikrobiologische Tests.

Das PVC-Polymer wird i.a. als resistent angesehen, wenn es im Boden vergraben oder Deponiebedingungen ausgesetzt ist⁷⁴. Allerdings ist an einer dünnen Verpackungsfolie ein Abbau des PVC-Polymeren festgestellt worden⁷⁵. Dies bleibt ein Einzelergebnis, und der Abbau wurde unter aeroben Bedingungen und bei einer Temperatur von 80° C beobachtet, Bedingungen, die – wenn sie auf Deponien vorkommen - vorübergehender Natur sind.

Verluste von Weichmachern, speziell von Phthalaten aus Weich-PVC, sind in der Literatur weitgehend anerkannt. Ergebnisse von Studien zur Abbaubarkeit von Phthalaten unter Deponiebedingungen zeigen, daß ein solcher Abbau stattfindet, jedoch je nach den Bedingungen und dem Typ des Phthalats nicht vollständig ist. Sowohl Phthalate als auch ihre Abbauprodukte können in der Sickerflüssigkeit von Deponien festgestellt werden. Dazu kommt, daß langkettige Phthalate wie z.B. DEHP in den üblichen Sickerflüssigkeits- und Abwasserkläranlagen nur zum Teil abgebaut werden und sich auf suspendierten Feststoffen anreichern. Phthalat-Austritte könnten auch zu den Gasemissionen von Deponien beitragen. Wie bei anderen Emissionen aus Deponien können auch die Emissionen, die sich aus dem Vorhandensein von PVC in Deponien ergeben, länger andauern als die Garantiezeit der technischen Barriere, und es gibt keine Hinweise darauf, daß die Freisetzung von Phthalaten nach einer bestimmten Zeit zum Stillstand kommt.

Die Stabilisatoren sind in der Matrix von Hart-PVC-Abfällen eingeschlossen. Es ist daher anzunehmen, daß es nur eine geringe Migration gibt, die nur die Oberfläche des PVC betrifft, nicht aber die Masse des Materials. Zu Stabilisatoren in Weich-PVC-Abfällen hat eine Studie⁷⁶ über das Langzeitverhalten von PVC-Abfällen unter

⁷³ Argus in association with University Rotstock, ebd.

⁷⁴ Mersiowski et al., ebd.

⁷⁵ Argus in association with University Rotstock, ebd.

⁷⁶ Mersiowski et al., op. cit.

Deponiebedingungen eine Freisetzung von Bleistabilisatoren aus einem bestimmten PVC-Kabel ergeben, das eine Kombination mehrerer Weichmacher enthielt.

In Deponien abgelagerte PVC-Produkte werden im Fall ungewollter Brände sicher einen Anteil an der Bildung von Dioxinen und Furanen haben, doch kann derzeit der quantitative Beitrag aufgrund der inhärenten Schwierigkeiten beim Erhalt der dafür notwendigen Daten nicht ermittelt werden.

Für eine weitere Bewertung und Quantifizierung der Umweltwirkungen, die sich aus dem Deponieren von PVC ergeben, wären weitere Untersuchungen zum potentiellen Abbau des PVC-Polymers, zur Freisetzung von Stabilisatoren und Weichmachern sowie zum Beitrag der Phthalate zur Sickerflüssigkeit und zu den Gasemissionen aus Deponien erforderlich.

Die Kosten für das Deponieren von PVC-Abfällen entsprechen in den Mitgliedstaaten den Kosten für die Ablagerung von kommunalem Müll und bewegen sich in einem breiten Bereich⁷⁷. Die Preise oder Gebühren für Deponien hängen von einer Anzahl von Faktoren ab wie z.B. dem Standard der Deponie, dem Wettbewerb zwischen den verschiedenen Entsorgungswegen oder davon, welche Typen von Müll von der Deponie akzeptiert werden. Im allgemeinen konnte kein Einfluß auf Preise und Gebühren durch das Vorhandensein von PVC im zu deponierenden kommunalen Müll festgestellt werden und dies wird auch nicht erwartet.

Zukünftige Entwicklungen und Orientierungslinien der Politik

Im „Baseline“-Szenario wird davon ausgegangen, daß die deponierten Mengen an PVC-Abfällen konstant bei etwa 2,8 Mio. t im Jahr 2020 liegen werden.

Zu prüfende Fragen:

Die Kommission ist aufgrund der vorstehenden Analyse der Ansicht, daß das Deponieren von Weich-PVC-Abfällen einige Fragen aufwirft. Eine Reihe potenzieller Maßnahmen wäre vorstellbar um diese aufzugreifen. Diese Maßnahmen sollten im Hinblick auf ihre ökologischen und ökonomischen Implikationen bewertet werden. Solche Maßnahmen umfassen:

- 1. Verbringen von Weich-PVC-Abfall auf kontrollierte Deponien mit hohen Emissionsstandards, wie in der Deponie-Richtlinie vorgesehen.***
- 2. Weitere Untersuchungen zum Aussickern oder zu Emissionen von Additiven.***

Frage Nr. 7:

Sind mit Blick auf die Deponierung von PVC-Abfällen spezielle Maßnahmen erforderlich? Wenn ja, welche?

⁷⁷

Gegenwärtig reichen die Kosten für die Deponierung von kommunalem Müll von 8 € pro Tonne in Spanien bis zu 200 € pro Tonne in Deutschland. Die Kosten für die Deponierung von gemischtem Müll, so wie unsortierter Bau- und Abrißschutt, der organische Komponenten enthält, sind normalerweise höher als für die Deponierung von inertem Müll. Ein Durchschnittspreis von ca. 50 € pro Tonne ist üblich.

5. ANDERE HORIZONTALE ASPEKTE BEZÜGLICH PVC

Die im vorliegenden Dokument vorgenommene Analyse konzentriert sich auf zwei Hauptaspekte: die Verwendung von Additiven in PVC und die PVC-Abfallbewirtschaftung. Darüber hinaus stellen sich im Kontext eines breit angelegten Konsultationsprozesses zum Thema PVC auch Fragen zu eher allgemeinen und horizontalen Aspekten.

Zur Umsetzung einer horizontalen Gemeinschaftsstrategie zu PVC steht ein Katalog von rechtlich verbindlichen oder auch freiwilligen Maßnahmen zur Verfügung:

- Freiwillige Maßnahmen, darunter die Implementierung bestehender freiwilliger Selbstverpflichtungen auf nationaler und Gemeinschaftsebene sowie die Entwicklung neuer freiwilliger Initiativen. Wie bereits erwähnt, ist die europäische PVC-Industrie eine freiwillige Selbstverpflichtung zur nachhaltigen Entwicklung von PVC eingegangen. Wiewohl dies als ein erster Schritt angesehen werden kann, bleibt noch einiges zu tun, um eine effektive Beteiligung der Industrie an der Realisierung der Gemeinschaftsziele in diesem Bereich zu sichern. Die Dienststellen der Kommission bereiten z.Zt. einen Vorschlag für eine Rahmenverordnung zu Umweltvereinbarungen in der Gemeinschaft vor, der dem Rat und dem Parlament zur Annahme vorgelegt werden soll.
- Gesetzgeberische Maßnahmen wie ein Entwurf für eine PVC-Richtlinie könnten vorgeschlagen werden, um Probleme im Zusammenhang mit der PVC-Abfallbewirtschaftung anzugehen. Weitere gesetzgeberische Maßnahmen könnten angenommen werden, die auf der Grundlage der gesamten vorliegenden wissenschaftlichen Bewertung einschließlich der Ergebnisse von Risikoabschätzungen die Verwendung von Additiven betreffen. Schließlich könnten auch Empfehlungen zur weiteren Entwicklung der Umsetzung einer Gemeinschaftsstrategie verabschiedet werden.
- Es könnte ein Mix aus verschiedenen Instrumenten vorgeschlagen werden, bestehend aus freiwilligen Selbstverpflichtungen, Empfehlungen und gesetzlichen Maßnahmen einschließlich der Anpassung von bestehenden Rechtsvorschriften. Ein solcher Satz von Instrumenten läge auch auf einer Linie, die versucht freiwillige und verbindliche Instrumente miteinander zu kombinieren.

Über den Rahmen eines Konzeptes zur PVC-Abfallbewirtschaftung und zu den Additiven hinaus ist im Kontext der Förderung nachhaltigerer Produkte als Teil einer integrierten Produktpolitik die Frage nach einer potentiellen Substitutionspolitik für bestimmte PVC-Produkte gestellt worden. Eine solche Substitutionspolitik könnte für spezielle Produkte ins Auge gefaßt werden, die nicht aus dem allgemeinen Abfallstrom getrennt werden können und deshalb schwierig zu recyceln sind, wie z.B. aus Verpackungen, Kraftfahrzeugen oder Elektro- und Elektronikschrott. Eine potenzielle Substitutionspolitik müßte sich auf eine umfassende und objektive Bewertung der wichtigsten Umweltwirkungen sowohl von PVC als auch von potenziellen Substituten über ihren gesamten Lebenszyklus hinweg stützen. Der in diesem Dokument entworfene Ansatz konzentriert sich auf die Behandlung der Umweltproblematik von PVC vor allem durch eine Politik in Sachen Additive und Abfallbewirtschaftung.

Zu prüfende Fragen:

Eine Reihe von Fragen zu den Umweltauswirkungen von PVC sind aufgeworfen worden, darunter die Frage nach einem horizontalen Ansatz und einem geeigneten Instrumentarium diese Fragen anzugehen. Die Kommission sieht Vorteile in der Entwicklung einer horizontalen Strategie zu PVC. Zur Umsetzung eines solchen Ansatzes stehen eine Anzahl von Instrumenten zur Verfügung, die im Hinblick auf ihre ökonomischen und ökologischen Implikationen, sowie ihre Kompatibilität mit den internationalen Verpflichtungen der Gemeinschaft bewertet werden sollten.

Frage Nr. 8:

Welches sind die geeigneten Instrumente zur Entwicklung einer horizontalen Strategie zu PVC? Sollte für einige Produkte eine PVC-Substitutionspolitik ins Auge gefaßt werden? Wenn ja, wie?

6. SCHLUSSBEMERKUNGEN

In diesem Dokument sind eine Anzahl von Problemen im Zusammenhang mit den Auswirkungen von PVC auf die Umwelt und damit zusammenhängender Aspekte der menschlichen Gesundheit angesprochen und erläutert worden. Diese hängen zumeist mit der Verwendung bestimmter Additive und der PVC-Abfallbewirtschaftung zusammen. Im Lichte der vorgenommenen Analysen sind eine Anzahl von Optionen ausgearbeitet worden, die einen wirksamen Ansatz bezüglich Abfallbewirtschaftung und Additive sicherstellen könnten, der sich auf eine Bewertung der ökologischen und ökonomischen Auswirkungen stützt und mit dem das Ziel verfolgt wird, die Auswirkungen von PVC auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt in allen Phasen seines Lebenszyklus zu vermindern.

Auf der Grundlage der hier entwickelten Optionen wird ein öffentlicher Konsultationsprozeß zum Thema PVC vorgeschlagen. Die Kommission lädt hiermit alle interessierten Gruppen dazu ein dieses Dokument zu diskutieren und zu kommentieren. Eine öffentliche Anhörung ist für Oktober 2000 vorgesehen.

Anmerkungen zum Dokument können bis spätestens 30. November 2000 direkt an die Kommission gerichtet werden. Beiträge sind an folgende Adresse zu senden: Herrn Krämer, Leiter der Abteilung Abfallwirtschaftspolitik (DG ENV), oder an Herrn Schulte-Braucks, Leiter der Abteilung Chemische Stoffe (DG ENTR), 200 rue de la Loi / Wetstraat 200, B-1049 Bruxelles/Brussel, Belgien. Alternativ dazu können Stellungnahmen auch per E-Mail an folgende Adresse geschickt werden: ENV-PVC@cec.eu.int. Die verschiedenen Sprachfassungen des Grünbuchs, die von der Kommission in Auftrag gegebenen Studien und die Kommentare zum Grünbuch können unter folgender Adresse im Internet gefunden werden: <http://europa.eu.int/comm/environment/pvc/index.htm>.

ANHANG 1

Beschreibung der verschiedenen Verfahren zur Rauchgasreinigung

Rauchgas-reinigungs-prozeß	Hauptmerkmale
Trocken-Verfahren	Der Neutralisationsprozeß besteht aus dem Einbringen der Neutralisationsmittel in fester Form. Als Neutralisationsmittel wird am häufigsten Kalk ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) verwendet. Daneben kommen auch andere Mittel zur Anwendung, vor allem Natriumhydrogencarbonat (Bicar, NaHCO_3) oder gelöschter Kalk mit vergrößerter Oberfläche. Die sauren Komponenten des Rauchgases werden durch eine chemische Reaktion in Salze überführt. Die sich aus dem Neutralisationsprozess ergebenden festen Rückstände bestehen im wesentlichen aus den Neutralisationssalzen: Calciumchlorid (CaCl_2), Natriumchlorid (NaCl), Sulfate (CaSO_4, Na_2SO_4) sowie aus dem überschüssigen Neutralisationsmittel und Schwermetallen in unterschiedlichen chemischen Formen. Diese Rückstände sind als gefährlicher Abfall eingestuft. Mit dem klassischen Kalk dürfte der Trockenprozeß den strengen Emissionsgrenzwert von 10 mg/Nm^3 nicht erfüllen können. In einem Trockenprozeß mit speziellen Neutralisationsmitteln wie gelöschtem Kalk mit vergrößerter Oberfläche und Bicar kann dieser Wert erreicht werden.
Halbtrocken-Verfahren	Der Neutralisationsprozeß besteht aus dem Einbringen einer Lösung oder einer Suspension des Neutralisationsmittels (Kalk) in Wasser. Als Reaktionsprodukte entstehen dabei feste Rückstände, die aus Calciumchlorid, Sulfaten und Schwermetallen sowie überschüssigem, nicht in die Reaktion eingegangenem Kalk bestehen. Diese Rückstände sind als gefährlicher Afall eingestuft.
Naß-Verfahren	In diesem Prozeß werden zwei hintereinander geschaltete Wäscher verwendet. Im ersten (Säurewäscher) wird der größte Teil der HCl in Wasser aufgenommen. Die restliche HCl und SOx werden im zweiten Wäscher (Neutralwäscher) aufgenommen, der im allgemeinen mit einer Sodalösung (NaOH) gespeist wird. Die dabei entstehenden Abläufe sind vor der Ableitung in die Umwelt einer Behandlung zu unterziehen. In der Wasserbehandlungseinheit werden Schwermetalle und Sulfate durch Zugabe von Kalk ausgefällt. Die ausgefällten Schwermetalle werden durch Filtration abgetrennt (und sind zu deponieren), während das salzhaltige Abwasser abgeleitet wird. Der Ablauf des Säurewäschers wird entweder neutralisiert und zusammen mit dem Ablauf des Neutralwäschers behandelt, oder wird gereinigt und die HCl wiederverwendet.
Halbnaß-Naß-Verfahren	Aufgrund strengerer Vorschriften zur Einleitung von salzhaltigem Abwasser führen viele Verbrennungsanlagen Verdampfungssysteme ein, um jeden Austrag von Flüssigkeiten zu vermeiden⁷⁸. Damit werden die Naß-Prozesse auf Halbnaß-Naß-Prozesse mit Bildung trockener fester Rückstände umgestellt. Dies ist bereits der Fall in Deutschland und Österreich. Das Verfahren ist ähnlich konzipiert wie das Naß-Verfahren, allerdings wird der flüssige Ablauf in den Gasstrom gesprüht und die Flüssigkeit verdampft. Dieses Verfahren erzeugt trockene Rückstände, die als gefährlicher Abfall eingestuft sind.

⁷⁸

Economic evaluation of the Draft Incineration Directive, a report produced for the European Commission, DG XI, AEA Technology, Dezember 1996.

Es ist schwierig, detaillierte Angaben zur Verteilung der verschiedenen Typen der derzeit im Einsatz befindlichen Verbrennungsanlagen vorzulegen. Die nachstehend genannten statistischen Daten⁷⁹ geben die Situation für den Zeitraum 1993-1996 für Anlagen mit einer relativ großen Kapazität wieder. Für etwa 15 % der Gesamtkapazität wird für die Rauchgasreinigung das Trockenverfahren verwendet, für 25 % das Halbtrockenverfahren, für etwa 20 % das Halbnaß-Naß-Verfahren und für etwa 40 % das Naß-Verfahren. Die Verteilung der Behandlungskapazitäten in den einzelnen Mitgliedstaaten ist unterschiedlich. Im allgemeinen geht der Trend weg von den Trockenprozessen hin zu den anderen Systemen. Die strengeren Emissionsgrenzwerte für Verbrennungsanlagen, die in der Richtlinie über die Verbrennung von Abfällen vorgeschlagen werden, dürften diesen Trend noch verstärken.

⁷⁹

European Energy from Waste Coalition, Energy from Waste Plants: Databook of European Sites, Report prepared by Juniper Consultancy Services Ltd, November 1997. Die Zahlen beziehen sich auf Anlagen mit Kapazitäten von mehr als 30,000 Jahrestonnen

ANHANG 2

Zusätzliche Kosten der PVC-Verbrennung

Die Zahlen der nachstehenden Tabelle⁸⁰ geben den möglichen Bereich an zusätzlichen Kosten der PVC-Verbrennung, verglichen mit denen für kommunalen Müll wieder. Die niedrigeren Zahlen beziehen sich auf Weich-PVC mit 25 % Chlorgehalt, die höheren Zahlen auf Hart-PVC mit 53 % Chlorgehalt. Die durchschnittlichen Zahlen gelten für einen PVC-Materialmix mit 45 % Chlorgehalt, d.h. bestehend zu 70 % aus Hart- und zu 30 % aus Weich-PVC.

Durchschnittswert und Bereich der zusätzlichen Kosten der Verbrennung von PVC €/t PVC	Trockensystem		Halbtrocken	Naß	Halbnaß-Naß
	Kalk	Natrium-bicarbonat	Kalk	Kalk/NaOH	Kalk/NaOH
Ohne Stabilisierung der Rückstände Durchschnitts- und min/max-Werte	196 95 – 234	274 144 – 327	165 84 – 206	19 -1 – 29	121 57 – 147
Mit Stabilisierung der Rückstände Durchschnitts- und min/max-Werte	290 154 – 347	334 172 – 396	244 127 – 305	19 -1 – 29	186 96 – 226

⁸⁰

Bertin Technologies, ebd.

ANHANG 3

Szenarien der PVC-Abfallbewirtschaftung zur ökonomischen und ökologischen Analyse⁸¹

Zum Zweck einer ökonomischen und ökologischen Analyse sind Szenarien für eine zukünftige Abfallbewirtschaftung in der EU und in sechs der Beitrittskandidatenländer entwickelt worden. Das BAU-Szenario (BAU = business as usual) beruht auf dem derzeitigen Entsorgungsregime für PVC-Abfälle in Westeuropa, so wie von EuPC bereitgestellt, und dem gegenwärtigen Anteil der Verbrennung von kommunalem Müll. Der heutige Anteil der Verbrennung für die großen PVC-Abfallströme wird als proportional zur allgemeinen Rate der Hausmüllverbrennung angenommen. Für die Abschätzung der künftigen Entsorgungswege wird unterschieden zwischen den Mitgliedstaaten, die sich auf die strikte Umsetzung der Deponie-Richtlinie beschränken, und denen, die wahrscheinlich über die EU-Vorschriften hinausgehen und das Deponieren von organischen Stoffen durch Steigerung der Verbrennungsrate wesentlich reduzieren werden (z.B. Deutschland, Niederlande, Österreich, Schweden). Zwar wird auch für die erste Gruppe von Mitgliedstaaten eine Zunahme der Verbrennungskapazitäten während der nächsten zwei Jahrzehnte erwartet, doch dürfte die dann erreichte endgültige Rate wegen der niedrigeren Ausgangssituation und der ungünstigeren wirtschaftlichen Situation einiger der betroffenen Länder niedriger liegen. Die Beitrittskandidaten gehören der ersten Gruppe von Ländern an.

Die ermittelten Verbrennungsraten sind auf die nach Abzug des werkstofflich recycelten PVC-Abfalls verbleibenden Mengen angewendet worden. Das rohstoffliche Recycling ist hier wegen seines noch ungenügenden Entwicklungsstandes unberücksichtigt geblieben. Für das werkstoffliche Recycling wird eine Entwicklung entsprechend der Prognose nach dem in der einschlägigen Studie⁸² entwickelten „Baseline“-Szenario angenommen. Nach diesem Szenario wird das Recycling von „Post-Verbraucher“-PVC-Abfällen von heute etwa 3 % auf etwa 9 % im Jahre 2020 ansteigen.

Für die Umleitung von PVC-Abfällen von der Verbrennung auf andere Wege sind dann drei alternative Szenarien entwickelt worden. Die ersten beiden beruhen auf der Annahme, daß das von der Verbrennung umgeleitete PVC werkstofflich recycelt wird. Im dritten Szenario wird umgeleiteter Abfall deponiert.

Szenario 1: Dieses Szenario beruht zum Teil auf dem „Szenario selektiver Verbesserungen“, wie es in der Studie zum werkstofflichen Recycling vorgeschlagen wird. Es wird angenommen, daß das Recycling des größten Teils der Abfälle aus der Bauwirtschaft, der für ein hochwertiges Recycling geeignet ist, gefördert wird, so daß das in der Studie zum werkstofflichen Recycling berechnete durchschnittliche Potenzial auch erreicht wird. Obwohl prinzipiell für hochwertiges Recycling geeignet, wurde PVC im Haushalts- und Gewerbemüll sowie Weich-PVC-Profile und -Schläuche (aus Bauschutt) ausgeschlossen, da dafür keine genauen Kostenschätzungen vorlagen. Es kann sinnvollerweise angenommen werden, daß die

⁸¹ AEA Technology, Economic evaluation of PVC waste management, draft report produced for the European Commission Environment Directorate-General, May 2000.

⁸² Prognos, ebd.

Entwicklung von Recyclingkapazitäten für diese Abfälle in weiterer Zukunft liegt als für die übrigen Abfälle, für die Kostenschätzungen vorhanden sind.

Szenario 2: Dieses Szenario geht von der Modellvorstellung aus, daß das werkstoffliche Recycling für alle geeigneten Abfallarten (Abfälle aus Bauwirtschaft, Haushalten und Gewerbe, Verpackungsmüll, Elektro- und Elektronikschrott) sein absolutes volles Potenzial im Jahre 2010 erreichen und dieses Niveau bis 2020 halten wird. Alle Abfallströme werden mit den *maximalen* Recyclingpotenzial recycelt, wie sie in der Studie zum werkstofflichen Recycling geschätzt worden sind.

Szenario 3: In diesem Szenario bleiben die Recyclingraten unverändert auf dem BAU-Niveau. Der von der Verbrennung umgeleitete Abfall geht auf Deponien. Die Analyse ist auf die Umleitung von Bauschutt begrenzt, um die wesentlichen ökonomischen und ökologischen Auswirkungen einer Umleitung von der Verbrennung zur Deponierung zu ermitteln. Die Trennung von PVC von anderen in der Studie untersuchten Abfallströmen dürfte aus wirtschaftlicher und technischer Sicht problematischer sein.