

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft,
Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien

Behandlungs- und Verwertungswege für PVC-Abfälle

Gesamtbericht

Dezember 2002

BIPRO

In Kooperation mit:



Inhaltsverzeichnis

1	Hintergrund und Zielsetzung	1
2	Mengenanalyse und Abschätzung des Abfallaufkommens bis 2010	2
2.1	Grundlagen zu den PVC-Abfallfraktionen	2
2.2	Zusammensetzung und Abgrenzung der PVC- Fraktionen (Additive)..	9
2.2.1	Zusammensetzung der PVC-Fraktionen.....	9
2.2.2	Stabilisatoren	10
2.2.3	Weichmacher	16
2.2.4	Füllstoffe.....	18
2.2.5	Sonstige	18
2.3	Materialfluss	21
2.3.1	Abfall- und Entsorgungsmengen	21
2.4	Abschätzung des Abfallaufkommens bis 2010.....	37
2.4.1	Entwicklung der PVC-Menge aus Altfenstern bis 2010	38
2.4.2	Entwicklung der PVC-Menge aus Rohren bis 2010	39
2.4.3	Entwicklung der PVC-Menge aus Altkabeln bis 2010	39
2.4.4	Entwicklung der PVC-Abfallmenge aus Bodenbelägen bis 2010	40
2.4.5	Entwicklung der PVC-Menge aus PVC-Hartfolien bis 2010	40
2.4.6	Entwicklung der PVC-Menge aus Weich-PVC-Folien bis 2010.....	40
2.4.7	Entwicklung der PVC-Menge aus sonstigen PVC-Produkten bis 2010.....	41
2.4.8	Zusammenfassung der abgeschätzten Mengenentwicklung bis 2010	41
3	Verfügbare Technologien und technologische Möglichkeiten zur Verwertung und Behandlung	42
3.1	Abgrenzung der Entsorgungswege	42
3.1.1	Werkstoffliches Recycling.....	42
3.1.2	Chemisches Recycling.....	42
3.1.3	Verbrennung	43
3.1.4	Deponierung.....	43
3.2	Werkstoffliches Recycling	45
3.2.1	Werkstoffliches Recycling von Abfällen aus Fenstern und Fensterprofilen im unmittelbar geschlossenen Stoffkreislauf	45
3.2.2	Werkstoffliches Recycling von Rohrabfällen im unmittelbar geschlossenen Stoffkreislauf	48

3.2.3	Werkstoffliches Recycling von Abfällen aus Bodenbelägen im unmittelbar geschlossenen Stoffkreislauf.....	50
3.2.4	Werkstoffliches Recycling von Dachbahnen im unmittelbar geschlossenen Stoffkreislauf.....	53
3.2.5	Werkstoffliches Recycling von Kabelabfällen ohne unmittelbar geschlossenem Stoffkreislauf.....	55
3.2.6	Werkstoffliches Recycling von Hart-PVC-Produkten ohne unmittelbar geschlossenem Stoffkreislauf.....	57
3.2.7	Werkstoffliches Recycling von Weich-PVC-Produkten ohne unmittelbar geschlossenem Stoffkreislauf.....	59
3.2.8	Werkstoffliches Recycling von Aluminium-Kunststoffverbund ohne unmittelbar geschlossenem Stoffkreislauf.....	61
3.2.9	Werkstoffliches Recycling durch das Vinyloop-Verfahren	63
3.2.10	Werkstoffliches Recycling von Fußbodenbelägen durch das Recynyl-Verfahren.....	65
3.2.11	Werkstoffliches Recycling durch das Texyloop-Verfahren	66
3.2.12	Werkstoffliches Recycling von PVC-Fraktionen auf der Basis selektiver Extraktion	66
3.3	Chemisches Recycling	67
3.3.1	Thermo Splitting Verfahren (Drehrohrofen).....	67
3.3.2	Schlackebadverfahren	69
3.3.3	Methanolsynthese.....	71
3.3.4	Sonstige chemische Recyclingverfahren	73
3.4	Verbrennung	74
3.4.1	Verbrennung in Hausmüllverbrennungsanlagen.....	75
3.4.2	Verbrennung im Zementwerk.....	77
3.4.3	Sonstige Verbrennungsprozesse.....	79
3.5	Deponierung.....	80
3.5.1	Massenabfalldeponie	80
3.5.2	Baurestmassendeponien	81
3.5.3	Verbleib im Boden nach Ende der Nutzungsdauer	81
4	Ökonomisch-ökologische Randbedingungen für Verwertungs- und Behandlungsverfahren.....	82
4.1	Grundlagen, Methodik und Ergebnisübersicht	82
4.2	Werkstoffliches Recycling mit unmittelbar geschlossenen Stoffkreislauf	87
4.3	Werkstoffliches Recycling durch das Vinyloop-Verfahren.....	90

4.4	Werkstoffliches Recycling ohne unmittelbar geschlossenen Stoffkreislauf (Downcycling)	96
4.5	Chemisches Recycling durch das Thermo-Splitting Verfahren (Drehrohrofen)	98
4.6	Chemisches Recycling durch das Schlackebad-Verfahren.....	102
4.7	Verbrennung im Zementwerk	103
4.8	Verbrennung gemeinsam mit Hausmüll	105
4.9	Sonstige Verbrennung (Wirbelschicht)	108
4.10	Massenabfalldeponie.....	109
4.11	Baurestmassendeponie.....	112
4.12	Verbleib im Boden nach Nutzungsdauer	113
5	Entwicklungen und Trends für Verwertungs- und Behandlungsverfahren.....	115
	Literaturverzeichnis	118

1 Hintergrund und Zielsetzung

Die Schließung von Stoffkreisläufen durch die Verwertung geeigneter Abfallfraktionen ist ein wichtiges Ziel einer zukunftsweisenden Abfallwirtschaftspolitik. Insbesondere bei PVC-Abfällen werden die Entsorgungsoptionen international kontrovers diskutiert. Vor diesem Hintergrund hat die Europäische Kommission 1997 die sogenannten "Horizontalstudien" zu Polyvinylchlorid (PVC) initiiert. In der weiteren Folge wurde von der Europäischen Kommission ein Grünbuch veröffentlicht, das sich mit dem Werkstoff PVC, den damit zusammenhängenden Industriebereichen und den Auswirkungen bei der Verwendung von PVC unter ökologischen und ökonomischen Gesichtspunkten auseinandersetzt.

In absehbarer Zeit ist ein Vorschlag hinsichtlich einer weiteren strategischen Vorgangsweise durch die Kommission zu erwarten. Dabei wird die Behandlung und Verwertung von PVC-Abfällen einen wesentlichen Schwerpunkt darstellen, da aufgrund der seit den 70er Jahren deutlich gestiegenen Produktionsmengen ein hoher Abfallanfall in der Zukunft zu erwarten ist.

Um einen möglichst vollständigen Überblick sowohl über die gegenwärtige als auch über die zukünftige PVC-Abfallsituation in Österreich zu erhalten, wurden vom BMLFUW zwei Studien bezüglich der Behandlungs- und Verwertungsmöglichkeiten von PVC-Abfällen in Auftrag gegeben. Im ersten Teil wurden die mengenmäßig bedeutendsten Anwendungen "Fenster und Fensterrahmen aus PVC", "PVC-Rohre" und "PVC-Kabel" untersucht, im zweiten Teil wurde speziell auf die Fraktionen PVC-Bodenbeläge und Folien sowie auf weitere Weich- und Hart-PVC-Anwendungen genauer eingegangen. Der vorliegende Bericht führt diese beiden Studien zusammen.

Sowohl der Einsatz von PVC als auch die verwendeten Additive bzw. Additivgehalte haben sich im Laufe der letzten 30 Jahre dynamisch entwickelt, sodass

- die Struktur und das gegenwärtige Mengenaufkommen,
- die zu erwartende Entwicklung des Aufkommens,
- die verfügbaren Verwertungs- und Behandlungskapazitäten Österreichs im Vergleich zu Aktivitäten und Standards anderer EU – Länder
- die Schadstoffbelastungen insbesondere durch Blei, Cadmium und PCBs bei den verschiedenen Verwertungs- und Behandlungswegen
- die technischen Möglichkeiten, Entwicklungen und ökologisch-ökonomischen Bewertungen einzelner Verfahren

von besonderem Interesse sind.

2 Mengenanalyse und Abschätzung des Abfallaufkommens bis 2010

2.1 Grundlagen zu den PVC-Abfallfraktionen

Polyvinylchlorid (PVC) gehört zu den gebräuchlichsten Kunststoffen mit vielfältig einstellbaren Gebrauchseigenschaften und dementsprechend weit gestreuten Anwendungsfeldern. Der Masseneinsatz von PVC hat in den westlichen Industrieländern in den sechziger und siebziger Jahren begonnen. Die Abbildung 2-1 zeigt die Entwicklung von Produktion und Verbrauch in Deutschland.

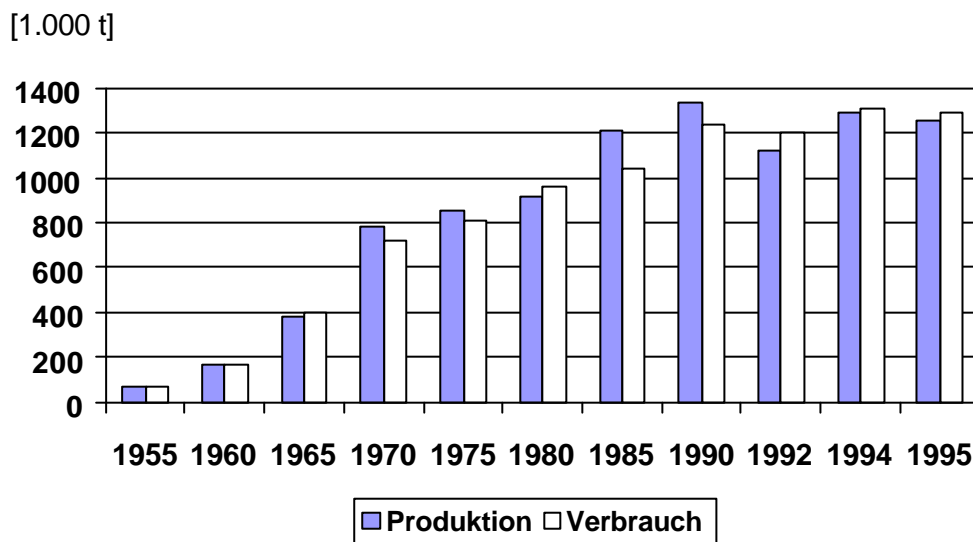


Abbildung 2-1: Entwicklung PVC-Produktion und Verbrauch in Deutschland [Lit. 10]

Während sich in Westeuropa seit etwa 1990 eine Konsolidierung des Verbrauchs auf hohem Niveau ergibt, sind in Asien und Amerika weiterhin hohe jährliche Zuwachsraten (Größenordnung 10% Wachstum pro Jahr) zu verzeichnen [Lit. 10].

Generell sind kurzlebige (< 2 Jahre Lebensdauer) und langlebige PVC-Produkte zu unterscheiden. Bei Produkten mit 20-50 Jahren Lebensdauer ist aufgrund der historischen Entwicklung in absehbarer Zukunft mit einem Anstieg der Abfallmenge zu rechnen. Langlebige Produkte finden insbesondere im Baubereich und bei der Elektrotechnik Anwendungsbereiche.

Durch die Zugabe von Weichmachern wird aus dem harten Roh-PVC ein flexibler und dehnbarer Werkstoff (Weich-PVC), der z.B. in der Kabelindustrie Anwendung findet. Derzeit verteilt sich die Gesamtproduktion auf etwa 2/3 Hart-PVC und 1/3 Weich PVC.

In der nachfolgenden Tabelle ist die Verteilung der produzierten PVC-Produkte nach Anwendungsbereichen in Österreich, Deutschland, der Schweiz und der EU dargestellt [Lit. 3]:

	D	CH	A	EU
Bauwesen	60	76	81	53
Transport, Auto	4	1	4	3
Verpackung	11	1	2	16
Elektro, Kabel	8	7	8	9
Möbel, Büro	3	4	2	3
Sonstiges	14	11	3	16

Abbildung 2-2: Verbrauchsstruktur PVC-Produkte

Aus der Tabelle wird deutlich, dass der Baubereich in Österreich mit über 80% Anteil noch wesentlich stärker dominierend ist als in Westeuropa. Das ist insbesondere durch die geringe PVC-Menge, die in Österreich im Verpackungsbereich eingesetzt wird und den dadurch insgesamt im EU-Vergleich unterdurchschnittlichen PVC-Verbrauch bedingt.

Die folgende Abbildung zeigt die wichtigsten Produkte in einer Gegenüberstellung Westeuropa - Österreich:

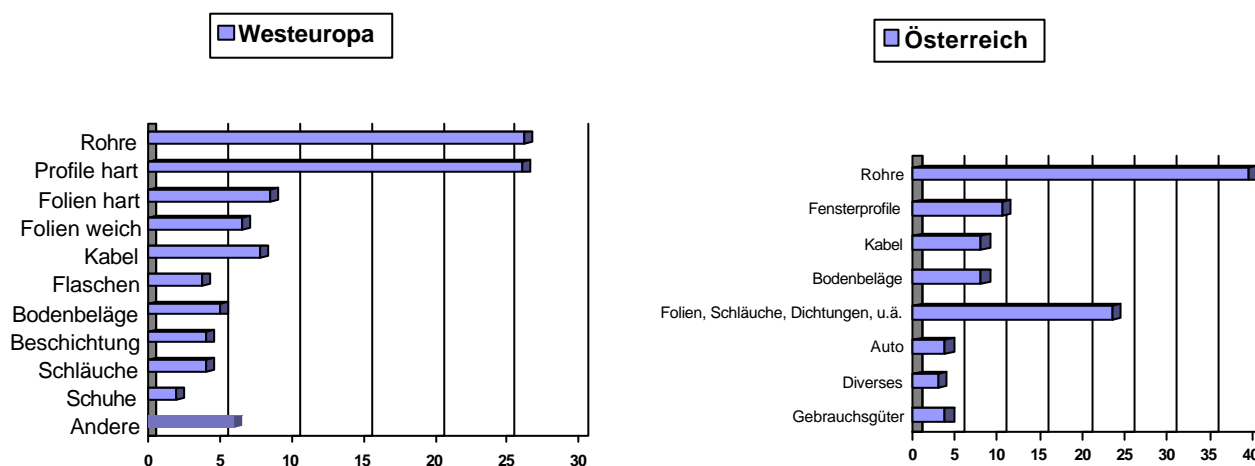


Abbildung 2-3: Einsatzbereiche von PVC-Produkten (Angaben in %) [Lit. 14]

Die mengenmäßig bedeutendsten PVC-Fraktionen in Österreich sind Rohre (~ 40%), Fenster und Fensterprofile (~ 10%), Kabel (~ 8%) und Fußbodenbeläge (~ 8%). Neben diesen Fraktionen mit einem Anteil von über 60% am Gesamtverbrauch sind v.a. PVC-Folien und weitere Weich-PVC-Anwendungen wie Schläuche und Dichtungen mit 20-25% in Österreich von Bedeutung.

Besonders für langlebige PVC-Produkte mit Lebensdauern von 30-50 Jahren und mehr ist vor dem Hintergrund der historischen Mengenentwicklung in Zukunft mit einer steigenden Bedeutung der korrespondierenden Abfallfraktionen zu rechnen.

PVC-Fenster und Profile

Fenster und Profile aus PVC weisen wie das reine PVC harte Gebrauchseigenschaften auf und gehören deshalb zu der Kategorie der Hart-PVC-Produkte. Mit einer durchschnittlichen Verwendungsdauer von 30-50 Jahren gehören PVC-Fenster zu den langlebigen PVC-Produkten.

Rohre

PVC-Rohren, die zur Kategorie der Hart-PVC-Produkte zählen, finden in den unterschiedlichsten Bereichen Anwendung wie z.B. als

- Druckrohre für Trinkwasserleitungen
- Abwasserleitungen
- Dachrinnen
- Fallrohre.

Die Lebensdauer von PVC-Rohren liegt im Durchschnitt zwischen 50-80 Jahren, kann aber in vielen Fällen auch darüber liegen.

Kabel

PVC-ummantelte Kabel, die entsprechend ihrer Stoffeigenschaften unter die Kategorie der Weich-PVC-Anwendungen fallen, werden hauptsächlich für Spannungen bis 1.000 Volt verwendet. Wichtige Anwendungen bzw. Einsatzbereiche von PVC-Kabeln sind:

- Bauindustrie
- Telekommunikation
- Elektro- und Elektronikindustrie
- Automobilindustrie

Altkabel aus Elektro- und Elektronikgeräten fallen nach der Lebensdauer (10 – 20 Jahre) dieser Geräte an, obwohl sie selbst in der Regel noch funktionsfähig sind. Dies gilt analog für Kabel,

die im Automobilbereich eingesetzt werden. Dagegen können PVC-Kabel, die als Installationsleitungen in Gebäuden oder in der Erde verlegt werden, eine durchschnittliche Verwendungsdauer von 30-50 Jahren und mehr erreichen.

Bodenbeläge

PVC-Bodenbeläge, die zur Kategorie Weich-PVC gehören, zählen zu den mittel bis langlebigen (durchschnittlich 10-20 Jahre) PVC-Produkten. Je nach Produktionsverfahren unterscheidet man zwischen

- kalandrierten und
- geschäumten ("Cushion Vinyls", CV-Beläge)

PVC-Bodenbelägen.

Kalandrierte PVC-Bodenbeläge können dabei entweder aus einer homogenen PVC-Schicht oder aus mehreren Schichten mit unterschiedlichen Eigenschaften/Materialien bestehen. Geschäumte PVC-Bodenbeläge enthalten ein in PVC-eingebettetes Glasvlies.

Hart-PVC-Folien

Grundsätzlich wird bei den PVC-Folien zwischen Weich- und Hart-PVC-Folien unterschieden.

Zu der Kategorie Hart-PVC-Folien gehören z.B.

- Scheckkarten
- Büroartikel (z.B. Schreibunterlagen)
- (Pharma)-Blister¹
- Verpackungen (Lebensmittelbereich, technische Verpackungen)

Die oben aufgeführten PVC-Hart-Folien-Anwendungen zählen zu den kurzlebigen PVC-Produkten mit einer Lebensdauer von bis zu zwei Jahren.

In Österreich ist der Anteil an PVC im Verpackungsbereich sehr gering, so dass mit den Verpackungsabfällen gesammelten PVC-Fraktionen in der Regel nicht aussortiert werden. Werden PVC-Verpackungen im Lebensmittelbereich eingesetzt, so müssen diese die gesetzlichen Bestimmungen bezüglich erlaubter Inhaltsstoffe erfüllen.

¹ Nach Angaben von drei Abfallbeauftragten sehr unterschiedlicher Krankenhäuser wird für Pharma-Blister kein PVC mehr eingesetzt.

Hart-PVC-Folien finden aber auch in der Bauindustrie (z.B. Platten) oder in der Möbelindustrie (Möbeloberflächen) Anwendung. Die in diesen Bereichen eingesetzten PVC-Produkte haben eine durchschnittliche Nutzungsdauer von 10 Jahren.

Weich-PVC-Folien

Typische Anwendungsbereiche von Weich-PVC-Folien sind:

- Teichfolien, Abdeckfolien
- landwirtschaftliche Folien
- Estrichfolien
- Etiketten, Selbstklebefolien (z.B. Werbung)
- Freizeitartikel (z.B. Wasserspielzeug, Schlauchboote)

Zu der Kategorie Weich-PVC-Folien gehören im weiteren Sinne auch beschichtete PVC-Weichfolien. Bei den beschichteten PVC-Folien wird das Weich-PVC auf unterschiedliche Materialien aufgetragen. Typische Beispiele für beschichtete PVC-Folien sind:

- PVC-Dachbahnen, Abdichtungsplanen (Trägermaterial: Glas- oder Polyestervlies)
- LKW- und Zeltplanen (Trägermaterial: Polyester)
- Tischdecken, Duschvorhänge
- Schutzkleidung (z.B. Regenkleidung)
- Vinyltapeten (Trägermaterial: Papier)
- Förderbänder
- Kunstleder (Trägermaterial: Baumwolle)

PVC-Dachbahnen bzw. Dichtungsbahnen werden sowohl mit Glas- oder Polyestervliesen verstärkt als auch unverstärkt angeboten. Hauptanwendungsbereich von PVC-Kunstleder sind Sitzmöbelbezüge, Autoverkleidung/bezüge, Täschnerwaren, Büroartikel, Schuhindustrie sowie Textilien.

Die Lebensdauer von beschichteten PVC-Produkten liegt je nach Einsatzbereich zwischen 2-10 Jahren. Bei PVC-Dachbahnen bzw. Dichtungsbahnen wird von einer durchschnittlichen Nutzungsdauer von 10-20 Jahren z.T. auch deutlich länger ausgegangen.

Sonstige Weich-PVC- und Hart-PVC-Anwendungen

Neben den bereits beschriebenen Anwendungen gibt es noch eine Vielzahl weiterer PVC-Produkte, die in Österreich verwendet werden, wie z.B.

Weich-PVC-Anwendungen

- Schläuche und Profile
- Dichtungen
- Freizeitartikel (z.B. Spielzeug)
- medizinisch-pharmazeutische Produkte
- Automobilteile (z.B. Unterbodenschutz)

Hart-PVC-Anwendungen

- Profile
- Baunebenprodukte (Rollläden, Kabelschächte, Schalter)
- Produkte im Elektro- bzw. Elektronikbereich
- Freizeitartikel, Sportgeräte
- Möbel
- Automobilteile

Für diese Anwendungen existieren in Österreich derzeit keine spezifischen Sammelsysteme, so dass diese je nach Anfallort und Menge größtenteils deponiert oder im geringen Umfang auch thermisch behandelt werden.

Typische Einsatzbereiche von PVC-Weichprofilen sind Tür- und Fensterdichtungen, Külschrankdichtungen, Treppenhändläufe, Sockelleisten. PVC-Schläuche finden u.a. in der Medizin, im Getränke- und Lebensmittelbereich oder im Haushalt Anwendung.

Im medizinischen Bereich werden PVC-Produkte in Form von Weich-PVC als Blutbeutel, Handschuhe etc. eingesetzt. Nach Angaben der AgPU liegt der PVC-Anteil am Gesamtkunststoffverbrauch bei medizinischen Produkten in Deutschland bei ca. 30%. Aus rechtlichen/hygienischen Gründen wird ein Teil dieser Fraktion einer thermischen Behandlung zugeführt, insbesondere in Bundesländern ohne thermische Abfallbehandlung wird ein Großteil deponiert.

Im Automobilbau werden sowohl PVC-Plastisole (z.B. Unterbodenschutz, Abdichtungen und Versiegelungen) als auch Hart-PVC (z.B. Türinnenverkleidung) eingesetzt.

Auf die bei der Entsorgung von Altfahrzeugen und Altelektrogeräten anfallenden PVC-Abfälle – mit Ausnahme der mengenmäßig bedeutenden PVC-Kabel - wird in dieser Studie jedoch nicht näher eingegangen.

Die folgenden Tabelle gibt einen kurze Übersicht über die relevanten Fraktionen:

	Hart-PVC-Anwendungen					Weich-PVC-Anwendungen			
	Fenster und Fensterprofile	PVC-Rohre	PVC-Hart Folien		sonstige Hart-PVC-Anwendungen	Kabel	Bodenbeläge	PVC-Weichfolien	sonstige Weich-PVC-Anwendungen
Verwendungsdauer (Durchschnittswerte in Jahren)	30-50	50-80	< 2 Jahre	2-10 Jahre	5-20 Jahre	30-50 bzw. 10 –20	10-20 Jahre	2-10 Jahre 10-20 Jahre (Dichtungsbahnen)	2-10 Jahre
Einsatzbereich	Bauindustrie	überwiegend Bauindustrie	Büro, Haushaltsartikel, Verpackungen	Bau- und Möbelindustrie	Bauindustrie, Freizeitartikel, Automobilindustrie	Bau, Kfz- und, Elektroindustrie	Bauindustrie	Landschafts- und Gartenbau, Landwirtschaft, Bau, Transport	Bauindustrie, Freizeitartikel, Medizinbereich, Automobilindustrie

Abbildung 2-4: Übersicht über die zu untersuchenden Fraktionen

2.2 Zusammensetzung und Abgrenzung der PVC- Fraktionen (Additive)

2.2.1 Zusammensetzung der PVC-Fraktionen

Mit Hilfe von Additiven werden die Eigenschaften von PVC so variiert, dass die z.T. sehr unterschiedlichen bzw. auch gegensätzlichen (Weich/Hart-PVC) Anforderungen, die an den Werkstoff gestellt werden, erfüllt werden können. Diese Möglichkeit begründet maßgeblich die große Verbreitung von PVC. Folgende Additive können bei der Verarbeitung von PVC zum Einsatz kommen:

- Stabilisatoren
- Costabilisatoren
- Gleitmittel
- polymere Hilfsstoffe zur Verbesserung der Zähigkeit, der Wärmeformbeständigkeit und des Verarbeitungsverhaltens
- Füllstoffe
- Pigmente
- Weichmacher

Die genaue Zusammensetzung und Menge der zugeführten Additive hängt zum einen vom Verarbeitungsverfahren und zum anderen von den Anforderungen an das Produkt ab. Hinter den genauen Rezepturen liegt wesentliches Know-how der Hersteller, so dass nur im begrenzten Umfang Daten verfügbar sind.

Zur Verdeutlichen der Relevanz von Additiven, wurden in Tabelle 2-1 für einige PVC-Produkte typische Additivgehalte zusammengestellt: [Lit. 1]:

	PVC (rein)	Stabilisatoren	Weichmacher	Füllstoffe	Sonstige
Fenster	80-90%	3-5%	/	3-5%	5-10%
Rohre	95-98%	1-5%	/	/	/
Kabel	40-50%	1-2%	20-30%	30-40%	/
PVC-Bodenbeläge	20-50%	1-2%	15-30%	40-50%	0-10%
PVC-Hartfolien	90-95%	1-2%	/	/	5-10%

	PVC (rein)	Stabilisatoren	Weichmacher	Füllstoffe	Sonstige
Dachbahnen	50-60%	1-2%	30-40%	10-40%	5-10%
Kunstleder	50-60%	1-2%	40-50%	5-10%	0-5%
Möbelfolien (Weich-PVC)	70-80%	1-2%	10-20%	5-10%	5-10%

Tabelle 2-1: Zusammensetzung ausgewählter PVC-Fraktionen [Gewichts%] Lit. 1]

Bei den aufgeführten Mengen handelt es sich um Durchschnittswerte, die im Einzelfall je nach Einsatzgebiet oder Qualitätsanforderungen erheblich abweichen können. So werden z.B. in [Lit. 1] typische Zusammensetzungen von PVC-Bodenbelägen mit 35-65% PVC angegeben, nach Angaben eines PVC-Fußbodenproduzenten liegt der Anteil an PVC derzeit jedoch lediglich bei ca. 10-25% im Endprodukt. Die Angaben bezüglich Weichmachergehalte in Bodenbelägen variieren ebenfalls je nach Literatur zwischen 10-20% [Lit. 66] und 30-50 [Lit. 62]. Wichtigster Füllstoff bei Bodenbelägen mit einem Anteil von bis zu 50% ist Kreide.

2.2.2 Stabilisatoren

Stabilisatoren werden dem Roh-PVC zugesetzt, um zum einen die Thermostabilität v.a. während der Verarbeitung zu erhöhen und zum anderen die Witterungs- und Alterungsbeständigkeit langlebiger PVC-Produkte zu verbessern. Als Stabilisatoren werden derzeit Verbindungen auf der Basis von Blei, Zinn, Barium/Zink, Kalzium/Zink und zunehmend auch Systeme auf Basis Kalzium/Aluminium/Zink eingesetzt. Insgesamt wurden 2000 ca. 170 kt Stabilisatoren in der europäischen PVC-Industrie eingesetzt. Der prozentuale Anteil an Stabilisatoren in PVC-Produkten ist unter Berücksichtigung steigender Produktionszahlen tendenziell rückläufig, was v.a. auf Effizienzsteigerungen, z.B. durch neue Rezepturen zurückzuführen ist. In ihrer Freiwilligen Selbstverpflichtung [Lit. 56] hat sich die europäische PVC-Industrie dazu verpflichtet, jährlich eine Aktualisierung der Einsatzmengen vorzunehmen. Nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die Mengenentwicklung von Stabilisatorsystemen in der europäischen PVC-Industrie von 1997-2000:

Stabilisator-Systeme in Tonnen	1997	1998	1999	2000
mit chemischen Zusätzen versehene Blei-Stabilisatoren (für Rohre und Profile beim Bau und für Elektrokabel)	111.920	112.383	117.995	120.421
mit chemischen Zusätzen versehene cadmium-haltige Festkörperstabilisatoren (nur für Bauprofile)	1.404 (71 t Cd)	940 (33 t Cd)	259 (21 t Cd)	242 (24 t Cd)

Stabilisator-Systeme in Tonnen	1997	1998	1999	2000
mit chemischen Zusätzen versehene Mischmetall-Festkörper-Stabilisatoren, z.B. Ca/Zn-Systeme (med. Anwendung, Nahrungsmittelbereich, Substitution von Blei-Stabilisatoren)	statistisch nicht erfasst	14.494	16.701	17.579
Zinn-Stabilisatoren (primär für Hart-PVC, auch für Kontakt mit Lebensmitteln)	14.886	15.241	15.188	14.666
Flüssigstabilisatoren – Ba/Zn oder Ca/Zn (für viele Weich-PVC-Anwendungen, Kalandervollstoffe, Bodenbeläge, etc.)	16.168	16.404	16.527	16.709
Cadmiumhaltige Flüssigstabilisatoren (für Hart- und Weich-PVC-Anwendungen)	368 (33 t Cd)	230 (17 t Cd)	148 (10 t Cd)	146 (9 t Cd)

Tabelle 2-2: Überblick über Mengenentwicklung von Stabilisatoren in Europa Lit. 59

Seit April 2001 ist nach Angaben der PVC-Industrie sowohl der Verkauf als auch die Verwendung von Cadmium-Stabilisatoren, die früher vor allem bei Fensterprofilen aufgrund der hohen Anforderungen an die Witterungsbeständigkeit eingesetzt wurden, europaweit eingestellt. Der Einsatz von Cadmium-Stabilisatoren wurde bereits durch die Richtlinie 91/338/EWG bei vielen PVC-Produkten begrenzt, von einem Cadmium-Verbot ausgenommen sind jedoch Fensterprofile.

Noch vor 15 Jahren lag der Gesamtverbrauch an cadmiumhaltigen Flüssigstabilisatoren in der PVC-Industrie bei ca. 16.000 t [Lit. 64]. Die nachfolgende Abbildungen zeigt die wichtigsten Einsatzgebiete von Cadmium-Stabilisatoren im Jahr 1985 für Deutschland:

Produkt	Ba/Cd-Stabilisatoren		Cadmium
	[t]	[%]	[t]
Fensterprofile	1.800	66	210
andere Außenprofile	390	14	47
Dachfolien	400	15	18
Plastisole	10	0,5	>1
Weichextrusion	120	4,5	4
Summe	2.720		280

Tabelle 2-3: Einsatzgebiete von Cadmium-Stabilisatoren im Jahr 1985 für Deutschland

Aus der Tabelle wird deutlich, dass PVC-Fensterprofile mit einem Anteil von 66% die mit Abstand wichtigsten Einsatzbereiche von Cadmiumstabilisatoren waren. 1990 wurden in Deutschland noch immer mehr als 80% der produzierten PVC-Fenster auf der Basis von Ba/Cd bzw. Ba/Cd/Pb Stabilisatoren hergestellt. [Lit. 43]. Für andere Außenprofile und Dachfolien wurden 1985 immerhin jeweils etwa 400 t (~15%) cadmiumhaltiger Stabilisatoren verwendet. Cadmiumstabilisatoren wurden im wesentlichen durch Ba/Zn-Stabilisatoren ersetzt. Für hochtransparente Anwendungen im Innenbereich (Fußbodenversiegelung) kommen auch Zinn-Stabilisatoren als

Alternative zum Einsatz. Der durchschnittliche Cadmiumgehalt in denjenigen PVC-Produkten, die mit Cadmium stabilisiert wurden, beträgt etwa 0,2 bis 0,3 Gewichtsteile (vgl. Tabelle 2-5).

Trotz des Verbots von Cadmium-Stabilisatoren in Österreich seit 1994 (vgl. BGBl. Nr. 855/1993) und des Ausstiegs der europäischen PVC-Industrie können importierte PVC-Produkte - vor allem aus dem asiatischen Raum - immer noch Cadmium-Stabilisatoren enthalten. So wurde z.B. bei einer Analyse von PVC-Bodenfliesen aus China Cadmium in erhöhten Mengen gefunden [vgl. Lit. 63]. Von der Verordnung ausgenommen ist jedoch der Wiedereinsatz von cadmiumhaltigen Sekundärrohstoffen aus Aufbereitungsanlagen. Der Anteil des Cadmumeintrags in Verbrennungsanlagen und Deponien, der aus PVC-Produkten stammt, wird auf etwa 10% geschätzt [Lit. 18].

Mit einem Anteil von ca. 70% (120 kt/a) an der Gesamtmenge sind Bleistabilisatoren derzeit mit Abstand die mengenmäßig bedeutendsten Stabilisator-Systeme in Europa. Vor allem für langlebige PVC-Produkte im Baubereich werden - die im Vergleich zu anderen Systemen aus technischer und wirtschaftlicher Sicht günstigeren - Bleistabilisatoren verwendet. Über 98% der Bleistabilisatoren werden in PVC-Rohren, Kabeln sowie Profilen verwendet [Lit. 64]. PVC-Dachbahnen können als Thermostabilisatoren ebenfalls Bleistabilisatoren (z.B. Bleiphosphit) enthalten (vgl. Tabelle 2-4). In einigen Ländern Europas (z.B. Frankreich) ist der Einsatz von Bleistabilisatoren für Trinkwasserrohre verboten. Der durchschnittliche Bleigehalt von bleistabilisierten Rohren, Fensterprofilen und Kabeln ist aus Abbildung 2-5 ersichtlich [Lit. 44]

Materialfraktion	Mittlerer Pb-Gehalt
Rohre	0,7%
Fensterprofile	2,7%
Kabel	2,0%

Abbildung 2-5: durchschnittliche Bleigehalte von bleistabilisierten PVC-Produkten

PVC-Bleistabilisatoren sind nach Batterien und Akkumulatoren die Haupteinsatzgebiete für Blei. Bezüglich des Anteils von Bleistabilisatoren an der Gesamtbelastung von kommunalen Abfällen zur Verbrennung oder Deponierung mit Blei gibt es keine genauen Angaben. Verschiedene Berechnungen und Schätzungen kommen zu einem Anteil zwischen 1%- 28% [Lit. 18].

Nachdem Bleistabilisatoren aus ökologischer Sicht als problematisch erkannt wurden, wurden verstärkt schwermetallfreie Stabilisatoren auf der Basis von Kalzium/Zink sowie auf zinnorganischer Basis eingesetzt. Ca/Zn-Stabilisatoren haben den Vorteil, dass sie sowohl mit Blei- als auch mit Cadmiumstabilisator-Systemen kompatibel sind. Dies wirkt sich vor allem bei der werkstofflichen Verwertung von PVC-Produkten positiv aus, da blei- bzw. cadmiumhaltige Re-

cyclingprodukte mit Ca/Zn-Stabilisatoren nachstabilisiert werden können [Lit. 13]. Nach Angaben der AgPU hat sich der Anteil an Ca/Zn-Stabilisatoren in Europa von 5 % in 1994 auf derzeit fast 20% erhöht.

In Österreich wurden bereits 1994 ca. 80% der PVC-Fenster mit Stabilisatoren auf der Basis von Kalzium/Zink produziert. Aufgrund der positiven Erfahrungen mit diesen Stabilisatorsystem haben sich die meisten Profilverhersteller in Österreich entschlossen, auf Bleistabilisatoren zu verzichten [Lit. 12]. Nach Aussagen eines PVC-Fenster Herstellers ist jedoch der Produktionsausschuss bei der Verwendung von Ca/Zn-Stabilisatoren höher als bei Bleistabilisatoren [Lit. 16].

Eine Übersicht über die Einsatzmengen der einzelnen Stabilisatorsysteme bei den PVC-Fraktionen "Rohre", "Kabel" und "Profile" in Europa liefert die nachfolgende Tabelle [Lit. 9]:

<i>Stabilisator-Systeme in Tonnen</i>	<i>Rohre</i>	<i>Kabel</i>	<i>Profile</i>
1998			
mit chemischen Zusätzen versehene Festkörper-Cadmium-Stabilisatoren	0	0	940
mit chemischen Zusätzen versehene Blei-Stabilisatoren	35.902	20.418	54.427
mit chemischen Zusätzen versehene Mischmetall-Festkörper-Stabilisatoren	903	6.820	5.630
Zinn-Stabilisatoren	160	0	109
1999			
mit chemischen Zusätzen versehene Festkörper-Cadmium-Stabilisatoren	0	0	202
mit chemischen Zusätzen versehene Blei-Stabilisatoren	37.630	20.235	58.721
mit chemischen Zusätzen versehene Mischmetall-Festkörper-Stabilisatoren	1.426	6.276	8.470
Zinn-Stabilisatoren	302	0	247

Abbildung 2-6: Mengenentwicklung der Stabilisator-Systeme für die drei ausgewählten Fraktionen in Europa

Früher wurden Hart-PVC-Platten ebenfalls mit Blei/Barium/Cadmium-Systemen stabilisiert. Kompakt und Schaumplatten werden derzeit überwiegend mit Pb bzw. Zinn stabilisiert. Auch hier kommen alternativ bereits vermehrt Ca/Zn-Stabilisatoren zum Einsatz.

Bei den PVC-Fußbodenbelägen werden derzeit überwiegend flüssige Barium/Zinkverbindungen als Stabilisatoren verwendet. Vor dem schrittweisen Ausstieg aus den Cd-Stabilisatoren wurden PVC-Bodenbeläge auch in Europa mit Cd-hältigen Systemen stabilisiert, so dass bei den derzeit zur Verwertung anstehenden Mengen z.T. noch erhebliche Mengen an Cd-hältigen Stabilisatoren enthalten sein können.

Haupteinsatzgebiete von Organo-Zinn-Stabilisatoren sind transparente Hart-PVC-Verpackungsfolien, Flaschen, Dachbahnen sowie transparente Hart-PVC-Platten für den Bau. In geringen Mengen können Organo-Zinn-Stabilisatoren auch bei Weich-PVC-Produkten wie Bodenbeläge, Tapeten, Beschichtungen, Formteile und Profilen eingesetzt werden, bei denen Transparenz und hohe Thermostabilität erforderlich sind.

Bei Weich-PVC-Anwendungen werden überwiegend Barium/Zink sowie Calcium/Zink-Stabilisatorsysteme eingesetzt. Im Medizinischen Bereich werden ausschließlich Kalzium/Zink-Verbindungen verwendet.

In der folgende Tabelle sind die wichtigsten Einsatzbereich einzelner Stabilisatoren in Europa zusammengefasst (Quelle: ECVM):

	Stabilisator-System						
	Pb	Pb/Ba/Cd	Ba/Cd	Ca/Zn	Ba/Zn	Sn	K/Zn
Hart-PVC-Anwendungen							
Rohre	++			+ (1)			
Fittings	++					+ (1)	
Profile	++	++	(+)	+			
Folie						++	
Flaschen				++		++	
Platten	+		(+)	(+)		++	
Weich-PVC-Anwendungen							
Kabelummantelungen	++			(+)			
Folien und Bahnen	+			+	++		
Fußbodenbeläge					++	+	++
Wandbeläge				(+)	++	+	++
Medizinprodukte				++			
Schläuche und Schuhe				+	++		
Lebensmittelfolien				++			
Gewebebeschichtung				+	++		++

Tabelle 2-4: Einsatzgebiete von PVC-Stabilisator-Systemen (ECVM)

++ Haupteinsatzbereich, + Einsatz (+) gelegentlicher Einsatz

(1) für Trinkwasserrohre in Frankreich und Belgien, (2) als Stabilisator/Kicker in der geschäumten Schicht.

Kalium/Zink-Verbindungen werden u.a. bei geschäumten Fußbodenbelägen als sogenannte Kicker zur Regulierung der Zersetzungsgeschwindigkeit des Treibmittels (überwiegend: Azodicarbonamid) eingesetzt.

Aus Tabelle 2-5 wird ersichtlich, dass der durchschnittliche Metallgehalt in PVC-Formulierungen vom verwendeten Stabilisatorsystem abhängt. Vor allem mit Blei stabilisierte PVC-Rezepturen enthalten im Vergleich zu den anderen Stabilisatorsystemen einen relativ hohen Metallgehalt.

Stabilisator-System	Hauptmetall	Metallgehalt (%) in PVC-Rezeptur
Bleikomponenten	Blei	0,5-2,5
Organo-Zinn-Systeme	Zinn	0,3-0,5
Cadmiumkomponenten (reguliert durch EG 91/338)	Barium	0,1-0,2
	Cadmium	0,1-0,3
	Blei	1,0-1,8
Barium/Zink-Systeme (nur Weich-PVC-Anwendungen)	Barium	~ 0,1
	Zink	< 0,1
Kalzium/Zink	Kalzium	~ 0,1
	Zink	< 0,1

Tabelle 2-5: durchschnittlicher Metallgehalt in PVC-Rezepturen [Lit. 68]

Obwohl die in den PVC-Produkten enthaltenen Stabilisatoren während der Gebrauchsdauer praktisch nicht in die Umwelt gelangen, da sie in die PVC-Matrix eingebunden sind, muss jedoch vor allem bei der Verwertung bzw. Entsorgung von PVC-Abfällen sichergestellt werden, dass diese nicht den Produktkreislauf verlassen bzw. ordnungsgemäß entsorgt werden.

Zur Entlastung der Umwelt hat sich die PVC-Industrie im Oktober 2001 dazu verpflichtet, Bleistabilisatoren bis zum Jahr 2015 vollständig durch andere Stabilisator-Systeme (v.a. durch Ca/Zn-Systeme) zu substituieren. Als Begründung für den vollständigen Ausstieg aus der Bleistabilisatoren Produktion wird von Seiten der Industrie vor allem die Reduzierung von Umweltbelastungen bei der Bleigewinnung genannt. Der Wiedereinsatz von bleihaltigen recycelten PVC-Granulaten bei Neuprodukten stellt nach Angaben der Industrie keine Umweltgefährdung dar, da Blei-Stabilisatoren fest in die Matrix eingebunden sind und somit bei einer konsequenten Kreislaufführung die Gefahr, dass Bleistabilisatoren in die Umwelt gelangen, relativ gering ist. Eine Risikobewertung für Bleistabilisatoren wird derzeit im Auftrag der Industrie erstellt und soll bis 2004 vorliegen.

2.2.3 Weichmacher

Als Weichmacher werden in der PVC-Industrie überwiegend Phthalsäureester (Alkohol-Derivate) und in geringeren Mengen Adipate und Citrate eingesetzt. Die wichtigsten Weichmacher, die in der PVC-Industrie verwendet werden, sind DEHP (Di-2-ethylhexylphthalat, auch DOP), DINP (Diisononylphthalat) oder DIDP (Di-iso-decylphthalat), die etwa 80% des Gesamteinsatzes darstellen. Derzeit liegt in Westeuropa der Jahresverbrauch an Weichmachern bei etwa 980.000 t.

Die nachfolgende Tabelle gibt den Verbrauch an Weichmachern in Westeuropa wieder [Lit. 11]:

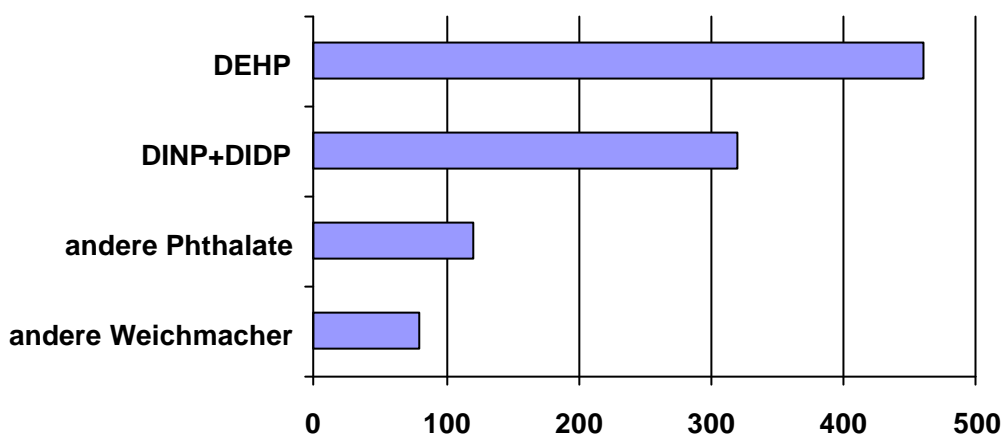


Abbildung 2-7: Verbrauch an Weichmachern in der PVC-Industrie, 1999 [Lit. 11]

PVC-Produkte, die Weichmacher enthalten, betreffen ein breites Spektrum an Anwendungsbereichen. Die wichtigsten Weich-PVC-Anwendungen in Westeuropa sind Kabel und Leitungen mit ca. 25%, Weich-PVC-Folien (~22%), Bodenbeläge (~14%) sowie beschichtete Stoffe (~10). Rohre und Profile sind mit ca. 11% ebenfalls ein wichtiger Abnehmer von Weichmachern. Die in Österreich hergestellten Rohre enthalten nach Angabe von API jedoch keine Weichmacher. Plastisole werden größtenteils im Automobilbereich verwendet.

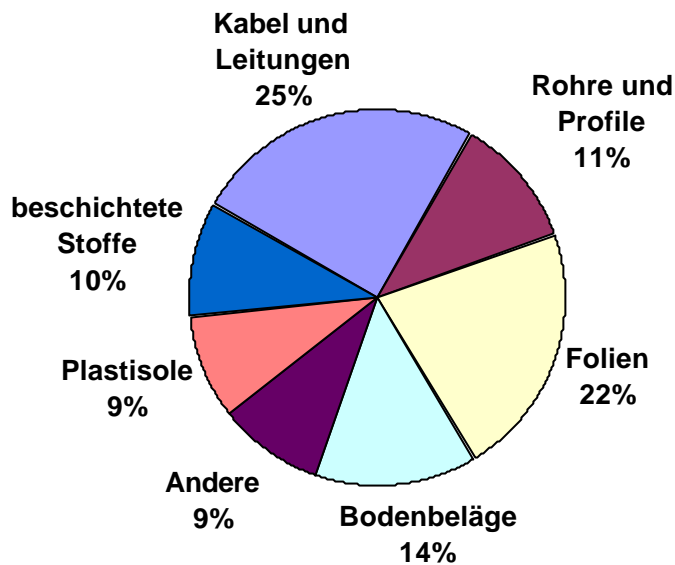


Abbildung 2-8: Hauptanwendungen von Weich-PVC in Westeuropa [Lit. 11]

¹ Nach Angaben österreichischer Hersteller werden für Rohre und Profile keine Weichmacher eingesetzt.

Weichmacher sind nur locker an die PVC-Matrix gebunden, so dass sie v.a. in der Nutzungsphase von PVC-Weichprodukten durch Ausgasung oder Auswaschung in die Umwelt gelangen.

Die toxikologische Bewertung der Weichmacher ist umstritten. Insbesondere DEHP wurde als "möglicherweise krebserregend für den Menschen" eingestuft und umfangreiche Ringtests wurden weltweit initiiert, um das Migrationsverhalten der Weichmacher zu erforschen [Lit. 17].

Aktuelle Entwicklungen haben z.B. in Schweden wieder zu einer Herabstufung des Gefährdungspotenzials von DEHP auf "nicht klassifizierbar in Bezug auf krebserregende Effekte für den Menschen" durch die schwedische Gesundheitsbehörde geführt. Eine Substitution der aktuell verwendeten Weichmacher durch weniger umweltrelevante Stoffe ist derzeit nicht oder nur im geringen Umfang möglich [Lit. 45]. Eine EU-Studie bezüglich der Bewertung von DEHP wird für Mitte nächsten Jahres erwartet. Eine geplante Veröffentlichung der Studie in diesem Jahr musste verschoben werden, da derzeit noch keine Einigung über Migrationsgrenzwerte erreicht werden konnte.

Der durchschnittliche Anteil an Weichmachern in Kabeln (z.B. DEHP, DIDP) beträgt 23% bezogen auf die Gesamtmasse des fertigen Produkts, PVC-Dichtungsbahnen enthalten etwa 33% (~ 600 g/m²) Phthalatweichmacher [Lit. 58]. Bei Fußbodenbelägen kommen als Weichmacher u.a. DEHP (Di-2-ethylhexylphthalat), DINP (Diisononylphthalat), BBP (Butylbenzylphthalat) und DIHP (Diisoheptylphthalat) zur Anwendung.

Für medizinische Zwecke wird v.a. DOP in medizinischer Qualität eingesetzt, der durchschnittliche Weichmacheranteil liegt zwischen 5-25% [Lit. 3]. Aufgrund des Fettgehalts des Blutes können bei Blutbeuteln geringe Mengen an Weichmachern aus dem PVC gelöst werden, die aber gemäß mehrere Studien zu keiner Gesundheitsgefährdung führen.

Phthalat-Weichmacher in Spielzeug für Kinder unter 3 Jahren sind in Österreich grundsätzlich verboten (BGBl. II Nr. 255/1998).

2.2.4 Füllstoffe

Als Füllstoffe werden v.a. mineralische Stoffe wie z.B. Kreide oder Talkum eingesetzt. Füllstoffe erhöhen zum einen die Festigkeit und zum anderen verbessern sie die Isolationswirkung von PVC. Der Anteil an Füllstoffen kann dabei bis zu 50% betragen (v.a. bei Kabeln und Fußbodenbelägen).

2.2.5 Sonstige

PVC-Produkte können neben den oben genannten Zusätzen noch weitere Komponenten enthalten wie z.B. Buntpigmente, Gleitmittel oder Flammschutzmittel. Die früher verwendeten cadmiumhaltigen Farbpigmente wurden inzwischen durch umweltverträglichere Stoffe wie z.B. Titandioxid ersetzt.

Flammschutzmittel

PVC selbst ist aufgrund seines hohen Halogengehalts schwer entflammbar, dieser Effekt wird jedoch bei Weich-PVC durch die enthaltenen Weichmacher größtenteils wieder aufgehoben. Deshalb enthalten einige Weich-PVC-Produkte - abhängig vom Einsatzbereich - Flammschutzmittel zur Reduktion der Brandgefahr. Folgende Flammschutzmittel wurden oder werden in der Kunststoffindustrie verwendet:

- anorganische Verbindungen (z.B. Aluminiumoxidhydrate, Zinkborate, Ammoniumphosphate und Antimontrioxid)
- halogenierte organische Verbindungen (Chlorparaffine, Hexabrombenzol, polybromierte Diphenylether und andere Bromverbindungen wie polybromierte Biphenyle)
- organische Phosphorverbindungen (Organophosphate, -phosphite und -phosphonate) über wiegend mit Weichmacher-Wirkung (z.B. Trikresylphosphat)
- halogenierte organische Phosphor-Verbindungen

Häufigste Flammschutzmittel bei PVC-Bodenbelägen sind Antimontrioxid/Chlor-Paraffin-Mischungen. Chlorparaffine haben zugleich "Weichmacher" Eigenschaften, so dass sie auch als Sekundärweichmacher bei verschiedenen anderen Produkten wie z.B. bei Kabelisolierungen, Gartenschläuchen, Farben und Schuhen eingesetzt werden. Bei den verwendeten Chlorparaffinen handelt es sich überwiegend um mittelkettige Chlorparaffine. Chlorparaffine sind nach heutigem Kenntnisstand als umweltrelevante Stoffe zu betrachten.

Antimontrioxid wird im Anhang I der Richtlinie 67/548/EWG als krebserregender Stoff der Kategorie 3 eingestuft. Darüber hinaus katalysiert Antimontrioxid die Bildung von PBDF/PBDD. Daneben sind sowohl die Herstellung als auch die Entsorgung mit Gesundheitsgefahren für die dort Beschäftigten verbunden. In der Müllverbrennung können Antimontrioxid-Stäube über den Schlot in die Umwelt gelangen [Lit. 65].

Für Kunstleder, Folien, Kalandervollstoffe und Kabelmischungen werden v.a. Zinkborate zusammen mit Antimontrioxid eingesetzt. Zur Verbesserung der Flammschutzfunktion von Dachbahnen werden als Additive u.a. Aluminiumhydroxid oder Phosphorverbindungen verwendet.

PCB

Früher wurden auch polychlorierte Biphenyle (PCB) als Additive eingesetzt. Diese ökologisch äußerst bedenklichen Stoffe werden für Kabel laut Auskunft der Vereinigung der Kabel- und Leitungsindustrie jedoch seit 20-25 Jahren nicht mehr verwendet, da billigere Alternativen zur Verfügung stehen. Da es sich bei Kabeln jedoch überwiegend um langlebige Produkte handelt, können die jetzt zur Verwertung anstehenden Kabel PCBs enthalten. PCBs wurden z.T. für Hochspannungskabel zur Verbesserung der Isolationswirkung und bei Niederspannungskabel als Flammschutzmittel oder Weichmacher verwendet.

Je nach Einsatzgebiet besteht zudem die Möglichkeit, dass PVC-Kabel während ihrer Nutzungsdauer mit PCBs kontaminiert wurden.

Im Gegensatz zu den Migrationsraten von Stabilisatoren können PCBs aus dem PVC leichter entweichen und somit ein Gesundheits- bzw. Umweltrisiko darstellen.

Asbest

Die Produktion der ältesten Form des PVC-Bodenbelags, die Vinyl-Asbest-Fliese wurde aufgrund der karzinogenen Wirkung von Asbest bereits in den 80 Jahren eingestellt. Inwieweit diese Fliesen noch im Umlauf sind lässt sich nicht sagen. Es ist zwar davon auszugehen, dass ein Großteil bereits ausgetauscht wurden, dennoch können aufgrund der langen Nutzungsdauer immer noch asbesthaltige Fliesen in den Abfallstrom gelangen.

Eine besondere Problematik besteht bei den Additiven darin, dass aufgrund der Langlebigkeit der Produkte Schadstoffe, die inzwischen verboten bzw. freiwillig nicht mehr eingesetzt werden, bei der Verwertung bzw. Behandlung wieder relevant sein können (z.B. Cadmium, PCB). Auf diese Problemstellung wird deshalb für die einzelnen Verfahren speziell eingegangen.

Ein weiteres Abgrenzungskriterium für die Zusammensetzung der Fraktionen, das nicht mit Additiven verknüpft ist, ist die Reinheit des anfallenden Abfalls. Je nach Einsatzbereich sind in größerem Ausmaß Verschmutzungen und Vermischungen zu berücksichtigen, die eine Eignung einzelner Behandlungs- und Verwertungsverfahren einschränken. Auch auf diese Aspekte wird detailliert bei den einzelnen Verfahren eingegangen.

Im Kapitel 4 werden dazu die untersuchten PVC-Abfälle entsprechend ihrer Inhaltsstoffe und Sammelqualität bzw. Reinheitsgrad in folgende 5 Kategorien eingeteilt:

- 1 sortenrein getrennte PVC-Fraktionen mit unkritischen Additiven
- 2 sortenrein getrennte PVC-Fraktionen mit kritischen Additiven (z. B. Cd)
- 3 gemischte PVC-Abfallfraktionen (Kunststoffabfälle, bei denen PVC der überwiegende Abfallbestandteil ist)
- 4 Abfallfraktionen mit erhöhtem Chlorgehalt aus PVC und relevantem Kunststoffanteil (>0,5 % relevante PVC-Anteile, z.B. nicht gefährliche Spitalabfälle, Hausmüll)
- 5 Abfallfraktionen mit geringem Chlorgehalt relevantem Kunststoffanteil (< 0,5%, geringe PVC-Anteile, z.B. Leichtfraktion aus der Verpackungsfraktion)

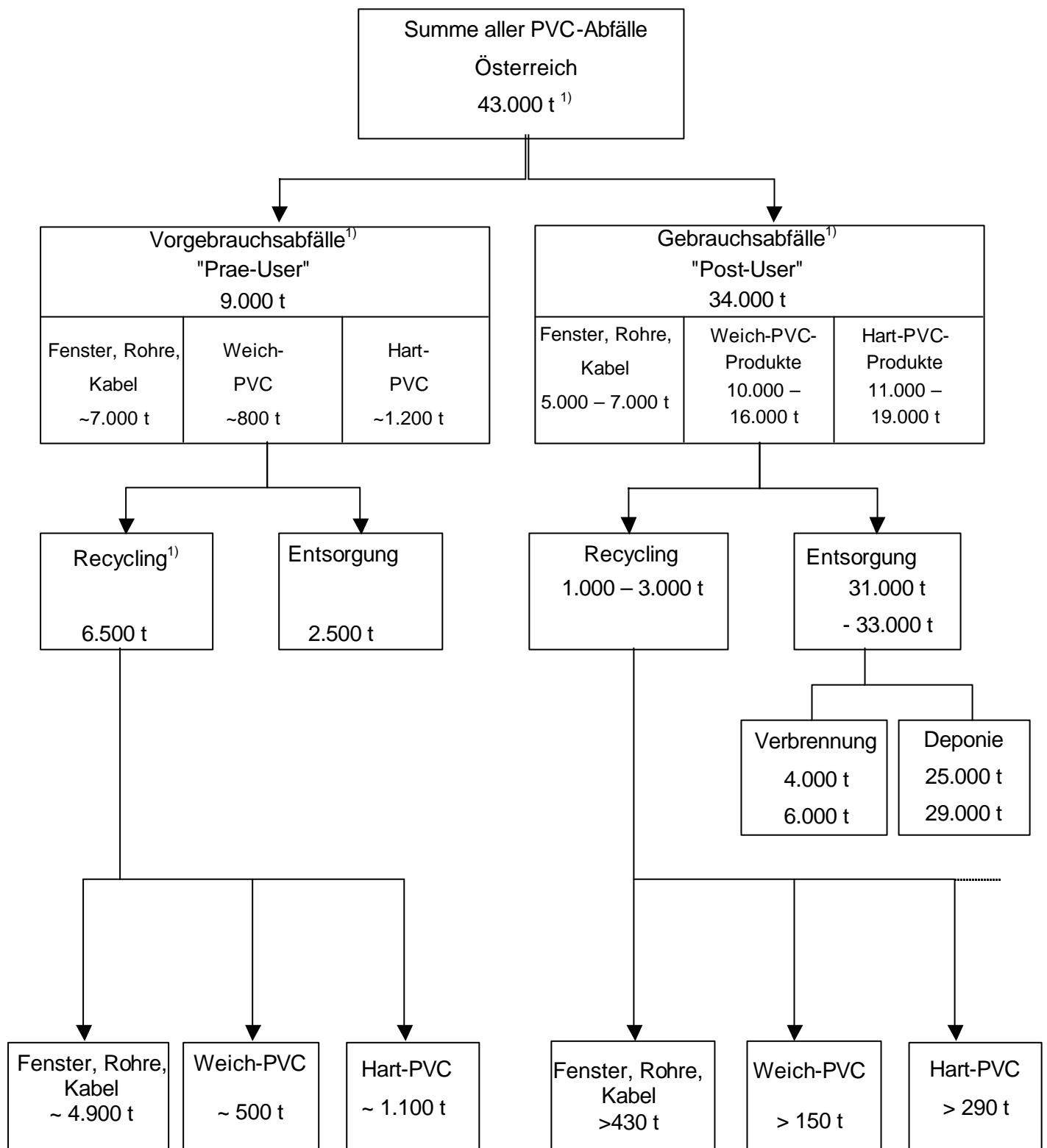
Auf die Unterscheidung zwischen "unkritische Additiven" und "kritischen Additiven" wird in Kapitel 4 näher eingegangen.

Bei den Fraktion 3, 4 und 5 sind auch andere Abfallkomponenten als PVC enthalten. Obwohl damit der Untersuchungsumfang des Projekts überschritten wird, wurden die korrespondierenden Ergebnisse erarbeitet, um ein möglichst vollständiges Bild über die Behandlungs- und Verwertungswege von PVC-Abfällen.

2.3 Materialfluss

2.3.1 Abfall- und Entsorgungsmengen

In Österreich fielen 1998 etwa 43.000 Tonnen PVC-Abfälle (PVC-Kunststoff) an [Lit. 1]. Diese Menge umfasst sowohl Produktions- und Installationsabfälle („Prae-User“-Abfälle) als auch Endverbraucher-Abfälle („Post-User“-Abfälle). Diese Menge entspricht der Quelle eines "Abflusses", der in seiner Gesamtheit aus der folgenden Abbildung ersichtlich ist:



alle Angaben PVC – Kunststoff

1) Quelle: Lit. 1, Industrieangaben

Tabelle 2-6: PVC-Materialfluss in Österreich

Daten 1998, 1999, 2000

Grundsätzliche Unschärfen des Mengenstromes resultieren aus Definitionsfragen wie z.B. der Abgrenzungsnotwendigkeit zwischen Post- und Prae-User-Abfällen; In Lit. 1 werden Abfälle aus der Verarbeitung von Neuprodukten (z.B. Verschnitt bei Montage) zu den Prae-User-Abfällen gerechnet. In den österreichischen Literaturangaben und eigenen Schätzungen werden diese Abfälle den Post-User-Abfällen zugerechnet. Das erscheint aufgrund der Tatsache gerechtfertigt, dass es zu verarbeitungsspezifischen Verunreinigungen im Zuge der Bearbeitung kommen kann (Staub, Kleber, Dichtungen, Gleitmittel).

2.3.1.1 Plausibilität der Ausgangsmengen

Prae-User-Abfälle repräsentieren mit 9.000 t pro Jahr ca. 21% des aktuellen PVC-Abfallaufkommens in Österreich. Diese Menge ist über Erhebungen bei den Betroffenen gut dokumentiert. Somit verbleiben 34.000 t Post-User-Abfälle. Diese entsprechen etwa 6 % der Prae-User-Abfälle der EU und etwa 6,4% der Post-User-Abfälle in Deutschland [Lit. 1]. Diese Relationen stützen somit die Plausibilität der Zahlen, da der PVC Verbrauch Österreichs ca. 5 % des deutschen beträgt.

Eine weitere Plausibilitätsüberlegung wurde anhand eines "bottom up"-Ansatzes vorgenommen: Der Cl-Gehalt im Hausmüll, der sich über Messungen von Verbrennungsanlagen belegen lässt, beträgt europaweit im Mittel ca. 7 kg Cl/t Abfall. Für die Verbrennungsanlage Spittelau wird für 1997 ein Wert von 8,6 kg/t² angegeben [Lit. 20]. Dieser, über dem europäischen Mittelwert liegende Wert könnte durch den in der Anlage mitverbrannten Spitalmüll bedingt sein, der nach der gleichen Quelle einen ca. 6-mal höheren Chlorgehalt aufweist als Hausmüll³. Der Anteil von Chlor aus PVC beträgt nach verschiedenen, in [Lit. 20] zitierten Untersuchungen, 40 - 66%. Die zitierte Untersuchung setzt eine Gleichverteilung von Hart- und Weich-PVC mit einem mittleren Chlorgehalt von 41 % im Kunststoff voraus.

Unter diesen Randbedingungen ergibt sich aus dem Chlorgehalt von 8,6 kg/t für die Anlage in Spittelau ein Anteil von 3,4 – 5,6 kg Cl/t aus PVC und 8,3 – 13,8 kg PVC/t Hausmüll. Bei ca. 1,3 Mio. t Hausabfällen in Österreich ergibt sich somit ein Anteil von 4.500 t – 7.300 t Chlor aus PVC und somit ca. 11.000 t - 18.000 t PVC-Kunststoff in Hausabfällen (inkl. Spitalabfällen).

² Eigene Abschätzungen auf der Basis von [Lit. 22] und [Lit. 23] legen nahe, dass aufgrund der geringeren Anteile an Vegetabilien der Hausmüll im ländlichen Bereich chlorärmer ist, als in städtischen Ballungsgebieten.

³ Der Anteil des Spitalmülls am Gesamtinput betrug 1999 in der Anlage Spittelau nach [Lit. 23] 1,1 %.

Weitere Chlorquellen sind nach [Lit. 22] Vegetabilien (0,6%TS), Papier (0,3 % TS), Holz, Leder, Gummi (1,18 % TS)⁴. Die Relationen decken sich gut mit den Angaben aus [Lit. 20], wo für Vegetabilien ein Beitrag zum Gesamtchlor von 17 %, für Papier von 11 % und sonstige Anteile von 30% angegeben ist.

Im Sinne der Plausibilität bleibt zu fragen, ob ein Aufkommen der verbleibenden 16.000 t – 23.000 t (Gesamtmenge Post-User-Abfälle 34.000 t) aus Nicht-Hausmüllbereichen realistisch ist.

Als für die untersuchten Fraktionen besonders relevante PVC-Abfall Quellen außerhalb des Hausmüllbereichs kommen in Frage:

- Baustellenabfälle ca. 1.100.000 t
(z.B. Profile, Kabel, Fenster, Folien)
- Sperrmüll in Österreich: ca. 220.000 t
(z.B. Bodenbeläge, Spielzeug, Fenster)

Nach [Lit. 18] beträgt der Anteil der in Bauabfällen enthaltenen PVC-Abfälle an der Gesamtmenge der PVC Abfälle ca. 27% ([Lit. 1]: 29%). Das entspräche in Österreich gerundet ca. 10.000 t. Aufgrund der in Österreich im Vergleich zur EU stark unterschiedlichen Verbrauchsstruktur von PVC (siehe Abbildung 2-2) mit einem Anteil des Bauwesens zuzüglich Kabel von ca. 89% (EU-Durchschnitt: 62%) ist davon auszugehen, dass der Anteil der PVC-Abfälle, die sich in Baustellenabfällen und im Sperrmüll befinden, deutlich höher als 27 % der PVC-Gesamtabfallmenge ist. Legt man die Relationen der Verbrauchsstruktur zugrunde, lassen sich ca. 40% oder eine Menge von ca. 14.000 t (PVC 40 % der Gesamt Post-User-PVC-Abfälle) als obere Grenze in diesen Fraktionen abschätzen. Von den Autoren wird ein Wert von ca. 13.000 t als gute Annäherung an die tatsächliche Menge eingeschätzt.

- Elektroaltgeräte, ca. 80.000 t
(z.B. Kabel, Gehäuse)
- Altautos: ca. 180.000 t
(z.B. Kabel, Unterbodenschutz)

Nach [Lit. 18] beträgt der Anteil der in diesen Fraktionen enthaltenen PVC-Abfälle an der Gesamtmenge der PVC Abfälle ca. 20%. Unter der Annahme, dass die Produkte, aus denen diese Abfälle entstehen, in Österreich in einem dem EU-Durchschnitt entsprechenden Ausmaß eingesetzt werden und die Verbrauchsstruktur nicht relevant ist (Import von PVC in Fertigprodukten),

⁴ Aufgrund der Aggregation verschiedener Stoffgruppen kann für diese Fraktion ein PVC-Anteil nicht ausgeschlossen werden.

kann die Menge an PVC in diesen Fraktionen mit ca. 7.000 t (PVC 20% der Gesamt Post-User PVC-Abfälle) abgeschätzt werden.

Angaben aus anderen Quellen zum PVC-Anteil in Fahrzeugen schwanken zwischen 18 kg/Fahrzeug („moderner Mittelklassewagen“) nach Lit. 35 und < 1% nach Lit. 27.

Der PVC Anteil (Gesamt PVC) in Elektroaltgeräten beträgt nach Lit. 27 1 – 1,5 %, eine deutsche Studie gibt nach Lit. 46 1,5% an.

Aus den Gesamtdaten ergibt sich ein Bereich von ca. 1 - 1,5% PVC in der Gesamtgruppe Fahrzeuge und Elektroaltgeräte und gerundet ca. 3.000 t – 4.000 t Gesamt-PVC resultieren.

Da diese Abschätzung auf neuesten, z.T. noch nicht veröffentlichten Untersuchungen basiert und nach oben gerundet ist, erscheint diese Menge die österreichische Realität besser zu beschreiben als die Abschätzung auf der Basis der EU-Daten.

Zusammenfassend ergibt sich folgendes Bild aus der Plausibilitätsabschätzung für Post-User-Abfälle:

Fraktion	Bereich PVC-Menge	Geschätzte Menge
Hausmüll inkl. Spitalabfälle	Ca. 11.000 – 18.000 t	15.000 t
Bauabfälle, Sperrmüll	ca. 10.000 - 14.000 t	13.000 t
Altfahrzeuge, Elektronikschrott	Ca. 3.000 – 7.000 t	4.000 t
Zwischensumme	24.000 t – 39.000 t	32.000 t

Abbildung 2-9: Plausibilitätsabschätzung der Post-User-Abfälle (PVC Kunststoff)

Die Differenzmenge von 2.000 t (geschätzte Menge) bis 10.000 t (untere Grenze Bereich) zu den oben abgeschätzten 34.000 t lässt sich aus den PVC-Anteilen in getrennt gesammelten Altstoffen aus Haushalten (ca. 880.000 t)⁵ und nicht näher spezifizierten betrieblichen Abfällen (ca. 760.000 t)⁵ ableiten. Ein mittlerer Mengenanteil an PVC-Kunststoffen von 0,1 % – 0,6 % in diesen Abfallfraktionen erscheint plausibel.

Lit. 1 stützt diese Abschätzung, da ca. 2.500 t Prae-User PVC-Abfälle angegeben werden, die keiner der in der Tabelle angegebenen Abfallfraktionen zugerechnet werden können und wahrscheinlich überwiegend deponiert werden.

⁵ Mengenangaben nach Lit. 26

2.3.1.2 Prae-User-Abfälle

Bei der Produktion bzw. Weiterverarbeitung von Weich- als auch Hart-PVC-Produkten fallen in Österreich Prae-User-Abfälle an, die sich nach Gesprächen mit Betrieben und eigenen Abschätzungen wie folgt verteilen:

	Anfallende Menge	Verwertete Menge
Fenster/-profile	~ 2.000 t	~ 1.400 t
Rohre	~4.000 t	~ 2.800 t
Kabel	~ 1.000 t	~ 700 t
sonstige Weich-PVC-Anwendungen	~ 800 t	~ 500
sonstige Hart-PVC-Anwendungen	~ 1.200 t	~ 1.100
Gesamtmenge „Prae-User“ - Abfälle	9.000 t	~ 6.500 t

Tabelle 2-7: Aufteilung der Prae-User-Abfälle

Genauere Angaben konnten weder aus der Literatur noch durch Gespräche mit den Beteiligten erhalten werden. Die Angaben wurden daher auf der Basis vergleichbarer Betriebe rechnerisch ermittelt und stellen einen Orientierungsrahmen für die relevanten Größenordnungen dar.

Die Relation des Materialflusses für Prae-User-Abfälle stimmen jedoch weitgehend mit Literaturangaben über Recyclingquoten [Lit. 1, Lit. 14] überein und wurden in Gesprächen mit Betroffenen als plausibel angesehen.

Es kann davon ausgegangen werden, dass ein Großteil der abgeschätzten Recyclingmenge unmittelbar in den Produktionsstandorten anfällt und wiedereingesetzt wird (Werkstoffliches Recycling).

Die verbleibende Menge von ca. 2.500 t PVC Abfall pro Jahr wird wahrscheinlich deponiert.

PVC-Bodenbeläge und PVC-Dachbahnen werden in Österreich nicht produziert, demzufolge fallen bei diesen Fraktionen überwiegend Post-User-Abfälle an, auf die bei der Verlegung anfallenden Installationsabfälle wird deshalb bei den Post-User-Abfällen näher eingegangen.

Prae-User Abfälle aus der Produktion von Hart-PVC-Produkten werden typischerweise vermahlen und anschließend direkt am Standort wieder eingesetzt oder in anderen Betrieben z.B. zur Produktion von Rohren, Profilen oder Platten als Sekundärrohstoff eingesetzt. Von einer Firma ist bekannt, dass sie anfallende Produktionsabfälle nach Holland exportiert. Es wurden jedoch keine Angaben dazu gemacht, wie diese Abfälle dort weiterbehandelt werden. Für Hart-PVC-

Produktionsabfälle gibt es in Österreich zudem mehrere Unternehmen, die diese kaufen, aufbereiten und anschließend wieder an die PVC-Industrie verkaufen.

Aufgrund der hohen Qualität von Prae-User-Abfällen bezüglich Sortenreinheit, Farbreinheit sowie der Kenntnis der spezifischen Eigenschaften ist davon auszugehen, dass die Verwertungsquote von Hart-PVC-Folien Produktionsabfällen bei über 90% liegt.

Inwieweit Weich-PVC-Abfälle in der Produktion wieder eingesetzt werden, konnte nicht festgestellt werden. Es wird jedoch angenommen, dass ein Großteil der anfallenden Produktionsabfälle direkt in die Produktion wieder zurückgeführt werden kann.

Bei der Produktion von beschichteten PVC-Produkten bzw. bei Verbundstoffen ist ein Wiedereinsatz der Abfälle nur sehr eingeschränkt oder gar nicht möglich, so dass diese in den meisten Fällen deponiert oder thermisch behandelt werden. Ein Teil der anfallenden Prae-User-Verbundabfälle wird jedoch auch einer chemischen Verwertung zugeführt (z.B. Planen).

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die bei der Produktion bzw. Weiterverarbeitung von PVC-Produkten in Österreich anfallende Abfälle größtenteils intern oder extern verwertet werden. Nur ein geringer Anteil der Prae-User-Abfälle wird deponiert bzw. thermisch behandelt.

2.3.1.3 Verteilung der Post-User-Abfälle

Die nach dem Gebrauchseinsatz entstehende Post-User-Abfälle gliedern sich in Mengen aus kurz- und langlebigen Produkten. Das Verhältnis kurz- zu langlebiger Abfälle unterliegt einer laufenden Änderung, wobei abzusehen ist, dass der Anteil aus langlebigen Produkten deutlich steigen wird. Grund ist das Erreichen der Lebensdauer langlebiger PVC-Produkte aus der 1. Generation des Masseneinsatzes. Die Abfälle der langlebigen PVC-Produkte fallen größtenteils im Baubereich an.

Infolge der Heterogenität der PVC-Anwendungen sowie des Fehlens spezifischer Sammelsysteme für die meisten Produkte ist eine Abschätzung der Post-User-Abfälle für einzelne Fraktionen nur sehr schwer möglich. Die folgende Tabelle verdeutlicht die relevanten Größenordnungen.

Gesamtmenge „Post-User“ – Abfälle	26.000 – 42.000 t
Fenster	< 1.000 t
Rohre	< 1.000 t
Kabel	3.000 – 5.000 t
PVC-Bodenbeläge	5.000 – 7.000 t
Weich-PVC-Folien	4.000 – 6.000 t
Weich-PVC-Sonstige	1.000 – 3.000 t
kurzlebige Produkte	1.000 – 3.000 t
mittel- bis langlebige Produkte	10.000 – 16.000 t

Tabelle 2-8: Verteilung der "Post-User-Abfälle"

Die geringe Menge an Post-User-Abfällen, die über Sammelsysteme erfasst werden (z.B. PVC-Bodenbeläge), werden entweder einer mechanischen oder chemischen Verwertung im Ausland zugeführt.

Von den in Deutschland angefallenen PVC-Mengen aus Post User Abfällen wurden nach Lit. 31 folgende Mengen 1995 verwertet:

Fenster	3.000 t
Rohre	500 t
Kabel	18.500 t
Summe	22.000 t

Abbildung 2-10 Verwertungsmenge Post-User-Abfälle Deutschland 1995

Neben den quantitativen Abschätzungen ist es für die vorliegende Aufgabenstellung wesentlich, die Bereiche zu identifizieren, in denen die untersuchten Teilfraktionen zumindest Teilmengen zum Gesamt – PVC Anteil der Abfallfraktion beitragen. Da es für die mengenmäßig untergeordneten PVC-Abfallfraktionen meist keine oder nur lokal begrenzte Sammelsysteme gibt, ist davon auszugehen, dass derzeit der überwiegende Teil dieser Post-User-Abfälle über Baustellenabfälle, Sperrmüll oder Hausmüll entsorgt wird.

Fraktion	Gesamt PVC (%)	Fenster	Kabel	Rohre	Bodenbeläge	Dachbahnen	sonstige Hart-PVC-Produkte	sonstige Weich-PVC-Produkte
Haus- und Spitalabfälle	0,6 – 1,0	0	-	0	-	-	+	+
Bauabfälle und Sperrmüll	~ 1,0	-	+	-	+	+	-	-
Altfahrzeuge und Elektronikschrott	1,0 – 1,5	0	+	0	0	0	+	+
Sonstige Abfälle	0,1 – 0,6	0	0	0	0	0	-	-

Tabelle 2-9 Bedeutung von Bodenbelägen, Dachbahnen sowie sonstigen Hart- und Weich-PVC-Produkten für den PVC-Anteil von Abfallfraktionen

- 0 kein Beitrag zur PVC Menge im Abfall
- kleiner Beitrag zur PVC Menge im Abfall möglich
- + Signifikanter Beitrag zur PVC Menge im Abfall möglich

Mit Inkrafttreten der DeponieVO in 2004 wird sich das Verhältnis von Deponierung zu Verwertung deutlich verschieben, da in vielen Fällen eine Deponierung der PVC-Abfälle aufgrund des hohen C-Gehaltes nicht mehr möglich sein wird und somit der Anteil an Post-User-Abfälle, die einer mechanischen oder chemischen Verwertung zugeführt werden, deutlich zunehmen wird. Voraussetzung hierfür ist jedoch der Aufbau flächendeckender Sammelsysteme für PVC-Post-User Abfälle.

2.3.1.4 Differenzierung der Post-User Anfallmengen

a) Fenster

Lit. 37 gibt die jährlich in Österreich anfallende Altfenstermenge mit ca. 1,2 Mio. Stück, einer Gesamtmasse von ca. 20.000 t (Glasanteil 27%, ca. 17 kg/Fenster) und einem Holzfensteranteil von 97 % an. Aus diesen Angaben lässt sich ableiten dass ca. 600 t PVC und Metallfenster als Altfenster anfallen. Es erscheint plausibel, ca. die Hälfte dieser Menge den PVC Fenstern zuzuordnen. Die Zusammensetzung von PVC-Fenstern kann mit ca. 50% PVC, 30% Metall und 20% Glas angesetzt werden, woraus eine Anfallmenge von 150 t PVC resultieren würde. Da das Bezugsjahr des dieser Berechnung zu Grunde liegenden Holzfensteranteils nicht in der zitierten Quelle angegeben ist und Lit. 32 für 2000 eine Rücklaufmenge von PVC aus Fenstern von 160 t angibt, wird die derzeitige PVC – Abfallmenge aus Fenstern mit ca. 300 t und jedenfalls < 1000 t abgeschätzt. Diese Plausibilitätsabschätzung wird durch folgende, auf anderen Daten gestützte Schätzung gestützt:

Die Menge an Fenstern kann aufgrund des in Lit. 30 angegebenen Glasanteils von 1% der Baustellenabfälle bei einer Gesamtmenge von 1,1 Mio. t [Lit. 25] abgeschätzt werden. Die Relationen entsprechen abgerundet ca. 10.000 t Glas und bei einem Glasanteil von ca. 27 % pro Fenster einer Gesamtmenge von rund 37.000 t Fensterabfällen (oder ca. 2 Mio. Fenster).

b) Rohre

PVC-Rohre bestehen meist nur aus Kunststoff mit geringen Anteilen an Klebe- und Dichtelementen. Oberirdisch verlegte Rohrsysteme können und müssen wie Fenster- und Kabel ab einer Anfallmenge von 2 t in Österreich als Bauabfälle getrennt gesammelt werden (Lit. 28). Eingegrabene Rohrsysteme verbleiben nach Ende der Funktionszeit fast immer in ihrer Verlegungsumgebung, da gegenwärtig keine Motivation zur Entfernung besteht.

In Lit. 34 ist für 2000 eine Gesamtsammelmenge von ca. 600 t Kunststoffrohren mit einem PVC Anteil [Lit. 6] von ca. 40 % angeführt. Für die tatsächlich anfallenden Mengen an Kunststoffrohren konnten in der Literatur keine Hinweise gefunden werden.

Aufgrund der wahrscheinlich etwas länger anzusetzenden Lebensdauer im Vergleich zu PVC-Fenstern, einem um den Faktor 2,5 höheren Verbrauch und des nicht abschätzbaren Anteils im Boden verbleibender Rohre erscheint eine Größenordnung von < 1.000 t plausibel.

c) Kabel

Altkabel werden gegenwärtig nach Verlust ihrer Funktionsfähigkeit oder im Zuge von Abbruch-, Sanierungs- oder Umbauarbeiten, bei überirdischen Verlegungen und bei Kraftfahrzeugwracks

meist aus ihren Verlegungsorten entfernt. Im Erdreich verlegte Kabel verbleiben aufgrund der teuren Grabungsarbeiten in der Regel an ihrem ursprünglichen Ort.

Eine weitere wesentliche Quelle für Altkabel stellen Elektroaltgeräte dar, bei denen nach Lit. 27 56 % der Kabel mit PVC-Isolation versehen sind. Generell wird der PVC Anteil in der Isolierung in Lit. 7 mit ca. 60% angegeben. Aus den Angaben in Lit. 36 lässt sich ein PVC-Anteil von ca. 75% ableiten.

Für die Abschätzung der PVC Menge aus Altkabeln kann das Massepotential von Altkabeln nach Lit. 25 mit 12.000 t herangezogen werden. Dieses Massepotential ist nach Lit. 47 statistisch nirgends erfasst und könnte bis zum Dreifachen höher liegen.

Der Kunststoffanteil kann nach Lit. 36 mit ca. 55% oder nach Lit. 7 ca. 20% herangezogen werden. Daraus ergibt sich ein Bereich von 2.500 – 6.500 t an Kunststoffen. Kreuzt man die PVC-Anteile von 56% - 75% mit den Kunststoffanteilen von 20 % und 55 % ($2.500 \cdot 0,75$ und $6.500 \cdot 0,56$) ergibt sich als Schätzung der Größenordnung ein Bereich von 3.000 t – 5.000 t.

Für Deutschland ergeben sich bei ca. 110.000 t Altkabeln (im Land verwertete Menge von insgesamt 150.000 t) und ca. 60.000 t Kunststoffen eine PVC-Menge von ca. 45.000 t [Lit. 36].

d) Bodenbeläge

PVC-Bodenbeläge werden sowohl in Privathaushalten als auch in der Industrie verwendet. Somit können PVC-Bodenbeläge sowohl im Hausmüll, Sperrmüll als auch in Baustellenabfällen enthalten sein. Bei Privathaushalten fallen in der Regel meist nur relative geringe Mengen gleichzeitig an, bei Sanierungen von Industriegebäuden können jedoch auch größere Mengen gleichzeitig anfallen. Bei einer Anfallmenge von mehr als 2 t Kunststoffabfälle als Bauabfall müssen diese gem. BGBl. 1991/259 VO über die Trennung von Bauabfällen in Österreich auf Baustellen getrennt gesammelt werden⁶.

Im Bereich der PVC-Bodenbelägen handelt es sich um einen weitgehend gesättigten Markt, d.h. es findet im Wesentlichen nur ein Austausch alter PVC-Beläge durch neue Beläge statt. Mit einem überdurchschnittlichen Wachstum bzw. der Erschließung neuer Märkte ist derzeit nicht zu rechnen. Somit kann als grobe Anhaltswert für die Menge an Post-User-Bodenbelagsabfällen der Verbrauch an Neu-Produkten angenommen werden.

Bei einem Verbrauch von ca. 9.000 t PVC-Bodenbelägen in Österreich kann dementsprechend eine Menge an Post-User-Abfällen von 5.000 – 7.000 t abgeschätzt werden, unter Berücksich-

⁶ Sind die Abfälle im „Baustellenabfall“ enthalten beträgt die Mengenschwelle 10 t.

tung einer durchschnittlichen Nutzungsdauer von 10-20 Jahren sowie einem geringfügigen jährlichen Wachstumsfaktor.

e) Weich-PVC-Folien

Aufgrund des vielseitigen Einsatzes von Weich-PVC-Folien wie z.B. im Garten- und Landschaftsbau, Landwirtschaft, Bauwesen, Transport aber auch bei Haushalts- und Freizeitartikeln werden Weich-PVC-Produkte sowohl über den Hausmüll, Sperrmüll als auch über Baustellenabfall entsorgt.

Angaben zum Abfallaufkommen sind nur auf der Basis grober Abschätzungen möglich. Bei den Weich-PVC-Folien mit kürzerer Lebensdauer halten sich Verbrauch und Abfallmenge abgesehen vom jährlichen Wachstumsfaktor des PVC-Verbrauchs in etwa die Waage. Weich-PVC-Folien mit längerer Nutzungsdauer wie z.B. Dachbahnen fallen derzeit noch in relativ geringen Mengen an. Bei LKW-Planen ergibt sich die Sondersituation, dass diese häufig nach Ende ihrer Nutzungsdauer als Abdeckplanen weiter verwendet werden, so dass die tatsächlich zu entsorgenden Mengen geringer sind.

f) Hart-PVC-Folien

Hart-PVC-Folien haben ebenfalls ein breites Anwendungsspektrum. Neben dem Einsatz im Bausektor finden Hart-PVC-Produkte oft Anwendung bei kurzlebigen Produkten wie z.B. Büroartikel, Scheckkarten oder Verpackungen. Für Scheckkarten und Pharma-Blister existieren in Österreich Sammelsysteme. Büroartikel werden überwiegend über den Hausmüll entsorgt. Verpackungen aus Hart-PVC werden z.T. über die Sammlung von Verpackungsabfällen miterfasst. Hart-PVC-Profile bzw. Platten, die im Bau oder in der Möbelindustrie eingesetzt werden, werden überwiegend über den Sperrmüll und Baustellenabfälle entsorgt.

Im Rahmen der Leichtverpackungssammlung der ARGEV wurden 2001 133 t Blister gesammelt, was ca. 0,1% der Gesamtverpackungsmenge entspricht. 1999 und 2000 wurden jeweils knapp 190 t gesammelt.

g) sonstige Hart/Weich-PVC-Anwendungen

Neben den bereits beschriebenen PVC-Anwendungen werden in Österreich ein Vielzahl weiterer PVC-Produkte verwendet, die aber mengenmäßig von geringerer Bedeutung sind. Da es für diese Produkte keine speziellen Sammelsysteme gibt, werden diese je nach Einsatzbereich überwiegend über Hausmüll, Sperrmüll oder aber auch als Bauabfälle entsorgt.

2.3.1.5 Differenzierung der Recyclingmengen Post- User Abfälle

In der Abbildung des Stoffflusses ist unter "Recycling" die werkstoffliche Verwertung erfasst. Mengen für chemisches Recycling konnten nicht identifiziert werden.

a) Fenster und Rohre

Die Verwertung der Fenster- und Rohrabfälle organisieren 2 Arbeitskreise, die von den großen österreichischen Herstellern ins Leben gerufen wurden. Das Sammelsystem wird von Partnerunternehmen der Arbeitskreise betrieben. So hat der Arbeitskreis für Fensterrecycling bundesweit 10 Recyclingunternehmen als Partner, während Rohrrecycling von einem Unternehmen betreut wird, das insgesamt 64 Sammelstellen bei Herstellern und Großverbrauchern unterhält.

Installations-Abfälle werden zum Teil direkt bei den österreichischen Herstellern recycelt, zum Teil werden sie auch in speziellen Aufbereitungsanlagen im Ausland abgegeben.

Die mechanische Verwertung von Rohrabfällen differenziert sich nach dem Anfallort. Die „Prae-User“-Rohrabfälle werden sortenrein gesammelt und entweder beim Rohrhersteller oder in dessen Auftrag in Österreich selbst recycelt. Die „Post-User“-Fraktion wird z.T. zum Recycling exportiert. Während „Prae-User“-Abfälle wieder zu ursprünglich vorgesehenen Produkten verarbeitet werden können, stellt man aus „Post-User“-Abfällen Produkte mit geringeren Qualitätsanforderungen wie Schutzrohre und drucklose Rohre her.

Fenster/Fensterprofile werden als Post-User-Abfälle gesammelt, um spezifischen Anlagen zugeführt werden zu können. Dies geschieht mit verschiedenen Containersystemen, wobei die Abfälle überwiegend nach Deutschland exportiert werden.

b) Kabel

Primäres Ziel des Kabelrecyclings ist die Rückgewinnung von NE-Metallen (insb. Kupfer). Daher wird die Sammlung von Altkabeln überwiegend vom Altstoffhandel durchgeführt und vorzugsweise Kabel mit hohem Kupferanteil (d.h. dicke Durchmesser) verwertet.

Nach Lit. 1 werden 300 t PVC in Österreich durch mechanische Verfahren aus Altkabeln recycelt, wobei die weitere Behandlung des PVCs nicht bekannt ist. Diese Angabe ist nach Lit. 47 sicher zu niedrig, da drei Kabelshredderanlagen und zahlreiche kleine Kabelschälmaschinen im Einsatz sind. Die dabei anfallende Kunststoffmenge wird nach dieser Quelle wahrscheinlich deponiert.

Nach Lit. 33 ist bei Altkabeln „häufig die Verschmutzung für eine stoffliche Kunststoffverwertung zu groß“. Im Gegensatz dazu stellt die Vertretung der deutschen Metallhändler in Lit. 36 fest, dass ca. 50% des Kunststoffes aus dem Kabelrecycling stofflich verwertbar ist, ohne allerdings näher auf die Verwertungswege einzugehen.

Es konnten keine Angaben zu den insgesamt verwerteten Altkabelmengen und den möglicherweise im Ausland thermisch von der Isolierung „befreiten“ Mengen recherchiert werden.

Ohne sich auf Literaturangaben stützen zu können, wird die insgesamt aus der Verwertung von Altkabeln stammende Menge an PVC auf 50% des geschätzten Aufkommens und somit mit 1.000 t – 3.000 t angenommen. Eine genaue Mengenabschätzung ist für den derzeitigen Verbleib der Abfälle nicht relevant, da sowohl die nicht verwerteten Kabel als auch die PVC-Rückstände aus der Verwertung überwiegend deponiert werden⁷.

c) PVC-Bodenbeläge

Die getrennte Sammlung von PVC-Bodenbelägen wird derzeit nur von der LAVU für Oberösterreich organisiert. Bei sogenannten Altstoffsammelzentren können Privathaushalte kostenlos PVC-Bodenbeläge abgeben. Die jährliche Sammelmenge liegt bei etwa 100 kt, die zur werkstofflichen Verwertung nach Deutschland exportiert werden. Nach Aussage der LAVU sind davon über 90% aus Privathaushalten. In den übrigen Bundesländern existieren derzeit keine spezifischen Sammelsysteme für PVC-Bodenbeläge, so dass diese entweder als Bauabfälle, Sperrmüll bzw. z.T. sicher auch als Hausmüll entsorgt werden.

d) Weich-PVC-Folien

Die Verwertung von PVC-Dachbahnen wird über ein Herstellerunternehmen organisiert. Bei einer Neubestellung von Abdichtbahnen ist es möglich, Paletten zur Abholung von Alt-PVC-Bahnen anzufordern. Der Preis pro Palette liegt derzeit bei etwa 70 € (~ 30 Cent/m²). Die abgeholt PVC-Dachbahnen werden anschließend vom Hersteller nach Deutschland zur mechanischen Verwertung weitergeleitet. Die jährliche Sammelmenge liegt derzeit nach Firmenangaben bei ca. 30 t.

Für andere Weich-PVC-Folien/Produkte sind derzeit keine spezifischen Sammelsysteme etabliert. Dementsprechend ist davon auszugehen, dass diese Produkte keiner werkstofflichen bzw. chemischen Verwertung zugeführt werden.

⁷ Von einem kleinen Mengenanteil im Hausmüll ist auszugehen

e) Hart-PVC-Folien

Für Pharma-Blister gibt es in Österreich ebenfalls ein Sammelsystem, an dem sich über 300 Apotheken, Krankenhäuser, Pensionistenheime und Ambulatorien beteiligen. Die gesammelte Menge von ca. 200 t Blister jährlich werden nach Aussagen der Industrie nach Deutschland gebracht und dort chemisch zu Methanol verwertet. Nach Angaben von drei Abfallbeauftragten sehr unterschiedlicher Krankenhäuser wird für Pharma-Blister seit einiger Zeit kein PVC mehr eingesetzt.

Weiters werden in Österreich an vielen Banken Scheckkarten zurückgenommen, die anschließend einer mechanischen Verwertung zugeführt werden. Derzeit liegt die Sammelmenge bei ca. 2,3 t im Jahr.

Für sonstige Hart-PVC-Produkte (abgesehen von Fenstern und Rohren) gibt es in Österreich derzeit keine spezifischen Sammelsysteme. Es ist jedoch anzunehmen, dass zumindest ein Teil der Hart-PVC-Abfälle, die bei Firmen oder auf Baustellen in größeren definierten Mengen anfallen einer werkstofflichen Verwertung zugeführt werden. Genaue Angaben zu diesen Mengen sind jedoch nicht verfügbar.

Trotz der z.T. bereits etablierten Sammelsysteme für verschiedene PVC-Abfallfraktionen wird derzeit in Österreich die überwiegende Menge an PVC-Abfällen deponiert. Das kann zum einen auf die geringen Deponiekosten zurückgeführt werden, zum anderen aber auch auf fehlende flächendeckende Erfassungssysteme für PVC-Abfälle. Die Entsorgungssituation wird sich jedoch mit Inkrafttreten der neuen DeponieVO ändern, da für einen Großteil der PVC-Abfälle eine Deponierung aufgrund des G-Gehaltes nicht mehr möglich ist. Verwerter von PVC-Post-user Abfälle rechnen damit, dass nach dem europaweiten Inkrafttreten der Deponie-RL die Verwertungsquote von PVC-Abfällen stark ansteigt.

2.3.1.6 Differenzierung der Entsorgungswege (Prae- und Post – User Abfälle)

In die thermische Behandlung werden in Österreich praktisch ausschließlich Haushalts- und Spitalsabfälle eingebracht. Die Mengen sind genau dokumentiert und betragen ca. 1/3 der Gesamtmenge dieser Abfallfraktion (ca. 1,3 Mio. t nach Lit. 26).

Aus der oben abgeschätzten Gesamtmenge von 11.000 t – 18.000 t PVC in dieser Abfallfraktion lässt sich somit unmittelbar eine Menge von (gerundet) ca. 4.000 t – 6.000 t abschätzen. Die mit der thermischen Verwertung der Kunststofffraktion aus der Verpackungsleichtfraktion miterfassten PVC-Mengen sind aufgrund der geringen PVC-Anteile dieser Fraktion vernachlässigbar.

Die nicht verwerteten Prae-User Abfälle werden mit hoher Wahrscheinlichkeit ausschließlich deponiert, da sie eine Cl-reiche Fraktion (Schlüsselnummer 57116 PVC-Abfälle) darstellen. Für diese Abfälle haben lediglich zwei österreichische Anlagen eine Übernahmegenehmigung. Sie können die gesamte Untergruppe 571 übernehmen [Lit. 39]. Bei einer dieser Anlagen ist es aus technischen Gründen unwahrscheinlich, dass PVC-Abfälle mit hohen Anteilen übernommen werden.

Eine Zusammenfassung ergibt folgendes Bild:

	Prae-User	Post-User	Gesamt
Verbrennung	0	4000 – 6.000 t	4000 – 6.000 t
Deponierung	~ 2.500 t	25.000 – 29.000 t	27.500 – 31.500 t

Abbildung 2-11 Entsorgung von PVC – Abfällen (Prae-User und Post-User)

2.4 Abschätzung des Abfallaufkommens bis 2010

Die zukünftige PVC-Abfallmenge hängt neben der Verbrauchsentwicklung in den nächsten Jahren wesentlich von dem Ende der Nutzungsdauer langlebiger PVC-Produkte aus dem Baubereich ab, nachdem diese etwa 30 Jahre nach Beginn des Masseneinsatzes verstärkt als Post-User-Abfälle anfallen.

Die PVC-Industrie geht derzeit von einer weiteren Zunahme des PVC-Verbrauchs in Europa sowohl für langlebige als auch für kurzlebige Produkte aus. Bis zum Jahr 2020 wird mit einem Anstieg von etwa 65% gerechnet, was etwa 2,5% pro Jahr entspricht. Dabei wird der Anteil an kurzlebigen Produkten nach Einschätzung der Industrie weiter zunehmen. Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die Verteilung von kurz- und langlebigen PVC-Produkten:

Nutzungsdauer	Anteil am Gesamt-PVC-Verbrauch
kurz, bis 2 Jahre	15%
mittel, 2-10 Jahre	16%
lang, 10-20 Jahre	28%
sehr lang, über 20 Jahre	41%

Abbildung 2-12: Verteilung von kurz- und langlebigen PVC-Produkten [Lit. 8]

Auf die zu erwartende Abfallmenge an langlebigen Post-User-Abfälle aus dem Baubereich in den nächsten 10 Jahren, hat der aktuelle PVC-Verbrauch bzw. Anstieg nur geringe Auswirkungen. Die jetzt produzierten Mengen werden für Fenster, Rohre und Kabel im Baubereich frühestens in 20-40 Jahren als Abfälle relevant. Altkabel fallen auch mit mittlerer und langer Nutzungsdauer aus der Produktgruppe Elektrogeräte und Fahrzeuge an.

Die Zunahme des PVC-Verbrauchs wird sich in den nächsten Jahren jedoch auf die Anfallmenge von Prae-User-Abfällen auswirken, da diese direkt bei der Produktion bzw. bei der Installation der langlebigen Produkte anfallen. In [Lit. 1] wird für Europa mit einem Anstieg der Prae-User-Abfälle von derzeit rund 500.000t auf 650.000 t im Jahr 2010 ausgegangen (vgl. Abbildung 2-13).

	2000	2010		2020	
Prae-User-Abfälle	500 kt	650 kt	+ 30%	920 kt	+85%
Post-User-Abfälle	3,6 Mio. t	4,7 Mio. t	+ 30%	6,2 Mio. t	+85%

Abbildung 2-13: zukünftige Entwicklung des PVC-Abfallaufkommens in Europa

Eine andere Quelle [Lit. 6] geht von einem derzeitigen Abfallaufkommen von Prae-User-Abfällen aus Installationen in rund doppelter Höhe aus, die in den Verwertungskreislauf zurückgehen. Eine Steigerung von 10 Prozent in den nächsten Jahren wird v.a. durch die Verbesserung des Rückhol-system erwartet. Diese Abfälle werden wahrscheinlich z.T. direkt von den Herstellern zurückgenommen und erneut in der Produktion eingesetzt.

Bei Post-User-Abfällen stellt sich die Situation etwas anders dar. Änderungen des PVC-Verbrauchs wirken sich erst mit einer zeitlichen Verzögerung, die von der Nutzungsdauer der Produkte abhängt, auf die Abfallmenge aus. Wie aus der Abbildung 2-13 ersichtlich rechnet die Industrie bis zum Jahr 2010 mit einer Zunahme der Post-User-Abfälle in Europa von derzeit 3,6 Mio. t um 30% auf 4,7 Mio. t. Bis zum Jahr 2020 wird sogar mit einem Anstieg von etwa 85% gerechnet. Der Anteil der Abfälle aus dem Baubereich bezogen auf die Gesamt-Post-User-Abfälle wird voraussichtlich bis zum Jahr 2020 von derzeit 28% auf 36% ansteigen [Lit. 1].

Allgemein kann davon ausgegangen werden, dass sich bei den kurz- bzw. mittellebigen PVC-Anwendungen keine grundlegenden Veränderungen im Abfallaufkommen ergeben, abgesehen von einem kontinuierlichen Anstieg entsprechend des steigenden PVC-Verbrauchs. Bei den langlebigen PVC-Produkten wie Fenster, Rohre, Kabel, Dachbahnen und PVC-Bodenbelägen ist jedoch mit einem deutlich vermehrten Abfallaufkommen in den nächsten Jahren zu rechnen.

Für die Abschätzung des zukünftigen PVC-Abfallaufkommens in Österreich wird zum einen davon ausgegangen, dass die Wachstumsfaktoren für PVC-Abfälle für alle EU-Länder in etwa gleich groß sind. Somit kann unter Zugrundelegung von EU-Zahlen über die einzelnen Fraktionsanteile auch eine Abschätzung für Österreich erfolgen [Lit. 2]. Die Wachstumsfaktoren der Berechnungsmodelle tragen dem Umstand Rechnung, dass die Abfallfraktionen aus dem Bauwesen, wozu insbesondere Fenster und Rohre zählen, gegenüber anderen Fraktionen einen stärkeren Anstieg verzeichnen werden, aufgrund ihrer langen Lebensdauer und dem Zeitpunkt des beginnenden Masseneinsatzes.

2.4.1 Entwicklung der PVC-Menge aus Altfenstern bis 2010

In Österreich wird von Seiten der Industrie mit einem Rücklauf an Alt-PVC-Fenstern von 750 – 3.750 t/a in den nächsten 5-10 Jahren gerechnet [Lit. 7]. Nach Angaben der österreichischen PVC-Industrie ist gegenwärtig nur ein geringer Prozentsatz der eingebauten PVC-Fenster älter als 20 Jahre, da der Einsatz von PVC-Fenstern Anfang der 70-Jahre erst langsam begann. Die derzeit anfallende Menge an PVC-Fenstern beträgt etwa 1-3% des Gesamt-Altfensteraufkommens in Österreich. Mit einer kontinuierlichen Zunahme dieser Menge in den nächsten Jahre ist zu rechnen. Genaue Abschätzungen sind jedoch schwierig, da zum einen

die Lebensdauer der Fenster deutlich höher ist als bisher angenommen und zum anderen die ausgebauten PVC-Fenster z.T. erneut eingebaut werden (meist im Ausland).

Derzeit beträgt der Anteil an PVC-Fenstern, die in Österreich neu verbaut werden, fast 60%.

2.4.2 Entwicklung der PVC-Menge aus Rohren bis 2010

Die zukünftige Entwicklung der Post-User-Rohrabfälle ist nur sehr schwer abzuschätzen, da zum einen ein Großteil der Rohre eine weitaus längere Lebensdauer besitzt als bisher angenommen und zum anderen in vielen Fällen die Rohre nach Ende ihrer Nutzungsdauer im Erdreich verbleiben. Der Zuwachs bei PVC-Rohrabfällen wird deshalb überwiegend aus Installationsabfällen⁸ bestehen. Es wird daher im Abfallbereich weitgehend eine analoge Entwicklung zu den Produktionsmengen erwartet.

2.4.3 Entwicklung der PVC-Menge aus Altkabeln bis 2010

Anders als bei Fenstern und Rohren werden Kabel nicht nur für langlebige Anwendungen (Elektroinstallationen) sondern auch für solche mit mittlerer und kurzer Nutzungsdauer (Autos, Elektrogeräte) eingesetzt.

Bei den Kabelabfällen aus sehr langlebigen Anwendungen ist die Lebens- bzw. Nutzungsdauer ähnlich zu den Rohren deutlich länger als 20 Jahre anzusetzen, sodass innerhalb der nächsten zehn Jahre – im Gegensatz zu PVC-Fenstern – mit keinem verstärkten Anfall aus diesem Bereich zu rechnen ist. Es kann davon ausgegangen werden, dass sich die Altkabelmengen analog zu den Produktionsmengen bzw. dem PVC-Verbrauch entwickeln.

Eine ähnliche Entwicklung – wenn auch aus anderen Gründen – ist für das Altkabelaufkommen aus dem Bereich Elektroaltgeräte und Altfahrzeuge zu erwarten. Durch eine Nutzungsdauer von im Mittel 10 –20 Jahren [Lit. 18] wird die Entwicklung der Abfallmengen bis 2010 weitgehend analog zur Entwicklung der Einsatzmengen von PVC in diesem Bereich von 1980 – 2000 erwartet.

Einen ungefähren Anhaltspunkt bildet die Entwicklung der Produktionsmenge von Kabeln in Österreich. Nach Lit. 54 wurden 1990 ca. 32.000 t Kabel produziert 1998 ca. 59.000 t. Davon entfallen ca. 20% für Spannungen von 1.000 V und darüber, d.h. mit hohem Kupferanteil, ca. 60% auf Kleinspannungskabel (< 80V) und 20% den Bereich 80 – 1.000 V⁹. Wenn auch die Menge des inländischen Altkabelanfalls aufgrund von hohen Import- und Exportanteilen (sowohl von

⁸ In Lit. 1 werden diese Abfälle den „Prae-User“ Abfällen zugerechnet. Dieser Methodik wird hier nicht gefolgt, da die Verlegung durch den Anwender des Produktes erfolgt und einbauspezifische Kontaminationen möglich sind (Dichtungsmaterial, Kleber etc.)

⁹ Aufgrund einer Änderung der Erfassungssystematik liegen für 1990 keine vergleichbar differenzierten Daten vor.

Kabeln direkt als auch von eingebauten Kabeln) keineswegs direkt mit den Post-User-Abfällen korreliert ist, gibt dieser Wert (insbesondere der hohe Anteil an Kleinspannungskabel) doch einen Anhaltspunkt für die mögliche Entwicklung der Altkabelmenge, die mit höchstens einer Verdoppelung der PVC-Abfallmenge angenommen wird. Lit. 2 prognostiziert für den Bereich PVC aus Elektro- und Elektronik eine Steigerung von 50% und für Fahrzeuge eine Steigerung von 20% bis 2010.

2.4.4 Entwicklung der PVC-Abfallmenge aus Bodenbelägen bis 2010

Die zukünftige Entwicklung von PVC-Bodenbelägen lässt sich nur schwer abschätzen. Der Verbrauch von PVC-Bodenbelägen nahm vor allem in 80-er Jahren stark zu. So stieg z.B. in Deutschland die Produktion von PVC-Bodenbelägen von ca. 60 kt in 1980 auf 105 kt im Jahr 1987. Legt man eine durchschnittliche Nutzungsdauer von 10-20 Jahren zugrunde, so ist damit zu rechnen, dass diese Beläge jetzt verstärkt in den Abfallstrom gelangen und somit ein deutlicher Anstieg der PVC-Altbeläge zu erwarten ist.

Die Europäische Kommission geht alleine bei den kalandrierten PVC-Bodenbelägen von einer europaweiten Anfallmenge von ca. 240.000 t im Jahr 2005 aus. Nach Einschätzung der Kommission werden bis 2010 ca. 12% der PVC-Bodenbeläge einer hochwertigen Verwertung zugeführt.

2.4.5 Entwicklung der PVC-Menge aus PVC-Hartfolien bis 2010

PVC-Hartfolien zählen überwiegend zu den kurzlebigen PVC-Produkten. Deshalb ist davon auszugehen, dass sich die Abfallmenge entsprechend der Zunahme des PVC-Verbrauchs mit einer entsprechenden zeitlichen Verzögerung von 13 Jahren auf die Abfallmenge auswirkt. Signifikante Änderungen der zukünftigen Abfallmenge sind nicht zu erwarten.

2.4.6 Entwicklung der PVC-Menge aus Weich-PVC-Folien bis 2010

Weich-PVC-Folien haben je nach Anwendung eine mittlere (2-10 Jahre) bzw. lange (10-20 Jahre) Nutzungsdauer. Geht man von einem langsamen Anstieg von Weich-PVC-Folien zu Beginn des Masseneinsatzes aus und einer stärkeren Zunahme des Verbrauchs ab den 80-er Jahren, so ist vor allem bei PVC-Dichtungsbahnen mit einem deutlichen Anstieg der anfallenden Abfälle durch das Ende der Nutzungsdauer in Zukunft zu rechnen. Bei Weich-PVC-Folien, die durchschnittlich nur 2-10 Jahre im Gebrauch sind, ist mit einer Zunahme der Abfallmenge nur entsprechend des gestiegenen PVC-Verbrauchs zu rechnen.

2.4.7 Entwicklung der PVC-Menge aus sonstigen PVC-Produkten bis 2010

PVC-Produkte decken ein weites Spektrum von unterschiedlichen Anwendungsbereichen ab. Ohne speziell auf einzelne Produkte einzugehen, kann grundsätzlich davon ausgegangen werden, dass - abgesehen von langlebigen (Bau-) Produkten – die Abfallmenge entsprechend dem PVC-Verbrauch mit einer zeitlichen Verzögerung von 1-2 Jahren zunehmen wird.

2.4.8 Zusammenfassung der abgeschätzten Mengenentwicklung bis 2010

Fraktion	2000	2010	Bemerkung
Fenster	< 1.000 t	2.000 - 4.000 t	Ende der Lebensdauer „erste Generation“
Rohre	< 1.000 t	~ 1.000 t	Analog Verbrauchssteigerung PVC, geringer Anteil Ende der Lebensdauer
Kabel	3.000 – 5.000 t	4.000 – 8.000 t	Starker Anstieg des PVC-Verbrauches zwischen 1980 und 2000
PVC-Bodenbeläge	5.000 – 7.000 t	7.000 – 9.000 t	Ende Lebensdauer der ersten "Boomphase"
Weich-PVC-Folien	4.000 – 6.000 t	6.000 – 8.000 t	Steigerung insbesondere durch Dichtungsbahnen
Weich-PVC-Sonstige	1.000 – 3.000 t	2.000 – 4.000 t	Steigerung entsprechend Lebensdauer und historischen Absatz
kurzlebige Hart-PVC-Produkte	1.000 – 3.000 t	1.000 – 3.000 t	keine signifikante Steigerung zu erwarten
mittel- bis langlebige Hart-PVC-Produkte	10.000 – 16.000 t	13.000 – 20.000 t	Steigerung gemäß wirtschaftlicher Entwicklung erwartet

Tabelle 2-10 Abgeschätzte Entwicklung der PVC-Abfälle

3 Verfügbare Technologien und technologische Möglichkeiten zur Verwertung und Behandlung

3.1 Abgrenzung der Entsorgungswege

In der Praxis ergeben sich vier grundsätzliche Wege der Verwertung bzw. Entsorgung von PVC-Abfällen. Diese unterteilen sich jeweils in verschiedene Verfahren mit unterschiedlichem Entwicklungsstand und Kapazitäten. Im Kapitel 3 werden die technischen Randbedingungen der einzelnen Verfahren aufgezeigt, Kapitel 4 liefert eine Bewertung unter ökologischen und ökonomischen Kriterien.

3.1.1 Werkstoffliches Recycling

Werkstoffliche Recyclingverfahren umfassen Vorgänge, in denen ausschließlich mechanische Prozesse zur Aufarbeitung der eingesetzten PVC-Fractionen stattfinden. Eine Veränderung bzw. Umwandlung des PVC-Compounds findet nicht statt, d.h. das Recyclat hat im wesentlichen die selbe stoffliche Zusammensetzung wie das Input-Material. Das dabei entstehende Recyclat liegt in loser Form in festem Aggregatzustand vor und ist in diesem Zustand zu neuen Produkten verarbeitbar. Abhängig vom Kontaminationsgrad und Sammelgut können aus den Recyclaten gleiche bzw. gleichwertige Produkte erzeugt werden (hochwertiges Recycling) oder es findet ein Einsatz zur Produktion minderwertigerer Produkte statt (Downcycling).

3.1.2 Chemisches Recycling

Dieser Begriff umfasst Verfahren, bei denen einzelne Komponenten des PVC als Rohstoffe gewonnen werden. Dabei wird das PVC durch Aufspaltung zerlegt, in der Regel wird die Chlor-Komponente als Rohstoff für die chemische Industrie gewonnen. Dabei kann das Chlor in Form von Chlorwasserstoff (HCl) oder in Salzform aus den PVC-Abfällen abgetrennt werden. Ein Wiedereinsatz ist nach entsprechender Reinigung und Aufbereitung in der Regel in der chemischen Industrie möglich. Abnehmer des Recycling-Chlors können dabei die Produktionskette Chlor-EDC-VC-PVC oder andere chemische Prozesse sein.

Nicht als "chemisches Recycling" erfasst werden Verfahren, die den Energiegehalt des PVC nutzen und keine Rohstoffe für Produktionsprozesse liefern.

3.1.3 Verbrennung

PVC-Abfälle werden verbrannt, um einerseits das damit verbundene Entsorgungsproblem zu lösen und andererseits den Energiegehalt des PVC zu nutzen. In der Regel führt die Chlorkomponente zu Korrosionsproblemen, so dass geeignete Cl-Abscheidetechniken eingesetzt werden müssen. Die Abgrenzung zum chemischen Recycling besteht darin, dass keine Rohstoffe für industrielle Prozesse gewonnen werden. Als alleiniges Recyclingprodukt der Verbrennungsprozesse von PVC war lange Zeit die gewinnbare Energie im Mittelpunkt des Interesses.

3.1.4 Deponierung

Die Deponierung von PVC – Abfällen ist gegenwärtig ein wichtiger Entsorgungsweg. Betroffen sind sowohl Masseabfall als auch Bauschuttdeponien. Dies wird sich durch das Deponierungsverbot organischer Substanzen mit Beginn des Jahres 2004 nachhaltig ändern.

Auf folgende Verfahren wird in diesem Bericht näher eingegangen:

Werkstoffliches Recycling im unmittelbar geschlossenen Stoffkreislauf für

- Fenster und Fensterprofile
- Rohrabfälle
- Bodenbeläge
- Dachbahnen

Werkstoffliches Recycling ohne unmittelbar geschlossenen Stoffkreislauf für

- Kabelabfälle
- Hart-PVC-Produkte
- Weich-PVC-Produkte
- Aluminium-Kunststoffverbund

Werkstoffliches Recycling durch das Vinyloop-Verfahren

Chemisches Recycling

- Thermosplitting Verfahren
- Schlackebadverfahren
- Methanolsynthese
- sonstige chemische Recyclingverfahren

Verbrennung

- Verbrennung in Hausmüllverbrennungsanlagen
- Verbrennung im Zementwerk
- Sonstige Verbrennungsprozesse

Deponierung

- Massenabfalldéponie
- Baurestmassendeponie
- Verbleib im Boden nach Ende der Nutzungsdauer

3.2 Werkstoffliches Recycling

Beim werkstofflichen Recycling werden die zu verwertenden PVC-Abfälle mittels mechanischer Verfahren (z.B. Mahlen) aufbereitet und können anschließend als Sekundärrohstoff bei der Produktion neuer PVC-Produkte wieder eingesetzt werden. Eine Ausnahme in dieser Kategorie bildet das Vinyloop-Verfahren. Bei diesem Verfahren wird das PVC mit Hilfe von Lösemitteln aus Verbundmaterialien gelöst und kann nach weiteren Prozessschritten als Compound zurückgewonnen werden. Da bei diesem Verfahren die Eigenschaften des PVCs nicht verändert werden, wird dieses Verfahren von Seiten der Industrie als werkstoffliches Recycling eingestuft.

Um möglichst hochwertige Recyclingprodukte mit definierten Eigenschaften zu erhalten, die als Sekundärrohstoffe im unmittelbaren Stoffkreislauf wieder eingesetzt werden können, ist es wichtig, dass die entsprechenden Input -Fraktionen sortenrein und in ausreichender Menge zur Verfügung stehen. Deshalb spielt beim werkstofflichen Recycling vor allem die Sammelqualität eine wichtige Rolle.

Prae-User-Abfälle sind vor diesem Hintergrund für das werkstoffliche Recycling besonders geeignet, da diese meist als definierte Fraktionen vorliegen. Wenn möglich werden Produktionsabfälle nach entsprechender Aufbereitung direkt im Produktionsprozess wieder eingesetzt, ohne die Betriebsgrenze zu verlassen.

Die hier beschriebenen Verfahren geben einen Überblick über wichtige derzeit angewendete Verfahren. Abweichungen bei einzelnen Verfahrensschritten bzw. Abläufen sind abhängig vom eingesetzten Verfahren bzw. Anlagengröße jedoch möglich.

3.2.1 Werkstoffliches Recycling von Abfällen aus Fenstern und Fensterprofilen im unmittelbar geschlossenen Stoffkreislauf

Status:

In Österreich sind keine Verwertungsanlagen für Post-User-Abfälle aus Fenstern und Fensterprofilen verfügbar; ein Sammelsystem ist jedoch etabliert. Die gesammelten Mengen werden insbesondere nach Deutschland exportiert. Die Abgabe von Alt-PVC-Fenstern bei den Sammelstellen ist kostenlos. Die Prae-User-Abfälle werden zum Teil bei den österreichischen Herstellern selbst verwertet.

In Deutschland sind 3 Fensterrecyclinganlagen (Behringen/Thüringen, Rahden/Nordrhein-Westfalen, Söllichau/Sachsen-Anhalt) im Betrieb; alle drei Anlagen arbeiten im großtechnischen Maßstab.

Input:

Verwertet werden komplette Fenster und Fensterprofile mit einem geringen Verschmutzungsgrad (d.h. geringe Anteile an Mauerresten und Isolierschäumen - i.d.R. Polyurethanen). Unterschiedliche Stabilisierungssysteme spielen keine Rolle. Die bei der Fensterproduktion anfallenden Gehrungsabschnitte werden ebenfalls angenommen.

Output:

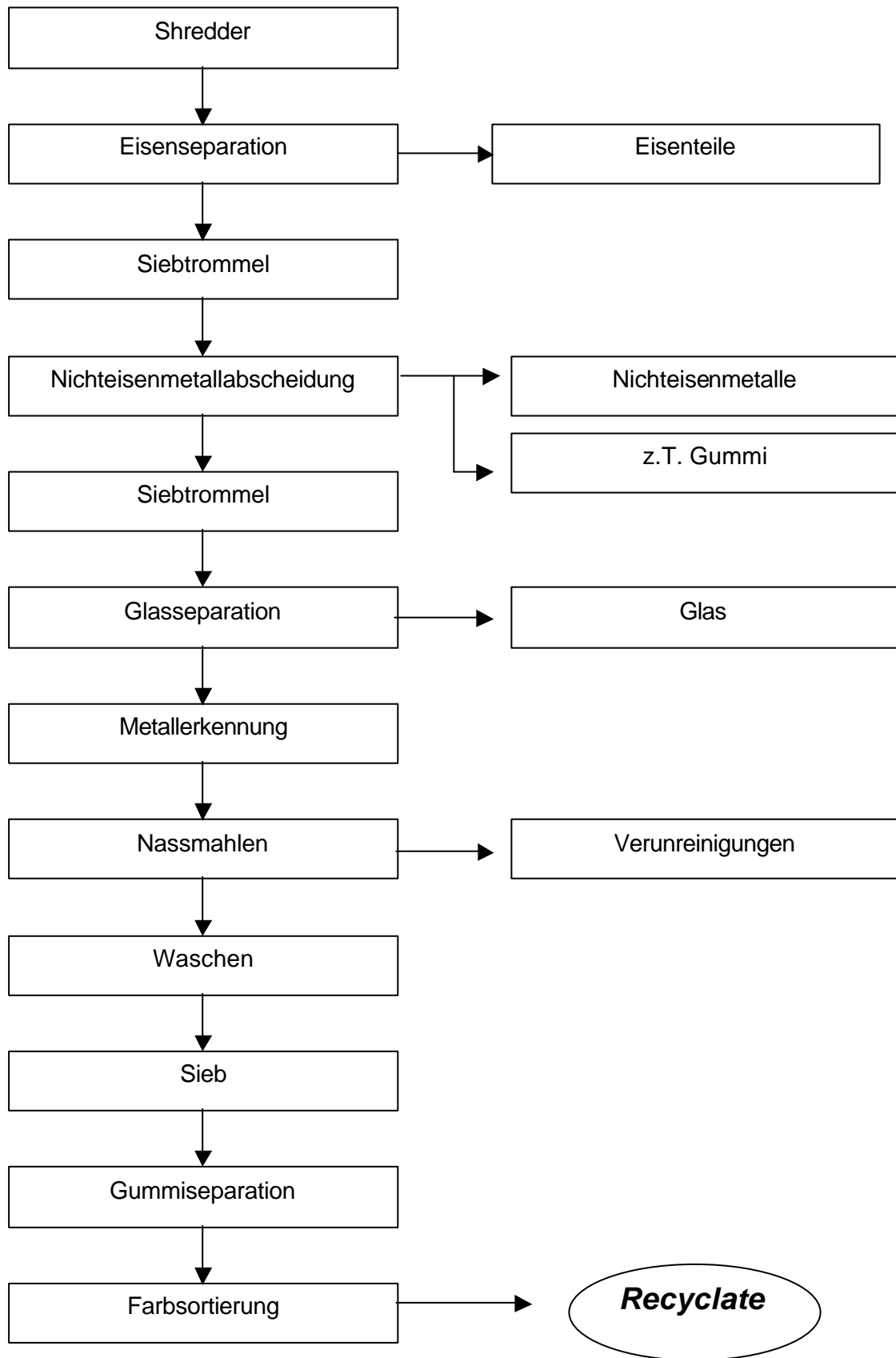
Regranulat, das gegebenenfalls für hohe Anforderungen nachstabilisiert werden muss. Der Reinheitsgrad des erhaltenen Regranulats liegt bei annähernd 100%. Das erhaltene Regranulat kann entweder zu 100% für neue Produkte verwendet werden oder mit einer dünnen Schicht Neumaterial im Coextrusionsverfahren für neue Produkte verwendet werden. In Hauptprofilen beträgt der Anteil 25-75% Recyclat in Nebenprofilen bis zu 100% [Lit. 7].

Verfahrensbeschreibung:

Moderne Verwertungsanlagen zum Recyceln von Kunststofffenstern bearbeiten den ihnen zugeführten Input vollautomatisch mit elektronischer Überwachung. Der Verwertungsprozess beginnt mit einer Vorzerkleinerung im Shredder. Diese ist erforderlich, um anschließend Glas, Beschläge, Dichtungen und Verstärkungen abtrennen zu können. Die Abscheidung von Eisenteilen erfolgt aus dem Grobgemisch über rotierende Magnettrommeln. Eine rotierende Siebtrommel trennt nach verschiedenen Korngrößen. Fraktionen wie Nicht-Eisenmetallteile, Gummi und Glas werden durch hintereinander durchgeführte Schritte unter Anwendung von Nicht-Eisenmetallabscheidungsverfahren, Luftsetztischen und Lochplatten separiert. In den Schneidmühlen entsteht ein Zwischenprodukt, das durch unterschiedliche Siebstufen geführt wird, um einheitliche Fraktionen zu erhalten, und weitere Verunreinigungen ausgeschleust. Mit der Farbseparierung wird schließlich weißes von andersfarbigem PVC getrennt und die Fraktionen weiter granuliert und gereinigt.

Der maximal erreichbare Wiederverwertungsgrad der beschriebenen Verwertungsprozesse wird mit 97,5 % angegeben, die PVC-Restabfallmenge beträgt demnach 2,5 %. [Lit. 19].

Verfahrensfließbild



3.2.2 Werkstoffliches Recycling von Rohrabfällen im unmittelbar geschlossenen Stoffkreislauf

Status:

In Österreich existiert derzeit keine Anlage, die aus Alt-PVC-Rohren hochwertige Neu-Rohre herstellt. Nur der in den Produktionsbetrieben anfallende Ausschuss wird direkt wieder zur Neuproduktion eingesetzt.

Die über ein etabliertes Sammelsystem gesammelten PVC-Alt-Rohre werden jedoch zum Teil ins Ausland exportiert und dort einer hochwertigen Verwertung zugeführt. Die Abgabe der Rohre bei den Sammelstellen ist kostenlos.

In Deutschland gibt es eine Anlage (Westeregeln/Sachsen-Anhalt), größere Kapazitäten sind in den Niederlanden und in Schweden verfügbar.

Input:

Verwertet werden die verschiedenen Arten von PVC-Rohren, wobei fest anhaftende Verschmutzungen in der Regel nicht akzeptiert werden. Der größte Teil der verwerteten Rohre kommt aus Verschnitten, durch die vorgelagerten Sammelsysteme werden in der Regel leicht sortierbare Chargen zur Verwertung angeliefert.

Output:

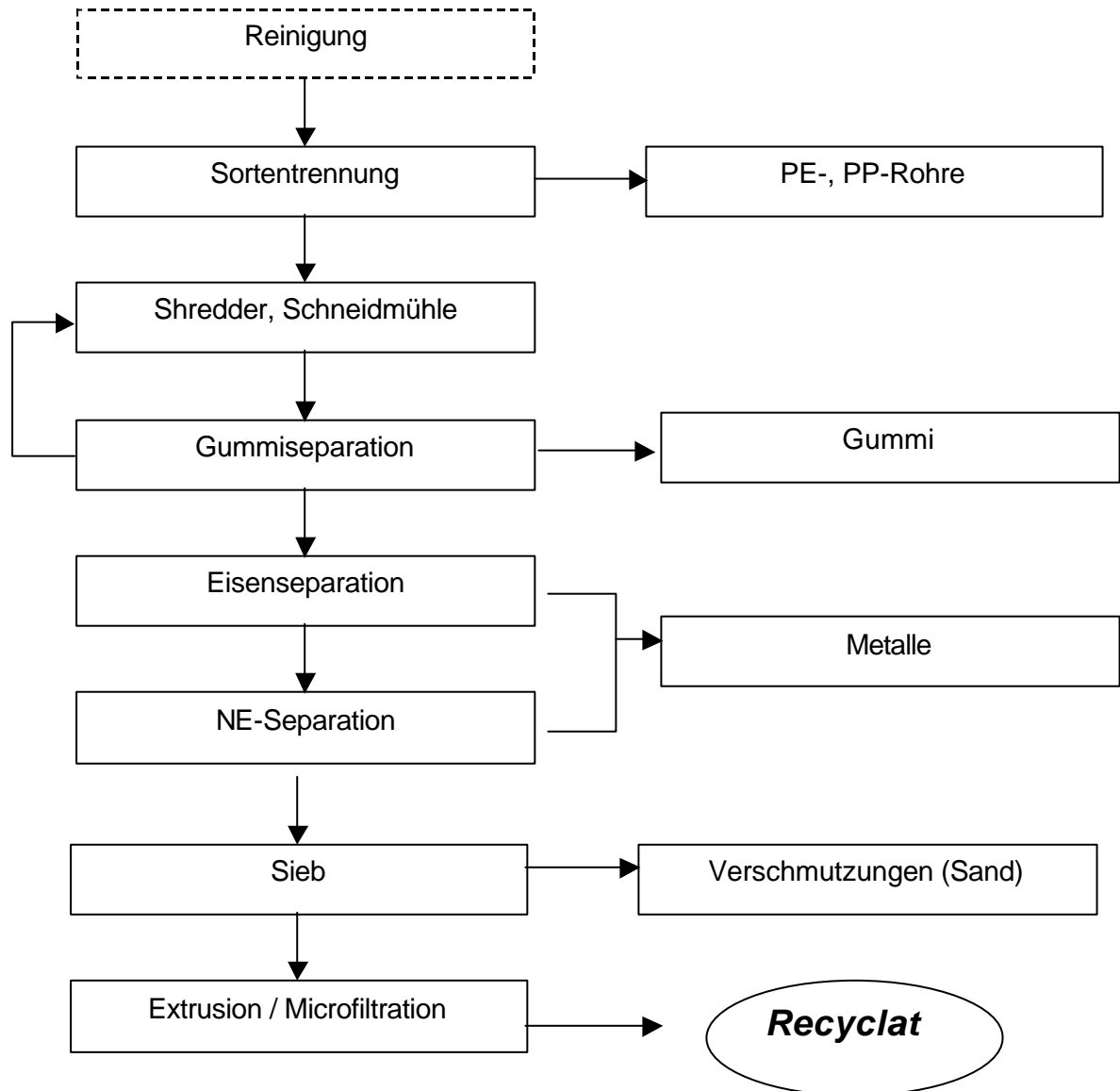
Hochwertige Regranulate, die jedoch nur zum Teil wieder für die Rohrherstellung (z.B. Mittelschicht bei großvolumigen Kanalrohren; Außenschicht bei kommunalen Abwassersystemen) eingesetzt werden können; für bestimmte Rohrqualitäten (druckbehaltete Rohre, Kanal- und Trinkwasserrohre) darf kein Regranulat eingesetzt werden; inwieweit Regranulate in der Rohrproduktion wieder eingesetzt werden können, ist im Wesentlichen abhängig von nationalen Regelwerken, d.h. das werkstoffliche Recycling von Rohrabfällen ist in zwei Bereiche zu unterscheiden, nämlich in eine Verwertung mit unmittelbar geschlossenem Stoffkreislauf und in eine Verwertung ohne unmittelbar geschlossenem Stoffkreislauf (vgl. Kap. 3.2.5).

Verfahrensbeschreibung:

Die für den Recyclingprozess geeigneten Kunststoffrohre werden abhängig vom Verschmutzungsgrad zuerst einer Reinigung unterzogen und nach Kunststoffarten getrennt. Danach erfolgt eine Behandlung der PVC-Rohre in Shredder oder Schneidmühlen. Nach der Zerkleinerung findet eine Sortierung nach Teilchengröße statt. Gummi und Metallteilen werden dabei ausgeschleust. Größere PVC-Teilchen werden nochmals in die Zerkleinerungsanlagen eingesetzt.

Anschließend werden die PVC-Teilchen mittels Extrusion mit integrierter Mikrofiltration zu Regranulaten aufbereitet und wieder in der Rohrfertigung eingesetzt.

Verfahrensfließbild



3.2.3 Werkstoffliches Recycling von Abfällen aus Bodenbelägen im unmittelbar geschlossenen Stoffkreislauf

Status:

In Österreich sind derzeit keine Verwertungsanlagen für Post-User-Abfälle aus Bodenbelägen verfügbar; ein Sammelsystem ist lediglich in Oberösterreich etabliert. Die gesammelten Mengen werden zur Verwertung nach Deutschland exportiert. Die Abgabe von Alt-PVC-Bodenbelägen bei den Sammelstellen für Privathaushalte ist kostenlos. Inwieweit gewerbliche Bodenleger gebrauchte Altbeläge bei einer Neuverlegung zurücknehmen bzw. einer Verwertung zuführen ist nicht bekannt.

In Deutschland existiert eine Verwertungsanlage in Troisdorf, die von der Arbeitsgemeinschaft PVC-Bodenbelag Recycling (AgPR) betrieben wird. Die Kapazität der Anlage liegt bei ca. 4.000-5.000 t/a. Derzeit werden jedoch nur ca. 1.000 t/a verwertet.

Input:

Folgende sortierte Alt-PVC-Bodenbeläge und PVC-Belagsreste können in der Anlage verwertet werden:

- Homogenbeläge (einschichtige Beläge, durchgehend gemustert)
- Heterogenbeläge (PVC-Nutzschicht auf PVC-Trägerschicht)
- Systembeläge (dickere PVC-Nutzschicht auf PVC-Schaum)
- CV-Beläge (dünnere PVC-Nutzschicht auf PVC-Schaum)
- PVC-Wandbeläge (PVC-Nutzschicht auf PVC-Schaum)
- PVC-Schweißschnur

Anhaftende Estrich- und Kleberreste sind keine Ausschusskriterien, sofern ihr Gewicht deutlich geringer ist, als das des PVC-Bodenbelags. Die Abmessungen der flächigen Stücke sollten 60 X 60 cm nicht übersteigen, Rollenware darf nicht mehr als 25 kg wiegen. Metallhaltige (z.B. Industrieböden aus Kabelmaterial), ölige, lösemittelhaltige oder mit anderen Gefahrstoffen (z.B. Asbest) belastete PVC-Beläge sind von der Verwertung ausgeschlossen.

Output:

Das PVC-Feinmahlgut mit den entsprechend den Input-Belägen enthaltenen Weichmachern und Füllstoffen mit einem maximalen Durchmesser von 0,4 mm wird nach Angaben des Betreibers derzeit ausschließlich in der Neuproduktion von Bodenbelägen eingesetzt [Lit. 57]. Aufgrund der grauen Farbe ist ein Einsatz nur bei der Herstellung von heterogenen Kalandernprodukten als Grundschrift möglich. Der Anteil an Alt-PVC beträgt ca. 25% bei der Neuproduktion.

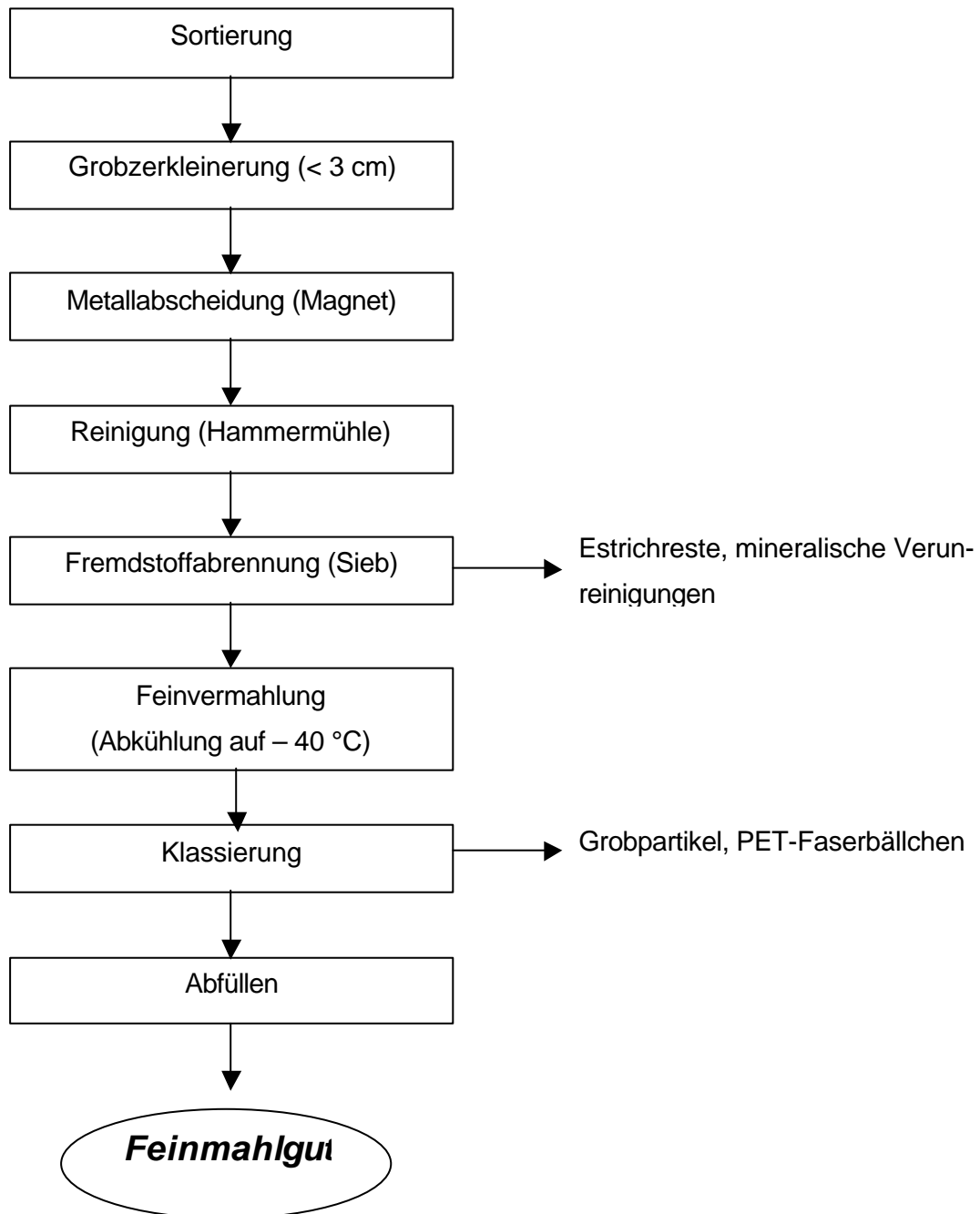
Aufgrund der langen Lebensdauer können die derzeit recycelten PVC-Bodenbeläge noch Cadmium-Stabilisatoren enthalten. Nach Angaben des Betreiber liegt der durchschnittliche Cadmiumgehalt des Feinmahlguts bei etwa 200 ppm mit abnehmender Tendenz in der Zukunft. Da bei der Herstellung von PVC-Böden max. 25% Alt-PVC verwendet werden, wird der in Deutschland geltende Grenzwert von < 100 ppm bei der Neuproduktion eingehalten.

Die in dieses System integrierten PVC-Bodenbelagshersteller sind verpflichtet, die anfallenden Mengen abzunehmen.

Verfahrensbeschreibung:

Das Verfahren zur Behandlung PVC-Bodenbelägen basiert auf dem Prinzip der Kaltvermahlung. Die sortierten Alt-PVC-Bodenbeläge werden im ersten Arbeitsschritt zu Chips mit einer maximalen Größe von 30 mm zerkleinert. Nach einer magnetischen Metallabscheidung, bei der in den Bodenbelägen enthaltene Nägel oder andere Eisenteile abgeschieden werden, gelangen die Chips in eine Hammermühle. Dort werden noch anhaftende Kleber- bzw. Estrichreste abgeschlagen, die anschließend über ein Sieb aussortiert werden. Zur abschließenden Feinvermahlung wird das PVC-Material mit flüssigem Stickstoff auf eine Temperatur von – 40°C gekühlt. Durch die Abkühlung verspröden die PVC-Chips kurzfristig und können so in der Feinmühle zu Partikeln mit einem Durchmesser von max. 0,4 mm zermahlen werden. Für den Transport zu den Bodenbelagsherstellern wird das Feinmahlgut in Big Bags abgefüllt.

Verfahrensfließbild



3.2.4 Werkstoffliches Recycling von Dachbahnen im unmittelbar geschlossenen Stoffkreislauf

Status:

In Österreich sind keine Verwertungsanlagen für Post-User-Abfälle aus Dachbahnen verfügbar. Eine Firma in Österreich bietet bei der Neuverlegung von Dachbahnen die Möglichkeit an, gebrauchte Dachbahnen gegen Gebühr zu übernehmen. Die gesammelten Mengen werden anschließend nach Deutschland exportiert. Alte Dachbahnen werden vorgereinigt und geschnürt auf Paletten abgeholt und über ein Zwischenlager nach Deutschland zum Recycling gebracht. Inwieweit andere Firmen gebrauchte Dachbahnen zurücknehmen bzw. einer Verwertung zuführen ist nicht bekannt.

In Deutschland ist eine Dachbahnenrecyclinganlage in Troisdorf der AfDR im großtechnischen Maßstab in Betrieb.

Input:

Verwertet werden alte Dachbahnen mit einem geringen Verschmutzungsgrad (d.h. keine anhaftenden Kitt- oder Bitumenreste, vorgereinigt, z.B. durch abkehren). Unterschiedliche Stabilisierungssysteme spielen keine Rolle. Die bei der Verlegung anfallenden Verschnitte werden ebenfalls angenommen.

Aktuell werden in der Anlage nur PVC-Dachbahnen verarbeitet. Prinzipiell können aber auch andere PVC-Dichtungsbahnen behandelt werden.

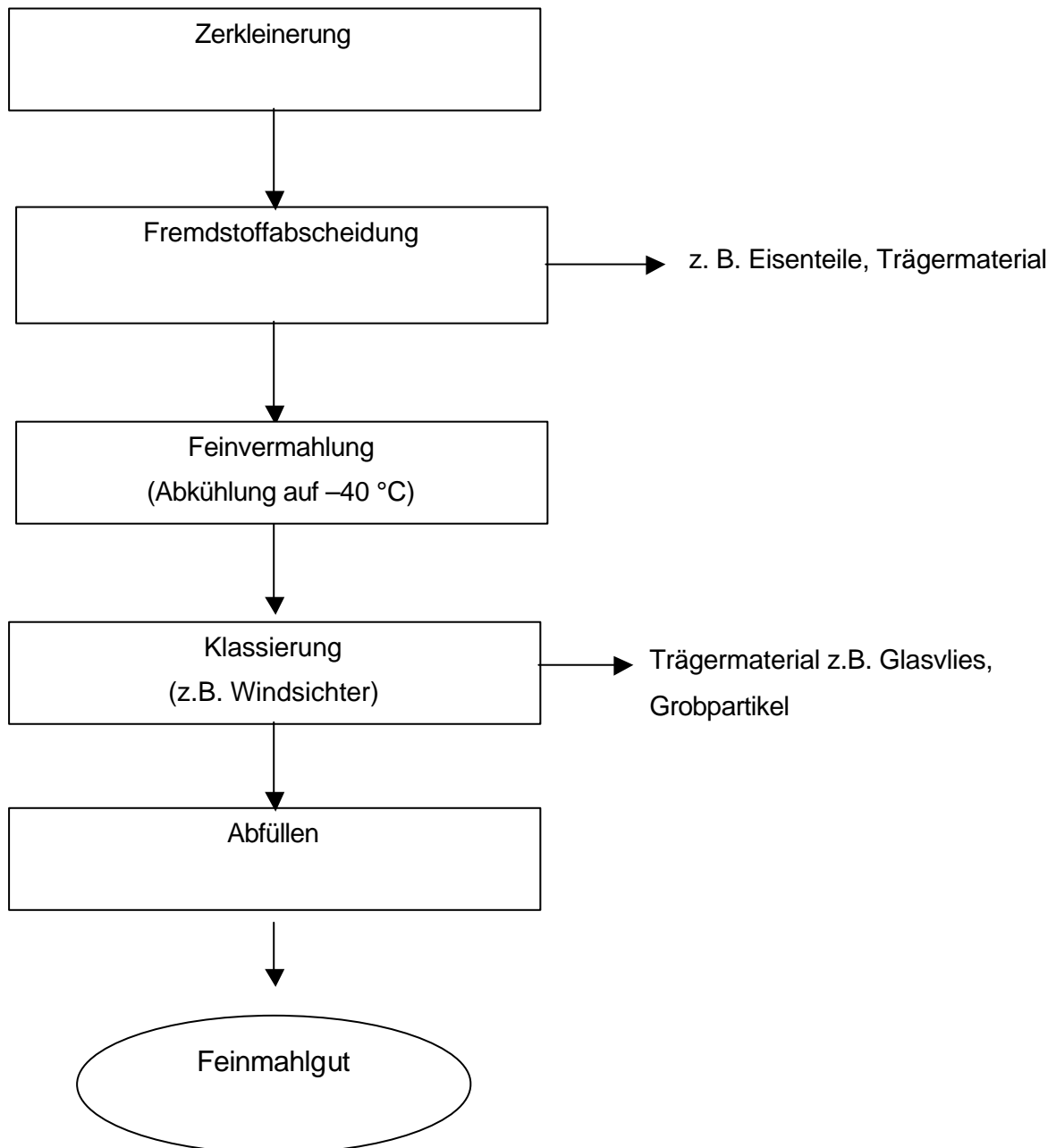
Output:

Das resultierende Feinmahlgut, mit einem Reinheitsgrad von annähernd 100%, wird ausschließlich bei der Produktion von Dach- und Abdichtungsprodukten verwendet. Zum Cadmium-Gehalt im Feinmahlgut wurden vom Anlagenbetreiber keine Angaben bekannt gegeben. Es ist jedoch davon auszugehen, dass das Recyclat einen relativ hohen Cd-Gehalt aufweist, da Dichtungsbahnen früher mit Cadmium stabilisiert wurden (vgl. Kap. 2.2). Nach Aussage des Anlagenbetreibers werden jedoch die für Neuprodukte geltenden Cadmiumgrenzwerte durch entsprechend niedrige Zudosierung von Recyclaten eingehalten.

Verfahrensbeschreibung:

Die Anlage in Troisdorf verwendet eine vollautomatisierte Kaltvermahlung, die im Wesentlichen analog zu dem Verfahren für Bodenbeläge aufgebaut ist.

Verfahrensfließbild



3.2.5 Werkstoffliches Recycling von Kabelabfällen ohne unmittelbar geschlossenem Stoffkreislauf

Status:

Ein Großteil der anfallenden Kabelabfälle wird durch Kabelzerlegebetriebe aufbereitet. Deren Interesse gilt hauptsächlich den Leitermaterialien Kupfer und Aluminium, die mittels klassischer Aufbereitungsverfahren der mechanischen Verfahrenstechnik aus Kabelabfällen zurückgewonnen werden. In Österreich wie in den benachbarten EU-Staaten gibt es verschiedene Unternehmen, die das PVC aus Kabelabfällen werkstofflich verwerten.

Drahtfreie Kunststoffabfälle aus der Produktion werden meist unmittelbar bei den Herstellern wiedereingesetzt. Ein Teil der Produktionsabfälle wurde von einer österreichischen Spezialfirma zu Bodenbelägen verarbeitet.

Input:

Für die Verwertung werden sowohl sortierte (in der Regel nach Leitermaterial) als auch unsortierte Prae- und Post-User-Kabelabfälle angenommen. Wenn möglich werden Produktionsabfälle auch direkt im Betrieb aufbereitet.

Output:

Die bei der Kaltzerlegung gewonnenen Regranulate (im Wesentlichen PVC und Polyolefine) werden für dickwandige Produkte für die Straßenverkehrssicherung (z.B. Bakenfüße oder Leitschwellen Elemente), für Industriebodenbeläge und als Füllkörper für Abdeckplatten etc. verwendet, bei denen die Oberflächenqualität keine große Rolle spielt. Ein Einsatz als Sekundärrohstoff für Kabel ist aufgrund der Restgehalte an Metallen im Recyclat (0,1-2%) aus Sicherheitsgründen nicht möglich.

Werden die Kabel vor der Zerkleinerung nicht vorsortiert, so fallen nach der Aufbereitung Mischkunststoffabfälle (durchschnittliche Zusammensetzung: 60% PVC, 30% PE, HDPE, VPE, 7% Gummi und bis zu 3% Metall) an, die meist nur als Füllstoffe eingesetzt werden können.

In Österreich gibt es keine bekannte Verwertung der aus der Altkabelverwertung stammenden Kunststoffabfälle. Zur rechtlichen Situation bei kritischen Additiven (PCB) siehe Kap. 5.

Verfahrensbeschreibung

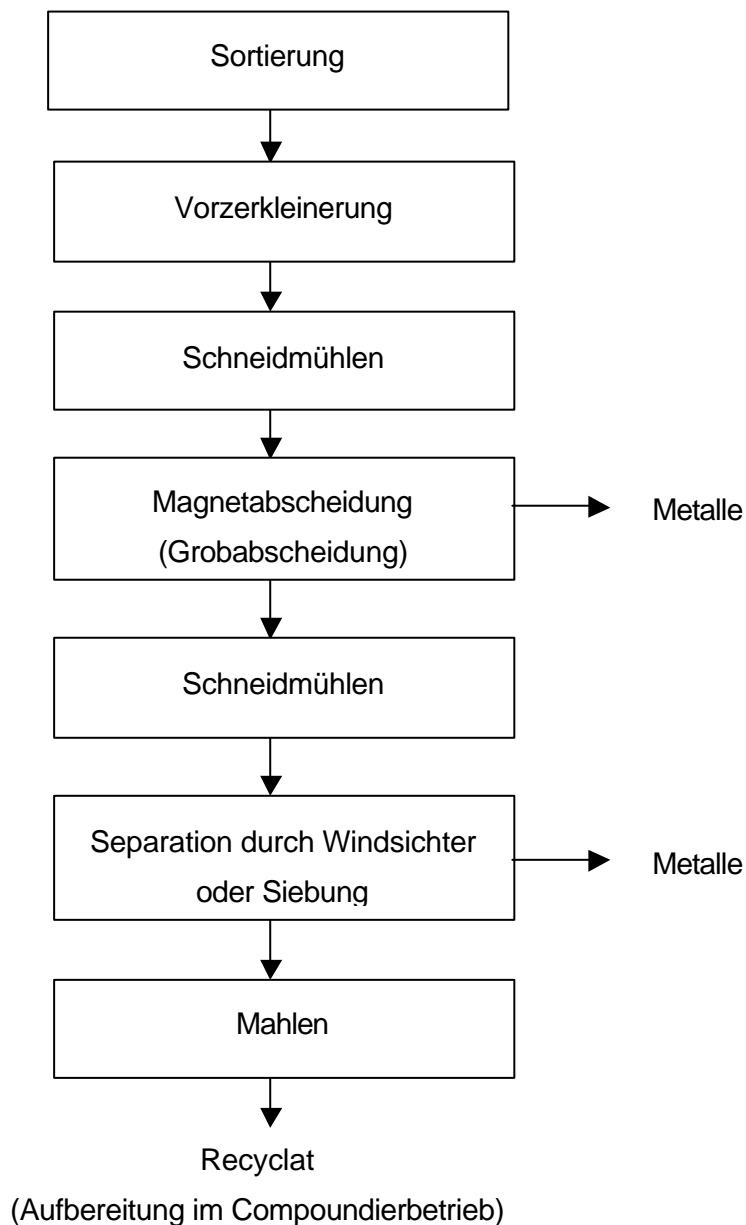
Als erstes werden bei der Kabelkaltzerlegung die Kabel nach Leitermaterial (Kupfer oder Aluminium) sortiert. Abhängig von der Anlage werden anschließend die Kabel z.T. noch zusätzlich nach Isolations- bzw. Mantelmaterial sortiert, um so möglichst sortenreine Kunststofffraktionen zu erhalten. Nach dem Sortieren besteht der erste Schritt in einer Trennung von Metallen und

Isolierstoffen. Dazu werden bei großen Kabeldimensionen Schälverfahren verwendet. Bei kleinen Kabeldimensionen werden die Materialien über einen mehrstufigen Prozess mit mehreren speziellen Schneidmühlen zerkleinert und anschließend durch Siebung (Separiertisch) oder Windsichter getrennt.

Je nach Anlage erfolgt die endgültige Trennung von Leiter- und Isoliermaterial entweder nass über Schwimm-Sink-Verfahren oder trocken über Setz- oder Rüttelverfahren. Zusätzliche Absaug-, Gebläse- oder Siebanlagen führen zu einer möglichst sortenreinen Trennung.

Die Kunststofffraktion wird anschließend fein vermahlen und im Compoundierbetrieb eingesetzt.

Verfahrensbeschreibung



3.2.6 Werkstoffliches Recycling von Hart-PVC-Produkten ohne unmittelbar geschlossenem Stoffkreislauf

Status:

In Österreich gibt es mehrere Recyclingunternehmen, die sortenreine Hart-PVC-Pre-User Abfälle aufbereitet und das Mahlgut anschließend zu Bauprodukten weiterverarbeitet bzw. an die PVC-Industrie verkaufen. Inwieweit auch Post-User Abfälle verwertet werden ist nicht bekannt. Inwieweit zumindest ein Teil der in der Bauindustrie anfallenden (Installations-) Abfälle über Handwerksfirmen einem werkstofflichen Recycling zugeführt wird, ist nicht bekannt.

In Deutschland betreiben mehrere Unternehmen Verwertungsanlagen, die sowohl Pre- als auch Post-User Abfälle annehmen.

Derzeit existieren in Österreich keine flächendeckenden Sammelsysteme für Hart-PVC-Produkte abgesehen von Fenstern und Rohren.

Input:

Abhängig von den jeweiligen Verfahrensschritten bzw. der Produktpalette der einzelnen Verwerter werden folgende, sortenrein getrennte Hart-PVC-Produkte nach Absprache mit dem Recyclingbetrieb angenommen:

Platten, Profile, Scheckkarten, Späne, An- und Ausfahrmaterial, Möbelkanten

Je nach Anlage werden z.T. auch verschmutzte bzw. vermischte Fraktionen angenommen. Unterschiedliche Stabilisierungssysteme bzw. Additivgehalte spielen keine Rolle.

Hart-PVC-Produkte die aufgrund großer Hitzeeinwirkungen Schaden genommen haben, können in den meisten Fällen nicht wieder aufbereitet werden.

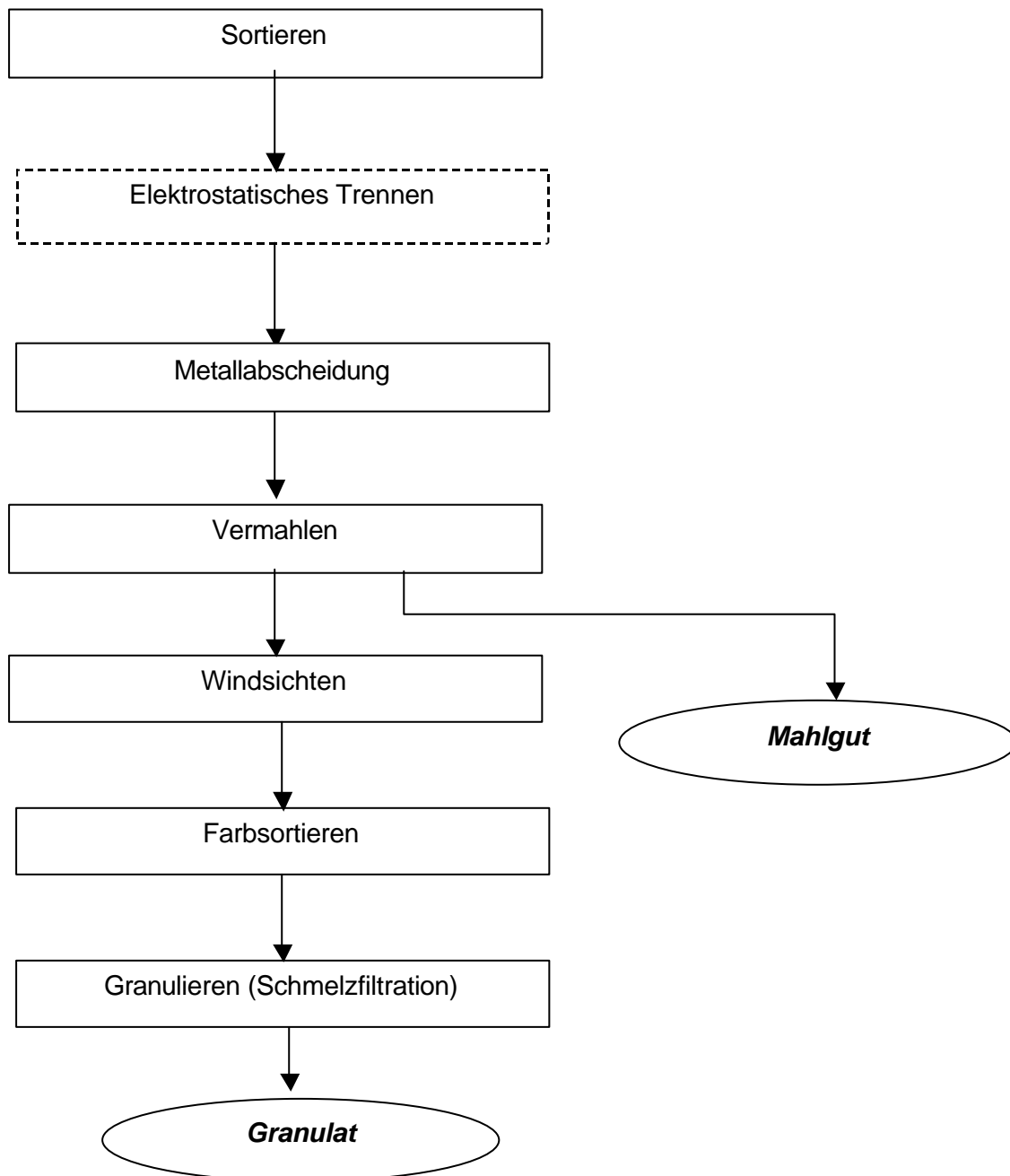
Output:

Das entstehenden Mahlgut bzw. Granulat wird z.T. in den Firmen selbst eingesetzt oder an andere PVC-Verarbeiter weitergeben. Aus dem Mahlgut werden überwiegend Produkte für die Bauindustrie hergestellt, die keine spezifischen Farbvorgaben haben.

Verfahrensbeschreibung:

Die Aufbereitung von Hart-PVC-Produkten besteht im Wesentlichen darin, die vorsortierten Produkte zu vermahlen und anschließend zu granulieren. Je nach angewandten Verfahren bzw. eingesetzter PVC-Abfällen werden verschiedene weitere Verfahrensschritte wie z.B. Metallabscheidung, Windsichter oder Farbsortierung , dazwischen geschaltet.

Verfahrensfließbild:



3.2.7 Werkstoffliches Recycling von Weich-PVC-Produkten ohne unmittelbar geschlossenem Stoffkreislauf

Status:

In Österreich konnten keine Anlagen ermittelt werden, die Post-User-Abfälle aus Weich-PVC aufbereiten. Ebenso sind derzeit keine Sammelsysteme für Weich-PVC-Produkte – abgesehen für die bereits beschriebenen Fraktionen – verfügbar.

In Deutschland existieren einige Unternehmen, die sowohl Prae- als auch Post-User Abfälle aus Weich-PVC aufbereiten.

Input:

Abhängig von den jeweiligen Verfahrensschritten bzw. der Produktpalette der einzelnen Verwerter werden folgende, sortenrein getrennte Weich-PVC-Produkte nach Absprache mit dem Recyclingbetrieb angenommen:

Profile, Folien, Büro- und Freizeitartikel, Bodenbeläge, Möbelfolien Platten

Je nach Anlage werden z.T. auch verschmutzte bzw. vermischte Fraktionen angenommen. Unterschiedliche Stabilisierungssysteme bzw. Additivgehalte spielen meist keine Rolle.

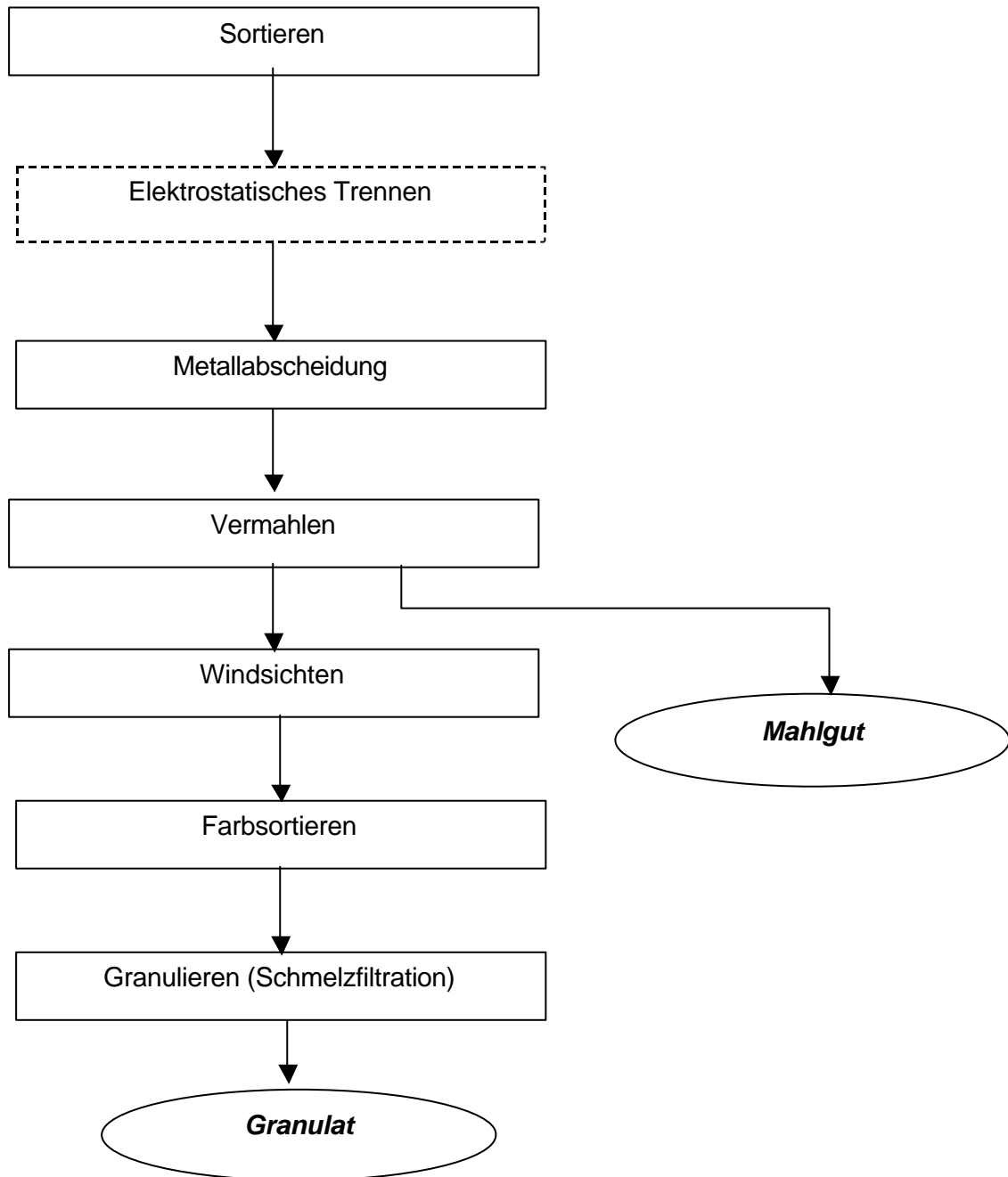
Output:

Das entstehende Mahlgut kann aufgrund der inhomogenen Zusammensetzung nur dem Downcycling zugeführt werden. Haupteinsatzbereich ist das Bauwesen.

Verfahrensbeschreibung:

analog Hart-PVC-Recycling (Grobzerkleinerung mit nachfolgender Feinvermahlung)

Verfahrensfließbild:



3.2.8 Werkstoffliches Recycling von Aluminium-Kunststoffverbund ohne unmittelbar geschlossenem Stoffkreislauf

Status:

In Deutschland existiert eine Anlage, die u.a. Aluminium-PVC-Verbundstoffe trocken-mechanisch trennt. Die jährliche Kapazität der Anlage liegt bei ca. 20.000 t. Neben Aluminium-PVC-Verbundmaterialien werden in der Anlage v.a. Kühlgeräteshredder aufbereitet.

In Österreich werden zwar in Apotheken und Krankenhäusern z.T. Blister-Verpackungen, die aus alubeschichtetem PVC bestehen gesammelt, doch werden diese derzeit einer chemischen Verwertung in Deutschland zugeführt.

Input:

Zur Aufbereitung angenommen werden u.a. Aluminium-Kunststoffverbunde wie z.B. Blister-Verpackungen, Zierleisten oder Kabelabschirmungen.

Aufgrund spezifischer Vorgaben dürfen die Abfälle jedoch keine anderen Stoffe wie z.B. Tabletten enthalten. Deshalb kann der Einsatz von Post-User Abfälle z.T. problematisch sein.

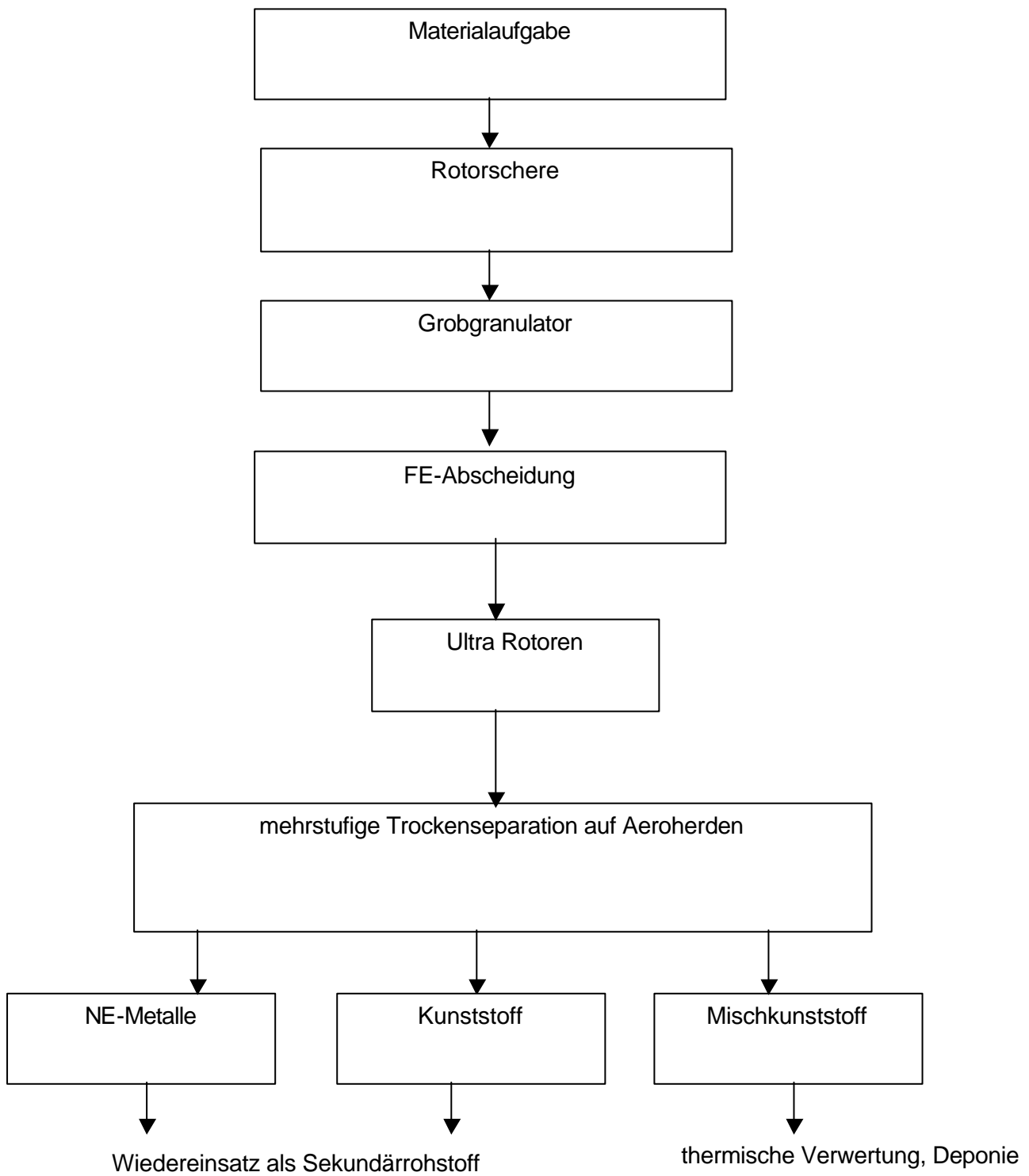
Output:

Sowohl das gewonnene PVC-Mahlgut als auch das Alu-Granulat können als Sekundärrohstoffe wiederverwendet werden. Es ist jedoch kein direkter Wiedereinsatz des PVC-Mahlguts für die Blisterherstellung möglich, so dass es sich bei dieser Art der Verwertung um ein Downcycling handelt.

Verfahrensbeschreibung:

Das Verfahren basiert auf dem Prinzip einer trocken-mechanischen Trennung. Die Vorzerkleinerung der Verbundmaterialien erfolgt zuerst über Rotorscheren und einem nachgeschalteten Grobgranulator. Anschließend werden die enthaltenen FE-Metalle mit Hilfe eines Überbandmagneten entfernt. Nach der Vorzerkleinerung wird der Verbundwerkstoff einer Turbo-Rotor-Mühle zugeführt. Dort erfolgt eine schichtweise Ablösung der Verbundelemente entlang der Phasengrenzen. Die sich im Verbund befindlichen Stoffe werden dabei aufgrund ihrer unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften voneinander getrennt. Die abschließende Trennung der aufgeschlossenen Verbunde erfolgt in mehreren Schritten über ein Kreissieb und Aeroherde.

Verfahrensfließbild



3.2.9 Werkstoffliches Recycling durch das Vinyloop-Verfahren

Status:

Im Januar 2002 ist die erste kommerzielle Anlage, die nach dem Prinzip des Vinyloop-Verfahrens arbeitet, in Ferrara (Italien) in Betrieb gegangen. Die Kapazität der Anlage liegt bei ca. 10.000 t Kabelabfällen pro Jahr. Nach Angaben von Industrievertretern hat die Anlage keine Probleme mit der Beschaffung ausreichender Mengen an Abfällen.

Input:

Prae- und Post-User Kabelabfälle

Die Verbundmaterialien sollten möglichst sortenrein vorliegen

Output:

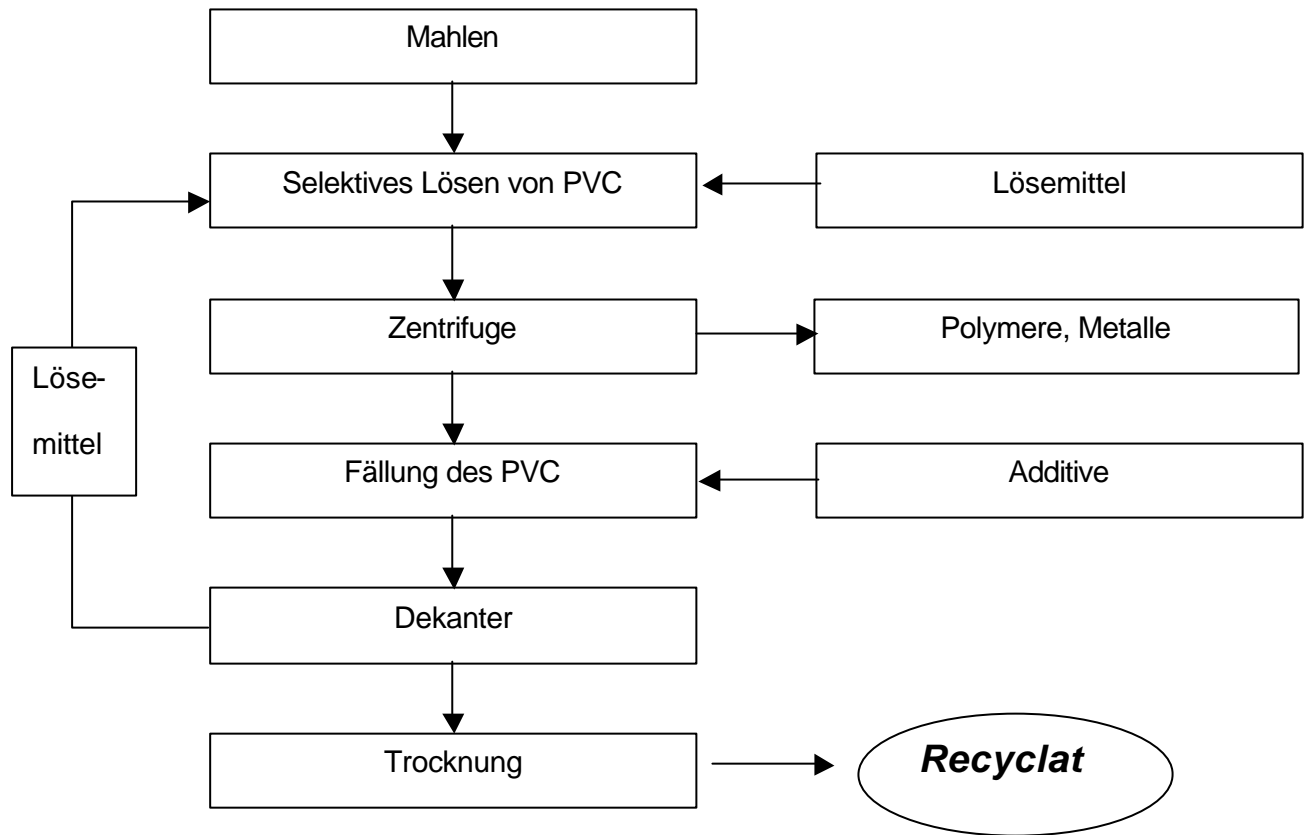
Der Verwendung des Outputs des Vinyloop-Verfahrens hängt wesentlich vom Input ab. Wenn sortenreine Fraktionen eingesetzt werden, kann das bei diesem Prozess entstehende Recyclat als Sekundärrohstoff mit definierten Eigenschaften bei der Neuproduktion von Produkten eingesetzt werden. Das verarbeitungsfähige Compound, das mit gleichmäßiger Korngröße vorliegt, enthält alle Zusatzstoffe (Additive) des Ausgangsmaterials. Das Recyclat weist zudem gute Rieselfähigkeiten ohne Staubentwicklung auf.

Verfahrensbeschreibung:

Als erstes werden die PVC-Verbundabfälle auf eine definierte Korngröße gemahlen. Anschließend wird das PVC mit seinen Additiven selektiv mit Hilfe von Lösemitteln (z.B. Methylethylketone) aus dem Verbund gelöst. Das gelöste PVC wird mittels einer Zentrifuge von den restlichen Stoffen separiert. Unter Zugabe von prozessspezifischen Additiven wird anschließend das PVC aus der Lösung gefällt. Über einen Dekanter wird dann das PVC vom Lösemittel abgetrennt und getrocknet.

Das bei diesem Verfahren eingesetzte Lösemittel kann destillativ aufbereitet werden und erneut in den Produktionsprozess eingesetzt werden. Das resultierende PVC-Compound enthält im wesentlichen die selben Komponenten als das Inputmaterial (werkstoffliches Recycling). Eine Ausschleusung von Schwermetallen ist nicht vorgesehen. Es werden nur die im Lösemittel unlöslichen Komponenten wie z.B. Metalle, andere Kunststoffe entfernt und einer Verwertung bzw. Entsorgung zugeführt.

Verfahrensfließbild:



3.2.10 Werkstoffliches Recycling von Fußbodenbelägen durch das Recynyl-Verfahren

Status:

Dieses Verfahren, das auf dem Vinyloop-Verfahren basiert, wird von der PVC-Industrie für das Recycling von PVC-Fußböden gegenüber dem derzeit angewandten Kaltmahlverfahren favorisiert, da das bei diesem Prozess entstehende Recyclat sich für eine größere Bandbreite von neuen Bodenbelagsprodukten verwenden lässt. Das Recyclat kann sowohl bei kalandrierten als auch bei beschichteten Materialien zum Einsatz kommen.

Derzeit existiert noch keine Anlage, die PVC-Bodenbeläge nach dem Recynyl-Verfahren behandelt. Ende 2002 soll die Entscheidung fallen, ob in Deutschland eine entsprechende Anlage gebaut wird.

Input:

Prae-User und Post-User PVC-Fußbodenbeläge inklusive bodenbelagsspezifischer Verunreinigungen bzw. Sekundärstoffe wie z.B. Glasfasern, Zellulosefasern, Karborund

Output:

Aufgrund der spezifischen Zusammensetzung des entstehenden PVC-Compounds inklusive der im Input enthaltenen Additive wie Weichmacher und Schwermetalle ist ein ausschließlicher Wiedereinsatz des Granulats als Grund- bzw. Mittelschicht bei der Produktion von PVC-Bodenbelägen vorgesehen.

Das resultierende PVC-Compound enthält im wesentlichen die selben Komponenten als das Inputmaterial (werkstoffliches Recycling). Eine Ausschleusung von Schwermetallen ist nicht vorgesehen. Es werden nur die im Lösemittel unlöslichen Komponenten (Glasfasern) abgefiltert und einer Verwertung zugeführt.

Verfahrensbeschreibung:

vgl. Vinyloop-Verfahren

3.2.11 Werkstoffliches Recycling durch das Texyloop-Verfahren

Status:

Dieses Verfahren, das ebenfalls auf dem Vinyloop-Verfahren basiert, ist noch in der Pilotphase und soll für PVC-beschichtete Textilien eingesetzt werden. Derzeit ist geplant im Jahr 2003 eine Pilotanlage mit einer Kapazität von 2.000 t pro Jahr zu bauen. Nach Abschluss der Pilotphase ist für das Jahr 2006 der Bau einer Anlage im Industriemaßstab mit einer jährlichen Kapazität von 10.000 t in Frankreich geplant.

Aufgrund des ökonomischen Wertes der bei diesem Prozess abgetrennten Trägermaterialien (überwiegend Polyesterfasern) ist eine Rentabilität des Prozesse trotz des geringeren PVC-Gehalts möglich.

Input:

PVC-beschichtete Textilien wie z.B. LKW-Planen, Zelte, Markisen, Abdeckplanen
Es können sowohl Prae- als auch Post-User Abfälle eingesetzt werden.

Output:

Es soll sowohl eine Verwertung der Fasern (überwiegend Polyester) als auch der PVC-Verbindung möglich sein.

Verfahrensbeschreibung:

vgl. Vinyloop-Verfahren

3.2.12 Werkstoffliches Recycling von PVC-Fraktionen auf der Basis selektiver Extraktion

Dieses Verfahren, das wie das Vinyloop-Verfahren auf dem selektiven Lösen von PVC beruht, wurde bisher nur im Pilotmaßstab für PVC-Fußbodenbeläge durchgeführt.

Obwohl sehr erfolgversprechende Ergebnisse in Bezug auf die Qualität des resultierenden PVC-Compounds als auch bei der Ausschleusung von Schwermetallen und Weichmachern realisiert werden konnten, ist eine Umsetzung im Industriemaßstab für Fußbodenbeläge derzeit nicht vorgesehen.

Aktuell wird eine Umsetzung dieses Verfahrens für Hart-PVC-Produkte im industriellen Maßstab vorbereitet. Eine Ausschleusung von Schwermetallen ist dabei jedoch nicht vorgesehen. Nach Angaben der Verfahrensentwickler müsste es grundsätzlich möglich sein, Schwermetalle auch im industriellen Maßstab aus der PVC-Matrix zu entfernen.

3.3 Chemisches Recycling

Beim chemischen Recycling findet eine Trennung der PVC-Abfälle in verschiedene Komponenten statt, die dann als Rohstoffe für industrielle Prozesse eingesetzt werden können. Grundsätzlich ist das chemische Recycling für sortenrein gesammelte PVC-Fractionen ebenso möglich wie für gemischte PVC-Abfälle bzw. PVC-reiche Abfallfraktionen. Verfahren, die eine Begrenzung des Chlorgehalts aufweisen, gehören meist zur Verbrennung (Nutzung des Energiegehalts von PVC), da die Chlorkomponente nicht zurückgewonnen wird.

3.3.1 Thermo Splitting Verfahren (Drehrohrofen)

Status:

Bei der BSL in Schkopau (Deutschland) steht eine großtechnisch etablierte Anlage, die mit einer Kapazität von ca. 45.000 t/a speziell für Chlor-hältige Abfälle gebaut wurde. Bei Versuchen im Jahr 2000 wurde die grundsätzliche Eignung der Technologie zur Behandlung größerer Mengen der unterschiedlichen PVC-Abfallprodukte wie z.B. Kabel, Fußbodenbeläge, Dachbahnen, Gartenschläuche und Kfz-Armaturen festgestellt.

Das Hauptproblem bei der Behandlung von PVC-Abfällen mittels Thermo-Splitting Verfahrens in Schkopau (D) liegt derzeit jedoch vor allem in der Logistik. Für einen geplanten Versuch in 2001 mit einem Volumen von 1.000 t PVC-Abfällen konnten die benötigten Menge nicht beschafft werden. 2002 soll der Versuch mit verbesserten Logistik-System fortgesetzt werden, um so vor allem zusätzliche präzisere Ergebnisse über die Gesamtkosten der PVC-Behandlung nach diesem Verfahren zu gewinnen.

Input:

Die Anlage ist für chlorreiche Abfälle ausgelegt. Das bedeutet, dass neben PVC auch chlorierte Lösemittel, sowie weitere feste, flüssige, pastöse oder gasförmige chlorhaltige Stoffe als Input eingesetzt werden können. Eine ausschließliche Verwertung von PVC-Abfällen ist nicht möglich, da dann der Energiegehalt des Inputmaterials zu hoch werden würde. Restriktionen bezüglich der Höhe des eingebrachten Chloranteils bestehen nicht, es können auch Abfälle mit starken Verschmutzungen oder Vermischungen behandelt werden. Die zulässigen Inputabmessungen betragen 10 x 10 x 10 cm, für größere Inputmaterialien wird eine Schredderanlage vorgeschaltet [Lit. 2].

Output:

Chlorwasserstoff, der zu Salzsäure weiterverarbeitet wird; nach Aufbereitung der Säure wird diese für die Herstellung von Chlor und Natronlauge im Membranzellenbetrieb verwendet. Weiterhin fallen Dampf und eine inertisierte Schlacke als Output aus dem Verfahren an.

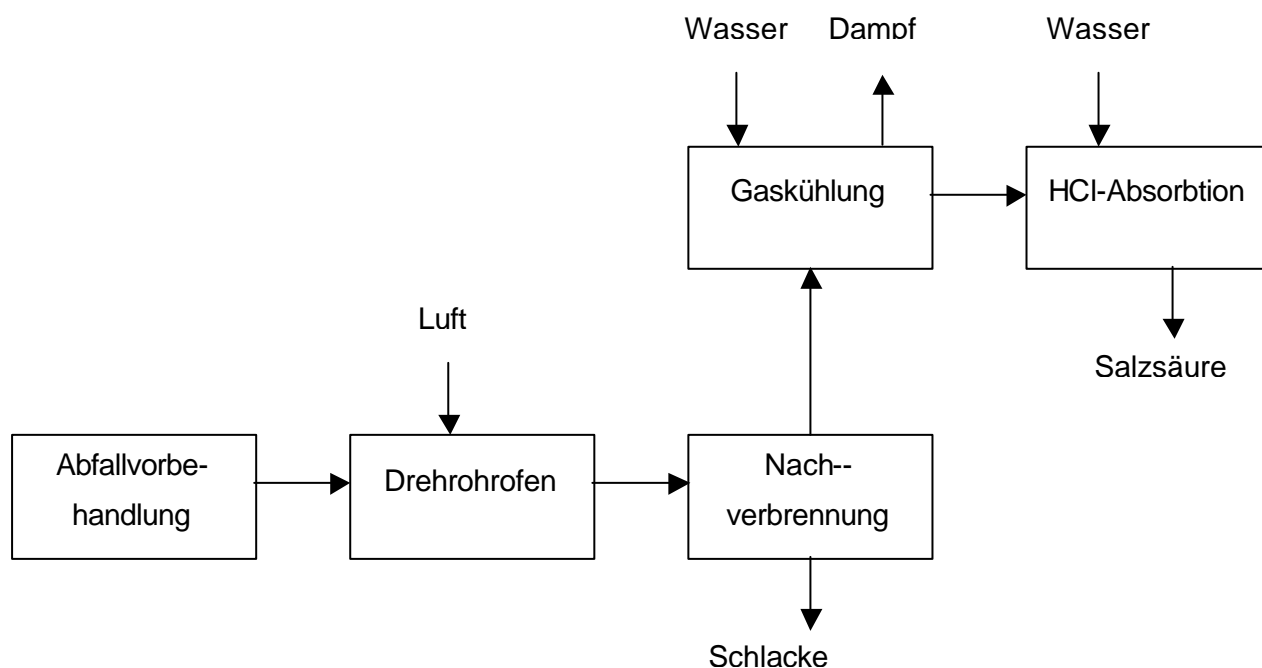
Verfahrensbeschreibung:

Die Abfälle werden in einer Drehrohrofenanlage mit nachgeschalteter Nachbrennkammer bei Temperaturen von 900°C bis 1.200°C thermisch behandelt. Dabei wird unter Ausnutzung der freiwerdenden Energie Chlorwasserstoff abgespaltet und zu Salzsäure weiterverarbeitet. Die gesamte anfallende Rohsäure wird in einer Säurereinigungsanlage destillativ aufgearbeitet, um eine hochwertige Reinsäure für den Membranzellenbetrieb der Chloranlage zu erzeugen. Diese Reinsäure wird dem Säureverbundsystem am Standort zugeführt und u.a. zur Vinylchloridherstellung eingesetzt. Vinylchlorid ist Ausgangsstoff für PVC.

Einer möglichen verbrennungstechnisch bedingten Schadstoffbildung (Dioxin-/Furanbildung) wird primärseitig entgegengesteuert. Die aus der Nachbrennkammer austretenden Rauchgase werden in einem nachgeschalteten Abhitzeessel energetisch verwertet. Dazu werden die Rauchgase von 1.200°C auf 230 bis 300°C abgekühlt und die freiwerdende Energie wird in Form von Dampf dem Dampf-Verteilernetz des Betreibers zugeführt.

Die Rauchgasreinigung erfolgt u.a. über Absorber, alkalische Wäsche und einem Nasselektrofilter zur Staubabscheidung. Danach wird das Rauchgas über einen dampfbetriebenen Wärmetauscher aufgewärmt, um bei diesem Temperaturniveau mittels eines Filters eventuell vorhandene Dioxinverbindungen und Restmengen von Quecksilber zu beseitigen. Als feste Abfälle fallen Schlacken und Filtrerrückstände an.

Verfahrensfließbild:



3.3.2 Schlackebadverfahren

Status:

Eine Pilotanlage mit einer Jahreskapazität von 2000 t wurde Mitte 2000 bei Solvay in Tavaux (Frankreich) in Betrieb genommen. Nach einigen anfänglichen technischen Schwierigkeiten und entsprechend erforderlichen Korrekturmaßnahmen ist nunmehr ein fortlaufender Versuchsbetrieb der Anlage in Tavaux möglich. Ziel des Versuchsbetriebs ist es u.a. die Reaktorgestaltung zu prüfen, Betriebsbedingungen zu optimieren sowie das geeignetste Abfallzuführungssystem zu ermitteln. Die im Labormaßstab bereits erreichte vollständige Zerstörung der molekularen Struktur von PVC, konnte in der Anlage jedoch noch nicht realisiert werden.

Der Abschluss des Programms ist für Ende 2002 geplant. Anschließend wird entschieden, ob eine Realisierung des Verfahrens im Industriemaßstab möglich ist.

Input:

Eine Verwertung einer 100% PVC-Abfallfraktion ist möglich, wobei sowohl Hart- als auch Weich-PVC eingesetzt werden kann. Verschmutzungen oder Bestandteile von anderen Kunststoffen stellen inputseitig für das Verfahren keine Probleme dar.

Output:

Chlorwasserstoff, der zu Salzsäure weiterverarbeitet wird; nach Aufbereitung der Säure kann diese wieder zur Herstellung von EDC und damit für die Kette Chlor-EDC-VC-PVC verwendet werden. Auch ein Einsatz für andere chemische Prozesse als Rohstoff ist möglich.

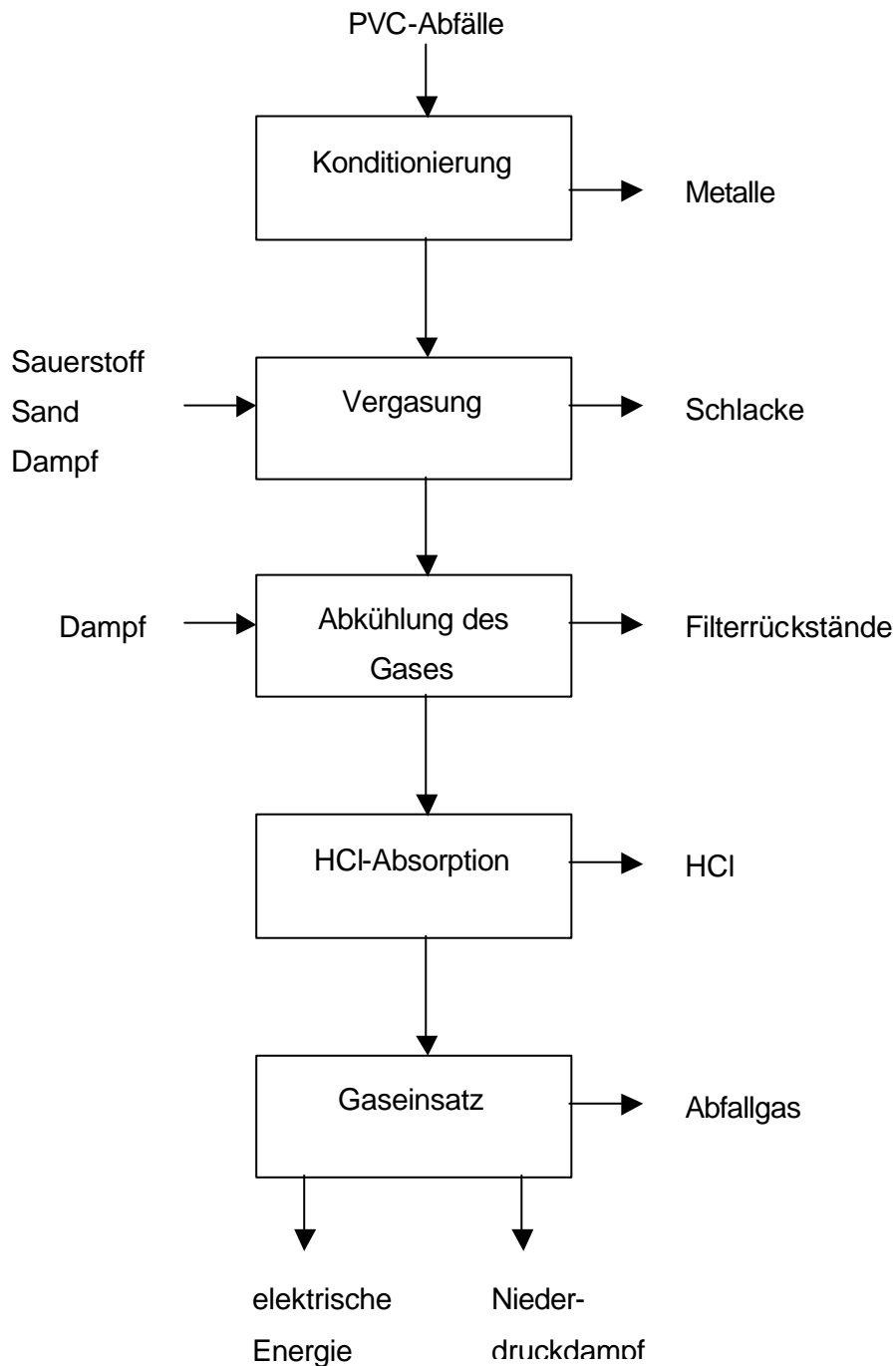
Ein weiterer Output ist Synthesegas, das ebenfalls als Rohstoff bzw. als Energieträger eingesetzt werden kann. Weiterhin fallen abgetrennte Metalle sowie eine inertisierte Schlacke und Filtrückstände an.

Verfahrensbeschreibung:

Bei dem Schlackebadverfahren (auch Linde Gasifications Process) wird ein Reaktor mit Sand gefüllt und aufgeheizt. Danach werden Sauerstoff, Energie und gebrauchtes PVC – aus dem in einem vorgelagerten Schritt grobe Verunreinigungen und Metalle abgetrennt wurden – zugeführt. Die Prozesstemperatur des Verfahrens liegt zwischen 1400 – 1600°C. Aus dem Reaktor werden folgende Gase abgezogen: HCl, CO, CO₂, H₂. Der Chlorwasserstoff wird aus dem abgezogenen Gasmisch mit Wasser absorbiert und die entstehende Salzsäure weiteren Reinigungsschritten unterzogen, um Metallchloride und Halogene zu entfernen. Das entstehende Synthesegas wird ebenfalls aufbereitet und genutzt. Aus dem Reaktor wird als Rückstand eine glasartige Schlacke abgezogen, in der überwiegend Metalle eingebunden sind. Durch Wärmerückkopplung kann eine positive Energiebilanz erreicht werden. Die Materialanforderungen ver-

langen spezielle Werkstoffe, die bei den hohen Temperaturen und dem hohen Chlorgehalt beständig sind.

Verfahrensfließbild



3.3.3 Methanolsynthese

Status:

Derzeit existiert in Deutschland eine Methanolsyntheseanlage bei der sowohl feste als auch flüssige organische Abfälle durch Vergasen in Methanol, Dampf, Strom und Gips umgewandelt werden. Nach Angaben der Industrie werden die in Österreich gesammelten Blister-Verpackungen zur Verwertung nach Deutschland gesendet. Das Verfahren ist nicht speziell für die Verarbeitung von PVC-Abfällen entwickelt worden, geringe Anteile stören aber nicht.

Input:

Kunststoffe, Ballen, kompaktiert oder in loser Schüttung

Output:

- Synthesegas
Das entstehende Synthesegas wird nach einer Reinigung in der Methanolanlage bzw. in einem Gas- und Dampfturbinenkraftwerk eingesetzt.
- Schlacke (entsprechen den Anforderungen der Deponieklasse 1, TA Siedlungsabfall, Deutschland)
- Abwässer bzw. Abfälle aus der Synthesegasreinigung (z.B. HCl-Abscheidung)

Verfahrensbeschreibung

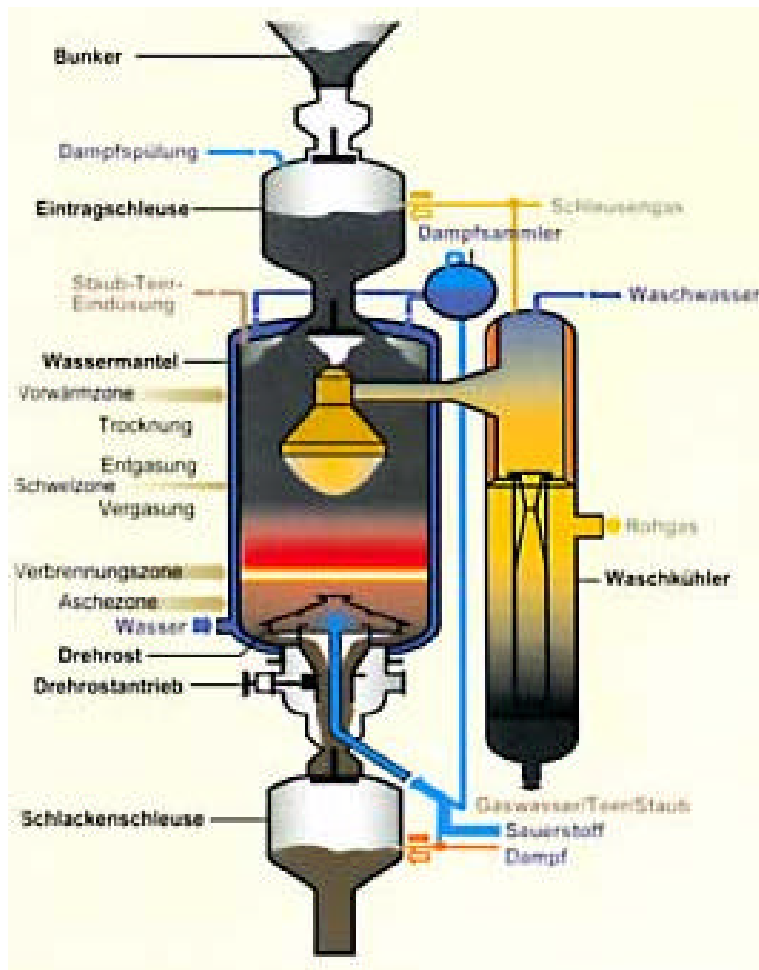
Die Behandlung von festen Abfälle erfolgt in Festbettdruckvergasungsreaktoren. Dabei werden die Abfälle mit Kohle gemischt und über Schleusensysteme in die Reaktoren eingetragen. Die Vergasungsprozesse finden bei einer Temperatur von 800 – 1.300 °C und einem Druck von 25 bar statt. Als Vergasungsmittel werden Dampf und Sauerstoff eingesetzt. Die verbleibenden festen Rückstände in Form von Schlacke entsprechen den Anforderungen der Deponieklasse 1 (TA Siedlungsabfall, Deutschland).

Das entstehende Synthesegas wird nach einer Reinigung in der Methanolanlage bzw. in einem Gas- und Dampfturbinenkraftwerk eingesetzt.

Der energetische Wirkungsgrad der Anlage liegt bei 45,3%.

Methanol dient als Ausgangsrohstoff für viele Produkte der chemischen Industrie wie z.B. als Basis für chemische Synthesen, Lösungsmittel, Kühlmittel und Methylierungsmittel.

Verfahrensbild:



3.3.4 Sonstige chemische Recyclingverfahren

Bei den im Folgenden aufgeführten Verfahren ist die Zuordnung zu einem "chemischen Recycling" für PVC-Abfälle umstritten, da entweder PVC-Abfälle in einem sehr begrenzten Umfang als Input eingesetzt werden können oder aber ein mengenrelevantes Recycling für Rohstoffe nicht nachgewiesen werden kann.

Status:

In Dänemark gibt es Pilotanlagen für einen Pyrolyse-Prozess (NKT-Prozess), durch den speziell PVC-Abfälle verwertet werden. Verschiedene Pilotanlagen gibt es zum HTG-Prozess (High Temperature Gasification), wobei jedoch der Einsatz von PVC eng limitiert ist und auch nur in geringem Umfang Rohstoffe zurückgewonnen werden. Zwei Pilotanlagen dieses Prozesses stehen in Österreich (Wien, Linz).

In Holland wird derzeit ein Verfahren für die Nutzung von Mischkunststoffen als Reduktionsmittel in Hochöfen entwickelt (REDOP). Das Verfahren basiert auf einer Dehydrochlorierung und anschließender Granulierung von Mischkunststoffabfällen aus Siedlungsabfällen. Die technische Durchführbarkeit wurde bereits bewiesen, Versuche im industriellen Maßstab wurden bis jetzt noch nicht durchgeführt.

Input:

Beim NKT-Pyrolyse-Prozess wurden bisher PVC-Fenster, Kabel, Rohre und andere PVC-Materialien eingesetzt. Es gibt keine Einschränkungen des Chlorgehalts, Verunreinigungen durch Metalle, Sand oder sonstige Stoffe haben bisher zu keinem Problem geführt.

Beim HTG Prozess ist der Einsatz von PVC in der Regel auf 10% des Inputmaterials begrenzt. Die zugehörige Anlage wird in der Regel auf einen überwiegenden Einsatz nicht chlorierter Kunststoffe ausgelegt.

Das REDOP-Verfahren ist für Mischkunststoffabfälle aus Siedlungsabfällen mit einem Chlorgehalt von 0,5-5% entwickelt worden.

Output:

Bei den beschriebenen Prozessen sind Synthesegase ein wichtiger Output. Diese werden allerdings in der Regel energetisch genutzt. Ein rohstoffliches Recycling der Chlorkomponente findet nicht statt. Ein rohstoffliches Recycling von Metallkomponenten ist möglich, findet aber in mengenrelevantem Umfang noch nicht statt.

Das beim REDOP-Prozess entstehende Granulat soll als Ersatz für Koks in einem Hochofen zur Stahlerzeugung eingesetzt werden.

3.4 Verbrennung

Es wurden 55 österreichische thermische Behandlungs- und Verwertungsanlagen, die in Lit. 39 enthalten sind, im Hinblick auf in diesen Anlagen behandelte Abfälle (bzw. lt. den Angaben für die Anlagen übernehmbaren Abfälle) untersucht.

Für 4 Anlagen liegen keine Angaben vor. 34 Anlagen können weder PVC-reiche noch PVC-arme Abfallfraktionen übernehmen. Die Ergebnisse für die übrigen 17 sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

Betreiber / Verfahren	Anzahl	PVC-hältige Abfallfraktion
Kommunale Hausmüllverbrennung	3	Haus- und Spitalmüll
Zementwerke	7	Leichtfraktion, tlw. Folien, sonstige Kunststoffabfälle Kunststoffe (571 – 1 Anlage)
Abfallbehandler (Privatunternehmen)	2	Folien, sonstige Kunststoffabfälle, Rückstände aus der biologischen Abfallbehandlung
Energieversorger	3	Leichtfraktion Kunststoffe (571 – 1 Anlage) Spitalabfall (97102 - 1 Anlage)
Sonstige Industriebetriebe	2	Leichtfraktion Stoff- und Gewebereste Folien

Es bestehen somit 15 Anlagen, die ausschließlich PVC-arme Abfallfraktionen übernehmen können und zwei Anlagen (je ein Kohlekraftwerk und ein Zementwerk), die auch PVC-reiche Fraktionen übernehmen könnten.

Die thermischen Behandlungsanlagen für gefährliche Abfälle haben nach dieser Quelle keine Genehmigung, die Schlüsselnummer 57116 (PVC-Abfälle) zu übernehmen.

Der Heizwert von PVC liegt bei ~ 20 MJ/kg.

3.4.1 Verbrennung in Hausmüllverbrennungsanlagen

Status:

Etabliertes Verfahren zur Entsorgung von PVC-Abfällen; europaweit sind unterschiedliche Techniken zur Abtrennung des Chlors aus dem Rauchgas im Einsatz (Bertin 2000¹⁰; sofern keine andere Literatur zitiert wird, sind die folgenden Daten dieser Studie entnommen):

Trockenabscheidung:	Ca-hydroxid oder Na-hydrogencarbonat mit nachgeschalteter Aktivkohleeinbringung in den Abgasstrom
Halbtrockenabscheidung:	Ca-hydroxid wird vor dem Einbringen in den Abluftstrom in Wasser gelöst
Nassabscheidung:	Wasser, NaOH, mit anschließender Wasseraufbereitung
Halbnass - Nassabscheidung:	Ca-hydroxid in Wasser, NaOH mit anschließender Sprühtrocknung im Rohgasstrom

In den drei österreichischen Müllverbrennungsanlagen (Spittelau, Flötzersteig, Wels) wird ausschließlich die Halbnass-Nassabscheidung eingesetzt (siehe Fließbild).

Input:

Sortenrein gesammelte PVC-Fractionen wie z.B. Fenster, Rohre, Kabel oder Bodenbeläge werden nicht in Müllverbrennungsanlagen eingesetzt. Input für diesen Entsorgungsweg sind vielmehr chlorarme Abfallfraktionen, die zum Teil Fenster(-teile), Rohre oder Kabel enthalten können.

Output:

Chlor aus dem Input verteilt sich nach Lit. 20 bei Halbnassabscheidung auf:

Asche und Schlacke:	8 – 13%
Flugasche:	14 – 33%
Neutralisationsprodukte:	58 – 73%
Abluft (Reingas):	0,1 – 0,3%

Die Kohlenwasserstoffkomponenten werden oxidiert und liefern thermische Energie.

¹⁰ Bertin: Jaquinot B. et.al.; The influence of PVC on the quantity and hazardousness of flue gas residues from incineration; EU-Commission; 2000

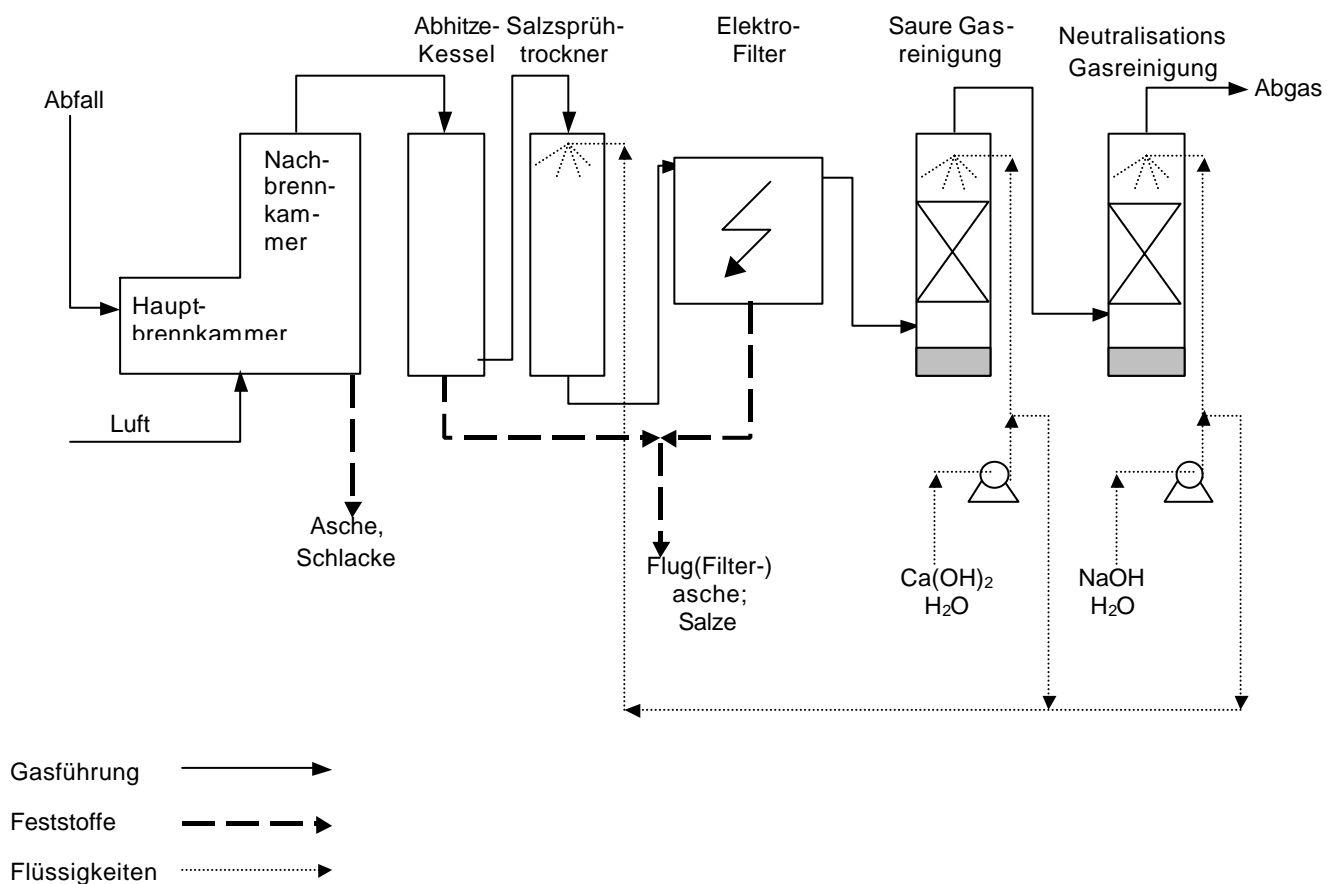
Schwermetalle werden oxidiert bzw. verbleiben in der Schlacke oder in der Flugasche. Bei Blei kann aufgrund von Versuchen bei Verbrennungstemperaturen von 900°C der Anteil in der Flugasche auf ca. 30 – 40% des Inputs abgeschätzt werden. Für Cadmium liegen Ergebnisse im Bereich 80 – 85% vor. Lit. 48 nennt einen Wert von 55% für eine großtechnische Anlage.

Lit. 20 nennt den Beitrag von Cadmium aus PVC zum Gesamteintrag der Cadmium-Menge mit ca. 11 %. Für Blei werden drei Untersuchungen zitiert, die Anteile von 3% - 10% von Pb aus PVC bezogen auf den Gesamt – Bleieintrag in Hausmüllverbrennungsanlagen für die Niederlande, Dänemark und Schweden ausweisen. Andere Quellen [Lit. 18] sprechen von einem Beitrag von bis zu 28% Blei aus PVC.

Verfahrenbeschreibung:

Siehe Verfahrensbild

Verfahrensbild (schematisch)



3.4.2 Verbrennung im Zementwerk

Status:

PVC-hältige Abfälle werden in Europa in Zementwerken verbrannt, sofern es sich um PVC-arme Fraktionen handelt, die weder der Anlage (insbesondere den Zyklonen zur Staubabscheidung) noch dem Produkt (Zementklinker) schaden.

Input

In Belgien wird eine nicht stofflich verwertbare Kunststofffraktion mit einem Chlorgehalt > 0,5% im Zementwerk verbrannt. Bei den in Österreich in die thermische Verwertung gehenden Kunststofffraktionen (Verpackung) ist von ähnlichen, wenn nicht noch niedrigeren PVC-Gehalten auszugehen [Lit. 40].

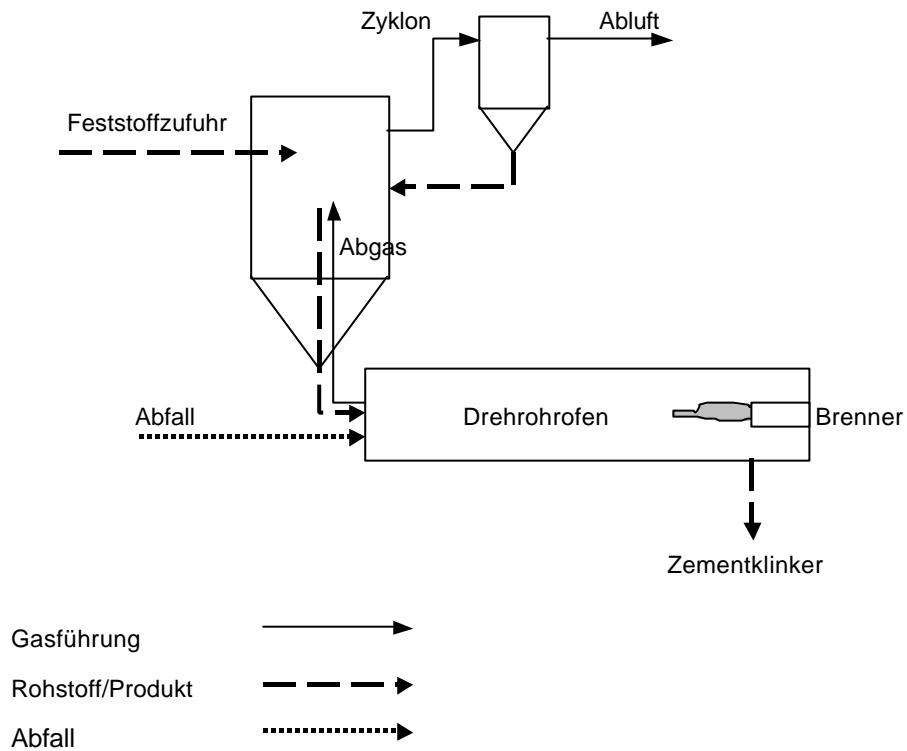
Output

Chlor reichert sich als Chlorid in der Staubfraktion der Zyklone an. Alle sonstigen anorganischen Bestandteile werden in der Klinkermatrix eingebaut, die organischen Bestandteile werden oxidativ zu CO₂ abgebaut.

Verfahrensbeschreibung

Feste Abfälle werden am „kalten“ Drehrohrende gemeinsam mit den durch die Abluft vorge- wärmten Rohstoffen in den Zementdrehrohrofen eingebracht.

Verfahrensfließbild (stark vereinfacht)



3.4.3 Sonstige Verbrennungsprozesse

Das wichtigste sonstige Verbrennungsverfahren für PVC-arme Abfallfraktionen ist das Wirbelschichtverfahren, bei dem zwei unterschiedliche Verfahrenstypen zum Einsatz kommen: Die stationäre und die zirkulierende Wirbelschicht.

In beiden Verfahren wird das zu verbrennende Material nach Lit. 41¹¹ in ein durch Luft stabilisiertes Wirbelbett (Sand) in relativ niedrigen Konzentrationen (2 - 5 %) eingebracht. Die zirkulierende Wirbelschicht unterscheidet sich von der stationären durch eine deutlich größere Luftzugabe unterhalb des Wirbelbettes, wodurch das Wirbelbett ausgetragen wird. Im nachgeschalteten Zyklon wird das Bettmaterial vom Rauchgas getrennt und über den Siphon wieder der Feuerung zugeführt. Die Verfahrensprinzipien sind in den folgenden beiden Abbildungen schematisch dargestellt.

Abbildung 3-1 Schematische Darstellung einer stationären Wirbelschicht und einer zirkulierenden Wirbelschichtfeuerung [Lit. 41]

Die Verbrennungstemperatur beträgt in beiden Verfahren ca. 800 – 900°C (nach Lit. 42: 750°C – 900°C). Der Hauptvorteil liegt dadurch in relativ geringen NO_x Emissionen und in geringerer Verschlackung und Verschmutzung. Wirbelschichtverbrennung wird insbesondere für Klärschlämme, Rückstände aus der Zellstoff- und Papierherstellung, Holzreste, aber auch Kohle (Stromerzeugung) eingesetzt.

¹¹ Alle folgenden Angaben und Skizzen stammen aus dieser Quelle, sofern nicht gesondert auf eine andere hingewiesen wird.

3.5 Deponierung

Gegenwärtig findet eine Ablagerung von PVC-Abfällen sowohl auf Massenabfall- als auch Baurestmassendeponien statt. Weiterhin ist der Verbleib von PVC-Produkten im Boden nach Ende der Nutzungsdauer zu betrachten, da im weitesten Sinn ein der Deponierung vergleichbarer Verbleib gegeben ist.

Vor allem kurzlebige PVC-Produkte werden immer noch größtenteils über den Hausmüll entsorgt. Für PVC-Produkte aus dem Baubereich ist vor allem die Deponierung als Endverbleib von Bedeutung. Aufgrund der Aktualisierung der Deponieverordnung wird dieser Entsorgungsweg für die meisten PVC-Abfälle jedoch in Zukunft nur mehr eingeschränkt möglich sein. Es ist aufgrund der relativ hohen Grenzwerte für z.B. Baurestmassendeponien (3% TOC, was bei einem Glühverlust von 5% als eingehalten gilt [Anlage 1 Tabelle 3 Deponie VO]) jedoch zu erwarten, dass insbesondere für die Bauabfälle kein kurzfristig wirksamer zusätzlicher Druck auf den Entsorgungsweg „Deponie“ entsteht.

3.5.1 Massenabfalldeponie

Status

Gegenwärtig gibt es in Österreich ca. 60 Massenabfalldeponien. Aufgrund der Aufkommensstruktur von PVC-Abfällen ist damit zu rechnen, dass auf allen Massenabfalldeponien PVC-Abfälle abgelagert wurden und werden.

Input

Die im Rahmen der Arbeit behandelten Abfälle werden insbesondere über Hausmüll (PVC-arme Abfälle) und die Sperrmüllfraktion (Fenster, Rohre, Bodenbeläge) oder als Reste der Bauabfallaufbereitung (Kabel, Rohre) auf Massenabfalldeponien abgelagert. In der Regel handelt es sich dabei um gemischte PVC-Abfälle, PVC-reiche Abfälle oder PVC-arme Abfälle, abhängig vom Vermischungsgrad mit anderen Stoffen.

Output

Grundsätzlich ist aus der Deponierung kein Output vorgesehen. Für das Migrationsverhalten von Additiven vgl. Kapitel 4.

3.5.2 Baurestmassendeponien

Status:

Gegenwärtig gibt es in Österreich mehrere hundert Baurestmassendeponien. Aufgrund der Aufkommensstruktur von PVC-Abfällen ist damit zu rechnen, dass auf allen Baurestmassendeponien, auf denen Bauschutt abgelagert wird, PVC-Abfälle als Verunreinigung des Bauschutts mit abgelagert wurden und werden.

Input

PVC Abfälle können sowohl als Verunreinigung im Bauschutt, in gemischten Bauabfällen als auch aus Rückständen der Bauschuttzubereitung vorkommen. Es ist davon auszugehen, dass der Anteil von PVC im Vergleich zu Massenabfalldeponien höher sein kann. Das ist insbesondere bei falsch deklarierten Baustellenabfällen möglich, da beträchtliche materielle Anreize (Deponiegebühr, Altlastensanierungsbeitrag) bestehen, kunststoffhaltige (und damit auch PVC-haltige) Bauabfälle auf einer Bauschuttdeponie abzulagern.

Output

Grundsätzlich ist aus der Deponierung kein Output vorgesehen. Für das Migrationsverhalten von Additiven vgl. Kapitel 4.

3.5.3 Verbleib im Boden nach Ende der Nutzungsdauer

Status:

Rohre, Kabel und z.T. auch Folien verbleiben häufig nach Ende der Nutzung im Boden, da eine Entfernung und Entsorgung sehr kostenintensiv wäre. Eine Mengenabschätzung ist – auch im Vergleich zu anderen Fraktionen – u.a. aufgrund der langen Gebrauchsdauern nicht möglich.

Input

Betroffen sind vor allem Abwasserrohre, Telefonkabel, Stromkabel, etc.

Output

Ein Output ist nicht vorgesehen. Bezüglich des Migrationsverhaltens von Additiven vgl. Kapitel 4.

4 **Ökonomisch-ökologische Randbedingungen für Verwertungs- und Behandlungsverfahren**

4.1 **Grundlagen, Methodik und Ergebnisübersicht**

Es besteht ein genereller Konsens bei allen Beteiligten, dass es für die Verwertung von PVC-Abfällen nicht ein unter allen Umständen optimales Verfahren gibt. Somit bestehen Entscheidungsprobleme, welche Fraktionen von PVC-Abfällen optimalerweise welchem Verfahren zugeführt werden sollten. Diese Entscheidungsprobleme haben sowohl eine ökologische als auch eine ökonomische Dimension. Weiterhin sind Restriktionen aus verfügbaren Kapazitäten zu beachten, d.h. ein als optimal angesehenes Verfahren muss auch in der Lage sein, die dafür vorgesehenen Mengen zu verwerten bzw. zu behandeln. Eine weitere wesentliche Randbedingung ist die Errichtung und der ökonomisch und ökologisch sinnvolle Betrieb von Sammel- und Logistikeinrichtungen, was – wie jüngste Beispiele zeigen – ein wesentlicher Hemmfaktor sein kann.

Im Folgenden werden die einzelnen, in Kapitel 3 vorgestellten Verfahren und technologischen Möglichkeiten unter ökologischen und ökonomischen Kriterien **aus der Sicht der Behandlung bzw. Verwertung** von PVC bewertet. Die Bewertung erfolgt im Rahmen eines integrierten Ansatzes, d.h. es wird versucht, Auswirkungen auf die Umwelt insgesamt und nicht nur auf einzelne Teilbereiche zu betrachten.

Die Heterogenität der in der Praxis auftretenden PVC-Abfälle bedingt, dass eine Bewertung eines Verfahrens maßgeblich durch den vorgesehenen Input mitbestimmt wird. In anderen Worten: Abhängig vom Input und seiner Zusammensetzung kann ein Verfahren eine eher gute oder eine eher schlechte Bewertung erfahren. Diese dynamische Komponente wurde in die entwickelte Bewertungsmethodik einbezogen. Es war nicht die Aufgabe der Untersuchung, generelle Aussagen zu Entsorgungswegen zu treffen (z.B. Vergleich der Verbrennung von Abfällen in Hausmüllverbrennungsanlagen vs. Verbrennung im Zementwerk).

Für den Vergleich der Entsorgungswege werden folgende PVC-Abfalltypen unterschieden:

- 1 sortenrein getrennte PVC-Fractionen mit unkritischen Additiven
- 2 sortenrein getrennte PVC-Fractionen mit kritischen Additiven (z. B. Cd)
- 3 gemischte PVC-Abfallfraktionen (Kunststoffabfälle, bei denen PVC der überwiegende Abfallbestandteil ist)
- 4 Abfallfraktionen mit erhöhtem Chlorgehalt aus PVC und relevantem Kunststoffanteil (>0,5 % relevante PVC-Anteile, z.B. nicht gefährliche Spitalabfälle, Hausmüll)
- 5 Abfallfraktionen mit geringem Chlorgehalt relevantem Kunststoffanteil (< 0,5%, geringe PVC-Anteile, z.B. Leichtfraktion aus der Verpackungsfraktion)

Sortenrein bedeutet in diesem Zusammenhang, dass die gesammelten Abfälle unter Praxisgesichtspunkten vergleichbare Stoffeigenschaften und Stoffzusammensetzungen besitzen. Beispiele hierfür sind u.a. Hart-PVC-Abfälle, die infolge ihres geringen Additivanteils im Wesentlichen die selben Stoffeigenschaften aufweisen und somit in vielen Fällen gemeinsam verwertet werden können.

Als "kritisch" im Hinblick auf die Verwertung werden diejenigen Inhaltstoffe bzw. Stoffkonzentrationen angesehen, die in Neuprodukten aus Gefährlichkeitsgründen nicht mehr eingesetzt werden bzw. nicht mehr eingesetzt werden dürfen wie z.B. Cadmium.

Demzufolge sind Prae-User Abfälle grundsätzlich der ersten Kategorie zuordenbar, Post-User-Abfälle treten in allen 5 Typen auf.

Die im folgenden durchgeführte Bewertung gilt nicht für Abfälle, die aufgrund hoher mineralischer Anteile ausschließlich deponiert werden können (z.B. Bauschutt mit Kunststoffanteilen).

Ausgangspunkt der Bewertung ist ein relativer Vergleich zu einer "Benchmark", d.h. zu einem gegenwärtig praktizierten wichtigen Entsorgungsweg für die jeweilige Abfallfraktion.

Der Benchmark-Begriff wird analog zum betriebswirtschaftlichen Terminus angewendet. Die Benchmark beschreibt einen derzeit als empfehlenswert angesehenen Entsorgungsweg, der für einen Abfalltyp praxisrelevant ist. Die Benchmark kann vom Ist-Zustand mehr oder weniger abweichen. Bei den ersten beiden Abfalltypen "sortenrein gesammelt" ist aufgrund der unterschiedlichen PVC-Abfallfraktionen eine weitere Untergliederung – entsprechend der jeweils geltenden Benchmark – erforderlich:

1 *sortenrein getrennte PVC-Fraktionen mit unkritischen Additiven*

1A Prae-User-Abfälle: Fenster, Rohre, Kabel, Bodenbeläge, Dachbahnen, Hart- und Weich-PVC-Produkte (mit Ausnahme von Verbundstoffen)

Post-User-Abfälle: Rohre, Hart-PVC-Abfälle

1B Prae-User-Abfälle: PVC-Verbundstoffe, z.B. Planen

2 *sortenrein getrennte PVC-Fraktionen mit kritischen Additiven*

2A Post-User-Abfälle: Fenster, Rohre

2B Post-User-Abfälle: Bodenbeläge, Dachbahnen

2C Post-User-Abfälle: Hart-PVC-Folien, Hart-PVC-Abfälle, Weich-PVC-Abfälle

Für die relative Bewertung von Verfahren gegenüber der Benchmark wird ein fünfstufiges Bewertungsschema angewendet:

- ++ deutlich besser als Benchmark
- + besser als Benchmark
- ~ annähernd gleich wie Benchmark
- schlechter als Benchmark
- deutlich schlechter als Benchmark

Die Bewertung ist qualitativ und mehrdimensional. Sie wird für jedes Verfahren auf der Basis folgender Kriterien (Entscheidungsdimensionen) begründet.:

- Bewertung aus stofflicher Sicht
- Bewertung aus abfallbezogener Sicht
- Bewertung aus Emissionssicht
- Bewertung aus energetischer Sicht
- Investitionskosten
- Betriebskosten
- Kapazität

Eine Übersicht für die ökologische Bewertung liefert die folgende Tabelle. Die Ergebnisübersicht ist so zu lesen, dass aus ökologischer Sicht Stoffströme tendenziell von "-" Feldern zu "+" Feldern gelenkt werden sollten.

Bei diesen Empfehlungen, die auf notwendigen Verallgemeinerungen basieren, sind jedoch vor einer konkreten Umsetzung im Einzelfall noch wirtschaftliche, technische und logistische Entscheidungsfaktoren zu berücksichtigen.

Die im vorigen Abschnitt angeführten „sonstigen chemischen Recyclingverfahren,“ werden nicht bewertet, da es sich um Pyrolyseprozesse handelt, deren unmittelbarer Einsatzzweck nicht mit der PVC- Verwertung zusammenhängt.

		Verfahrensmatrix											
		werkstofflich			chemisch			Verbrennung			Deponie		
Verbleib	Fraktion	werkstofflich unmittelbarer Stoffkreislauf	werkstofflich nach Vinyloop-Prinzip	werkstofflich Down-cycling	chemisch Drehrohr-ofen	chemisch Schlacke-bad	chemisch Methanol	Verbrennung Zement	Verbrennung Hausmüll	Verbrennung sonstige	Deponie Hausmüll	Deponie Bauschutt	Verbleib im Boden
	1A	B	~	-	-	-	/	/	/	/	--	--	/ ~ ²⁾
	1B	/	+	-	B	~	/	/	/	/	--	--	/
	2A	B	~	-	+	+	/	/	/	/	--	--	-- ²⁾
	2B	B	+	-	+	+	/	/	/	/	--	--	-- ³⁾
	2C	~	~	B	+	+	/	/	/	/	--	--	/
	3	/	+	B	+	+	+	/	--	/	--	--	-- ²⁾³⁾
	4	/	/	/	/	/	(+) ⁴⁾	/	B	(~) ¹⁾ -	--	--	/
	5	/	/	/	/	/	(+) ⁴⁾	B	-	-	-	-	/

Tabelle 4-1: Ökonomisch-ökologische Bewertung - Verfahrensmatrix

/ = nicht relevant bzw. verfügbar

B = Benchmark, Standard

-- deutlich schlechter

- schlechter

~ annähernd gleich

+ besser

++ deutlich besser

als Benchmark

1) Abhängig von Abgasreinigung

2) nur für Rohre und Kabel relevant

3) nur für Folien relevant

4) nur für gesammelte Kunststoffe mit PVC-Anteilen

4.2 Werkstoffliches Recycling mit unmittelbar geschlossenem Stoffkreislauf

Zusammenfassung:

Werkstoffliches Recycling im unmittelbar geschlossenem Stoffkreislauf ist gegenwärtig für Prae-User-Abfälle möglich und wird für den überwiegenden Mengenanteil der anfallenden Abfälle durchgeführt. Für Post-User-Abfälle sind Kapazitäten für sortenrein getrennte Fenster, Rohre, Bodenbeläge und Dachbahnen vorhanden, unabhängig ob die Additivgehalte als unkritisch oder kritisch angesehen werden (Abfalltypen 1 und 2). Für die anderen Abfalltypen (durch die Nummer 3, 4 und 5 erfasst) ist dieser Verwertungsweg aus technischen, rechtlichen oder ökonomischen Gründen nicht gegeben.

Werkstoffliches Recycling im unmittelbar geschlossenem Stoffkreislauf stellt die Benchmark für folgende PVC-Fractionen, dar:

- sortenrein getrennte PVC-Fractionen mit unkritischen Additiven
 - 1A Prae-User-Abfälle: Fenster, Rohre, Kabel, Bodenbeläge, Dachbahnen, Hart- und Weich-PVC-Produkte (mit Ausnahme von Verbundstoffen)
 - Post-User-Abfälle: Rohre, Hart-PVC-Abfälle
- sortenrein getrennte PVC-Fractionen mit kritischen Additiven
 - 2A Post-User-Abfälle: Fenster, Rohre
 - 2B Post-User-Abfälle: Bodenbeläge, Dachbahnen

Für diese Abfallfraktionen entfällt eine relative Bewertung. Im Folgenden sind deshalb Charakteristika und Probleme aus ökologischer Sicht für die einzelnen Bewertungskriterien im allgemeinen und nicht in vergleichender Form aufgeführt.

Bewertung aus stofflicher Sicht:

- unmittelbar geschlossener Stoffkreislauf
- kritische Bestandteile bleiben im Wirtschaftskreislauf

Bewertung aus abfallbezogener Sicht:

- hoher Wiederverwertungsgrad von PVC (> 90%)
- Abtrennung und Wiederverwertung weiterer Komponenten (z.B. Metall) möglich
- keine signifikante Menge gefährlicher Abfälle
- langfristige Nutzung von Abfallverwertungspotenzialen

Bewertung aus Emissionssicht:

- gasförmige Emissionen sehr gering (wichtigste Schadstoffkategorien unterhalb der Nachweisgrenze)
- staubförmige Emissionen gering (bei Beachtung üblicher Arbeitsschutzmaßnahmen keine Beeinträchtigung von Mensch und Umwelt)

Bewertung aus energetischer Sicht:

- Energieaufwand deutlich geringer als bei Einsatz von Frisch-PVC

Investitionskosten:

- Produkt- und standortspezifisch, daher nicht angebbbar

Betriebskosten:

- Externe Anlagen

Die bestehenden Fenster-Recyclinganlagen arbeiten bei Annahmehkosten von 18 Euro je Einheit rentabel.

Die Betriebskosten für das Rohrrecycling liegen in Deutschland bei etwa 500-600 DM/t.

Die bestehende Anlage für PVC-Bodenbeläge und Dachbahnen finanziert sich hauptsächlich über den Verkauf des Mahlgutes. Die Mitgliedsfirmen sind verpflichtet die anfallenden Mengen abzunehmen. Lediglich bei größeren Anlieferungsmengen werden Annahmehkosten berechnet. Recycling-Anlagen für Hart- und Weich-PVC-Produkte finanzieren sich über den Erlös aus dem Verkauf des gewonnenen Mahlgutes bzw. Granulats.

Kapazität:

In Österreich können derzeit nur einige Fenster-Profilhersteller die bei der Produktion anfallenden PVC-Abfälle direkt wieder verwenden. In Deutschland sind für Post-User-Profilabfälle etwa 32.000 t jährlich verfügbar. Z.T. werden auch Prae-User-Abfälle aufbereitet.

Die Niederlande recyceln 9.900 t PVC-Rohre, davon knapp 30 % Gebrauchsabfälle. Die hohe Recyclingrate ist nicht zuletzt auf das Belohnungssystem für Ablieferer zurückzuführen, subventioniert durch die Kunststoffindustrie. Auch Schweden besitzt Rohrrecyclingkapazitäten von zurzeit 1.500 t/a. Da laut Angabe der Horizontalstudie [Lit. 1] die Kapazitäten auf das ungefähr zehnfache angehoben werden könnten, ist auch die Verarbeitung von Importen möglich.

In der Kabelindustrie werden Produktionsabfälle von Isoliermaterial teilweise wieder im Produktionsprozess eingesetzt (innerbetriebliches Recycling).

In Deutschland wird eine Anlage zur Verwertung von PVC-Bodenbeläge mit einer Kapazität von ca. 5.000 t/a betrieben. Derzeit liegt die Auslastung der Anlage jedoch nur bei etwa 1.000 t/a.

Für PVC-Dachbahnen existiert in Deutschland ebenfalls eine nach DIN ISO 9001 zertifizierte Recyclinganlage mit einer maximalen Kapazität von 3.000 t/a. In der Anlage werden sowohl Prae-User- als auch Post-User-Abfälle behandelt. Aufgrund des noch zu geringen Rücklaufs von Dachbahnen liegt die Auslastung der Anlage derzeit bei 1.000 t/a.

Europaweit gibt es zahlreiche Anlagen, die sortenrein gesammelte Prae-User- und z.T. auch Post-User-Abfälle aus Hart- bzw. Weich-PVC aufbereiten. Genaue Angaben zu Kapazitäten sind nicht verfügbar.

4.3 Werkstoffliches Recycling durch das Vinyloop-Verfahren

Zusammenfassung

Werkstoffliches Recycling durch das Vinyloop-Verfahren ist gegenwärtig für **sortenreine PVC-Fraktionen** möglich, unabhängig vom Additivgehalt. Die ökologische Bewertung dafür liefert ein vergleichbares oder zum Teil auch besseres Ergebnis wie die Benchmark.

Weiterhin ist werkstoffliches Recycling durch das Vinyloop-Verfahren für **gemischte PVC-Fraktionen** (Verbundstoffe) möglich. Diese Alternative wird günstiger beurteilt als die Benchmark (werkstoffliches Recycling ohne Stoffkreislaufschließung)

Im Folgenden wird das Bewertungssystem dreimal durchlaufen, zweimal für sortenreine PVC-Fraktionen und einmal für gemischte PVC-Fraktionen.

Anmerkung: Das werkstoffliche Recycling nach dem Vinyloop-Verfahren wird im Industriemaßstab derzeit nur für Kabelabfälle realisiert. Für PVC-Fußbodenabfälle (Name: Recinyl) sowie für PVC-beschichtete Textilien (Name: Texyloop) sind noch keine Anlagen im industriellen Maßstab verfügbar.

Vergleichende Bewertung des Vinyloop-Verfahrens für die Abfalltypen 1A, 2A, 2B gegenüber der Benchmark: werkstoffliches Recycling im unmittelbar geschlossenen Stoffkreislauf, alle Bewertungen über kritische Additive beziehen sich auf Abfalltyp 2A/2B

Bewertung aus stofflicher Sicht:

- ~ unmittelbar geschlossener Stoffkreislauf
- + Wiedereinsatz des gewonnenen Compounds z.B. bei Fußbodenbelägen in einem breiteren Spektrum möglich
- ~ kritische Bestandteile bleiben im Wirtschaftskreislauf
- + Ausschleusung von kritischen Additiven (Schwermetallen) technisch grundsätzlich denkbar

Bewertung aus abfallbezogener Sicht:

- ~ hoher Wiederverwertungsgrad von PVC (> 90%)
- ~ Abtrennung und Wiederverwertung weiterer Komponenten (z.B. Metall, Polyesterfasern) möglich
- ~ keine signifikante Menge gefährlicher Abfälle
- ~ langfristige Nutzung von Abfallverwertungspotenzialen

Bewertung aus Emissionssicht:

- gasförmige Emissionen noch unbekannt
- + staubförmige Emissionen voraussichtlich sehr gering

Bewertung aus energetischer Sicht:

- Energieaufwand geringer als die Produktion von Frisch-PVC, aber voraussichtlich höher als Benchmark

Investitionskosten:

- Investitionskosten Vinyloop-Verfahren: ~ 10 Mio. Euro
- gegenüber der Benchmark deutliche Nachteile, da derzeit kein Anlagen verfügbar (Texyloop: derzeit wird von Investitionskosten von mehr als 10 Mio. Euro ausgegangen)

Betriebskosten:

- + Vinyloop: voraussichtlich günstiger als Benchmark
- + Texyloop: neben dem Verkauf von PVC-Compound können zusätzlich Erlöse durch den Verkauf von den ebenfalls anfallenden Polyesterfasern erzielt werden
evtl. staatliche Subventionen
- ~ Recinyl: Verkauf des PVC-Compounds an die beteiligten Bodenbelagshersteller

Kapazität:

- Vinyloop: 10.000 t/a
- Taxyloop:
ab 2003 Pilotanlage mit ca. 2.000 t/a, nach erfolgreichem Abschluss der Pilotphase ist eine Kapazitätserweiterung auf 10.000 t/a geplant
- Recinyl:
Ende 2002 soll die Entscheidung fallen, ob in Deutschland ein Anlage im industriellen Maßstab gebaut wird, genaue Angaben zur Kapazität sind derzeit nicht verfügbar

Vergleichende Bewertung des Vinyloop-Verfahrens für Abfalltype 1B gegenüber der Benchmark: chemisches Recycling im Drehrohrofen

Bewertung aus stofflicher Sicht:

- + unmittelbar geschlossener Stoffkreislauf
- + Wiedereinsatz des gewonnenen Compounds im selben Produktspektrum möglich
- kritische Bestandteile bleiben im Wirtschaftskreislauf
- ~ Ausschleusung von kritischen Additiven (Schwermetallen) technisch grundsätzlich denkbar

Bewertung aus abfallbezogener Sicht:

- + hoher Wiederverwertungsgrad von PVC (> 90%)
- + Abtrennung und Wiederverwertung weiterer Komponenten (z.B. Metall, Polyesterfasern) möglich
- + keine signifikante Menge gefährlicher Abfälle
- + langfristige Nutzung von Abfallverwertungspotenzialen

Bewertung aus Emissionssicht:

- ~ gasförmige Emissionen noch unbekannt
- ~ staubförmige Emissionen voraussichtlich sehr gering

Bewertung aus energetischer Sicht:

- + Energieaufwand geringer als Benchmark

Investitionskosten:

- Taxyloop: derzeit wird von Investitionskosten von mehr als 10 Mio. Euro ausgegangen

Betriebskosten:

- + Taxyloop: neben dem Verkauf von PVC-Compound können zusätzlich Erlöse durch den Verkauf von den ebenfalls anfallenden Polyesterfasern erzielt werden
evtl. staatliche Subventionen
- + Recynyl: Verkauf des PVC-Compounds an die beteiligten Bodenbelagshersteller

Kapazität:

- Taxyloop:
ab 2003 Pilotanlage mit ca. 2.000 t/a, nach erfolgreichem Abschluss der Pilotphase ist eine Kapazitätserweiterung auf 10.000 t/a geplant
- Recynyl:
Ende 2002 soll die Entscheidung fallen, ob in Deutschland ein Anlage im industriellen Maßstab gebaut wird, genaue Angaben zur Kapazität sind derzeit nicht verfügbar

Vergleichende Bewertung des Vinyloop-Verfahrens für Abfalltypen 2C und 3 gegenüber der Benchmark: werkstoffliches Recycling ohne unmittelbar geschlossenen Stoffkreislauf

Bewertung aus stofflicher Sicht:

- + unmittelbar geschlossener Stoffkreislauf
- ~ kritische Bestandteile bleiben im Wirtschaftskreislauf
- + Ausschleusung von Schwermetallen grundsätzlich denkbar

Bewertung aus abfallbezogener Sicht:

- ~ hoher Wiederverwertungsgrad von PVC (> 90%)
- ~ Abtrennung und Wiederverwertung weiterer Komponenten (z.B. Metall) möglich
- ~ keine signifikante Menge gefährlicher Abfälle
- + langfristige Nutzung von Abfallverwertungspotenzialen

Bewertung aus Emissionssicht:

- gasförmige Emissionen noch unbekannt
- + staubförmige Emissionen voraussichtlich sehr gering

Bewertung aus energetischer Sicht:

- Energieaufwand geringer als die Produktion von Frisch-PVC, aber höher als Benchmark

Investitionskosten:

- Vinyloop: ~ 10 Mio. Euro
- gegenüber Benchmark deutliche Nachteile, da derzeit keine Anlagen verfügbar (Texyloop: derzeit wird von Investitionskosten von mehr als 10 Mio. Euro ausgegangen)

Betriebskosten:

- + Vinyloop: voraussichtlich günstiger als Benchmark
- + Texyloop: neben dem Verkauf von PVC-Compound können zusätzlich Erlöse durch den Verkauf von den ebenfalls anfallenden Polyesterfasern erzielt werden
evtl. staatliche Subventionen
- ~ Recynyl: der Anteil an PVC ist relativ gering in PVC-Bodenbelägen (ca. 10-20%), um trotzdem wirtschaftlich arbeiten zu können, ist es wichtig dass die ebenfalls anfallende Kreide als Füllstoff wieder an die Industrie verkauft werden kann

Kapazität:

- Vinyloop: 10.000 t/a Kabelabfälle
- Taxyloop:
ab 2003 Pilotanlage mit ca. 2.000 t/a, nach erfolgreichem Abschluss der Pilotphase ist eine Kapazitätserweiterung auf 10.000 t/a geplant
- Recinyl:
Ende 2002 soll die Entscheidung fallen, ob in Deutschland ein Anlage im industriellen Maßstab gebaut wird, genaue Angaben zur Kapazität sind derzeit nicht verfügbar

4.4 Werkstoffliches Recycling ohne unmittelbar geschlossenen Stoffkreislauf (Downcycling)

Zusammenfassung:

Werkstoffliches Recycling ohne unmittelbar geschlossenen Stoffkreislauf (Downcycling) ist für

- sortenrein getrennte PVC-Fractionen mit unkritischen Additiven (Abfalltyp 1)
- sortenrein getrennte PVC-Fractionen mit kritischen Additiven (Abfalltyp 2)
- gemischte PVC-Abfallfraktionen (Abfalltyp 3)

möglich.

Für die Abfalltypen 1A sowie 2A/B ergeben sich gegenüber der Benchmark werkstoffliches Recycling mit unmittelbar geschlossenen Stoffkreislauf Nachteile aus ökologischer Sicht.

Für die Abfallfraktion 2C – Hart- und Weich-PVC-Abfälle mit kritischen Additiven – sowie für gemischte PVC-Fraktion (Abfalltyp 3) stellt dieser Entsorgungsweg die Benchmark dar.

Eine vergleichende Bewertung ist im Folgenden deshalb gegenüber dem werkstofflichen Recycling mit unmittelbarem Stoffkreislauf (Benchmark der sortenrein vorliegenden PVC-Fractionen) als auch gegenüber dem Vinyloop-Verfahren vorgenommen worden.

Bewertung des werkstofflichen Downcycling vs. Unmittelbarem Stoffkreislauf und Vinyloop-Verfahren (dafür abweichende Bewertung in Klammern)

Bewertung aus stofflicher Sicht:

- kein unmittelbar geschlossener Stoffkreislauf
- ~ kritische Bestandteile bleiben im Wirtschaftskreislauf
- (-) Ausschleusung von kritischen Additiven (Schwermetallen) nicht möglich

Bewertung aus abfallbezogener Sicht:

- ~ hoher Wiederverwertungsgrad von PVC (> 90%)
- ~ Abtrennung und Wiederverwertung weiterer Komponenten (z.B. Metall)
- ~ keine signifikante Menge gefährlicher Abfälle
- langfristig aufgrund des Downcycling höheres Abfallaufkommen

Bewertung aus Emissionssicht:

- ~ gasförmige Emissionen sehr gering (wichtigste Schadstoffkategorien unterhalb der Nachweisgrenze)
- (~) gasförmige Emissionen noch unbekannt
- ~ staubförmige Emissionen gering (bei Beachtung üblicher Schutzmaßnahmen keine Beeinträchtigung von Mensch und Umwelt)
- (-) staubförmige Emissionen voraussichtlich sehr gering

Bewertung aus energetischer Sicht:

- ~ Energieaufwand geringer als für die Produktion aus Frisch-PVC, analog wie Benchmark
- (+) Energieaufwand geringer als für die Produktion aus Frisch-PVC, aber voraussichtlich niedriger als Vinyloop-Verfahren

Investitionskosten:

- + geringer als Benchmark und Vinyloop-Verfahren

Betriebskosten:

- + geringer als bei Benchmark und Vinyloop-Verfahren

Kapazität:

Für Hart-PVC-Abfälle als auch für Weich-PVC-Abfälle gibt es europaweit Verwertungsanlagen. Genaue Angaben zur verfügbaren Kapazität sind nicht möglich.

4.5 Chemisches Recycling durch das Thermo-Splitting Verfahren (Drehrohrofen)

Zusammenfassung:

Für sortenrein getrennte PVC-Fractionen mit unkritischen Additivgehalten (Abfalltyp 1A) wird das Thermo-Splitting-Verfahren ökologisch schlechter beurteilt als die Benchmark (werkstoffliches Recycling mit unmittelbar geschlossenem Stoffkreislauf), da insbesondere die Energiebilanz deutlich schlechter ausfällt.

Für Prae-User Verbundstoffe (Abfalltyp 1B) stellt das chemische Recycling durch das Thermo-Splitting Verfahren derzeit die Benchmark dar, da ein direkter Wiedereinsatz in der Produktion nicht oder nur sehr eingeschränkt möglich ist.

Für sortenrein getrennte PVC-Fractionen mit kritischen Additivgehalten (Abfalltyp 2) wird das Thermo-Splitting-Verfahren ökologisch besser beurteilt als die Benchmark, da die energetischen Nachteile durch Vorteile bei der Elimination von Schadstoffen aus dem Wirtschaftskreislauf überkompensiert werden.

Die ökologisch bessere Bewertung gilt analog für gemischte PVC-Fractionen.

Ein Einsatz des Thermo-Splitting-Verfahrens für nicht-gefährliche Abfallfraktionen mit erhöhtem und niedrigem Chlorgehalt ist aus technischen und wirtschaftlichen Gründen nicht möglich¹².

Bewertung des Chemischen Recyclings durch das Thermo-Splitting Verfahren für den Abfalltyp 1A gegenüber der Benchmark (werkstoffliches Recycling mit unmittelbar geschlossenem Stoffkreislauf)

Bewertung aus stofflicher Sicht:

- kein unmittelbar geschlossener Stoffkreislauf

Bewertung aus abfallbezogener Sicht:

- höheres Abfallaufkommen als bei der Benchmark für sortenrein gesammelte Abfälle

¹² Es wird u.a. zur Behandlung halogenhaltiger Lösungsmittel und Schlämme eingesetzt.

Bewertung aus Emissionssicht:

- Prozessbedingte, durch nachgeschaltete Technologien nur zum überwiegenden Teil eliminierbare Emissionen.

Bewertung aus energetischer Sicht:

- gegenüber der Benchmarks für sortenreine und gemischte PVC-Fractionen deutliche energetische Nachteile

Investitionskosten:

50 Mio. Euro

- ohne Berücksichtigung des Sammelaufwands gegenüber der Benchmark deutliche Nachteile

Betriebskosten:

- ohne Berücksichtigung des Sammelaufwands gegenüber der Benchmark deutliche Nachteile

Kapazität:

45.000 t/a

Bewertung des Chemischen Recyclings durch das Thermo-Splitting Verfahren für den Abfalltyp 2A/B gegenüber der Benchmark (werkstoffliches Recycling mit unmittelbar geschlossenem Stoffkreislauf)

Bewertung aus stofflicher Sicht:

- ++ kritische Additive werden dem Wirtschaftskreislauf entzogen und weitgehend inertisiert
- kein unmittelbar geschlossener Stoffkreislauf

Bewertung aus abfallbezogener Sicht:

- höheres Abfallaufkommen als bei der Benchmark für sortenrein gesammelte Abfälle

Bewertung aus Emissionssicht:

- Prozessbedingte, durch nachgeschaltete Technologien nur zum überwiegenden Teil eliminierbare Emissionen.

Bewertung aus energetischer Sicht:

- gegenüber der Benchmarks für sortenreine und gemischte PVC-Fractionen deutliche energetische Nachteile

Investitionskosten:

50 Mio. Euro

- ohne Berücksichtigung des Sammelaufwands gegenüber der Benchmark deutliche Nachteile

Betriebskosten:

- ohne Berücksichtigung des Sammelaufwands gegenüber der Benchmark deutliche Nachteile

Bewertung des Chemischen Recyclings durch das Thermo-Splitting Verfahren für den Abfalltyp 2C und 3 gegenüber der Benchmark (werkstoffliches Recycling, Downcycling)

Bewertung aus stofflicher Sicht:

- ++ kritische Additive werden dem Wirtschaftskreislauf entzogen und weitgehend inertisiert

Bewertung aus abfallbezogener Sicht:

- höheres Abfallaufkommen als bei der Benchmark

Bewertung aus Emissionssicht:

- Prozessbedingte, durch nachgeschaltete Technologien nur zum überwiegenden Teil eliminierbare Emissionen.

Bewertung aus energetischer Sicht:

- gegenüber der Benchmark deutliche energetische Nachteile

Investitionskosten:

50 Mio. Euro

- ohne Berücksichtigung des Sammelaufwands gegenüber der Benchmark deutliche Nachteile

Betriebskosten:

- ohne Berücksichtigung des Sammelaufwands gegenüber der Benchmark deutliche Nachteile

4.6 Chemisches Recycling durch das Schlackebad-Verfahren

Zusammenfassung:

Für sortenrein getrennte PVC-Fractionen (Abfalltyp 1A) ohne kritische Additive wird das Schlackebad-Verfahren ökologisch schlechter beurteilt als die Benchmark (werkstoffliches Recycling mit unmittelbar geschlossenem Stoffkreislauf), da insbesondere die Energiebilanz deutlich schlechter ausfällt.

Für Prae-User Verbundstoffe (Abfalltyp 1B) ist das chemische Recycling durch das Schlackebad-Verfahren ökologisch mit dem Drehrohrofen gleichzusetzen.

Für sortenrein getrennte PVC-Bodenbeläge bzw. Dachbahnen mit kritischen Additivgehalten (Abfalltyp 2A/B) wird das Schlackebad-Verfahren ökologisch besser beurteilt als die Benchmark, da die energetischen Nachteile und Vorteile bei der Elimination von Schadstoffen aus dem Wirtschaftskreislauf überkompensiert werden.

Dies gilt analog für gemischte PVC-Fractionen (Abfalltyp 3).

Ein Einsatz des Schlackebad-Verfahrens für nicht-gefährliche Abfallfraktionen mit erhöhtem und niedrigem Chlorgehalt ist aus technischen und wirtschaftlichen Gründen nicht möglich.

Ein Einsatz des Verfahrens im industriellen Stil ist gegenwärtig zwar geplant, aber noch nicht realisiert.

Das chemische Recycling durch das Schlackebad-Verfahren ist aus ökologischer Sicht dem Drehrohrofen gleichzusetzen, dementsprechend gelten die in Kapitel 4.5 gemachten Aussagen analog für das Schlackebad-Verfahren. Auf eine detaillierte ökologische Bewertung wird deshalb an dieser Stelle verzichtet.

4.7 Verbrennung im Zementwerk

Zusammenfassung

Aufgrund der technischen Anforderungen an das Produkt und den Anlagenaufbau sind Zementwerke nur geeignet, chlorarme Abfallfraktionen zu verarbeiten. Sie stellen – gemeinsam mit den vergleichbaren sonstigen Verbrennungsanlagen – die Benchmark für Abfälle mit niedrigen Chlorgehalten dar, die stofflich nicht verwertbar sind.

Für Österreich insbesondere relevant sind im Abfalltyp 5 die Fraktion der Rückstände aus der Leichtfraktion der Verpackungssammlung und Kunststofffolien. Die darin in geringem Umfang enthaltenen PVC Rückstände können sowohl von Hart- als auch von Weich-PVC-Produkten stammen. Größere Mengen an PVC-Bauprodukten wie z.B. Fenster oder Bodenbeläge sind in der Regel nicht enthalten.

Da das Verfahren für den Abfalltyp 5 die Benchmark darstellt und aus technischen Gründen andere Abfalltypen nicht verwertbar sind, entfällt im Folgenden eine relative Bewertung. Aus diesem Grund sind Charakteristika und Probleme für die einzelnen Bewertungskriterien im allgemeinen und nicht in vergleichender Form aufgeführt.

Bewertung aus stofflicher Sicht:

- Organische Additive werden vollständig oxidiert,
- Anorganische Additive werden in die Matrix des Zementklinkers eingebaut und damit weitgehend immobilisiert.

Bewertung aus abfallbezogener Sicht:

- Die Abfallbilanz der Anlagen wird durch den Einsatz von chlorarmen Abfällen nicht verändert.

Bewertung aus Emissionssicht:

- Die Emissionsbilanz der Anlagen wird durch den Einsatz von chlorarmen Abfällen nicht signifikant verändert.

Bewertung aus energetischer Sicht:

- Durch den Einsatz werden Primärenergieträger substituiert.

Investitionskosten:

- Ggf. geringe Anlagenadaption zur Lagerung und Einbringung der Abfallfraktion.

Betriebskosten:

- Einsparungseffekte und Lukrierung von Übernahmeerlösen.

Kapazität:

- 7 Zementwerke in Österreich haben die Genehmigung Abfallfraktionen mit geringem PVC Anteil einzusetzen.

4.8 Verbrennung gemeinsam mit Hausmüll

Zusammenfassung

Die Verbrennung gemeinsam mit dem Hausmüll stellt die Benchmark für nicht gefährliche Abfallfraktionen mit erhöhtem Chlorgehalt aus PVC (Abfalltyp 4, z.B. Spitalsabfälle) dar, da diese Anlagen aufgrund des Chlorgehaltes anderer Abfallfraktionen (Vegetabilien, Papier) technologisch dafür ausgelegt und mit entsprechenden Abluftreinigungsanlagen ausgerüstet sein müssen.

Für gemischte PVC-Abfälle (Abfalltyp 3), die im Vergleich zu üblichen Kapazitäten den Gesamtchlordurchsatz nur wenig erhöhen würden, wird die Verbrennung gemeinsam mit dem Hausmüll schlechter bewertet als die Benchmark, da keine stoffliche Rückgewinnung im Rahmen des Prozesses erfolgt.

Für Abfallfraktionen mit geringem, PVC-bedingten Chlorgehalt (Abfalltyp 5) ist die Bewertung schlechter als die Benchmark, da der Grad der Immobilisierung von anorganischen Additiven im Zement höher eingestuft wird, als in der Asche/Schlacke von Hausmüllverbrennungsanlagen. Die übrigen Parameter der Bewertung sind im wesentlichen gleich anzusetzen. Eine detaillierte Bewertung entfällt daher.

Charakteristika und Probleme für Abfallfraktionen mit PVC-bedingtem höherem Chlorgehalt (Benchmark)

Bewertung aus stofflicher Sicht:

- Organische Additive werden vollständig oxidiert,
- Anorganische Additive werden gemeinsam mit der Rost- und Flugasche behandelt und damit weitgehend immobilisiert.

Bewertung aus abfallbezogener Sicht:

- Es fallen aus der Rauchgasreinigung zusätzliche Neutralisationssalze abhängig vom Chlorinput an.

Bewertung aus Emissionssicht:

- Die Emissionscharakteristik wird durch das Mitverbrennen unter der Voraussetzung der entsprechenden Auslegung der Abgasreinigung nicht geändert.

Bewertung aus energetischer Sicht:

- Durch den Einsatz kann es zu Einsparungen an Primärenergieträgern zur Stützfeuerung kommen, wenn der Heizwert des Hausmülls nicht ausreicht.

Investitionskosten:

- Für die Mitverbrennung sind keine zusätzlichen Investitionskosten erforderlich.

Betriebskosten:

- Durch den erhöhten Verbrauch an Neutralisationsmitteln (Ca(OH)_2 und NaOH) kommt es zu einer dem Chlorgehalt proportionalen Erhöhung der Betriebskosten.

Kapazität:

- Die österreichischen Hausmüllverbrennungsanlagen sind ausgelastet.

Vergleichende Bewertung für gemischte PVC Abfälle (Abfalltyp 3) gegenüber der Benchmark werkstoffliches Downcycling

Bewertung aus stofflicher Sicht:

- kein Stoffkreislauf
- + ökologisch sensible Bestandteile werden aus dem Wirtschaftskreislauf entfernt

Bewertung aus abfallbezogener Sicht:

- Anstelle von Produkten entstehen Abfälle (Asche, Schlacke, Salze)

Bewertung aus Emissionssicht:

- Signifikant stärkere Luftemissionen

Bewertung aus energetischer Sicht:

- Für die Herstellung der Produkte werden beim Wegfall von Recyclingrohstoffen neu, mit höherem Energieaufwand hergestellte Rohstoffe eingesetzt.

Investitionskosten:

- Die Investitionskosten für Hausmüllverbrennungsanlagen sind – auch in Bezug auf den potentiellen (relativ geringen) Anteil der gemischten PVC Abfälle höher als die Anlagenkosten für Downcycling-Produkte.

Betriebskosten:

- analog zu Investitionskosten

Kapazität:

- Der Auslastungsgrad der vorhandenen Kapazitäten an Hausmüllverbrennungsanlagen ist hoch (mit weiter steigender Tendenz).

Vergleichende Bewertung für Abfalltyp 5 gegenüber der Benchmark (Verbrennung im Zementwerk)

Bewertung aus stofflicher Sicht:

- schlechtere Immobilisierung von anorganischen Additiven

Bewertung aus abfallbezogener Sicht:

- höherer Abfallanfall als bei der Benchmark

Bewertung aus Emissionssicht:

- ~ keine wesentlichen Unterschiede

Bewertung aus energetischer Sicht:

- keine wesentlichen Unterschiede gegenüber der Benchmark

Investitionskosten:

nicht relevant

Betriebskosten:

- gegenüber der Benchmark deutliche Nachteile

4.9 Sonstige Verbrennung (Wirbelschicht)

Zusammenfassung

Wirbelschichtanlagen sind in Österreich in verschiedenen Industriezweigen (z.B. Energieerzeugung, Papier- und Zellstoff, Holzverarbeitende Industrie) zur thermischen Behandlung/Verwertung von Abfällen im Einsatz.

Die Bewertung dieser Anlagen für die Verbrennung von Abfällen mit erhöhtem oder niedrigem Chlorgehalt ist in erster Linie von der installierten Rauchgasreinigung abhängig. Ist diese entsprechend den Anlagen für Hausmüll ausgelegt, sind die Anlagen gleich zu bewerten.

Ist keine oder eine Anlage mit einem niedrigeren technischen Standard eingebaut, so sollten nur chlorarme Abfälle zum Einsatz kommen. Für diese Abfallkategorie sind die Anlagen aus Sicht der PVC-Gehalte im Abfall aus dem gleichen Grund (anorganische Stabilisatoren) schlechter zu bewerten wie Hausmüllverbrennungsanlagen.

4.10 Massenabfalldeponie

Zusammenfassung

Für die Deponierung als Behandlungsverfahren existiert nach dem derzeitigen Diskussionsstand keine unumstritten „additivmäßig unkritische“ PVC-hältige Abfallfraktion. Es bestehen Befürchtungen, dass aus allen Fraktionen - tlw. über sehr lange Zeiträume – umweltkritische Substanzen abgegeben werden können, deren Verbleib im Deponiekörper weder während der Betriebszeit der Deponie noch danach als gesichert angesehen werden kann.

Eine umfassende Übersicht über die Ergebnisse vieler Untersuchungen über das Verhalten verschiedener PVC-hältiger Materialien bei der Deponierung gibt die Untersuchung Lit. 21. Sofern im Folgenden nicht gesondert auf eine andere Quelle hingewiesen wird, stammen Zitate aus dieser Untersuchung, der allerdings z.B. in Lit. 53 – insbesondere im Hinblick auf Weichmacher - massiv widersprochen wird.

Bei der Ablagerung von PVC-hältigen Materialien sind drei Parameter für die Beurteilung der ökologischen Folgen von besonderem Interesse:

- a) Der Abbau des Polymers selbst und die dabei entstehenden Metaboliten
- b) Die Abgabe von Weichmachern an Deponieabwässer bzw. Deponiegas
- c) Die Abgabe von Schwermetallen, insbesondere Cd und Pb.

Das Verhalten von PVC-hältigen Abfällen im Hinblick auf diese drei Punkte ist stark von der Zusammensetzung (insbesondere vom Weichmacheranteil) der jeweiligen Fraktion abhängig. Typische Zusammensetzungen von PVC-Fraktionen sind in Kap. 2.2 beschrieben.

Grundsätzlich muss festgehalten werden, dass alle Abbau- und Auslaugprozesse von PVC sehr langfristig sind, weil sie an der Oberfläche der Abfälle stattfinden. Bei den vorliegenden, in der Regel dickwandigen Abfällen dauern alle drei angeführten Prozesse über Jahrzehnte, wenn nicht noch längere, die derzeit geplanten Deponienachsorge-Zeiträume bei weitem überschreitende Fristen.

Der Abbau des Polymers selbst konnte im Rahmen der oben angeführten Arbeit für Weich-PVC (Verpackungsfolie) unter verschiedenen Deponiesimulationsbedingungen nachgewiesen werden. In der sonstigen Literatur finden sich keine Hinweise darauf. Es bleibt auch offen, inwieweit dieses Phänomen auf die – im Vergleich zu Kabeln – sehr dünne Schichtstärke oder auf den Weichmachergehalt (etwa 30%) zurückzuführen ist. Der gemessene Effekt (Reduktion des mittleren Molekulargewichts und Verbreiterung der Verteilung der Molekulargewichte) ist für dieses Material zwar nachweisbar, aber gering, was darauf hindeutet, dass ein derartiger Abbau nur über extrem lange Zeiträume stattfindet.

Die Abgabe von Weichmachern ist in erster Linie bei Weich-PVC-Abfällen relevant. Die ersten Untersuchungen dazu datieren aus 1970 [Lit. 50]. Neben der Diffusion bzw. Migration von Weichmachern in die Umgebung des abgelagerten Abfalls dürften mikrobiologische Prozesse an der Abfalloberfläche mit gleichzeitigem Abbau der Weichmacher stattfinden [Lit. 51]. In allen Untersuchungen wurde ein bedeutender, im Abfall verbleibender Anteil von Weichmachern – nach unterschiedlicher, teilweise bis zu 25-jähriger Verbleibsdauer in der Deponie – festgestellt. Die Autoren der ARGUS Studie (siehe oben) kommen zur Schlussfolgerung, dass die Migration von Weichmachern aus dem Inneren des Abfalls zu seiner Oberfläche extrem langsam ist und daher sehr lange (länger als eine Gewährleistungsfrist von 80 Jahren für die Basisabdichtung) eine Abgabe stattfinden kann. Der Abbau von Weichmachern ist zwar möglich, aber der Wichtigste (DEHP) ist eine persistente Substanz, die nur bis zu einem Niveau von einigen µg/l abgebaut wird und dadurch auch nach einer biologischen Aufbereitung von Sickerwässern an die Umwelt abgegeben wird. Eines der problematischen Abbauprodukte ist das durch Hydrolyse langfristig entstehende Nonylphenol, das nach einer Untersuchung des UBA Berlin [Lit. 52] eine ökotoxische, schwer abbaubare Substanz ist.

Der Beitrag von PVC zur Schwermetallbelastung in Deponien bzw. Deponiesickerwässern ist in Massenabfall- (bzw. Massenabfall-)deponien für Barium und Zink vernachlässigbar, da sehr viele andere Quellen in diese Deponien eingebracht werden. Kritisch zu beurteilen sind die Schwermetalle Blei und Cadmium. Für beide Schwermetalle gelten nach zahlreichen Literaturangaben ähnliche Verhältnisse wie bei den Weichmachern. Die Abgabe aus dem PVC-Abfall an die Umgebung erfolgt sehr langsam und bei Weich-PVC stärker als bei Hart-PVC. Generell wird in vielen Untersuchungen die Aussage gemacht, dass die Stabilisatoren – mit Ausnahme der Oberflächenbereiche – fest in die PVC-Matrix eingebunden sind und praktisch keine feststellbare Migration innerhalb des Abfalls stattfindet. Es wird aber auch über gegenteilige Ergebnisse berichtet. Die in der ARGUS-Untersuchung dokumentierten Ergebnisse der Deponiesimulationstests bestätigen die Literaturangaben für Cadmium, nicht jedoch für Blei¹³.

Für die Ablagerung von allen untersuchten Abfalltypen ist die Massenabfalldeponie deutlich negativer zu bewerten als die jeweilige Benchmark. Mit dem Verbot von Ablagerungen von Stoffen mit einem TOC-Gehalt > 5% ab 2004 wird die Deponierung dieser Fraktionen nicht mehr möglich sein.

¹³ Die Ergebnisse für Blei (aus Weich-PVC) werden von den Autoren als „noch zu überprüfend“ bezeichnet.

Bewertung aus stofflicher Sicht:

- Deponierung ist eine Stoffsenke ohne Chance auf Stoffflussschließung
- Nach der Deponierung von PVC-hältigen Abfällen können sowohl Weichmacher als auch Stabilisatoren über Zeiträume an den Deponiekörper abgegeben, die die technische Lebensdauer der Deponiebasisabdichtung überschreiten können. Damit sind bei höheren PVC-Anteilen Nachteile gegenüber den jeweiligen Benchmarks festzustellen.
- Der wichtigste Weichmacher (DEHP) ist nicht vollständig biologisch abbaubar, sondern eine persistente Substanz. Dies führt für höhere PVC-Anteile ebenfalls zu Nachteilen gegenüber den Benchmarks.
- Das Verhalten der anorganischen Additiven ist unklar.

Bewertung aus abfallbezogener Sicht:

- Die direkte Deponierung von Abfällen mit hohen PVC-Gehalten benötigt ein im Vergleich zu den Benchmarks größeres Volumen und ist deshalb negativ zu bewerten.

Bewertung aus Emissionssicht:

- ~ Luftemissionen: Grundsätzlich sind die Luftemissionen bei den Benchmarks höher. Je nach PVC-Gehalt kann es jedoch insbesondere bei der Deponierung von Weich-PVC über lange Zeiträume zum Abbau des Polymers mit unbekanntem Folgeprodukten kommen. Damit evtl. verbundene ökologischen Folgen für den Luftpfad sind derzeit unbekannt, ein Vergleich zu den Benchmarks nicht möglich.
- Wasseremissionen: Weichmacher (und deren Abbauprodukte) können über Deponiesickerwässer (auch nach Behandlung) an die Umwelt abgegeben werden.

Bewertung aus energetischer Sicht:

- Der Energiegehalt von Abfällen PVC-Anteilen kann nicht genutzt werden.

Investitionskosten:

- + Die Investitionskosten sind deutlich geringer als für die Installation der Verfahren der entsprechenden Benchmarks.

Betriebskosten:

- + Die Betriebskosten sind deutlich geringer als bei den Verfahren der entsprechenden Benchmarks.

Kapazität:

- Aufgrund der bestehenden rechtlichen Rahmenbedingungen (Verbot der Ablagerung PVC-reicher Fraktionen ab 2004) sind bis dahin ausreichende Kapazitäten vorhanden.

4.11 Baurestmassendeponie*Zusammenfassung*

Da wesentliche Teilströme der untersuchten Stoffgruppen (Fenster, Rohre, Bodenbeläge, Dichtungsbahnen) häufig im Rahmen von Bautätigkeiten anfallen, jedoch einen mengenmäßig geringen Anteil der Bauabfälle darstellen, muss davon ausgegangen werden, dass – insbesondere mit Bauschutt vermischte PVC-hältige Abfälle auf diesem Entsorgungspfad entsorgt werden.

Die Ergebnisse für die Massenabfalldeponie gelten analog. Bei Baurestmassendeponien kann aufgrund des niedrigeren technischen Standards der Deponieabdichtung und der fehlenden Erfassung und Behandlung von Deponieabwässern die beschriebene Problematik verschärft – insbesondere bei Weich-PVC - auftreten.

4.12 Verbleib im Boden nach Nutzungsdauer

Zusammenfassung

Kabel, Rohre und zum Teil auch Folien, die im Boden verbleiben, stellen zwar eine langfristige Emissionsquelle von ökologisch kritischen Substanzen (insbesondere Weichmacher und Pb-Stabilisatoren) dar, aufgrund der als sehr gering zu bewertenden lokalen Konzentrationen, des hohen Aufwandes der Entfernung, der stark veränderten Stoffeigenschaften und der anhaftenden Verunreinigungen nach Entfernung stellt der Verbleib im Boden eine mit der Benchmark (werkstoffliches Recycling) gleichwertige Vorgangsweise dar.

Einschränkend ist anzumerken, dass in besonders sensiblen Bereichen (z.B. Wasserschutzgebiete) abhängig von konkreten, lokalen Umständen eine Entfernung alter Bestände sinnvoll bzw. notwendig sein kann und der Neueinbau sensibler Materialien verhindert werden sollte.

Ein Vergleich mit den Benchmarks ist nur für die Abfalltypen 1 und 2 möglich.

Bewertung aus stofflicher Sicht:

- In die lokale Umgebung können Weichmacher und Pb-Stabilisatoren in niedrigen Konzentrationen abgegeben werden.
- + Bei Entfernung ist eine große Menge Umgebungsmaterial – mit entsprechendem umweltrelevanten Aufwand - zu bewegen und zu transportieren.

Bewertung aus abfallbezogener Sicht:

- + Die bei der Entfernung anfallenden sonstigen Abfälle (Bodenaushub) übersteigen die Menge der Kabel bzw. Rohre um ein Vielfaches.
- + Im Boden verbliebene, nicht mehr funktionsfähige (dichte) Rohre können im Einzelfall sinnvoll weitergenutzt werden (z.B. als Schutzmantel für Kabel).

Bewertung aus Emissionssicht:

- Es kommt zur Abgabe von Weichmacher und Stabilisatoren an die lokale Umgebung. Der Beitrag dieser Substanzen zur Gesamtbelastung des Bodens – insbesondere im bewohnten bzw. industriell genutzten Gebieten – ist als gering bis sehr gering einzuschätzen.

Bewertung aus energetischer Sicht:

- Der Energiegehalt der Fraktion kann nicht mehr für neue Produkte genutzt werden und ist daher schlechter als bei der Benchmark.

Investitionskosten:

- ++ Der Investitionsaufwand ist nicht vorhanden und daher deutlich günstiger als bei der Benchmark.

Betriebskosten:

- ++ Die Betriebskosten sind deutlich geringer als bei den Verfahren der entsprechenden Benchmarks.

Kapazität:

- + im unbegrenztem Ausmaß vorhanden

5 **Entwicklungen und Trends für Verwertungs- und Behandlungsverfahren**

Die Entwicklungen und Trends bei der Verwertung bzw. Behandlung von PVC-Abfällen konzentrieren sich derzeit von Seiten der Industrie sowohl auf eine Ausweitung des hochwertigen werkstofflichen Recyclings als auch zunehmend auf das rohstoffliche Recycling und dort insbesondere auf Verfahren für Verbundmaterialien. Generell ist festzuhalten, dass die PVC-Industrie derzeit bei Weich-PVC-Anwendungen wie z.B. Fußbodenbeläge, Dachbahnen, Planen mehr zum werkstofflichen Recycling nach dem Vinyloop-Verfahren tendiert, da zum einen größere Mengen verwertet werden können und zum anderen das Einsatzspektrum der gewonnenen Recyclate breiter ist. Auf dem Gebiet des rohstofflichen Recyclings sind derzeit einige neue Verfahren in der Versuchsphase, um Verbundwerkstoffe bzw. chlorreiche Abfallfraktionen zu verwerten (z.B. Hydrolyseanlage in Dänemark).

Ein Grund, warum eine hochwertige Verwertung von PVC-Post-User-Abfällen derzeit nur für relativ geringe Mengen durchgeführt wird, liegt in der fehlenden Bereitstellung ausreichender Abfallmengen. Vor allem bei den mengenmäßig bedeutenden Fraktionen wie PVC-Rohre, Fenster, Bodenbeläge und Dachbahnen werden aktuell die zur Verfügung stehenden Verwertungskapazitäten nicht ausgelastet. Deshalb liegt ein Schwerpunkt der PVC-Industrie derzeit im Aufbau von Erfassungssystemen, um für die bereits etablierten hochwertigen Verwertungsmöglichkeiten genügend Abfälle in der erforderlichen Qualität zur Verfügung zu stellen.

Eine weitere Forschungsinitiative betrifft die Rauchgasreinigung von Verbrennungsanlagen, in denen PVC-Abfälle eingesetzt werden. Ziel ist es zum einen, die Schadstoffkonzentrationen im Rauchgas zu reduzieren und zugleich die dabei anfallenden umweltrelevanten Rückstände aus der Rauchgasreinigung zu minimieren.

Inwieweit und in welchem Umfang PVC-Produkte einem bestimmten Verwertungsweg zugeführt werden, hängt neben der Verfügbarkeit der entsprechenden Menge und Qualität auch entscheidend von wirtschaftlichen Randbedingungen wie z.B. dem Marktpreis von Frisch-PVC ab. Je höher der Preis für Frisch-PVC ist, desto größer ist die Bereitschaft, PVC über aufwendige und meist teure Behandlungsverfahren zurückzugewinnen und als Sekundärrohstoff bei der Neuproduktion wieder einzusetzen.

Bei den Prae-User-Abfällen geht der Trend eindeutig zum werkstofflichen Recycling, das für Produktionsabfälle meist direkt im Betrieb durchgeführt wird. Auch Verarbeitungs- und Installationsabfälle können ohne größeren Aufwand sortenrein und ohne Verschmutzungen gesammelt werden. Prae-User-Abfälle langlebiger Produkte können ohne größere Probleme aufbereitet

werden, da ihre Zusammensetzung weitgehend den derzeit eingesetzten Rezepturen entspricht.

Weitere Auswirkungen auf die Entwicklung von Recyclingverfahren haben bestehende Regelungen und können eventuelle zukünftige politische Entscheidungen bezüglich Additiven und PCBs haben.

In Österreich ist die Inverkehrsetzung von PCB in Zubereitungen generell verboten. Damit ist die werkstoffliche Verwertung von alten Post-User Kabelabfällen (im Gegensatz zu Verschnitt-Abfällen aus Neuinstallationen) nicht möglich.

Wird z.B. die in Deutschland derzeit diskutierte Senkung des PCB-Gehalts für Sekundärrohstoffe von aktuell 50 mg/kg Produkt auf 5 mg/kg realisiert, so ist ein Recycling von PVC- bzw. Kunststoffummantelungen von Kabeln nach Angaben der Industrie nicht mehr möglich bzw. stark eingeschränkt. Die anfallenden Abfälle aus der Kabelaufbereitung müssten dann entsprechend rohstofflich oder thermisch behandelt werden.

Ähnlich stellt sich die Situation bei den Additiven dar. Ein absolutes Verbot von umweltrelevanten Additiven wie z.B. Cadmium- oder Bleistabilisatoren bei der Neuproduktion von PVC-Produkten führt dazu, dass die in Zukunft anfallenden Post-User-Abfälle nicht mehr dem werkstofflichen Recycling zugeführt werden können.

Freiwillige Selbstverpflichtung der Chemischen Industrie

Die Chemische Industrie hat sich mit ihrer "Freiwilligen Selbstverpflichtung zum nachhaltigen Wirtschaften der PVC-Branche" (März 2000) während des gesamten Lebensweges von PVC-Produkten verschiedene Ziele gesetzt [Lit. 56]. Diese Vorgaben betreffen u.a. die PVC-Produktion, Additive sowie die Verwertung am Ende der Nutzungsdauer von PVC-Produkten.

Bei der Verwertung von PVC-Abfällen besteht das Ziel der europäischen PVC-Industrie darin, bis zum Jahr 2010 rund 200.000 t PVC-Post-User-Abfälle jährlich entweder werkstofflich oder rohstofflich zu verwerten [Lit. 14]. Um dieses Ziel erreichen zu können, wurden u.a. für PVC-Rohre und PVC-Fenster konkrete Quoten für das werkstoffliche Recycling festgelegt. So sind gemäß Selbstverpflichtung "bis zum Jahr 2005 mindestens 50% der erfassten verfügbaren Menge von Abfällen aus Rohren und anderen Formstücken (bzw. Fensterprofilen) zu verwerten".

Im Oktober 2001 wurde die bestehende Freiwillige Selbstverpflichtung der PVC-Industrie um einige Punkte erweitert. So hat sich die Industrie zusätzlich verpflichtet, PVC-Fußbodenbelägen "bis zum Jahr 2008 mindestens 50% der erfassbaren verfügbaren Menge von Abfällen aus Fußbodenbelägen zu verwerten" (Zielquote für 2006: 25%). Gleichzeitig haben sich die Herstel-

ler von Dachbahnen verpflichtet "bis zum Jahr 2005 mindestens 50% der erfassbaren verfügbaren Menge von Abfällen aus Dachbahnen zu verwerten"(Zielquote für 2003: 25%).

Für PVC-Kabel gibt es derzeit keine entsprechenden Zielvorgaben. Die Chemische Industrie verpflichtet sich jedoch dazu, die Sammellogistik sowie neue Technologien für ein hochwertiges Recycling zu unterstützen.

Weiters verpflichtet sich die PVC-Industrie dazu, die bei der Verbrennung von PVC-Abfällen im Rauchgasreinigungsprozess anfallenden Rückstände durch entsprechende Technologieentwicklungen möglichst gering zu halten.

Zusätzlich zu der bereits bestehenden Verpflichtung im Bezug auf Bleistabilisatoren wie die Veröffentlichung des jährlichen Bleieinsatzes, hat sich die PVC-Industrie im Oktober 2001 verpflichtet, zum einen mögliche Auswirkungen von Bleistabilisatoren zu untersuchen und zum anderen die Verwendung von Bleistabilisatoren bis zum Jahr 2015 vollständig einzustellen. Dabei wurden folgende Minderungsziele zur Substitution festgelegt:

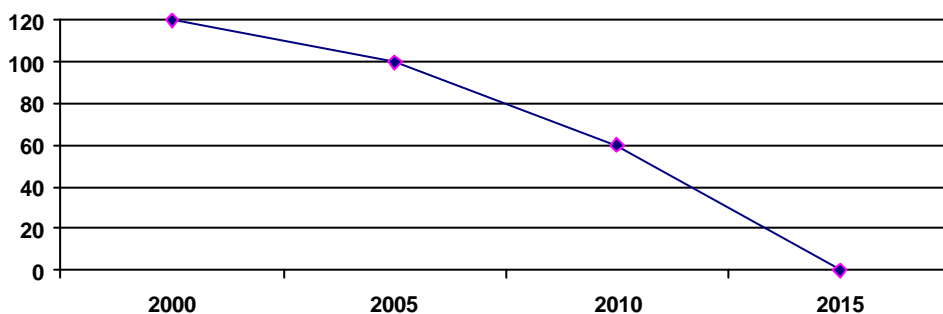


Abbildung 5-1: Vorgesehene Reduktion von Bleistabilisatoren in der PVC-Industrie [Lit. 61]

Im April 2002 veröffentlichte die PVC-Industrie den zweiten Fortschrittsbericht über die Freiwillige Selbstverpflichtung der PVC Industrie zur nachhaltigen Entwicklung, um einen Überblick über die im vorhergegangenen Jahr errichteten Fortschritte bezüglich der Umsetzung der Selbstverpflichtung zu geben.

Bezüglich der Cadmium-Stabilisatoren wurde nach Angaben der PVC-Industrie die Selbstverpflichtung erfüllt und somit seit März 2001 die Verwendung als auch der Verkauf von Cadmium-Stabilisatoren eingestellt.

Literaturverzeichnis

- Lit. 1 „Mechanical Recycling of PVC Wastes“, Study for DG XI of the European Commission (B4-3040/98/000821/MAR/E3), Prognos 2000
- Lit. 2 „Chemical Recycling of Plastics Waste“ (PVC and other resins), Study for DG III of the European Commission, TNO-report STB-99-55 Final
- Lit. 3 „PVC –daten-fakten-perspektiven“, Leitfaden zum Thema PVC, herausgegeben von: AgPU, API, PVCH, VKE, 1997
- Lit. 4 „pvc-recycling, die verwerterliste“, AgPU, 2000
- Lit. 5 „pvc-recycling, die aktuelle information“, AgPU, 1998
- Lit. 6 „Starke Seiten“ Wissenswertes über den Kunststoff PVC, API, 1999
- Lit. 7 Recycling von Bauprodukten aus Kunststoff, API PVC- und Umweltberatung GmbH, Wien, 1997
- Lit. 8 Produktinformation Nr. 1 PVC, PVC plus Kommunikations GmbH, PVCCH Arbeitsgemeinschaft der Schweizerischen PVC-Industrie, API PVC- und Umweltberatung GmbH, 2000
- Lit. 9 Fortschrittsbericht 2001, ECVI, EuPC, espa, epci
- Lit. 10 "PVC – der Werkstoffklassiker mit der Prise Salz", Dr. Joachim Mügge, in Sonderdruck aus Technischer Handel, Ausgabe 2/1997, Seiten 111 – 114
- Lit. 11 "Weich-PVC im Härtetest", Gerhard Gans, Baukammer Berlin 3/1999
- Lit. 12 PVC-Stabilisatoren, J.-D. Klamann, Loxstedt, in Kunststoffe 86, 1996
- Lit. 13 "PVC-Produkte – auch mit Cd-Stabilisatoren recyclingfähig", AgPU
- Lit. 14 PVC- Sustainable Development, API, 2000
- Lit. 15 Forschungszentrum Karlsruhe, Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse, Homepage 2001
- Lit. 16 ACTUAL Fenster AG, Stellungnahme zum Grünbuch der EU
- Lit. 17 AgPU, Neubewertung von DEHP durch schwedische Gesundheitsbehörde, 2001
- Lit. 18 Grünbuch zur Umweltproblematik von PVC, KOM (2000) 469 endgültig
- Lit. 19 "Kunststofffenster-Recycling", VEKA Umwelttechnik GmbH, Behringen
- Lit. 20 „The influence of PVC on the quantity and hazardousness of flue gas residues from incineration; EU-Commission; Bertin 2000
- Lit. 21 The behaviour of PVC in Landfill, im Auftrag der DG XI –E:3, AGRUS 2000
- Lit. 22 „Aktualisierung der Müllanalysen für das Bundesland Salzburg“, Amt der Salzburger Landesregierung, Innovative Umwelttechnik GmbH, 1996

- Lit. 23 „Leistungsbericht 1999 der Abfallwirtschaft“ Schriftenreihe der MA 48 Band XXIII, Wien 2000
- Lit. 24 „Survey of Municipal Solid Waste Combustion in Europe“ TNO Institute of Environmental and Energy Technology, Report N°92-304, August 1993
- Lit. 25 „Abfallaufkommen in Österreich – Bundesabfallwirtschaftsplan 1998“, BMUJF 1998
- Lit. 26 „Nicht gefährliche Abfälle in Österreich Materialien zum Bundesabfallwirtschaftsplan 1998“ BMUJF 1998
- Lit. 27 Persönliche Gespräche mit Vertretern BMLFUW, 2001
- Lit. 28 Verordnung über die Trennung von Baurestmassen BGBl 1991/259
- Lit. 29 Stoffflussanalyse und Vergleich zweier Aufbereitungstechniken für Baurestmassen; UBA Monographien, Band 99 Wien, 1998.
- Lit. 30 <http://www.hamburg.de/Behoerden/Umweltbehoerde/duawww/dea8/25b2/ABB118.XLS> (2001)
- Lit. 31 <http://www.agpu.de/sermenu.htm> (2001)
- Lit. 32 http://www.pvc.at/d/themen_recycling_print_0301_1.htm (2001)
- Lit. 33 http://www.pvc.at/d/themen_recycling_kabel.htm (2001)
- Lit. 34 http://www.oekr.at/frames_index.htm (2001)
- Lit. 35 http://www.pvc.at/d/anwend_mobil_0199_5.htm (2001)
- Lit. 36 Altkabel-Recycling in Deutschland vor dem Hintergrund der PCB-Problematik; Verein deutscher Metallhändler e.V., 2001
- Lit. 37 <http://www.oekoservice.at/Altfenster.htm> (2001)
- Lit. 38 Jahresbericht 1999 der Fachgruppe Kabel, Leitungen und Drähte im Fachverband der Elektro- und Elektronikindustrie, 2000
- Lit. 39 <http://www.ubavie.gv.at> (Anlagendatenbank Stand 06/2001)
- Lit. 40 Kunststoffinstitut 2001, persönliches Gespräch
- Lit. 41 Leitfaden Bioenergie, Herausgeber FNR, Gülzow 2000
(zitiert im Internet: Institut für Verfahrenstechnik und Dampfkesselwesen (IVD) Universität Stuttgart)
- Lit. 42 <http://www.katalyse.de/umweltlexikon/daten/wirbelschichtfeuerung.html>
- Lit. 43 Polyvinylchlorid: zur Umweltrelevanz eines Standardkunststoffes, Walter Tötsch, 1990
- Lit. 44 PVC Additives Q & A Paper, PVC Information Council, 1996
- Lit. 45 Handlungsfelder und Kriterien für eine vorsorgende Stoffpolitik am Beispiel PVC, Umweltbundesamt Berlin
- Lit. 46 Persönliche Gespräche mit Vertretern BMLFUW, 2001 (2)

- Lit. 47 Persönliche Gespräche mit Vertretern Bundessektion Sekundärrohstoffhandel 2001
- Lit. 48 Dalager, S; Danske Massebalanceundersøgelser, Konference om afaldsforbrænding under nye betingelser, September 6, 1993 København, DK, 1993
- Lit. 49 Verordnung über das Verbot von halogenierten Stoffen BGBl. 1993/210
- Lit. 50 Pantke, Michael; Gravimetrisch, elektronenoptisch und chemisch erfassbare Veränderungen an PVC-Folien nach Erd-Eingrabeversuchen. Material und Organismen (1970), Nr. 5, p. 197-215
- Lit. 51 Mersiowski, I. et al.; Long-term behavior of PVC products under soil-buried and landfill conditions, Technical University of Hamburg-Harburg, Germany; Linköping University, Sweden; 1999
- Lit. 52 Umweltbundesamt; Handlungsfelder und Kriterien für eine vorsorgende nachhaltige Stoffpolitik am Beispiel PVC. Beiträge zur nachhaltigen Entwicklung. Erich Schmid Verlag, Berlin, 1999
- Lit. 53 Stellungnahme zum Grünbuch zu PVC der EU-Kommission; Verband der Chemischen Industrie e.V., Verband der Kunststoffherstellenden Industrie e.V., Arbeitsgemeinschaft PVC und Umwelt e.V., 2000
- Lit. 54 Konjunkturstatistik produzierender Bereich 1990, 1998; ÖSTAT
- Lit. 55 Schlämme aus industrieller biologischer Abwasserreinigung; AFC, PEROTECH im Auftrag des BMU 1999
- Lit. 56 Freiwilligen Selbstverpflichtung zum nachhaltigen Wirtschaften der PVC-Branche, März 2000
- Lit. 57 www.agpr.de
- Lit. 58 Bauprodukte und –Inhaltsstoffe, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Urs von Arx, VSA-Fachtagung vom 28. Mai 1999
- Lit. 59 Die Freiwillige Selbstverpflichtung der PVC-Industrie zur nachhaltigen Entwicklung, Fortschrittsbericht 2002, Vinyl 2010, April 2002
- Lit. 60 PVC-Recycling, Arbeitsgemeinschaft PVC und Umwelt e.V., 2002, Bonn
- Lit. 61 Freiwillige Selbstverpflichtung der PVC-Industrie, Vinyl 2010, Oktober 2001
- Lit. 62 "Kriterien Innenraum" im Auftrag der MA 22 Umweltschutz, Redaktion: "die umweltberatung", DI Alexandra Amerstorfer, DI Johannes Fechner
- Lit. 63 "Gift unter unseren Füßen", Greenpeace Österreich,
- Lit. 64 European PVC Stabiliser Tonnages, espa, 2002
- Lit. 65 Fachinformation Umwelt und Gesundheit – Flammschutzmittel, www.umweltministerium.bayern.de
- Lit. 66 www.agpu.de/faktmenu.htm
- Lit. 67 Leistungsbericht der ARGEV 2001
- Lit. 68 European Industry Position Paper on PVC Stabilisers, ECVM 1996
- Lit. 69 "Rezension von Udo Jeske" Forschungszentrum Karlsruhe, ITC-Zentralabteilung Technikbedingte Stoffströme, TA-Datenbank-Nachrichten, Nr. 4/9 Jahrgang Dezember 2000, S. 117-122

