

KUNSTSTOFFFLÜSSE UND MÖGLICHKEITEN DER KUNSTSTOFFVERWERTUNG IN ÖSTERREICH

Roland FEHRINGER
Paul H. BRUNNER

MONOGRAPHIEN

Band 80

M-080

Wien, 1997

Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie



Projektleitung

Reinhard Günzel

Autoren

Roland Fehringer, Paul H. Brunner (TU Wien, Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft)

Helmut Baumann (Österreichisches Kunststoffinstitut, ÖKI)

Übersetzung

Michael Zobel

Titelphoto

Zur Wiederverwertung bestimmte Kunststoffgefäße, Abfallbehandlungsanlage der MA 48 ("Rinterzelt"), Wien (B. Gröger)

Die Studie wurde im Auftrag des Umweltbundesamtes und in Zusammenarbeit mit dem Österreichischen Kunststoffinstitut erstellt.

Impressum

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt (Federal Environment Agency)
Spittelauer Lände 5, A-1090 Wien (Vienna), Austria

Druck: Radinger, 3270 Scheibbs

© Umweltbundesamt, Wien, 1997
Alle Rechte vorbehalten (all rights reserved)
ISBN 3-85457-331-6

KURZFASSUNG - Kunststoffflüsse und Möglichkeiten der Kunststoffverwertung in Österreich

Die vorliegende Arbeit hat zwei Ziele:

1. Es sollen Grundlagen für die Bewirtschaftung von Kunststoffabfällen in Österreich erstellt werden. Zu diesem Zweck wurden die *gesamten* Flüsse und Lager von Kunststoffen und deren Abfällen wie auch von wichtigen Kunststoffadditiven mengenmäßig untersucht. Dieses Wissen ist eine notwendige Grundlage für Entscheidungen bezüglich der Verwertung und Entsorgung von Abfällen.
2. Es soll eine Methode entwickelt und eingesetzt werden, um verschiedene Konzepte (Status Quo, stoffliche Verwertung, thermische Verwertung) zur Bewirtschaftung von Kunststoffabfällen hinsichtlich der Erfüllung der Ziele des österreichischen Abfallwirtschaftsgesetzes zu vergleichen.

Die Arbeit beschränkte sich auf naturwissenschaftlich-technische Aspekte. Weder wirtschaftliche Fragen noch solche der Akzeptanz wurden untersucht. Aufgrund des beschränkten Budgets und der unterschiedlichen Datenlage konnten nicht alle abfallwirtschaftlichen Verfahren in der notwendigen Tiefe behandelt werden. Die kaskadische Nutzung wurde in dieser Studie nicht betrachtet. Die im folgenden zusammengefaßten Resultate werden durch diese Einschränkungen jedoch nicht beeinträchtigt.

- 1994 betrug der Gesamtverbrauch an Kunststoffen in Österreich 1,1 Mio. Tonnen (140 kg je Einwohner und Jahr). Die Masse an Kunststoffen im Gebrauch betrug rund 7 Mio. Tonnen. Dieses "Lager" wächst rasch: Bis zum Jahr 2000 wird pro Österreicher eine Tonne Kunststoffe im Einsatz stehen. Der Hauptteil der neu eingesetzten Kunststoffe gelangt in den Bausektor; der zweitgrößte Teil wird mit rund 19 % für Verpackungszwecke eingesetzt.
- 1994 fielen in Österreich 760 000 Tonnen Kunststoffabfälle an. Ca. 80 % davon wurden auf Deponien abgelagert. Das "Lager" an Kunststoffen in Deponien ist mit knapp 10 Mio. Tonnen bereits größer und wächst schneller als die Masse an Kunststoffen im Gebrauch. Ohne Gegenmaßnahmen wird sich die Masse an Kunststoffen in Deponien in den nächsten 12 Jahren verdoppeln. Die bisherige Praxis der Deponierung der Kunststoffabfälle widerspricht den Zielen der Abfallwirtschaft, insbesondere bezüglich der "Schonung des Deponievolumens" und der "optimalen Nutzung von Rohstoffen und Energie".
- 1994 wurden rund 50.000 Tonnen Kunststoffabfälle (vorwiegend Polyethylen) stofflich verwertet. Dies sind 7 % der gesamten Kunststoffabfälle. 1,4 % der in Österreich verarbeiteten Kunststoffe sind Regranulate der stofflichen Verwertung. Der Großteil der Regranulate ist für den Export bestimmt.
- In den in Österreich jährlich umgesetzten Kunststoffen sind rund 100.000 Tonnen organische und anorganische Additive enthalten, im "Lager" befinden sich rund 800.000 Tonnen im Gebrauch. Darin enthalten sind einige tausend Tonnen an Schwermetallen wie Zink, Blei und Cadmium. In den Deponien befinden sich ca. 1 Mio. Tonnen Additive. Über das Langzeitverhalten dieser Stoffe in den Deponien ist heute wenig bekannt.

- Bei den Additiven handelt es sich teilweise um toxische und nicht umweltverträgliche Wirkstoffe. Sowohl bei der Verwertung wie auch bei der Entsorgung sind das Verhalten und der Verbleib dieser Substanzen von großer Bedeutung für die Umwelt. In jedem Fall ist es notwendig, den Pfad der relevanten Additive für die Sekundärkunststoffe über die Verwertung und Entsorgung bis zur letzten Senke zu kennen.
- Anhand der im § 1 des österreichischen Abfallwirtschaftsgesetzes enthaltenen Ziele wurden erstmals verschiedene Strategien zur Verwertung und Entsorgung von Kunststoffabfällen bezüglich ihrer Zielerfüllung miteinander verglichen. Um die erhaltenen Resultate zu vertiefen, wird der für dieses Projekt erarbeitete methodische Ansatz in Zukunft weiter zu entwickeln sein.
- Das Ziel des Variantenstudiums war nicht, die bestmögliche Variante zu entwickeln, sondern zu lernen, in welche Richtung Maßnahmen bezüglich der Zielerfüllung des Abfallwirtschaftsgesetzes wirken können. Die praxistauglichen Varianten müssen zukünftig unter Berücksichtigung von volks- und betriebswirtschaftlichen Aspekten, vorhandenen und bereitstellbaren Kapazitäten wie auch der Akzeptanz in Gesellschaft, Politik und Wirtschaft gesucht werden.
- Der Vergleich des "Status Quo 1994" mit fünf Varianten der Bewirtschaftung von Kunststoffabfällen zeigt die Schwierigkeiten auf, die zur Erfüllung der Ziele des AWG zu überwinden sind. Noch kann keine der geprüften Varianten alle Ziele vollständig erfüllen.
- Dem Ziel am nächsten kommen diejenigen Szenarien, die durch ein thermisches Verfahren einerseits die Energie der Kunststoffe nutzen und andererseits die in den Additiven enthaltenen Schadstoffe in eine geeignete, langfristig umweltverträgliche letzte Senke lenken. Die Mülldeponie stellt keine geeignete Senke für Kunststoffe dar.
- Die stoffliche Nutzung der Kunststoffabfälle erweist sich dann als zielführend, wenn sie mit einer thermischen Nutzung kombiniert wird, und wenn sie sich auf bestimmte, mit vertretbarem Aufwand sammelbare Güter beschränkt. In Zukunft sind die Güter so zu gestalten, daß sie diesem Kriterium gerecht werden. Aus heutiger Sicht können in Summe kaum mehr als 30 % der Kunststoffabfälle stofflich verwertet werden.
- Da es sich zeigte, daß beispielsweise eine minimale stoffliche Verwertung in Kombination mit einer thermischen Verwertung ähnlich gut abschneidet wie eine reine thermische Verwertung, ist es unbedingt notwendig, zusätzlich zu den vorliegenden Untersuchungen auch die Gesamtkosten der Varianten zu überprüfen und zu vergleichen. Unter Berücksichtigung der Verhältnismäßigkeit können auch weniger kostengünstige Varianten zum Einsatz kommen, wenn sie die Ziele des Abfallwirtschaftsgesetzes erfüllen.

Zukünftige Maßnahmen zur wirtschaftlich effizienten Steuerung respektive optimalen Nutzung der Ressource "Kunststoffe" sollen den gesamten Kunststoffhaushalt (alle wichtigen Flüsse, Lager und letzten Senken) berücksichtigen. Die sektorale Betrachtungsweise beispielsweise einzelner Kunststofffraktionen alleine kann zu Lösungen führen, die bezogen auf die gesamten Kunststoffflüsse und -lager wenig wirksam und teuer sind.

ABSTRACT - Flows of Plastics and their Possible Treatment in Austria

This study pursues two objectives:

1. In order to create a basis for the management of plastic wastes in Austria the *total* flows and stocks of plastics, waste plastics and additives in plastics have been investigated. The results are indispensable for decisions concerning waste management and disposal.
2. To develop and implement a method to compare various management concepts for plastic wastes (status quo, recycling, thermal treatment) in view of the targets of the Austrian Waste Management Act.

The study focused on scientific and technical aspects. Questions such as economic feasibility or general acceptance were not considered. Because of budget restraints and lack of data it was impossible to examine all waste treatment processes in the same full detail. The cascading utilization of plastics was not considered in this study. However, these restrictions do not affect the results summarised below.

- In 1994 overall consumption of plastics in Austria was 1,1 million tonnes or 140 kg per capita. The total amount of plastics in use was some 7 million tonnes. This "stock" is increasing fast. By the year 2000 the per capita use of plastics will be one tonne. The bulk of newly employed plastics is used for construction; the second largest part is used for packaging (19 %).
- In 1994 plastic wastes in Austria amounted to 760.000 tonnes. Around 80 % were landfilled. With some 10 million tonnes of plastic wastes in disposal sites, this stock is already larger and growing faster than the amount of plastics in use. Without counter-measures the amount of plastics in landfills will double within the next twelve years. The current disposal practice of waste plastics is contradictory to the target of The Waste Management Act (conservation of landfill volume, best use of resources).
- In 1994 some 50.000 tonnes of plastic wastes (mainly polyethylene) were recycled. This amounts to 7 % of total waste plastics. 1,4 % of plastics processed in Austria are made up from recycling regranulates.
- The plastics consumed annually in Austria contain some 100.000 tonnes of organic and inorganic additives. The "stock" of plastics in use holds some 800.000 tonnes of additives. Among these are several thousand tonnes of heavy metals, such as zinc, lead and cadmium. In landfills there are about 1 million tonnes of additives. At present there is little knowledge of the long-term effects of these substances in landfills.
- Some of the additives are toxic agents that are harmful for the environment. When recycled and disposed of, the pathways and effects of these substances are of particular importance regarding the environment. In any case it is indispensable to know the paths of the relevant additives for secondary plastics from recycling and disposal to the final sinks.
- Section One of the Austrian Waste Management Act establishes four targets. This study is the first comparison of various scenarios of recycling and disposal of plastic wastes and the

potential of each scenarios to meet these targets. The methode elaborated for this project will require further developement to confirm the results.

- The examination of the scenario was not meant to identify the best possible scenario, but to learn about the effects of measures in view of the targets of the Waste Management Act. Future scenarious require the consideration of macro- and microeconomic aspects, existing and potential capacities, as well as the acceptance among the public, policy-makers and businesses.
- Comparing the "Status Quo 1994" with five scenarios of plastic waste management shows the difficulties of meeting the targets of the Waste Management Act. So fare non of the scenarios examined fully meets all targets.
- Those scenarios come closest to the objectives, which on one side utilise thermal treatment and on the other side store harmful substances of the additives in an appropriate final sink. The landfill is not an appropriated sink for plastic wastes.
- Recycling proves expedient when combined with thermal treatment and used only for goods that can be collected cost effectively. In the future the goods have to be designed for this criterion. At present in total hardly more than 30 % of plastic wastes appear suitable for recycling.
- Minimal recycling, for example, combined with thermal treatment showed similar good results as thermal treatment alone. Therefore it is indispensable to examine and compare the total costs of the scenarios in addition to the present investigation. More expensive scenarios can be realized if they reach the target of the Waste Management Act, and if they are in proportion to the benefit
- Future measures for a cost-effective management and optimal use of the resource "plastics" should consider the total amassment of plastics (flows, stocks and final sinks). A mere sectorial approach, e. g. to singular fractions of plastics, may lead to solutions that are costly and scarcely efficient regarding the total flows and stocks of plastics.

INHALTSVERZEICHNIS

1 EINLEITUNG	11
2 STRUKTUR DES GESAMTPROJEKTES.....	12
3 KUNSTSTOFFFLÜSSE IN ÖSTERREICH.....	14
3.1 Kurze Einführung in die Kunststofftechnik.....	14
3.1.1 Produktion von Kunststoffen	17
3.1.2 Einsatz von Kunststoffen	18
3.1.3 Lebensdauer von Kunststoffen.....	20
3.1.4 Kunststoffabfälle	20
3.1.5 Entsorgung und Verwertung von Kunststoffabfällen	22
3.2 Zielsetzung und Fragestellung	24
3.3 Methodik.....	25
3.4 Vorgehen.....	26
3.4.1 Systemidentifikation.....	26
3.4.2 Datenmaterial	34
3.5 Ergebnisse.....	35
3.5.1 Quantifizierung der gesamten Kunststoffflüsse und -lager in Österreich.....	35
3.5.2 Quantifizierung der Polyethylenflüsse und -lager in Österreich.....	54
3.5.3 Quantifizierung der Vinylchloridpolymerflüsse und -lager in Österreich	72
3.5.4 Quantifizierung der auf die Kunststoffe zurückzuführenden Additivflüsse und -lager in Österreich.....	87
4 MÖGLICHKEITEN ZU STOFFLICHEN VERWERTUNG VON KUNSTSTOFFABFÄLLEN IN ÖSTERREICH	106
4.1 Zielsetzung und Fragestellung	106
4.2 Recyclieren von sortenreinen Kunststoffabfällen.....	106
4.2.1 Technische Beschreibung und Stand der Technik	107
4.2.2 Verfügbarkeit und Kapazität	112
4.2.3 Systemidentifikation „Sortenreine stoffliche Verwertung“	113
4.2.4 Güterbilanz der „Sortenreinen stofflichen Verwertung“	118
4.2.5 Stoffbilanzen der „Sortenreinen stofflichen Verwertung“	120
4.2.6 Energie- und Wasserverbrauch	123
4.2.7 Kostenabschätzung für die „Sortenreine stoffliche Verwertung“	124
4.3 Recyclieren von gemischten Kunststoffabfällen	124
4.3.1 Technische Beschreibung und Stand der Technik	125

4.3.2 Verfügbarkeit und Kapazität	126
4.3.3 Systemidentifikation „Gemischte stoffliche Verwertung“	127
4.3.4 Güterbilanz der „Gemischten stofflichen Verwertung“	129
4.3.5 Stoffbilanzen der „Gemischten stofflichen Verwertung“	130
4.3.6 Energie- und Wasserverbrauch	133
4.3.7 Kostenabschätzung für die „Gemischte stoffliche Verwertung“	134
4.4 Übersicht über die europäischen Kunststoffrecyclingbetriebe und deren Verarbeitungstechnologien	134
4.4.1 Deutschland	134
4.4.2 Schweiz	135
4.5 Technologische Entwicklungen beim stofflichen Kunststoffrecycling	135
5 VARIANTENVERGLEICH DER VERWERTUNG / BEHANDLUNG VON KUNSTSTOFFABFÄLLEN IN ÖSTERREICH	136
5.1 Zielsetzung und Fragestellung	136
5.2 Ausgangsbasis	136
5.3 Auswahl der Varianten	137
5.4 Welche Güterflüsse werden bilanziert?	140
5.5 Welche Stoffflüsse werden bilanziert?	142
5.6 Kriterien für den Variantenvergleich	143
5.7 Input in die ausgewählten Varianten	144
5.7.1 Input in die Variante I: IST-Zustand der Verwertung, Behandlung und Entsorgung von Kunststoffabfällen in Österreich für 1994	144
5.7.2 Input in die Varianten IIa und IIb: Höchstmögliche separate Sammlung mit primär stofflich/chemischer Verwertung der Kunststoffabfälle in Österreich	146
5.7.3 Input in die Variante IIIa: Höchstmögliche separate Sammlung mit primär thermischer Verwertung der Kunststoffabfälle in Österreich	148
5.7.4 Input in die Variante IIIb: Minimale (derzeit vorgeschriebene) separate Sammlung und primär thermische Verwertung von Kunststoffabfällen in Österreich	149
5.7.5 Input in die Variante IIIc: Keine separate Sammlung von Kunststoffabfällen in Österreich aber mit „Deponieverordnung“	150
5.8 Güter- und Stoffflüsse der verschiedenen Varianten	152
5.8.1 Stoffkonzentrationen von C, Ba, Cd, Cl, Pb und Zn im gesamten österreichischen Kunststoffabfall	152
5.8.2 Die Konzentrationen der ausgewählten Elemente in den bilanzierten Gütern der verschiedenen Verfahren zur Verwertung/Behandlung	152
5.8.3 Verteilung der Güter und Stoffe bei den verschiedenen Verfahren zur Verwertung/Behandlung von Kunststoffabfällen	154
5.8.4 Güter- und Stoffflüsse der Varianten I bis IIIc und deren Zielprozesse	160
5.9 Beurteilung dieser Güter- und Stoffflüsse bezüglich des AWG	168
5.9.1 Grundlagen zur Beurteilung der Güter- und Stoffflüsse bezüglich des AWG	168

5.9.2 Beurteilung der Güter- und Stoffflüsse bezüglich des AWG.....	173
6 ZUSAMMENFASSUNG.....	183
6.1 Zusammenfassung der Quantifizierung der gesamten Kunststoffflüsse und -lager in Österreich.....	183
6.2 Zusammenfassung der Quantifizierung der Polyethylenflüsse und -lager in Österreich.....	184
6.3 Zusammenfassung der Quantifizierung der Polyvinylchloridflüsse und -lager in Österreich.....	185
6.4 Zusammenfassung der Quantifizierung der Additivflüsse und -lager in Österreich	186
6.5 Zusammenfassung der Ergebnisse der Möglichkeiten der stofflichen Verwertung von Kunststoffabfällen in Österreich.....	187
6.6 Zusammenfassung der Ergebnisse des Variantenvergleiches.....	188
6.6.1 Auswahl der Varianten.....	188
6.6.2 Auswahl der Prozesse und Güter	189
6.6.3 Auswahl der Stoffe.....	189
6.6.4 Massen der Stoffe im österreichischen Kunststoffabfall:	190
6.6.5 Konzentrationen und Verteilungen der ausgewählten Stoffe:	190
6.6.6 Güter- und Stoffflüsse bei den einzelnen Varianten	192
6.6.7 Beurteilung der Güter- und Stoffflüsse bei den Varianten nach den Zielen des Abfallwirtschaftsgesetzes:.....	195
7 SCHLUSSFOLGERUNGEN	199
8 ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....	202
9 GLOSSAR.....	203
10 LITERATURVERZEICHNIS	205
ANHÄNGE.....	A 1 BIS A 56

1 Einleitung

Bereits Mitte des letzten Jahrhunderts wurden in Labors die ersten Polymere hergestellt. 1835 erhielt Regnault bei seinen Versuchen, Vinylchlorid herzustellen, auch Polyvinylchlorid. Die Polymerisation von Ethylen zu Ölen ist seit 1879 bekannt. Es dauerte jedoch noch bis in die 30er Jahre dieses Jahrhunderts, bis Technologien zur Herstellung von Kunststoffen verfügbar waren. Die industrielle Großproduktion der ersten Kunststoffe erfolgte während beziehungsweise nach dem Zweiten Weltkrieg. Es verging kaum ein Jahr, in dem nicht ein neuer Kunststoff erfunden wurde. Dieser Trend hat bis heute angehalten.

Mittlerweile gibt es mehr als 50 verschiedene Kunststoffsorten: Polyethylen (PE), Polypropylen (PP), Polyvinylchlorid (PVC), Polystyrol (PS), Polyethylenterephthalat (PET), um nur die wichtigsten zu nennen. Viele dieser Sorten umfassen wieder eine große Zahl von Typen. So ist zum Beispiel Polyethylen als HD-PE (high density) und LD-PE (low density) bekannt. Des Weiteren sind aber auch vernetzbare oder chlorierte Polyethylentypen verfügbar.

Viele herkömmliche metallische und nichtmetallische Werkstoffe können heute durch Kunststoffe ersetzt werden. Dies hat zwei wesentliche Gründe. Erstens die Vielzahl an verfügbaren Kunststoffen und zweitens die Additivierung dieser. Mit Hilfe von Additiven können die Eigenschaften der Kunststoffe verändert werden. Man spricht sogar von "Einstellen der gewünschten Eigenschaften".

Seit den 50er Jahren nahmen kurz- und langlebige Kunststoffgüter einen schnell wachsenden Anteil am gesamten Güterverbrauch ein. Für die Abfallwirtschaft hat dies dreierlei Konsequenzen: Erstens nahmen die Massen an Kunststoffabfällen stark zu, was eine Vergrößerung des Volumens des Hausmülls und der Abfälle aus Industrie und Gewerbe zur Folge hatte. Zweitens veränderten die im Müll zunehmend vorhandenen Kunststoffe die chemisch-physikalischen Eigenschaften des Mülls (z.B.: Gehalt an Energie, Kohlenstoff, Chlor, Cadmium etc.) was für die Abfallbehandlungsprozesse, insbesondere für die Müllverbrennung, von erheblicher Bedeutung ist. Und drittens wurden durch die langlebigen Kunststoffprodukte beispielsweise im Bau- und Einrichtungswesen wie auch im Automobilbau langfristige Kunststofflager aufgebaut, welche die zukünftige Abfallwirtschaft zu entsorgen bzw. zu verwerten haben wird.

Für die heutige Abfallwirtschaft stellt sich die Frage, durch welche Strategien und Maßnahmen Kunststoffe am effizientesten derart bewirtschaftet werden können, daß die Ziele des österreichischen Abfallwirtschaftsgesetzes (Schutz des Menschen und der Umwelt, Optimale Nutzung von Ressourcen, nachsorgefreie Deponie) [AWG, 1990] erfüllt werden. Um diese Frage beantworten zu können, benötigt man Kenntnisse über Produktion, Verbrauch, Konsum und derzeitige Entsorgung von Kunststoffen und deren Inhaltsstoffen, über die Wirkungsweise von Prozessen der Entsorgung und der Verwertung, über die Kosten von Sammlung, Behandlung und Verwertung von Kunststoffen, über die Akzeptanz von Verfahren und recycelten Produkten und vieles mehr. Entscheidungsträger bezüglich der optimalen Strategie werden mehrere Kriterien zu berücksichtigen haben.

2 Struktur des Gesamtprojektes

Die vorliegende Arbeit entstand auf Initiative des Umweltbundesamtes Wien und des Institutes für Wassergüte und Abfallwirtschaft der TU-Wien, die gemeinsam wichtige Grundlagen zur Beantwortung der anstehenden Fragen erarbeiteten. In erster Linie besteht die Absicht, die Kenntnisse über Kunststoffflüsse und -lager, über die in Kunststoffen enthaltenen Schadstoffe und Wertstoffe, über die Prozesse, die zur Verwertung und Entsorgung von Kunststoffen dienen können, als gesichertes Wissen zusammenzufassen und derart aufzuarbeiten, daß daraus Schlüsse für die optimale Nutzung des Rohstoffes "Kunststoff" unter Beachtung eines größtmöglichen Schutzes von Mensch und Umwelt gezogen werden können.

Zu diesem Zweck hat das Umweltbundesamt Wien zwei Studien in Auftrag gegeben.

- Der Inhalt der einen (vorliegenden) Studie liefert einen Überblick über die Kunststoffflüsse und -lager in Österreich, die Möglichkeiten zur stofflichen Verwertung von Kunststoffen in Österreich sowie einen Variantenvergleich zwischen einer stofflichen, einer thermischen und einer gemischten Verwertung von Kunststoffen in Österreich.
- Die andere Studie liefert einen Überblick über die Möglichkeiten zur thermischen Verwertung von Kunststoffen in Österreich.

Das Umweltbundesamt hat zur Durchführung dieser Studie folgende Struktur gewählt: Die Organisation und Koordination des Gesamtprojektes liegt beim Umweltbundesamt Wien. Die TU-Wien, Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft, (TU-Wien, AWS) und die Firma ENTEC, Gesellschaft für Abfallwirtschaft, Energie- und Umwelttechnik (ENTECH) wurden mit der Durchführung je einer Studie beauftragt. Die Firma ENTECH wechselte im Verlauf der vorliegenden Studie ihren Namen in PeroTech.

Auf Wunsch des Umweltbundesamtes erhielt das Österreichische Kunststoffinstitut (ÖKI) von der TU-Wien, AWS einen Subauftrag.

Die TU-Wien, AWS erstellte den Schlußbericht (Gesamtbericht mit Variantenvergleich) im gegenseitigen Einverständnis mit dem ÖKI und der PeroTech. ÖKI und PeroTech unterstützten die TU-Wien, AWS bei technologischen und prozeßorientierten Fragestellungen einerseits und bei Fragen bezüglich der Kunststoffmassen andererseits.

Die Abbildung 2-1: Struktur des Gesamtprojektes zeigt die Aufteilung der Themengebiete auf die an der Studie beteiligten Institutionen.

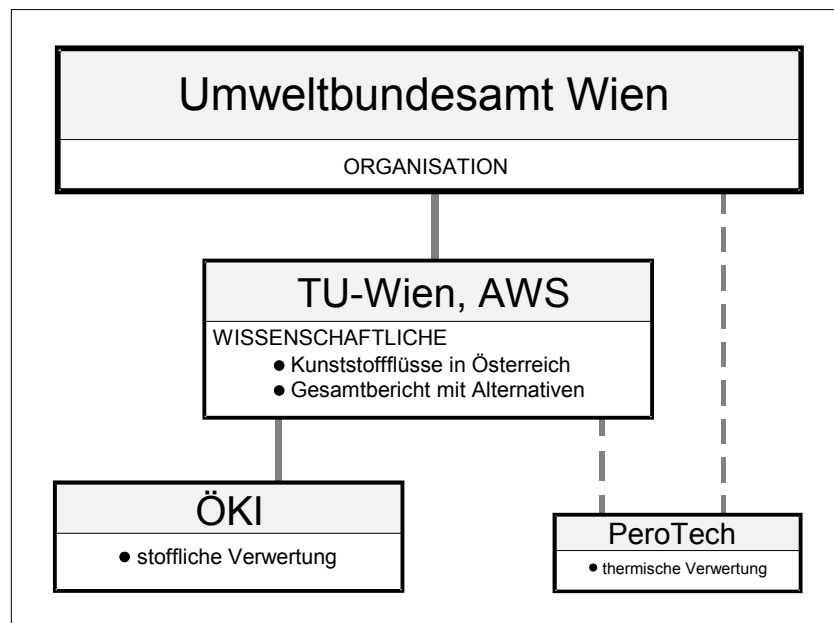


Abbildung 2-1: Struktur des Gesamtprojektes

Das Gesamtprojekt besteht aus vier Teilen. Die jeweiligen Autoren sind angeführt:

- **Kunststoffflüsse und -lager in Österreich**
Fehring, Brunner
- **Möglichkeiten zur stofflichen Verwertung von Kunststoffen in Österreich**
Fehring, Baumann
- **Möglichkeiten der thermischen Verwertung von Kunststoffen in Österreich**
Taibinger
- **Variantevergleich stoffliche, thermische Verwertung / Behandlung**
Fehring, Brunner, Baumann

Der vorliegende Bericht beinhaltet die Teile:

Kunststoffflüsse und -lager in Österreich,

die Möglichkeiten zur stofflichen Verwertung von Kunststoffen in Österreich und einen

Variantevergleich zwischen einer stofflichen, einer thermischen und einer gemischten Verwertung von Kunststoffen in Österreich.

3 Kunststoffflüsse in Österreich

Alle im Bericht verwendeten, kunststoffspezifischen Fachwörter werden im Kapitel 9 *Glossar* erklärt. Sämtliche Abkürzungen werden in der Regel nur bei der ersten Verwendung ausgeschrieben. Eine Übersicht über alle verwendeten Abkürzungen befindet sich im Kapitel 8 *Abkürzungsverzeichnis*.

3.1 Kurze Einführung in die Kunststofftechnik

Kunststoffe sind feste organische Stoffe, die durch chemische Verfahren synthetisch erzeugt werden, in der Natur also nicht vorkommen. Die Herstellung geschieht vorwiegend synthetisch durch Polymerisation, Polyaddition oder Polykondensation aus Erdöl, Erdgas, Kohle, Kalk, Wasser und Luft.

Die Palette der verfügbaren Kunststoffe umfaßt mehr als 50 verschiedene Sorten (Polyethylen, Polypropylen, Polyvinylchlorid), und jede dieser Sorten umfaßt wieder eine große Zahl verschiedener Typen (HDPE - Polyethylen mit hoher Dichte, LDPE - Polyethylen mit geringer Dichte).

Die Vorteile von Kunststoffen als Werkstoffe sind: niedriges spezifisches Gewicht, Zähigkeit, guter Verschleißwiderstand, hohe mechanische Festigkeit (im verstärkten Zustand), ausgezeichnete elektrische Eigenschaften, geringe Wärmeleitfähigkeit, gute Chemikalienbeständigkeit, leichte Formbarkeit, hervorragendes Schallschluckvermögen, gute Einfärbbarkeit und ausgezeichnete Oberflächengüte.

Es werden drei Kunststoffgruppen unterschieden:

- Thermoplaste
- Duromere (auch Duroplaste genannt)
- Elastomere

Thermoplaste: Das typische Kennzeichen der Thermoplaste ist ihr Weichwerden bei Erhöhung der Temperatur über den Erweichungspunkt und das Wiedererhärten nach Abkühlen. Dieser (beliebig oft wiederholbare) Vorgang wird genutzt beim Spritzgießen, Extrudieren, Blasformen und Umformen von Halbzeug und zur Herstellung von Fertigformteilen. Thermoplastische Kunststoffe lassen sich schweißen.

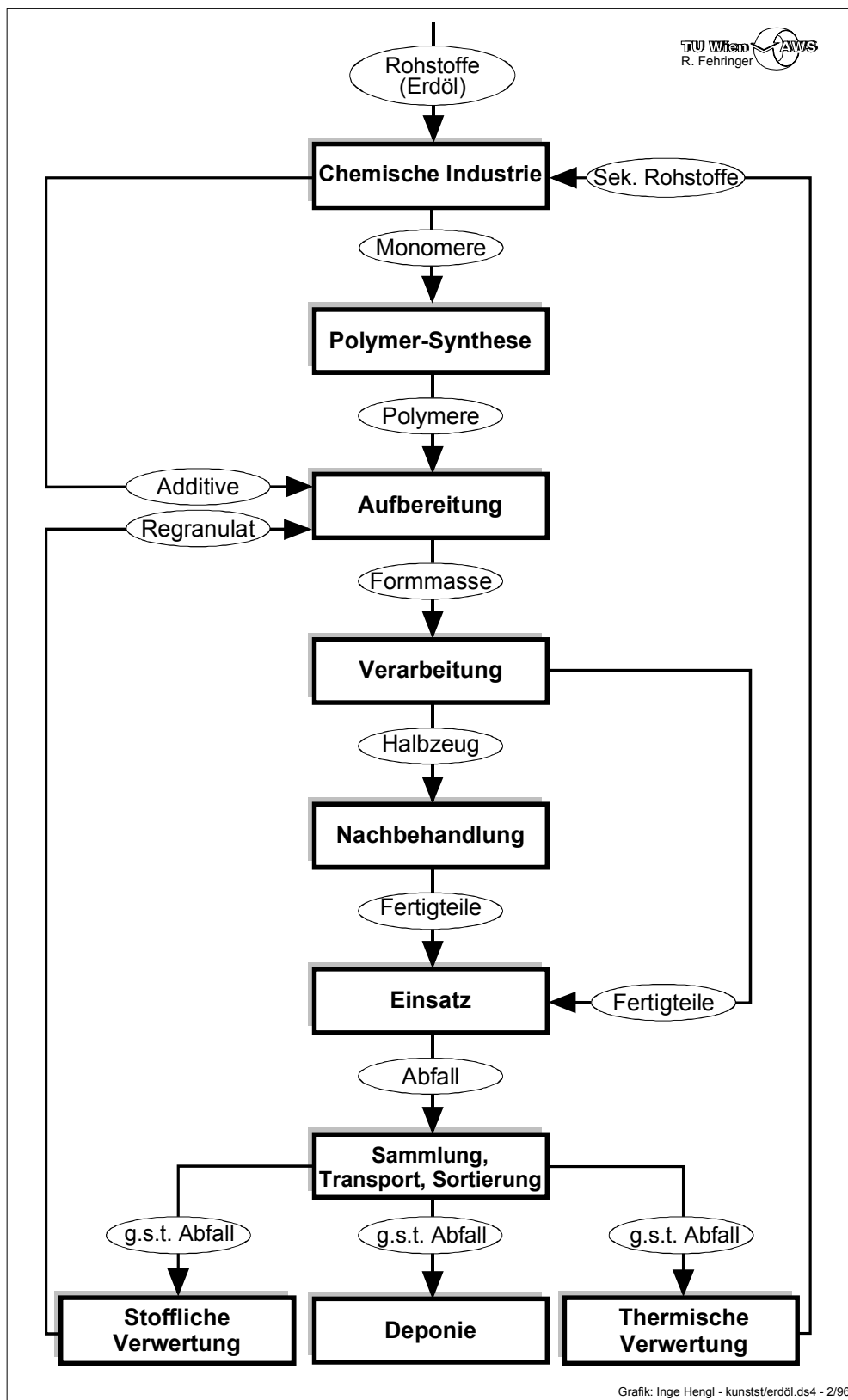
Nur thermoplastische Kunststoffe können stofflich über die Schmelze verwertet werden.

Duromere: Duromere, auch Duroplaste genannt, sind harte, feste Kunststoffe und behalten diesen Zustand bis zur Zersetzungstemperatur. Formteile aus duroplastischen Werkstoffen werden durch chemische, meist durch Erwärmung herbeigeführte Reaktionen hergestellt. Das fließbare Rohmaterial verliert dabei seine Plastizität und wird durch Aushärten starr und unerweichbar. Im Gegensatz zu den Thermoplasten besitzen Duromere eine irreversible Vernetzung.

Elastomere: Elastomere sind Stoffe, die sich durch eine geringe Kraft stark dehnen lassen und ohne Krafteinwirkung wieder rasch ihre ursprüngliche Form annehmen. Ausgangsstoff ist Kautschuk. Je nach Vernetzungsgrad der Polymerketten können Formteile mit verschiedenen mechanischen Eigenschaften hergestellt werden. Durch einen hohen Vernetzungsgrad entsteht Hartgummi, das in den Eigenschaften dann den Duroplasten ähnelt.

Aufgrund der oben erwähnten Fakten (verschiedenste Rohstoffe, verschiedene Kunststoffgruppen und so weiter) läßt sich schon erahnen, daß es für Kunststoffe kein allgemein gültiges Fließschema - von der Produktion bis zur Entsorgung - geben kann. So ist zum Beispiel eine stoffliche Verwertung, d.h. das Zerkleinern, Aufschmelzen und Wiederverarbeiten von Kunststoffabfällen nur bei den Thermoplasten möglich. Für eine Pyrolyse, also eine chemische Verwertung von Kunststoffen, eignen sich neben den Thermoplasten auch Duroplaste und Elastomere.

Die Abbildung 3-1: Fließschema für Kunststoffe von der Produktion bis zur Entsorgung zeigt das Fließschema von der Produktion bis zur Entsorgung, wie es für thermoplastische Kunststoffe üblich beziehungsweise im Bereich der Verwertung möglich ist. Produktions- und Verwertungsabfälle sind in dieser Abbildung nicht berücksichtigt.



g.s.t. Abfall: gesammelter und/oder sortierter und transportierter Kunststoffabfall

Abbildung 3-1: Fließschema für Kunststoffe von der Produktion bis zur Entsorgung

3.1.1 Produktion von Kunststoffen

Erdöl ist der wichtigste Rohstoff für die Kunststoffherstellung. Weltweit fließen ca. 7 % des Erdöles in die chemische Industrie. Diese produziert daraus Kunststoffe und andere Chemikalien im Verhältnis von 4 zu 3, d.h., daß ca. 4 % des globalen Erdölverbrauches für die Kunststoffproduktion verwendet werden. Die Prozentangaben in der folgenden Abbildung beziehen sich auf 100 % Erdöl.

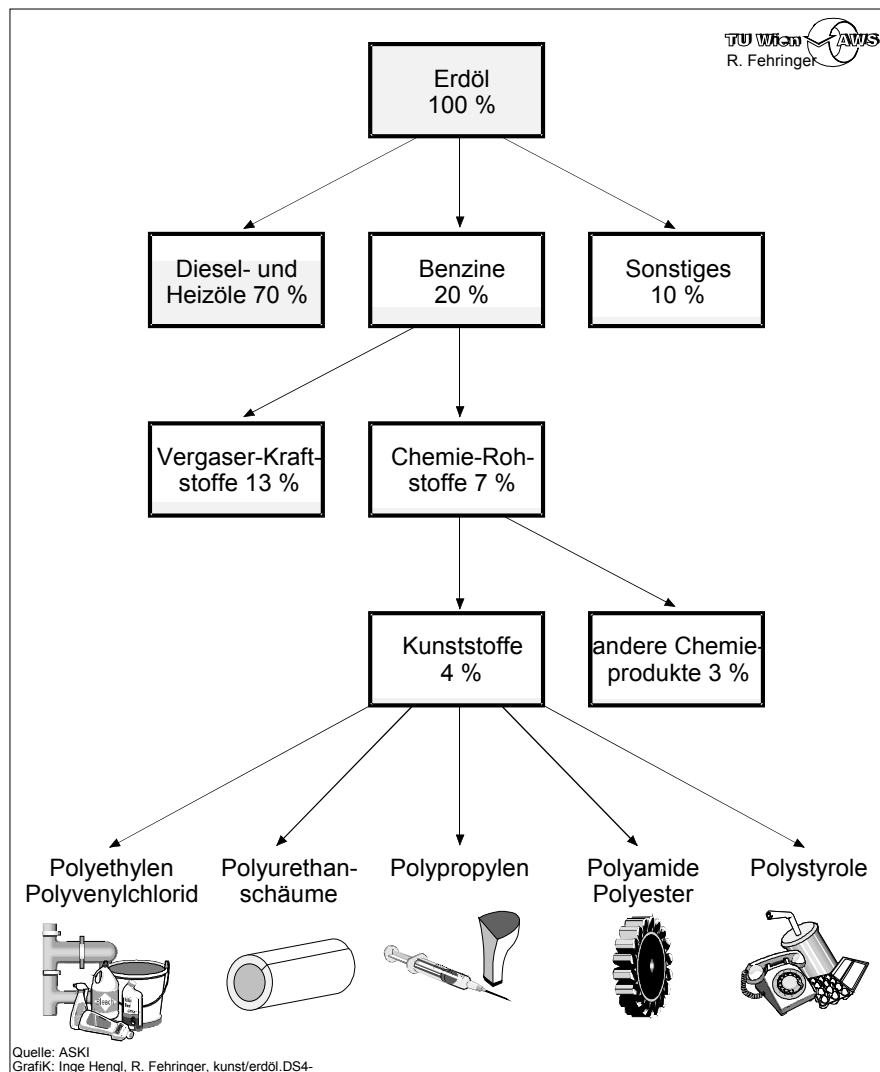


Abbildung 3-2: Globaler Weg vom Erdöl zum Kunststoff [ASKI, 1987]

Ein Großteil der Güterflüsse von der Rohstoffgewinnung über die chemische Industrie und der Polymer-Synthese bis zur Aufbereitung zur Formmasse findet nicht in Österreich, sondern im Ausland statt. Eine Ausnahme stellen lediglich die Polymer-Synthese und Polymerisation der Polyolefine Polyethylen und Polypropylen dar. Diese werden in Österreich im Überschuß produziert und zu ca. 85 % exportiert. Bis 1993 wurden in Österreich auch ca. 35.000 t Polyvinylchlorid hergestellt, seitdem wird dieses ebenfalls importiert [ÖKI, 1995].

Die Tabelle 3-1 gibt einen Überblick über den Import, die Produktion und den Export von thermoplastischen Formmassen und Duromerausgangsstoffen (= Rohkunststoffen) sowie den daraus resultierenden Verbleib für die Halbzeug- bzw. Fertigteileproduktion in Österreich im Jahre 1991.

Tabelle 3-1: Import, Produktion und Export von thermoplastischen Formmassen und Duromerausgangsstoffen in Österreich, 1991; [ÖWK, 1992]

Thermoplastische Formmassen und Duromerausgangsstoffe	Angaben in [1.000t]
Produktion	943
Import	687
Export	768
Verfügbar für die Produktion von Halbzeug und Fertigteilen in Österreich	862

Demnach waren 1991 knapp 900.000 t Kunststoffrohformen für die Verarbeitung zu Halbzeugen und Fertigteilen in Österreich verfügbar.

3.1.2 Einsatz von Kunststoffen

Da die Anwendungsgebiete der Kunststoffe fast unbegrenzt sind, ist an dieser Stelle eine detaillierte Auflistung nicht zweckmäßig. Die Tabelle 3-2 gibt einen Überblick über die wichtigsten Einsatzgebiete von Kunststoffen:

Tabelle 3-2: Einsatzgebiete von Kunststoffen; [Härdtle et al, 1991]

Einsatzgebiete von Kunststoffen	Angaben in [Massen- %]
Bausektor	25
Verpackungssektor	21
Elektroindustrie	15
Farbenindustrie	10
Fahrzeugindustrie	7
Möbelindustrie	5
Landwirtschaft	4
Haushaltswarenindustrie	3
Sonstige Gebiete	10
Summe	100

Typische Anwendungsgebiete von Kunststoffen sind z.B.:

Bausektor:

Rohrleitungen für Heizung, Trink- und Abwasser, Abdichtfolien, Isolierungen gegen Kälte, Wärme und Schall, Fenster, Türen etc.

Verpackungssektor:

Folien, Tuben, Becher, Fässer, Kanister, Flaschen, Kisten, Schrumpffolien etc.

Elektroindustrie:

Isolierungen von Fernmelde- und Hochspannungskabeln, Verteilerdosen, Gehäuse von Unterhaltungselektronikgeräten etc.

Fahrzeugindustrie:

Kraftstoffbehälter, Batteriekästen, Autoinnenverkleidungen, Handgriffe, Stoßfänger etc.

Möbelindustrie:

Bodenbeläge, Spanholzbeschichtungen etc.

Landwirtschaft:

Abdeckfolien, Blumentöpfe, etc.

Sonstiges Gebiete:

Spielzeug aller Art, diverse Verbrauchsartikel im Büro und Haushalt (z.B.: Kugelschreiber, Klarsichtfolien) etc.

Die nachfolgende Tabelle liefert einen Überblick über den Kunststoffverbrauch von 1992, aufgeschlüsselt auf ausgewählte Kunststoffsorten.

Tabelle 3-3: Verbrauch an Kunststoffwaren nach Kunststoffsorten in Österreich 1992 [ÖKI, 1995]

Kunststoffverbrauch nach Kunststoffsorten	Verbrauch 1992 in [t]
LDPE	164.000
HDPE	85.000
PP	120.000
PS und Styrolpolymere	35.000
PET	28.000
PVC	133.000
Sonstige (Amino-, Phenoplaste, Harze, techn. KST)	392.000
Summe:	957.000

3.1.3 Lebensdauer von Kunststoffen

Die Tabelle 3-4 liefert einen groben Überblick über die Lebensdauer verschiedener kunststoffhaltiger Verbrauchsgüter und von Produktionsabfällen. Obwohl diese Tabelle aus einer älteren Literatur stammt, darf sie hier (im Einführungskapitel) dargestellt werden. Sie geht in die nachfolgenden Berechnungen und Bilanzen nicht weiter ein.

Tabelle 3-4: Lebensdauer von Produktionsabfällen und verschiedener Verbrauchsgütern;
[Leidner, 1981]

Produkt	mittlere Lebensdauer in Jahren
Produktionsabfälle	0
Verpackung	<1
Wegwerfgegenstände	<1
Bauverkleidung	2
Schuhwerk	2
Kleidungsstücke	4
Haushaltswaren	5
Spielzeug	5
Sportgeräte	5
Automobile	10
Haushaltsgeräte	10
Möbel	10
Drähte, Kabel	15
Büromaschinen	15
Elektrische Geräte und Einrichtungen	15
Technische Ausrüstung	15
Werkzeuge, Instrumente	15
Baumaterialien	25

Die Lebensdauer von Kunststoffen ist sehr stark von den Anwendungsgebieten abhängig. Sie wird vereinfacht in drei Gruppen gegliedert:

- 0 - 1 Jahre kurzlebige Güter
- 1 - 10 Jahre mittellebige Güter
- über 10 Jahre langlebige Güter.

3.1.4 Kunststoffabfälle

Wie die Tabelle 3-4 zeigt, sind viele Gebrauchsgüter länger als ein Jahr in Verwendung. Das heißt, daß sie nicht im Jahr der Produktion zum Abfall werden, da sie über Jahre hinweg verwendet oder gelagert werden.

In der folgenden Tabelle sind die Kunststoffabfälle nach Anwendungsgebieten für 1992 aufgeschlüsselt. Der überwiegende Teil, mit Ausnahme der Verpackungsmaterialien, stammt aus dem Lager, wurde also nicht im selben Jahr in Österreich produziert oder nach Österreich importiert.

Tabelle 3-5: Kunststoffabfälle nach dem Einsatz, aufgeschlüsselt nach Anwendungsgebieten in Österreich 1992 [ÖKI, 1995]

Anwendungsgebiete	Kunststoffabfall 1992 in [t]
Schaumstoffe in Blöcken und Platten	28.600
Folien	89.300
Platten	13.900
Rohre und Profile	3.100
Gewebe beschichtet	12.500
Papier beschichtet	19.500
Kunstharzgewebe und Papiere	19.600
Technische Kunststoffteile	44.000
Verpackungsmaterial *	184.900
Harze	196.300
Sonstige Kunststoffwaren	26.600
Summe:	638.300

* Die Anwendungsgebiete *Schaumstoffe* und *Folien* beinhalten ebenfalls *Verpackungsmaterial*, welches 1992 in einem Ausmaß von ca. 215.000 t anfiel.

Aufgrund der unterschiedlichen Anwendungsgebiete fallen die Kunststoffabfälle auch in verschiedenen Abfallarten an. Nach einer Abschätzung der GUA - Gesellschaft für umweltfreundliche Abfallbehandlung GesmbH [1992] verteilten sich die Kunststoffabfälle des Jahres 1990 wie folgt auf die Abfallarten:

Tabelle 3-6: Kunststoffmassen in den Abfallarten 1990 [GUA, 1992]

Abfallarten	Kunststoffanteil in [t]
Hausmüll	249.000
Sperrmüll	26.000
Industrie- und Gewerbemüll	164.000
Altstoffsammlung	5.000
Baustellenabfälle	30.000
Hausbrand, Wilde Deponie	15.000
Recycling	35.000
Summe	524.000

Aufgrund der verschiedenen Literaturquellen und Bezugsjahre ist die Summe der gesamten Kunststoffabfälle in Österreich in den Tabellen 3.5 und 3.6 unterschiedlich.

3.1.5 Entsorgung und Verwertung von Kunststoffabfällen

Aufgrund der Lebensdauer der Produkte fallen die konsumierten mittel- und langlebigen Kunststoffe zeitlich verschoben in der **Entsorgung** an. Noch vor wenigen Jahren wurden Kunststoffabfälle aus Haushalten ausschließlich zusammen mit dem Hausmüll deponiert oder verbrannt.

Um den Grundsätzen des Abfallwirtschaftsgesetzes (Vermeidung vor Verwertung vor Entsorgung) zu folgen, wurde in Österreich 1992 die Verpackungsverordnung (VVO) erlassen. Derzeit besteht in Österreich ein System, welches die Sammlung, den Transport und die Verwertung von Verpackungsabfällen beabsichtigt.

Wesentliche Kriterien bei der **Verwertung** von Kunststoffabfällen sind neben der zur Verfügung stehenden Masse die Sortenreinheit und die Verschmutzung. Wogrolly [1989] unterscheidet vier Arten von Abfallkunststoffen:

###	Sortenrein und sauber
###	Sortenrein und verunreinigt
###	Nicht sortenrein und sauber
###	Nicht sortenrein und verunreinigt.

In diesem Bericht wird der Begriff „nicht sortenrein“ durch „gemischt“ ersetzt.

Je nach Beschaffenheit und Masse des Abfalls sind unterschiedliche Verfahren der Verwertung möglich.

Stoffliche Verwertung:

Das Ziel der stofflichen Verwertung besteht darin, die thermoplastischen Kunststoffabfälle erneut aufzuschmelzen und zu regranulieren. Aus dem gewonnenen Regranulat können je nach Qualität des Inputs in die stoffliche Verwertung wieder die selben Kunststoffprodukte hergestellt werden. Aus sortenreinen und sauberen Kunststoffabfällen kann man sekundäre Kunststoffe in annähernd gleicher Qualität wie Primärkunststoff erzeugen.

Weiters gibt es verschiedene Verfahren, welche gemischte und zum Teil auch verschmutzte Kunststoffabfälle zu neuen Produkten verarbeiten. Alle stofflichen Verwertungsverfahren erzeugen selbst auch Emissionen und Abfälle.

Abschließend sei noch angeführt, daß infolge des in den letzten Jahren niedrigen Erdölpreises stofflich nur die Verwertung von sortenreinen, sauberen Kunststoffabfällen unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten erfolgen kann. Weiters werden für viele technische Produkte (z.B. für die Automobilindustrie) Qualitätsgarantien verlangt, die heute von Regranulaten kaum erreicht werden können.

Chemische Verwertung:

Vertreter dieser Gruppe sind die Hydrierung, die Hydrolyse und die Vergasung. Das Ziel ist es, durch chemische Reaktionen aus Altkunststoffen die monomeren Ausgangsstoffe oder Kraftstoffe und Schmiermittel zu erhalten. Dies bedeutet eine Rückspaltung der Kunststoffe. Auch die chemische Verwertung hat Emissionen und Abfälle zur Folge.

Thermische Verwertung:

Vertreter der thermischen Verwertung sind die Müllverbrennung als derzeit wichtigstes Verfahren und die Pyrolyse (Entgasung), bei der unter Ausschluß von Entgasungsmittel (Sauerstoff, Luft, CO₂) eine thermische Zersetzung von organischem Material stattfindet. Als Spaltungsprodukte entstehen Pyrolysegas, Pyrolyseöl und Pyrolysekoks.

Sowohl bei den zuvor genannten chemischen als auch bei den thermischen Verwertungsmöglichkeiten von Kunststoffen sind marktreife Technologien und großtechnische Anlagen mit Ausnahme der Müllverbrennungsanlagen erst in Entwicklung.

Thermische Behandlung:

Zur thermischen Behandlung zählt eine Verbrennung ohne jegliche Nutzung des Kunststoffabfalles. Ein mögliches Ziel dieser Verbrennung ist die volumenmäßige Minimierung des zu deponierenden Abfalles.

Da es weder ökonomisch noch ökologisch sinnvoll ist, Kunststoffe ohne Ausnützung der dabei frei werdenden Energie thermisch zu behandeln, und die thermische Behandlung damit auch den Zielen des AWG [1990] nicht entspricht, wird sie in dieser Studie nicht weiter berücksichtigt.

Rechtslage in Österreich:

Nach der geltenden österreichischen Rechtsordnung ist eine Verbrennung von Kunststoffen in Müllverbrennungsanlagen als **Thermische Behandlung** zu bezeichnen. Aus fachlicher Sicht muß dann von einer **Thermischen Verwertung** gesprochen werden, wenn bei der Verbrennung der hohe Energiegehalt der Kunststoffe genutzt wird, die Schadstoffe in konzentrierter Form ausgeschieden werden und das benötigte Deponievolumen wesentlich verringert wird.

Kompostierung:

Biologisch abbaubare, insbesondere kompostierbare Kunststoffe werden durch Mikroorganismen wie Pilze und Bakterien angegriffen und unter optimalen Bedingungen zu Wasser, Kohlendioxid und Mineralien metabolisiert. Auf dem Markt erhältlich sind kompostierbare Kunststoffe aus Erdöl, Stärke, Zellulose und Zucker, während sich Polymere aus Pflanzenöl noch in der Entwicklung befinden.

Diese Kunststoffe werden mit konventionellen Verfahren wie Spritzguß und Extrusion verarbeitet. Traditionell werden derartige Polymere in der Medizin oder in der Landwirtschaft eingesetzt, z.B. als Nahtmaterial oder Freisetzungssysteme für Wirkstoffe.

Zurzeit gibt es intensive Bemühungen, den Begriff "biologisch abbaubarer Kunststoff" zu definieren, sodaß eine Kennzeichnung derartiger Kunststoffe möglich ist. Berücksichtigt man, daß ca. die Hälfte des Hausmülls aus organischen Materialien besteht, für die bereits ein flächendeckendes Entsorgungssystem im Entstehen ist, könnten auch die biologisch abbaubaren Kunststoffe bei geeigneter Kennzeichnung auf diese Weise behandelt werden.

Die Frage, ob ein verstärkter Einsatz kompostierbarer Kunststoffe zur Entschärfung der Abfallsituation beitragen kann, muß allerdings verneint beziehungsweise mit unrealistisch beantwortet werden [Sutter, 1993].

Deponierung:

Obwohl die Deponierung von Kunststoffabfällen weder dem Abfallwirtschaftsgesetz entspricht noch ökologisch sinnvoll ist, wird sie in Österreich zu einem überwiegenden Teil praktiziert. Das längerfristige Verhalten von Kunststoffen in Deponien ist unabgeklärt. Versuche haben jedoch gezeigt, daß die Kunststoffabdichtungsbahnen am Grund der Deponie durch die Vorgänge im Deponiekörper angegriffen werden.

Vergleich der Nomenklatur mit Deutschland:

In Deutschland werden die Möglichkeiten der Verwertung von Kunststoffabfällen in drei Verfahren unterteilt:

Werkstoffliche Verfahren: sortenreine und gemischte stoffliche Verwertung

Rohstoffliche Verfahren: Vergasung, Hydrierung, Pyrolyse

Energetische Verfahren: Müllverbrennung, Monoverbrennung, Schwel-Brenn-Verfahren, Thermoselect-Verfahren

3.2 Zielsetzung und Fragestellung

Das Ziel des Teils Kunststoffflüsse und -lager in Österreich besteht darin, eben diese Flüsse von 1994 und das Lager der letzten 30 Jahre in Österreich zu bestimmen. Es sollen sowohl die gesamten Kunststoffe als auch die gesamten Additive massenmäßig erfaßt werden. Weiters sollen ausgewählte Vertreter über den Verbrauch, das Lager, die Verwertung und die Entsorgung bilanziert werden.

Folgende Fragen sollen beantwortet werden:

Wieviele Polymere, Formmassen, Halbzeuge, Fertigteile, Produkte, Additive und Hilfsmittel wurden 1994 nach Österreich importiert?

Wieviele Polymere, Formmassen, Halbzeuge, Fertigteile, Produkte, Additive und Hilfsmittel wurden 1994 in Österreich produziert?

- Wieviele Polymere, Formmassen, Halbzeuge, Fertigteile, Produkte, Additive und Hilfsmittel wurden 1994 aus Österreich exportiert?

Wieviele Kunststoffprodukte wurden 1994 in Österreich eingesetzt?

Wie groß war 1994 das Lager an Kunststoffen und dessen Änderung in Österreich?

- Wieviele Kunststoffabfälle fielen 1994 in Österreich an?

Wie sieht eine grafische Darstellung der Ganglinie a) des Verbrauches b) der Verwertung und c) des Lagers von Kunststoffen über die Zeit von 1960 bis 1994 aus?

3.3 Methodik

Als Methode zur Bestimmung der Kunststoffflüsse in Österreich wird die Methode der Stoffflußanalyse [Baccini & Brunner, 1991] angewandt. Die wichtigsten Begriffe und Definitionen dieser Methode werden in der Folge beschrieben.

Bei einer *Stoffflußanalyse* betrachtet man ein exakt definiertes *System*, welches sich aus den für die Fragestellung wichtigen *Prozessen* und den daraus resultierenden *Güterflüssen* zwischen den Prozessen ergibt. Als *Lager* wird jene Masse an Gütern bzw. Stoffen verstanden, welche sich länger als die zeitliche Grenze (länger als 1 Jahr) in einem Prozeß bzw. System befindet.

Ein System ist eine Einheit, die sowohl physisch als auch zeitlich abgegrenzt werden muß. Die physischen Grenzen können z.B. eine Produktionsmaschine, eine Fabrik oder eine Stadt sein. Die zeitliche Grenze ist normalerweise ein Jahr. Sie kann aber je nach Fragestellung und Datenlage unterschiedlich gewählt werden (ein Tag oder die Zeit, die man benötigt um eine bestimmte Anzahl von Produkten herzustellen). Bei der Auswahl der Grenzen ist zu beachten, daß statistische Daten zumeist nur auf Bundes-, Länder- oder Gemeindeebene vorliegen (z.B.: Einwohner, Müllaufkommen) und zeitlich auf Jahre beschränkt sind (Außenhandel).

Güter sind definiert als handelbare Substanzen, die aus *Stoffen* bestehen. Sie haben einen positiven (Auto) oder negativen (Hausmüll) ökonomischen Wert.

Stoffe sind definiert als chemische Elemente (Stickstoff, Cadmium) oder chemische Verbindungen (NaCl, Ethylen).

Als *Prozesse* werden die Umwandlung, die Lagerung und der Transport von Gütern bzw. der darin enthaltenen Stoffe verstanden. Für diese Arbeit werden Lager, die einem Prozeß zugeordnet werden können, in diesen Prozeß integriert. Beispielsweise gehört zum Prozeß "Einsatz" auch das Lager an Kunststoffen, das im Einsatz steht. Prozesse können wieder in Unterprozesse gegliedert werden. Beispielsweise können die Prozesse "Reinigung", "Zerkleinerung" und "Regranulierung" Unterprozesse im Prozeß "stoffliche Behandlung" sein.

Die Güter- und Stoffflüsse, welche die Systemgrenzen passieren, werden als *Exporte* bzw. *Importe* bezeichnet. Die Güter- und Stoffflüsse zwischen den einzelnen Prozessen werden *Flüsse* genannt. Stoffe und Güter, die zu oder von einem Prozeß fließen, werden als *Input* bzw. *Output* bezeichnet. Der diesen Flüssen zugehörige Prozeß versteht sich dann als *Herkunfts-* bzw. *Zielprozeß*. Jeder Fluß besteht nur in einem Transport von einem Stoff bzw. einem Gut zwischen zwei Prozessen oder zwei Systemen.

Desweiteren ist zwischen einem *Fluß* und einem *Flux* zu unterscheiden. Ein *Fluß* wird in der Einheit Masse pro Zeit (Kg Polyethylen / Jahr), ein *Flux* in der Einheit Masse pro Zeit und Querschnitt (Kg Polyethylen / Jahr * Einwohner) angegeben.

3.4 Vorgehen

3.4.1 Systemidentifikation

In diesem Kapitel wird das System „Kunststoffrelevantes Österreich“ anhand von Systemgrenzen, Prozessen, Input- und Outputgütern, Herkunfts- und Zielprozessen definiert.

Um die Flüsse und Lager an Kunststoffen und Additiven/Hilfsstoffen in Österreich auf eine nachvollziehbare, in sich konsistente Art und Weise darzustellen, wurde eine Systemidentifikation durchgeführt.

3.4.1.1 Systemgrenzen

Als **räumliche Grenze** wurde für die vorliegende Studie die Republik Österreich gewählt. Da die primären Rohstoffe für die chemische Industrie größtenteils importiert werden, wurde die Erdölgewinnung aus dem System ausgegrenzt. Ebenfalls ausgegliedert wurde die Förderung von Natriumchlorid aus den Salzbergwerken.

Obwohl ein kunststoffrelevanter Austausch mit der Atmosphäre und dem Grundwasser etwa Emissionen in die Luft, Gewässer stattfindet, wurde dieser vernachlässigt, da er um Größenordnungen unter dem betrachteten Kunststoffgesamtfluß liegt.

Die **zeitliche Grenze** wurde mit einem Jahr festgelegt, da viele statistische Daten ebenfalls nur auf ein Jahr bezogen verfügbar sind. Als Bilanzierungsjahr wurde das Jahr 1994 gewählt, da dieses Jahr, bezüglich vollständiger Daten zur Bilanzierung der Kunststoffflüsse in Österreich, das aktuellste ist. Zur Bilanzierung der Lager an Kunststoffen im Einsatz und in der Deponie wurden zusätzlich Bilanzen über 34 Jahre (1960 - 1994) durchgeführt.

3.4.1.2 Auswahl der Prozesse

Das in Abbildung 3-1 dargestellte Fließschema kann nicht zur Darstellung der gesamten Kunststoffflüsse herangezogen werden. Dies hat folgende Gründe:

- Manche Firmen haben mit ihren Produkten in Österreich eine Einzelstellung, sodaß Produktionsdaten sowie Außenhandelsbilanzen nicht veröffentlicht werden. Des weiteren sind Import- und Exportdaten eines Produktes erst ab einer Anzahl von drei Firmen vorhanden.
- Manche dargestellten Prozesse verschmelzen in Wirklichkeit zu einem einzigen Prozeß. Die Verfahrensschritte zur Herstellung eines direkt verarbeitbaren Polyethylenes aus Erdöl laufen in einer Firma ab; wenn diese, wie oben beschrieben, die einzige in Österreich ist, sind konkrete Zahlen geheim, es können lediglich Abschätzungen getroffen werden.
- Thermoplaste und Duroplaste werden mit unterschiedlichen Verfahren hergestellt und verarbeitet. Daraus ergeben sich unterschiedliche Produktionsschritte.

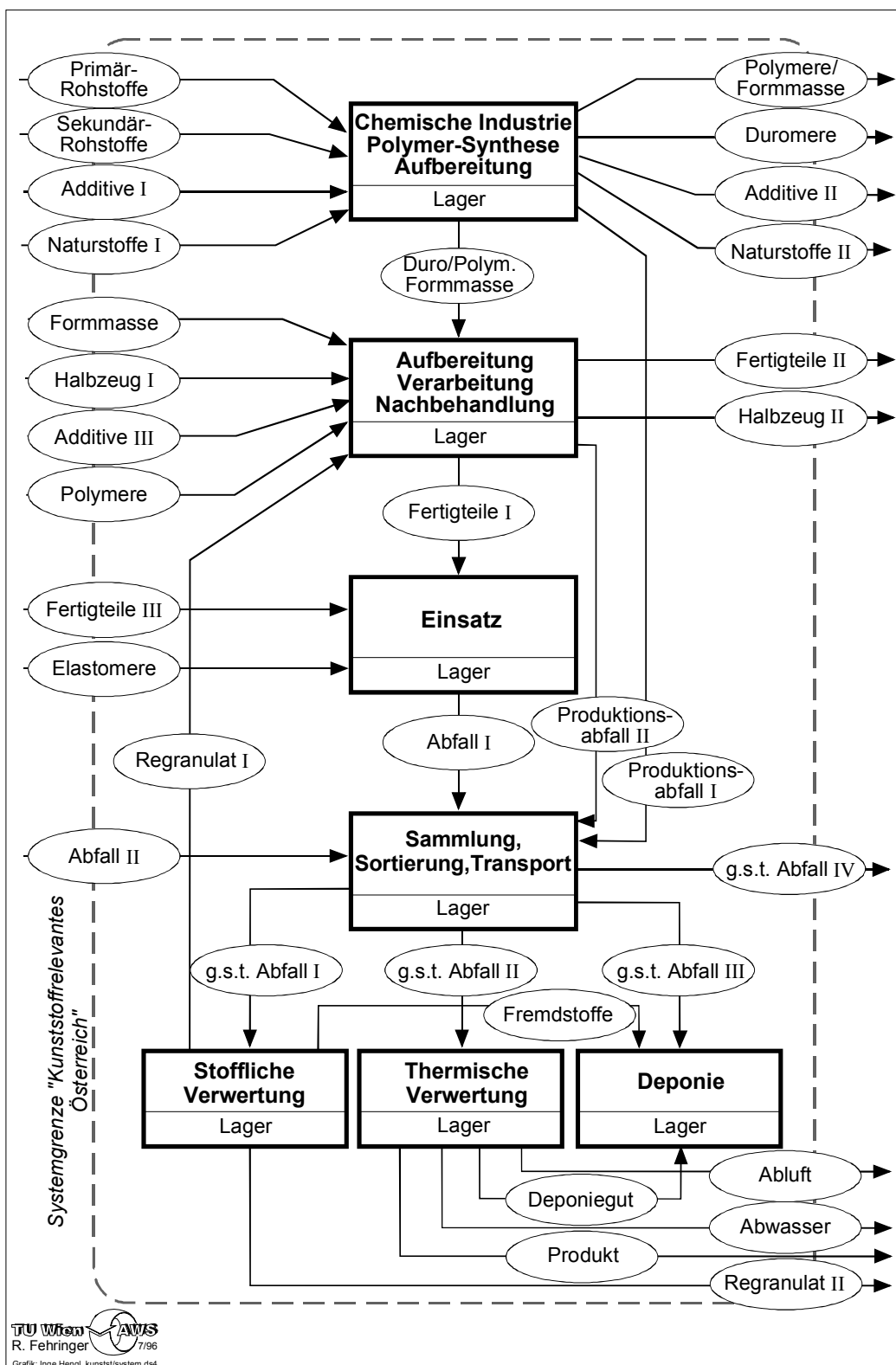
- Viele thermoplastische Kunststoffsorten durchlaufen verschiedene Herstellungs- und Verarbeitungsstufen. Ein Polyethylen (LD-PE) für die Verarbeitung zu Folien wird schon bei der Polymerisation aufbereitet, z.B. mit geringen Massen an Verarbeitungshilfsstoffen versehen. Eine Nachbehandlung, wie bedrucken oder zu Säcken verschweißen, geschieht On-Line, das heißt ohne Zwischenlagerung oder Transport, in derselben Fabrikshalle. Ein Polypropylen (PP) für die Herstellung von Halbzeug wird erst beim Verarbeiter aufbereitet, z.B. mit Farbpigmenten versehen. Die Nachbehandlung, etwa das Verschweißen, wird oft in einer anderen Firma durchgeführt.
- Industriestatistiken sind anders aufgebaut als Gewerbestatistiken. Manche Betriebe zählen sich zum Gewerbe, denn Industriebetriebe haben eine niedrigere vorgeschriebene Wochenstundenarbeitszeit.

Deshalb wurde für die Darstellung der gesamten Kunststoffflüsse in Österreich ein Kompromiß getroffen. Die Prozesse "Chemische Industrie" und "Polymer-Synthese" werden genauso wie die Prozesse "Verarbeitung" und "Nachbehandlung" zusammengelegt. Der Prozeß "Aufbereitung" wird auf die beiden oben genannten "Großprozesse" aufgeteilt, weil aufgrund der oben genannten Punkte keine eindeutige Bilanzierung für diesen Prozeß möglich ist. Da es sich um eine Darstellung des Istzustandes handelt, wird der Prozeß "Chemische Verwertung" weggelassen, da er in Österreich nicht existiert.

Für die Erstellung einer Bilanz der Kunststoffflüsse in Österreich wurde eine Untergliederung des Systems "Kunststoffrelevantes Österreich" in die folgenden 7 Prozesse für zweckmäßig erachtet:

- "Chemische Industrie, Polymer-Synthese, Aufbereitung"
- "Aufbereitung, Verarbeitung, Nachbehandlung"
- "Einsatz"
- "Sammlung, Transport, Sortierung (inkl. Zwischenlagerung)"
- "Stoffliche Verwertung"
- "Thermische Verwertung"
- "Deponie"

Die Abbildung 3-3 zeigt das zu bilanzierende System mit der Systemgrenze, den einzelnen Prozessen und deren Verknüpfungen, sowie die Flüsse in das (Importe) und aus dem System (Exporte).



g.s.t. Abfall I - IV: gesammelter und/oder sortierter und transportierter Abfall

Abbildung 3-3: Systemidentifikation „Kunststoffrelevantes Österreich“

3.4.1.2.1 Beschreibung der ausgewählten Prozesse und Güter

In den folgenden Kapiteln werden die einzelnen Prozesse anhand einer Güterliste genauer definiert. Diese Beschreibungen wurden in erster Linie an die Kapitel 3.5.1 *Quantifizierung der gesamten Kunststoffflüsse und -lager in Österreich* und 3.5.4 *Quantifizierung der auf die Kunststoffflüsse zurückzuführenden Additivflüsse und -lager in Österreich* angepaßt. Für die Kapitel 3.5.2 *Quantifizierung der Polyethylenflüsse und -lager in Österreich* bis 3.5.4 *Quantifizierung der Vinylchloridpolymerflüsse und -lager in Österreich* sind sie sinngemäß zu verwenden. Im gesamten Bericht werden „Prozesse“ unter Anführungszeichen und Güter kursiv geschrieben

Die vorliegende Studie behandelt die Prozesse als „Black Boxes“, das heißt auf eine Untergliederung in Subprozesse wird verzichtet. Es befindet sich jedoch in jedem Prozeß ein Lager, das zum Teil gleich Null (z.B. "Stoffliche Verwertung" oder "Thermische Verwertung"), oder sehr groß sein kann (z.B. „Deponie“ oder "Einsatz", wo ein großes Lager im Bauwesen besteht).

Detailliertere Ausführungen, vor allem bezüglich der Lager und deren Änderungen, sowie eine Quantifizierung der einzelnen Güterflüsse folgen im Kapitel 3.5 *Ergebnisse*. Einen groben Überblick lieferten bereits die Kapitel 3.1.1 bis 3.1.4

Der Energieverbrauch sowie Güterflüsse, die kleiner als 1.000 t pro Jahr sind, werden im gesamten Kapitel 3 nicht berücksichtigt.

Die Reihung der einzelnen Güter in den nachfolgenden Tabellen hat für das gesamte Kapitel 3.5 *Ergebnisse* Gültigkeit. Sie wurde aufgrund der Berechnungen festgelegt, da gewisse Flüsse vor anderen quantifiziert werden mußten.

3.4.1.2.2 Der Prozeß "Chemische Industrie, Polymer-Synthese, Aufbereitung" und dazugehörige Güter

Die „Chemische Industrie“ verarbeitet *primäre* (Erdöl) und *sekundäre Rohstoffe* (Ethylen, Natriumchlorid) zu Monomeren (Ethylen, Acetylen), Polyadditions- (Bisphenol A) und Polykondensationsausgangsstoffen (Adipinsäure) sowie zu *Additiven* (Stabilisatoren, Weichmacher) und Hilfsstoffen (Katalysatoren, Härter). Die Kunststoffindustrie verwendet nur einen Teil des Erdöls, welches in der "Chemischen Industrie" raffiniert wird. Um die Bilanz nicht durch andere Produkte und Nebenprodukte der Raffinerie zu verfälschen, wird diese aus dem System ausgegrenzt. Das Erdöl wird aber dennoch als *Primärer Rohstoff* weiterverwendet.

In der „Polymer-Synthese“ werden diese Monomere und Ausgangsstoffe mittels Polymerisation, Polykondensation bzw. Polyaddition von Monomeren oder deren Zwischenprodukten zu Polymeren synthetisiert.

Thermoplastische Kunststoffe müssen vor der Verarbeitung meist in Walzen, Extrudern, Mischern, Knetern etc. compoundiert, d.h. mit *Additiven* und Hilfsstoffen (Stabilisatoren, Gleit-

mittel) versetzt und in bestimmten Abmessungen gekörnt (granuliert) werden. Dieser Vorgang wird „Aufbereiten“ zur *Formmasse* genannt.

Da aus den vorliegenden Daten und Statistiken keine Aufteilung der Inputgüter auf die drei oben genannten Produktionsschritte möglich ist, werden sie hier in einen Prozeß, der keine Unterprozesse enthält, zusammengefaßt.

Unter *Naturstoffen* werden hier abgewandelte Naturstoffe, wie Cellulosenitrat, aus dem z.B. Tischtennisbälle hergestellt werden, und verschiedenen Celluloseester zur Herstellung von Hammergriffen, Zeichenschablonen oder Lampenschirmen sowie Kautschuke zur Herstellung von Autoreifen, Gummiartikel, Produkte für die Schuh- und Sportartikelindustrie u.s.w. verstanden.

Sämtliche in Österreich produzierten und aus bilanzierungstechnischen Gründen bereits in diesen Prozeß importierten Kunststoffrohformen werden unter dem Überbegriff *Duro- und Polymere, Formmasse* zusammengefaßt. Dieser Güterfluß bleibt in Österreich und fließt in den Prozeß "Aufbereitung, Verarbeitung, Nachbehandlung".

Neben dem Outputgut *Polymere, Formmasse*, das zu einem großen Teil aus Polyethylen und Polypropylen besteht, werden auch noch verschiedene *Duromere*, die hier auch Duromerrohformen beinhalten, aus Österreich exportiert.

Die anfallenden *Produktionsabfälle I* können z.B. Fehlchargen bei der Polymerisation beinhalten und gelangen je nach Qualität über den Prozeß "Sammlung, Sortierung, Transport" zur Verwertung oder auf die "Deponie".

Das „Lager“ wird durch den Vorrat an Inputgütern gebildet. Die *Primären Rohstoffe* werden jedoch aufgrund der Betriebskonstellation OMV - PCD-Polymere nicht vorrätig gelagert.

Tabelle 3-7: Güterliste für den Prozeß "Chemische Industrie, Polymer-Synthese, Aufbereitung"

Herkunftsprozeß	Inputgüter	Outputgüter	Zielprozeß
Import	Primäre Rohstoffe	Duro- und Polymere, Formmasse	Aufbereitung, Verarbeitung, Nachbehandlung
Import	Sekundäre Rohstoffe		
Import	Additive I	Polymere, Formmasse Duromere Additive II Naturstoffe II Produktionsabfall I	Export
Import	Naturstoffe I		
			Export
			Export
			Export
			Sammlung, Sor- tierung, Transport

3.4.1.2.3 Der Prozeß "Aufbereitung, Verarbeitung, Nachbehandlung" und dazugehörnde Güter

Eine weitere Form der „Aufbereitung“ findet direkt vor der „Verarbeitung“ statt, da viele *Formmassen* vor der „Verarbeitung“ zu Produkten noch eingefärbt werden.

Mittels Spritzgußmaschinen, Extrudern, Pressen etc. wird die *Formmasse* zu *Fertigteilen* (Joghurtbecher, Spielzeug) oder *Halbzeugen* (Platten, Profile, Rohre) verarbeitet.

Unter der „Nachbehandlung“ versteht man das Schweißen, Lackieren, Kleben, Tempern, Umformen (Biegen, Stanzen) etc. von *Halbzeugen* zu Einsatzteilen, im weiteren *Fertigteile* genannt.

Die *Produktionsabfälle II* beinhalten sowohl Fehlproduktionen der „Verarbeitung“ oder überstehende "Grate" als auch Abfälle der „Nachbehandlung“, z.B. Reste beim Zuschneiden.

Das „Lager“ wird durch den Vorrat an Inputgütern gebildet.

Tabelle 3-8: Güterliste für den Prozeß "Aufbereitung, Verarbeitung, Nachbehandlung"

Herkunftsprozeß	Inputgüter	Outputgüter	Zielprozeß
Import	Formmasse	Fertigteile I	Einsatz
Import	Halbzeug I	Halbzeug II	Export
Import	Additive III	Fertigteile II	Export
Chemische Industrie, Polymer-Synthese, Aufbereitung	Duro- und Polymere, Formmasse	Produktionsabfälle II	Sammlung, Sortierung, Transport
Import	Polymere		
Stoffliche Verwertung	Regranulat I		

3.4.1.2.4 Der Prozeß "Einsatz" und dazugehörnde Güter

Unter "Einsatz" werden hier der Konsum und die Verwendung der *Fertigteile* verstanden. Kurzlebige Verbrauchsgüter, wie sie vor allem die Verpackungsmaterialien darstellen, verlassen diesen Prozeß binnen eines Jahres als *Abfall I*.

Zusätzlich gelangen noch *Elastomere* in diesen Prozeß, deren genaue Herkunft allerdings nicht bestimmt werden konnte, da der Bundesabfallwirtschaftsplan [1995], das Österreichische Statistische Zentralamt [1995] und das Österreichische Kunststoffinstitut [1995] differierende Angaben liefern.

Das „Lager“ wird von mittellebigen (Radio-, Küchengerätegehäuse) und vor allem von langlebigen Konsumgütern (Fenster, Rohre, im Bauwesen eingesetzte Materialien - Möbel, Bodenbeläge) gebildet, die für mehrere Jahre bis Jahrzehnte „gelagert“ bzw. benutzt werden.

Tabelle 3-9: Güterliste für den Prozeß "Einsatz"

Herkunftsprozeß	Inputgüter	Outputgüter	Zielprozeß
Aufbereitung Verarbeitung, Nachbehandlung	Fertigteil I	Abfall I	Sammlung, Sortierung, Transport
Import	Fertigteil III		
Import	Elastomere		

3.4.1.2.5 Der Prozeß "Sammlung, Sortierung, Transport" und dazugehörige Güter

In diesem Prozeß werden die „Sammlung“ von Kunststoffabfällen in Müllcontainern, gelben Säcken u.s.w., der „Transport“ zu den und die „Sortierung“ bei den verschiedenen Sortierern sowie die Weiterlieferung zu den Verwertungs- bzw. Behandlungsanlagen zusammengefaßt. Die Outputgüter dieses Prozesses (g. s. t. *Abfall I* bis *IV*) wurden gesammelt und/oder sortiert und transportiert.

Das Lager im Prozeß "Sammlung, Sortierung, Transport" ist in erster Linie ein Lager auf Zeit und besteht aus Kunststoffabfällen die solange gelagert werden, bis geeignete und/oder genügende Kapazitäten für eine Verwertung zur Verfügung stehen.

Tabelle 3-10: Güterliste für den Prozeß "Sammlung, Sortierung, Transport"

Herkunftsprozeß	Inputgüter	Outputgüter	Zielprozeß
Einsatz	Abfall I	g. s. t. Abfall I	Stoffliche Verwertung
Import	Abfall II		
Chemische Industrie, Polymer-Synthese, Aufbereitung	Produktionsabfall I	g. s. t. Abfall II	thermische Verwertung
		g. s. t. Abfall III	Deponie
Aufbereitung, Verarbeitung, Nachbehandlung	Produktionsabfall II	g. s. t. Abfall IV	Export

3.4.1.2.6 Der Prozeß "Stoffliche Verwertung" und dazugehörige Güter

Unter der stofflichen Verwertung werden alle Verfahren zusammengefaßt, die aus den sortierten Kunststoffabfällen, eventuell nach Reinigung und Aussortierung von *Fremdstoffen* oder Fremdkunststoffen, **über die Schmelze** mit möglicher anschließender Aufbereitung mit *Additiven Regranulat* (wiederverwendbare Formmasse) herstellen.

Das „Lager“ des Gutes g. s. t. *Abfall I* wird beim Prozeß „Sammlung, Sortierung, Transport“ mitberücksichtigt. Daher hat dieser Prozeß per Definition kein „Lager“.

Tabelle 3-11: Güterliste für den Prozeß "Stoffliche Verwertung"

Herkunftsprozeß	Inputgüter	Outputgüter	Zielprozeß
Sammlung, Sortierung, Transport	g. s. t. Abfall I	Regranulat I	Aufbereitung, Verarbeitung, Nachbehandlung
		Regranulat II	Export
		Fremdstoffe	Deponie

3.4.1.2.7 Der Prozeß "Thermische Verwertung" und dazugehörige Güter

Unter der thermischen Verwertung wird in dieser Studie die Verbrennung in Müllverbrennungsanlagen, Fernwärmeheizwerken, Drehrohröfen der Zementindustrie etc. aus Gründen der Ausnutzung des Energiegehaltes von Kunststoffen, Ersetzen von fossilen Energieträgern und der Reduzierung des Restmülls verstanden.

Die bei der thermischen Verwertung anfallenden Reststoffe werden, hier als *Deponiegut* bezeichnet, in verschiedenen Deponietypen abgelagert. Für das System „Kunststoffrelevantes Österreich“ ist es nicht notwendig, zwischen diesen Deponietypen (Reststoffdeponie, Untertagedeponie) zu unterscheiden, da ca. 80 % der Kunststoffabfälle zusammen mit den Abfällen aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen in Mülldeponien abgelagert werden.

Die *Abluft* und das *Abwasser* werden aus dem System exportiert, da sie um Größenordnungen unter dem betrachteten Kunststoffgesamtfluß liegen und es daher nicht notwendig ist, die Atmosphäre und die Hydrosphäre ebenfalls als Prozesse zu definieren. In der Zementindustrie werden Altreifen als Sekundärbrennstoff eingesetzt. Diese verteilen sich auf die Outputgüter *Abluft* und *Produkt* (Zementklinker), welcher ebenfalls aus dem System exportiert wird.

Das „Lager“ des Gutes *g. s. t. Abfall II* wird, sofern es vorhanden ist, beim Prozeß „Sammlung, Sortierung, Transport“ mitberücksichtigt. Daher hat dieser Prozeß per Definition kein „Lager“.

Tabelle 3-12: Güterliste für den Prozeß "Thermische Verwertung"

Herkunftsprozeß	Inputgüter	Outputgüter	Zielprozeß
Sammlung, Sortierung, Transport	g. s. t. Abfall II	Deponiegut	Deponie
		Abluft	Export
		Abwasser	Export
		Produkt	Export

3.4.1.2.8 Der Prozeß "Deponie" und dazugehörige Güter

Der Prozeß „Deponie“ ist der einzige im System, der eine Senke darstellt, d.h., daß es nur Inputgüter, aber keine Outputgüter gibt.

Das „Lager“ wird durch die jährlich deponierten Kunststoffe *g. s. t. Abfall III* gebildet und wächst ständig an. Beim Lagerzuwachs wird davon ausgegangen, daß Kunststoffe in der „Deponie“ nicht abgebaut werden. Obschon diese Annahme falsch ist, darf sie hier verwendet werden, da der Abbau langsam vor sich geht. Weiters wird das „Lager“ durch *Fremdstoffe* und *Deponiegut* gebildet

Da mehr als 99 %, vergleiche dazu *Anhang 15*, des für die Kunststoffabfallablagerung benötigten Deponievolumens auf die Mülldeponie entfallen, wird hier nicht zwischen verschiedenen Deponietypen (Müll-, Reststoff- oder Untertagedeponie) unterschieden.

Tabelle 3-13: Güterliste für den Prozeß "Deponie"

Herkunftsprozeß	Inputgüter	Outputgüter	Zielprozeß
Sammlung, Sortierung, Transport	g. s. t. Abfall III		
Stoffliche Verwertung	Fremdstoffe		
Thermische Verwertung	Deponiegut		

3.4.2 Datenmaterial

Die Daten zur Erstellung der Bilanz "Kunststoffrelevantes Österreich" stammen in erster Linie vom Österreichischen Statistischen Zentralamt (ÖSTAT) sowie vom Österreichischen Kunststoffinstitut (ÖKI). Demgegenüber haben die weiteren Datenquellen (Bundesabfallwirtschaftsplan, einschlägige Fachbücher und Literatur) eine untergeordnete Rolle.

3.5 Ergebnisse

Auf Basis der Systemidentifikation werden in diesem Kapitel sowohl die gesamten Kunststoffflüsse und -lager in Österreich als auch separat die Polyethylen- und die Vinylchloridpolymerflüsse und -lager dargestellt. Schließlich werden die mit den Kunststoffen einhergehenden Additivflüsse und -lager in Österreich berechnet.

Im *Anhang 1* sind die Daten über Import, Export, Produktion, Verbrauch und Abfall von Formmassen, Halbzeug und Fertigteilen in Österreich in den Jahren 1960, 1970, 1980, 1990 und 1992 aufgelistet.

3.5.1 Quantifizierung der gesamten Kunststoffflüsse und -lager in Österreich

Die Abbildung 3-4 zeigt die Ergebnisse dieses Kapitels.

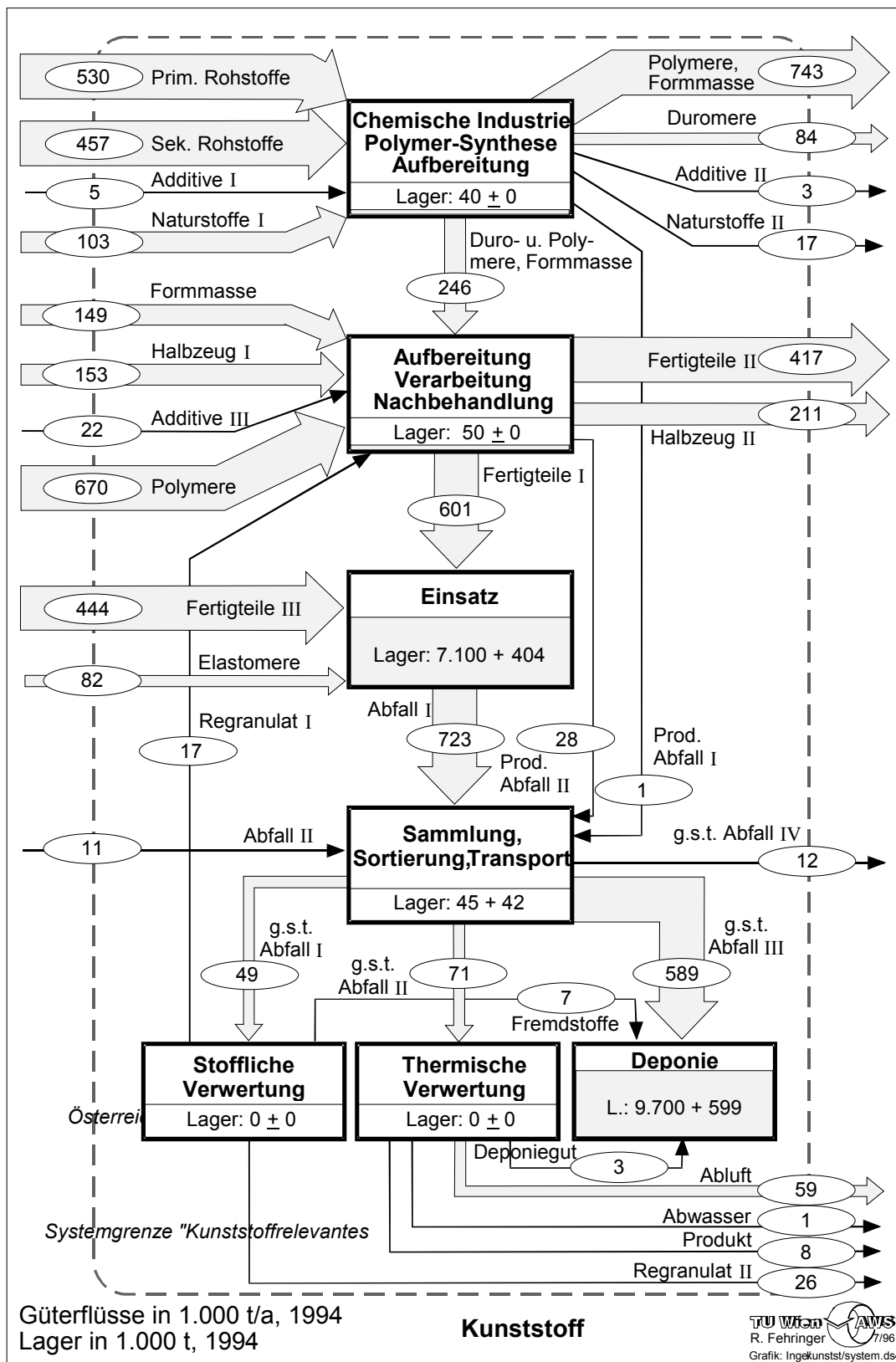


Abbildung 3-4: Güterbilanz der gesamten Kunststoffflüsse und -lager in Österreich 1994

3.5.1.1 Güterbilanz des Prozesses "Chemische Industrie, Polymer-Synthese, Aufbereitung" - KST

Inputgüter:

Die *Primären Rohstoffe* wurden wie folgt berechnet: Die PCD-Polymere ist der einzige Kunststoffproduzent in Österreich und hat eine Kapazität für die Produktion von Polyolefinen von jährlich 590.000 t [ÖKI, 1995]. 1994 wurden ca. 310.000 t Polyethylen und ca. 220.000 t Polypropylen hergestellt [ÖKI, 1996]. Für 1994 ergibt dies einen Inputfluß des Gutes *Primäre Rohstoffe* von 530.000 t.

Als *Sekundäre Rohstoffe* werden hier Duomerausgangsstoffe und Monomere verstanden. Aufgrund der Datenlage ist eine Aufschlüsselung der Duomerausgangsstoffe und der Duomere auf die Prozesse "Chemische Industrie, Polymer-Synthese, Aufbereitung" und "Aufbereitung, Verarbeitung, Nachbehandlung" nicht möglich. Aus diesem Grund wurde angenommen, daß dieses Gut zur Gänze in den Prozeß "Chemische Industrie, Polymer-Synthese, Aufbereitung" fließt und sich nicht auf die beiden oben genannten Prozesse aufteilt.

Zur Quantifizierung der Duomerausgangsstoffe wurden im ersten Schritt die Angaben über den Verbrauch von Rohformen (773.100 t) und den Verbrauch von Harz- und Duomerrohformen (300.100 t) des Jahres 1989 [GUA, 1992] mit Hilfe der Angaben über den Verbrauch von Rohformen des Jahres 1992 (947.000 t) [ÖKI, 1995] für das Jahr 1992 hochgerechnet. Anschließend wurde dieser Wert (367.600 t) in Anlehnung an die Steigerung der Duomerimporte nach Österreich von 1992 (131.600 t) auf 1994 (162.600 t) [ÖSTAT, 1995] um weitere 23 % erhöht. Als Ergebnis erhält man einen Input an Duomerausgangsstoffen von 454.300 t für das Jahr 1994.

1992 wurden 2.400 t an verschiedenen Monomeren zur Herstellung von sogenannten Nischenprodukten der Kunststoffindustrie nach Österreich importiert [ÖKI, 1995]. Da sich die Produktionskapazitäten dieser Firmen in den darauffolgenden Jahren nicht wesentlich verändert haben, kann man diesen Wert auch für 1994 beibehalten.

Aus Gründen der Vollständigkeit sei hier noch angeführt, daß bis zum Jahr 1992 in Österreich auch PVC hergestellt wurde. 1992 hatte die Firma Halvic eine Kapazität zur Herstellung von PVC von 50.000 t pro Jahr, welche zuletzt zu ca. 70 % genutzt wurde [ÖKI, 1995]. Daraus errechnet sich eine Produktionsmasse von 35.000 t PVC, welche sich aus ca. 15.000 t Vinyl und ca. 20.000 t Chlorid zusammensetzt. Wenn man einen ähnlichen Schlüssel wie bei der Produktion von Polyolefinen anwenden.

Aufgrund der obigen Ausführungen betrug 1994 der Input des Gutes *Sekundäre Rohstoffe* in den Prozeß "Chemische Industrie, Polymer-Synthese, Aufbereitung" 456.700 t.

1992 wurden ca. 2.000 t Hilfsstoffe nach Österreich importiert [ÖKI, 1995]. Angenommen, die Importsteigerung entspricht derjenigen der Rohformenimporten (18 %), so erhält man für das Jahr 1994 einen Import von ca. 2.400 t an Hilfsstoffen.

Insgesamt wurden 1992 20.700 t Additive nach Österreich importiert [ÖKI, 1995]. Aufgrund der gestiegenen Importe von Rohformen nach Österreich muß auch der Additivverbrauch gestiegen sein; er beträgt im Jahr 1994 bei 18 %-iger Steigerung binnen zwei Jahren insgesamt 24.800 t. Im Prozeß "Chemische Industrie, Polymer-Synthese, Aufbereitung" werden in erster Linie Polymere und Formmassen aus Polyethylen und Polypropylen hergestellt. Für diesen Produktionsschritt sind nur sehr kleine Massen an Additiven notwendig. Aus diesem Grund wird angenommen, daß sich der Additivverbrauch in Österreich zu 10 % auf den Prozeß "Chemische Industrie, Polymer-Synthese, Aufbereitung" und zu 90 % auf den Prozeß "Aufbereitung, Verarbeitung, Nachbehandlung" aufteilt [ÖKI, 1995]. Dadurch erhält man für 1994 einen Input an Additiven in diesen Prozeß von 2.500 t.

Das Inputgut *Additive I* beinhaltet die Additive und Hilfsstoffe und betrug 1994 4.900 t.

Der Import von Rohkautschuk nach Österreich betrug 1994 96.200 t. Zusammen mit den 6.500 t an abgewandelten Naturstoffen erhält man einen Inputfluß des Gutes *Naturstoffe I* von 102.700 t für das Jahr 1994 [ÖSTAT, 1995].

In Summe erhält man einen Inputgüterfluß in den Prozeß "Chemische Industrie, Polymer-Synthese, Aufbereitung" von 1.094.300 t für das Jahr 1994.

Outputgüter:

Aufgrund der Monopolstellung einiger Firmen in Österreich lassen sich aus der Außenhandelsstatistik keine Schlüsse ziehen, wie sich die Rohformenexporte auf Thermoplaste und Duroplaste aufteilen.

Der Ansatz zur Quantifizierung lautet wie folgt: 1994 wurden 62.900 t Duromerrohformen exportiert [ÖSTAT, 1995]. In dieser Masse sind aber Harnstoffharze, Thioharnstoffharze und Melaminharze aus Gründen der Geheimhaltung nicht berücksichtigt. Da diese Harze in Österreich nicht hergestellt, sondern nur verarbeitet werden, kann man davon ausgehen, daß sie im Überschuß importiert werden. Unter der Annahme, daß trotzdem ca. 20 % der importierten Masse dieser drei Harze wieder exportiert werden, erhält man eine Exportmasse von ca. 20.800 t. Zusammen mit den in der Außenhandelsstatistik deklarierten Duromeren erhält man einen Outputfluß des Gutes *Duromere* von 83.600 t für das Jahr 1994.

1994 wurden 14.200 t Naturkautschuk aus Österreich exportiert [ÖSTAT, 1995]. Zusammen mit den 3.200 t an abgewandelten Naturstoffen erhält man einen Outputfluß des Gutes *Naturstoffe II* von 17.400 t für das Jahr 1994.

Von den 830.100 t Rohformen, die 1994 exportiert wurden [ÖSTAT, 1995], kann man jetzt, wie oben berechnet, 83.600 t *Duromere* und 3.200 t abgewandelte Naturstoffe abziehen und erhält somit eine Masse an exportierten thermoplastischen Rohformen, hier als *Polymere, Formmasse* angegeben, von 743.300 t für das Jahr 1994. Mehr als die Hälfte davon, ca. 470.000 t, entfallen auf die Polyolefine [ÖKI, 1995].

1992 wurden 2.200 t Additive aus Österreich exportiert [ÖKI, 1995]. Bei einer ähnlichen Exportsteigerung in den Jahren bis 1994 wie beim Import der Additive kann man diesen Wert um 18 % höher annehmen. Demnach erhält man für 1994 einen Outputfluß des Gutes *Additive II* von 2.600 t.

Nach Angaben der Österreichischen Wirtschaftskammer hat die österreichische kunststoffherzeugende Industrie 1994 ca. 1.000.000 t Kunststoffrohstoffe produziert. Das ÖKI [1996] schätzt den Anteil der Produktionsabfälle dieses Industriezweiges auf ca. 1 % der Produktion. Von diesen 10.000 t werden ca. 90 % innerbetrieblich verwertet oder können als minderwertige Produkte vermarktet werden. Die restlichen 10 % oder ca. 1.000 t für das Jahr 1994 fallen tatsächlich als *Produktionsabfälle I* an und werden zu einem Großteil deponiert. In der PCD-Polymere fallen bei der Polyolefinherstellung jährlich ca. 4.500 t minderwertige Ware oder Nebenprodukte an. Ca. 400 t werden als Produktionsabfall deponiert, die bei weitem größere Masse kann aber vermarktet werden und teilt sich je nach Abnehmer auf die Outputgüter *Polymere, Formmasse* (Export) und *Duromere, Polymere, Formmasse* (inländische Abnehmer) auf.

Die oben angeführten Berechnungen ergeben, daß 1994 nach Aufsummierung der Inputgüter und Abzug der oben genannten Outputgüter 246.400 t *Duro- und Polymere, Formmasse* vom Prozeß "Chemische Industrie, Polymer-Synthese, Aufbereitung" in den Prozeß "Aufbereitung, Verarbeitung, Nachbehandlung" übergegangen sind, da von keiner wesentlichen Lagerveränderung ausgegangen wird.

In Summe erhält man einen Outputgüterfluß aus dem Prozeß "Chemische Industrie, Polymer-Synthese, Aufbereitung" von 1.094.300 t für das Jahr 1994.

Lager:

Die PCD-Polymere bezieht die *Primären Rohstoffe* direkt aus der Raffinerie und hat demnach kein eigenes Rohstofflager [Prazak, 1996]. Auf die anderen Betriebe der kunststoffrohstoffherzeugenden Industrie entfällt eine Produktion von knapp 500.000 t für das Jahr 1994. Durchschnittlich haben diese Betriebe einen Vorrat an Rohstoffen für eine Produktion von ca. vier Wochen [ÖKI, 1996]. Demnach kann die Größe des Lagers an *Primären* und *Sekundären Rohstoffen, Additiven* und *Naturstoffen* in den Betrieben, welche im Prozeß "Chemische Industrie, Polymer-Synthese, Aufbereitung" zusammengefaßt sind für das Jahr 1994 mit ca. 40.000 t angegeben werden. Eine Lagerveränderung wird nicht angenommen.

Nachfolgend sind die obigen Berechnungen in tabellarischer Form aufgearbeitet.

Tabelle 3-14: Güterbilanz des Prozesses "Chemische Industrie, Polymer-Synthese, Aufbereitung" - KST

Inputgüter	[t/a]	Outputgüter	[t/a]
Primäre Rohstoffe	530.000	Duromere	83.600
Sekundäre Rohstoffe	456.700	Naturstoffe II	17.400
Additive I	4.900	Polymere, Formmasse	743.300
Naturstoffe I	102.700	Additive II	2.600
		Produktionsabfälle I	1.000
		Duro- und Polymere, Formmasse	246.400
Summe Input:	1.094.300	Summe Output:	1.094.300
Lager [t]	40.000	Lagerveränderung:	0

3.5.1.2 Güterbilanz des Prozesses "Aufbereitung, Verarbeitung, Nachbehandlung" - KST

Aus denselben Gründen wie beim Prozeß "Chemische Industrie, Polymer-Synthese, Aufbereitung" mußten auch hier drei Prozesse zusammengefaßt werden. Aufgrund der Konzentration dreier wichtiger Produktionsschritte in einem Prozeß und aufgrund der Tatsache, daß in Österreich die Chemische Industrie in bezug auf die Kunststoffe nur für Polyolefine von Bedeutung ist, erhält man hier die massenmäßig größten Input- und Outputströme.

Inputgüter:

Aufgrund der Berechnungen der Outputgüter des Prozesses "Chemische Industrie, Polymer-Synthese, Aufbereitung" erhält man einen Inputfluß in diesen Prozeß von *Duro- und Polymere, Formmasse* von 246.400 t im Jahr 1994.

1994 wurden 838.500 t an Rohformen nach Österreich importiert [ÖSTAT, 1995]. Nach Abzug der Rohformen für Duromere (162.600 t) und abgewandelte Naturstoffe (6.500 t) [ÖSTAT, 1995] - siehe auch Inputgüter des Prozesses "Chemische Industrie, Polymer-Synthese, Aufbereitung" - erhält man einen Input des Gutes *Polymere* von 669.500 t für das Jahr 1994.

1992 wurden 126.500 t *Formmasse* nach Österreich importiert [ÖKI, 1995]. Zur Hochrechnung auf das Jahr 1994 wurde dieselbe Importsteigerung wie bei den thermoplastischen Rohformen angenommen. Diese nahmen von 1992 (570.100 t) bis 1994 (669.500 t) um ca. 17 % zu. Somit erhält man einen Inputfluß des Gutes *Formmasse* von 148.600 t für das Jahr 1994.

1994 wurden 153.200 t Halbfabrikate, im weiteren als *Halbzeug I* bezeichnet, importiert [ÖSTAT, 1995]. Diese fließen zur Gänze als Inputgut in diesen Prozeß.

Wie bereits oben erwähnt, mußte der Additivimport nach Österreich auf zwei Prozesse aufgeteilt werden. Der Großteil davon, ca. 90 %, gelangt in den Prozeß "Aufbereitung, Verarbei-

tung, Nachbehandlung". Für 1994 errechnet sich demnach ein Input von 22.300 t an *Additiven III*.

Einen weiteren Inputfluß stellt das *Regranulat I* dar, welches 1994 im Ausmaß von 17.000 t vom Prozeß "Stoffliche Verwertung" in den hier beschriebenen Prozeß gelangte. Weitere Ausführungen sind bei der Bilanzierung der Outputgüter des Prozesses "Stoffliche Verwertung", Kapitel 3.5.1.5, nachzulesen.

In Summe gelangten 1994 1.257.000 t an Inputgütern in den Prozeß "Aufbereitung, Verarbeitung, Nachbehandlung".

Outputgüter:

1994 wurden 211.200 t Halbfabrikate, hier als Outputgut *Halbzeug II* bezeichnet, exportiert [ÖSTAT, 1995].

Die Quantifizierung des Outputflusses *Fertigteile II* gestaltete sich schwierig, da auch das Österreichische Statistische Zentralamt über keine explizite kunststoffspezifische Aufschlüsselung verfügt. Für die Nachvollziehbarkeit der Quantifizierung sei die nachfolgende Tabelle, ein erweiterter Auszug der österreichischen Außenhandelsstatistik, beigelegt. Sie enthält neben den Waren, die zu 100 % aus Kunststoffen bestehen, auch solche, die nur zu einem Prozentsatz aus Kunststoff bestehen. Da die Prozentsätze kaum eruierbar sind, wurden sie abgeschätzt. Es wird kein Anspruch auf die Korrektheit dieses Ergebnisses gestellt, man kann aber davon ausgehen, daß das Ergebnis, ein Export von 401.700 t Waren aus Kunststoffen innerhalb der Toleranzgrenze für die Erstellung einer Kunststoffbilanz Österreich liegt.

Tabelle 3-15: Kunststoffanteile bei exportierten Fertigwaren 1994 (Quelle: Export an Waren: [ÖSTAT, 1995], KST-Anteil: eigenen Annahmen)

ÖSTAT Nr.	Warenbenennung	Export an Waren [t]	KST-Anteil	KST- Anteil am Export [t]
62	Kautschukwaren	136.065	90 %	122.459
6514	Nähgarn aus Chemiefasern	449	90 %	404
6515	Synthetische Garne	3.437	90 %	3.093
6516	Andere synthetische Garne	2.364	90 %	2.128
6517	Künstliche Garne	7.723	90 %	6.951
6518	Garne aus Spinnfaden	43.304	90 %	38.974
653	Gewebe synthetisch oder künstlich	13.131	90 %	11.818
7	Maschinen/Fahrzeuge (ohne 78)	1.055.498	1 %	10.555
78	Straßenfahrzeuge	300.110	7 %	21.008
82	Möbel und dergleichen	95.910	10 %	9.591
84	Bekleidung Zubehör (ohne 8482)	195.136	10 %	19.514
8482	Bekleidung aus Kunststoff	2.399	100 %	2.399
85	Schuhe	13.303	30 %	3.991
893	Kunststoffwaren	122.508	100 %	122.508
894	Spiele Sportgeräte	26.182	30 %	7.855
8984	Magnetbänder leer	10.948	90 %	9.853
8986	Magnetbänder mit Aufzeichnung	592	90 %	533
8987	Schallplatten und dergleichen	8.895	90 %	8.006
89921	Blumen aus Kunststoff	39	100 %	39
	SUMME	2.038.623	20 %	401.676

Zusätzlich muß noch berücksichtigt werden, daß viele exportierte Waren und Materialien auch verpackt sind. Über diese nicht deklarierten Verpackungsmassen werden keine Aufzeichnungen geführt. Das Österreichische Institut für Verpackungswesen schätzt den Importüberschuß (Import minus Export von nicht deklarierten Verpackungen) auf 14.300 t für das Jahr 1994 [BMU, 1996]. Aufgrund der Art der Berechnungen gehen die Daten für den Import und den Export nicht explizit hervor. Diese Daten werden hier wie folgt abgeschätzt: 1994 wurden 49,2 Mio. t an Waren und Materialien nach Österreich importiert und 25,3 Mio. t exportiert [ÖSTAT, 1995]. Dies ergibt einen Importüberschuß von 23,9 Mio. t an Waren und Materialien, welche einen Kunststoffverpackungsimportüberschuß von 14.300 t hervorrufen. Unter der Annahme, daß die importierten Waren und Materialien ähnlich verpackt sind wie die exportierten, läßt sich der Export an nicht deklarierten Verpackungen mittels Schlußrechnung mit 15.100 t berechnen.

In Summe erhält man für das Jahr 1994 einen Outputfluß des Gutes *Fertigteil II* von 416.800 t.

Die *Produktionsabfälle II* wurden hier analog zum Prozeß "Chemische Industrie, Polymer-Synthese, Aufbereitung" errechnet. Die Österreichische Wirtschaftskammer [1995] gibt an,

daß die kunststoffverarbeitende Industrie und das kunststoffverarbeitende Großgewerbe 1994 556.000 t Kunststoffwaren produzierten. Nach Angaben des ÖKI fallen ca. 10 % der Produktion als Produktionsabfall an; 55.600 t im Jahr 1994. Davon werden 50 % innerbetrieblich und 50 % extern verwertet. Demnach erhält man einen Outputfluß des Gutes *Produktionsabfall II* von 28.300 t für das Jahr 1994.

Da auch bei diesem Prozeß keine wesentliche Lagerveränderung angenommen wird, errechnet sich der Outputanteil an *Fertigteilen I*, welche in den Prozeß "Einsatz" übergehen, aus der Summe der Inputgüter minus der Summe der Outputgüter. Somit erhält man für das Jahr 1994 600.700 t des Outputgutes *Fertigteil I*.

In Summe erhält man für den Prozeß "Aufbereitung, Verarbeitung, Nachbehandlung" einen Outputfluß von 1.257.000 t für das Jahr 1994.

Lager:

Das Österreichische Kunststoffinstitut schätzt, daß die kunststoffverarbeitenden Betriebe ein Vorratslager an *Polymeren, Formmassen, Halbzeug, Additiven, und Regranulat* für eine Produktion von ca. vier Wochen haben [ÖKI, 1996]. Bei einer Produktion von 556.000 t Kunststoffwaren [ÖWK, 1995] läßt sich das Lager mit ca. 50.000 t beziffern. Wie auch beim Prozeß "Chemische Industrie, Polymer-Synthese, Aufbereitung" wird angenommen, daß sich dieses Lager über ein Jahr gesehen nicht wesentlich ändert.

Nachfolgend sind die obigen Berechnungen in tabellarischer Form aufgearbeitet.

Tabelle 3-16: Güterbilanz des Prozesses "Aufbereitung, Verarbeitung, Nachbehandlung" - KST

Inputgüter	[t/a]	Outputgüter	[t/a]
Duro- und Polymere, Formmasse	246.400	Halbzeug II	211.200
Polymere	669.500	Fertigteile II	416.800
Formmasse	148.600	Produktionsabfall II	28.300
Halbzeug I	153.200	Fertigteile I	600.700
Additive III	22.300		
Regranulat I	17.000		
Summe Input:	1.257.000	Summe Output:	1.257.000
Lager [t]	50.000	Lagerveränderung:	0

3.5.1.3 Güterbilanz des Prozesses "Einsatz" - KST

Inputgüter:

Der Outputfluß *Fertigteil I* aus dem Prozeß "Aufbereitung, Verarbeitung, Nachbehandlung" ist gleichzeitig der Inputfluß *Fertigteil I* des Prozesses "Einsatz" und betrug 1994 600.700 t.

Weitere 414.800 t an Kunststofffertigteilen gelangten 1994 als Import nach Österreich und somit in diesen Prozeß. Die Tabelle 3-17 veranschaulicht die Quantifizierung dieser Masse, die analog zum Export an Waren aus Kunststoff aus dem Prozeß "Aufbereitung, Verarbeitung, Nachbehandlung" erfolgte.

Tabelle 3-17: Kunststoffanteile bei importierten Fertigwaren 1994 (Quelle: Export an Waren: [ÖSTAT, 1995], KST-Anteil: eigene Annahme)

ÖSTAT Nr.	Warenbenennung	Import an Waren [t]	KST- Anteil	KST- Anteil des Importes [t]
62	Kautschukwaren	115.685	90 %	104.116
6514	Nähgarn aus Chemiefasern	506	90 %	455
6515	Synthetische Garne	9.718	90 %	8.746
6516	Andere synthetische Garne	10.944	90 %	9.850
6517	Künstliche Garne	4.141	90 %	3.727
6518	Garne aus Spinnfaden	8.619	90 %	7.757
653	Gewebe synthetisch oder künstlich	11.998	90 %	10.798
7	Maschinen/Fahrzeuge (ohne 78)	1.001.096	1 %	10.011
78	Straßenfahrzeuge	664.615	7 %	46.523
82	Möbel und dergleichen	273.389	10 %	27.339
84	Bekleidung Zubehör (ohne 8482)	75.555	10 %	7.556
8482	Bekleidung aus Kunststoff	2.545	100 %	2.545
85	Schuhe	34.777	30 %	10.433
893	Kunststoffwaren	137.588	100 %	137.588
894	Spiele Sportgeräte	44.302	30 %	13.290
8984	Magnetbänder leer	8.559	90 %	7.703
8986	Magnetbänder mit Aufzeichnungen	2.003	90 %	1.803
8987	Schallplatten und dergleichen	4.659	90 %	4.193
89921	Blumen aus Kunststoff	357	100 %	357
	SUMME	2.420.567	17 %	414.790

Zusätzlich wurden zusammen mit den Waren und Materialien nicht deklarierte Kunststoffverpackung nach Österreich importiert. Deren Masse wurden analog dem Export dieser Verpackungen im vorhergehenden Kapitel berechnet und kann mit 29.400 t für das Jahr 1994 angegeben werden.

In Summe erhält man einen Inputfluß des Gutes *Fertigteile III*, das im Jahr 1994 nach Österreich importiert wurde, von 444.200 t.

In den bisher genannten Massen sind Thermoplaste und Duromere enthalten, Elastomere aber nur teilweise. Im Bundesabfallwirtschaftsplan [1992] wurde die Verbrauchsmasse von Elastomeren im Jahr 1990 auf ca. 140.000 t geschätzt. Unter der Annahme, daß sich der Elastomerverbrauch in Österreich bis 1994 ähnlich entwickelt hat wie der Verbrauch der gesamten Kunststoffe, lag der Verbrauch an Elastomeren 1994 bei ca. 186.000 t. Aus der obigen Tabelle kann man entnehmen, daß 1994 aber nur 104.000 t an Waren aus Kautschuk nach Österreich importiert wurden. Zur Abdeckung dieser Differenz benötigt man demnach noch einen Inputfluß von ca. 82.000 t an *Elastomeren* in den Prozeß "Einsatz". Anhand der vorliegenden Daten ist es aber nicht möglich zu sagen, woher diese Masse stammt. Ein möglicher Ansatz ist die Auto- und LKW-Reifenproduktion.

In Summe erhält man einen Inputgüterfluß von 1.126.900 t für das Jahr 1994.

Outputgüter:

Da für den Kunststoffabfall in Österreich nur Daten bis zum Jahr 1992 vorliegen, wurde angenommen, daß die Kunststoffabfallmasse ähnlich wie der Verbrauch an Kunststoffen von 1992 auf 1994 ebenfalls jährlich um ca. 6,5 % gestiegen ist. 1992 fielen in Österreich ca. 638.000 t an Kunststoffabfällen an [ÖKI, 1995]. Die Hochrechnung ergibt somit einen Güterfluß von 723.200 t an *Abfällen I*, die 1994 zu verwerten und entsorgen waren. Da der Prozeß "Einsatz" nur ein Outputgut kennt, ist diese Masse gleichzeitig die gesamte Outputmasse dieses Prozesses.

Lager:

Das Lager wurde aufgrund von Zeitreihen über den Verbrauch und die Abfallmassen von Kunststoffen in den Jahren von 1960 bis 1994 abgeschätzt. Demnach befanden sich 1994 ca. 7,1 Mio. t an Kunststoffwaren in Österreich im Prozeß "Einsatz". Die Lagerveränderung errechnet sich aus dem Input minus dem Output und beträgt demnach 431.100 t für das Jahr 1994. Das bedeutet, daß im Jahr 1994 das Lager an Kunststoffwaren im Prozeß "Einsatz" um 6,1 % angewachsen ist. Bei gleichbleibender Tendenz verdoppelt sich das Lager innerhalb von 11 Jahren! Es muß noch angemerkt werden, daß 1994 ca. 80.000 t Elastomere in das System importiert wurden, deren Herkunft nicht bestimmt werden konnte. Jene Masse an Elastomeren, die vor 1994 in das System importiert wurde, konnte demnach auch nicht bestimmt werden. Es ist daher damit zu rechnen, daß das Lager an Kunststoffen im Einsatz und in der Deponie noch um einige 100.000 t größer ist.

Die Abbildung 3-5 zeigt, wie das Lager an Kunststoffen im Prozeß "Einsatz" in den letzten 34 Jahren angestiegen ist. Als Ausgangsjahr wurde 1960 gewählt. Damals wurden ca. 60.000 t an Kunststoffen verbraucht. Etwa die Hälfte davon fiel in diesem Jahr auch wieder als Abfall an. Da in den 50er Jahren die Kunststoffindustrie erst im Entstehen war und Kunststoffprodukte noch selten waren, wird angenommen, daß sich damals ca. 400.000 t an Kunststoffwaren in Österreich im Lager "Einsatz" befanden. Dies entspricht ca. jener Masse, die von 1960 bis 1965 in dieses Lager ging. Die Daten zur Abbildung befinden sich im *Anhang 2*.

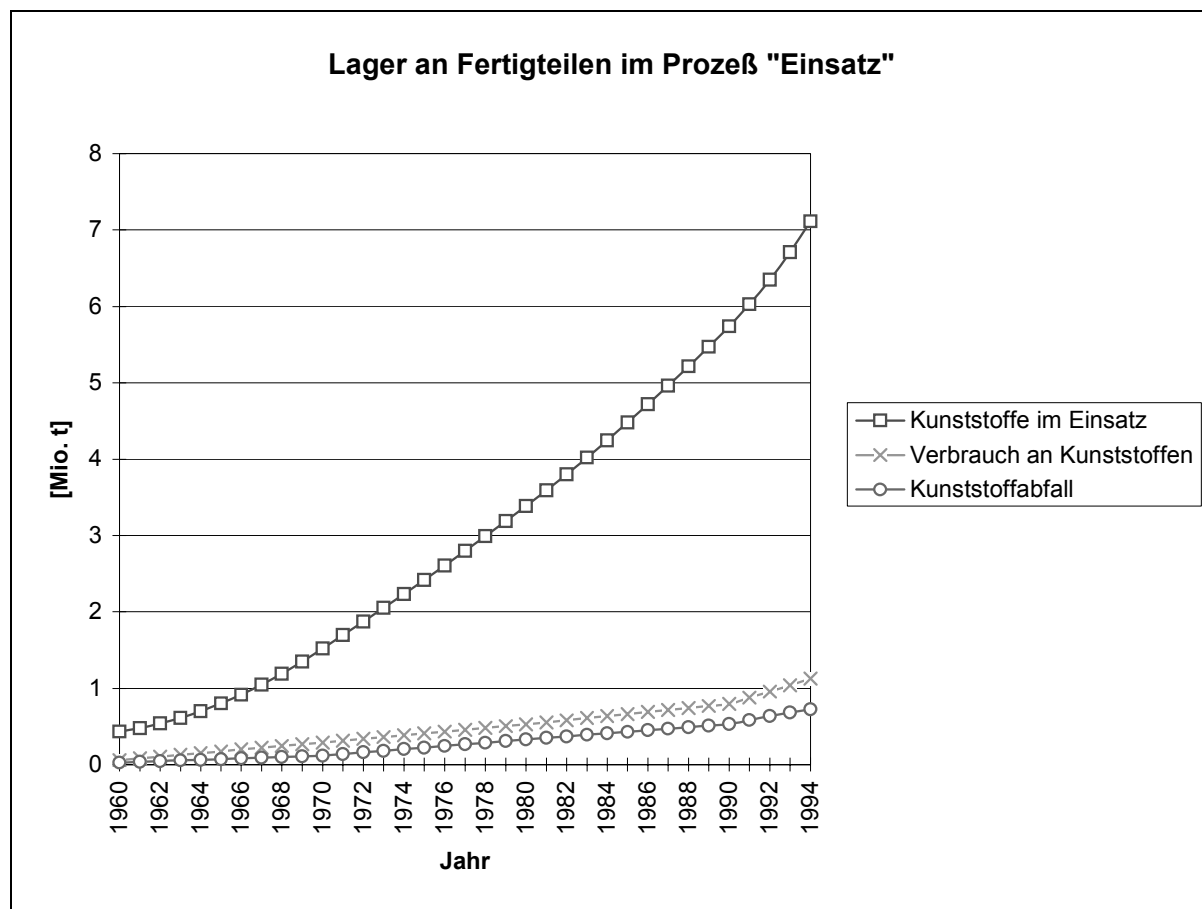


Abbildung 3-5: Lager an Fertigteilen aus Kunststoffen im Prozeß "Einsatz", 1994

Die nachfolgende Tabelle zeigt die oben angeführten Berechnungen in tabellarischer Form.

Tabelle 3-18: Güterbilanz des Prozesses "Einsatz" - KST

Inputgüter	[t/a]	Outputgüter	[t/a]
Fertigteile I	600.700	Abfall I	723.200
Fertigteile III	444.200		
Elastomere	82.000		
Summe Input:	1.126.900	Summe Output:	723.200
Lager [t]	7.100.000	Lagerveränderung:	+403.700

3.5.1.4 Güterbilanz des Prozesses "Sammlung, Sortierung, Transport" - KST

Inputgüter:

Der größte Güterfluß in den Prozeß "Sammlung, Sortierung, Transport" stammt aus dem Prozeß "Einsatz" und beträgt 723.200 t des Gutes *Abfall I* für das Jahr 1994.

Hinzu kommen noch die *Produktionsabfälle I* und *II* aus dem Prozeß "Chemische Industrie, Polymer-Synthese, Aufbereitung" mit 1.000 t und aus dem Prozeß "Aufbereitung, Verarbeitung, Nachbehandlung" mit 28.300 t im Jahr 1994.

Zusätzlich zu den aus Österreich stammenden Massen wurden 1994 noch ca. 11.000 t an Kunststoffabfällen importiert [ÖSTAT, 1995], welche als Inputgut *Abfall II* ebenfalls in diesen Prozeß strömen.

In Summe erhält man für den Prozeß "Sammlung, Sortierung, Transport" einen Inputfluß von 763.500 t für das Jahr 1994.

Outputgüter:

Der Prozeß "Sammlung, Sortierung, Transport" kann als Steuerzentrale der Abfallwirtschaft angesehen werden. Die Kenntnisse über die In- und Outputströme ermöglichen optimale Verwertungs- und Entsorgungsstrategien.

1994 wurden von der Altstoff Recycling Austria AG 31.800 t [ARA, 1995] und vom Verein der Kunststoff Recycler Österreichs ca. 4.300 t [VKÖ, 1995] an Verpackungskunststoffen einer stofflichen Verwertung zugeführt. Zusammen mit den Nichtverpackungskunststoffen wurden 1994 ca. 5.000 t einer gemischten stofflichen Verwertung und 44.200 t einer sortenreinen stofflichen Verwertung zugeführt [ÖKI, 1996]. Somit erhält man einen Outputfluß des Gutes *gesammelter und/oder sortierter und transportierter (g. s. t.) Abfall I* in den Prozeß "Stoffliche Verwertung" von 49.200 t für das Jahr 1994. In dieser Masse sind auch ca. 2.000 t Nichtkunststoffe (Papier, Holz, Metalle, Ballendraht etc.) inkludiert, die bei der „Stofflichen Verwertung“ vor allem zusammen mit Polyvinylchlorid aussortiert werden.

Dem nachfolgenden Subprozeß "Lager" ist zu entnehmen, daß 1994 eine thermische Verwertung im Sinne der Verpackungsverordnung nicht erfolgte [ARA, 1995]. Somit beschränkt sich die thermische Verwertung auf die beiden in Wien in Betrieb befindlichen Anlagen zur Hausmüllverbrennung und den Einsatz von Altreifen als Sekundärbrennstoff in der Zementindustrie. In verschiedenen Literaturstellen wird der Anteil der Kunststoffe im Hausmüll mit ca. 10 % angegeben. Für die Bilanzierung der Prozesse "Sammlung, Sortierung, Transport" und später "Thermische Verwertung" ist diese Genauigkeit ausreichend.

Für das Jahr 1994 wurde ein Outputfluß des Gutes *gesammelter und/oder sortierter und transportierter Abfall II* von 71.200 t in den Prozeß "Thermische Verwertung" berechnet. Die Quantifizierung dieser Masse erfolgt im Kapitel 2.5.1.6: Güterbilanz des Prozesses "Thermische Verwertung".

Zusätzlich wurden 1994 ca. 11.800 t an Kunststoffabfällen exportiert [ÖSTAT, 1995], wodurch man einen weiteren Outputgüterfluß *gesammelter und/oder sortierter und transportierter Abfall IV* erhält.

Somit verbleiben nach Aufsummierung der Inputströme und Abzug der bisher genannten Outputströme inklusive der im folgenden Unterpunkt "Lager" beschriebenen Masse noch

588.900 t an *gesammeltem und/oder sortiertem und transportiertem Abfall III*, der 1994 deponiert wurde.

In Summe erhält man für den Prozeß "Sammlung, Sortierung, Transport" einen Outputfluß von 721.100 t für das Jahr 1994.

Lager:

Weiters wurden von der Altstoff Recycling Austria AG (ARA) 42.400 t Altkunststoffe gesammelt, welche als thermische Fraktion einer späteren thermischen Verwertung zugeführt werden sollen [ÖKK, 1996]. Da dies aber 1994, von geringen Testmassen abgesehen, noch nicht der Fall war, gingen diese Massen in ein Lager auf Zeit. Somit erhält man eine positive Lagerveränderung von 42.400 t für das Jahr 1994.

Die Größe des Zwischenlagers an Kunststoffen wird vom Österreichische Kunststoff Kreislauf [1996] mit 44.800 t für Ende 1994 angegeben.

Tabelle 3-19: Güterbilanz des Prozesses "Sammlung, Sortierung, Transport" - KST

Inputgüter	[t/a]	Outputgüter	[t/a]
Abfall I	723.200	g. s. t. Abfall I	49.200
Produktionsabfall I	1.000	g. s. t. Abfall II	71.200
Produktionsabfall II	28.300	g. s. t. Abfall III	588.900
Abfall II	11.000	g. s. t. Abfall IV	11.800
Summe Input:	763.500	Summe Output:	721.100
Lager [t]	44.800	Lagerveränderung:	+42.400

3.5.1.5 Güterbilanz des Prozesses "Stoffliche Verwertung" - KST

Inputgüter:

1994 wurden 49.200 t des Gutes *gesammelter und/oder sortierter und transportierter Abfall I* vom Prozeß "Sammlung, Sortierung, Transport" in den Prozeß "Stoffliche Verwertung" übergeführt [ÖKI, 1995]. Da dieses Gut das einzige ist, das in einer Größenordnung von über 1.000 t pro Jahr vorkommt, stellt dies auch den gesamten Inputfluß dar.

Outputgüter:

1994 wurden bei der gemischten stofflichen Verwertung ca. 500 t und bei der sortenreinen stofflichen Verwertung ca. 6.200 t an Aufgabebandabfällen, Reststoffen, Waschabfällen und so weiter aussortiert - siehe dazu auch *Anhang 8* und *Anhang 9*. Zusammen wurden demnach 1994 bei den stofflichen Verwertern 6.700 t, hier als Outputgut *Fremdstoffe* bezeichnet, aussortiert [ÖKI, 1995].

Von den 42.500 t an Regranulat, die 1994 in Österreich produziert wurden, waren ca. 60 % für den Export aus Österreich und ca. 40 % für den Verbrauch in Österreich bestimmt [ÖKI, 1995]. Somit erhält man zwei Outputströme des Gutes *Regranulat I* und *II* in der Größe von 17.000 t beziehungsweise 25.500 t für 1994.

Die Summe der einzelnen Outputströme aus dem Prozeß "Stoffliche Verwertung" betrug 1994 49.200 t.

Lager:

Sofern Kunststoffabfälle gelagert oder zwischengelagert werden, so werden diese nur im Prozeß "Sammlung, Sortierung, Transport" berücksichtigt. Somit erhält man für diesen Prozeß weder ein Lager noch eine Lagerveränderung.

Tabelle 3-20: Güterbilanz des Prozesses "Stoffliche Verwertung" - KST

Inputgüter	[t/a]	Outputgüter	[t/a]
g. s. t. Abfall I	49.200	Regranulat I	17.000
		Regranulat II	25.500
		Fremdstoffe	6.700
Summe Input:	49.200	Summe Output:	49.200
Lager [t]	0	Lagerveränderung:	0

3.5.1.6 Güterbilanz des Prozesses "Thermische Verwertung" - KST

Inputgüter:

Wie bereits bei der Bilanzierung des Prozesses "Sammlung, Sortierung, Transport" erwähnt wurde, fand 1994 in Österreich keine thermische Verwertung von Kunststoffverpackungsabfällen im Sinne der Verpackungsverordnung statt. Der Input in diesen Prozeß setzt sich aus dem Kunststoffanteil im Hausmüll, der in Müllverbrennungsanlagen thermisch verwertet wird, und dem Einsatz von Altreifen und Gummiabfällen in der österreichischen Zementindustrie zusammen.

Die Tabelle 3-21 zeigt, wieviel Hausmüll in Österreich in den Jahren 1963 bis 1994 einer thermischen Verwertung zugeführt wurde. Weiters ist der Kunststoffanteil dargestellt, der sich unter der Annahme ergibt, daß der Anteil der Kunststoffe im Hausmüll von 1963 ca. 4 % auf 1994 ca. 10 % stetig anstieg. 1994 wurden 44.200 t Kunststoffabfälle zusammen mit dem Hausmüll thermisch verwertet. Die genauen Zahlenwerte befinden sich im *Anhang 6*.

Zusätzlich zu den Massen an Kunststoffabfall, die zusammen mit dem Hausmüll thermisch verwertet wurden, konnten 1994 weitere 27.000 t Altreifen und Gummiabfälle in der österreichischen Zementindustrie einer thermischen Verwertung zugeführt werden [Braun, 1996].

Demnach erhält man einen Inputfluß des Gutes *gesammelter und/oder sortierter und transportierter Abfall II* in den Prozeß "Thermische Verwertung" von 71.200 t für das Jahr 1994.

Tabelle 3-21: Thermische Verwertung von Hausmüll [Fernwärme Wien AG, 1995] und den darin enthaltenen Kunststoffen in Österreich 1963 bis 1994, gerundet

Jahr	Flötzersteig	Spittelau	Wels	Summe	Kumulierte Summe Abfall	davon Kunststoffe		Kumulierte Summe KST
	[t/Jahr]	[t/Jahr]	[t/Jahr]	[t/Jahr]	[t]	[%]	[t/Jahr]	[t]
1963	38.000			38.000	38.000	4,0	2.000	2.000
1964	122.000			122.000	160.000	4,2	5.000	7.000
1965	133.000			133.000	293.000	4,4	6.000	12.000
1966	141.000			141.000	434.000	4,6	6.000	19.000
1967	127.000			127.000	561.000	4,8	6.000	25.000
1968	119.000			119.000	680.000	5,0	6.000	31.000
1969	119.000			119.000	799.000	5,2	6.000	37.000
1970	124.000			124.000	923.000	5,4	7.000	44.000
1971	141.000	49.000		190.000	1.113.000	5,5	11.000	54.000
1972	142.000	118.000		260.000	1.373.000	5,7	15.000	69.000
1973	135.000	167.000	3.000	305.000	1.677.000	5,9	18.000	87.000
1974	129.000	195.000	13.000	337.000	2.014.000	6,1	21.000	108.000
1975	128.000	207.000	13.000	348.000	2.363.000	6,3	22.000	130.000
1976	127.000	214.000	15.000	357.000	2.719.000	6,5	23.000	153.000
1977	120.000	220.000	15.000	355.000	3.074.000	6,7	24.000	177.000
1978	110.000	195.000	16.000	322.000	3.395.000	6,9	22.000	199.000
1979	123.000	212.000	16.000	351.000	3.747.000	7,1	25.000	224.000
1980	120.000	195.000	17.000	333.000	4.079.000	7,3	24.000	248.000
1981	118.000	208.000	17.000	342.000	4.422.000	7,5	26.000	274.000
1982	118.000	213.000	17.000	349.000	4.771.000	7,7	27.000	301.000
1983	102.000	216.000	17.000	335.000	5.106.000	7,9	26.000	327.000
1984	106.000	265.000	18.000	389.000	5.495.000	8,1	31.000	358.000
1985	95.000	272.000	18.000	385.000	5.880.000	8,3	32.000	390.000
1986	108.000	247.000	19.000	373.000	6.254.000	8,5	32.000	422.000
1987	103.000	101.000	20.000	223.000	6.477.000	8,6	19.000	441.000
1988	115.000		18.000	133.000	6.610.000	8,8	12.000	453.000
1989	112.000	9.000	18.000	139.000	6.749.000	9,0	13.000	465.000
1990	85.000	212.000	12.000	308.000	7.057.000	9,2	28.000	494.000
1991	85.000	257.000		341.000	7.399.000	9,4	32.000	526.000
1992	135.000	268.000		403.000	7.802.000	9,6	39.000	565.000
1993	180.000	242.000		422.000	8.224.000	9,8	41.000	606.000
1994	183.000	260.000		442.000	8.666.000	10,0	44.000	650.000
Summe	3.845.000	4.541.000	281.000	8.666.000	8.666.000		650.000	650.000

Outputgüter:

Nach der thermischen Nutzung des Energiegehaltes von Kunststoffabfällen erhält man mit Ausnahme von PVC als Produkte der Verbrennung in erster Linie Kohlendioxid und Wasser, welche sich im Gut *Abluft* wiederfinden.

Die nachfolgende Tabelle zeigt, wie sich die Kunststoffe auf die Produkte der (Hausmüll)-Verbrennung aufteilen.

Tabelle 3-22: Aufteilung der Kunststoffmasse auf die Produkte der Verbrennung [Schachermayer et al, 1995] und eigene Annahmen, (siehe *Anhang 11*)

Kunststoffabfälle		Abluft	Abwasser	Deponiegut		
				E-Filterstaub	Filterkuchen	Schlacke
100	[%]	92,1	2,3	1,8	0,03	3,8
44.200	[t]	40.700	1.000	800	13	1.700

E-Filterstaub Elektrofilterstaub

Obwohl der Elektrofilterstaub in Untertagedeponien abgelagert wird, rechnet man ihn hier zum *Deponiegut* dazu, welches sich noch aus den Produkten Filterkuchen und Schlacke zusammensetzt und im Jahr 1994 eine Masse von 2.500 t hatte.

In der österreichischen Zementindustrie wurden 1994 ca. 27.000 t Altreifen als Sekundärbrennstoff einer thermischen Verwertung zugeführt. Folgende vereinfachte Zusammensetzung der Altreifen wurde in Anlehnung an Reiter & Stroh [1995] angenommen:

Tabelle 3-23: Zusammensetzung von Altreifen in Anlehnung an Reiter & Stroh [1995]

Zusammensetzung	Gew.-%
Kautschuk	50
Ruß	18
Eisen	15
Öle, Wachse	10
Zink	1
Schwefel	1
Sonstige (vorallem O und H sowie < 0,1 Gew.-%: Cr, Ni, Pb, Cd)	5
Summe:	100

Weiters wurde angenommen, daß sowohl der Kautschuk als auch die Öle und Wachse im Drehrohrofen oxidiert und Teile des Ruß-Kohlenstoffes reduziert werden, sodaß ca. 70 % des eingesetzten Sekundärbrennstoffes *Altreifen II* in Form von CO₂ und H₂O in die *Abluft* gelangen und ca. 30 % im Zementklinker verbleiben. Somit erhält man als Outputgüter dieses Prozesses 18.900 t *Abluft* und 8.100 t *Produkt*.

In Summe erhält man für das Jahr 1994 die Outputgüter *Abluft* mit 59.600 t, *Deponiegut* mit 2.500 t, *Abwasser* mit 1.000 t und *Produkt* mit 8.100 t.

Lager:

Wie auch schon beim Prozeß "Stoffliche Verwertung" erklärt wurde, besitzt dieser Prozeß laut Definition kein Lager und auch keine Lagerveränderung.

Tabelle 3-24: Güterbilanz des Prozesses "Thermische Verwertung" - KST

Inputgüter	[t/a]	Outputgüter	[t/a]
g. s. t. Abfall II	71.200	Deponiegut	2.500
		Abluft	59.600
		Abwasser	1.000
		Produkt (Zementklinker)	8.100
Summe Input:	71.200	Summe Output:	71.200
Lager [t]	0	Lagerveränderung:	0

3.5.1.7 Güterbilanz des Prozesses "Deponie" - KST

Inputgüter:

Im Jahr 1994 gelangten 588.900 t des Inputgutes *gesammelter und/oder sortierter und transportierter Abfälle III* aus dem Prozeß "Sammlung, Sortierung, Transport" in diesen Prozeß.

Hinzu kamen 1994 noch 6.700 t an *Fremdstoffen* aus dem Prozeß "Stoffliche Verwertung" und 2.500 t an *Deponiegut* aus dem Prozeß „Thermische Verwertung“.

Somit erhält man für 1994 einen Inputfluß in den Prozeß "Deponie" von 598.100 t.

Outputgüter:

Dieser Prozeß kennt per Definition keine Outputgüter (siehe auch Kapitel 3.4.1.3.7).

Lager:

Das Lager an Kunststoffen im Prozeß "Deponie" wurde genauso berechnet wie jenes an Fertigteilen im Prozeß "Einsatz". Für diese Studie standen erst ab dem Jahr 1960 Daten über den Verbrauch und die Abfallmassen von Kunststoffen zur Verfügung. Die Größe des Lagers im Prozeß "Deponie" wurde für das Jahr 1960 mit 400.000 t angenommen. Das entspricht ca. jener Masse, die von 1960 bis 1965 deponiert wurde.

Die Auswertung der Zeitreihen ergab für 1994 ein Lager an Kunststoffen im Prozeß "Deponie" von 9,7 Mio. t. Wie schon bei den Ausführungen beim Lager "Einsatz" erwähnt wurde, muß man annehmen, daß das Lager an Kunststoffen im Prozeß "Deponie" aufgrund der unbestimmten Elastomerimporte noch größer ist.

Die positive Lagerveränderung errechnet sich aus den Inputgütern und betrug 1994 598.100 t. Das bedeutet, daß im Jahr 1994 das Lager an Kunststoffwaren im Prozeß "Deponie" um ca. 6 % angewachsen ist. Bei gleichbleibender Tendenz verdoppelt sich das Lager innerhalb von 12 Jahren!

Die nachfolgende Abbildung zeigt den Anstieg des Lagers an Kunststoffen im Prozeß "Deponie" in den letzten 34 Jahren. Die Daten zur Abbildung befinden sich im *Anhang 2*.

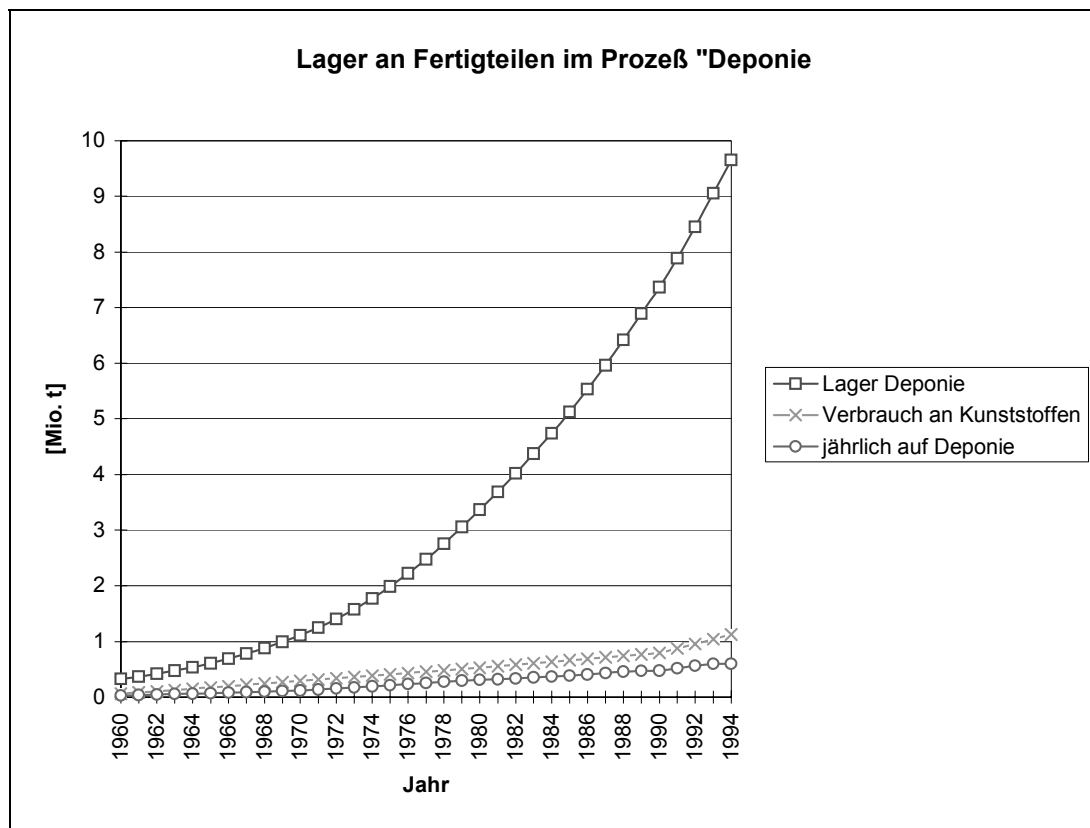


Abbildung 3-6: Lager an Kunststoffen im Prozeß "Deponie"

Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die Input- und Outputgüter des Prozesses "Deponie".

Tabelle 3-25: Güterbilanz des Prozesses "Deponie" - KST

Inputgüter	[t/a]	Outputgüter	[t/a]
g. s. t. Abfall III	588.900		
Fremdstoffe	6.700		
Deponiegut	2.500		
Summe Input:	598.100	Summe Output:	0
Lager [t]	9.700.000	Lagerveränderung:	+598.100

3.5.2 Quantifizierung der Polyethylenflüsse und -lager in Österreich

Polyethylen ist massenmäßig der wichtigste Vertreter der Kunststoffe. Polyethylen wird in Österreich nur von der PCD-Polymere produziert. Daher ergibt sich eine Monopolstellung, die bewirkt, daß viele Daten der Produktions-, Import- und Exportstatistiken geheim behandelt werden. Da für das Jahr 1994 kaum Daten zur Verfügung stehen, werden diese anhand verschiedener Studien hochgerechnet.

Die Abbildung 3-7 auf der nächsten Seite zeigt die zusammengefaßten Ergebnisse dieses Kapitels.

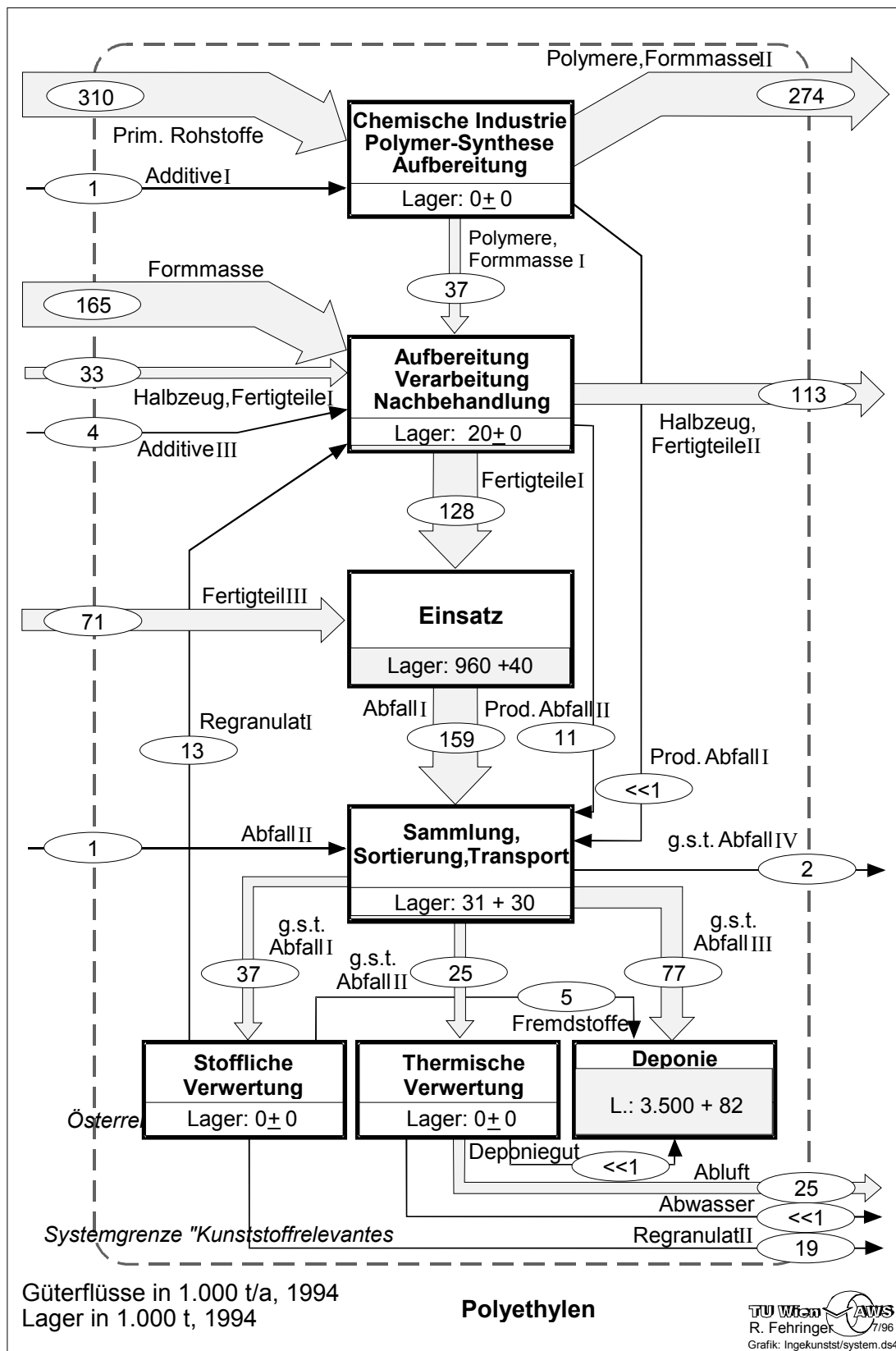


Abbildung 3-7: Güterbilanz der Polyethylenflüsse und -lager in Österreich 1994

3.5.2.1 Güterbilanz des Prozesses "Chemische Industrie, Polymer-Synthese, Aufbereitung" - PE

Inputgüter:

1994 wurden von der PCD-Polymere 310.000 t Polyethylen hergestellt [ÖKI, 1996]. Für 1994 ergibt dies einen Inputfluß des Gutes *Primäre Rohstoffe* von 310.000 t.

Der Anteil der Additive, Hilfsstoffe und Katalysatoren beträgt bei den Polyethylentypen im Mittel 0,3 Masseprozent [Prazak, 1996]. Man erhält demnach einen Input des Gutes *Additive I* in diesen Prozeß von 900 t für das Jahr 1994.

In Summe erhält man einen Inputgüterfluß in den Prozeß "Chemische Industrie, Polymer-Synthese, Aufbereitung" von 310.900 t für das Jahr 1994.

Outputgüter:

Aufgrund der Monopolstellung lassen sich aus der Außenhandelsstatistik keine Schlüsse ziehen, wie sich die Rohformenexporte auf die einzelnen Kunststoffsorten aufteilen.

Der Exportanteil der Polyethylenproduktion der PCD-Polymere beträgt ca. 88 % [Prazak, 1996]. Dies entspricht einer Masse von 273.600 t *Polymere, Formmasse II* aus Polyethylen für das Jahr 1994. Wieviel Polyethylenrohformen (*Formmasse*), die nach Österreich importiert wurden, auch wieder exportiert wurden, kann nicht abgeschätzt werden und wird daher mit 0 t angenommen.

Bei der Produktion von Polyethylen fallen neben minderwertigen Waren, diese werden vermarktet, jährlich ca. 200 t *Produktionsabfälle I* an, welche in erster Linie deponiert werden [Prazak, 1996].

Die oben angeführten Berechnungen ergeben, daß 1994 nach Aufsummierung der Inputgüter und Abzug der bisher genannten Outputgüter 37.100 t *Polymere, Formmasse I* vom Prozeß "Chemische Industrie, Polymer-Synthese, Aufbereitung" in den Prozeß "Aufbereitung, Verarbeitung, Nachbehandlung" übergegangen sind, da von keiner wesentlichen Lagerveränderung ausgegangen wird.

In Summe erhält man einen Outputgüterfluß aus dem Prozeß "Chemische Industrie, Polymer-Synthese, Aufbereitung" von 310.900 t für das Jahr 1994.

Lager:

Die PCD-Polymere, der einzige Polyethylenhersteller in Österreich, unterhält kein Lager für Rohstoffe. Diese werden bei Bedarf direkt von der Raffinerie bezogen. Das Lager an Additiven ist wesentlich kleiner als 1.000 t und wird daher nicht berücksichtigt.

Nachfolgend sind die obigen Berechnungen in tabellarischer Form aufgearbeitet.

Tabelle 3-26: Güterbilanz des Prozesses "Chemische Industrie, Polymer-Synthese, Aufbereitung" - PE

Inputgüter	[t/a]	Outputgüter	[t/a]
Primäre Rohstoffe	310.000	Polymere, Formmasse II	273.600
Additive I	900	Produktionsabfälle I	200
		Polymere, Formmasse I	37.100
Summe Input:	310.900	Summe Output:	310.900
Lager [t]	0	Lagerveränderung:	0

3.5.2.2 Güterbilanz des Prozesses *Aufbereitung, Verarbeitung, Nachbehandlung* - PE

Inputgüter:

Aufgrund der Berechnungen der Outputgüter des Prozesses "Chemische Industrie, Polymer-Synthese, Aufbereitung" erhält man einen Inputfluß an *Polymere, Formmasse I* in diesen Prozeß von 37.100 t im Jahr 1994.

1994 wurden 164.800 t an Polyethylenrohformen, hier als Gut *Formmasse* bezeichnet, nach Österreich importiert [ÖSTAT, 1995].

Die importierte Formmasse wird in Österreich verarbeitet, eingefärbt, stabilisiert und dergleichen mehr. 1994 wurden ca. 260.000 t Polyethylen mit ca. 6.200 t Additiven verbraucht [ÖKI, 1995]. Dies entspricht einem Additivanteil von 2,4 %. Die RWE Entsorgung AG beziffert den Anteil an Zuschlagstoffen bei Polyethylen mit 1,6 %. Unter der Annahme, daß die nach Österreich importierte *Formmasse* genauso mit 0,3 % Additiven versehen ist, wie jene, die aus Österreich über den Prozeß "Chemische Industrie, Polymer-Synthese, Aufbereitung" exportiert wurde, so benötigt man noch einen Additivanteil von 2,1 % für die Produktion von *Halbzeug, Fertigteilen I*. Von den 164.800 t *Formmasse* sind 2,1 % ca. 3.500 t. Demnach erhält man für das Jahr 1994 einen Input des Gutes *Additive III* von 3.500 t.

1994 wurden 33.200 t *Halbzeug, Fertigteile I* aus Polyethylen nach Österreich importiert [ÖSTAT, 1995]

Einen weiteren Inputfluß stellt das *Regranulat I* dar, welches 1994 im Ausmaß von 12.600 t vom Prozeß "Stoffliche Verwertung" in diesen Prozeß gelangte. Weitere Ausführungen sind bei der Bilanzierung der Outputgüter des Prozesses "Stoffliche Verwertung" nachzulesen.

Den obigen Ausführungen ist zu entnehmen, daß den österreichischen Verarbeitungsbetrieben 1994 in Summe 251.200 t Polymere, Formmasse, Additive und Regranulat aus Polyethylen zur Verfügung standen. Diese Güter können mit dem Begriff Granulat zusammengefaßt werden. Die PCD-Polymere schätzt diese Masse auf ca. 243.000 t [Prazak, 1996]. Die nachfolgende Tabelle zeigt, wie sich diese Masse auf die einzelnen Polyethylentypen aufteilt.

Tabelle 3-27: Polyethylengranulatverbrauch in Österreich 1994 [Prazak, 1996]

Polyethylentyp	Granulatverbrauch in Österreich 1994
LD-PE	96.000 t
HD-PE	80.000 t
LLD-PE	29.000 t
PE-Regranulate	38.000 t
Summe	243.000 t

Interessant ist in diesem Zusammenhang, daß in den letzten drei Jahren der Verbrauch an LD-PE zugunsten von PE-Regranulaten zurückgegangen ist, da die sortenreinen, stofflich verwerteten Kunststoffabfälle in erster Linie in den LD-PE Markt drängen.

In Summe gelangten 1994 an Inputgütern in den Prozeß "Aufbereitung, Verarbeitung, Nachbehandlung" 251.200 t Polyethylen.

Outputgüter:

Das Outputgut *Halbzeug, Fertigteile II* setzt sich aus den als Halbzeug oder Fertigteil deklarierten, exportierten Polyethylen, den exportierten Fertigteilen aus/mit Polyethylen und den nicht deklarierten Exportverpackungen aus Polyethylen zusammen. 1994 wurden 64.000 t Halbzeug, Fertigteile aus Polyethylen exportiert [ÖSTAT, 1995]. Die Quantifizierung der Fertigteile aus/mit Polyethylen gestaltete sich schwierig, da auch das Österreichische Statistische Zentralamt über keine explizite kunststoffsartenspezifische Aufschlüsselung verfügt. In Anlehnung an die *Tabelle 3-15* im Kapitel 3.5.12. *Güterbilanz des Prozesses "Aufbereitung, Verarbeitung, Nachbehandlung" - KST* wurde der dort beschriebene Kunststoffanteil auf verschiedene Kunststoffsorten aufgeschlüsselt. Da die Prozentsätze kaum eruierbar sind, wurden sie geschätzt.

Tabelle 3-28: Kunststoffanteile bei exportierten Fertigwaren aus/mit Polyethylen 1994 (Quelle: Export an Waren: [ÖSTAT, 1995], KST- und PE-Anteil: eigene Annahmen)

ÖSTAT Nr.	Warenbenennung	Export an Waren	KST-Anteil	KST-Anteil am Export	PE-Anteil am Export	PE-Anteil am Export
		[t]	[%]	[t]	[%]	[t]
62	Kautschukwaren	136.065	90 %	122.459	0 %	0
6514	Nähgarn aus Chemiefasern	449	90 %	404	0 %	0
6515	Synthetische Garne	3.437	90 %	3.093	0 %	0
6516	A. synthetische Garne	2.364	90 %	2.128	0 %	0
6517	Künstliche Garne	7.723	90 %	6.951	0 %	0
6518	Garne a. Spinnfäden	43.304	90 %	38.974	0 %	0
653	Gewebe synthetisch od künstlich	13.131	90 %	11.818	0 %	0
7	Maschinen/Fahrzeuge (ohne 78)	1.055.498	1 %	10.555	20 %	2.111
78	Straßenfahrzeuge	300.110	7 %	21.008	20 %	4.202
82	Möbel und der gleichen	95.910	10 %	9.591	10 %	959
84	Bekleidung Zubehör (ohne 8482)	195.136	10 %	19.514	10 %	1.951
8482	Bekleidung aus Kunststoff	2.399	100 %	2.399	10 %	240
85	Schuhe	13.303	30 %	3.991	0 %	0
893	Kunststoffwaren	122.508	100 %	122.508	20 %	24.502
894	Spiele Sportgeräte	26.182	30 %	7.855	15 %	1.178
8984	Magnetbänder leer	10.948	90 %	9.853	0 %	0
8986	Magnetbänder mit Aufzeichnung	592	90 %	533	0 %	0
8987	Schallplatten und der gleichen	8.895	90 %	8.006	0 %	0
89921	Blumen aus Kunststoff	39	100 %	39	50 %	19
	SUMME	2.037.993	20 %	401.676	9 %	35.162

Bisher wurden undeklarierte Verpackungen noch nicht erwähnt. Diese stammen in erster Linie aus Verpackungen von importierten Waren und Materialien und wurden im Kapitel 3.5.1.3 mit 15.100 t für das Jahr 1994 angegeben. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Zusammensetzung der nicht deklarierten Kunststoffverpackungen in der Schweiz und die darauf basierende Berechnung des Polyethylenanteiles für Österreich 1994. Aufgrund eines ähnlichen Konsumverhaltens dürfen Literaturwerte aus der Schweiz auf Österreich umgerechnet werden.

Tabelle 3-29: Zusammensetzung der nicht deklarierten Kunststoffverpackungen in der Schweiz 1992 [Stumpf, 1994] und Umrechnung auf Österreich 1994

Kunststoffsorte	Anteil in [%]	Anteil in [t]
Polyethylen	89	13.400
Polypropylen	1	200
Polystyrol	8	1.200
Andere	2	300
Summe	100	15.100

Demnach wurden 1994 Waren und Materialien mit 13.400 t Polyethylenverpackung aus Österreich exportiert. Zusammen mit den oben angeführten *Halbzeug*, *Fertigteile* und den berechneten Waren aus/mit Polyethylen erhält man einen Output des Gutes *Halbzeug*, *Fertigteile II* aus dem Prozeß "Aufbereitung, Verarbeitung, Nachbehandlung" von 112.600 t für das Jahr 1994.

Die *Produktionsabfälle II* wurden hier analog zum Prozeß "Chemische Industrie, Polymer-Synthese, Aufbereitung" errechnet. Die Produktionsmasse an Fertigteilen und Halbzeug in Österreich wurde wie folgt abgeschätzt: Im ersten Schritt werden die in Österreich zur Verfügung stehenden Formmassen, Polymere, Additive und Regranulate addiert. Diese setzen sich aus dem Import an *Formmassen* und *Additive* nach Österreich, dem Input des Gutes *Formmassen, Polymere I*, welche vom Prozeß "Chemische Industrie, Polymer-Synthese, Aufbereitung" stammen, und dem *Regranulat I* aus dem Prozeß "Stoffliche Verwertung" zusammen. Demnach konnten die kunststoffverarbeitende Industrie und das kunststoffverarbeitende Großgewerbe 1994 ca. 218.000 t Formmasse und Polymere verarbeiten. Nach Angaben des ÖKI fallen ca. 10 % der Produktion als Produktionsabfall an; 21.800 t im Jahr 1994. Davon werden ca. 50 % innerbetrieblich und ca. 50 % extern verwertet. Man erhält demnach einen Outputfluß des Gutes *Produktionsabfall II* von 10.900 t für das Jahr 1994.

Da auch bei diesem Prozeß keine wesentliche Lagerveränderung angenommen wird, errechnet sich der Outputanteil an *Fertigteilen I*, welche in den Prozeß "Einsatz" übergehen, aus der Summe der Inputgüter minus der Summe der bisher aufgelisteten Outputgüter. Somit erhält man für das Jahr 1994 127.700 t des Outputgutes *Fertigteil I*.

In Summe erhält man für den Prozeß "Aufbereitung, Verarbeitung, Nachbehandlung" einen Outputfluß von 251.200 t für das Jahr 1994.

Lager:

Die Größe des Lagers wurde wie im Kapitel 3.5.1.2 *Güterbilanz des Prozesses "Aufbereitung, Verarbeitung, Nachbehandlung - KST"* berechnet. 1994 wurden ca. 220.000 t Polyethylen verarbeitet oder nachbehandelt. Bei einer Lagerhaltung für eine Produktion von vier Wochen ergibt dies ein Lager von in der Größe von ca. 20.000 t.

Wie auch beim Prozeß "Chemische Industrie, Polymer-Synthese, Aufbereitung" wird angenommen, daß sich dieses Lager über ein Jahr gesehen nicht wesentlich ändert.

Nachfolgend sind die obigen Berechnungen in tabellarischer Form aufgearbeitet.

Tabelle 3-30: Güterbilanz des Prozesses "Aufbereitung, Verarbeitung, Nachbehandlung" - PE

Inputgüter	[t/a]	Outputgüter	[t/a]
Polymere, Formmasse I	37.100	Halbzeug, Fertigteile II	112.600
Formmasse	164.800	Produktionsabfall II	10.900
Halbzeug, Fertigteile I	33.200	Fertigteile I	127.700
Additive III	3.500		
Regranulat I	12.600		
Summe Input:	251.200	Summe Output:	251.200
Lager [t]	20.000	Lagerveränderung:	0

3.5.2.3 Güterbilanz des Prozesses "Einsatz" - PE

Inputgüter:

Der Outputfluß *Fertigteil I* aus dem Prozeß "Aufbereitung, Verarbeitung, Nachbehandlung" ist gleichzeitig der Inputfluß *Fertigteil* des Prozesses "Einsatz" und betrug 1994 127.700 t.

Weitere 44.700 t an Waren aus/mit Polyethylen gelangten 1994 als Import nach Österreich in diesen Prozeß. Die Tabelle 3-31 veranschaulicht die Zusammensetzung dieser Masse, die analog zum Outputfluß *Fertigprodukte* des Prozesses "Aufbereitung, Verarbeitung, Nachbehandlung" erfolgte.

Der Import an undeklarierten Verpackungen wurden analog zum Export berechnet. Demnach wurden zusammen mit den importierten Waren und Materialien ca. 29.400 t Kunststoffverpackungen importiert, welche zu 89 % aus Polyethylen bestehen. Somit errechnet sich ein Import von weiteren 26.200 t Polyethylenverpackungen.

Zusammen mit den oben berechneten Waren aus/mit Polyethylen erhält man einen Input des Gutes *Fertigteile III* in den Prozeß "Einsatz" von 70.900 t für das Jahr 1994.

In Summe erhält man für das Jahr 1994 einen Inputgüterfluß an Waren aus Polyethylen von 198.600 t.

Als Vergleich sind in den folgenden Absätzen Literaturwerte angeführt:

In einer Studie "Kunststoffe im System- und Gewerbemüll Österreichs" der RWE-Entsorgung AG [1992] wurde ein Verbrauch an Fertigwaren aus Polyethylen für 1990 mit 190.000 t angeführt. Bei einer jährlichen Steigerung um 3,6 % erhält man für 1994 einen Verbrauch von ca. 220.000 t Polyethylenfertigwaren.

Das Österreichische Kunststoffinstitut beziffert den Verbrauch an Polyethylen im Jahr 1994 mit 260.000 t. Diese verteilen sich auf 180.000 t LDPE und 80.000 t HDPE [ÖKI, 1996].

Tabelle 3-31: Kunststoffanteile bei importierten Waren aus/mit Polyethylen 1994 (Quelle: Import an Waren: [ÖSTAT, 1995], KST- und PE-Anteil: eigene Annahmen)

ÖSTAT Nr.	Warenbenennung	Import an Waren	KST-Anteil	KST-Anteil am Import	PE-Anteil am Import	PE-Anteil am Import
		[t]	[%]	[t]	[%]	[t]
62	Kautschukwaren	115.685	90 %	104.116	0 %	0
6514	Nähgarn aus Chemiefasern	506	90 %	455	0 %	0
6515	Synthetische Garne	9.718	90 %	8.746	0 %	0
6516	Andere synthetische Garne	10.944	90 %	9.850	0 %	0
6517	Künstliche Garne	4.141	90 %	3.727	0 %	0
6518	Garne aus Spinnfäden	8.619	90 %	7.757	0 %	0
653	Gewebe synthetisch oder künstlich	11.998	90 %	10.798	0 %	0
7	Maschinen/Fahrzeuge (ohne 78)	1.001.096	1 %	10.011	20 %	2.002
78	Straßenfahrzeuge	664.615	7 %	46.523	20 %	9.305
82	Möbel und dergleichen	273.389	10 %	27.339	10 %	2.734
84	Bekleidung Zubehör (ohne 8482)	75.555	10 %	7.556	10 %	756
8482	Bekleidung aus Kunststoff	2.545	100 %	2.545	10 %	255
85	Schuhe	34.777	30 %	10.433	0 %	0
893	Kunststoffwaren	137.588	100 %	137.588	20 %	27.518
894	Spiele Sportgeräte	44.302	30 %	13.290	15 %	1.994
8984	Magnetbänder leer	8.559	90 %	7.703	0 %	0
8986	Magnetbänder mit Aufzeichnung	2.003	90 %	1.803	0 %	0
8987	Schallplatten und dergleichen	4.659	90 %	4.193	0 %	0
89921	Blumen aus Kunststoff	357	100 %	357	50 %	179
	SUMME	2.411.055	17 %	414.790	11 %	44.740

1990 wurden in Österreich 260.000 t Polyethylen verbraucht [Danzer & Mayer, 1993]. Der selben Studie zufolge werden im Jahr 2000 ca. 370.000 t Polyethylen für den Einsatz benötigt. Für Polyethylen errechnet sich daher eine jährliche Steigerung um 3,6 %. Anhand dieser läßt sich der Verbrauch für 1994 abschätzen. Dieser liegt bei ca. 300.000 t Polyethylen.

Outputgüter:

Im Jahr 1994 fielen 269.000 t Polyethylenkunststoffabfälle an, dies sind ca. 90 % der in diesem Jahr in den Einsatz kommenden Masse (Hochrechnung der Studie von Danzer & Mayer). Eine Hochrechnung der Studie der RWE Entsorgung AG ergibt einen Polyethylenabfall von ca. 132.000 t oder 60 % der in diesem Jahr eingesetzten Masse.

Da ein Großteil des Polyethylenes in die Verpackungsindustrie gelangt, kann man annehmen, daß ca. 80 % der eingesetzten Polyethylenwaren im Abfall des selben Jahres wieder zu finden sind. Somit erhält man einen Güterfluß von 158.900 t an *Abfällen I*, die 1994 zu verwerten und entsorgen waren. Da der Prozeß "Einsatz" nur ein Outputgut kennt, ist dieses auch die gesamte Outputmasse dieses Prozesses.

Lager:

Das Lager wurde aufgrund von Zeitreihen über den Verbrauch und die Abfallmassen von Kunststoffen in den Jahren von 1960 bis 1994 abgeschätzt. Die Angaben stammen vom ÖKI [1995]. Demnach befanden sich 1994 ca. 960.000 t an Waren aus Polyethylen in Österreich im Prozeß "Einsatz". Die Lagerveränderung errechnet sich aus dem Input minus dem Output und beträgt, wie aus der Tabelle 3-32 ersichtlich ist, 39.700 t für das Jahr 1994. Das bedeutet, daß im Jahr 1994 das Lager an Kunststoffwaren im Prozeß "Einsatz" um 4,1 % angewachsen ist. Bei gleichbleibender Tendenz verdoppelt sich das Lager innerhalb von 16 Jahren!

Die folgende Abbildung zeigt, wie das Lager an Kunststoffwaren im Prozeß "Einsatz" in den letzten 34 Jahren angestiegen ist. Als Ausgangsjahr wurde 1960 gewählt und angenommen, daß sich damals ca. 35.000 t an Kunststoffwaren aus Polyethylen in Österreich im Einsatz befanden. Die Berechnung dazu befindet sich im *Anhang 2*

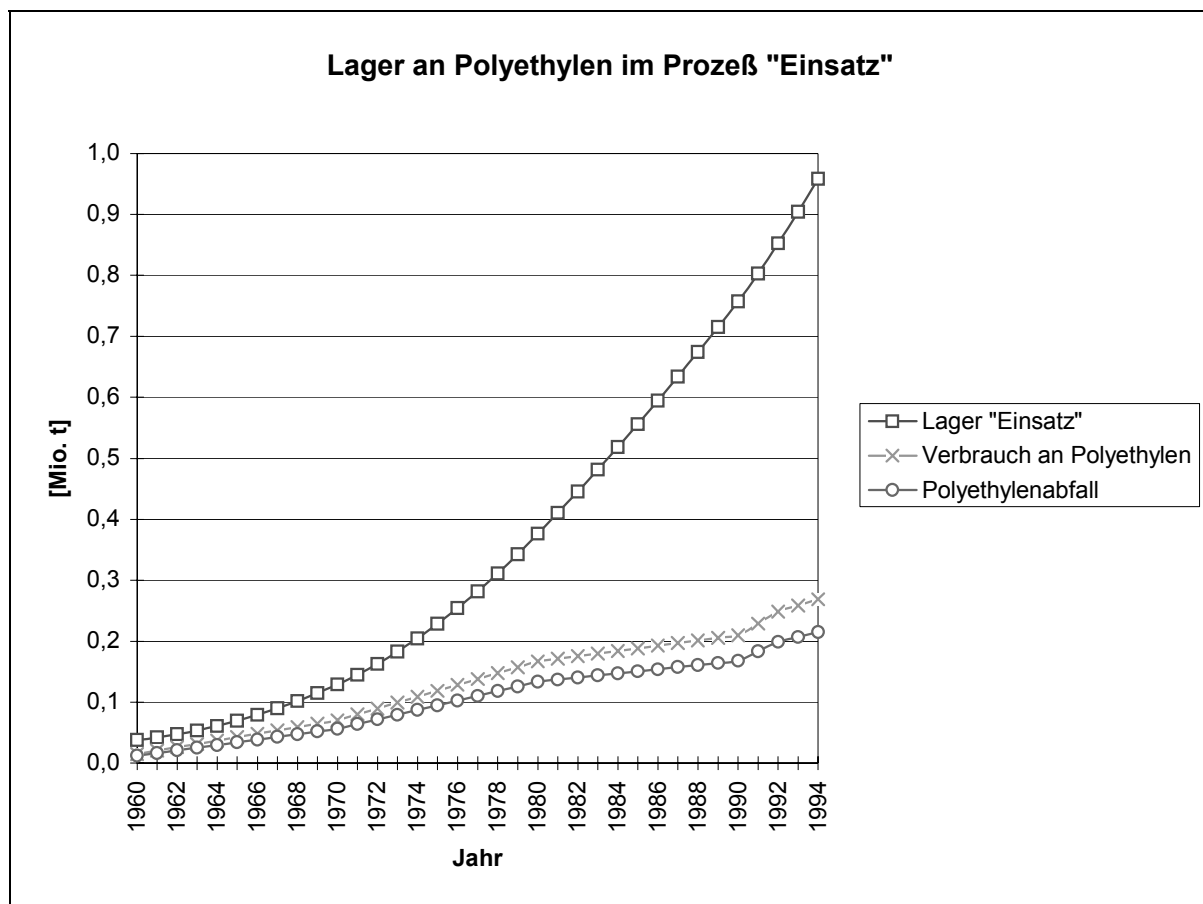


Abbildung 3-8: Lager an Fertigteilen aus Polyethylen im Prozeß "Einsatz", 1994

Die nachfolgende Tabelle zeigt die oben angeführten Berechnungen in tabellarischer Form.

Tabelle 3-32: Güterbilanz des Prozesses "Einsatz" - PE

Inputgüter	[t/a]	Outputgüter	[t/a]
Fertigteile I	127.700	Abfall I	158.900
Fertigteile III	70.900		
Summe Input:	198.600	Summe Output:	158.900
Lager [t]	960.000	Lagerveränderung:	+ 39.700

3.5.2.4 Güterbilanz des Prozesses "Sammlung, Sortierung, Transport" - PE

Inputgüter:

Der größte Güterfluß in den Prozeß "Sammlung, Sortierung, Transport" stammt aus dem Prozeß "Einsatz" und beträgt 158.900 t des Gutes *Abfall I* für das Jahr 1994.

Hinzu kommen noch die *Produktionsabfälle I* und *II* aus dem Prozeß "Chemische Industrie, Polymer-Synthese, Aufbereitung" mit 200 t und aus dem Prozeß "Aufbereitung, Verarbeitung, Nachbehandlung" mit 10.900 t im Jahr 1994.

Zusätzlich zu den aus Österreich stammenden Massen wurden 1994 noch ca. 800 t an Polyethylenabfall importiert [ÖSTAT, 1995], welche als Inputgut *Abfall II* ebenfalls in diesen Prozeß strömen.

In Summe erhält man für den Prozeß "Sammlung, Sortierung, Transport" einen Inputfluß von 170.800 t für das Jahr 1994.

Outputgüter:

1994 wurden ca. 49.200 t Altkunststoffe stofflich verwertet [ÖKI, 1995]. Von der Altstoff Recycling Austria AG wurden 31.800 t [ARA, 1995] Verpackungskunststoffe einer stofflichen Verwertung zugeführt. Demnach wurden ca. 17.400 t Kunststoffe außerhalb des ARA-Systems verwertet

Die nachfolgende Tabelle 3-33 zeigt, wie sich die Verpackungskunststoffe, auch als "stoffliche Fraktion" bezeichnet, auf die verschiedenen Kunststoffsorten aufteilen. Die Prozentangaben wurden angenommen.

Tabelle 3-33: Aufteilung der "stofflichen Fraktion" der Verpackungskunststoffe auf verschiedene Kunststoffsorten im Jahr 1994 [ARA, 1995], Kunststoffsortenanteil: eigene Annahmen

Warengruppe	1994 [t]	PE [%]	PP [%]	PS [%]	PET [%]	So [%]	PE [t]	PP [t]	PS [t]	PET [t]	Sonstige [t]
Flaschen natur oder weiß	93	80	20				74	19	0	0	0
Flaschen bunt und/oder bedruckt	1.717	80	20				1.374	343	0	0	0
Eimer bunt und/oder bedruckt	384	20	80				77	307	0	0	0
Kanister natur oder weiß	75	20	80				15	60	0	0	0
Kanister bunt und/oder bedruckt	758	20	80				152	606	0	0	0
Hohlkörper gemischt	1.263	20	80				253	1.011	0	0	0
PET-Flaschen farblos, natur	1.180				100		0	0	0	1.180	0
PET-Flaschen transparent, farbig	1.132				100		0	0	0	1.132	0
PS-Becher weiß	579			100			0	0	579	0	0
PS/PP-Becher	737		50	50			0	369	369	0	0
LDPE-Folie, natur, unbedruckt	3.325	100					3.325	0	0	0	0
LDPE-Folie, farbig, bedruckt	18.534	100					18.534	0	0	0	0
Stretchfolie, natur, unbedruckt	671	100					671	0	0	0	0
EPS	1.330			100			0	0	1.330	0	0
XPS	14			100			0	0	14	0	0
EPS/XPS	2			100			0	0	2	0	0
Mischkunststoffe	20	10	10	10		70	2	2	2	0	14
Summe	31.811						24.475	2.716	2.294	2.312	14

PE	Polyethylen
PP	Polypropylen
PS	Polystyrol
PET	Polyethylenterephthalat
So	Sonstige Kunststoffe
LDPE	Low density - Polyethylen, Polyethylen mit geringer Dichte
EPS	Expandiertes Polystyrol
XPS	Extrudiertes EPS

Der obigen Tabelle ist zu entnehmen, daß 1994 ca. 24.500 t Polyethylen, das sind 77 % der "stofflichen Fraktion", einer stofflichen Verwertung zugeführt wurden.

Die folgende Tabelle zeigt eine Abschätzung, wie sich die restliche Masse von 17.400 t auf die einzelnen Kunststoffsorten aufteilt. Die Prozentangaben wurden abgeschätzt.

Tabelle 3-34: Aufteilung der nicht im ARA-System verwerteten Kunststoffabfälle auf verschiedene Kunststoffsorten im Jahr 1994

Kunststoffsorten	Anteil in [%]	Masse in [t]
Polyethylen	70	12.200
Polypropylen	10	1.700
Polystyrole	10	1.700
Polyvinylchlorid	5	900
Sonstige	5	900
Summe	100	17.400

Aufgrund der beiden oben angeführten Tabellen kann der Polyethylenanteil, hier als Outputgut *gesammelter und/oder sortierter und transportierter Abfall I* in den Prozeß "Stofflichen Verwertung", mit 36.700 t angenommen werden.

Dem nachfolgenden Unterpunkt "Lager" ist zu entnehmen, daß 1994 eine thermische Verwertung im Sinne der Verpackungsverordnung praktisch nicht erfolgte [ARA, 1995]. Somit beschränkt sich die thermische Verwertung auf die beiden in Wien betriebenen Anlagen zur Hausmüllverbrennung.

In verschiedensten Literaturstellen wird der Kunststoffanteil im Hausmüll mit ca. 10 % angegeben. Die Masse des Hausmülls betrug 1994 ca. 1,3 Mio. t [BAWP, 1995]. Demnach wurden 1994 ca. 130.000 t Kunststoffe zusammen mit dem Systemmüll verwertet oder deponiert. Die folgende Tabelle zeigt die Massenverteilung in Prozent der Kunststoffe im schweizer Gemeindeabfall von 1992 - 1993 [Stumpf, 1994] und die massenmäßige Hochrechnung für Kunststoffabfälle im österreichischen Systemmüll im Jahr 1994.

Tabelle 3-35: Massenverteilung in Prozent der Kunststoffe im schweizer Gemeindeabfall von 1992 - 1993 [Stumpf, 1994] und Umrechnung auf Österreich 1994

Kunststoffsorten	Massen- % Schweiz	Österreich [t]
Polyethylen	57	74.100
Polypropylen	10	13.000
Polystyrole	12	15.600
Polyvinylchlorid	8	10.400
Polyethylenterephthalat	5	6.500
Rest	8	10.400
Summe	100	130.000

1994 wurden in der Hausmüllverbrennungsanlage Spittelau 259.605 t und in der Hausmüllverbrennungsanlage Flötzersteig 182.874 t Hausmüll thermisch verwertet [Fernwärme Wien GesmbH, 1995]. In Summe wurden also, unter der oben geschilderten Annahmen, 10 % Kunststoffanteil, 1994 ca. 44.200 t Kunststoffabfall thermisch verwertet. Wenn man in dieser Masse einen Polyethylenanteil von 57 % annimmt, so erhält man einen Polyethylenoutputfluß an *gesammeltem und/oder sortiertem und transportiertem Abfall II* von 25.200 t, der 1994 zusammen mit dem Hausmüll in den Prozeß "Thermische Verwertung" ging.

Zusätzlich wurden 1994 ca. 2.000 t Polyethylenabfälle exportiert [ÖSTAT, 1995], wodurch man einen weiteren Outputfluß des Gutes *gesammelter und/oder sortierter und transportierter Abfall IV* erhält.

Somit verbleibt nach Aufsummierung der Inputströme und Abzug der bisher genannten Outputströme inklusive der im Unterpunkt "Lager" beschriebenen Masse von 29.600 t, die zwischengelagert wurde, noch 77.300 t an *g. s. t Abfall III*, der 1994 deponiert wurde.

In Summe erhält man für den Prozeß "Sammlung, Sortierung, Transport" einen Outputfluß von 141.200 t für das Jahr 1994.

Lager:

Von der Altstoff Recycling Austria AG wurden 1994 42.400 t Altkunststoffe gesammelt, welche als thermische Fraktion einer späteren thermischen Verwertung zugeführt werden sollen. Da dies 1994 aber noch nicht der Fall war, mit Ausnahme von geringen Massen für einen Probebetrieb, gingen diese Massen in ein Lager auf Zeit. Um die darin enthaltene Polyethylenmasse zu quantifizieren, wurden die selben Prozentsätze wie bei der Bestimmung der außerhalb des ARA-Systems stofflich verwerteten Masse angenommen. Somit erhält man für das Jahr 1994 folgende Massen.

Tabelle 3-36: Berechnung des Zuwachses an Polyethylen im Lager auf Zeit

Kunststoffsorten	Massen- %	Zuwachs an PE im Lager auf Zeit 1994 [t]
Polyethylen	70	29.600
Polypropylen	10	4.230
Polystyrole	10	4.300
Polyvinylchlorid	5	2.100
Rest	5	2.100
Summe	100	42.400

Demnach ergibt sich ein Lagerzuwachs von 29.600 t Polyethylen im Jahr 1994. Die Masse der Kunststoffabfälle im Lager auf Zeit wurde im Kapitel 3.5.1.4 *Güterbilanz des Prozesses "Sammlung, Sortierung, Transport - KST"* mit 44.800 t angegeben. Die Quantifizierung der Polyethylenmasse in diesem Lager erfolgte ebenso, wie die beim Lagerzuwachs. Der Polyethylenanteil wird ebenfalls mit 70 % angenommen. Somit erhält man eine Größe des Lagers von Polyethylen von 31.400 t im Jahr 1994.

Tabelle 3-37: Güterbilanz des Prozesses "Sammlung, Sortierung, Transport" - PE

Inputgüter	[t/a]	Outputgüter	[t/a]
Abfall I	158.900	g. s. t. Abfall I	36.700
Produktionsabfall I	200	g. s. t. Abfall II	25.200
Produktionsabfall II	10.900	g. s. t. Abfall III	77.300
Abfall II	800	g. s. t. Abfall IV	2.000
Summe Input:	170.800	Summe Output:	141.200
Lager [t]	31.400	Lagerveränderung:	+ 29.600

3.5.2.5 Güterbilanz des Prozesses "Stoffliche Verwertung" - PE

Inputgüter:

1994 wurden 36.700 t des Gutes *gesammelter und/oder sortierter und transportierter Abfall I* vom Prozeß "Sammlung, Sortierung, Transport" in den Prozeß "Stoffliche Verwertung" übergeführt.

Outputgüter:

Von den 45.100 t angelieferten Kunststoffabfällen wurden 1994 bei den stofflichen Verwertern ca. 6.300 t an Fremdstoffen oder Waschabfällen aussortiert [ÖKI, 1995]. Der Fremdstoffanteil betrug somit ca. 14 %. Wenn man für Polyethylen den selben Anteil annimmt, so müssen von den 36.700 t Polyethylenabfällen ca. 5.100 t *Fremdstoffe* aussortiert werden.

Von den 31.600 t an Regranulat, die 1994 in Österreich produziert wurden, waren ca. 60 % für den Export aus Österreich und ca. 40 % für den Verbrauch in Österreich bestimmt. Somit erhält man zwei Outputströme des Gutes *Regranulat I* und *II* in der Größe von 12.600 t bzw. 19.000 t für 1994.

Die Summe der einzelnen Outputströme aus dem Prozeß "Stoffliche Verwertung" betrug 1994 36.700 t.

Lager:

Sofern Kunststoffabfälle gelagert oder zwischengelagert werden, werden diese nur im Prozeß "Sammlung, Sortierung, Transport" berücksichtigt. Somit erhält man für diesen Prozeß weder ein Lager noch eine Lagerveränderung.

Tabelle 3-38: Güterbilanz des Prozesses "Stoffliche Verwertung" - PE

Inputgüter	[t/a]	Outputgüter	[t/a]
g. s. t. Abfall I	36.700	Regranulat II	19.000
		Regranulat I	12.600
		Fremdstoffe	5.100
Summe Input:	36.700	Summe Output:	36.700
Lager [t]	0	Lagerveränderung:	0

3.5.2.6 Güterbilanz des Prozesses "Thermische Verwertung" - PE

Inputgüter:

Wie bereits bei der Bilanzierung des Prozesses "Sammlung, Sortierung, Transport" erwähnt wurde, fand 1994 in Österreich keine thermische Verwertung von Kunststoffverpackungsabfällen im Sinne der Verpackungsverordnung statt. Man kann demnach den Kunststoffanteil im Hausmüll als einzigen Input in diesen Prozeß annehmen, da auch die Zementindustrie 1994 nur Altreifen einsetzte. Demnach erhält man einen Inputfluß des Gutes *gesammelter und/oder sortierter und transportierter Abfall II* in den Prozeß "Thermische Verwertung" von 25.200 t Polyethylen für das Jahr 1994.

Outputgüter:

Reines Polyethylen besteht aus Kohlenwasserstoffen, die bei der thermischen Verwertung zu 100 % zu CO₂ und H₂O oxidieren. Der durchschnittliche Additivanteil bei Polyethylen liegt bei 2,4 % [ÖKI, 1995]. Dies würde einer Masse von ca. 600 t entsprechen. Bei Polyethylenfolien, welche für Verpackungszwecke verwendet wurden, liegt der Additivanteil sicherlich noch etwas tiefer. Daher werden hier jene Massen vernachlässigt, die sich im *Deponiegut* und im *Abwasser* befinden, sodaß man einen Outputfluß des Gutes *Abluft* von 25.200 t für das Jahr 1994 erhält.

Lager:

Wie auch schon beim Prozeß "Stoffliche Verwertung" erklärt wurde, besitzt dieser Prozeß laut Definition kein Lager und auch keine Lagerveränderung.

Tabelle 3-39: Güterbilanz des Prozesses "Thermische Verwertung" - PE

Inputgüter	[t/a]	Outputgüter	[t/a]
g. s. t. Abfall II	25.200	Deponiegut	<<1.000
		Abluft	25.200
		Abwasser	<<1.000
Summe Input:	25.200	Summe Output:	25.200
Lager [t]	0	Lagerveränderung:	0

3.5.2.7 Güterbilanz des Prozesses "Deponie" - PE

Inputgüter:

Im Jahr 1994 gelangten 77.300 t des Inputgutes *gesammelter und/oder sortierter und transportierter Abfälle III* aus dem Prozeß "Sammlung, Sortierung, Transport" in diesen Prozeß.

Dazu kamen 1994 noch 5.100 t an *Fremdstoffen* aus dem Prozeß "Stoffliche Verwertung" hinzu. Das *Deponiegut* aus dem Prozeß „Thermische Verwertung“ wurde mit 0 t angenommen.

Somit erhält man für 1994 einen Inputfluß in den Prozeß "Deponie" von 82.400 t Polyethylen.

Outputgüter:

Dieser Prozeß kennt keine Outputgüter.

Lager:

Das Lager an Kunststoffen im Prozeß "Deponie" wurde genauso berechnet wie jenes an Fertigteilen im Prozeß "Einsatz". Da erst ab dem Jahr 1960 Daten über den Verbrauch und die Abfallmassen von Kunststoffen verfügbar sind, muß jene Masse an Kunststoffen, die 1960 bereits in den österreichischen Deponien lagerte, abgeschätzt werden. Es wird angenommen, daß im Jahr 1960 ca. 130.000 t an Polyethylen in den Deponien lagerten. Die Auswertung der Zeitreihen über den Verbrauch und die Abfallmassen von Kunststoffen in den Jahren von 1960 bis 1994 ergab für 1994 ein Lager an Polyethylen im Prozeß "Deponie" von 3,5 Mio. t. Die positive Lagerveränderung errechnet sich aus den Inputgütern und betrug 1994 82.400 t Polyethylen.

Die nachfolgende Abbildung zeigt den Anstieg des Lagers an Polyethylen im Prozeß "Deponie" in den letzten 34 Jahren. Die Berechnungen dazu befinden sich im *Anhang 2*.

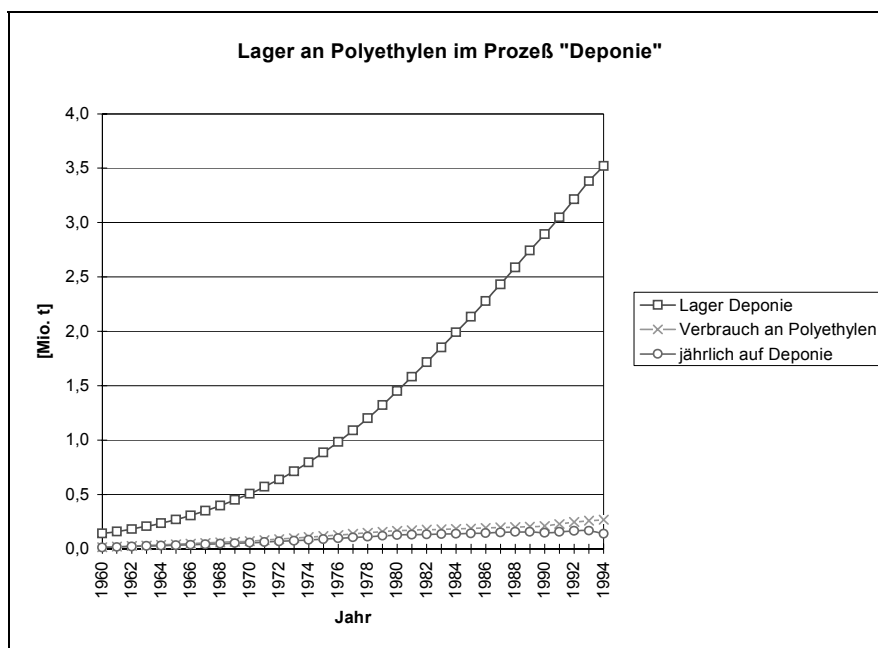


Abbildung 3-9: Lager an Polyethylen im Prozeß "Deponie", 1994

Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die Input- und Outputgüter des Prozesses "Deponie".

Tabelle 3-40: Güterbilanz des Prozesses "Deponie" - PE

Inputgüter	[t/a]	Outputgüter	[t/a]
g. s. t. Abfall III	77.300		
Fremdstoffe	5.100		
Deponiegut	0		
Summe Input:	82.400	Summe Output:	0
Lager [t]	3.500.000	Lagerveränderung:	+ 82.400

3.5.3 Quantifizierung der Vinylchloridpolymerflüsse und -lager in Österreich

Die Abbildung 3-10 zeigt die zusammengefaßten Ergebnisse dieses Kapitels.

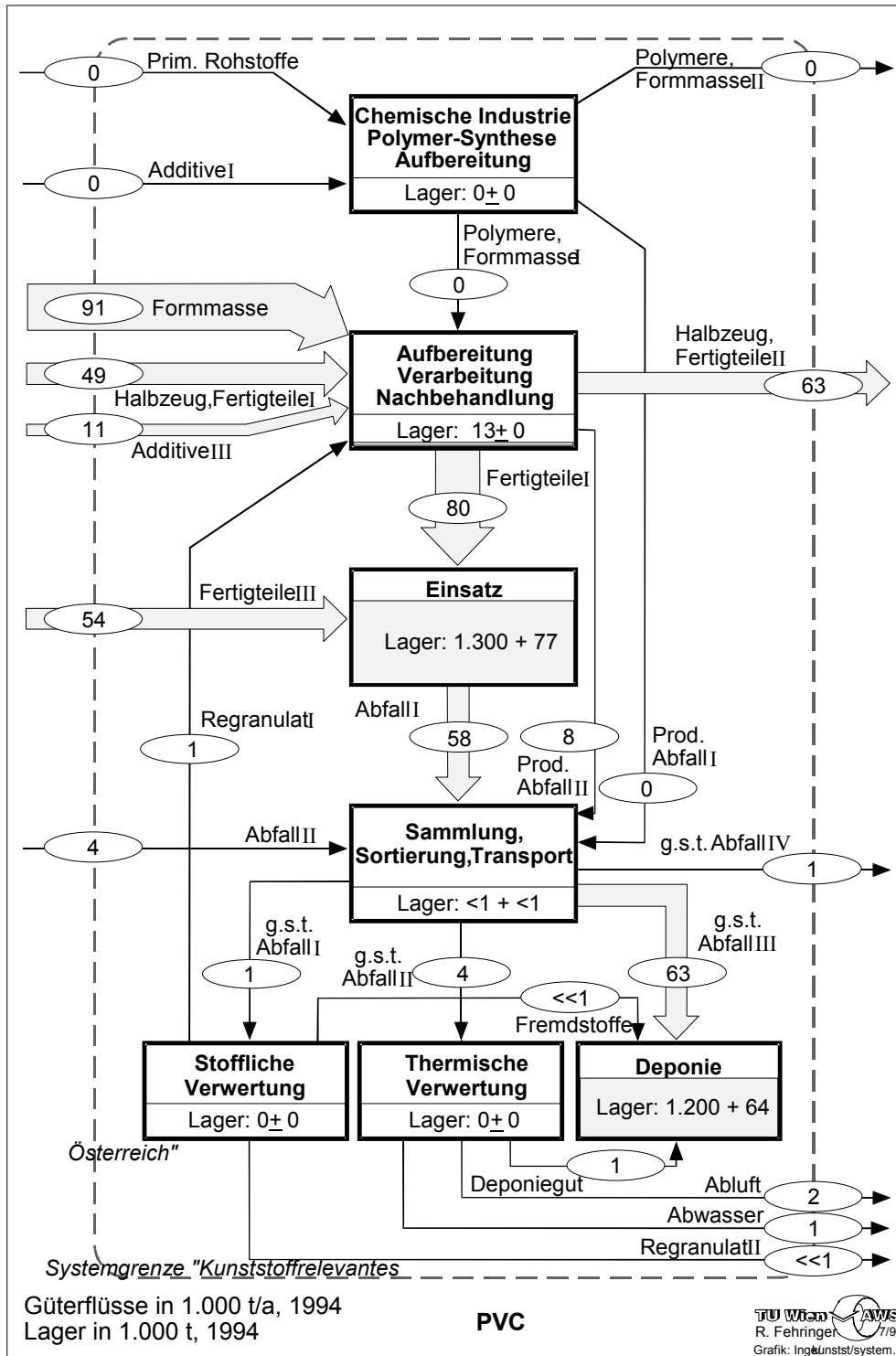


Abbildung 3-10: Güterbilanz der Polyvinylchloridflüsse und -lager in Österreich 1994

Im folgenden werden nicht nur die Polyvinylchlorid-, sondern sämtliche Vinylchloridpolymerflüsse und -lager beschrieben. Da der Anteil des PVC mindestens 90 % dieser Flüsse und Lager ausmacht, wird im weiteren der Einfachheit halber immer Polyvinylchlorid geschrieben, auch wenn damit alle verschiedenen Copolymere des Vinylchlorids miteinfaßt werden.

Dieses Kapitel wurde analog zu den Kapiteln 3.5.1 *Quantifizierung der gesamten Kunststoffflüsse und -lager in Österreich* und 3.5.2 *Quantifizierung der Polyethylenflüsse und -lager in Österreich* bearbeitet. Eine Ausnahme stellen lediglich die Güterflüsse *Additive* in die Prozesse "Chemische Industrie, Polymer-Synthese, Aufbereitung" und "Aufbereitung, Verarbeitung, Nachbehandlung" dar. Der Additivinput in die beiden Prozesse wird nicht aufgeteilt, sondern fließt zur Gänze in den Prozeß "Aufbereitung, Verarbeitung, Nachbehandlung". Dies ist dadurch begründet, daß 1994 in Österreich kein Polyvinylchlorid hergestellt wurde und somit der Prozeß "Chemische Industrie, Polymer-Synthese, Aufbereitung" für die Bilanzierung von Polyvinylchlorid in Österreich nicht vorhanden ist. Aus Gründen der Vollständigkeit bleibt er aber im System.

3.5.3.1 Güterbilanz des Prozesses "Chemische Industrie, Polymer-Synthese, Aufbereitung" - PVC

Inputgüter, Outputgüter, Lager:

1992 wurde die Produktion von Polyvinylchlorid in Österreich eingestellt. Damals lag die Kapazität der Anlage bei ca. 50.000 Jahrestonnen [ÖKI, 1995]. Demnach mußten 1994 keine *Primären Rohstoffe* und *Additive I* importiert werden.

Die Masse an Rohformen aus Polyvinylchlorid, die aus Österreich exportiert wird, ist sehr klein (ca. 100 t im Jahr 1994). In den bisherigen Bilanzen wurde dieses Gut aus dem Prozeß "Chemische Industrie, Polymer-Synthese, Aufbereitung" exportiert. Würde man diese Praktik auch hier anwenden, so hätte man bald ein "negatives Lager". Aus diesem Grund wird die exportierte Masse erst im nächsten Prozeß "Aufbereitung, Verarbeitung, Nachbehandlung" berücksichtigt und dort der importierten *Formmasse* abgezogen.

Wie oben erwähnt, verbleibt dieser Prozeß aus Gründen der Vollständigkeit im System. Die Outputgüter *Polymere, Formmassen I* in den Prozeß "Aufbereitung, Verarbeitung, Nachbehandlung", *Polymere, Formmassen II* als Exportgut sowie die *Produktionsabfälle I* in den Prozeß "Sammlung, Sortierung, Transport" werden für das Jahr 1994 mit 0 t angegeben.

Demnach gab es 1994 weder einen Inputgüterfluß, noch einen Outputgüterfluß in/aus den/m Prozeß "Chemische Industrie, Polymer-Synthese, Aufbereitung".

Ob aus vergangenen Jahren noch ein Lager vorhanden ist, kann nicht abgeschätzt werden. Eine Lagerveränderung, sie wäre auf alle Fälle negativ, kann demnach auch nicht angegeben werden.

Für eine vollständige Darstellung der Polyvinylchloridflüsse in Österreich sei nachfolgende Tabelle angeführt.

Tabelle 3-41: Güterbilanz des Prozesses "Chemische Industrie, Polymer-Synthese, Aufbereitung" - PVC

Inputgüter	[t/a]	Outputgüter	[t/a]
Primäre Rohstoffe	0	Polymere, Formmasse II	0
Additive I	0	Produktionsabfälle I	0
		Polymere, Formmasse I	0
Summe Input:	0	Summe Output:	0
Lager [t]	0	Lagerveränderung:	0

3.5.3.2 Güterbilanz des Prozesses "Aufbereitung, Verarbeitung, Nachbehandlung" - PVC

Inputgüter:

Aufgrund der Ausführungen über den Prozeß "Chemische Industrie, Polymer-Synthese, Aufbereitung" erhält man 1994 keinen Inputfluß aus diesem Prozeß.

1994 wurden 91.000 t an Polyvinylchloridrohformen importiert und mindestens 100 t exportiert [ÖSTAT, 1995]. Wie oben erwähnt, wird der Exportanteil subtrahiert, und man erhält einen Inputfluß des Gutes *Formmasse* von 90.900 t für das Jahr 1994.

Österreich importierte 1994 48.500 t an *Halbzeug, Fertigteile I* aus Polyvinylchlorid [ÖSTAT, 1995]. In erster Linie waren dies Halbfabrikate in Form von Folien, Rohren und Flacherzeugnissen.

Bei der Verarbeitung der Rohformen zu Halbzeug und Fertigteilen werden Additive benötigt. Inwieweit die dafür importierten Rohformen allerdings schon stabilisiert und aufbereitet sind, ist aus den verfügbaren Daten nicht ersichtlich. Angesichts dieser Tatsache muß man davon ausgehen, daß die importierten Rohformen bereits mit 50 % der gesamt notwendigen Additive versehen sind. Die restlichen 50 % werden bei der Verarbeitung zum Beispiel in Form von Füll- und Verstärkungsstoffen beigemischt.

Die Angaben in der Literatur über den Massenanteil der Additive in Polyvinylchlorid liegen bei 17 % [ÖKI, 1995] und 18,5% [RWE, 1992]. 1992 wurden 132.700 t an Produkten aus Polyvinylchlorid inklusive 22.600 t Additive verbraucht [ÖKI, 1995]. Unter Berücksichtigung des vorhergehenden Absatzes beträgt der Inputfluß *Additive III* in den Prozeß "Aufbereitung, Verarbeitung, Nachbehandlung" somit ca. 11.300 t für das Jahr 1994.

Einen weiteren Inputfluß stellt das *Regranulat I* dar, welches 1994 im Ausmaß von ca. 600 t vom Prozeß "Stoffliche Verwertung" in diesen Prozeß gelangte. Weitere Ausführungen sind bei der Bilanzierung der Outputgüter des Prozesses "Stoffliche Verwertung" nachzulesen.

In Summe gelangten 1994 151.300 t an Inputgütern in den Prozeß "Aufbereitung, Verarbeitung, Nachbehandlung".

Outputgüter:

Die Masse des Outputflusses Fertigteile aus/mit Polyvinylchlorid mußte abgeschätzt werden, da auch das Österreichische Statistische Zentralamt über keine explizite kunststoffspezifische Aufschlüsselung verfügt. In Anlehnung an die *Tabelle 3-15* im Kapitel 3.5.12. *Güterbilanz des Prozesses "Aufbereitung, Verarbeitung, Nachbehandlung" - KST "Gesamte Kunststoffflüsse in Österreich"* wurde der dort beschriebene Kunststoffanteil auf verschiedene Kunststoffsorten aufgeschlüsselt. Da die Prozentsätze kaum eruierbar sind, wurden sie geschätzt.

Tabelle 3-42: Kunststoffanteile bei exportierten Fertigteilen aus/mit Polyvinylchlorid 1994
[ÖSTAT, 1995], PVC-Anteil: eigene Annahme

ÖSTAT Nr.	Warenbenennung	Export an	KST-	KST-Anteil	PVC-Anteil	PVC-Anteil
		Waren	Anteil	am Export	am Export	am Export
		[t]	[%]	[t]	[%]	[t]
62	Kautschukwaren	136.065	90 %	122.459	0 %	0
6514	Nähgarn aus Chemiefasern	449	90 %	404	0 %	0
6515	Synthetische Garne	3.437	90 %	3.093	0 %	0
6516	Andere synthetische Garne	2.364	90 %	2.128	0 %	0
6517	Künstliche Garne	7.723	90 %	6.951	0 %	0
6518	Garne aus Spinnfäden	43.304	90 %	38.974	0 %	0
653	Gewebe synthetisch oder künstlich	13.131	90 %	11.818	0 %	0
7	Maschinen/Fahrzeuge (ohne 78)	1.055.498	1 %	10.555	15 %	1.583
78	Straßenfahrzeuge	300.110	7 %	21.008	15 %	3.151
82	Möbel und dergleichen	95.910	10 %	9.591	20 %	1.918
83	Reiseartikel	630	30 %	189	90 %	170
84	Bekleidung Zubehör (ohne 8482)	195.136	10 %	19.514	0 %	0
8482	Bekleidung aus Kunststoffen	2.399	100 %	2.399	0 %	0
85	Schuhe	13.303	30 %	3.991	60 %	2.395
893	Kunststoffwaren	122.508	100 %	122.508	20 %	24.502
894	Spiele Sportgeräte	26.182	30 %	7.855	5 %	393
8984	Magnetbänder leer	10.948	90 %	9.853	0 %	0
8986	Magnetbänder mit Aufzeichnung	592	90 %	533	0 %	0
8987	Schallplatten und dergleichen	8.895	90 %	8.006	70 %	5.604
89921	Blumen aus Kunststoff	39	100 %	39	0 %	0
	SUMME	2.038.623	20%	401.865	10%	39.716

Aufgrund der oben geschilderten Annahmen erhält man einen Outputfluß Fertigteile aus diesem Prozeß von 39.700 t Polyvinylchlorid für 1994. Zusätzlich wurden 1994 23.500 t Halbzeug, Fertigteile aus Polyvinylchlorid exportiert [ÖSTAT, 1995].

Dazu kommen noch die nicht deklarierten Verpackungen, die zusammen mit den Waren und Materialien exportiert wurden. In vielen westeuropäischen Ländern gibt es ein Verbot oder einen freiwilligen Verzicht auf Verpackungen aus Polyvinylchlorid. Es ist aber durchaus möglich, daß Produkte aus manchen Ländern mit undeklarierten Verpackungen aus Polyvinylchlorid importiert werden. Dem Kapitel 2.5.2 Polyethylenflüsse in Österreich ist zu entnehmen, daß ca. 98 % dieser Verpackungen aus Polyethylen, Polypropylen und Polystyrol bestehen [Stumpf, 1994]. Die restlichen 2 % entfallen auf alle anderen Kunststoffsorten. Es wird angenommen, daß ca. 50 % davon aus Polyvinylchlorid sind. Von den 15.100 t nicht deklarierten

Kunststoffverpackungen, die 1994 zusammen mit Waren und Materialien exportiert wurden, waren demnach ca. 200 t aus Polyvinylchlorid.

1994 betrug der gesamte Outputfluß des Gutes *Halbzeug, Fertigteile II* 63.400 t.

Den obigen Ausführungen ist zu entnehmen, daß den österreichischen Verarbeitungsbetrieben 1994 151.300 t *Formmasse, Halbzeug, Additive* und *Regranulat I* aus Polyvinylchlorid zur Verfügung standen. Diese Güter werden mit dem erweiterten Begriff Granulat zusammengefaßt und wurden für die Berechnung der Produktionsabfälle herangezogen.

Die *Produktionsabfälle II* wurden analog zum Kapitel 3.5.1.2 *Güterbilanz des Prozesses "Aufbereitung, Verarbeitung, Nachbehandlung"* - KST berechnet. Nach Angaben des ÖKI fallen ca. 10 % der Produktion dieses Prozesses als Produktionsabfall an; 15.100 t im Jahr 1994. Davon werden ca. 50 % innerbetrieblich und ca. 50 % extern verwertet. Demnach ergibt sich ein Outputfluß des Gutes *Produktionsabfall II* von 7.600 t für das Jahr 1994.

Da auch bei diesem Prozeß keine wesentliche Lagerveränderung angenommen wird, errechnet sich der Outputanteil an *Fertigteilen I*, welche in den Prozeß "Einsatz" übergehen, aus der Summe der Inputgüter minus der Summe der bisher aufgelisteten Outputgüter. Somit erhält man für das Jahr 1994 80.300 t des Outputgutes *Fertigteil I*.

In Summe erhält man für den Prozeß "Aufbereitung, Verarbeitung, Nachbehandlung" einen Outputfluß von 151.300 t für das Jahr 1994.

Lager:

Die Größe des Lagers wurde wie im Kapitel 3.5.1.2 *Güterbilanz des Prozesses "Aufbereitung, Verarbeitung, Nachbehandlung - KST"* berechnet. 1994 wurden ca. 150.000 t Polyvinylchlorid verarbeitet oder nachbehandelt. Bei einer Lagerhaltung für eine Produktion von vier Wochen ergibt dies ein Lager in der Größe von ca. 12.500 t.

Wie auch beim Prozeß "Chemische Industrie, Polymer-Synthese, Aufbereitung" wird angenommen, daß sich dieses Lager über ein Jahr gesehen nicht wesentlich ändert.

Nachfolgend sind die obigen Berechnungen in tabellarischer Form aufgearbeitet.

Tabelle 3-43: Güterbilanz des Prozesses "Aufbereitung, Verarbeitung, Nachbehandlung" - PVC

Inputgüter	[t/a]	Outputgüter	[t/a]
Polymere, Formmasse I	0	Halbzeug, Fertigteile II	63.400
Formmasse	90.900	Produktionsabfall II	7.600
Halbzeug, Fertigteile I	48.500	Fertigteile I	80.300
Additive III	11.300		
Regranulat I	600		
Summe Input:	151.300	Summe Output:	151.300
Lager [t]	12.500	Lagerveränderung:	0

3.5.3.3 Güterbilanz des Prozesses "Einsatz" - PVC

Inputgüter:

Der Outputfluß *Fertigteil I* aus dem Prozeß "Aufbereitung, Verarbeitung, Nachbehandlung" ist gleichzeitig der Inputfluß *Fertigteil* des Prozesses "Einsatz" und betrug 1994 80.300 t.

Weitere 53.900 t an Waren mit/aus Polyvinylchlorid gelangten 1994 nach Österreich in diesen Prozeß. Die Tabelle 3-44 veranschaulicht die Zusammensetzung dieser Masse, die analog zum Outputfluß Fertigprodukte des Prozesses "Aufbereitung, Verarbeitung, Nachbehandlung" erfolgte.

Der Import an undeklarierten Verpackungen wurden analog zum Export berechnet. 1994 wurden zusammen mit den Waren und Materialien ca. 29.400 t Kunststoffverpackungen importiert, welche zu 1 % aus Polyvinylchlorid bestehen. Somit errechnet sich ein Import von weiteren 300 t Polyvinylchloridverpackung für das Jahr 1994.

Zusammen mit den oben berechneten Waren aus/mit Polyvinylchlorid erhält man einen Input des Gutes *Fertigteile III* in den Prozeß "Einsatz" von 54.200 t für das Jahr 1994.

In Summe erhält man daher einen Inputfluß des Gutes *Fertigteile III* von 54.200 t für das Jahr 1994.

Für den „Einsatz“ in Österreich standen demnach im Jahr 1994 Produkte aus/mit Polyvinylchlorid mit einer Masse von 134.500 t zur Verfügung.

Tabelle 3-44: Kunststoffanteile bei importierten Fertigprodukten aus/mit Polyvinylchlorid 1994, [ÖSTAT, 1995], PVC-Anteil: eigene Annahmen

ÖSTAT Nr.	Warenbenennung	Import an Waren	KST-Anteil	KST-Anteil am Import	PVC-Anteil am Import	PVC-Anteil am Import
		[t]	[%]	[t]	[%]	[t]
62	Kautschukwaren	115.685	90 %	104.116	0 %	0
6514	Nähgarn aus Chemiefasern	506	90 %	455	0 %	0
6515	Synthetische Garne	9.718	90 %	8.746	0 %	0
6516	Andere synthetische Garne	10.944	90 %	9.850	0 %	0
6517	Künstliche Garne ang.	4.141	90 %	3.727	0 %	0
6518	Garne aus Spinnfäden	8.619	90 %	7.757	0 %	0
653	Gewebe synthetisch oder künstlich	11.998	90 %	10.798	0 %	0
7	Maschinen/Fahrzeuge (ohne 78)	1.001.096	1 %	10.011	15 %	1.502
78	Straßenfahrzeuge	664.615	7 %	46.523	15 %	6.978
82	Möbel und dergleichen	273.389	10 %	27.339	20 %	5.468
83	Reiseartikel	9.512	30 %	2.854	90 %	2.568
84	Bekleidung Zubehör (ohne 8482)	75.555	10 %	7.556	0 %	0
8482	Bekleidung aus Kunststoff	2.545	100 %	2.545	0 %	0
85	Schuhe	34.777	30 %	10.433	60 %	6.260
893	Kunststoffwaren	137.588	100 %	137.588	20 %	27.518
894	Spiele Sportgeräte	44.302	30 %	13.290	5 %	665
8984	Magnetbänder leer	8.559	90 %	7.703	0 %	0
8986	Magnetbänder mit Aufzeichnung	2.003	90 %	1.803	0 %	0
8987	Schallplatten und dergleichen	4.659	90 %	4.193	70 %	2.935
89921	Blumen aus Kunststoffen	357	100 %	357	0 %	0
	SUMME	2.420.567	17%	417.644	13%	53.893

Als Vergleich sind in den folgenden Absätzen Literaturwerte für den Verbrauch von Polyvinylchloridprodukten in Österreich angeführt:

In der Studie "Kunststoffe im System- und Gewerbemüll Österreichs" der RWE-Entsorgung AG von 1992 wurde ein Verbrauch an Fertigwaren aus Polyvinylchlorid für 1990 mit 130.000 t angeführt. Bei einer jährlichen Steigerung um 1,8 % [RWE, 1992] erhält man für 1994 einen Verbrauch von ca. 139.600 t Polyvinylchloridfertigwaren.

1990 wurden in Österreich 160.000 t Polyvinylchlorid verbraucht [Danzner & Mayer, 1993]. Derselben Studie zufolge gelangen im Jahr 2000 ca. 220.000 t Polyvinylchloridprodukte in den österreichischen Einsatz. Für Polyvinylchlorid errechnet sich daher eine jährliche Steigerung um 3,2 %. Anhand dieser läßt sich der Verbrauch für 1994 abschätzen. Er liegt bei Polyvinylchlorid bei ca. 181.000 t. Bei einer jährlichen Steigerung von 1,8 % [RWE, 1992] liegt der Verbrauch des Jahres 1994 bei 171.800 t.

Das Österreichische Kunststoffinstitut beziffert den Verbrauch an Polyvinylchlorid im Jahr 1994 mit 140.000 t [ÖKI, 1996]. Dies bedeutet einen jährlichen Zuwachs seit 1992 um 2,7 %.

Der Verbrauch an Kunststoffwaren aus Polyvinylchlorid im Jahr 1994 kann aufgrund der oben angeführten Quellen in einer Bandbreite von 137.500 t bis 181.000 t angegeben werden.

Outputgüter:

Massenmäßige Angaben über den Anfall von Polyvinylchlorid im Abfall liegen nicht vor. Aus Literaturdaten kann man den Prozentanteil des Abfalls vom jährlichen Verbrauch ermitteln; dieser lag 1990 zwischen 44 % [Danzer & Mayer, 1993] und 45 % [RWE, 1992].

In den letzten Jahren setzte eine negative Stimmung gegen Polyvinylchlorid ein. Diese bewirkte, daß in erster Linie eine Umstellung von weichem Polyvinylchlorid auf andere Kunststoffsorten erfolgte. PVC-weich Produkte haben eine wesentlich kürzere Lebensdauer als PVC-hart Produkte. Daher verringert sich der Prozentsatz des Abfalls vom Verbrauch in den nächsten Jahren um einige Prozentpunkte. Man kann daher annehmen, daß ca. 43 % der 1994 in den Prozeß "Einsatz" gelangten Masse im Abfall zu finden war.

Somit erhält man einen Güterfluß von 57.800 t an *Abfällen I*, die 1994 zu verwerten und entsorgen waren. Da der Prozeß "Einsatz" nur ein Outputgut kennt, ist dieses auch die gesamte Outputmasse dieses Prozesses.

Lager:

Das Lager wurde aufgrund von Zeitreihen über den Verbrauch und die Abfallmassen von Kunststoffen in den Jahren von 1960 bis 1994 abgeschätzt. Demnach befanden sich 1994 ca. 1,3 Mio. t an Waren aus Polyvinylchlorid in Österreich im Prozeß "Einsatz". Die Lagerveränderung errechnet sich aus dem Input minus dem Output und beträgt demnach 76.700 t für das Jahr 1994. Das bedeutet, daß im Jahr 1994 das Lager an Kunststoffwaren im Prozeß "Einsatz" um 5,9 % angewachsen ist. Bei gleichbleibender Tendenz verdoppelt sich das Lager in 12 Jahren! Es sei zusätzlich noch angemerkt, daß in Zukunft nur mehr die langlebigen Polyvinylchloridprodukte von Bedeutung sein werden. Die kurzlebigen, zum Beispiel aus dem Verpackungsbereich, sind kaum mehr vorhanden und nehmen stark ab.

Die Abbildung 3-11 zeigt, wie das Lager an Kunststoffwaren im Prozeß "Einsatz" in den letzten 34 Jahren angestiegen ist. Anhand der Verbrauchsdaten an Polyvinylchlorid der Jahre 1960, 1970, 1980, 1990, diese stammen vom ÖKI, und dem Jahr 1994, darüber wurde oben ausführlich berichtet, wurden die fehlenden Daten mittels linearer Interpolation berechnet.

Als Ausgangsjahr wurde 1960 gewählt und angenommen, daß damals ca. fünfmal soviel Polyvinylchlorid im Lager war, wie in diesem Jahr verbraucht wurde. Somit erhält man eine Lagergröße des Prozesses "Einsatz" im Jahr 1960 von ca. 50.000 t an Kunststoffwaren aus Polyvinylchlorid.

Für das Jahr 1960 wurde angenommen, daß 54 % der verbrauchten Masse im Abfall wieder zu finden war. Da vor allem in jüngerer Zeit der Anteil der kurzlebigen Polyvinylchloridprodukte sank, wurde dieser Prozentsatz alle drei Jahre um einen Prozentpunkt verringert. Somit erhält man für das Jahr 1994 einen Anteil von 43 %. Die Berechnung des Lagers befindet sich im *Anhang 4*.

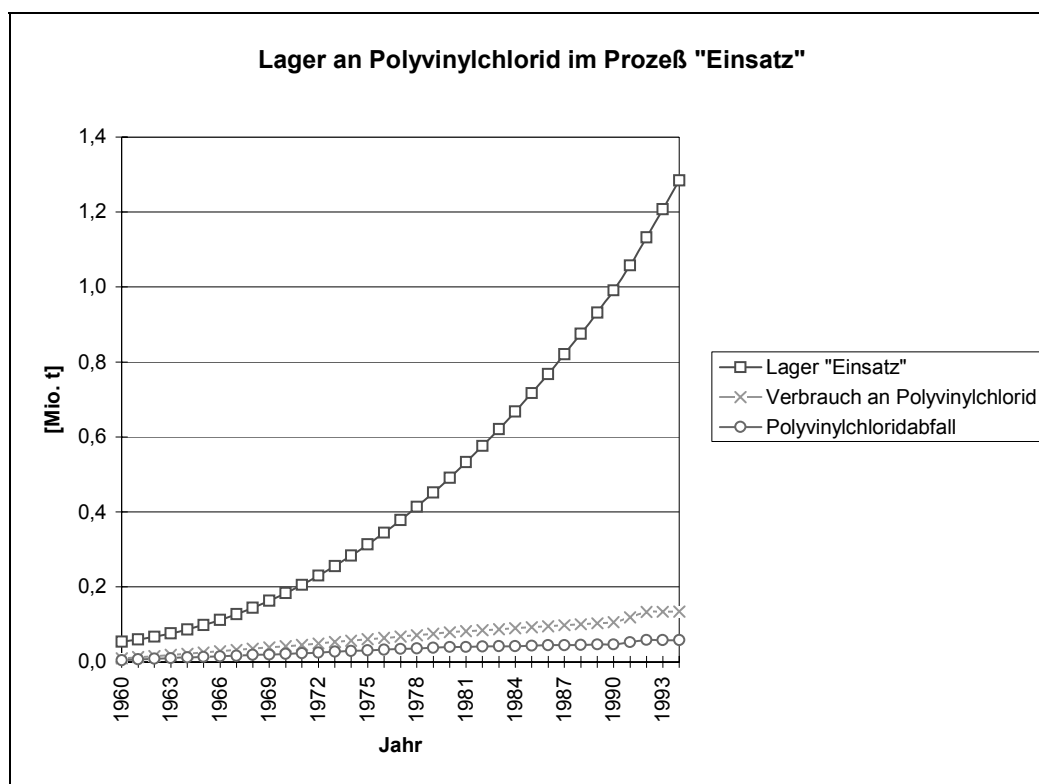


Abbildung 3-11: Lager an Fertigteilen aus/mit Polyvinylchlorid im Prozeß "Einsatz" 1994

Die nachfolgende Tabelle zeigt die oben angeführten Berechnungen in tabellarischer Form.

Tabelle 3-45: Güterbilanz des Prozesses "Einsatz" - PVC

Inputgüter	[t/a]	Outputgüter	[t/a]
Fertigteile I	80.300	Abfall I	57.800
Fertigteile III	54.200		
Summe Input:	134.500	Summe Output:	57.800
Lager [t]	1.300.000	Lagerveränderung:	+76.700

3.5.3.4 Güterbilanz des Prozesses "Sammlung, Sortierung, Transport" - PVC

Inputgüter:

Der größte Güterfluß in den Prozeß "Sammlung, Sortierung, Transport" stammt aus dem Prozeß "Einsatz" und beträgt 57.800 t des Gutes *Abfall I* für das Jahr 1994.

Hinzu kommen noch die *Produktionsabfälle I* und *II* aus dem Prozeß "Chemische Industrie, Polymer-Synthese, Aufbereitung" mit 0 t und aus dem Prozeß "Aufbereitung, Verarbeitung, Nachbehandlung" mit 7.600 t im Jahr 1994.

Zusätzlich zu den aus Österreich stammenden Massen wurden 1994 noch ca. 4.200 t an Polyvinylchloridabfall importiert [ÖSTAT, 1995], welche als Inputgut *Abfall II* ebenfalls in diesen Prozeß strömen.

In Summe erhält man für den Prozeß "Sammlung, Sortierung, Transport" einen Inputfluß von 69.600 t für das Jahr 1994.

Outputgüter:

Mit Ausnahme der Daten vom ÖKK (Verpackungsverordnung) liegen keine gesicherten Daten über eine stoffliche Verwertung von Kunststoffen in Österreich vor. Wie im Kapitel 3.5.2 Polyethylenflüsse in Österreich nachzulesen ist, werden ca. 17.400 t Kunststoffe außerhalb des ARA-Systems verwertet.

Die folgende Tabelle zeigt eine Abschätzung, wie sich diese Masse auf die einzelnen Kunststoffsorten aufteilt. Die Prozentangaben wurden abgeschätzt.

Tabelle 3-46: Aufteilung der außerhalb des ARA-Systems verwerteten Kunststoffabfälle auf verschiedene Kunststoffsorten im Jahr 1994

Kunststoffsorten	Anteil in [%]	Masse in [t]
Polyethylen	70	12.200
Polypropylen	10	1.700
Polystyrole	10	1.700
Polyvinylchlorid	5	900
Sonstige	5	900
Summe	100	17.400

Die Kapazitäten für eine Verwertung von Polyvinylchlorid liegen in Österreich bei 1.000 bis 2.000 t [ÖKI, 1995].

Weiters ist noch zu berücksichtigen, daß 1994 dreimal so viele Abfälle aus Polyvinylchlorid nach Österreich importiert wurden wie in diesem Jahr aus Österreich exportiert wurde. Der Schluß, daß es hier zumindest die Möglichkeit einer stofflichen Verwertung gibt, liegt nahe.

Aufgrund der oben angeführten Recherchen kann man annehmen, daß 1994 ca. 900 t Polyvinylchlorid einer stofflichen Verwertung zugeführt wurde. Man kann demnach das Outputgut *gesammelter und/oder sortierter und transportierter Abfall I* in den Prozeß "Stofflichen Verwertung" mit ca. 900 t angeben.

Zu erwähnen sei, daß im Jahr 1994 ca. 3.500 Stück Altfenster aus Polyvinylchlorid verwertet wurden. Im Jahr 2000 werden ca. 114.000 Stück Altfenster aus Polyvinylchlorid zur Verwertung gelangen [Internorm, Vortrag Stadlbauer, 1995]. Ein mittleres Fenster hat ca. 20 Kg und besteht zu 50 % aus Polyvinylchlorid. Für 1994 errechnet sich daher eine Masse von ca. 35 t.

In den österreichischen Müllverbrennungsanlagen wurden 1994 ca. 440.000 t Systemmüll thermisch verwertet. Ungefähr 1 % des Systemmülls besteht aus Polyvinylchlorid. Demnach kann man annehmen, daß ca. 4.400 t Polyvinylchlorid zusammen mit dem Systemmüll einer thermischen Verwertung zugeführt wurden. Das Outputgut *gesammelter und/oder sortierter und transportierter Abfall II* in den Prozeß "Thermische Verwertung" betrug 1994 4.400 t.

Zusätzlich wurden 1994 ca. 1.400 t Polyvinylchloridabfälle exportiert [ÖSTAT, 1995], wodurch man einen weiteren Outputfluß des Gutes *gesammelter und/oder sortierter und transportierter Abfall IV* erhält.

Somit verbleibt nach Aufsummierung der Inputströme und Abzug der bisher genannten Outputströme noch 62.900 t an *gesammeltem und/oder sortiertem und transportiertem Abfall III* aus Polyvinylchlorid, der 1994 deponiert wurde.

In Summe erhält man für den Prozeß "Sammlung, Sortierung, Transport" einen Outputfluß von 69.600 t für das Jahr 1994.

Lager:

Das von der Altstoff Recycling Austria AG angelegte Lager auf Zeit der thermischen Fraktion für eine spätere thermische Verwertung ist nach Sichtung der Literatur bezüglich Polyvinylchlorid im Verpackungssektor als sehr klein anzunehmen. Es wird angenommen, daß die Lagerveränderung kleiner als die vorgegebene Mindestgröße für hier zu behandelnde Flüsse (1.000 t/a) ist. Da aber nicht auszuschließen ist, daß keine Polyvinylchloridabfälle zwischengelagert werden, wird die Größe des Polyvinylchloridlagers auf Zeit mit ca. 1.000 t und eine positive Lagerveränderung von < 1.000 t für das Jahr 1994 angegeben.

Tabelle 3-47: Güterbilanz des Prozesses "Sammlung, Sortierung, Transport" - PVC

Inputgüter	[t/a]	Outputgüter	[t/a]
Abfall I	57.800	g. s. t. Abfall I	900
Produktionsabfall I	0	g. s. t. Abfall II	4.400
Produktionsabfall II	7.600	g. s. t. Abfall IV	1.400
Abfall II	4.200	g. s. t. Abfall III	62.900
Summe Input:	69.600	Summe Output:	69.600
Lager [t]	< 1.000	Lagerveränderung:	+ <1.000

3.5.3.5 Güterbilanz des Prozesses "Stoffliche Verwertung" - PVC

Inputgüter:

1994 wurden maximal 900 t des Gutes *gesammelter und/oder sortierter und transportierter Abfall I* vom Prozeß "Sammlung, Sortierung, Transport" in den Prozeß "Stoffliche Verwertung" übergeführt.

Outputgüter:

Der Anteil der Fremdstoffe kann nicht verifiziert werden. Aufgrund der Herkunft der Polyvinylchloridabfälle, die zu einem großen Teil aus dem Bauwesen stammen, kann ein relativ hoher Anteil an Fremdstoffen von 10 % angenommen werden. Man erhält demnach einen Outputfluß des Gutes *Fremdstoffe* von ca. 100 t für das Jahr 1994.

Gemessen am gesamten Kunststoffregranulat beträgt der Exportanteil ca. 60 %. Für den Verbrauch in Österreich sind ca. 40 % bestimmt. Aufgrund des Importüberschusses von Polyvinylchloridabfällen wurde aber eine andere Aufteilung angenommen. 75 % werden in Österreich verarbeitet und 25 % gehen ins Ausland.

Somit erhält man für 1994 zwei Outputströme des Gutes *Regranulat II* und *I* in der Größe von 200 t als Export aus Österreich bzw. 600 t für die Verarbeitung im Prozeß "Aufbereitung, Verarbeitung, Nachbehandlung" in Österreich.

Die Summe der einzelnen Outputströme aus dem Prozeß "Stoffliche Verwertung" betrug 1994 900 t.

Lager:

Sofern Kunststoffabfälle gelagert oder zwischengelagert werden, werden diese nur im Prozeß "Sammlung, Sortierung, Transport" berücksichtigt. Somit erhält man für diesen Prozeß weder ein Lager noch eine Lagerveränderung.

Tabelle 3-48: Güterbilanz des Prozesses "Stoffliche Verwertung" - PVC

Inputgüter	[t/a]	Outputgüter	[t/a]
g. s. t. Abfall I	900	Regranulat I	600
		Regranulat II	200
		Fremdstoffe	100
Summe Input:	900	Summe Output:	900
Lager [t]	0	Lagerveränderung:	0

3.5.3.6 Güterbilanz des Prozesses "Thermische Verwertung" - PVC

Inputgüter:

Wie bereits bei der Bilanzierung des Prozesses "Sammlung, Sortierung, Transport" erwähnt wurde, fand 1994 in Österreich keine thermische Verwertung von Kunststoffverpackungsabfällen im Sinne der Verpackungsverordnung statt. Man kann demnach den Polyvinylchloridanteil im Systemmüll (ca. 1%) als einzigen Input in diesen Prozeß annehmen. Demnach erhält man einen Inputfluß des Gutes *gesammelter und/oder sortierter und transportierter Abfall II* in den Prozeß "Thermische Verwertung" von 4.400 t Polyvinylchlorid für das Jahr 1994.

Outputgüter:

Nach der thermischen Nutzung des Energiegehaltes von Kunststoffabfällen erhält man als Produkte der Verbrennung Abluft, Abwasser, Schlacke und Elektrofilterstaub. Da sowohl die Schlacke als auch der Elektrofilterstaub deponiert werden müssen, werden diese unter dem Begriff *Deponiegut* zusammengefaßt. Zur Quantifizierung dieser Güter wurden folgende Annahmen getroffen:

Polyvinylchlorid besteht zu 20 Masse-% aus Additiven. Diese teilen sich zu je 50 % auf organische und anorganische auf. Nach der Verbrennung finden sich die organischen zu 100 % in der Abluft, die anorganischen zu 100 % im Deponiegut wieder.

Der Kohlenstoff geht zu 100 % in die Abluft, ebenso der Wasserstoff. Das Chlor findet sich zu 50 % im Abwasser und zu 50 % im Deponiegut wieder.

Für das Jahr 1994 erhält man demnach drei Outputgüter in Form von 1.800 t *Abluft*, 1.200 t *Abwasser* und 1.400 t *Deponiegut*.

In Summe betragen die Outputströme 4.400 t für das Jahr 1994.

Lager:

Wie auch schon beim Prozeß "Stoffliche Verwertung" erklärt wurde, besitzt dieser Prozeß laut Definition kein Lager und auch keine Lagerveränderung.

Tabelle 3-49: Güterbilanz des Prozesses "Thermische Verwertung" - PVC

Inputgüter	[t/a]	Outputgüter	[t/a]
g. s. t. Abfall II	4.400	Abluft	1.800
		Abwasser	1.200
		Deponiegut	1.400
Summe Input:	4.400	Summe Output:	4.400
Lager [t]	0	Lagerveränderung:	0

3.5.3.7 Güterbilanz des Prozesses "Deponie" - PVC

Inputgüter:

Im Jahr 1994 gelangten 62.900 t des Inputgutes *gesammelter und/oder sortierter und transportierter Abfälle III* aus dem Prozeß "Sammlung, Sortierung, Transport" in diesen Prozeß.

Dazu kamen 1994 noch 100 t an *Fremdstoffen* aus dem Prozeß "Stoffliche Verwertung" und 1.400 t *Deponiegut* aus dem Prozeß "Thermische Verwertung".

Somit erhält man für 1994 einen Inputfluß in den Prozeß "Deponie" von 64.400 t.

Outputgüter:

Dieser Prozeß kennt keine Outputgüter.

Lager:

Das Lager an Polyvinylchlorid im Prozeß "Deponie" wurde genauso berechnet wie jenes an Fertigteilen im Prozeß "Einsatz". Erst ab dem Jahr 1960 stehen Daten über den Verbrauch von Kunststoffen zur Verfügung. Es wird angenommen, daß die Lagergröße an Polyvinylchlorid im Prozeß "Deponie" 1960 ca. 50.000 t betrug. Dies entspricht der fünffachen Verbrauchsmasse dieses Jahres. Aus Gründen des hohen Aufwandes im Vergleich zur geringen Veränderung des Ergebnisses wurden die importierten und exportierten Polyvinylchloridabfälle sowie die "Thermische Verwertung" von Polyvinylchloridabfällen nicht berücksichtigt.

Die Auswertung der Zeitreihen ergibt für 1994 ein Lager an Polyvinylchlorid im Prozeß "Deponie" von 1,2 Mio. t.

Die positive Lagerveränderung errechnet sich aus den Inputgütern und beträgt 1994 64.400 t.

Die Abbildung 3-12 zeigt den Anstieg des Lagers an Kunststoffen im Prozeß "Deponie" in den letzten 34 Jahren. Die Berechnungen dazu befinden sich im *Anhang 4*.

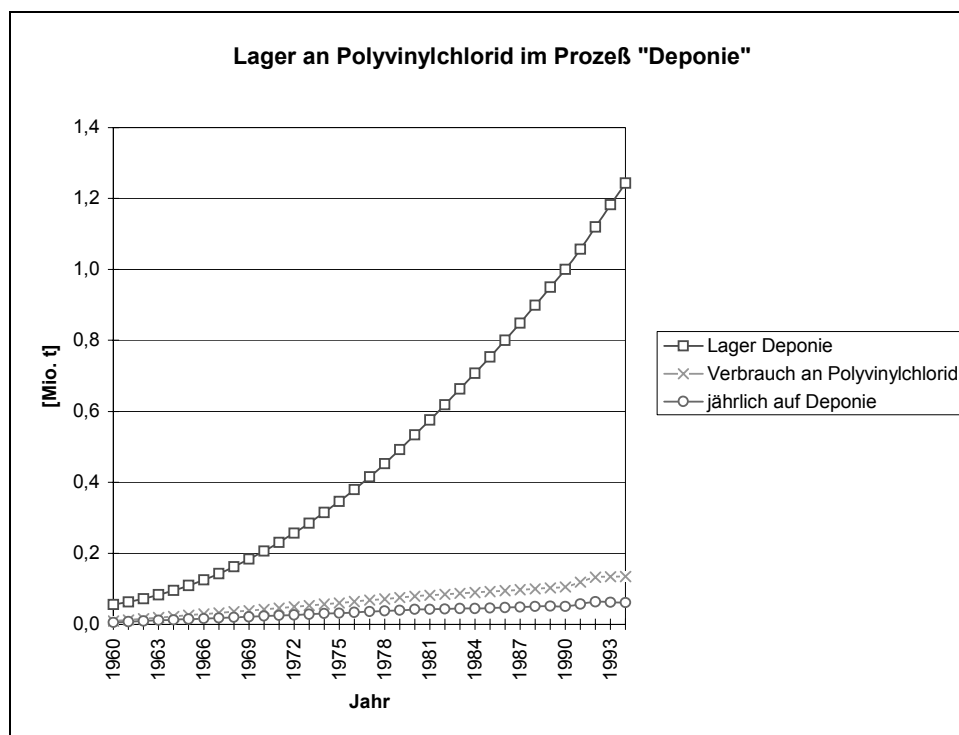


Abbildung 3-12: Lager an Polyvinylchlorid im Prozeß "Deponie", 1994

Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die Input- und Outputgüter des Prozesses "Deponie".

Tabelle 3-50: Güterbilanz des Prozesses "Deponie" - PVC

Inputgüter	[t/a]	Outputgüter	[t/a]
g. s. t. Abfall III	62.900		
Fremdstoffe	100		
Deponiegut	1.400		
Summe Input:	64.400	Summe Output:	0
Lager [t]	1.200.000	Lagerveränderung:	+ 64.400

3.5.4 Quantifizierung der auf die Kunststoffe zurückzuführenden Additivflüsse und -lager in Österreich

Einführung:

Polymere enthalten Reste von Synthese-Hilfsstoffen wie Katalysatoren, Emulgatoren, Fällmittel. Ausgehärtete Reaktionsharze enthalten Reste von Reaktionsmitteln (Härter und Beschleuniger). Additive zur Einstellung des Verarbeitungs- und Gebrauchsverhaltens werden in verhältnismäßig kleinen Massen (0,0 % ... 5 %) zugemischt. Der Übergang zu Weichmachern, Füllstoffen und Verstärkern ist fließend, jedoch ist deren eigentlicher Wirkungsbereich bei größeren Anteilen (10 % ... 70 %) am Kunststoff [Saechtling, 1986].

Vor der Bilanzierung der einzelnen Prozesse muß noch angemerkt werden, daß aufgrund der sehr schlechten Datenlage die einzelnen Flüsse nur in ihrer Größenordnung abgeschätzt werden können. Oft sind nur ungefähre Prozentangaben für den gesamten Additivanteil in Erfahrung zu bringen. Welche speziellen Additive verwendet werden, fällt meist unter das gehütete „Know How“ der einzelnen Verarbeiter. Demnach wurde ein Großteil der nachfolgenden Additivflüsse anhand von Prozentsätzen der gesamten Kunststoffflüsse berechnet. Sämtliche folgenden Prozentangaben beziehen sich auf die Masse der einzelnen Güterflüsse (siehe Kapitel 3.5.1), sind demnach also Masseprozent.

Während sich manche Additivflüsse, wie zum Beispiel Additive in importierten und exportierten Abfällen, leicht und genau bestimmen lassen, ist die Unsicherheit bei vielen anderen Additivflüssen relativ groß.

Wie wurden die einzelnen Flüsse nun konkret abgeschätzt? Anhand des Kapitels 3.5.1 *Quantifizierung der gesamten Kunststoffflüsse und -lager in Österreich* Abbildung 3-4 wurde für jeden Güterfluß der Prozentsatz des Additivgehaltes abgeschätzt. Ein Beispiel soll die Vorgangsweise erklären: Aus den bisherigen Kapiteln ist bekannt, daß von den 49.200 t Kunststoffen, die 1994 in Österreich einer "Stofflichen Verwertung" zugeführt wurden, ca. 36.700 t aus Polyethylen sind. Der Additivanteil am gesamten Polyethylen liegt, je nach Anwendungsgebiet, im Bereich von 1 % - 2 %. Die verbleibenden 12.500 t Kunststoffe, die einer stofflichen Verwertung zugeführt wurden, teilen sich in erster Linie auf Polypropylen und Polystyrol auf. Beide Kunststoffsorten haben ebenfalls einen geringen Additivanteil, der zum Beispiel bei Polypropylen bei 2 % - 5 % liegt. Da aber der Großteil des stofflich verwerteten Kunststoffes aus Polyethylen besteht, kann der Additivanteil des Gutes *gesammelter und/oder sortierter und transportierter Abfall I*, der vom Prozeß "Sammlung, Sortierung, Transport" in den Prozeß "Stoffliche Verwertung" gelangt, mit 1 % - 3 % abgeschätzt werden.

Es sei ausdrücklich darauf hingewiesen, daß es sich hierbei um eine **Abschätzung** der Additivflüsse in Österreich handelt. Gewiß gibt es dabei einige Angriffspunkte, aber anhand der verfügbaren Daten ist keine genaue Bilanzierung möglich. Die Daten werden im folgenden ganz bewußt als Bandbreite angegeben, damit man bei jeder Zahl erinnert wird, wie groß die Unsicherheit ist.

Weiters wird in diesem Kapitel meist auf die Angabe der Quelle verzichtet, da das Kapitel 3.5.1: *Gesamte Kunststoffflüsse und -lager in Österreich* die Grundlage bildet. Im Allgemei-

nen wurden die Daten zur Quantifizierung der Prozentsätze vom Österreichischen Kunststoffinstitut verwendet. Die Tabelle 3-51: Additiv- und Kunststoffverbrauch nach Kunststoffsorten 1994 und die Tabelle 3-52: Additiv- und Kunststoffverbrauch nach Anwendungsgebieten 1994 wurden als Ausgangsbasis verwendet. Das oben angeführte Beispiel zeigte auch, wie diese Daten zu einem Ergebnis umgewandelt wurden.

Tabelle 3-51: Additiv- und Kunststoffverbrauch nach Kunststoffsorten 1994 [ÖKI, 1996]

Kunststoffsorten Quelle: [ÖKI, 1996]	Kunststoffverbrauch 1994 [t]	Additivverbrauch 1994 [t]	Additivanteil 1994 [%]
PE-LD	180.000	4.300	2,4
PE-HD	80.000	1.900	2,4
PP	130.000	7.800	6,0
PVC	140.000	23.800	17,0
PS (+ Styrolpolymere)	34.000	2.700	8,0
UP + PET	40.000	2.000	5,0
Sonstige	374.000	41.200	11,0
Summe	978.000	83.700	8,6

Tabelle 3-52: Additiv- und Kunststoffverbrauch nach Anwendungsgebieten 1994 [ÖKI, 1996]

Anwendungsgebiete Quelle: [ÖKI, 1996]	Kunststoffverbrauch 1994 [t]	Additivverbrauch 1994 [t]	Additivanteil 1994 [%]
Schaumstoffe (Blöcke, Platten)	36.000	200	0,5
Folien	91.000	3.700	4,1
Platten	38.000	8.600	22,8
Rohre	82.000	5.300	6,5
Profile	3.000	500	17,7
Gewebe beschichtet	15.000	300	1,8
Papier beschichtet	20.000	200	1,1
Kunstharzgewebe und Papiere	20.000	3.000	14,8
technische Kunststoffteile	90.000	16.500	18,3
Verpackungsmaterial *	189.000	4.100	2,2
Sonstige	394.000	41.300	10,6
Summe	978.000	83.700	8,6

* Die Anwendungsgebiete *Schaumstoffe* und *Folien* beinhalten ebenfalls *Verpackungsmaterial*, welches 1994 in einer Masse von 224.000 t verbraucht wurde [BMfU, 1996].

Damit es zu keinen Fehlinterpretationen kommt, sei hier noch einmal explizit erwähnt, daß es sich in diesem Kapitel um die gesamten Additivflüsse in Österreich handelt. Die angegebenen Zahlen beziehen sich demnach nicht nur auf Schwermetallstabilisatoren, Weichmacher und sonstige Verbindungen, die für Menschen, Tier und Umwelt ein Gefährdungspotential darstellen können. Wie die Tabelle 3-53: Additivverbrauch nach Additivarten in den Jahren

1960, 1970, 1980, 1990, 1992 und 1994 [ÖKI, 1995] zeigt, sind ca. 50 % der Additive Füll- und Verstärkungsmittel, wie zum Beispiel Ruß oder Talkum.

Tabelle 3-53: Additivverbrauch nach Additivarten in den Jahren 1960, 1970, 1980, 1990, 1992 und 1994 [ÖKI, 1995] und [ÖKI, 1996]

Additivverbrauch nach Additivarten	1960 [t]	1970 [t]	1980 [t]	1990 [t]	1992 [t]	1994 [t]
Antioxidantien	35	175	345	580	612	600
Lichtschutzmittel	10	25	55	95	96	100
Weichmacher	605	2.670	4.940	8.630	9.112	9.200
Gleitmittel	120	595	1.150	1.940	2.064	2.100
Füll- und Verstärkungsmittel	2.480	10.900	21.380	36.160	42.008	42.300
Farbmittel	245	1.220	2.350	3.870	4.272	4.300
Flammschutzmittel	135	665	1.285	2.230	2.280	2.300
Antistatika	7	35	67	105	112	100
Thermostabilisatoren	135	610	1.268	2.120	2.244	2.300
Sonstige	975	4.885	9.870	16.440	20.256	20.400
Summe	4.747	21.780	42.710	72.170	83.056	83.700

Die folgende Auflistung gibt einen Überblick über die wichtigsten Vertreter der einzelnen Additivgruppen [ÖKI, 1995].

- **Antioxidantien:** sterisch gehinderte Amine beziehungsweise Phenole (Thiobisphenole); Thioether, Phosphite und Phosphonite
- **Metalldesaktivatoren:** Chelatbildner (zum Beispiel: N,N' Dibenzaloxalsäuredihydrazid, Diacylhydrazin; 1,2,4 - Triazolderivate)
- **Lichtschutzmittel / UV-Stabilisatoren:** UV-Absorber: Hydroxyphenylbenzotriazole, Aktivruß, Zimtsäure; Quencher: Nickel-chelat; Radikalfänger: Ni-organische Verbindungen
- **Weichmacher:** Phthalate, Carbonsäure-, Phosphorsäureester, Polyester, Elastomere Nitrilkautschuk, Chlorparaffine
- **Gleitmittel:** Fettsäure (C14 - C18), Fettalkohol (C14 - C18), Montansäure, Wachse, Blei-, Cadmium-, Zinkverbindungen (Metallseifen)
- **Schlagzähigkeitsverbesserer:** Ethylenvinylacetat, Polyacrylsäureester, chloriertes Polyethylen, Methacrylatbutadienstyrol, Acrylnitrilbutadienstyrol
- **Füll- und Verstärkungsmittel:** Calciumcarbonat, Dolomit, Silikat, Glasfasern, Talkum, Ruß, Kaolin

- **Farbmittel:** anorganische Pigmente (Titanoxid, Chromgelb, Kobaltblau); organische Pigmente (Azoverbindungen, polycyclische Verbindungen)
- **Flammschutz/Rauchdichteverminderer:** Aluminiumhydroxid, halogenierte Kohlenwasserstoffe, Phosphorsäureester, Phthalocyaninkomplexe von Eisen, Kupfer, Molybdän, Kobalt, Vanadium
- **Antistatika:** kationen- beziehungsweise anionenaktive Verbindungen (quartäres Ammonium-, Sulfoniumsalz) mit langen Alkylrest beziehungsweise (Alkylsulfonate)
- **optische Aufheller:** Benzooxazole, Phenylcumarine, Bis-(styryl) Biphenyle
- **Biostabilisatoren:** organische Zinn-, Kupfer-, Zink- und Quecksilberverbindungen, Phthalamide, Biozide
- **Treibmittel:** Azodicarbonamid, Hydrazin-Derivate, Na-hydrogencarbonat, aliphatische Kohlenwasserstoffe
- **Vernetzungsmittel:** organische Peroxide, zum Beispiel Hydro-, Alkyl, Diacylperoxide, Perester, Peroxyketale
- **Keimbildner:** anorganische Zusatzstoffe: Talkum, Kaolin; organische Verbindungen: Salze von Mono- oder Polycarbonsäuren, gewisse Pigmente bzw. Polymere

3.5.4.1 Güterbilanz des Prozesses "Chemische Industrie, Polymer-Synthese, Aufbereitung" - Additive

Inputgüter:

Unter den *Primären Rohstoffen* wird in erster Linie Rohöl verstanden, in dem sich keine Additive befinden. Aus Gründen der Vollständigkeit wird dieser Fluß mit 0 t im System angeführt.

Da eine Aufteilung, Duromerausgangsstoffe in den Prozeß "Chemische Industrie, Polymer-Synthese, Aufbereitung" und Duromere in den Prozeß "Aufbereitung, Verarbeitung, Nachbehandlung", nicht möglich war, muß man den Prozentsatz der Additive, verglichen mit den *Primären Rohstoffen*, relativ hoch wählen. Der Additivanteil am Inputgut *Sekundäre Rohstoffe* wurde mit 3,5 % bis 7 % angenommen und beträgt für das Jahr 1994 16.000 t - 32.000 t.

Von den 1994 nach Österreich importierten *Additiven I* gelangten 4.900 t in diesen Prozeß (siehe dazu auch Kapitel 3.5.1: *Gesamte Kunststoffflüsse und -lager in Österreich*).

Die Quantifizierung des Additivanteiles in den *Naturstoffen I*, wie auch später bei den *Elastomeren*, ist mit der größten Unsicherheit in diesem System behaftet. In der Literatur ist unter anderem zu finden: "Sehr wesentlich ist für die Kautschuktechnologie die Verstärkung der Mischung durch aktive Füllstoffe, das sind Ruße für schwarze, hochdispersive Kieselsäuren für hellere Erzeugnisse" [Saechtling, 1986]. Bei Reifen liegt der Rußanteil bei 10 % - 20 %, Dichtungen sind zwischen 30 % und 40 % mit speziellen Russen und Gesteinsmehlen versehen. Da Gummi sehr teuer ist, wird er oft bis zu 80 % mit Zusatzstoffen und Streckmitteln versehen [ÖKI, 1995]. Diesen Ausführungen zufolge kann man eine Bandbreite von 20 bis 30 Prozent annehmen. Aufgrund der anderen Ergebnisse dieser Bilanzierung konnte man die Bandbreite noch ein wenig einengen. Für die weiteren Berechnungen wird angenommen, daß im Gut *Naturstoffe I* ca. 23 % - 28 % Additive enthalten sind. Somit erhält man einen Additivfluß im Gut *Naturstoffe I* von 23.600 t bis 28.800 t für das Jahr 1994.

In Summe erhält man einen Inputgüterfluß an Additiven in den Prozeß "Chemische Industrie, Polymer-Synthese, Aufbereitung" von 44.500 t bis 65.700 t für das Jahr 1994.

Outputgüter:

1994 wurden 743.200 t *Polymere, Formmassen* aus dem Prozeß "Chemische Industrie, Polymer-Synthese, Aufbereitung" exportiert. Die folgende Tabelle zeigt die Abschätzung der Zusammensetzung sowie den Anteil der darin enthaltenen Additive:

Tabelle 3-54: Zusammensetzung und Additivanteil des Gutes *Polymere, Formmasse* 1994

Polymere, Formmasse	[t]	Additivanteil in [%] von	Additivanteil in [%] bis	Additivanteil in [t] von	Additivanteil in [t] bis
Polyethylen	270.000	0,3	0,5	810	1350
Polypropylen	190.000	1,0	2,0	1.900	3.800
Sonstige	283.200	2,0	5,0	5.664	14.160
Summe	743.200	1,1	2,6	8.374	19.310

Der geringe Additivanteil bei Polyethylen und Polypropylen wird dadurch begründet, daß es sich in erster Linie um Primärgranulat handelt, welches kurz vor der Verarbeitung noch von den einzelnen Verarbeitern mit Additiven versehen wird. Bei den "Sonstigen" ist die Bandbreite von 2 % - 5 % groß, da keine speziellen Kunststoffsorten ausgewiesen werden können. Für das gesamte Gut *Polymere, Formmasse* erhält man bei einem Additivanteil von 1,1 % bis 2,6 % einen Additivgehalt von 8.400 t bis 19.300 t für das Jahr 1994.

Grundsätzlich besteht das Gut *Duromere* aus Duromerrohformen (z.B.: Harze), die noch nicht mit Härter und Beschleuniger versehen sind. Dies läßt einen kleinen Prozentsatz für Additive zu. Die Masse der Lacke und Dispersionen konnte nicht abgeschätzt werden. Diese besitzen mitunter große Massen (z.B. 40 % - 70 % bei wasseremulgierbaren ungesättigten Polyesterharzen) an Lösungsmitteln. Unter der Annahme, daß der Additivanteil zwischen 8 % - 10 % liegt, erhält man für das Jahr 1994 einen Additivfluß in diesem Gut von 6.700 t bis 8.400 t.

1994 wurden 2.600 t *Additive II* aus Österreich exportiert [ÖKI, 1995].

Der Additivanteil am Outputgut *Naturstoffe II* wurde, wie beim Inputgut, mit 23 % - 28 % angenommen. Demnach erhält man einen Additivfluß in diesem Gut von 4.000 t bis 4.900 t für das Jahr 1994.

In Österreich werden in erster Linie Polyolefine produziert. Die im Prozeß "Chemische Industrie, Polymer-Synthese, Aufbereitung" anfallenden Produktionsabfälle werden im Kapitel 3.5.1 mit 1.000 t pro Jahr beschrieben. Der Additivanteil kann in diesem Gut mit 0,3 % angenommen werden, dies entspricht jenem Additivanteil, der im Durchschnitt in der gesamten Produktion eingesetzt wird. Dadurch ergibt sich eine Größe von 3 t Additive im Gut *Produktionsabfall I* für das Jahr 1994.

Die nachfolgende Tabelle illustriert die Quantifizierung des Additivanteiles im Outputgut *Duromere, Polymere, Formmasse*, welches in den Prozeß "Aufbereitung, Verarbeitung, Nachbehandlung" fließt.

Tabelle 3-55: Zusammensetzung und Additivanteil des Gutes *Duromere, Polymere, Formmasse* 1994

Duromere, Polymere, Formmasse	[t]	Additivanteil in [%] von	Additivanteil in [%] bis	Additivanteil in [t] von	Additivanteil in [t] bis
Polyethylen, Polyprop.	70.000	1,0	2,0	700	1.400
Naturstoffe	85.300	23,0	28,0	19.619	23.884
Sonstige	91.100	2,0	5,0	1.822	4.555
Summe	246.400	8,9	12,1	22.141	29.839

Der Tabelle 3-55 zufolge erhält man bei einem Additivanteil zwischen 9 und 12 % einen Additivfluß in diesem Gut von 22.100 t bis 29.800 t für das Jahr 1994.

In Summe erhält man einen Additivfluß in den Outputgütern von 43.800 t bis 65.000 t für das Jahr 1994.

Lager:

Das Lager an Additiven und Additiven in den Gütern in diesem Prozeß wird aus den Inputgütern gebildet. Wie im Kapitel 3.5.1 erwähnt, werden die *Primären Rohstoffe* nicht auf Vorrat gelagert. 1994 wurden 564.300 t Güter (ohne *Primäre Rohstoffe*) mit 44.500 t bis 65.700 t Additiven in diesen Prozeß importiert. Der Additivanteil bei den Inputgütern beträgt demnach zwischen 7,9 % und 11,6 %. Der hohe Prozentsatz läßt sich aufgrund der stark additivierten *Naturstoffe I* erklären. Bei der Berechnung des Additivlagers wurde der selbe Prozentsatz verwendet; man erhält demnach ein Additivlager in diesem Prozeß von 4.000 t bis 5.800 t.

Nachfolgend sind die obigen Berechnungen in tabellarischer Form aufgearbeitet.

Tabelle 3-56: Güterbilanz des Prozesses "Chemische Industrie, Polymer-Synthese, Aufbereitung" - Additive

Inputgüter	[1.000 t/a]	Outputgüter	[1.000 t/a]
Primäre Rohstoffe	0	Duromere	6,7 - 8,4
Sekundäre Rohstoffe	16,0 - 32,0	Naturstoffe II	4,0 - 4,9
Additive I	4,9	Polymere, Formmasse	8,4 - 19,3
Naturstoffe I	23,6 - 28,8	Additive II	2,6
		Produktionsabfälle I	<< 1
		Duro- und Polymere, Formmasse	22,1 - 29,8
Summe Input:	44,5 - 65,7	Summe Output:	43,8 - 65,0
Lager [1.000 t]	4,0 - 5,8	Lagerveränderung:	0

3.5.4.2 Güterbilanz des Prozesses "Aufbereitung, Verarbeitung, Nachbehandlung" - Additive

Inputgüter:

Aufgrund der Berechnungen der Outputgüter des Prozesses "Chemische Industrie, Polymer-Synthese, Aufbereitung" erhält man einen Inputfluß an Additiven im Gut *Duro- und Polymere, Formmasse* von 22.100 t bis 29.800 t im Jahr 1994.

Die Tabelle 3-51 und die Tabelle 3-52 zu Beginn dieses Kapitels zeigen, daß der Additivanteil an den gesamten Kunststoffen in Österreich mit 7 % - 10 % angegeben werden kann.

Es wird angenommen, daß der Additivanteil im Inputgut *Halbzeug I* zwischen 8 % und 12 % liegt und dies, obwohl der Additivanteil an den gesamten Kunststoffgütern "nur" bei 7 % - 10 % liegt. Diese Annahme wird dadurch begründet, daß in diesem Gut verhältnismäßig viele Kunststoffsorten vertreten sind, die einen höheren Additivanteil aufweisen als der Durchschnitt der Kunststoffe. In diese Gruppe fallen zum Beispiel Rohre, Platten und Profile aus Polyvinylchlorid sowie faserverstärkte Halbfabrikate zum Beispiel zur Herstellung von diversen Kesseln. Unter den getroffenen Annahmen erhält man für das Jahr 1994 einen Additivinput über das Gut *Halbzeug* von 12.300 t bis 18.400 t.

Der Additivanteil an der *Formmasse* wurde mit 6 % - 9 % angenommen, da dieses Gut bereits aufbereitet, das heißt, teilweise mit Additiven versehen, wurde. Da jedoch noch Verstärkungstoffe, wie zum Beispiel Glasfasern oder Aufdrucke, Kleber und ähnliches fehlen können, wurde der Additivanteil um jeweils einen Prozentpunkt nach unten gesetzt. Man erhält demnach einen Additivfluß über dieses Gut von 8.900 t bis 13.400 t für das Jahr 1994.

Vom Kapitel 3.5.1: *Gesamte Kunststoffflüsse und -lager in Österreich* kann man den Güterfluß *Additive III* mit 22.300 t für das Jahr 1994 zu 100 % übernehmen.

Die *Polymere* beinhalten nicht nur Polyolefine, welche in der Regel mit wenigen Additiven versehen sind, sondern auch alle anderen Thermoplaste. Die nachfolgende Tabelle zeigt, wie der Additivanteil an diesem Gut abgeschätzt wurde.

Tabelle 3-57: Zusammensetzung und Additivanteil des Gutes *Polymere* 1994

Polymere	[t]	Additivanteil in [%] von	Additivanteil in [%] bis	Additivanteil in [t] von	Additivanteil in [t] bis
Polyethylen	164.800	0,5	1,0	824	1.648
Polypropylen	100.000	1,0	3,0	1.000	3.000
Polyvinylchlorid	90.000	8,0	15,0	7.200	13.500
Polystyrol	40.000	0,5	1,0	200	400
Sonstige	274.700	5,0	7,0	13.753	19.229
Summe	669.500	3,4	5,6	22.977	37.777

Man kann demnach den Additivanteil an diesem Gut mit 3,4 bis 5,6 % angeben und erhält für das Jahr 1994 einen Additivimport durch das Gut *Polymere* von 23.000 t bis 37.800 t.

Der Additivinput über das Gut *Regranulat I* wird später beim Prozeß "Stoffliche Verwertung" genauer diskutiert. Vorweggenommen sei, daß 1994 bei einem Additivanteil von 1 % bis 2 % ca. 200 t bis 300 t Additive über dieses Gut in den Prozeß "Aufbereitung, Verarbeitung, Nachbehandlung" gelangten.

In Summe gelangten 1994 zwischen 88.800 t und 122.000 t Additive über die Inputgüter in den Prozeß "Aufbereitung, Verarbeitung, Nachbehandlung".

Outputgüter:

Zur Quantifizierung des Additivexportes über das Gut *Fertigteile II* wurden diese im ersten Schritt auf die Produkte nicht deklarierte Verpackungen und Fertigprodukte aufgeteilt. Der Additivanteil wurde bei den nicht deklarierten Verpackungen mit 1 % bis 3 % angenommen, da es sich in erster Linie um wenig additivierte Verpackungskunststoffe handelt. Diese bestehen wiederum zu 89 % aus Polyethylen [Stumpf, 1994], welches für die Produktion zu Folien nur im Prozentbereich additiviert werden muß [ÖKI, 1995]. Der Additivanteil an den Fertigprodukten wurde, genauso wie bei den gesamten Kunststoffen, mit 7 % - 10 % angenommen. In Summe wurden 1994 über das Outputgut *Fertigteile II* zwischen 28.300 t und 40.600 t Additive aus diesem Prozeß ausgeführt. Dies entspricht einem Additivanteil von 6,8 % bis 9,7 %.

Für das Gut *Halbzeug II* wurde der selbe Prozentsatz (8 % - 12 %) wie oben verwendet. Somit gelangten 1994 zwischen 16.900 t und 25.300 t über diese Gut aus dem Prozeß "Aufbereitung, Verarbeitung, Nachbehandlung".

Für die *Fertigteile I*, die in den Prozeß "Einsatz" gelangen, wurde, wie oben schon mehrfach begründet, ein Additivanteil von 7 % bis 10 % angenommen. Somit wurden 1994 zwischen

42.000 t und 60.000 t an Additiven über das Gut *Fertigteile I* in den Prozeß "Einsatz" übergeführt.

Der Additivanteil am *Produktionsabfall II* wurde ebenfalls mit 7 % bis 10 % angenommen. Dadurch errechnet sich eine Additivmasse in diesem Gut von 2.000 t bis 2.800 t für das Jahr 1994.

In Summe erhält man für den Prozeß "Aufbereitung, Verarbeitung, Nachbehandlung" einen Outputfluß an Additiven von 89.200 t bis 128.700 t für das Jahr 1994.

Lager:

1994 gelangten 1.257.000 t an Gütern mit 88.800 t bis 122.000 t Additiven in diesen Prozeß. Der Additivanteil in diesen Gütern liegt demnach zwischen 7,1 % und 9,7 %. Bei diesem Additivanteil beträgt das Lager in diesem Prozeß 3.600 t bis 4.900 t. Wie auch beim Prozeß "Chemische Industrie, Polymer-Synthese, Aufbereitung" wird angenommen, daß sich dieses Lager über ein Jahr gesehen nicht wesentlich ändert.

Nachfolgend sind die obigen Berechnungen in tabellarischer Form aufgearbeitet.

Tabelle 3-58: Güterbilanz des Prozesses "Aufbereitung, Verarbeitung, Nachbehandlung" - Additive

Inputgüter	[1.000 t/a]	Outputgüter	[1.000 t/a]
Duro- und Polymere, Formmasse	22,1 - 29,8	Halbzeug II	16,9 - 25,3
Polymere	23,0 - 37,8	Fertigteile II	28,3 - 40,6
Formmasse	8,9 - 13,4	Produktionsabfall II	2,0 - 2,8
Halbzeug I	12,3 - 18,4	Fertigteile I	42,0 - 60,0
Additive III	22,3		
Regranulat I	0,2 - 0,3		
Summe Input:	88,8 - 122,0	Summe Output:	89,2- 128,7
Lager [1.000 t]	3,6 - 4,9	Lagerveränderung:	0

3.5.4.3 Güterbilanz des Prozesses "Einsatz" - Additive

Inputgüter:

Der Outputfluß *Fertigteil I* aus dem Prozeß "Aufbereitung, Verarbeitung, Nachbehandlung" ist gleichzeitig der Inputfluß *Fertigteil I* des Prozesses "Einsatz" und betrug 1994 42.000 t bis 60.000 t an Additiven.

Die Quantifizierung des Additivimportes über das Gut *Fertigteile III* wurde analog dem Prozeß "Aufbereitung, Verarbeitung, Nachbehandlung" durchgeführt. Die Produkte nicht deklarierte Verpackungen und Fertigprodukte wurden mit den Additivanteilen 1 % bis 3 % beziehungsweise 7 % - 10 % versehen. Als Ergebnis erhält man im Inputgut *Fertigteile III* eine Additivmasse zwischen 29.300 t und 42.400 t für das Jahr 1994. Dies entspricht einem Additivanteil von 6,6 % bis 9,5 %.

Der Additivanteil am Inputgut *Elastomere* wird analog zu den Gütern *Naturstoffe* mit 23 % bis 28 % angenommen. Somit erhält man einen Additivimport über das Gut *Elastomere* von 18.900 t bis 23.000 t für das Jahr 1994.

In Summe erhält man im Jahr 1994 in den Prozeß "Einsatz" einen Additivinput über die Inputgüter von 90.200 t bis 125.400 t. Ein Vergleich dieser Werte mit den beiden zu Beginn dieses Kapitels angeführten Tabellen zeigt, daß deren Bandbreite den Additivverbrauch Österreichs von ca. 100.000 t für das Jahr 1994 beinhaltet.

Outputgüter:

Der Additivanteil im Gut *Abfall I* wird aus bekannten Gründen mit 7 % bis 10 % angenommen. Er beträgt für das Jahr 1994 zwischen 50.600 t und 72.300 t.

Lager:

Da sich im Lager vornehmlich Kunststoffprodukte mit einer höheren Lebensdauer befinden und diese in der Regel mit mehr Additiven versehen sind, als zum Beispiel Verpackungskunststoffe, kann man annehmen, daß der Additivanteil im Lager einen Prozentpunkt höher ist, als bei den gesamten Kunststoffen. Genauso kann man bei der positiven Lagerveränderung verfahren. Der Additivanteil von 10 % bis 13 % bewirkt, daß das Lager im Prozeß "Einsatz" derzeit ca. 710.000 t bis 923.000 t Additive enthält. 1994 ist dieses Lager um weitere 40.400 t bis 52.500 t angewachsen. Die Berechnungen dazu befinden sich im *Anhang 5*.

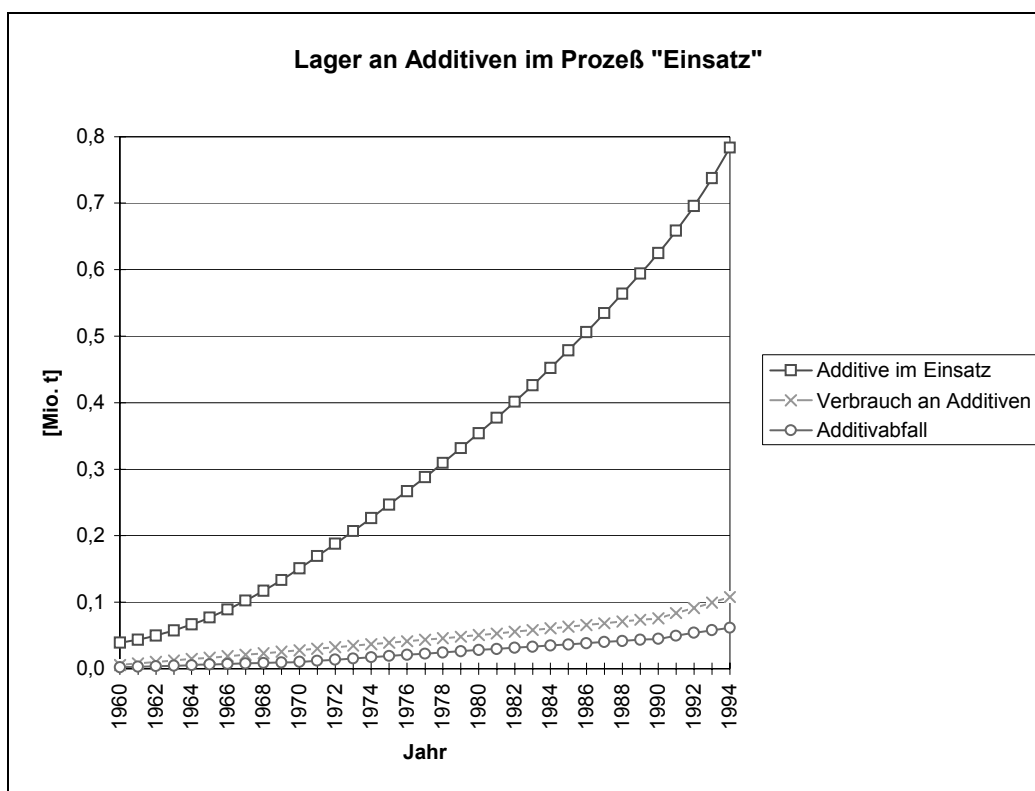


Abbildung 3-13: Lager an Additiven in den Fertigteilen im Prozeß "Einsatz", 1994

Die nachfolgende Tabelle zeigt die oben angeführten Berechnungen in tabellarischer Form.

Tabelle 3-59: Güterbilanz des Prozesses "Einsatz" - Additive

Inputgüter	[1.000 t/a]	Outputgüter	[1.000 t/a]
Fertigteile I	42,0 - 60,0	Abfall I	50,6 - 72,3
Fertigteile III	29,3 - 42,4		
Elastomere	18,9 - 23,0		
Summe Input:	90,2 - 125,4	Summe Output:	50,6 - 72,3
Lager [1.000 t]	710,0 - 923,0	Lagerveränderung:	40,4 - 52,5

3.5.4.4 Güterbilanz des Prozesses "Sammlung, Sortierung, Transport" - Additive

Inputgüter:

Der größte Additivfluß in den Prozeß "Sammlung, Sortierung, Transport" stammt aus dem Prozeß "Einsatz", betrug im Jahr 1994 zwischen 50.600 t und 72.300 t und beruht auf dem Gut *Abfall I*. Der Additivanteil wurde, wie oben beschrieben, mit 7 % bis 10 % angenommen.

Hinzu kommen die Additive in den *Produktionsabfällen I* und *II* aus dem Prozeß "Chemische Industrie, Polymer-Synthese, Aufbereitung" mit 3 t und aus dem Prozeß "Aufbereitung, Verarbeitung, Nachbehandlung" mit 2.000 t bis 2.800 t im Jahr 1994.

Der Additivanteil in den nach Österreich importierten Abfällen wurde wie folgt berechnet:

Tabelle 3-60: Zusammensetzung und Additivanteil des importierten Gutes *Abfall II* 1994

importierter Abfall	[ÖSTAT, 1995] in [t]	Additivanteil in [%] von	Additivanteil in [%] bis	Additivanteil in [t] von	Additivanteil in [t] bis
Polyethylen	800	1,0	2,0	8	16
Polystyrol	1.000	1,0	5,0	10	50
Polyvinylchlorid	4.200	15,0	25,0	630	1.050
Sonstige	4.900	7,0	10,0	343	490
Summe	10.900	9,1	14,7	991	1.606

Demnach erhält man bei einem Additivanteil von 9 % bis 15 % eine importierte Masse an Additiven im Gut *Abfall II* von 1.000 t bis 1.600 t für das Jahr 1994.

In Summe erhält man für den Prozeß "Sammlung, Sortierung, Transport" in den Inputgütern eine Masse an Additiven von 53.600 t bis 76.700 t für das Jahr 1994.

Outputgüter:

Der Additivanteil des Gutes *gesammelter und/oder sortierter und Transportierter Abfall I*, welches in den Prozeß "Stoffliche Verwertung" fließt, wird mit 1 % bis 3 % angenommen. Dies wird damit begründet, daß in Österreich derzeit in erster Linie Polyolefine stofflich verwertet werden. Diese haben im allgemeinen nur kleine Additivanteile. Somit kann man die Additivmasse dieses Gutes mit 500 t - 1.500 t für das Jahr 1994 angeben.

Der Additivanteil des Gutes *gesammelter und/oder sortierter und Transportierter Abfall II*, welches in den Prozeß "Thermische Verwertung" fließt, muß auf die beiden grundsätzlich verschiedenen Inputgüter in die Verwertungsarten aufgeteilt werden. Der Anteil der Additive an den 44.200 t Kunststoffabfällen, die zusammen mit dem Hausmüll thermisch verwertet werden, wird mit 7 % bis 10 % angenommen. Dadurch ergibt sich ein Additivfluß von 3.100 t bis 4.400 t. Der Anteil der Additive an den 27.000 t Altreifen, die in der Zementindustrie thermisch verwertet werden, wird mit 20 % bis 30 % angenommen. Dadurch ergibt sich ein Additivfluß von 5.400 t bis 8.100 t. In Summe erhält man eine Masse an Additiven im Gut *gesammelter und/oder sortierter und Transportierter Abfall II* von 8.500 t bis 12.500 t für das Jahr 1994. Dies entspricht einem Additivanteil von 11,9 % bis 17,6 %.

Der Additivanteil im Outputgut *gesammelter und/oder sortierter und transportierter Abfall III* wird mit 8 % bis 11 % angenommen, da bereits ein Teil der wenig additvierten Kunststoffabfälle, das sind in erster Linie Verpackungskunststoffe, aussortiert wurden. Man erhält demnach eine Masse an Additiven in diesem Gut von 47.100 t bis 64.800 t für das Jahr 1994.

Der Additivanteil in den aus Österreich exportierten *gesammelten und/oder sortierten und transportierten Abfällen IV* wurde wie folgt berechnet:

Tabelle 3-61: Zusammensetzung und Additivanteil des exportierten Gutes *Abfall IV* 1994

importierter Abfall	[t] [ÖSTAT, 1995]	Additivanteil in [%] von	Additivanteil in [%] bis	Additivanteil in [t] von	Additivanteil in [t] bis
Polyethylen	2.000	1,0	2,0	20	40
Polystyrol	300	1,0	5,0	3	15
Polyvinylchlorid	1.400	15,0	25,0	210	350
Sonstige	8.100	7,0	10,0	567	810
Summe	11.800	6,8	10,3	800	1.215

Unter den oben beschriebenen Annahmen kann gesagt werden, daß 1994 zusammen mit dem *gesamelter und/oder sortierter und transportierter Abfall IV* zwischen 800 t und 1.200 t Additive exportiert wurden. Dies entspricht einem Additivanteil von 7 % bis 10 %.

In Summe erhält man für den Prozeß "Sammlung, Sortierung, Transport" einen Outputfluß von 59.600 t bis 85.400 t an Additiven für das Jahr 1994.

Lager:

Das Lager im Prozeß "Sammlung, Sortierung, Transport" wird vornehmlich von Verpackungskunststoffen gebildet, die für eine spätere thermische Verwertung zwischengelagert werden. Aufgrund des hohen Anteil der Polyolefine in diesem Gut kann man einen Additivanteil von 3 % bis 5 % sowohl für das Lager als auch für die Lagerveränderung annehmen. Somit erhält man ein Lager an Additiven in diesem Prozeß zwischen 1.300 t und 2.200 t. Die (im mathematischen Sinne) positive Lagerveränderung beträgt 1.300 t bis 2.100 t für das Jahr 1994.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die oben angeführten Berechnungen in tabellarischer Form.

Tabelle 3-62: Güterbilanz des Prozesses "Sammlung, Sortierung, Transport" - Additive

Inputgüter	[1.000 t/a]	Outputgüter	[1.000 t/a]
Abfall I	50,6 - 72,3	g. s. t. Abfall I	0,5 - 1,5
Produktionsabfall I	<< 1	g. s. t. Abfall II	8,5 - 12,5
Produktionsabfall II	2,0 - 2,8	g. s. t. Abfall III	47,1 - 64,8
Abfall II	1,0 - 1,6	g. s. t. Abfall IV	0,8 - 1,2
Summe Input:	53,6 - 76,7	Summe Output:	56,9 - 80,0
Lager [1.000 t]	1,3 - 2,2	Lagerveränderung:	1,3 - 2,1

3.5.4.5 Güterbilanz des Prozesses "Stoffliche Verwertung" - Additive

Inputgüter:

1994 wurden zwischen 500 t und 1.500 t an Additiven über das Gut *gesammelter und/oder sortierter und transportierter Abfall I* in diesen Prozeß gebracht.

Outputgüter:

Es wird angenommen, daß das Produkt der "Stofflichen Verwertung", das *Regranulat I*, einen Additivanteil von 1 % bis 2 % aufweist, da es vornehmlich aus Polyethylen besteht und höheradditivierte Kunststoffe über die *Fremdstoffe* ausgetragen werden, bei denen man einen Additivanteil von 1 % bis 9 % annehmen kann.

Demnach erhält man in dem aus Österreich exportierten *Regranulat II* eine Masse an Additiven von 300 t bis 500 t. Im *Regranulat I* welches in den Prozeß "Aufbereitung, Verarbeitung, Nachbehandlung" gelangt, befinden sich 200 t bis 300 t. In den *Fremdstoffen* befinden sich 100 t bis 600 t Additive.

Die Summe der Additive in den einzelnen Outputströmen aus dem Prozeß "Stoffliche Verwertung" betrug 1994 600 t bis 1.400 t.

Lager:

Sofern Kunststoffabfälle gelagert oder zwischengelagert werden, werden diese nur im Prozeß "Sammlung, Sortierung, Transport" berücksichtigt (vergleiche Kapitel 3.5.1). Somit erhält man für diesen Prozeß weder ein Lager noch eine Lagerveränderung.

Tabelle 3-63: Güterbilanz des Prozesses "Stoffliche Verwertung" - Additive

Inputgüter	[1.000 t/a]	Outputgüter	[1.000 t/a]
g. s. t. Abfall I	0,5 - 1,5	Regranulat II	0,3 - 0,5
		Regranulat I	0,2 - 0,3
		Fremdstoffe	0,1 - 0,6
Summe Input:	0,5 - 1,5	Summe Output:	0,6 - 1,4
Lager [1.000 t]	0	Lagerveränderung:	0

3.5.4.6 Güterbilanz des Prozesses "Thermische Verwertung" - Additive

Inputgüter:

Wie bereits erwähnt gelangten 1994 zwischen 8.500 t und 12.500 t an Additiven zusammen mit dem *gesammelten und/oder sortierten und transportierten Abfall II* in den Prozeß "Thermische Verwertung".

Outputgüter:

Zur Berechnung der Outputgüter muß der Input wieder auf die beiden Verwertungsverfahren Hausmüllverbrennungsanlage und Drehrohfen der Zementindustrie aufgeteilt werden. Zunächst wird die thermische Verwertung in den Hausmüllverbrennungsanlagen berechnet: Unter der Annahme, daß 50 % der Additive organisch und 50 % anorganisch sind, teilen sich diese zu gleichen Teilen auf die Outputgüter *Abluft* 1.500 t bis 2.200 t und *Deponiegut* 1.500 t bis 2.200 t auf. Da in den Additiven nur geringe Massen an zum Beispiel Chlor und Schwefel vorhanden sind, welche zu 50 % beziehungsweise 8 % in das Abwasser gelangen [Schachermayer et al, 1995], wird dieses Outputgut vernachlässigt.

Die Outputgüter der Zementindustrie werden in Anlehnung an die Tabelle 3-23: Zusammensetzung von Altreifen im Kapitel 3.5.1.6 Güterbilanz des Prozesses "Thermische Verwertung" - KST quantifiziert. Es wird angenommen, daß von den 5.400 t bis 8.100 t ca. 80 % der Additive, das sind vorallem Ruß und die in Spuren vorhandenen Schwermetalle, im *Produkt* (Zementklinker) verbleiben und die restlichen 20 %, vorallem Wachse und Öle, zu CO₂ und H₂O oxidieren und in die *Abluft* gelangen. Man erhält demnach einen Additivanteil in den Outputgütern *Produkt* von 4.300 t bis 6.500 t und in der *Abluft* 1.100 t bis 1.600 t.

In Summe erhält man eine Masse an Additiven in den Outputgütern *Produkt* von 4.300 t bis 6.500 t, *Abluft* von 2.600 t bis 3.800 t und im *Deponiegut* von 1.500 t bis 2.200 t. Das *Abwasser* wurde nicht bestimmt, da deren Masse weit unter der 1.000 t Grenze liegt. Die Additivanteile liegen bei den Gütern *Produkt* bei 53,1 % bis 80,2 %, bei der *Abluft* bei 4,4 % bis 6,4 % und beim *Deponiegut* bei 50,0 % bis 73,3 %.

Lager:

Wie auch schon beim Prozeß "Stoffliche Verwertung" erklärt wurde, besitzt dieser Prozeß laut Definition kein Lager und auch keine Lagerveränderung.

Tabelle 3-64: Güterbilanz des Prozesses "Thermische Verwertung" - Additive

Inputgüter	[1.000 t/a]	Outputgüter	[1.000 t/a]
g. s. t. Abfall II	8,5 - 12,5	Abluft	2,6 - 3,8
		Deponiegut	1,5 - 2,2
		Abwasser	<< 1
		Produkt	4,3 - 6,5
Summe Input:	8,5 - 12,5	Summe Output:	8,4 - 12,5
Lager [1.000 t]	0	Lagerveränderung:	0

3.5.4.7 Güterbilanz des Prozesses "Deponie" - Additive

Inputgüter:

Im Jahr 1994 gelangten über das Inputgut *gesammelte und/oder sortierte und transportierte Abfälle III* aus dem Prozeß "Sammlung, Sortierung, Transport" 47.100 t bis 64.800 t an Additive in diesen Prozeß.

Dazu kamen 1994 noch 100 t - 600 t über das Gut *Fremdstoffe* aus dem Prozeß "Stoffliche Verwertung" und 1.500 t - 2.200 t *Deponiegut* aus der „Thermischen Verwertung“.

Somit erhält man für 1994 in den Inputgütern eine Masse an Additiven von 48.700 t bis 67.600 t.

Outputgüter:

Dieser Prozeß kennt keine Outputgüter.

Lager:

Da der Prozeß "Deponie" per Definition keine Outputgüter kennt, ist die Summe der Inputs auch gleichzeitig die jährliche Lagerveränderung. Sie betrug 1994 zwischen 48.700 t und 67.600 t an Additiven. Der Vollständigkeit halber sei noch erwähnt, daß dies einem Additivanteil an der gesamten Lagerveränderung in diesem Prozeß von 8 % bis 11 % entspricht.

Zur Quantifizierung des Additivlagers wird ebenfalls ein Prozentsatz zwischen 8 % und 11 % verwendet. Somit kann die Masse an Additiven, die sich 1994 im Prozeß "Deponie" befand, mit 768.000 t bis 1.056.000 t angegeben werden. Die Berechnungen dazu befinden sich im *Anhang 5*.

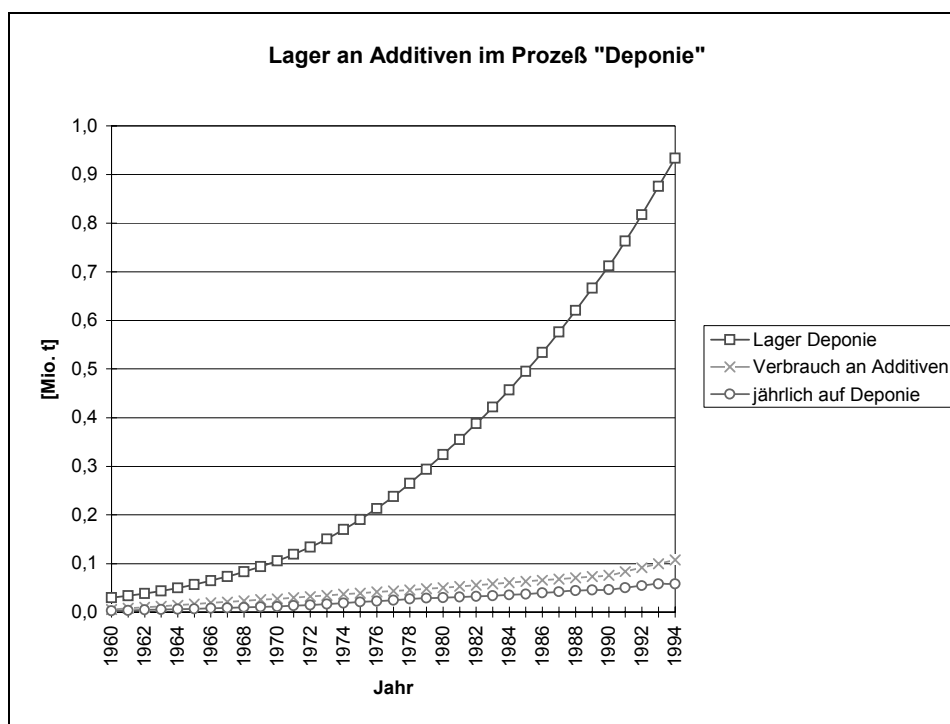


Abbildung 3-14: Lager an Additiven in den Kunststoffen im Prozeß "Deponie"

Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die Inputgüter, das Lager und die Lagerveränderung des Prozesses "Deponie".

Tabelle 3-65: Güterbilanz des Prozesses "Deponie" - Additive

Inputgüter	[1.000 t/a]	Outputgüter	[1.000 t/a]
g. s. t. Abfall III	47,1 - 64,8		
Fremdstoffe	0,1 - 0,6		
Deponiegut	1,5 - 2,2		
Summe Input:	48,7 - 67,6	Summe Output:	0
Lager [1.000 t]	768,0 - 1.056,0	Lagerveränderung:	48,7 - 67,6

3.5.4.8 Darstellung der Ergebnisse

Die Abbildungen 3-15 und 3-16 zeigen die angenommenen Prozentsätze für Additive in den einzelnen Güterflüssen und Lagern sowie die daraus massenmäßig resultierenden Additivflüsse und -lager in Österreich 1994.

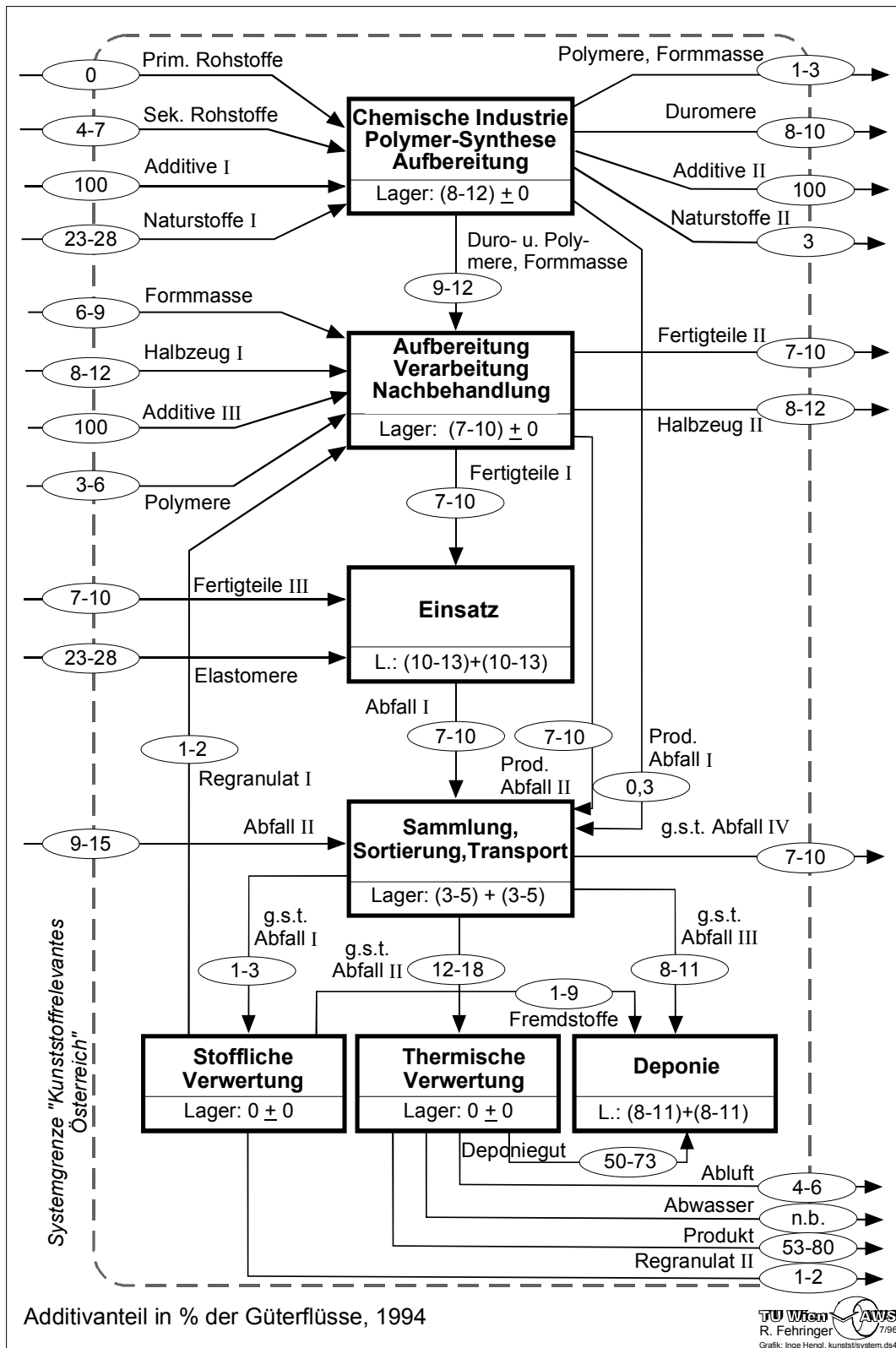


Abbildung 3-15: Abgeschätzter Additivanteil in Prozent an den einzelnen Kunststoffgüterflüssen und -lagern in Österreich 1994

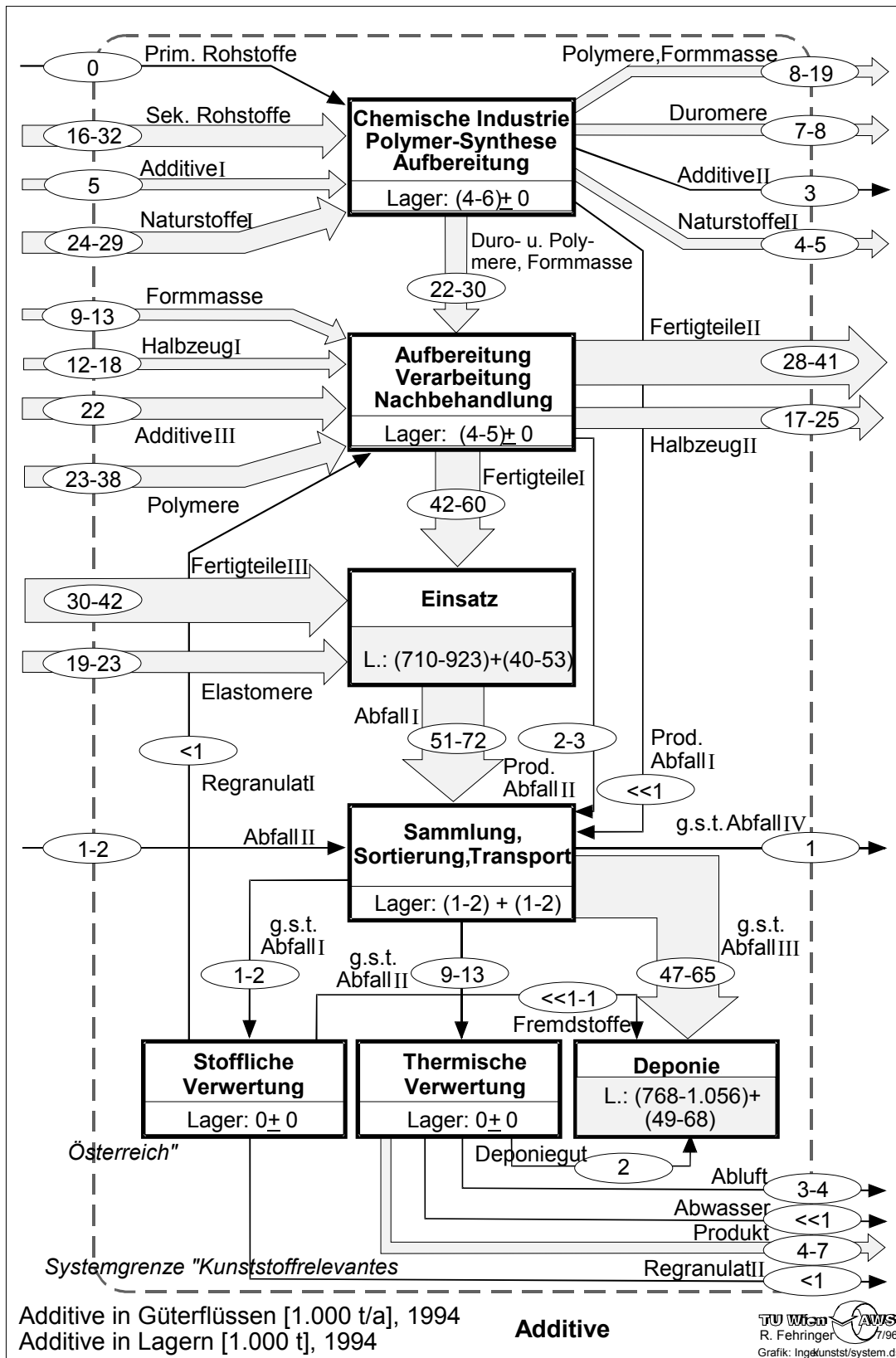


Abbildung 3-16: Güterbilanz der Additivflüsse und -lager in Österreich 1994

4 Möglichkeiten zu stofflichen Verwertung von Kunststoffabfällen in Österreich

4.1 Zielsetzung und Fragestellung

Zielsetzung:

Das Ziel dieser Teilstudie besteht darin, die verschiedenen stofflichen Verwertungsmöglichkeiten zusammenzufassen und hinsichtlich ihrer Emissionen, Reststoffe und wiederverwertbaren Produkte zu untersuchen.

Fragestellung:

Die wesentlichen Fragen der Teilstudie „Stoffliche Verwertung“ lauten:

Welche Anlagen gibt es bereits oder sind schon geplant und wie groß ist deren jährliche Kapazität?

Was geschieht in den Anlagen mit den verschiedenen Stoffen und Gütern und welche Produkte und Massen an Reststoffen inklusive Emissionen fallen an?

- Wo sind die letzten Senken für die Stoffe bei der stofflichen Wiederverwertung?

Jede Verwertungsmöglichkeit wird mit einer technischen Beschreibung erklärt. Ferner werden für die beiden Verfahren (sortenreines und gemischtes Recyclieren von Kunststoffabfällen) zusätzlich folgende Punkte beschrieben:

- Verfügbarkeit und Kapazität
- Güterbilanz
- Stoffbilanz für C, Ba, Cd, Cl, Pb und Zn
- Energie- und Wasserverbrauch
- Kostenabschätzung

4.2 Recyclieren von sortenreinen Kunststoffabfällen

Die Tabelle 4-1 gibt eine Übersicht über die Kunststoffverwertungsbetriebe, die Ende 1995 aus sortenreinen Kunststoffabfällen Regranulat herstellen:

Tabelle 4-1: Übersicht über die „sortenreinen“ Kunststoffverwertungsbetriebe; [ÖKI, 1995]

FIRMA	ADRESSE	ART DER KUNSTSTOFFAUFBE-REITUNG
Blaimschein Karl KG	Oberschöfiring 3 A - 4502 St. Marien	sortenreines Kunststoffregranulat
Ecoplast Kst - Recycling	Untere Aue 21 A - 8410 Wildon	sortenreines Kunststoffregranulat
Freone / Reitmeir	Paneggenstr.23 A - 4311 Schwertberg	sortenreines Kunststoff-Mahlgut durch elektrostatische Trennung
Hamburger Unterland Standort Kufstein	A - 6330 Kufstein / Schafteuau	sortenreines Kunststoffregranulat
Hamburger Unterland Standort Wr. Neustadt	Wienerstraße 111 - 113 A -2700 Wr. Neustadt	sortenreines Kunststoffregranulat
Henkel Austria GmbH	Erdbergstraße 29 A - 1031 Wien	sortenreines Kunststoffregranulat
KRH Kst - Recycling Himberg	Industriestraße 11 A - 2325 Himberg	sortenreines Kunststoffregranulat
Lobbe Kunststoffrecycling GmbH	Werner v. Heisenbergstr. 5 A - 9100 Völkermarkt	sortenreine PET-Flakes
ÖKR - B Kst - Recycling	Neunkirchnerstraße 117 - 119; A - 2700 Wr. Neustadt	sortenreines Kunststoffregranulat
Sky Plastic Recycling and Commerce GmbH	Diexerstraße 4 A - 9100 Völkermarkt	sortenreines Kunststoffregranulat
WKR Welser Kunststoff-Recycling WKR	Wiesenstr. 71 A - 4600 Wels	sortenreines Kunststoffregranulat

4.2.1 Technische Beschreibung und Stand der Technik

4.2.1.1 Herstellung von sortenreinem Kunststoffregranulat

Im Rohstofflager wird der nach Fraktionen und Qualität sortierte Kunststoffabfall gelagert. Der Kunststoffabfall wird überwiegend in gepressten Ballen angeliefert. Je nach den erforderlichen Eigenschaften des zu erzeugenden Kunststoffregranulates werden die Kunststoffabfälle vom Rohstofflager abgerufen.

Vom Lager werden die Kunststoffballen zum Aufgabeband gebracht. Die Aufgabe auf das Zuführungsband (Aufgabeband) erfolgt händisch, da an dieser Stelle die optische Sichtkontrolle des Rohstoffes erfolgt. Dabei werden die sichtbaren Störstoffe wie z.B. Drähte, Steine, Fremdkunststoffe, Getränkedosen, Klebebänder und dergleichen händisch aussortiert. Am Aufgabeband befindet sich ein Metalldetektor, der verborgene Metallgegenstände aufspürt, wie z.B. einen Kleiderhaken in einem Kunststoffsack.

Das Aufgabeband befördert den Kunststoffabfall zu einer Vorzerkleinerungseinrichtung, zumeist ein Shredder, wo der Kunststoffabfall grob zerkleinert wird. Je nach Anlagentyp erfolgt anschließend eine erste Naßreinigung oder sofort die Feinzerkleinerung, wo die vorzerkleinerten Kunststoffabfälle in fingernagelgroße Kunststoffflocken zerkleinert werden.

Im nachgeschalteten Schwimm-Sinkbecken und Hydrozyklonen werden anhaftende Verschmutzungen an den Kunststoffflocken entfernt. Diese Reinigungsstufe wirkt gleichzeitig als Abtrennstufe für unerwünschte Kunststoffsorten. Die verschiedenen Kunststoffsorten besitzen unterschiedliche Dichten, sodaß z.B. Polyethylen von schwereren Kunststoffsorten wie PVC abgetrennt werden kann. Man erhält dadurch einen Reinheitsgrad von 98 bis 99% der gewünschten Kunststoffsorte.

An den so erhaltenen Kunststoffflocken haften an den Oberflächen noch große Massen an Wasser, das zuerst mechanisch mittels Zentrifugen und/oder Pressen vorentwässert wird. Die Resttrocknung erfolgt anschließend mittels Warmlufttrocknern. Die Trocknung muß soweit vorangetrieben werden, daß einerseits die Kunststoffflocken im nachfolgenden Zwischenbunker nicht zusammenbacken und andererseits problemlos im nachfolgenden Extruder aufgeschmolzen werden können.

Der Zwischenbunker ist als Pufferspeicher gedacht, damit eine kontinuierliche Beschickung des Extruders mit Material gewährleistet ist. Im Extruder werden die Kunststoffflocken aufgeschmolzen, in der Entgasungszone wird die Restfeuchtigkeit unter Vakuum abgesaugt. Die an der Oberfläche der Kunststoffflocken eventuell vorhandenen Druckfarben können sich auch teilweise zersetzen und werden ebenfalls abgesaugt. Der abgesaugte Wasserdampf und die Gasdämpfe werden in einer Wasservorlage absorbiert und als „Altölfraction“ entsorgt. Um eventuell noch vorhandene feste Verunreinigungen wie kleine Etikettenreste und Holz zu entfernen, werden beim Extrusionsvorgang kontinuierliche Schmelzefiltereinrichtungen und Siebpakete eingesetzt, welche die Störstoffe aus der Schmelze ausfiltern.

Mittels eines Granulierkopfes mit Heißabschlag werden die linsenförmig bis zylinderförmigen Kunststoffregranulate hergestellt. Die Abkühlung der heißen Kunststoffregranulate erfolgt in einem Wasserbad, wobei ein geschlossener Wasserkreislauf verwendet wird. Die Trocknung des nassen Kunststoffregranulats erfolgt auf Vibrationssieben und durch die Restwärme, die in den Regranulatkörnern enthalten ist.

Die Kunststoffregranulate werden in Silos zwischengelagert, die eventuell vorhandene Restfeuchte wird durch die Restwärme des Regranulates und durch gleichzeitiges Umwälzen im Silo entfernt. Vor dem Verkauf werden die Materialeigenschaften des Regranulates im Labor geprüft und nach der Freigabe der Produktcharge wird das Regranulat in Lagersilos aufbewahrt oder in Säcken abgefüllt.

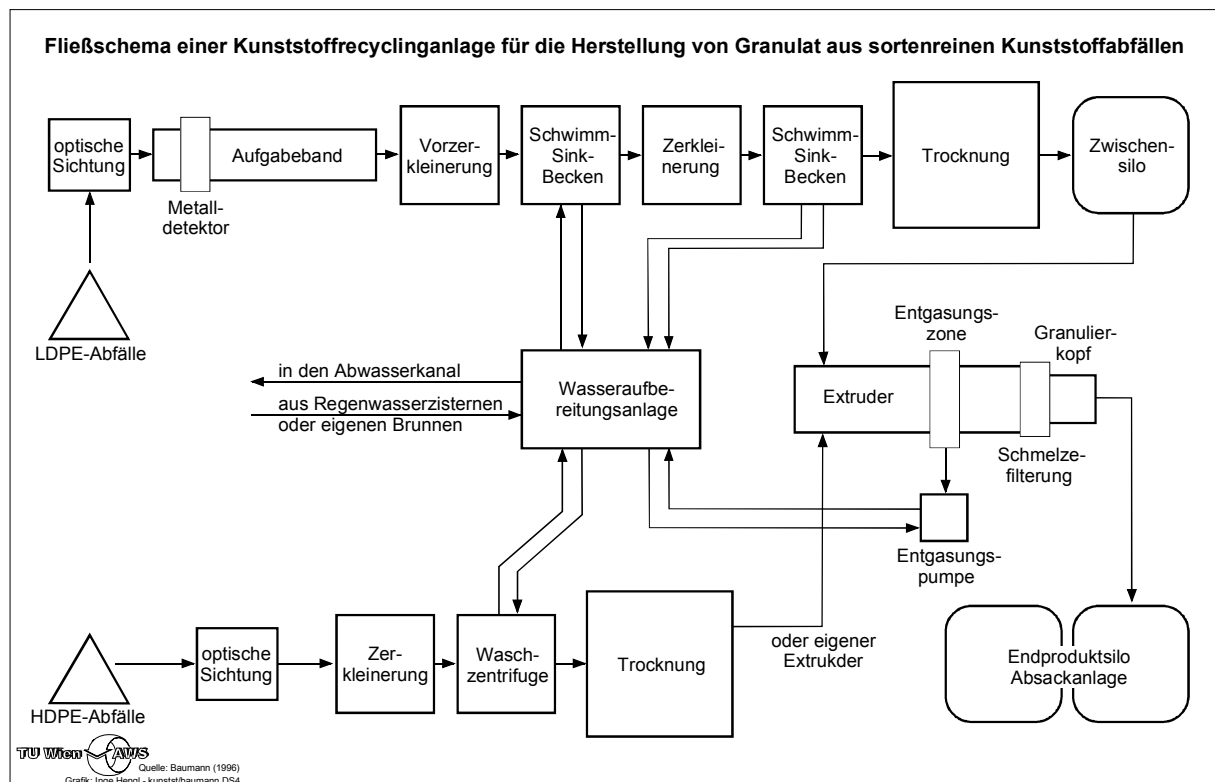


Abbildung 4-1: Fließschema für das Recyclieren von sortenreinen HDPE- und LDPE - Abfällen

4.2.1.2 Herstellung von sortenreinen PET-Flakes

Das Recycling von Polyethylenterephthalat (PET) wird ausschließlich auf die Aufarbeitung von Getränkeflaschen aus PET angewandt.

Die einzelnen Aufbereitungsprozesse sind ähnlich dem unter Punkt Herstellung von sortenreinem Kunststoffregranulat angeführten Verfahrensschema, wobei kein Aufschmelzen der PET-Flocken (Flakes) erfolgt, sondern nach dem Trockenschritt der Prozeß beendet ist.

Die gesammelten PET-Flaschen werden in Ballen angeliefert und im Rohstofflager zwischengelagert. Die einzelnen Ballen werden auf den Aufgabeband gelegt und der Drehtrommel zugeführt, wo der Ballen aufgelockert wird und die Flaschen bereits vereinzelt werden. Die Drehtrommel ist als Sieb ausgebildet, sodaß kleine Fremdstoffe abgesiebt werden können.

Eine weitere Flaschenvereinzlung erfolgt durch die Vibrorinne, an dieser Stelle erfolgt auch eine optische Sichtung und Entfernung von Störstoffen, wie nicht PET-Flaschen, offensichtliche Verschmutzungen, und Metallflaschenverschlüsse. Diese Vorgangsweise ist erforderlich, um die nachfolgenden nassen Trennstufen zu entlasten und so den Durchsatz zu steigern.

Nach dem Zerkleinerungsschritt erfolgt die nasse Reinigung und die Abtrennung von Störstoffen. Die Reinigung ist aufwendig und erfolgt in mehreren Stufen indem Schwimm-Sink-becken, Friktionswäscher und Hydrozyklone verwendet werden. Nach der Trockenstufe wird das PET-Mahlgut chargenweise in Big Bags gelagert. Das Prozeßwasser für die gesamten Waschvorgänge wird über Filterpressen und Quarzsandfilter im Kreislauf geführt.

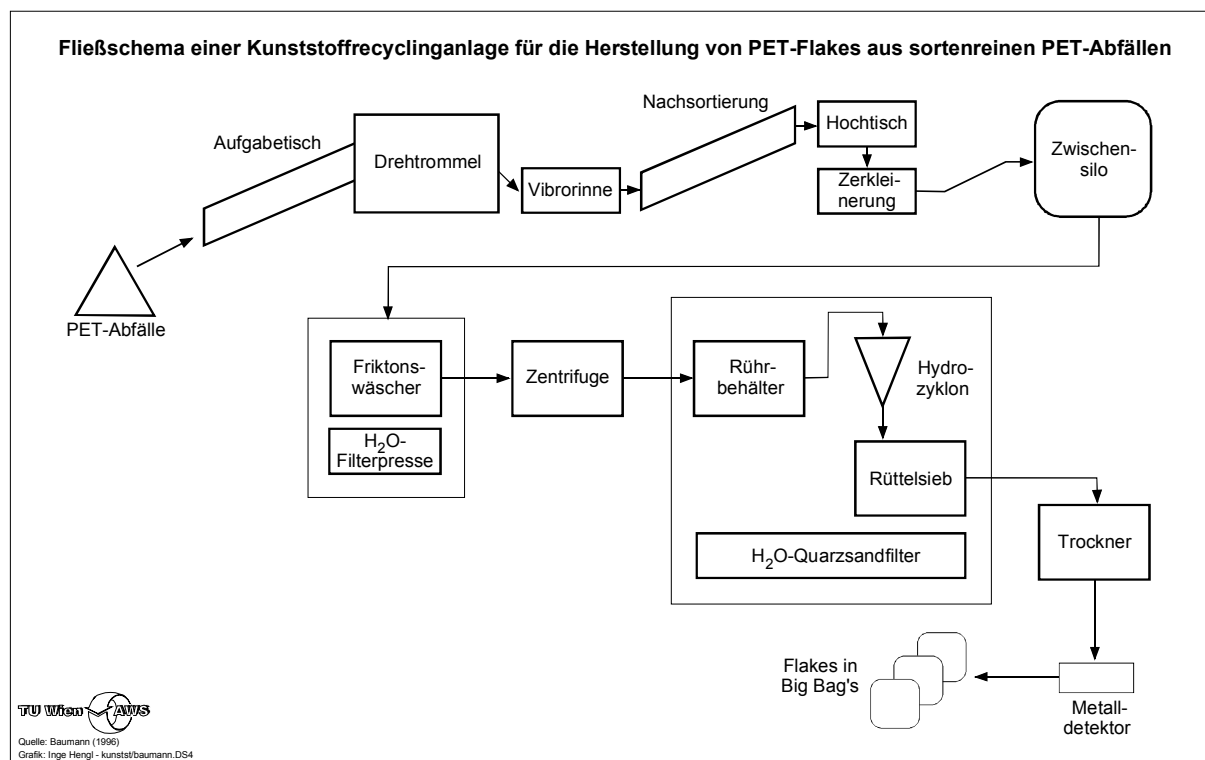


Abbildung 4-2: Fließschema für das Recyclieren von sortenreinen PET-Abfällen

4.2.1.3 Herstellung von sortenreinem Kunststoff-Mahlgut durch elektrostatische Trennung

Bei diesem Verfahren wird der Effekt ausgenutzt, daß sich Kunststoffe elektrostatisch aufladen und so eine Trennung zwischen Metallteilen und Kunststoff möglich ist. Die Trennung von verschiedenen Kunststoffsorten mit diesem Verfahren ist derzeit noch im Versuchsstadium.

Der große Vorteil dieses Verfahrens liegt darin, daß für die Trennung der verschiedenen Fraktionen kein Wasser benötigt wird.

Derzeit wird dieses Verfahren auf die „Joghurtbecher-Fraktion“ der Kunststoffsammlung angewandt. Bei dieser Fraktion handelt es sich um eine Mischung aus Polystyrol- und Polypropylenbecher (PS- und PP-Becher), die leicht verschmutzt sind und teilweise noch Reste des Metallsiegelverschlusses anhaftend haben.

Die Trennung zwischen den PS-Bechern und den PP-Bechern erfolgt händisch auf einem Trenntisch. Fraktionsweise werden daher entweder die PS-Becher oder die PP-Becher verarbeitet.

In einer Messermühle werden die Becher zerkleinert und über einen Zyklon der Trockenbürstmaschine zugeführt. In der Trockenbürstmaschine wird der dünne oberflächliche Belag von Milchproduktresten entfernt. Anschließend gelangen die so gereinigten Kunststofflocken in eine elektrostatische Abscheideanlage, wo sie von den Aluminiumteilen getrennt werden.

In einem Extruder mit Entgasungszone und Schmelzefilterung wird kompaktes Regranulat hergestellt, das in Big Bags zwischengelagert wird.

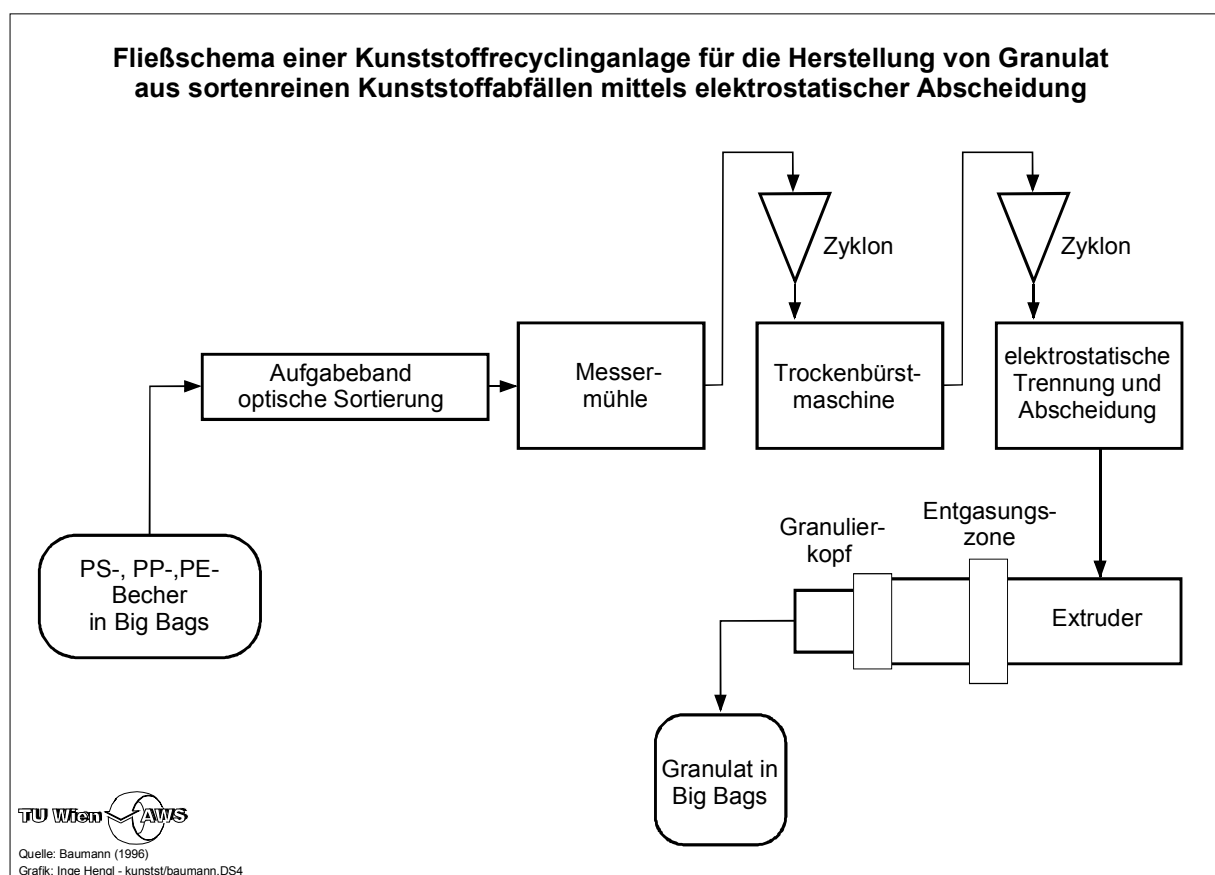


Abbildung 4-3: Fließschema für das Recyclieren von sortenreinen PS- und PP-Bechern mittels elektrostatische Trennung.

4.2.1.4 Wiederverwendung und -verwertung von expandiertem Polystyrol (EPS)

Die Sammlung der EPS-Abfälle erfolgt überwiegend durch eine eigene Sammelschiene, die von der Österreichischen EPS-Verwertungs GmbH organisiert und gesteuert wird. Es werden nur Abfälle entgegengenommen, die nicht verschmutzt sind.

Für die Wiederverwendung und Verwertung gibt es derzeit zwei Möglichkeiten:

Bei der einen werden die gesammelten EPS-Abfälle zerkleinert, anschließend aufgeschmolzen und wieder ein PS-Regranulat hergestellt, das im Spritzgußbereich eingesetzt wird.

Derzeit wird überwiegend das zweite Verfahren eingesetzt. Dabei werden die EPS-Abfälle zerkleinert und direkt als Zuschlagstoff bei der Leichtbeton-, Dämmstoffziegel- und Estrichherstellung eingesetzt.

Insgesamt konnten 1994 ca. 1.500 t expandiertes Polystyrol einer Wiederverwertung oder Wiederverwendung zugeführt werden.

4.2.2 Verfügbarkeit und Kapazität

Vor dem Inkrafttreten der Verpackungsverordnung verarbeiteten die Kunststoffrecyclingbetriebe hauptsächlich Produktionsabfälle. Für diese Abfälle mußte der Kunststoffrecycler je nach Qualität von ÖS 0,- bis einige Schillinge pro Kilogramm zahlen. Das hatte zur Folge, daß die Kunststoffrecycler mit wirtschaftlichen Problemen zu kämpfen hatten.

Nach Inkrafttreten der Verpackungsverordnung 1992 wurde für die Verwertung des Kunststoffabfalles gezahlt, worauf die Betreiber ihre Kapazitäten erheblich erhöhten. Einige österreichische Kunststoffrecycler planen einen weiteren Ausbau.

Die nachfolgende Tabelle zeigt, wie die Kapazitäten der Anlagen zur „Sortenreinen stofflichen Verwertung“ von Kunststoffen in den letzten Jahren gestiegen sind. In dieser Aufstellung ist die PET-Aufbereitung und die Trennung mittels elektrostatischer Aufladung eingeschlossen.

Tabelle 4-2: Verfügbarkeit und Kapazität der „Sortenreinen stofflichen Verwertung“ von Kunststoffabfällen - Herstellung von Regranulat

„Sortenreine stoffliche Verwertung“ Herstellung von Regranulat	
Verfügbarkeit [Jahr]	Kapazitäten der Anlagen [t/a]
1992	24.000
1993	50.000
1994	111.700
1995	138.000

Die Nachfrage nach EPS (expandiertes Polystyrol) für den Wiederverwendungseinsatz im Baubereich, ist wesentlich höher als das Angebot an gesammelten EPS.

Tabelle 4-3: Verfügbarkeit und Kapazität der sortenreinen stofflichen Wiederverwendung von EPS-Abfällen - Herstellung von Produkten

sortenreine stoffliche Wiederverwendung von EPS Herstellung von Produkten	
Verfügbarkeit [Jahr]	Kapazitäten der Anlagen [t/a]
1992	2.000
1993	3.000
1994	3.000
1995	3.000

Die aufgrund der Verpackungsverordnung gesammelte Kunststoffabfallmasse ist für alle sortenreinen Qualitäten geringer als jene Masse, die von den Kunststoffverarbeitern entgegengenommen werden könnte. Es besteht ein Mangel an sortenrein gesammeltem Kunststoffabfall.

4.2.3 Systemidentifikation „Sortenreine stoffliche Verwertung“

In diesem Kapitel werden alle oben beschriebenen Verfahren der „Sortenreinen stofflichen Verwertung“ massenmäßig berücksichtigt. Vom Prozeßablauf wird jedoch nur die „Sortenreine stoffliche Verwertung“ von Polyethylen dargestellt, da diese die massenmäßig bedeutendste ist.

4.2.3.1 Auswahl der Prozesse:

Für die Erstellung einer Bilanz „Sortenreine stoffliche Verwertung“ von Kunststoffabfällen in Österreich“ wurde eine Untergliederung des Systems in die nachstehenden fünf Prozesse für zweckmäßig erachtet:

- „Aufgabeband“
- „Mühle, Schwimm-Sink-Becken“
- „Mechanische- und Warmlufttrocknung“
- „Extruder“
- „Wasseraufbereitungsanlage“

Die nachfolgende Abbildung zeigt das zu bilanzierende System mit der Systemgrenze, den einzelnen Prozessen und deren Verknüpfungen, sowie die Flüsse in das und aus dem System:

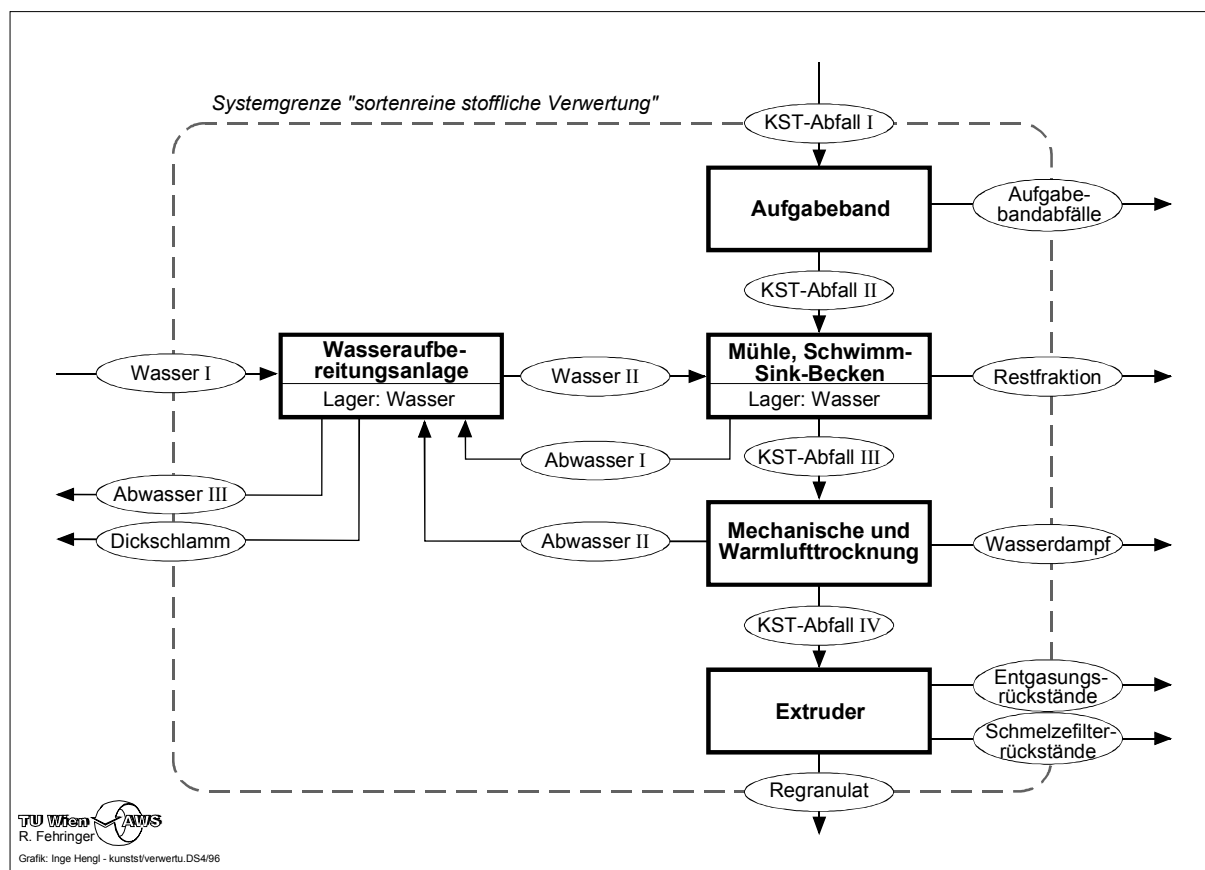


Abbildung 4-4: Systemidentifikation „Sortenreine stoffliche Verwertung von Kunststoffabfällen in Österreich

4.2.3.2 Der Prozeß „Aufgabeband“ und dazugehörige Güter

Inputgüter:

Der zu verwertende Kunststoffabfall *KST-Abfall I* wird bereits sortenrein angeliefert. Der Anteil der Fremdkunststoffe und Fremdstoffe (Störstoffe) in diesem Gut muß unter 5 % liegen. Bei einem höheren Anteil wird die gesamte angelieferte Charge an Kunststoffabfällen wieder zum Sortierer zurückgeschickt.

Outputgüter:

Der im *KST-Abfall I* enthaltene Anteil an Fremdkunststoffen und Fremdstoffen wird in diesem Prozeß manuell beziehungsweise mittels Magnetabscheider aussortiert und als *Aufgabebandabfall* aus dem System ausgeschieden. Die *Aufgabebandabfälle* setzen sich aus Fremdkunststoffen (vorallem PVC), Verbundstoffen, Metallen, Ballendraht und Papier zusammen.

Im System verbleibt der *KST-Abfall II*, das ist der von den *Aufgabebandabfällen* bereinigte *KST-Abfall I*.

Lager:

Dieser Prozeß hat per Definition kein Lager.

Tabelle 4-4: Güterliste für den Prozeß „Aufgabeband“

Herkunftsprozeß	Inputgüter	Outputgüter	Zielprozeß
Import	KST-Abfall I	Aufgabebandabfälle	Export
		KST-Abfall II	Mühle, Schwimm-Sink-Becken

4.2.3.3 Der Prozeß „Mühle, Schwimm-Sink-Becken“ und dazugehörige Güter

Inputgüter:

KST-Abfälle II: Outputgut des Prozesses „Aufgabeband“.

Wasser II: gereinigtes Wasser aus dem Prozeß „Wasseraufbereitungsanlage“, dieses Wasser wird im Kreislauf geführt, bevor es das System als *Abwasser III* verläßt.

Outputgüter:

Restfraktion: Abfälle aus den Wasch- und Trennvorgängen; besteht aus der Schwerfraktion (schwere Kunststoffe, Steine und Schlamm) und aus der Leichtfraktion (Polyolefine). Die *Restfraktion* besteht je nach Anlagentyp zu 50 % aus Wasser, welches gegebenenfalls ausgepreßt werden kann.

KST-Abfälle III: Wie *KST-Abfall II*, jedoch ohne *Restfraktion*, aber mit ca. 40 % Wasser.

Abwasser I: Abwasser aus dem Schwimm-Sink-Becken, welches im Kreislauf geführt wird.

Lager:

Das Lager dieses Prozesses wird vom *Wasser II* im Schwimm-Sink-Becken gebildet.

Tabelle 4-5: Güterliste für den Prozeß „Mühle, Schwimm-Sink-Becken“

Herkunftsprozeß	Inputgüter	Outputgüter	Zielprozeß
Aufgabeband	KST-Abfall II	Restfraktion	Export
Wasseraufbereitungs- anlage	Wasser II	KST-Abfall III	Mechanische und Warm- lufttrocknung
		Abwasser I	Wasseraufbereitungs- anlage

4.2.3.4 Der Prozeß „Mechanische- und Warmlufttrocknung“ und dazugehörige Güter

Inputgüter:

KST-Abfälle III: Outputgut des Prozesses „Mühle, Schwimm-Sink-Becken“

Outputgüter:

Abwasser II: Bei der mechanischen Trocknung erhaltenes Abwasser, welches anschließend wieder im Kreislauf geführt wird.

Wasserdampf: Anhaftendes Wasser, welches bei der Warmlufttrocknung in Form von Wasserdampf aus den Kunststofflocken ausgetrieben wird. Der Wasserdampf wird nicht im Kreislauf geführt, er verläßt das System.

KST-Abfall IV: gewaschener und aussortierter Kunststoffabfall aus dem im „Extruder“ *Regrenulat* hergestellt wird.

Lager:

Dieser Prozeß hat per Definition kein Lager.

Tabelle 4-6: Güterliste für den Prozeß „Mechanische und Warmlufttrocknung“

Herkunftsprozeß	Inputgüter	Outputgüter	Zielprozeß
Mühle, Schwimm- Sink-Becken	KST-Abfall III	Wasserdampf	Export
		KST-Abfall IV	Extruder
		Abwasser II	Wasseraufbereitungs- anlage

4.2.3.5 Der Prozeß „Extruder“ und dazugehörige Güter

Inputgüter:

KST-Abfälle IV: Outputgut des Prozesses „Mechanische und Warmlufttrocknung“

Outputgüter:

Entgasungsrückstände: Die Extruder zur Herstellung von Regranulat sind mit einer Entgasungszone ausgestattet, das heißt, daß der gereinigte und getrocknete *KST-Abfall IV* in der Extruderschnecke zunächst plastifiziert und verdichtet wird. Dabei wird einerseits das restliche Wasser ausgetrieben und andererseits löst sich ein Teil der Oberflächenbedruckung vom Kunststoff. In der Entgasungszone kann sich der Kunststoff wieder entspannen. Dabei werden das Wasser und die Lackreste abgesaugt. Die *Entgasungsrückstände* bestehen aus einer altöl-ähnlichen Fraktion und Wasser und haben ein Massenverhältnis von ca. 1 : 1.000. Die beiden Fraktionen werden mittels Ölabscheider getrennt.

Schmelzfilterrückstände: Bevor der ca. 200 °C heiße Kunststoff (Schmelze) den Extruder verläßt, wird er durch ein Schmelzfiltersieb gepreßt, in dem die noch verbliebenen Verschmutzungen zurückbleiben.

Regranulat: Verkaufsfähiges Produkt der stofflichen Verwertung.

Lager:

Dieser Prozeß hat per Definition kein Lager.

Tabelle 4-7: Güterliste für den Prozeß „Extruder“

Herkunftsprozeß	Inputgüter	Outputgüter	Zielprozeß
Mechanische und Warmlufttrocknung	KST-Abfall IV	Entgasungsrückstände	Export
		Schmelzfilterrückstände	Export
		Regranulat	Export

4.2.3.6 Der Prozeß „Wasseraufbereitungsanlage“ und dazugehörige Güter

Inputgüter:

Wasser I: Frischwasser, welches dem Wasserkreislauf in der Anlage zugeführt werden muß. Oft wird das Wasser aus eigenen Brunnen entnommen oder in Zisternen gesammeltes Regenwasser verwendet.

Abwasser I: Im Kreislauf geführtes Abwasser aus dem Prozeß „Mühle, Schwimm-Sink-Becken“.

Abwasser II: Im Kreislauf geführtes Abwasser aus dem Prozeß „Mechanische und Warmluft-trocknung“.

Outputgüter:

Wasser II: Jenes Wasser, welches dem Schwimm-Sink-Becken wieder zugeführt wird.

Abwasser III: Abwasser aus der Wasseraufbereitungsanlage, welches nicht mehr im Kreislauf geführt werden kann.

Dickschlamm: Abfall aus der Wasseraufbereitungsanlage. Besteht je nach Anlagentyp aus ca. 60 % Wasser.

Lager:

Das Lager dieses Prozesses wird von den Gütern *Wasser I*, *Abwasser I* und *Abwasser II* gebildet.

Tabelle 4-8: Güterliste für den Prozeß „Wasseraufbereitungsanlage“

Herkunftsprozeß	Inputgüter	Outputgüter	Zielprozeß
Import	Wasser I	Wasser II	Mühle, Schwimm-Sink-Becken
Mühle, Schwimm-Sink-Becken	Abwasser I	Abwasser III	Export
Mechanische und Warmlufttrocknung	Abwasser II	Dickschlamm	Export

4.2.4 Güterbilanz der „Sortenreinen stofflichen Verwertung“

Die Berechnung der Güterflüsse erfolgte aufgrund der Datenlage in vier Etappen:

1. Berechnung der „trockenen“ Kunststoffgüterflüsse, das heißt, ohne anhaftendes Wasser und ohne Wasser aus der Wasseraufbereitung.
2. Berechnung des am Kunststoff „anhaftenden Wassers“.
3. Aufsummierung der beiden oben genannten Berechnungen
4. Berechnung der gesamten Güterflüsse (Kunststoffabfall, Abfälle und Wasser).
5. Berechnung der Lager an Wasser im System.

Die folgenden Daten stammen aus durchschnittlichen Firmenüberprüfungen des ÖKK und wurden in den Jahren 1995 und 1996 im Beisein des ÖKI erhoben.

In den Betrieben zur „Sortenreinen stofflichen Verwertung“ von Kunststoffabfällen wurden 1994 in Österreich ca. 38.000 t *Regranulat* hergestellt. Dabei fielen folgende Abfälle, bezogen auf den Input an:

- ca. 5 % werden am „Aufgabeband“ als *Aufgabebandabfälle* aussortiert.
- ca. 13 % fallen beim Waschen und Trennen im „Schwimm-Sink-Becken“ als *Restfraktion* an. Davon sind ca. 50 % Wasser, welches ausgepreßt werden kann.
- ca. 1 t Altölfraction, ein Bestandteil der *Entgasungsrückstände*, diese machen, bezogen auf den nassen *KST-Abfall IV*, ca. 2 % aus, bei der Entgasungszone des „Extruders“
- ca. 2 % als *Schmelzfilterrückstände* beim „Extruder“

Bezogen auf das *Regranulat* fallen an:

- Ca. 1,75 % als *Dickschlamm* bei der „Wasseraufbereitungsanlage“. Der Wassergehalt dieses Schlammes liegt bei ca. 60 %. Auf die Trockenmasse bezogen sind das ca. 0,6 % des Kunststoffinputes in die „Sortenreine stoffliche Verwertung“.

Die Zwischenergebnisse, sowie das Ergebnis der Berechnungen befinden sich im *Anhang 8*. Die gerundeten Resultate sind in der folgenden Abbildung dargestellt.

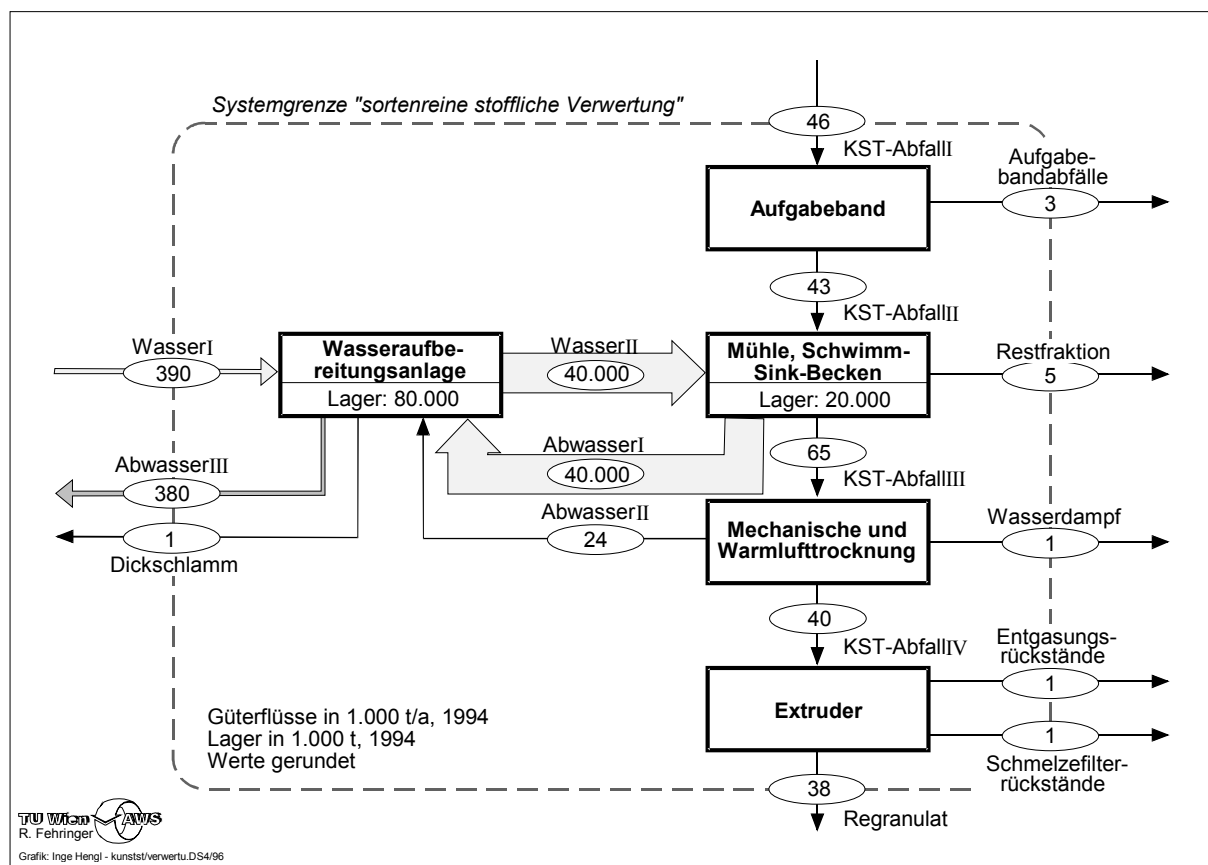


Abbildung 4-5: Güterbilanz der „Sortenreinen stofflichen Verwertung“ von Kunststoffabfällen in Österreich, 1994

4.2.5 Stoffbilanzen der „Sortenreinen stofflichen Verwertung“

Die Berechnungen der Stoffbilanzen für Kohlenstoff, Barium, Cadmium, Chlor, Blei und Zink befinden sich im *Anhang 8*. Die Resultate sind den nachfolgenden Abbildungen zu entnehmen.

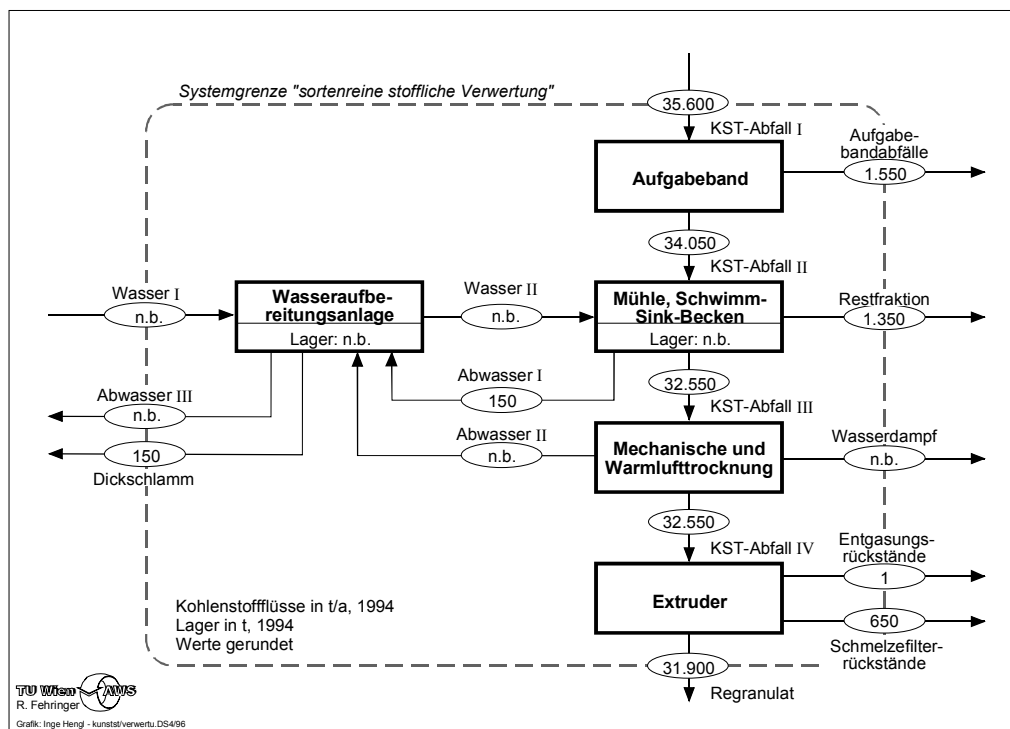


Abbildung 4-6: Kohlenstoffbilanz der „Sortenreinen stofflichen Verwertung“ von Kunststoffabfällen in Österreich, 1994

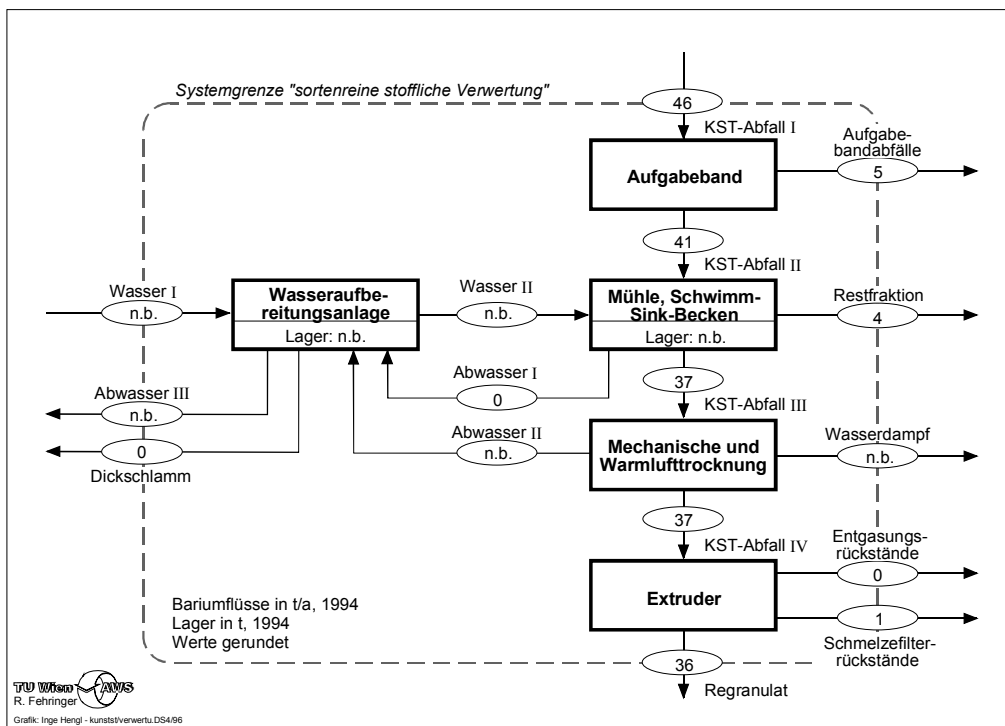


Abbildung 4-7: Bariumbilanz der „Sortenreinen stofflichen Verwertung“ von Kunststoffabfällen in Österreich, 1994

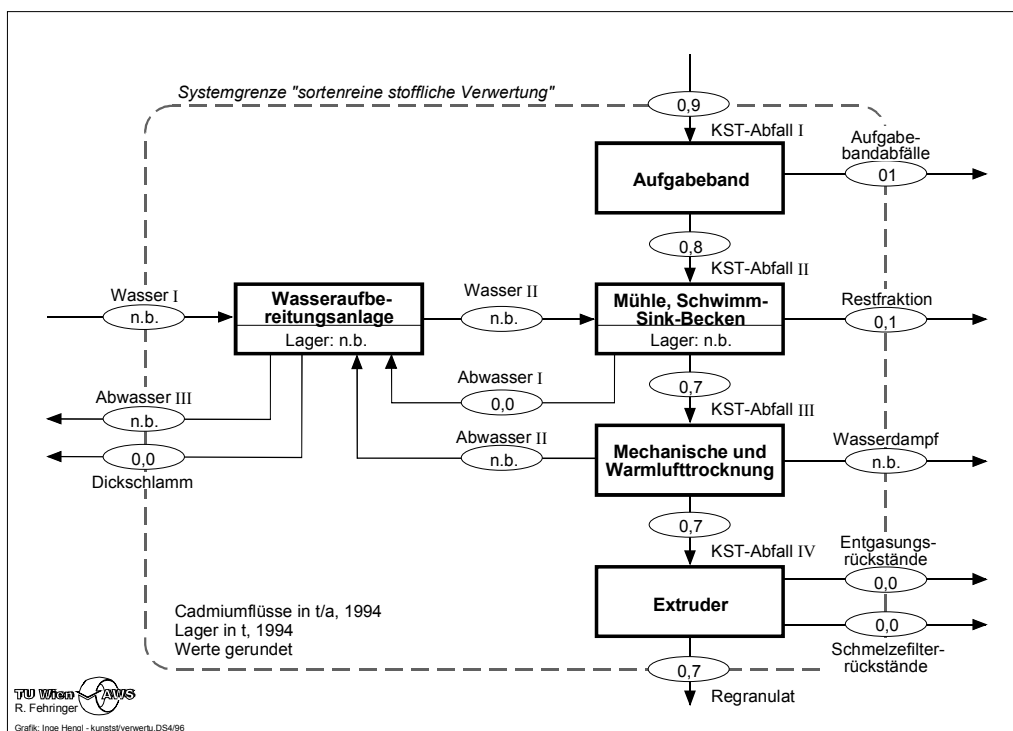


Abbildung 4-8: Cadmiumbilanz der „Sortenreinen stofflichen Verwertung“ von Kunststoffabfällen in Österreich, 1994

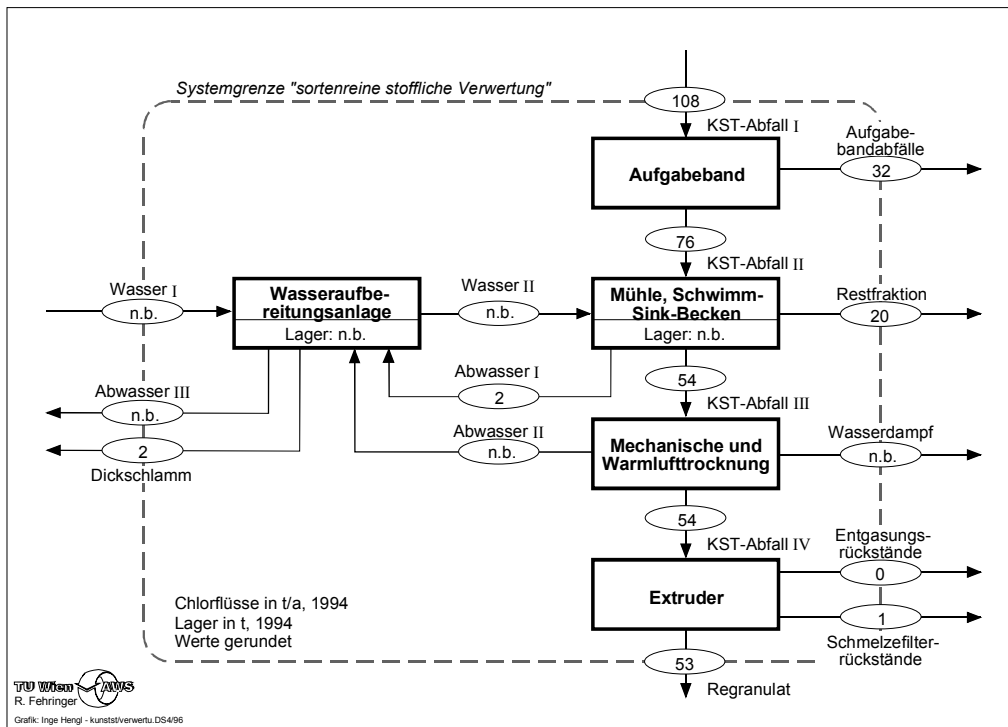


Abbildung 4-9: Chlorbilanz der „Sortenreinen stofflichen Verwertung“ von Kunststoffabfällen in Österreich, 1994

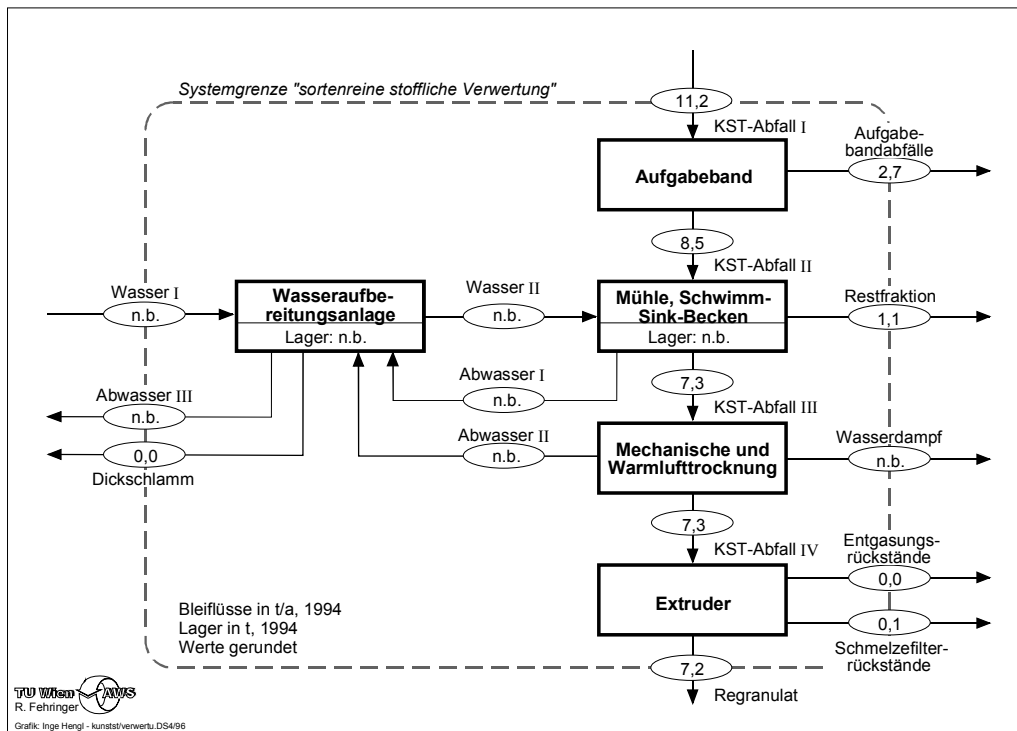


Abbildung 4-10: Bleibilanz der „Sortenreinen stofflichen Verwertung“ von Kunststoffabfällen in Österreich, 1994

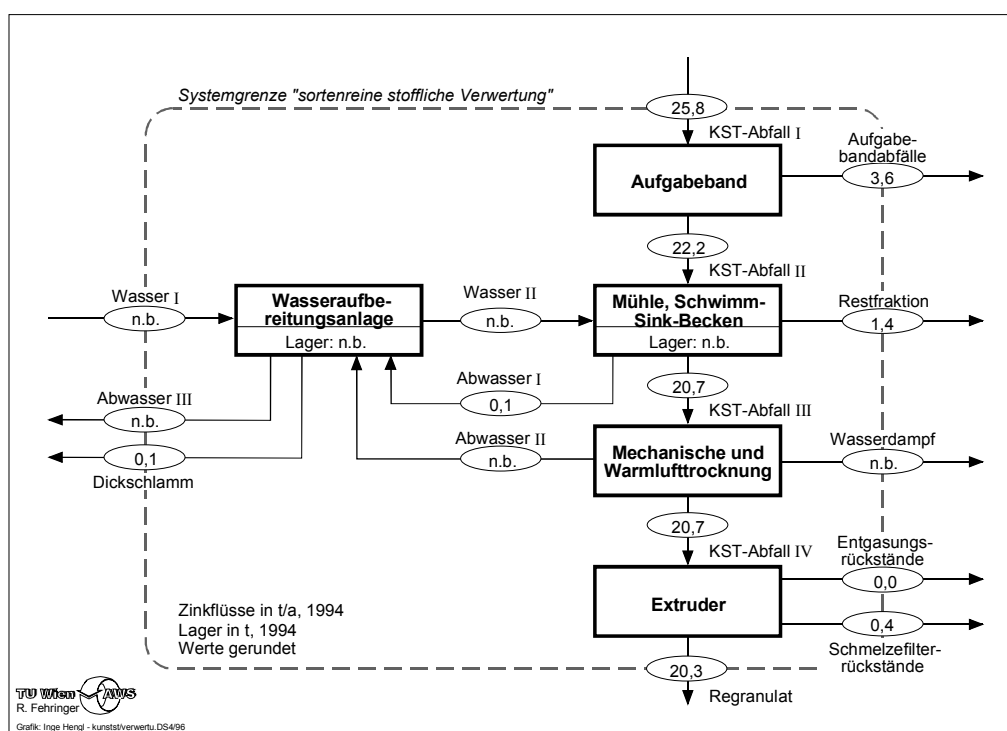


Abbildung 4-11: Zinkbilanz der „Sortenreinen stofflichen Verwertung“ von Kunststoffabfällen in Österreich, 1994

4.2.6 Energie- und Wasserverbrauch

4.2.6.1 Energieverbrauch:

Der Energieverbrauch zur Herstellung von *Regranulat* liegt je nach Anlage und Verfahren zwischen 0,25 KWh und 1,0 KWh je Kg Inputmaterial (*KST-Abfall I*). Ein für alle Anlagen und Verfahren durchschnittliche Energieverbrauch kann mit 0,63 KWh/Kg *KST-Abfall I* angegeben werden [ÖKI, 1996].

1994 wurden in Österreich ca. 45.600 t Kunststoffabfall, inklusive anhaftendem Wasser, einer „Sortenreinen stofflichen Verwertung“ zugeführt. Die zur Herstellung von *Regranulat* benötigte Energie kann wie folgt berechnet werden:

$$45.600 \text{ t} * 0,63 \text{ KWh/Kg} = 28.728 \text{ MWh.}$$

Demnach wurden im Jahr 1994 in Österreich bei der „Sortenreinen stofflichen Verwertung“ von 45.600 t *KST-Abfall I* ca. 30.000 MWh elektrische Energie verbraucht, um 38.000 t *Regranulat* herzustellen.

4.2.6.2 Wasserverbrauch:

Der Wasserverbrauch zur Herstellung von *Regranulat* liegt je nach Anlage und Verfahren zwischen 4 l und 14 l je Kg Inputmaterial (*KST-Abfall II*) in den Prozeß „Mühle, Schwimm-Sink-Becken“. Der für alle Anlagen und Verfahren durchschnittliche Wasserverbrauch kann mit 9 l/Kg *KST-Abfall II* angegeben werden [ÖKI, 1996].

1994 gelangten in Österreich nach dem Aussortieren der *Aufgabebandabfälle* ca. 43.000 t *KST-Abfall II* (inklusive anhaftendem Wasser) in den Prozeß „Mühle, Schwimm-Sink-Becken“. Der Wasserverbrauch für das Reinigen und Trennen der Kunststoffabfälle kann wie folgt berechnet werden:

$$43.000 \text{ t} * 9 \text{ l/Kg} = 387.000 \text{ m}^3.$$

Demnach wurden im Jahr 1994 in Österreich bei der „Sortenreinen stofflichen Verwertung“ von 45.600 t *KST-Abfall I* ca. 400.000 m³ Wasser verbraucht, um 38.000 t *Regranulat* herzustellen.

Viele Anlagenbetreiber decken den Wasserbedarf aus eigenen Brunnen oder sammeln das Regenwasser in Zisternen, sodaß sie kaum Trinkwasser benötigen [ÖKI, 1996].

Das *Abwasser I* wird in eigenen „Wasseraufbereitungsanlagen“ gereinigt und kann ca. 100 mal im Kreislauf geführt werden, bevor es als *Abwasser III* die Anlage verläßt. Weitere Wasserausträge aus dem System bestehen durch das anhaftende Wasser an der *Restfraktion*, durch den *Wasserdampf* bei der „Warmlufttrocknung“, den *Entgasungsrückständen* und dem *Dickschlamm*, der zu 60 % aus Wasser besteht. Im Massenvergleich zum *Abwasser III* sind diese Wasserausträge aber unbedeutend.

4.2.7 **Kostenabschätzung für die „Sortenreine stoffliche Verwertung“**

Die Kosten für die Herstellung von *Regranulat* können bei der „Sortenreinen stofflichen Verwertung“ mit ÖS 6.- bis ÖS 7.- angegeben werden [ÖKI, 1996]. Darin sind nur jene Kosten inkludiert, die im Bereich der Verwertungsanlage anfallen, das heißt: kalkulatorische Kosten, Personal, Energie, Wasser, Abwasser, Anlagenabschreibung und so weiter. Nicht berücksichtigt sind die in der Regel kostenintensiveren Prozesse Sammlung, Sortierung und Transport

4.3 **Recyclieren von gemischten Kunststoffabfällen**

Die Tabelle 4-9 gibt eine Übersicht über die Kunststoffverwertungsbetriebe, die Ende 1995 Produkte aus gemischten Kunststoffabfällen erzeugten:

Tabelle 4-9: Übersicht über die „gemischten“ Kunststoffverwertungsbetriebe; [ÖKI, 1995]

FIRMA	ADRESSE	ART DER KUNSTSTOFFAUFBE- REITUNG
Loacker Recycling	Lustenauerstraße 33 A - 6840 Götzis	Produkte aus gemischten Kunststoffabfällen
Re-Plast	Salzstraße 4 A - 6170 Zirl	Produkte aus gemischten Kunststoffabfällen
Schiffler Handels-GmbH	Auengasse 1 A - 9170 Ferlach	Produkte aus gemischten Kunststoffabfällen
Ökoplast Recycling GmbH	Pürnstein 43 A - 4120 Neufelden	Produkte aus gemischten Kunststoffabfällen
Böhler Kunststoff-Technik	Scheibenstraße 16 A - 6923 Lauterach	Produkte aus gemischten Kunststoffabfällen

4.3.1 Technische Beschreibung und Stand der Technik

4.3.1.1 Herstellung von Produkten aus gemischten Kunststoffabfällen

Beim Recycling von gemischten Kunststoffabfällen werden ohne Reinigung oder Auftrennung des Kunststoffgemisches Fertigprodukte hergestellt.

Das Kunststoffgemisch muß zumindest einen Anteil von ca. 70% Polyethylen aufweisen, damit die Fremdkunststoffe und Verschmutzungen nicht stören und nur als Füllstoffe angesehen werden können.

Aus dem angelieferten Kunststoffabfall werden Metallteile und Steine aussortiert, damit bei der nachfolgenden Vorzerkleinerung keine zu großen Abnützungen oder Beschädigungen der Shreddermesser auftreten. Vor der Aufgabe in den Shredder durchläuft der Kunststoffabfall noch einen Metalldetektor. Anschließend werden die vorzerkleinerten Kunststoffe in einer Mühle gemahlen und zur Erhöhung des Schüttgewichtes eventuell in einem Agglomerator verdichtet. Die Zwischenlagerung des Agglomerats erfolgt in Silos.

In einem Plastifizierextruder wird das Agglomerat oder Mahlgut plastifiziert und in die Produktformen extrudiert und gepreßt. Nach dem Erkalten in der Form werden die Produkte entformt.

Beim gesamten Prozeß wird auf eine Kunststofftrennung oder Reinigung verzichtet. Der Wasserverbrauch beschränkt sich auf verbrauchtes Kühlwasser für die Plastifiziermaschinen.

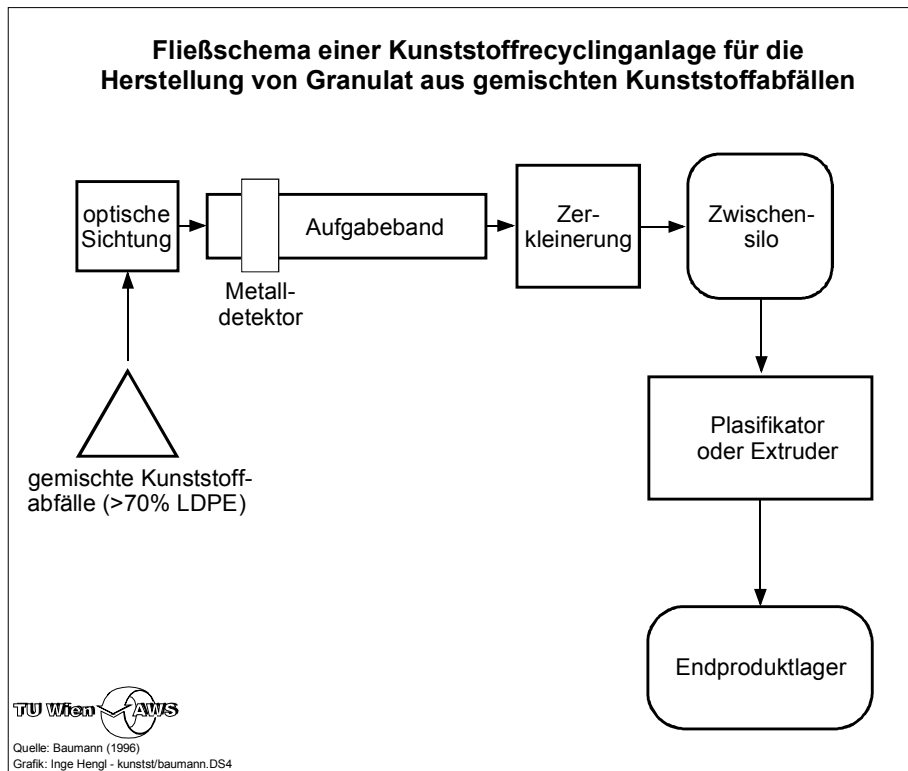


Abbildung 4-12: Fließschema für die Herstellung von Produkten aus gemischten Kunststoffabfällen

4.3.2 Verfügbarkeit und Kapazität

Die direkte Herstellung von Produkten aus gemischten Kunststoffabfällen ist eine Marktnische, deren Aufnahmefähigkeit von der Verkaufsfähigkeit des Produktes abhängig ist. Dadurch konnten die Kapazitäten, auch durch Zuzahlungen durch die Verpackungsverordnung ausgelöst, nur prozentuell erheblich gesteigert werden. Die Kapazitäten für die stoffliche Verwertung der gesammelten Kunststoffabfälle sind aber bei weitem nicht vorhanden.

Tabelle 4-10: Verfügbarkeit und Kapazität der „Gemischten stofflichen Verwertung“ von Kunststoffabfällen - Herstellung von Produkten

„Gemischte stoffliche Verwertung“	
Herstellung von Produkten	
Verfügbarkeit [Jahr]	Kapazitäten der drei Anlagen [t/a]
1992	3.300
1993	4.500
1994	11.800
1995	14.000

4.3.3 Systemidentifikation „Gemischte stoffliche Verwertung“

4.3.3.1 Auswahl der Prozesse:

Für die Erstellung einer Bilanz „Gemischte stoffliche Verwertung“ von Kunststoffabfällen in Österreich“ wurde eine Untergliederung des Systems in die nachstehenden zwei Prozesse für zweckmäßig erachtet:

- „Aufgabeband“
- „Shredder, Plastifikator/Extruder“

Die nachfolgende Abbildung zeigt das zu bilanzierende System mit der Systemgrenze, den einzelnen Prozessen und deren Verknüpfungen, sowie die Flüsse in das und aus dem System:

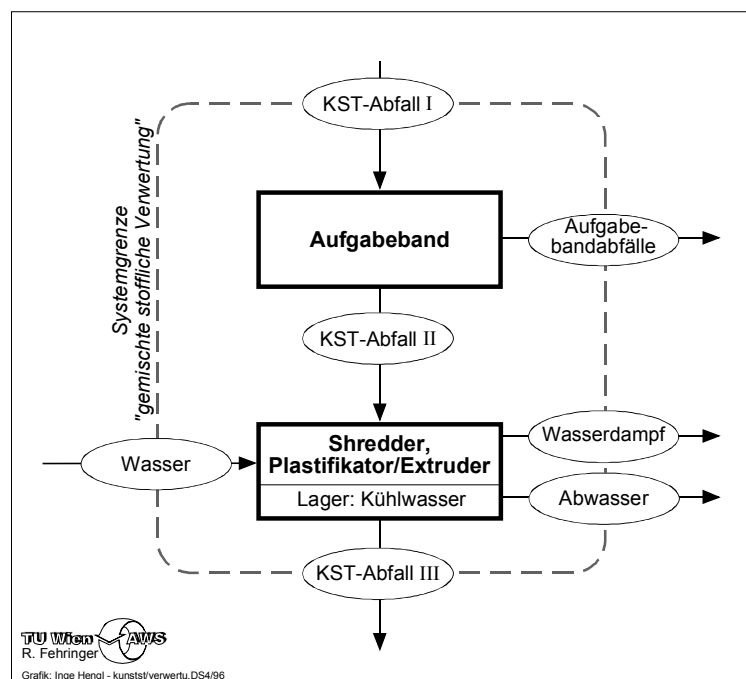


Abbildung 4-13: Systemidentifikation „Gemischte stoffliche Verwertung von Kunststoffabfällen in Österreich“

4.3.3.2 Der Prozeß „Aufgabeband“ und dazugehörige Güter

Inputgüter:

Der zu verwertende Kunststoffabfall *KST-Abfall I* muß zu mindestens 70 % aus Polyethylen bestehen.

Outputgüter:

Der im *KST-Abfall I* enthaltene Anteil an PVC und Fremdstoffen wird in diesem Prozeß manuell beziehungsweise mittels Magnetabscheider aussortiert und als *Aufgabebandabfälle* aus dem System ausgeschieden. Die *Aufgabebandabfälle* setzen sich aus PVC, Verbundstoffen, Papier, Holz, Steinen, Metallen und Ballendraht zusammen.

Im System verbleibt der *KST-Abfall II*, das ist der von den *Aufgabebandabfällen* bereinigte *KST-Abfall I*.

Lager:

Dieser Prozeß hat per Definition kein Lager.

Tabelle 4-11: Güterliste für den Prozeß „Aufgabeband“

Herkunftsprozeß	Inputgüter	Outputgüter	Zielprozeß
Import	KST-Abfall I	Aufgabebandabfälle	Export
		KST-Abfall II	Shredder, Plastifikator/Extruder

4.3.3.3 Der Prozeß „Shredder, Plastifikator/Extruder“ und dazugehörige Güter**Inputgüter:**

KST-Abfall II: Outputgut des Prozesses „Aufgabeband“.

Wasser: Das Wasser wird nur für die Kühlung des Plastifikators und Extruders benötigt. Es wird im Kreislauf geführt und kommt mit dem *KST-Abfall II* nicht in Berührung.

Outputgüter:

Das am *KST-Abfall II* anhaftende Wasser wird in Form von *Wasserdampf* aus dem System ausgeschieden, da es beim Erwärmen verdampft.

KST-Produkt: Endprodukt der „Gemischten stofflichen Verwertung“, zumeist dickwandige Platten oder Profile.

Abwasser: Jenes Wasser, welches beim Kühlwasserwechsel aus dem System ausscheidet.

Lager:

Das Lager dieses Prozesses wird vom *Wasser* gebildet, welches für die Kühlung des Plastifikators und Extruders im Kreislauf geführt wird.

Tabelle 4-12: Güterliste für den Prozeß „Shredder, Plastifikator/Extruder“

Herkunftsprozeß	Inputgüter	Outputgüter	Zielprozeß
Aufgabeband	KST-Abfall II	Wasserdampf	Export
Import	Wasser	KST-Produkt	Export
		Abwasser	Export

4.3.4 Güterbilanz der „Gemischten stofflichen Verwertung“

Die Berechnung der Güterbilanz befindet sich im *Anhang 9*. Die folgende Abbildung zeigt die Resultate der Berechnungen für die Güterbilanz zur Herstellung von Produkten aus gemischten Kunststoffabfällen.

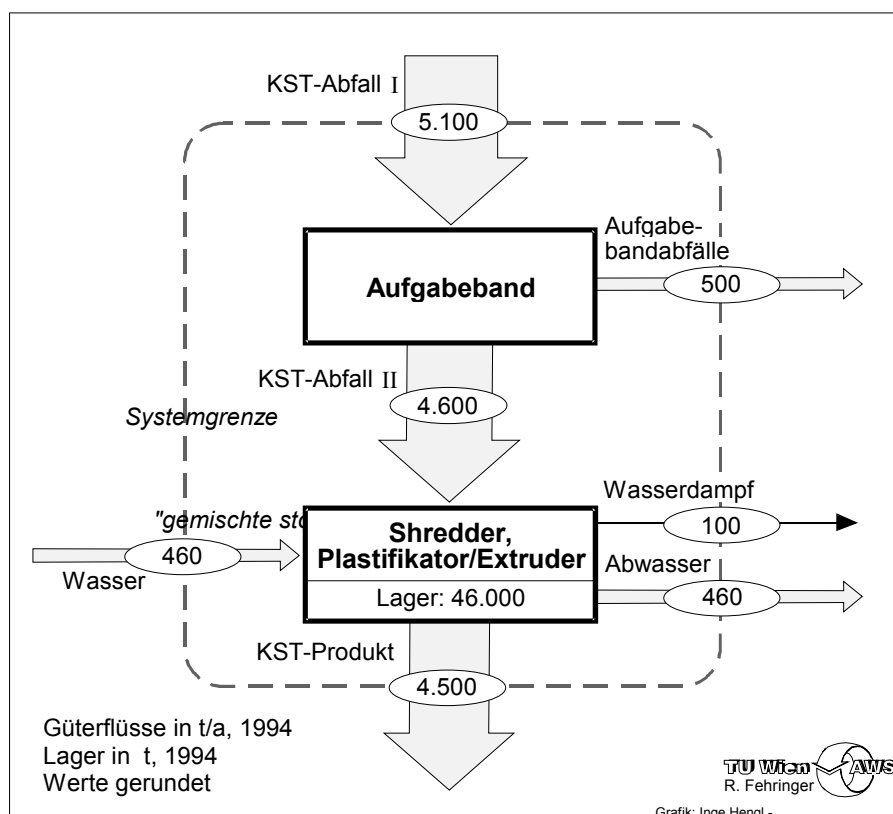


Abbildung 4-14: Güterbilanz der „Gemischten stofflichen Verwertung“ von Kunststoffabfällen in Österreich, 1994

4.3.5 Stoffbilanzen der „Gemischten stofflichen Verwertung“

Die Berechnungen der Stoffbilanzen für Kohlenstoff, Barium, Cadmium, Chlor, Blei und Zink befinden sich im *Anhang 9*. Die Resultate sind den nachfolgenden Abbildungen zu entnehmen.

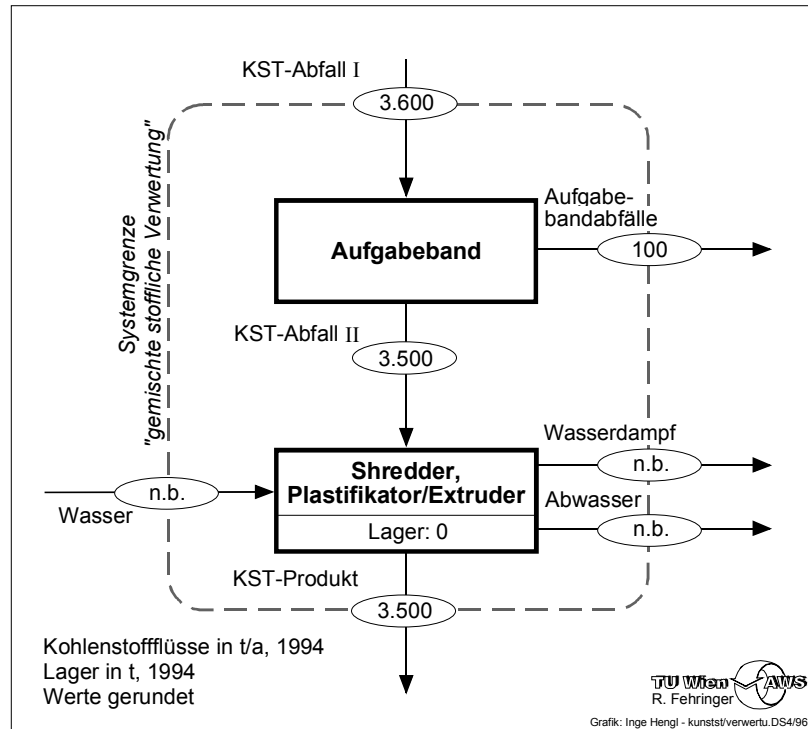


Abbildung 4-15: Kohlenstoffbilanz der „Gemischten stofflichen Verwertung“ von Kunststoffabfällen in Österreich, 1994

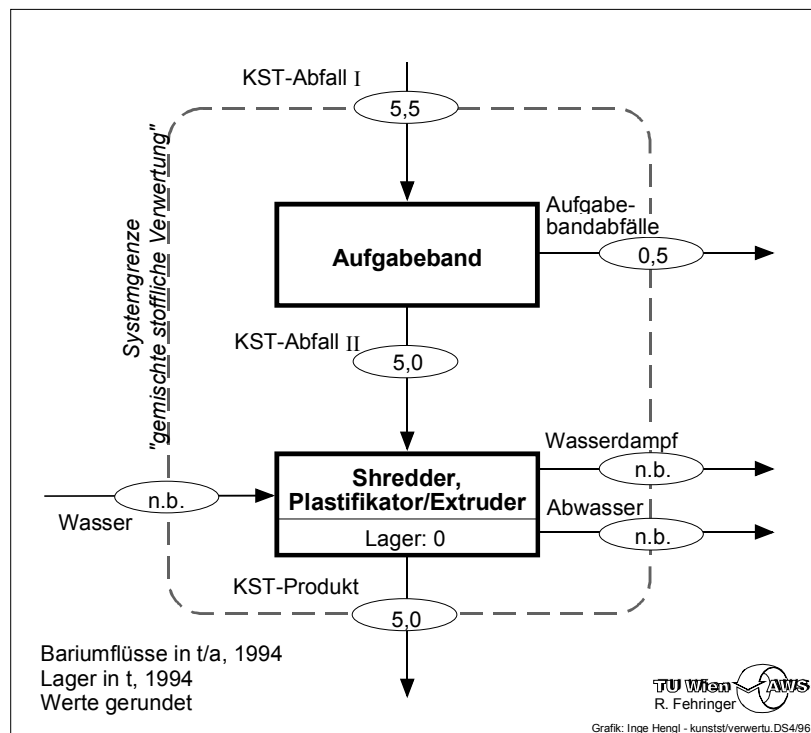


Abbildung 4-16: Bariumbilanz der „Gemischten stofflichen Verwertung“ von Kunststoffabfällen in Österreich, 1994

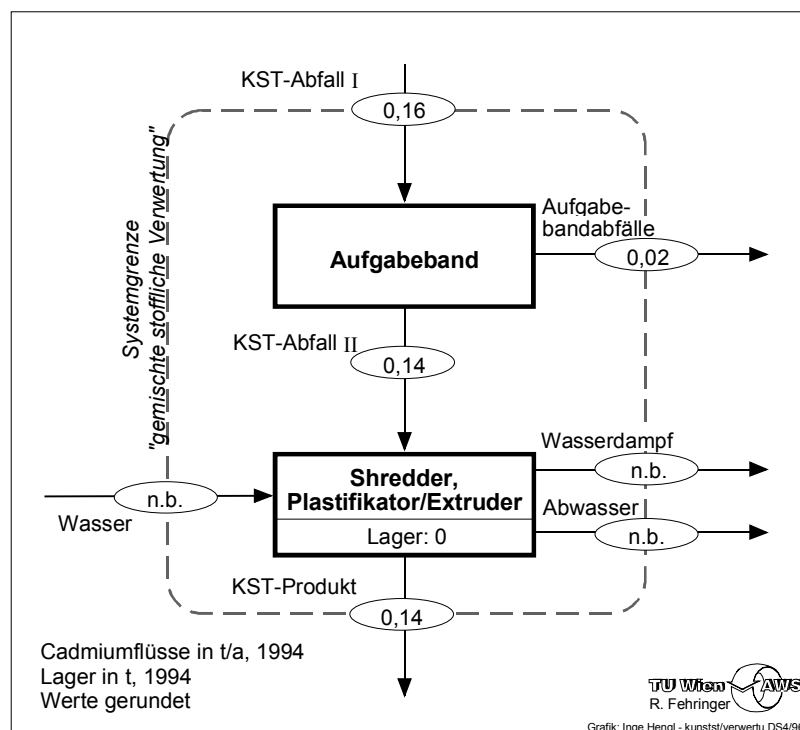


Abbildung 4-17: Cadmiumbilanz der „Gemischten stofflichen Verwertung“ von Kunststoffabfällen in Österreich, 1994

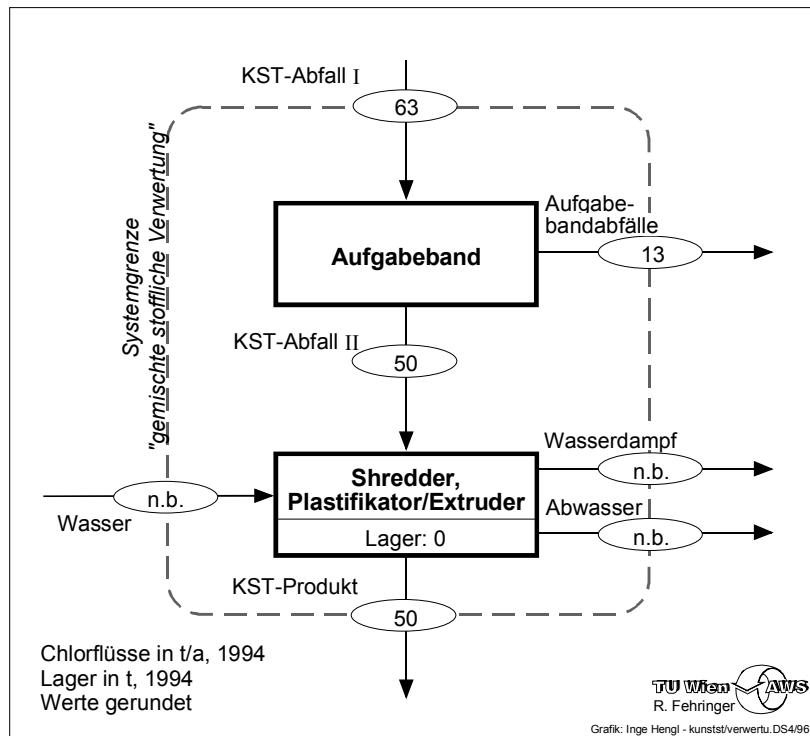


Abbildung 4-18: Chlorbilanz der „Gemischten stofflichen Verwertung“ von Kunststoffabfällen in Österreich, 1994

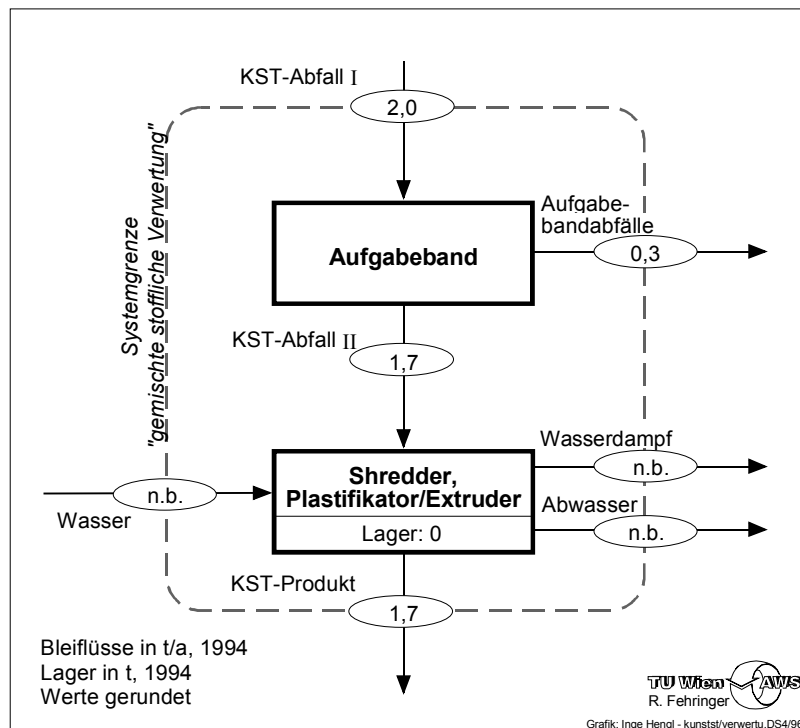


Abbildung 4-19: Bleibilanz der „Gemischten stofflichen Verwertung“ von Kunststoffabfällen in Österreich, 1994

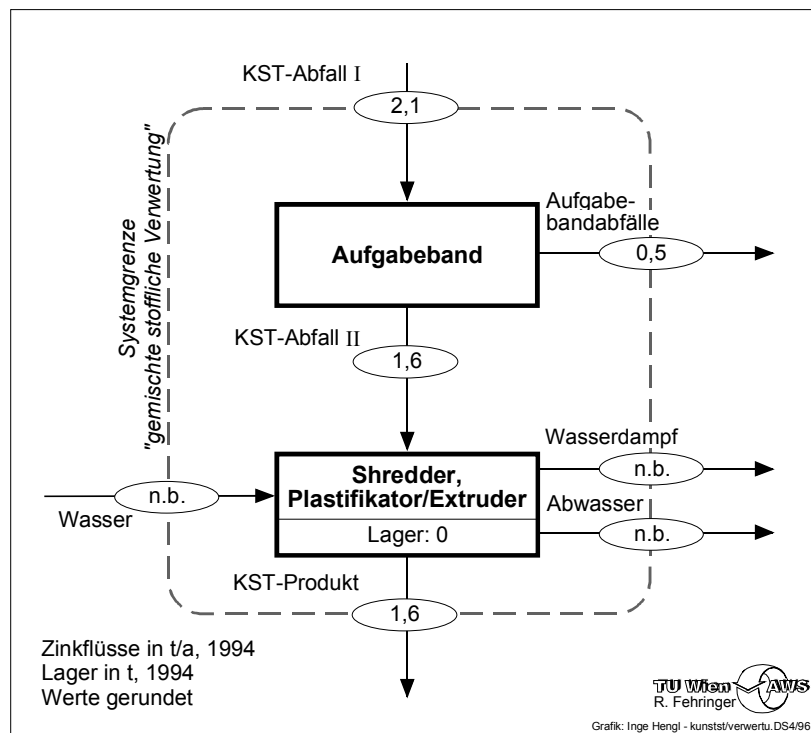


Abbildung 4-20: Zinkbilanz der „Gemischten stofflichen Verwertung“ von Kunststoffabfällen in Österreich, 1994

4.3.6 Energie- und Wasserverbrauch

4.3.6.1 Energieverbrauch:

Der Energieverbrauch zur Herstellung von Produkten aus gemischten Kunststoffabfällen liegt je nach Anlage und Verfahren zwischen 0,25 KWh und 1,0 KWh je Kg Inputmaterial (*KST-Abfall I*). Ein für alle Anlagen und Verfahren durchschnittlicher Energieverbrauch kann mit 1,0 KWh/Kg *KST-Abfall I* angegeben werden [ÖKI, 1996].

1994 wurden in Österreich ca. 5.100 t Kunststoffabfall, inklusive anhaftendem Wasser, einer „Gemischten stofflichen Verwertung“ zugeführt. Die zur Herstellung von *KST-Produkten* benötigte Energie kann wie folgt berechnet werden:

$$5.100 \text{ t} * 1,0 \text{ KWh/Kg} = 5.100 \text{ MWh.}$$

Demnach wurden im Jahr 1994 in Österreich bei der „Gemischten stofflichen Verwertung“ von 5.100 t *KST-Abfall I* ca. 5.000 MWh elektrische Energie verbraucht, um 4.500 t *KST-Produkte* herzustellen.

4.3.6.2 Wasserverbrauch:

Der Wasserverbrauch zur Herstellung von *KST-Produkten* liegt je nach Anlage und Verfahren zwischen 4 l und 14 l je Kg Inputmaterial (*KST-Abfall II*) in den Prozeß „Shredder, Plastifika-

tor/Extruder“. Der für alle Anlagen und Verfahren durchschnittliche Wasserverbrauch kann mit 10 l/Kg *KST-Abfall II* angegeben werden [ÖKI, 1996].

1994 gelangten in Österreich nach dem Aussortieren der *Aufgabebandabfälle* ca. 4.600 t *KST-Abfall II*, inklusive anhaftendem Wasser, in den Prozeß „Shredder, Plastifikator/Extruder“. Das benötigte Wasser für die Kühlung kann wie folgt berechnet werden:

$$4.600 \text{ t} * 10 \text{ l/Kg} = 46.000 \text{ m}^3.$$

Da das Kühlwasser ca. 100 mal im Kreislauf geführt wird, wird nur beim Kühlwasserwechsel frisches Wasser benötigt. Der Wasserverbrauch ist daher ein Hundertstel des zur Kühlung benötigten Wassers. Demnach wurden im Jahr 1994 in Österreich bei der „Gemischten stofflichen Verwertung“ von 5.100 t *KST-Abfall I* ca. 460 m³ Wasser benötigt, um 4.500 t *KST-Produkte* herzustellen.

Viele Anlagenbetreiber decken den Wasserbedarf aus eigenen Brunnen oder sammeln das Regenwasser in Zisternen, sodaß sie kaum Trinkwasser benötigen [ÖKI, 1996].

4.3.7 Kostenabschätzung für die „Gemischte stoffliche Verwertung“

Die Kosten für die Herstellung von *KST-Produkten* können bei der „Gemischten stofflichen Verwertung“ mit ÖS 5.- bis ÖS 6.- angegeben werden [ÖKI, 1996]. Darin sind nur jene Kosten inkludiert, die im Bereich der Verwertungsanlage anfallen, das heißt: kalkulatorische Kosten, Personal, Energie, Wasser, Abwasser, Anlagenabschreibung und so weiter. Nicht berücksichtigt sind die in der Regel kostenintensiveren Prozesse Sammlung, Sortierung und Transport.

4.4 Übersicht über die europäischen Kunststoffrecyclingbetriebe und deren Verarbeitungstechnologien

4.4.1 Deutschland

In Deutschland wurde die Verpackungsverordnung 1991, also früher als in Österreich in Kraft gesetzt. Der große Unterschied zur österreichischen Verordnung ist, daß in Österreich auch eine thermische Verwertung der Kunststoffabfälle zur Erfüllung der Verwertungsquoten möglich ist.

Durch diese starke Einschränkung wird in Deutschland vermehrt versucht, auch stark verschmutzte und vermischte Kunststoffabfälle zu reinigen, aufzutrennen und einer Verwertung zuzuführen. Es werden die gleichen vorher beschriebenen Kunststoffrecyclingverfahren eingesetzt, wobei der Aufwand bei der Reinigung und Sortierung bei einigen Anlagen erheblich größer ist.

Betriebe und Kapazitäten:

Derzeit sind ca. 200 Kunststoffrecyclingbetriebe registriert, wobei die Verarbeitungskapazität bei ca. 600.000 t/Jahr liegt [ÖKI, 1996].

4.4.2 Schweiz

In der Schweiz gibt es zum Unterschied zu Österreich und Deutschland keine Verpackungsverordnung. Weiters besteht in der Schweiz die Möglichkeit, einen großen Anteil am Hausmüll in Müllverbrennungsanlagen (Kehrichtverbrennungsanlagen) zu entsorgen. Zur Verwertung gelangen daher nur Kunststoffabfälle aus Industrie, Gewerbe sowie die Sammelmengen aus speziellen Kunststoffsammlungen. Die Recyclingbetriebe erhalten keine Zuzahlungen für den verwerteten Kunststoffabfall, sondern es wird teilweise für den Kunststoffabfall bezahlt.

Betriebe und Kapazitäten:

Derzeit sind ca. 20 Kunststoffrecyclingbetriebe registriert, wobei die Verarbeitungskapazität bei ca. 68.000 t liegt [ÖKI, 1996].

4.5 Technologische Entwicklungen beim stofflichen Kunststoffrecycling

Grundlegende Änderungen oder Neuerungen sind bei der stofflichen Verwertung der Kunststoffe derzeit nicht in Sicht. Die Veränderungen erfolgen in der Feinabstimmung und Optimierung der verschiedenen Verfahrenskomponenten [ÖKI, 1996].

4.5.1.1 Mechanische Trennung:

Bei Flaschen und Behältern wird versucht die händische Sortierung durch einen Sortierautomaten durchführen zu lassen. Jeder einzelne Kunststoffteil wird mit physikalischen und optischen Methoden analysiert, die Analysenwerte mit einer Datenbank verglichen, die dann die jeweilige Auswurfposition für die spezielle Materialklasse festlegt. Um einen möglichst großen Durchsatz zu erreichen, muß die Analysen- und Auswertgeschwindigkeit sehr hoch sein. Weiters soll der Teil eine große Masse haben und sich leicht vereinzeln lassen, da jeder einzelne Kunststoffteil analysiert wird.

4.5.1.2 Waschen und Trennen:

Bei den Wasch- und Trennverfahren die mit Wasser oder Flüssigkeiten arbeiten, wird versucht, mit möglichst geringem Flüssigkeitsverbrauch die gleiche Wasch- und Trennwirkung zu erreichen. Andererseits wird die Reinigung der Schmelze von unerwünschten Bestandteilen wie z.B. Papierresten von Etiketten, mit großem technischen Aufwand durchgeführt, um auch mit geringeren Wasch- und Trennaufwand das Auslangen zu finden.

5 Variantenvergleich der Verwertung / Behandlung von Kunststoffabfällen in Österreich

5.1 Zielsetzung und Fragestellung

Zielsetzung:

Das Ziel dieses Teiles der Gesamtstudie besteht darin, einen Variantenvergleich zwischen einer stofflichen, einer thermischen und einer gemischten Verwertung und Behandlung von Kunststoffabfällen zu erstellen. Der Sinn dieses Vergleiches besteht nicht darin, eine dieser Varianten als "die Beste" darzustellen, sondern es soll gezeigt werden, erstens nach welchen Gesichtspunkten ein Vergleich erfolgen soll, der die Ziele des Abfallwirtschaftsgesetzes zu erfüllen versucht, und zweitens, in welche Richtung ("Zielerfüllung" oder "Nichterfüllung") diese Varianten zeigen. Der Variantenvergleich soll es somit ermöglichen, "bessere" Varianten im Vergleich zur heutigen Praxis vorzuschlagen und zu evaluieren.

Der Gesamtbericht soll die Entwicklung einer Strategie für die Verwertung und Entsorgung gebrauchter Kunststoffe in Österreich liefern. Logistik und Kosten sind nicht Gegenstand dieses Projektes.

Fragestellung:

1. Welche konkreten Varianten sollen ausgewählt werden?
2. Welche Kriterien sollen für den Variantenvergleich herangezogen werden?
3. Welche hauptsächlichen Güter-, Stoff-, Energie- und Volumenflüsse werden durch die Varianten verursacht?
4. Wie sind diese Güter-, Stoff-, Energie- und Volumenflüsse bezüglich des AWG zu beurteilen?
5. Welche Folgerungen können aus der Beantwortung der Fragen 1. bis 4. für die Bewirtschaftung von Kunststoffabfällen in der Zukunft gezogen werden.

5.2 Ausgangsbasis

Aufbauend auf das Kapitel 3.5.1 *Quantifizierung der gesamten Kunststoffflüsse und -lager in Österreich* werden die Kunststoffabfallmassen des Jahres 1994 bei den verschiedenen Varianten in unterschiedlichen Massen den einzelnen Verfahren zur Verwertung/Behandlung von Kunststoffabfällen zugeordnet.

Der folgende Variantenvergleich geht von einer Kunststoffabfallmasse von 763.500 t im Jahr 1994 aus; siehe dazu - Kunststoffflüsse und -lager in Österreich, Bilanzierung des Prozesses "Sammlung, Sortierung, Transport". Im genannten Kapitel wird die Herkunft dieser Kunststoffabfälle wie folgt beschrieben:

Tabelle 5-1: Herkunft der Kunststoffabfälle in Österreich 1994, siehe Kapitel 3.5.1.4 Güterbilanz des Prozesses "Sammlung, Sortierung, Transport" - KST

Herkunft der Kunststoffabfälle	Kunststoffabfälle 1994 in [t]
<i>Abfall</i> aus dem Prozeß "Einsatz"	723.200
<i>Produktionsabfälle I</i> aus dem Prozeß "Chemische Industrie, Polymer-Synthese, Aufbereitung"	1.000
<i>Produktionsabfälle II</i> aus dem Prozeß "Aufbereitung, Verarbeitung, Nachbehandlung"	28.300
<i>Abfall</i> der importiert wurde	11.000
Summe:	763.500

Potential und Eignung der Kunststoffabfälle für verschiedene Verwertungsmöglichkeiten:

Um die Kunststoffabfälle einer Verwertung oder Behandlung zuführen zu können, muß man diese entweder getrennt sammeln oder vom restlichen Abfall aussortieren. Da viele Kunststoffe nur einen Teil eines Produktes ausmachen (Auto, Fernseher, Gebäude) ist dies nicht in allen Fällen möglich. Um die für 1994 maximal erfaßbare Kunststoffabfallmasse zu quantifizieren, wurden die Zahlen einer Studie der GUA - Gesellschaft für umweltfreundliche Abfallbehandlung GesmbH [1992] hochgerechnet:

	nach GUA	nach diesem Bericht (S. 38)	
Kunststoffabfälle	524.000 t	763.500 t	100 %
davon maximal erfaßbar	322.000 t	469.200 t	61 %

berechnet nach: $(763.500 \text{ t} / 524.000 \text{ t}) * 322.000 \text{ t} = \mathbf{469.200 \text{ t}}$

Die oben dargestellte Verknüpfung der Abschätzung der Verwertungspotentiale der GUA [1992] (Bezugsjahr 1990) mit den Daten des Teiles *Kunststoffflüsse und -lager in Österreich 1994* ergibt, daß von den 763.500 t Kunststoffabfällen 469.200 t (dies entspricht ca. 60 % des gesamten Kunststoffabfalles pro Jahr) erfaßbar sind. Von dieser Masse wären wiederum ca. 250.000 t [ÖKI, 1995] für eine stoffliche und ca. 100.000 t [Baumann, 1992] für eine chemischen Verwertung geeignet. Die Voraussetzung dafür ist, daß die prozentuelle Zusammensetzung der Abfallqualität, wie sie in der GUA-Studie verwendet wurde, auf die Zahlen von 1994 anwendbar ist. Weiters ist noch zu erwähnen, daß bei den Abschätzungen in der Literatur keine Angaben darüber gemacht wurden, woher (Haushalten, Industrie und Gewerbe, Baustellenabfälle, Landwirtschaft, ...) diese Kunststoffabfälle stammen.

5.3 Auswahl der Varianten

Es sollen drei Hauptvarianten (I, II und III) erstellt werden. Ziel ist es, die Auswirkungen der stofflichen und chemischen Verwertung mit jener der thermischen Verwertung in Bezug auf das Abfallwirtschaftsgesetz [1990] zu vergleichen. Die Varianten wurden so ausgewählt, daß

sie einerseits Extrema widerspiegeln, andererseits aber auch unter bestimmter Auslegung der österreichischen Gesetze, zum Beispiel der Deponieverordnung [1996] durchführbar sind.

Variante I:

Die **Variante I** stellt den IST-Zustand für 1994 dar; das heißt, inklusive Verpackungsverordnung, Export von Kunststoffabfällen und Zwischenlagerung in einem Lager auf Zeit.

Bei den Varianten II und III werden die Kunststoffabfälle weder in einem Lager auf Zeit gesammelt noch exportiert.

Variante II:

In der Variante II, diese wurde in zwei Teile (a und b) aufgeteilt, soll neben einer maximalen separaten Sammlung auch eine maximale stoffliche/chemische Verwertung erreicht werden.

Bei beiden wird von einer größtmöglichen separaten Sammlung und Sortierung der Kunststoffabfälle ausgegangen. Weiters soll die maximale Masse, die technisch für eine stoffliche/chemische Verwertung geeignet ist, einer stofflichen/chemischen Verwertung zugeführt werden. Die separat gesammelten, aber nicht stofflich/chemisch verwertbaren Abfälle werden thermisch verwertet.

Bei der **Variante IIa** werden die nicht separat gesammelten Kunststoffabfälle deponiert beziehungsweise zusammen mit dem Hausmüll in bestehenden Müllverbrennungsanlagen thermisch verwertet. Die Abfälle aus der stofflichen, chemischen und thermischen Verwertung werden ebenfalls deponiert.

Bei der **Variante IIb** wird die maximale Masse der nicht separat gesammelten Kunststoffabfälle einer thermischen Verwertung zugeführt. Dabei wird zum Beispiel die Deponieverordnung berücksichtigt, die unter anderem besagt, daß in Reststoffdeponien nur noch Abfälle abgelagert werden dürfen, deren gesamter organischer Kohlenstoff (TOC) kleiner als 5 % ist [DVO, 1996]. Um dies zu erreichen, wird angenommen, daß in einer Übergangszeit ca. 80 % der österreichischen Kunststoffabfälle entweder zusammen mit dem Hausmüll und hausmüllähnlichen Industrie- und Gewerbeabfällen in Hausmüllverbrennungsanlagen oder zum Beispiel die thermisch verwertbaren Fraktionen der Baustellenabfälle ebenfalls thermisch verwertet werden. Die verbleibenden 20 % (der gesamten österreichischen Kunststoffabfälle) können nicht thermisch verwertet werden, da sie entweder nicht erfaßbar sind oder sich nicht für eine thermische Verwertung eignen. Die Abfälle aus der stofflichen und chemischen Verwertung werden ebenfalls thermisch verwertet. Die oben beschriebenen 20 % (nicht thermisch verwertet und nicht separat gesammelt) werden ebenso wie die Abfälle aus der thermischen Verwertung deponiert.

Variante III:

Im Mittelpunkt der Variante III, diese wurde in drei Teile (a, b und c) aufgeteilt, steht die maximale thermische Verwertung, bei a) maximaler, bei b) minimaler (derzeit vorgeschriebener) und bei c) keiner separaten Sammlung.

In der **Variante IIIa** wird, wie in den Varianten II der *maximal erfaßbare* Kunststoffabfall gesammelt und mit Ausnahme der Massen, die nach der *Verpackungsverordnung* [1994] einer *stofflichen Verwertung* zuzuführen sind, einer thermischen Verwertung zugeführt. Die nicht separat gesammelten Kunststoffabfälle werden wie in Variante IIa deponiert beziehungsweise zusammen mit dem Hausmüll in bestehenden Müllverbrennungsanlagen thermisch verwertet. Die Abfälle aus der stofflichen, chemischen und thermischen Verwertung werden ebenfalls deponiert.

In der **Variante IIIb** wird nur noch der *Anteil am Kunststoffabfall gesammelt*, der in der Verpackungsverordnung [1994] vorgeschrieben wird. Weiters wird nur die Masse stofflich verwertet, die in der Verpackungsverordnung festgelegt ist. Die verbleibenden separat gesammelten Kunststoffabfälle werden wie die Abfälle aus der stofflichen Verwertung thermisch verwertet. Die maximale Masse der nicht separat gesammelten Kunststoffabfälle wird, wie in Variante IIb, einer thermischen Verwertung zugeführt. Die verbleibenden 20 % werden deponiert.

In der **Variante IIIc** wird der Kunststoffabfall *nicht separat gesammelt*. Daher kann es auch keine stoffliche Verwertung geben. Der Kunststoffabfall wird wie in den Varianten IIb und IIIb in maximalen Ausmaß thermisch verwertet. Die verbleibenden 20 % werden deponiert.

Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über den Input in die ausgewählten Varianten aufgeschlüsselt auf die Kriterien: Sammlung, stoffliche/chemische Verwertung, thermische Verwertung und Deponierung:

Tabelle 5-2: Übersicht über den Input in die Varianten I bis IIIc

Varianten	I	IIa	IIb	IIIa	IIIb	IIIc
Istzustand 1994	x					
maximale separate Sammlung		x	x	x		
separate Sammlung nur nach VVO					x	
keine separate Sammlung						x
maximale stoffliche/chemische Verwertung		x	x			
stoffliche Verwertung nur nach VVO				x	x	
keine stoffliche Verwertung						x
thermische Verwertung der separat gesammelten, aber nicht stofflich/chemisch verwerteten Kunststoffabfälle		x	x	x	x	
thermische Verwertung der nicht separat gesammelten Kunststoffabfälle in den derzeit bestehenden Müllverbrennungsanlagen		x		x		
maximale thermische Verwertung der nicht separat gesammelten Kunststoffabfälle			x		x	x
thermische Verwertung der Abfälle aus der stofflichen/chemischen Verwertung			x		x	
Deponierung der Abfälle aus der stofflichen/chemischen Verwertung		x		x		
Deponierung der Abfälle aus der thermischen Verwertung		x	x	x	x	x
Deponierung der verbleibenden nicht separat gesammelten und nicht thermische verwerten Kunststoffabfälle			x		x	x
Deponierung aller separat gesammelten Kunststoffabfälle		x		x		

VVO Verpackungsverordnung

5.4 Welche Güterflüsse werden bilanziert?

Der Kunststoffabfall des Jahres 1994 ist das **Inputgut** in die verschiedenen Verfahren. Die folgende Auflistung zeigt die **Outputgüter** der jeweiligen Verfahrensprozesse und in welchen Zielprozessen diese landen.

Bei allen Varianten, mit Ausnahme der Varianten IIb und IIIb sind die Zielprozesse jene, wie sie in den folgenden Darstellungen angeführt sind. Bei diesen beiden Varianten wurden die Abfälle aus der stofflichen und chemischen Verwertung einer thermischen Verwertung zugeführt und nicht, wie es derzeit üblich ist, deponiert.

Da im folgenden verschiedene Varianten der stofflichen und thermischen Verwertung von Kunststoffen mit dem **Istzustand von 1994** verglichen werden, wurden die Deponietypen nach dem Entwurf der Deponieverordnung [1994] bezeichnet. Obwohl die Mülldeponie in der

gültigen Deponieverordnung [1996] nicht mehr enthalten ist, darf sie in einer Übergangszeit von 10 Jahren noch verwendet werden.

Produkte der "Sortenreinen stofflichen Verwertung" und deren Zielprozesse

Outputgut	Beschreibung	Zielprozeß
Regranulat	gewünschtes Produkt bei der stofflichen Verwertung	Verarbeitung
Aufgabeband-abfälle	manuell aussortierte, ungewünschte Fraktionen z.B.: Fremdkunststoffe, Verbundstoffe, Metall Papier, Ballendraht	Mülldeponie
Restfraktion	Polyolefine, die beim Wasch- und Trennvorgang ausgeschieden werden	Mülldeponie
Entgasungs-rückstände	werden bei der Entgasungszone des Extruders abgesaugt	Mülldeponie
Schmelzefilter-rückstände	Kunststoffverschmutzungen, die vor der Granulierung/Extrusion über einen Filter abgezogen werden	Mülldeponie
Dickschlamm	Abfall aus der Wasseraufbereitungsanlage	Mülldeponie

Produkte der "Gemischten stofflichen Verwertung" und deren Zielprozesse

Outputgut	Beschreibung	Zielprozeß
KST-Produkt	gewünschtes Produkt bei der stofflichen Verwertung	Verarbeitung
Aufgabeband-abfälle	manuell aussortierte, ungewünschte Fraktionen z.B.: Verbundstoffe, Papier, Holz, Steine, Metall, Ballendraht	Mülldeponie

Produkte der "Chemischen Verwertung" und deren Zielprozesse

Outputgut	Beschreibung	Zielprozeß
Synchrude	gewünschtes Produkt bei der chemischen Verwertung, reine Kohlenwasserstoffe	Verarbeitung
Bitumen	aussortierte Kunststoffe, nicht umgesetztes Material, Schwermetalle, mineralische Bestandteile	Reststoffdeponie

Produkte der "Müllverbrennungsanlage" und der "Thermischen Verwertung" und deren Zielprozesse

Outputgut	Beschreibung	Zielprozeß
Reingas	gereinigtes Abgas	Atmosphäre
E-Filterstaub	Produkt der Rauchgasreinigung	Untertagedeponie
Abwasser	in Wasser gelöste Kunststoffbestandteile z.B.: Chloride vom PVC	Hydrosphäre
Filterkuchen	Produkt der Abwasseraufbereitung	Untertagedeponie
Schlacke	Reststoff der Verbrennung	Reststoffdeponie

Produkt des "Lagers" und dessen Zielprozeß

Outputgut	Beschreibung	Zielprozeß
KST-Lager	Lager auf Zeit für eine spätere, in erster Linie thermische, Verwertung	Lager

Produkt des "Exportes" und dessen Zielprozeß

Outputgut	Beschreibung	Zielprozeß
KST-Export	exportierte Kunststoffabfälle	Export

Produkt der "Mülldeponie" und dessen Zielprozeß

Outputgut	Beschreibung	Zielprozeß
KST-Deponie	nicht erfaßter Kunststoffabfall	Mülldeponie

Für alle Arten der Verwertung/Behandlung gilt: Hilfsstoffe und Betriebsstoffe (Waschwasser, Kühlwasser, Neutralisationsmittel, Luft, ...) werden im folgenden Variantenvergleich **nicht** mitberücksichtigt. In den oben beschriebenen Gütern sind nur die kunststoffbürtigen Stoffe enthalten.

5.5 Welche Stoffflüsse werden bilanziert?

Für die Beurteilung potentieller Umweltbelastungen oder Rohstoffquellen sind nicht die **Güter** an erster Wichtigkeit, sondern die in ihnen enthaltenen **Stoffe** [Baccini & Brunner, 1991]: Es ist deshalb notwendig, nicht nur die Güter sondern auch die Stoffe zu bilanzieren. Gemeinsam mit dem Auftraggeber wurden folgende Stoffe (Elemente) für die Bilanzierung ausgewählt: Barium, Cadmium, Chlor, Blei und Zink. Kohlenstoff wurde zusätzlich bilanziert.

Die Auswahl dieser Stoffe erfolgte nach folgenden Gesichtspunkten:

Kohlenstoff:	das wichtigste Matrixelement der meisten Kunststoffe und der bedeutendste Energieträger
Barium:	alle löslichen Bariumverbindungen sind giftig
Cadmium:	früher oft eingesetzt zur Stabilisierung von PVC, Gefährdungspotential für Mensch, Tier und Umwelt
Chlor:	in großen Massen im PVC vorhanden, kann als Chlorid meist unbedenklich an die Gewässer abgegeben werden; führt bei thermischen Prozessen oft zu hochgiftigen Verbindungen, die konzentriert werden müssen
Blei:	kann sich im Boden und in der Nahrungskette anreichern, neurotoxisch
Zink:	ersetzt heute Cadmium bei der Stabilisierung von PVC

5.6 Kriterien für den Variantenvergleich

Die vier Ziele des Abfallwirtschaftsgesetzes [AWG, 1990] werden als Kriterien für den Variantenvergleich herangezogen. Die Beurteilung der einzelnen Varianten orientiert sich am § 1 des Abfallwirtschaftsgesetzes und läuft nach folgendem Schema ab:

1. Schädliche, nachteilige oder sonst das allgemeine menschliche Wohlbefinden beeinträchtigende Einwirkungen auf den Menschen sowie auf Tiere, Pflanzen und deren Lebensgrundlagen und deren natürliche Umwelt sollen so gering wie möglich gehalten werden.

Als Kriterium für dieses Ziel wird der Weg der ausgewählten Elemente (C, Ba, Cd, Cl, Pb und Zn) von der Verwertung über die Produkte der Verwertung bis hin zur letzten Senke untersucht. Welche Senke ist für welche Elemente geeignet? Mögliche letzte Senken sind: zum Beispiel die Lithosphäre (Ba, Cd, Pb, Zn; Boden respektive Deponie) oder die Hydrosphäre (Cl).

Dieses Ziel des AWG wird sowohl für die Beurteilung der sechs Stoffflüsse (C, Ba, Cd, Cl, Pb, Zn), als auch für die Beurteilung der Güterflüsse, die durch die Varianten verursacht werden, herangezogen.

2. Rohstoff- und Energiereserven sollen geschont werden.

Als Kriterium für dieses Ziel wird die Frage nach der Einsparung von Erdöl herangezogen, wenn a) Kunststoffe im Kreislauf geführt werden oder b) Kunststoffe als Brennstoffersatz eingesetzt werden.

Dieses Ziel des AWG wird nur für die Beurteilung der Güterflüsse, die durch die Varianten verursacht werden, herangezogen. Es wird zum Beispiel nicht berücksichtigt, daß das Chlor im PVC wieder zur Herstellung von Salzen verwendet werden kann [Sutter, 1993].

3. Der Verbrauch an Deponievolumen soll so gering wie möglich gehalten werden.

Als Kriterium für dieses Ziel wird das Volumen der nach der Verwertung verbleibenden und zu deponierenden Reststoffe herangezogen.

Da in erster Linie die Güterflüsse den Deponievolumenverbrauch bestimmen, wird dieses Ziel des AWG nur für die Beurteilung der Güterflüsse, die durch die Varianten verursacht werden, herangezogen.

4. Nur solche Stoffe sollen zurückbleiben, deren Ablagerung kein Gefährdungspotential für nachfolgende Generationen darstellt (Vorsorgeprinzip).

Als Kriterium für dieses Ziel wird sowohl die Qualität (gefährlicher oder nicht gefährlicher Abfall) der nach der Verwertung verbleibenden Reststoffe als auch die letzte Senke der ausgewählten Elemente herangezogen.

Dieses Ziel des AWG wird sowohl für die Beurteilung der sechs Stoffflüsse (C, Ba, Cd, Cl, Pb, Zn), als auch für die Beurteilung der Güterflüsse, die durch die Varianten verursacht werden, herangezogen.

5.7 Input in die ausgewählten Varianten

5.7.1 Input in die Variante I: IST-Zustand der Verwertung, Behandlung und Entsorgung von Kunststoffabfällen in Österreich für 1994

Die Variante I gibt einen Überblick über den IST-Zustand (Datengrundlage 1994) und dient als Basis für den Variantenvergleich. Die weiteren Berechnungen beziehen sich auf eine jährliche, gesamte Kunststoffabfallmasse von 763.500 t (siehe Kapitel 3.5.1 Quantifizierung der gesamten Kunststoffflüsse und -lager in Österreich, Güterbilanz des Prozesses "Sammlung, Sortierung Transport" - KST).

Der Österreichische Kunststoffkreislauf hat 1994 von den Sortierern in Österreich 76.400 t Kunststoffverpackungen übernommen. Davon waren 31.800 t *sortierte Fraktion* für eine stoffliche Verwertung und 44.600 t *Mischfraktion* für eine spätere stoffliche oder thermische Verwertung; ein Großteil dieser Fraktion geht derzeit in eines der drei Zwischenlager [ARA, 1995]. Der ÖKK hat mit verschiedenen Verwerterbetrieben Verträge abgeschlossen beziehungsweise Vereinbarungen getroffen. Diese Betriebe hatten 1994 in Summe eine Kapazität von 117.000 t für eine sortenreine stoffliche und 12.000 t für eine nicht sortenreine stoffliche Verwertung von Kunststoffabfällen. Eine Vergrößerung der Kapazitäten ist kurzfristig möglich. Aufgrund der Tatsache, daß weniger Kunststoffabfälle gesammelt und noch weniger für eine sortenreine stoffliche Verwertung geeignet sind, kann man aber davon ausgehen, daß die Kapazitäten dieser Betriebe in den nächsten Jahren gleich bleiben [ÖKI, 1995]. Über den ÖKK wurden 1994 31.800 t der sortenreinen, getrennten Kunststoffverpackungsfraction einer stofflichen Verwertung zugeführt [ARA, 1995].

Insgesamt wurden 1994 in Österreich 44.200 t sortenreine und 5.000 t gemischte Kunststoffabfälle stofflich verwertet [ÖKI, 1995]. Die innerbetriebliche stoffliche Verwertung von Produktionsabfällen wird nicht berücksichtigt, da darüber keine gesicherten Daten zur Verfügung

stehen. Einer vorsichtigen Schätzung zufolge, beläuft sich diese Masse auf ca. 25.000 t [ÖKI, 1995].

1994 wurden vom Österreichischen Kunststoffkreislauf weitere 42.400 t in die drei Lager auf Zeit mit einer Gesamtkapazität von 110.000 t transportiert [ÖKK, 1996].

Die beiden derzeit in Österreich zur Verfügung stehenden Hausmüllverbrennungsanlagen haben eine Kapazität von ca. 460.000 t/a. 1994 wurden in den Anlagen Flötzersteig und Spittelau 442.500 t Systemmüll verbrannt [Fernwärme AG, 1995]. Eine Anlage in Wels wird ab 1996 weitere 60.000 t Hausmüll pro Jahr thermisch verwerten [BAWP, 1995]. Von den 1990 in Österreich angefallenen 2,06 Mio. t Systemmüll [BAWP, 1992] waren 204.000 t Kunststoffe [BAWP, 1992]; dies entspricht einem Anteil von 10 %. Aufgrund der Verpackungsverordnung kann angenommen werden, daß die Verpackungskunststoffabfallmasse abgenommen hat. Da jedoch die gesamte Kunststoffabfallmasse in den letzten Jahren angestiegen ist, wird angenommen, daß sich dieser Prozentsatz bis 1994 nicht wesentlich verändert hat. Demnach wurden 1994 in den beiden MVA's zusammen mit dem Hausmüll 44.200 t (ab 1996 50.200 t) Kunststoffabfall thermisch verwertet.

Der ÖKK gibt die Kapazität seines Vertragspartners für die thermische Verwertung von Kunststoffabfällen für 1994 mit 5.000 t an. Mittelfristig steht zusätzlich eine Anlage in Lenzing mit 70.000 t/a zur Verfügung [ÖKK, 1995]. Unter Berücksichtigung der Anlagen, welche im Versuchsbetrieb Kunststoffabfälle thermisch verwerten, kann die Kapazität der thermischen Verwertung in Österreich kurz- bis mittelfristig um ein Vielfaches gesteigert werden [Taibinger, 1995]. Siehe dazu auch Kapitel 4.6. Im Jahr 1994 wurden aber, mit Ausnahme von einigen Probeversuchen, keine Verpackungskunststoffe thermisch verwertet.

In der österreichischen Zementindustrie wurden 1994 27.000 t Altreifen als Sekundärbrennstoff einer thermischen Verwertung zugeführt [Braun, 1996].

1994 wurden 11.800 t Kunststoffabfall exportiert [ÖSTAT, 1995]. Die verbleibenden 588.900 t Kunststoffabfälle wurden 1994 deponiert.

Die Tabelle 5-3 stellt den IST-Zustand von 1994 dar, der sich aufgrund der oben angeführten Berechnungen ergibt.

Verwertungs- und Behandlungstypen	1994 in [t]
Sortenreine stoffliche Verwertung	44.200
Gemischte stoffliche Verwertung	5.000
Thermische Verwertung	27.000
Müllverbrennungsanlage	44.200
Anstieg der Lager auf Zeit	42.400
Export	11.800
Deponierung	588.900
Summe - Kunststoffabfälle in Österreich	763.500

Tabelle 5-3: Input in die Variante I: IST-Zustand der Verwertung, Behandlung und Entsorgung von Kunststoffabfällen in Österreich für 1994

Die Abfälle aus der sortenreinen und gemischten stofflichen Verwertung werden ebenso wie die Abfälle aus der thermischen Verwertung und der Müllverbrennung deponiert.

5.7.2 Input in die Varianten IIa und IIb: Höchstmögliche separate Sammlung mit primär stofflich/chemischer Verwertung der Kunststoffabfälle in Österreich

Der Input in die einzelnen Verwertungsverfahren ist bei den Varianten IIa und IIb mit Ausnahme des Inputs in die Müllverbrennungsanlage und die Deponie gleich.

Potential und Eignung der Kunststoffabfälle für verschiedene Verwertungsmöglichkeiten:

Internationalen Studien zufolge sind maximal zwischen 30 und 35 % des Kunststoffabfalles für eine stoffliche Verwertung geeignet [ÖKI, 1995]. Bei einer Kunststoffabfallmasse von 763.500 t pro Jahr entspricht dies einer Masse von ca. 250.000 t. Der Anteil der Kunststoffverpackungen beträgt daran ca. 60 %, der Rest verteilt sich zum Beispiel auf Rohre, Fenster und der gleichen mehr [ÖKI, 1996]. Desweiteren eignen sich ca. 100.000 t für eine chemische Verwertung [Baumann, 1992]; wie oben erwähnt gibt die GUA das Potential der chemischen Verwertung mit 97.000 t ebenfalls in dieser Größenordnung an [GUA, 1992].

Der Verschmutzungsgrad der Kunststoffabfälle soll bei einer sortenreinen stofflichen Verwertung 5 %, bei einer gemischten stofflichen Verwertung 10 % nicht übersteigen [ÖKI, 1995].

Bei der sortenreinen stofflichen Verwertung wird im ersten Schritt Regranulat hergestellt. Nur wenn sortenreine und saubere Kunststoffabfälle in diesen Anlagen verarbeitet werden, kann das Regranulat die mechanischen, chemischen und physikalischen Eigenschaften eines Neumaterials erreichen. Erst im zweiten Schritt werden Fertigprodukte hergestellt. Im Gegensatz dazu werden bei der gemischten stofflichen Verwertung zumeist in einem Arbeitsgang dickwandige Platten oder Profile (KST-Produkt) gepreßt. Die Auswahl der Produkte erfolgt nach den Materialeigenschaften des vermischten Werkstoffes.

Da die Einsatzmöglichkeiten für diesen Werkstoff (gepreßte Kunststoffprodukte) gering sind, sollen von den 250.000 t, die für eine stoffliche Verwertung geeignet sind, in diesen beiden Varianten 90 % einer sortenreinen stofflichen Verwertung und nur 10 % einer gemischten stofflichen Verwertung zugeführt werden. Somit erhält man für die sortenreine stoffliche Verwertung einen Input von 225.000 t und für die gemischte stoffliche Verwertung einen Input von 25.000 t. Bei dieser Aufteilung ist allerdings zu berücksichtigen, daß die Aussortierung eines Kg Kunststoffes bei einer Sortierausbeute von ca. 40 % ca. ÖS 20.- kostet [ÖKI, 1996].

In den bisherigen Ausführungen wurden die realistischen Massen für eine stoffliche und chemische Verwertung zur Gänze ausgeschöpft. Von den 469.200 t erfaßbaren Kunststoffen (siehe Kapitel 5.2) sind 350.000 t "aufgeteilt". Die verbleibenden 119.200 t werden daher einer thermischen Verwertung zugeführt. Daß zum Beispiel bei der Pyrolyse etwas mehr Reststoffe

als bei der thermischen Verwertung in Müllverbrennungsanlagen anfallen wird nicht berücksichtigt.

Wie oben erwähnt, können von den 763.500 t Kunststoffabfällen nur 469.200 t erfaßt werden. Die verbleibenden 294.300 t müssen zusammen mit den anderen Abfällen (Systemmüll, Sperrmüll, Baustellenabfälle, ...) verwertet oder entsorgt werden. In diesem Punkt unterscheiden sich auch die Varianten IIa und IIb.

5.7.2.1 Input in die Müllverbrennungsanlage und Deponie bei der Variante IIa:

Nach [GUA, 1992] sind von 524.000 t Kunststoffabfall 249.000 t im Hausmüll, von denen 157.000 t erfaßbar sind. Somit sind ca. 63 % der Kunststoffe im Hausmüll erfaßbar. Die restlichen 92.000 t Kunststoffe müssen demnach zusammen mit dem Hausmüll verwertet oder behandelt werden. 1993 wurden von den nach getrennter Sammlung verbleibenden ca. 1,67 Mio. t System- und Sperrmüll 410.000 t thermisch verwertet [BAWP, 1995]. Dies entspricht einem Prozentsatz von ca. 25 %. Der Rest wurde direkt auf die Mülldeponie verfrachtet. Wenn man die oben ermittelten 92.000 t Kunststoffe, die nicht aus dem Hausmüll erfaßbar sind, ebenfalls zu 25 % zusammen mit dem Hausmüll einer thermischen Verwertung zuführen, so ergibt dies eine Masse von 22.600 t Kunststoffen die zusammen mit dem Hausmüll thermisch verwertet wird. Zieht man diese Masse von den nicht erfaßbaren Kunststoffabfällen ab, so erhält man eine Masse von 271.700 t, die deponiert werden muß.

Verwertungs- und Behandlungstypen	Angaben in [t]
Sortenreine stoffliche Verwertung	225.000
Chemische Verwertung	100.000
Gemischte stoffliche Verwertung	25.000
Thermische Verwertung	119.200
Müllverbrennungsanlage	22.600
Deponierung	271.700
Summe - Kunststoffabfälle in Österreich	763.500

Tabelle 5-4: Input in die Variante IIa: Höchstmögliche separate Sammlung mit primär stofflich/chemischer Verwertung der Kunststoffabfälle in Österreich

Die Abfälle aus der sortenreinen und gemischten stofflichen Verwertung werden ebenso wie die Abfälle aus der chemischen und thermischen Verwertung sowie aus der Müllverbrennung deponiert.

5.7.2.2 Input in die "Müllverbrennungsanlage" und "Deponie" bei der Variante IIb

In dieser Variante wird davon ausgegangen, daß die Deponieverordnung [DVO, 1996] umgesetzt wird. Um dies zu erreichen, wird angenommen, daß in einer Übergangszeit ca. 80 % der österreichischen Kunststoffabfälle entweder zusammen mit dem Hausmüll und hausmüllähn-

lichen Industrie- und Gewerbeabfällen in Hausmüllverbrennungsanlagen oder zum Beispiel die thermisch verwertbaren Fraktionen der Baustellenabfälle ebenfalls thermisch verwertet werden. Die verbleibenden 20 % (der gesamten österreichischen Kunststoffabfälle) können nicht thermisch verwertet werden, da sie entweder nicht erfaßbar sind oder sich nicht für eine thermische Verwertung eignen.

20 % der österreichischen Kunststoffabfälle, dies entspricht einer Masse von 152.700 t müssen deponiert werden. Nach Abzug dieser Masse von den oben erwähnten verbleibenden 294.300 t erhält man eine Masse von 141.600 t, die zusammen mit dem Hausmüll etc. einer thermischen Verwertung zugeführt werden kann. Um sie von der oben beschriebenen Masse, welche in eine thermische Verwertung geht, unterscheiden zu können, wird diese Masse in der folgenden Tabelle in der Rubrik Müllverbrennungsanlage angeführt.

Verwertungs- und Behandlungstypen	Angaben in [t]
Sortenreine stoffliche Verwertung	225.000
Chemische Verwertung	100.000
Gemischte stoffliche Verwertung	25.000
Thermische Verwertung	119.200
Müllverbrennungsanlage	141.600
Deponierung	152.700
Summe - Kunststoffabfälle in Österreich	763.500

Tabelle 5-5: Input in die Variante IIb: Höchstmögliche separate Sammlung mit primär stofflich/chemischer Verwertung der Kunststoffabfälle in Österreich

Die Abfälle aus der sortenreinen und gemischten stofflichen Verwertung werden thermisch verwertet. Die Abfälle aus der Müllverbrennung und thermischen Verwertung werden ebenso wie die Abfälle aus der chemischen Verwertung deponiert.

5.7.3 Input in die Variante IIIa: Höchstmögliche separate Sammlung mit primär thermischer Verwertung der Kunststoffabfälle in Österreich

Potential und Eignung:

Die Verpackungsverordnung verlangt von den Selbstentpflichtern ab 1. Juli 1996 eine Erfassungsquote für Kunststoffverpackungen von 60 %. Bei Umlegung dieser Quote auf alle Kunststoffverpackungsabfälle und bei einer großzügig angenommenen Kunststoffverpackungsabfallmasse von 250.000 t/a ergibt dies eine Masse von jährlich ca. 150.000 t. Die Verordnung schreibt weiter vor, daß zumindest 40 % der erfaßten Kunststoffabfälle einer stofflichen Verwertung zugeführt werden müssen [VerpackVO, 1995], was einer Masse von knapp 60.000 t/a entspricht. (Berechnet man diese Masse nach den Vorgaben der Zielverordnung würde sie 57.600 t betragen.) Diese Masse wird in dieser Variante der sortenreinen stofflichen Verwertung zugeführt.

Wie in den Varianten IIa und IIb dargestellt, können 469.200 t Kunststoffabfälle erfaßt werden. Nach Abzug der 60.000 t, die einer stofflichen Verwertung zugeführt werden, verbleiben 409.200 t für eine thermische Verwertung.

Die verbleibenden, nicht erfaßbaren Kunststoffabfälle verteilen sich auf die Abfallströme (Systemmüll, Sperrmüll, Krankenhaus-, Baustellenabfälle u.s.w.) und werden zusammen mit diesen behandelt, verwertet oder entsorgt. Aus der Variante II kann man daher 22.600 t Kunststoffabfälle übernehmen, die zusammen mit dem Hausmüll über Müllverbrennungsanlagen thermisch verwertet werden.

Die verbleibenden 271.700 t Kunststoffabfall müssen, da sie nicht erfaßbar sind, deponiert werden.

Verwertungs- und Behandlungstypen	Angaben in [t]
Sortenreine stoffliche Verwertung	60.000
Thermische Verwertung	409.200
Müllverbrennungsanlagen	22.600
Deponierung	271.700
Summe - Kunststoffabfälle in Österreich	763.500

Tabelle 5-6: Input in die Variante IIIa: Höchstmögliche separate Sammlung mit primär thermischer Verwertung der Kunststoffabfälle in Österreich

Die Abfälle aus der sortenreinen stofflichen Verwertung, der thermischen Verwertung und der Müllverbrennung werden deponiert (vergleiche Variante IIa).

5.7.4 Input in die Variante IIIb: Minimale (derzeit vorgeschriebene) separate Sammlung und primär thermische Verwertung von Kunststoffabfällen in Österreich

Potential und Eignung:

Folgende Annahmen werden für diese Variante getroffen:

- 150.000 t Kunststoffabfälle werden separat gesammelt. Davon werden 60.000 t einer stofflichen Verwertung (vgl. [VerpackVO, 1995]) und 90.000 t einer thermischen Verwertung zugeführt.
- Um die Deponieverordnung zu erfüllen - einen TOC von <5 % zu erreichen -, werden 80 % der gesamten österreichischen Kunststoffabfälle thermisch verwertet. Eine 100 % -ige thermische Verwertung des Restmülls erscheint kurzfristig nicht realistisch (vergleiche Variante IIb). 20 % oder 152.700 t Kunststoffabfälle können nicht erfaßt werden beziehungsweise eignen sich *nicht* für eine thermische Verwertung.
- Die verbleibende Kunststoffabfallmasse wird zusammen mit den Abfallströmen (Systemmüll, Sperrmüll, Krankenhaus-, Baustellenabfälle u.s.w.) verwertet, behandelt oder entsorgt.

Die Verpackungsverordnung verlangt ab 1. Juli 1996 eine Erfassungsquote für Kunststoffverpackungen von 60 %. Bei einer großzügig angenommenen Kunststoffverpackungsabfallmasse von 250.000 t/a ergibt dies eine Masse von jährlich ca. 150.000 t. Die Verordnung schreibt weiter vor, daß zumindest 40 % der erfaßten Kunststoffabfälle einer stofflichen Verwertung zugeführt werden müssen [VerpackVO, 1995], was einer Masse von knapp 60.000 t/a entspricht. Diese Masse wird in dieser Variante der stofflichen Verwertung zugeführt. Die restlichen 90.000 t werden einer thermischen Verwertung zugeführt.

20 % der gesamten in Österreich anfallenden Kunststoffabfälle werden deponiert, da sie entweder nicht erfaßbar sind oder sich nicht für eine thermische Verwertung eignen. Dies entspricht einer Masse von 152.700 t.

Die verbleibenden 460.800 t nicht erfaßten Kunststoffabfälle werden entweder zusammen mit den Abfallströmen (Haus- und Systemmüll, Krankenhausabfälle u.s.w.) thermisch verwertet, oder es werden die thermisch verwertbaren Fraktionen, zum Beispiel der Baustellenabfälle) einer thermischen Verwertung zugeführt (vergleiche Variante IIb).

Verwertungs- und Behandlungstypen	Angaben in [t]
Stoffliche Verwertung	60.000
Thermische Verwertung	90.000
Müllverbrennungsanlagen	460.800
Deponierung	152.700
Summe - Kunststoffabfälle in Österreich	763.500

Tabelle 5-7: Input in die Variante IIIb: Minimale (derzeit vorgeschriebene) separate Sammlung und primär thermische Verwertung von Kunststoffabfällen in Österreich

Die Abfälle aus der sortenreinen stofflichen Verwertung werden thermisch verwertet (vergleiche Variante IIb). Die Abfälle aus der thermischen Verwertung und der Müllverbrennung werden deponiert.

Die Kapazitäten für die oben dargestellte thermische Verwertung können aus technischer Sicht in 1 bis 5 Jahren bereitgestellt werden. Voraussetzung dafür ist, daß technisch korrekte Anlagen auch genehmigt werden [Taibinger, 1996]. Derzeit werden in 8 Zementwerken Alt-reifen sowie Kunststoffabfälle im Versuchsbetrieb energetisch genutzt [BAWP, 1995].

5.7.5 Input in die Variante IIIc: Keine separate Sammlung von Kunststoffabfällen in Österreich aber mit „Deponieverordnung“

Potential und Eignung:

Folgende Annahmen werden für diese Variante getroffen:

- Um einen TOC von <5 % im Deponiegut zu erreichen, werden 80 % der österreichischen Kunststoffabfälle thermisch verwertet. Eine 100 %-ige thermische Verwertung des Restmülls erscheint kurzfristig nicht realistisch.

- Die verbleibende Kunststoffabfallmasse wird zusammen mit den Abfallströmen (Systemmüll, Sperrmüll, Krankenhaus-, Baustellenabfälle u.s.w.) verwertet, behandelt oder entsorgt.

Von den 763.500 t Kunststoffabfällen werden 80 % zusammen mit den anderen Abfallströmen einer thermischen Verwertung zugeführt. Dies entspricht einer Masse von 610.800 t Kunststoffabfall.

Die verbleibenden 152.700 t Kunststoffabfall werden, da sie nicht erfaßt wurden, nicht erfaßbar sind oder sich nicht für eine thermische Verwertung eignen, deponiert.

Verwertungs- und Behandlungstypen	Angaben in [t]
Müllverbrennungsanlagen	610.800
Deponierung	152.700
Summe - Kunststoffabfälle in Österreich	763.500

Tabelle 5-8: Input in die Variante IIIc: Keine separate Sammlung von Kunststoffabfällen in Österreich aber mit „Deponieverordnung“

Die folgende Abbildung soll einen besseren Überblick über den Input in die Varianten liefern. Dabei werden die sortenreine und gemischte stoffliche Verwertung zur Rubrik stoffliche Verwertung und die thermische Verwertung mit der Müllverbrennungsanlage zur Rubrik thermische Verwertung zusammengefaßt.

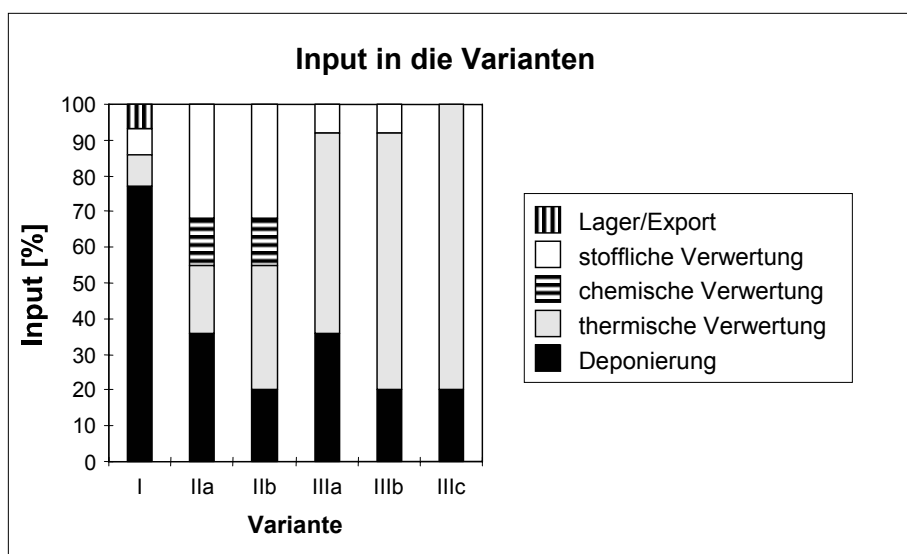


Abbildung 5-1: Übersicht über den Input in die Varianten I bis IIIc in %

5.8 Güter- und Stoffflüsse der verschiedenen Varianten

Um die Güter- und Stoffflüsse der verschiedenen Varianten berechnen zu können, muß neben der Inputmasse (siehe Kapitel 5.7 *Input in die ausgewählten Varianten*) folgendes ermittelt werden:

1. Welche Massen an C, Ba, Cd, Cl, Pb und Zn befinden sich im österreichischen Kunststoffabfall?
2. Wie hoch sind die Konzentrationen der ausgewählten Elemente in den bilanzierten Gütern?
3. Wie verteilen sich die Güter und Stoffe bei den verschiedenen Verfahren zur Verwertung/Behandlung von Kunststoffabfällen?

Diese Fragen werden in den nachstehenden Kapiteln beantwortet.

5.8.1 Stoffkonzentrationen von C, Ba, Cd, Cl, Pb und Zn im gesamten österreichischen Kunststoffabfall

Die nachfolgende Tabelle zeigt, in welchen Konzentrationen die ausgewählten Stoffe im gesamten österreichischen Kunststoffabfall enthalten sind. Da keine Daten über die Stoffe im Kunststoffabfall verfügbar sind, müssen Literaturangaben zum Beispiel aus der Schweiz herangezogen werden. Da das Konsumverhalten in der Schweiz und in Österreich ähnlich ist, kann diese Datenquelle verwendet werden. Die Konzentration von Barium und Chlor im österreichischen Kunststoffabfall wurde berechnet, siehe *Anhang 7*.

Tabelle 5-8: Konzentrationen und Massen der ausgewählten Stoffe im österreichischen Kunststoffabfall 1994, Quelle: siehe *Anhang 7*

Gut /	Stoffe	C	Ba	Cd	Cl	Pb	Zn
Kunststoffabfall in	[mg/Kg]	760.000	1.800	50	41.000	450	700
Österreich, 1994	[t]	580.000	1.400	38	32.000	340	530

5.8.2 Die Konzentrationen der ausgewählten Elemente in den bilanzierten Gütern der verschiedenen Verfahren zur Verwertung/Behandlung

5.8.2.1 "Sortenreine stoffliche Verwertung":

Die Berechnungen sowie die genauen Zahlenwerte befinden sich im *Anhang 8*. Das *Regranulat* wurde analysiert, die Konzentrationen in den anderen Gütern wurde aus Literaturdaten und eigenen Abschätzungen ermittelt. Die gerundeten Werte sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt:

Tabelle 5-9: Konzentrationen der ausgewählten Stoffe in den Gütern bei der sortenreinen stofflichen Verwertung

Güter /	Stoffe	C	Ba	Cd	Cl	Pb	Zn
KST-Abfall I	[mg/Kg]	810.000	1.040	21	2.400	250	580
Aufgabebandabfälle	[mg/Kg]	620.000	1.850	53	13.000	1.090	1.500
Restfraktion	[mg/Kg]	500.000	1.360	35	7.000	410	530
Entgasungsrückstände	[mg/Kg]	840.000	960	18	1.400	190	530
Schmelzefilterrückstände	[mg/Kg]	840.000	960	18	1.400	190	530
Dickschlamm	[mg/Kg]	500.000	1.360	35	7.000	410	530
Regranulat	[mg/Kg]	840.000	960	18	1.400	190	530

5.8.2.2 "Gemischte stoffliche Verwertung":

Die Berechnungen sowie die genauen Zahlenwerte befinden sich im *Anhang 9*. Das *KST-Produkt* wurde analysiert, die Konzentrationen in den anderen Gütern wurde aus Literaturdaten und eigenen Abschätzungen ermittelt. Die gerundeten Werte sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt:

Tabelle 5-10: Konzentrationen der ausgewählten Stoffe in den Gütern bei der gemischten stofflichen Verwertung

Güter /	Stoffe	C	Ba	Cd	Cl	Pb	Zn
KST-Abfall I	[mg/Kg]	720.000	1.100	32	13.000	400	430
KST-Produkt	[mg/Kg]	770.000	1.100	30	11.000	370	360
Aufgabebandabfälle	[mg/Kg]	240.000	1.130	48	27.000	690	1.000

5.8.2.3 "Chemische Verwertung":

Von den verschiedenen Möglichkeiten zur chemischen Verwertung von Kunststoffabfällen wurde die Hydrolyse ausgewählt, da nur für diesen Typ der chemischen Verwertung Literaturdaten für einen Einsatz von 100 % Mischkunststoffen zur Verfügung standen. Die Berechnungen sowie die genauen Zahlenwerte befinden sich im *Anhang 10*, die gerundeten Werte in der nachfolgenden Tabelle.

Tabelle 5-11: Konzentrationen der ausgewählten Stoffe in den Gütern bei der chemischen Verwertung

Güter /	Stoffe	Kohlenstoff	Barium	Cadmium	Chlor	Blei	Zink
Input	[mg/Kg]	760.000	1.800	50	27.000	450	700
Syncrud	[mg/Kg]	800.000	0	0	0	0	0
Bitumen	[mg/Kg]	680.000	5.100	140	77.000	1.300	2.000

5.8.2.4 "Thermische Verwertung, Müllverbrennungsanlage, Deponie":

Bei diesen Verfahren zur Verwertung und Entsorgung von Kunststoffabfällen ist die Konzentration der ausgewählten Stoffe im Inputgut von Variante zu Variante unterschiedlich. In der Variante II wird sehr viel Kunststoffabfall stofflich verwertet. In erster Linie handelt es sich bei diesen Massen um Polyolefine während zum Beispiel PVC aussortiert wird. Der Kohlenstoffanteil bei Polyolefinen ist im Vergleich zu PVC ca. doppelt so hoch. Das Aussortieren von Polyolefinen aus dem Hausmüll bewirkt demnach, daß der Kohlenstoffanteil im Kunststoffabfall, der in eine Hausmüllverbrennungsanlage, eine thermische Verwertung oder auf eine Hausmülldeponie geht, umso geringer ist, je mehr Kunststoffabfälle aussortiert werden. Die Konzentrationen der ausgewählten Stoffe in den Gütern sind demnach bei allen Varianten verschieden und werden daher nicht angeführt.

5.8.2.5 "Lager auf Zeit":

Anhand der Angaben über die Sammel- und Verwertungsmassen des ÖKK [1995] lassen sich auch die Massen der verschiedenen Kunststoffsorten ermitteln, die 1994 in einem Lager auf Zeit zwischengelagert wurden. Darauf aufbauend wurden die Konzentrationen in diesem Gut ermittelt. Die Berechnungen sowie die genauen Zahlenwerte befinden sich im *Anhang 12*. Die gerundeten Werte sind der Tabelle 5-12 zu entnehmen.

5.8.2.6 "Export" von Kunststoffabfällen

In der Außenhandelsstatistik des ÖSTAT [1995] sind die exportierten Kunststoffabfälle nach Kunststoffsorten aufgeschlüsselt. Anhand dieser Daten wurden die Konzentrationen der ausgewählten Stoffe in diesem Gut bestimmt. Die Berechnungen sowie die genauen Zahlenwerte befinden sich im *Anhang 12*. Die gerundeten Werte sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 5-12: Konzentrationen der ausgewählten Stoffe in den Gütern beim Lager auf Zeit und beim Export von Kunststoffabfällen, 1994

Kunststoffabfall/	Stoffe	C	Ba	Cd	Cl	Pb	Zn
KST-Lager	[mg/Kg]	720.000	1.000	29	17.000	390	430
KST-Export	[mg/Kg]	700.000	3.300	85	63.000	800	530

5.8.3 **Verteilung der Güter und Stoffe bei den verschiedenen Verfahren zur Verwertung/Behandlung von Kunststoffabfällen**

Die Berechnungen sowie die genauen Zahlenwerte zu den Flußdiagrammen, die in den folgenden Abbildungen dargestellt sind, befinden sich in den Anhängen. (Sortenreine stoffliche Verwertung siehe *Anhang 8*, Gemischte stoffliche Verwertung siehe *Anhang 9*, Chemische

Verwertung siehe *Anhang 10*, Thermische Verwertung siehe *Anhang 11*, Lager auf Zeit, Export und Deponie siehe *Anhang 12*)

Es gibt verschiedene Möglichkeiten zur thermischen Verwertung von Kunststoffabfällen. Sofern diese Anlagen über eine moderne Rauchgasreinigungsanlage verfügen, und davon wird bei diesem Variantenvergleich ausgegangen, unterscheiden sich die Produkte der Verbrennung nur unwesentlich. Für die Schlußfolgerungen dieses Berichtes ist es daher zulässig, für die thermische Verwertung die selben Verteilungen wie bei der Hausmüllverbrennung heranzuziehen.

Da es bei den Verfahren „Lager auf Zeit“, „Export“ und „Deponierung“ nur ein Outputgut (KST_{Lager} , KST_{Export} , KST_{Deponie}) gibt, befindet sich die gesamte Masse der Güter und Stoffe des Inputs im Outputgut.

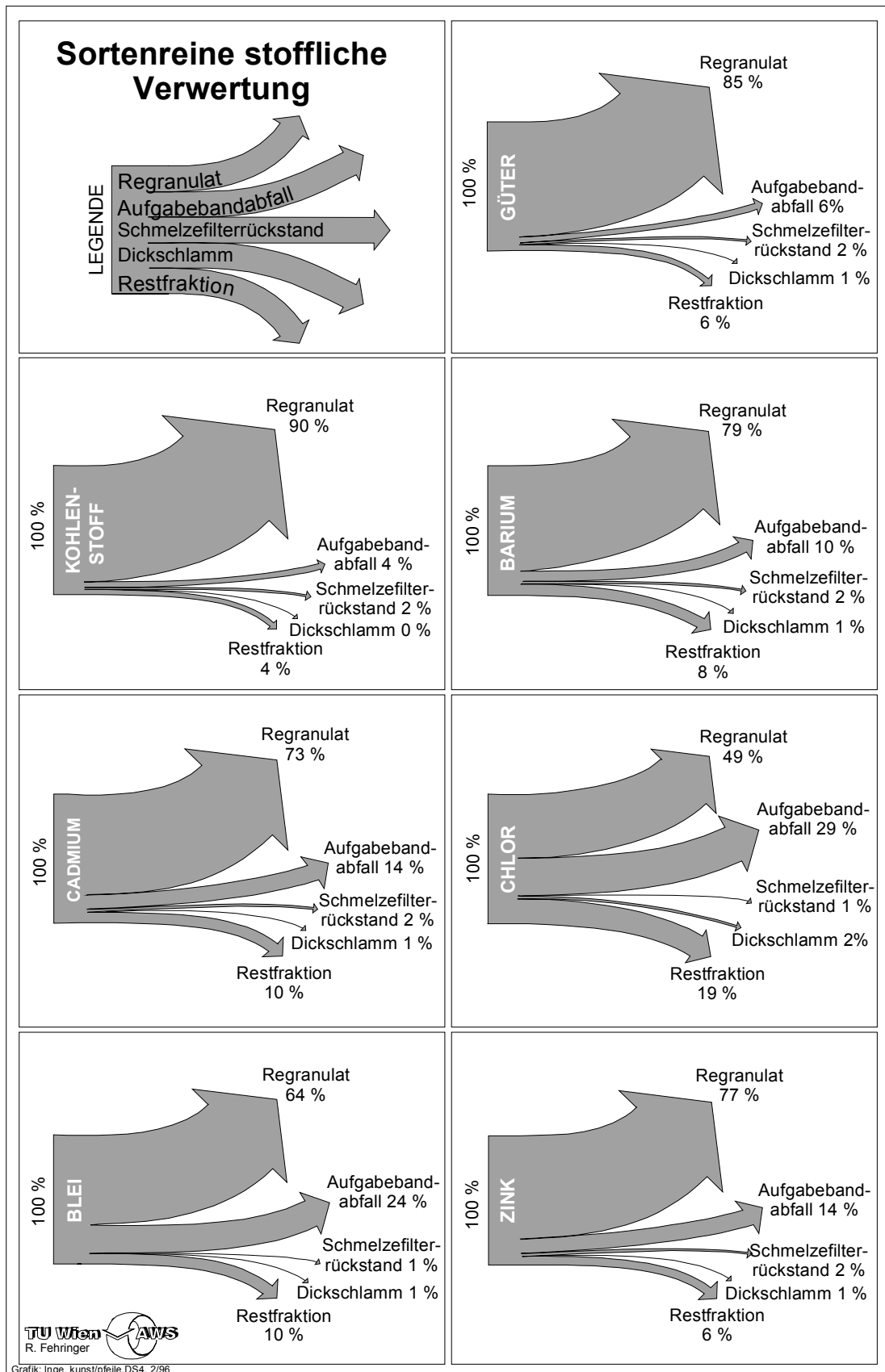


Abbildung 5-2: Verteilung der Güter und Stoffe bei der „Sortenreinen stofflichen Verwertung“

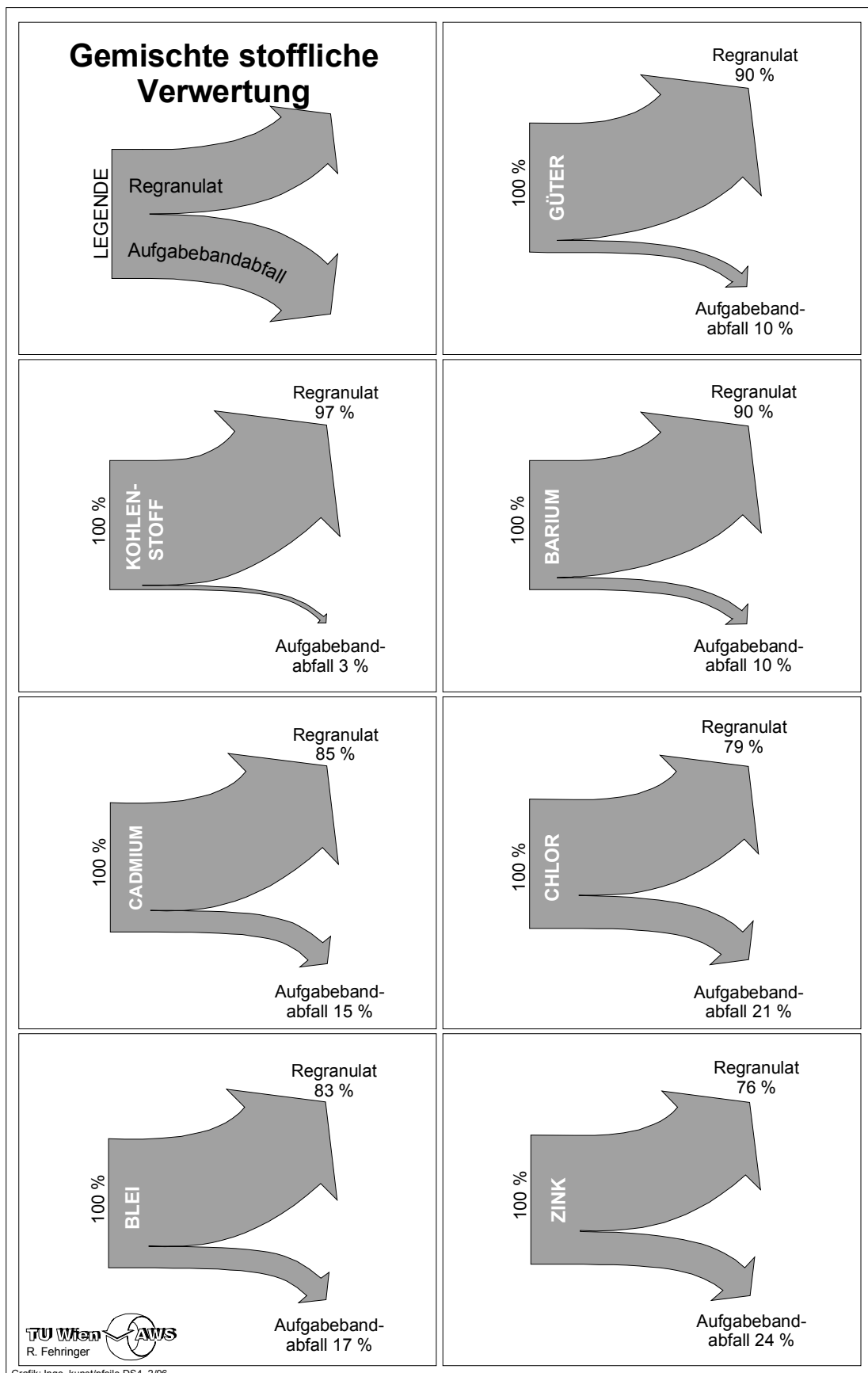


Abbildung 5-3: Verteilung der Güter und Stoffe bei der „Gemischten stofflichen Verwertung“

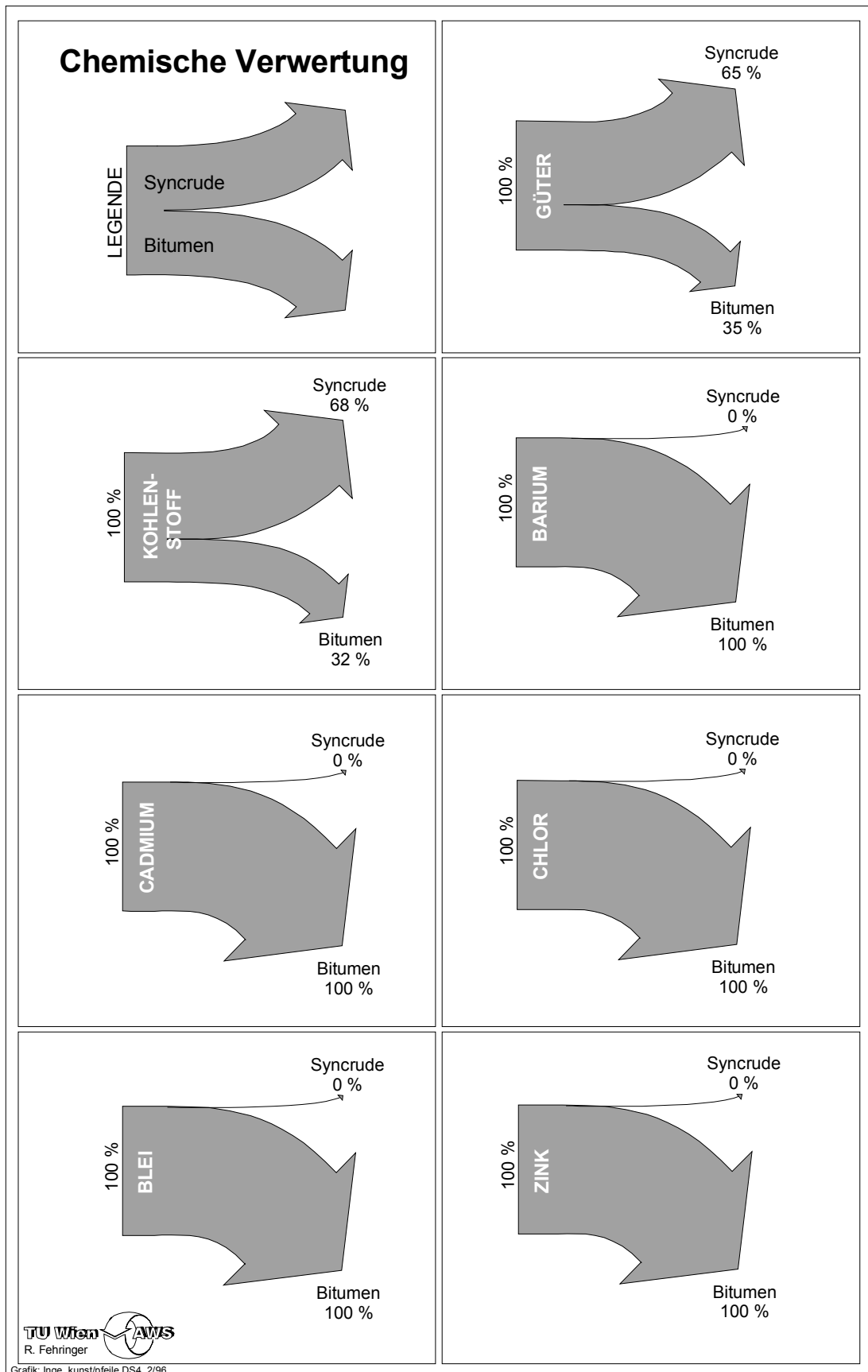


Abbildung 5-4: Verteilung der Güter und Stoffe bei der „Chemischen Verwertung“

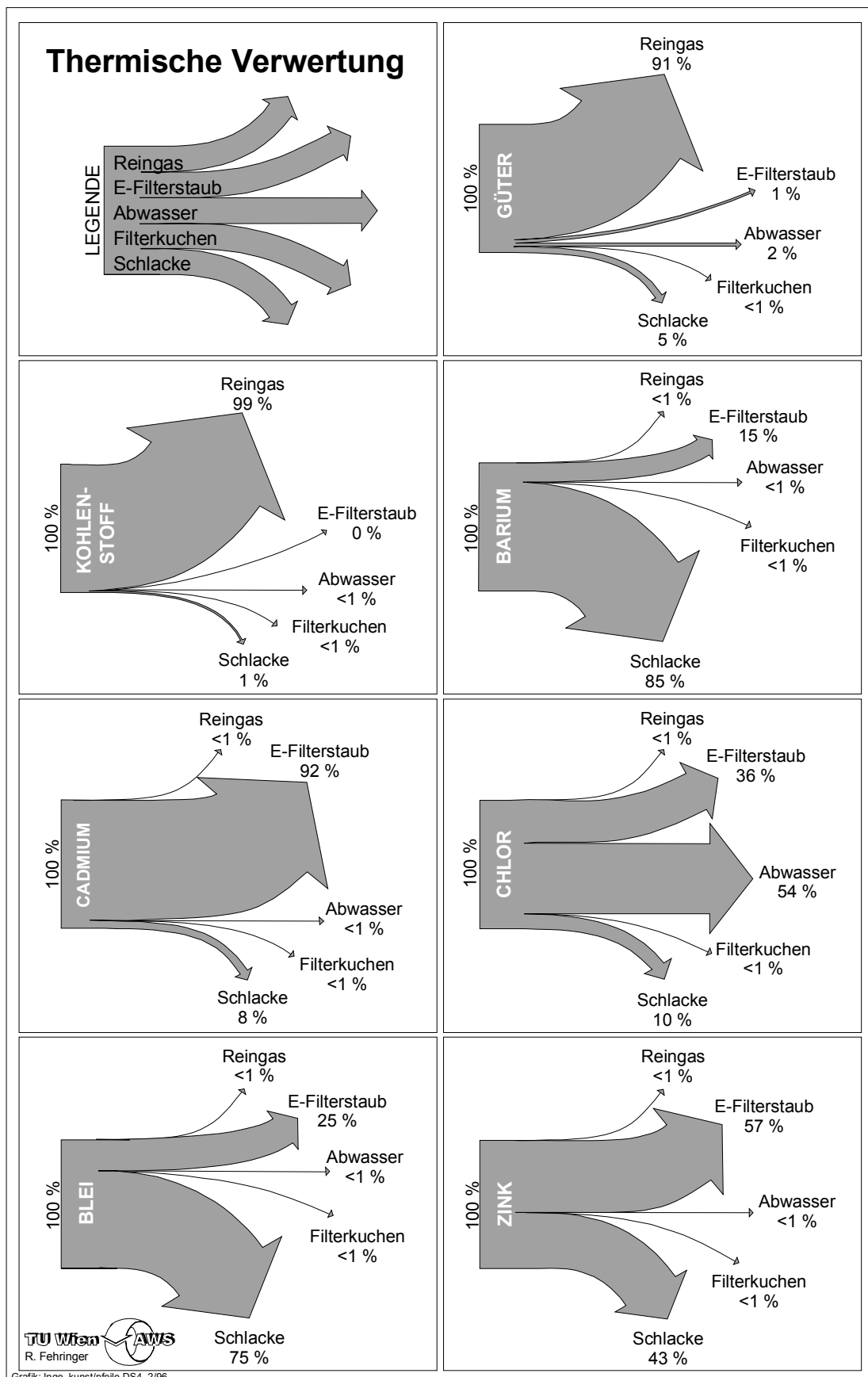


Abbildung 5-5: Verteilung der Güter und Stoffe bei der „Thermischen Verwertung“

5.8.4 Güter- und Stoffflüsse der Varianten I bis IIIc und deren Zielprozesse

Das Kapitel 5.4 *Welche Güterflüsse werden bilanziert?* gibt auch Auskunft darüber, welches die Zielprozesse der, bei den einzelnen Verfahren zur Verwertung/Behandlung von Kunststoffabfällen anfallenden, Güterflüsse sind. Die nachstehende Tabelle faßt die Güter zusammen, die bei den Varianten, mit Ausnahme der Variante IIb, in die selben Zielprozesse gehen. Wie im Kapitel 5.3 *Auswahl der Verfahren* erwähnt, unterscheiden sich die Varianten IIa und IIb nicht durch den Input, sondern durch die unterschiedlichen Zielprozesse der Outputgüter. Bei den Varianten IIb und IIIb werden die Abfälle aus der stofflichen Verwertung nicht deponiert, sondern thermisch verwertet. Daher ist bei diesen Varianten die Mülldeponie nur für das Gut $KST_{Deponie}$ der Zielprozeß.

Tabelle 5-13: Zielprozesse der Güter

Zielprozeß	Güter
Verarbeitung	Regranulat KST-Produkt Syncrud
Mülldeponie	Aufgabebandabfälle Restfraktion Schmelzefilterrückstände Entgasungsrückstände Dickschlamm $KST_{Deponie}$
Reststoffdeponie	Schlacke Bitumen
Untertagedeponie	E-Filterstaub Filterkuchen
Wasser	Abwasser
Luft	Reingas
Lager	KST_{Lager}
Export	KST_{Export}

Die Frage, welche Güter- und Stoffflüsse bei den verschiedenen Varianten verursacht werden, wird im *Anhang 13* beantwortet. Dort sind die genauen Zahlenwerte festgehalten für a) welche Güter- und Stoffflüsse werden verursacht und b) welches sind die Zielprozesse dieser Güter- und Stoffflüsse.

Die nachfolgenden Diagramme zeigen, wie sich die einzelnen Güter- und Stoffflüsse bei den verschiedenen Varianten auf die Zielprozesse aufteilen. Um die Übersicht zu bewahren, wurden jeweils nur die vier größten Flüsse je Gut oder Stoff explizit dargestellt. Die beiden kleinsten, sowie auch bei der Variante I die Outputgüter KST_{Lager} und KST_{Export} wurden unter *Sonstige* zusammengefaßt.

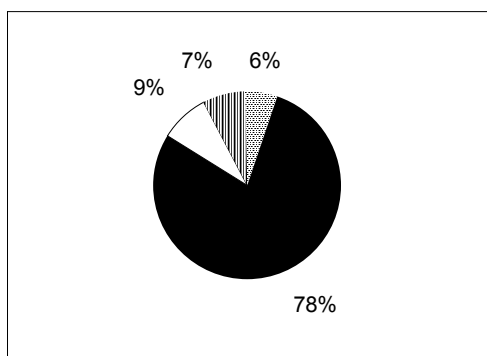


Abb. 5-6: Zielprozesse der Güterflüsse bei der Variante I

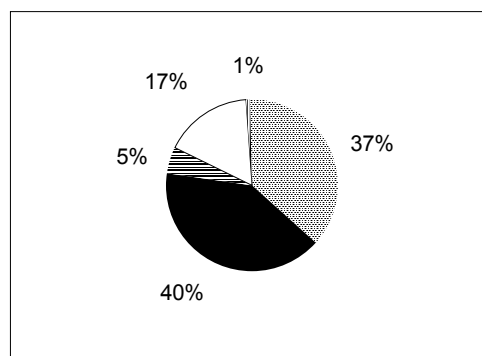


Abb. 5-7: Zielprozesse der Güterflüsse bei der Variante IIa

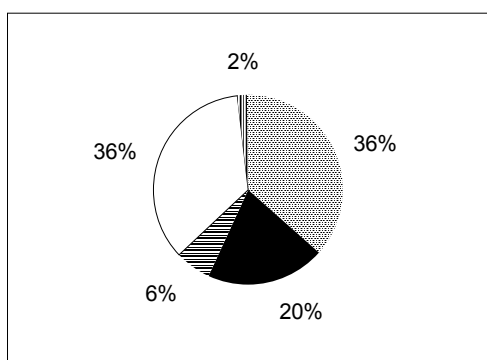


Abb. 5-8: Zielprozesse der Güterflüsse bei der Variante IIb

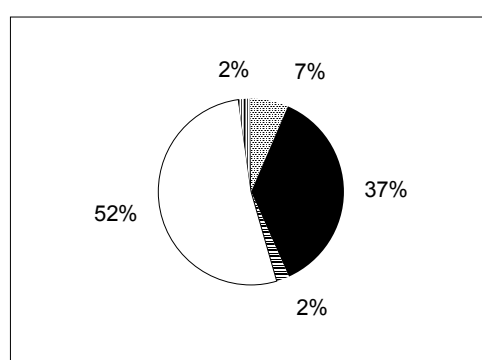


Abb. 5-9: Zielprozesse der Güterflüsse bei der Variante IIIa

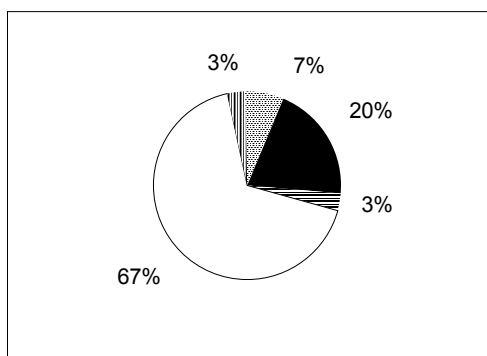


Abb. 5-10: Zielprozesse der Güterflüsse bei der Variante IIIb

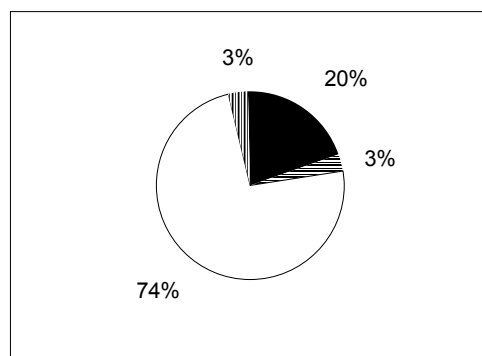


Abb. 5-11: Zielprozesse der Güterflüsse bei der Variante IIIc

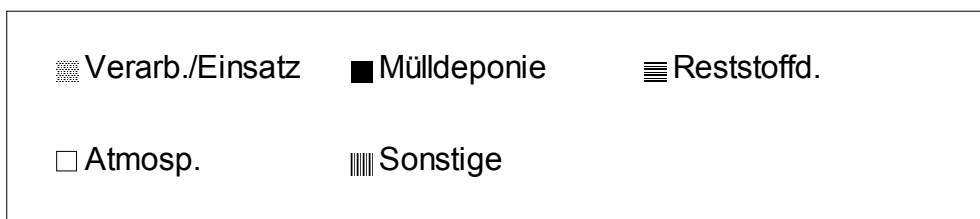


Abb. 5-12: Legende zu den Güterflüssen

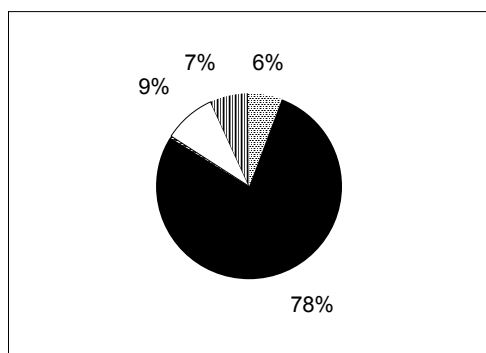


Abb. 5-13: Zielprozesse der Kohlenstoffflüsse bei der Variante I

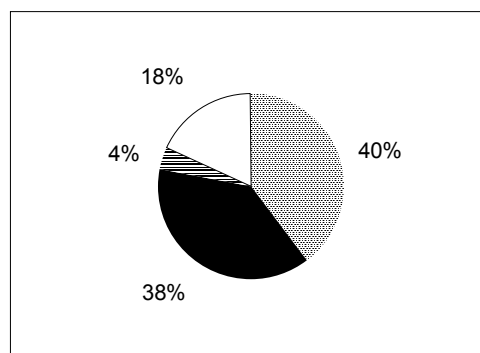


Abb. 5-14: Zielprozesse der Kohlenstoffflüsse bei der Variante IIa

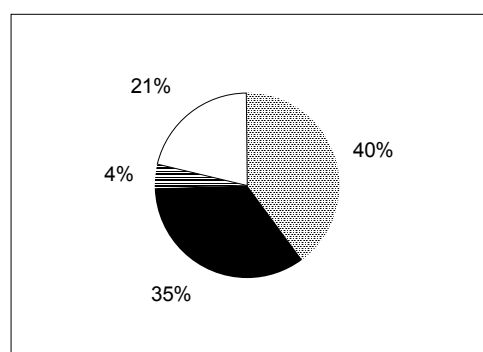


Abb. 5-15: Zielprozesse der Kohlenstoffflüsse bei der Variante IIb

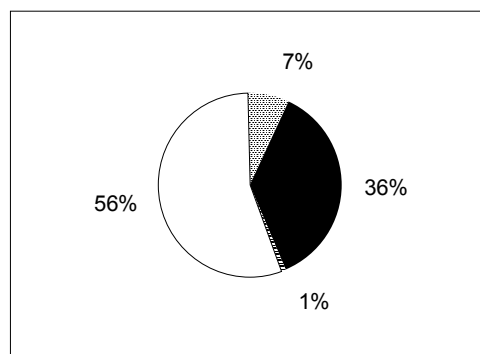


Abb. 5-16: Zielprozesse der Kohlenstoffflüsse bei der Variante IIIa

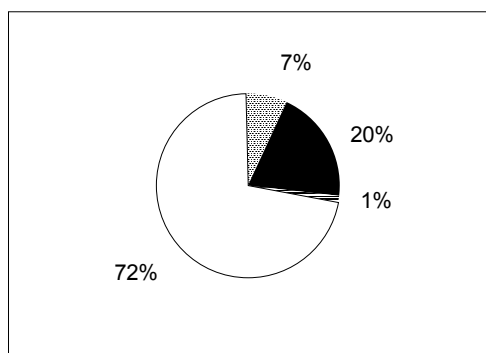


Abb. 5-17: Zielprozesse der Kohlenstoffflüsse bei der Variante IIIb

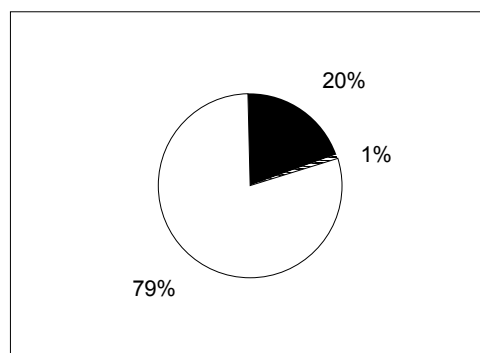


Abb. 5-18: Zielprozesse der Kohlenstoffflüsse bei der Variante IIIc

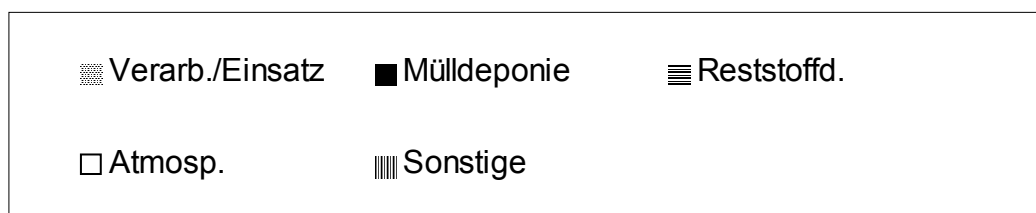


Abb. 5-19: Legende zu den Kohlenstoffflüssen

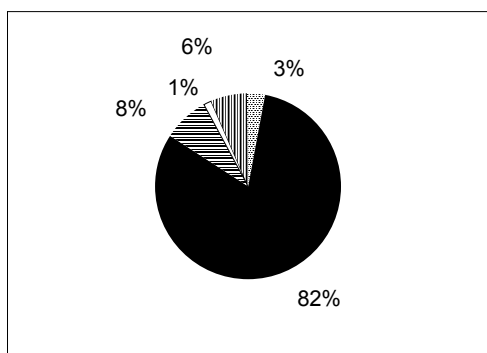


Abb. 5-20: Zielprozesse der Bariumflüsse bei der Variante I

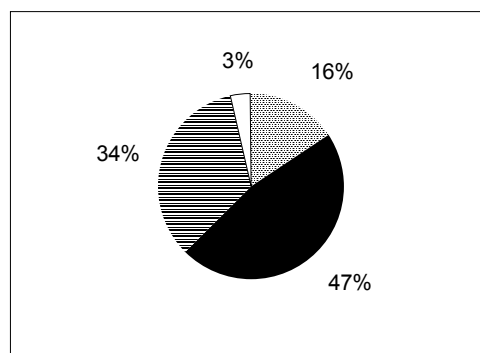


Abb. 5-21: Zielprozesse der Bariumflüsse bei der Variante IIa

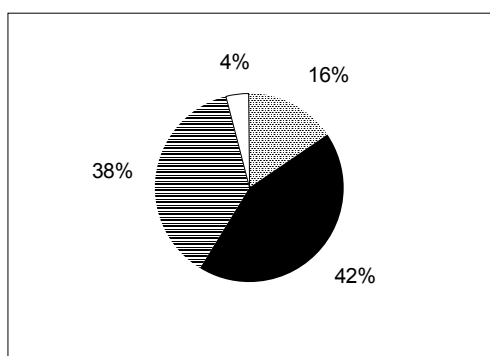


Abb. 5-22: Zielprozesse der Bariumflüsse bei der Variante IIb

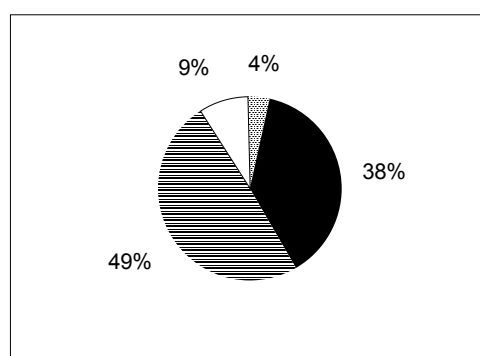


Abb. 5-23: Zielprozesse der Bariumflüsse bei der Variante IIIa

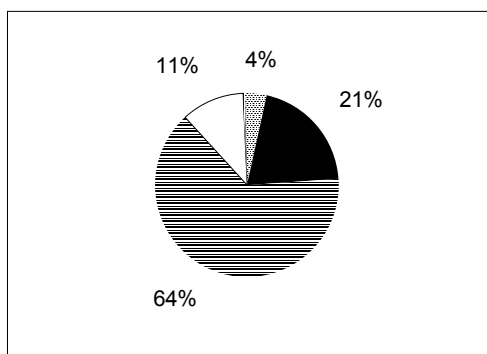


Abb. 5-24: Zielprozesse der Bariumflüsse bei der Variante IIIb

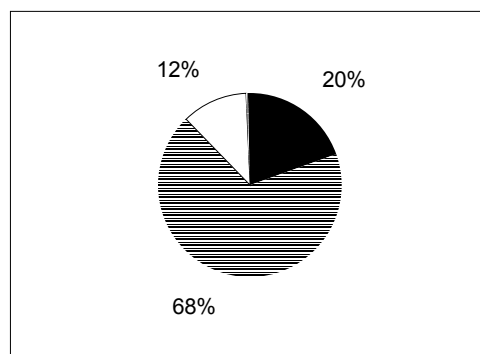


Abb. 5-25: Zielprozesse der Bariumflüsse bei der Variante IIIc

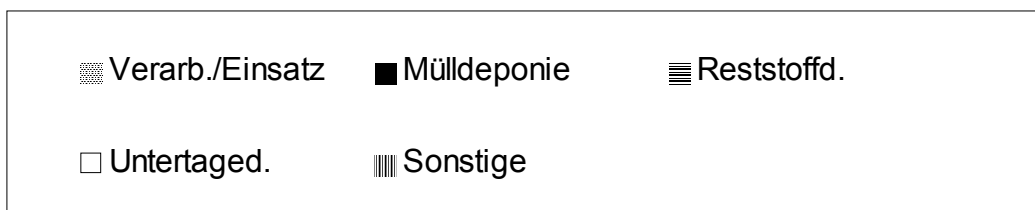


Abb. 5-26: Legende zu den Bariumflüssen

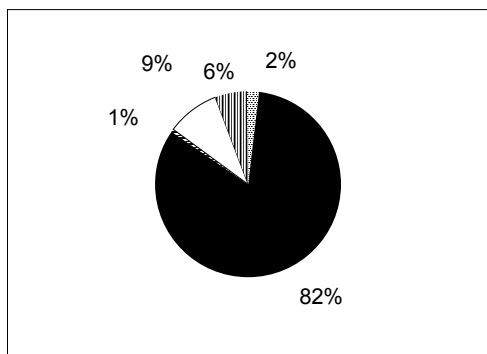


Abb. 5-27: Zielprozesse der Cadmiumflüsse bei der Variante I

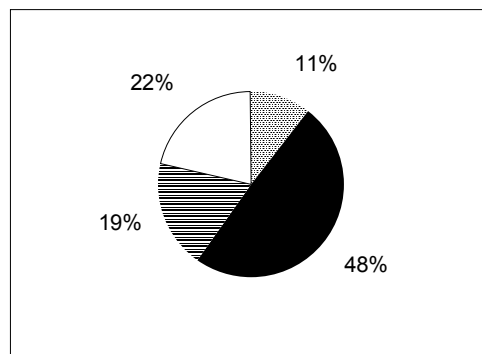


Abb. 5-28: Zielprozesse der Cadmiumflüsse bei der Variante IIa

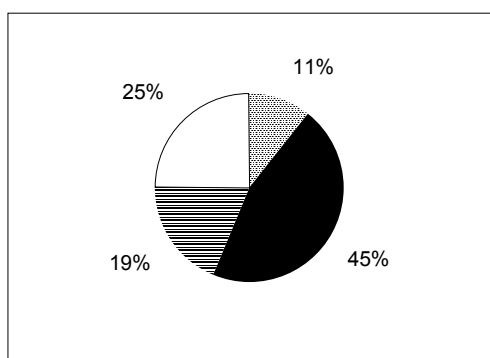


Abb. 5-29: Zielprozesse der Cadmiumflüsse bei der Variante IIb

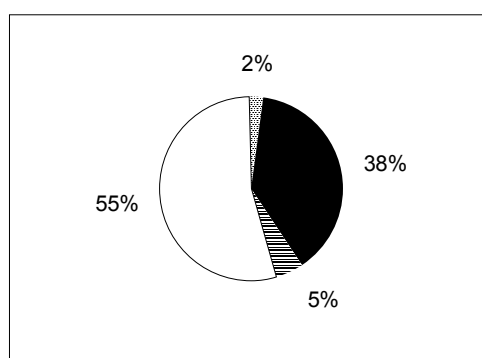


Abb. 5-30: Zielprozesse der Cadmiumflüsse bei der Variante IIIa

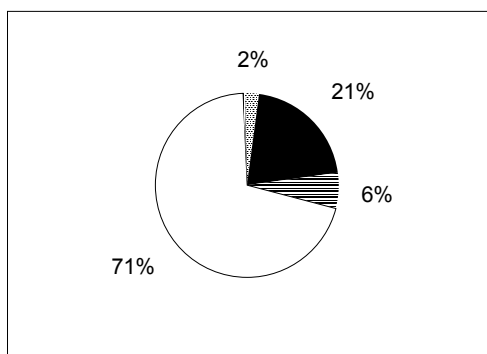


Abb. 5-31: Zielprozesse der Cadmiumflüsse bei der Variante IIIb

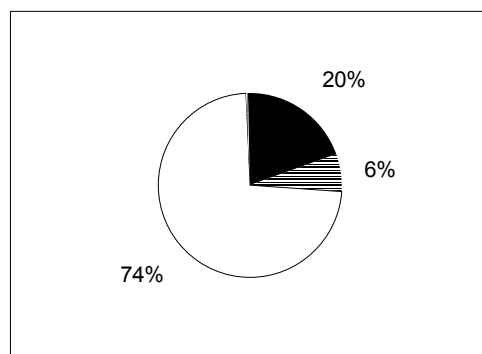


Abb. 5-32: Zielprozesse der Cadmiumflüsse bei der Variante IIIc

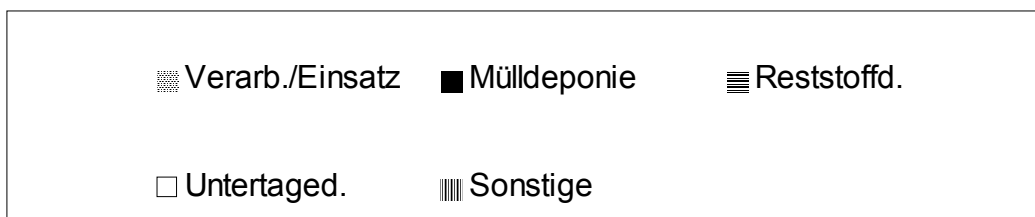


Abb. 5-33: Legende zu den Cadmiumflüssen

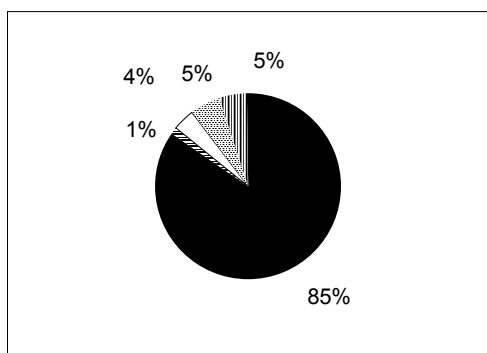


Abb. 5-34: Zielprozesse der Chlorflüsse bei der Variante I

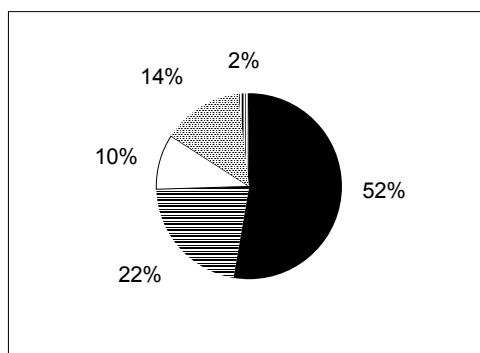


Abb. 5-35: Zielprozesse der Chlorflüsse bei der Variante IIa

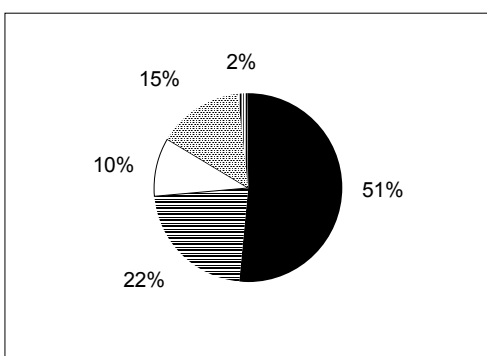


Abb. 5-36: Zielprozesse der Chlorflüsse bei der Variante IIb

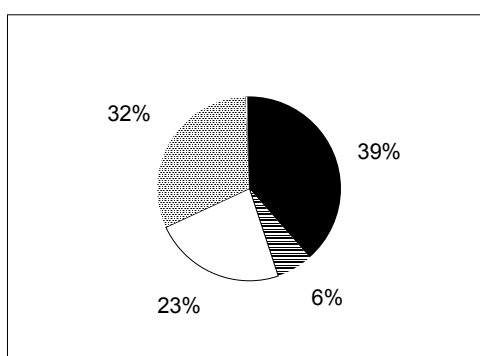


Abb. 5-37: Zielprozesse der Chlorflüsse bei der Variante IIIa

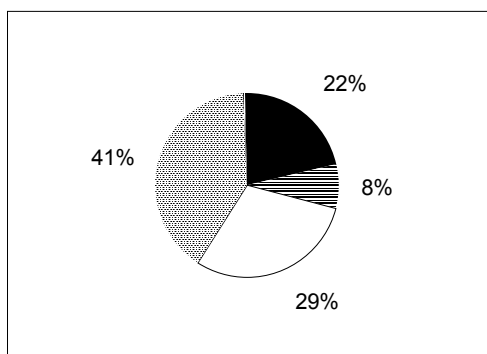


Abb. 5-38: Zielprozesse der Chlorflüsse bei der Variante IIIb

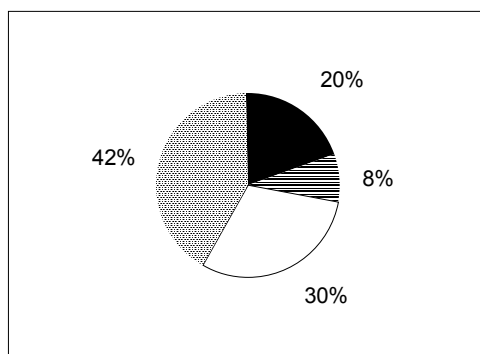


Abb. 5-39: Zielprozesse der Chlorflüsse bei der Variante IIIc

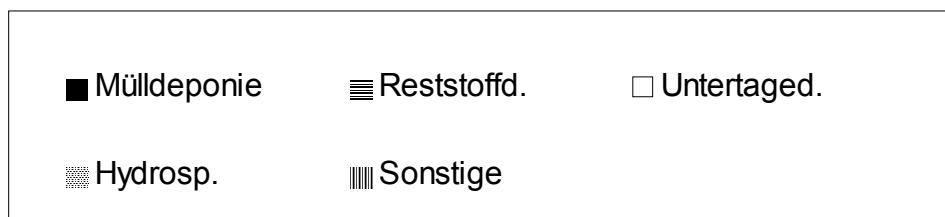


Abb. 5-40: Legende zu den Chlorflüssen

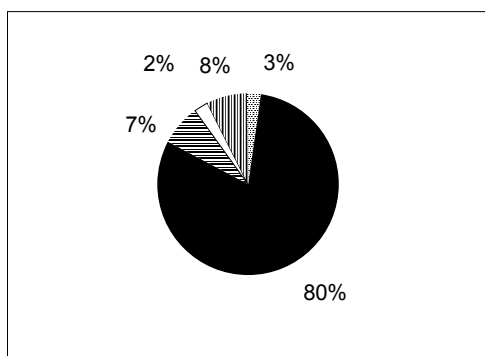


Abb. 5-41: Zielprozesse der Bleiflüsse bei der Variante I

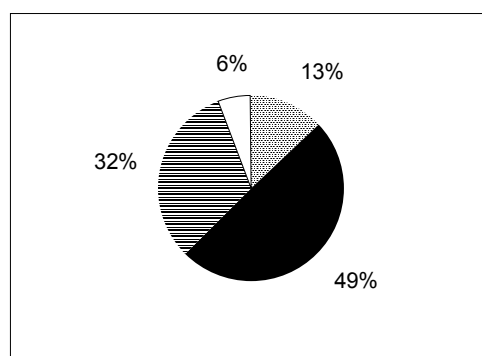


Abb. 5-42: Zielprozesse der Bleiflüsse bei der Variante IIa

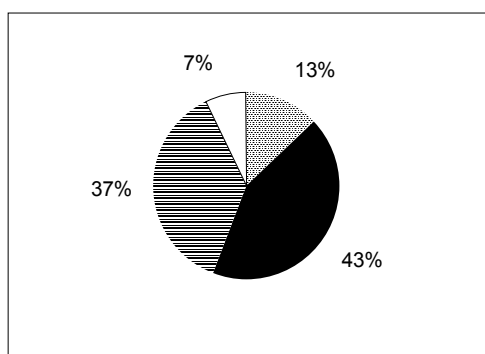


Abb. 5-43: Zielprozesse der Bleiflüsse bei der Variante IIb

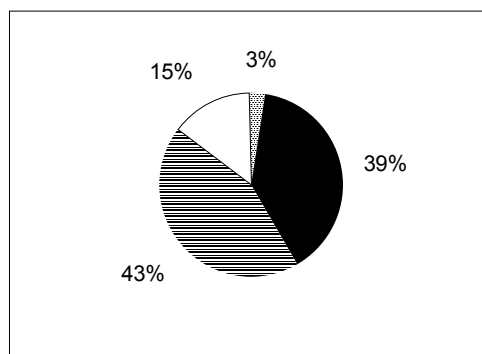


Abb. 5-44: Zielprozesse der Bleiflüsse bei der Variante IIIa

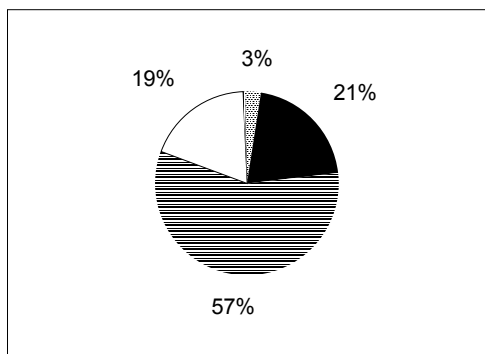


Abb. 5-45: Zielprozesse der Bleiflüsse bei der Variante IIIb

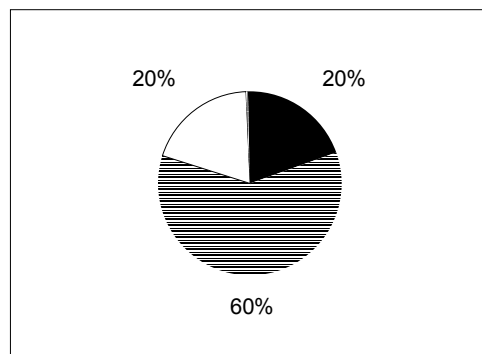


Abb. 5-46: Zielprozesse der Bleiflüsse bei der Variante IIIc

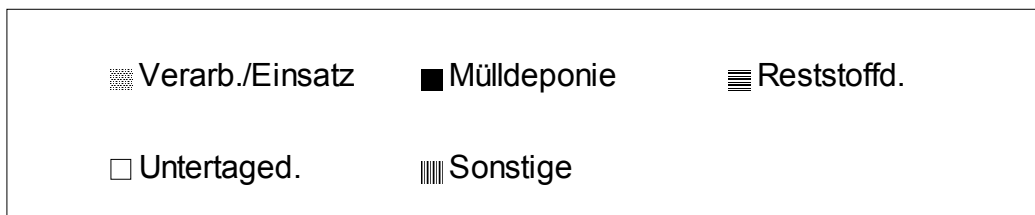


Abb. 5-47: Legende zu den Bleiflüssen

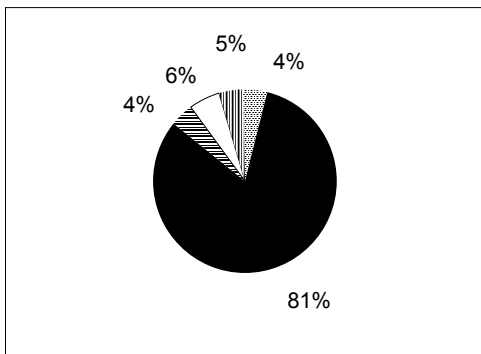


Abb. 5-48: Zielprozesse der Zinkflüsse bei der Variante I

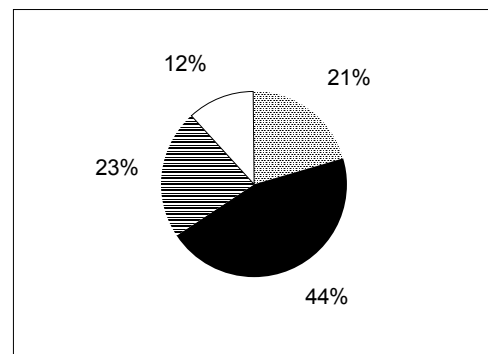


Abb. 5-49: Zielprozesse der Zinkflüsse bei der Variante IIa

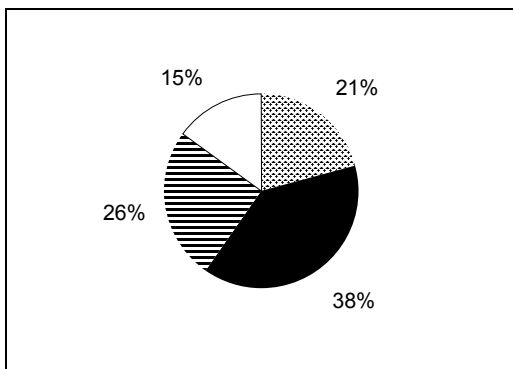


Abb. 5-50: Zielprozesse der Zinkflüsse bei der Variante IIb

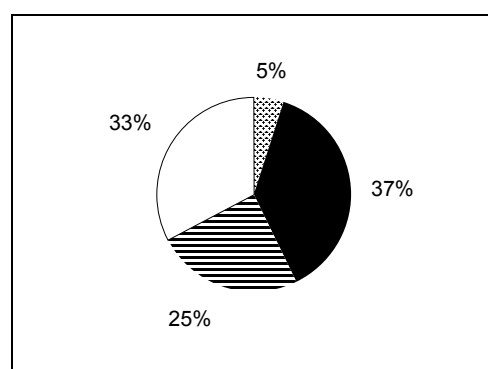


Abb. 5-51: Zielprozesse der Zinkflüsse bei der Variante IIIa

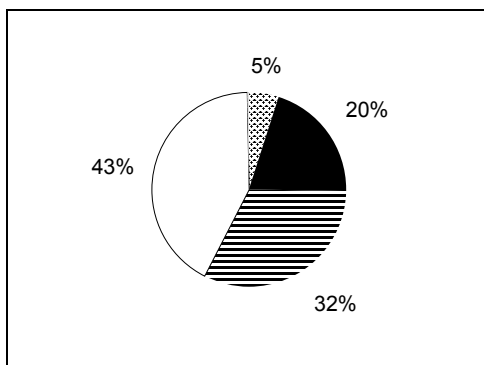


Abb. 5-52: Zielprozesse der Zinkflüsse bei der Variante IIIb

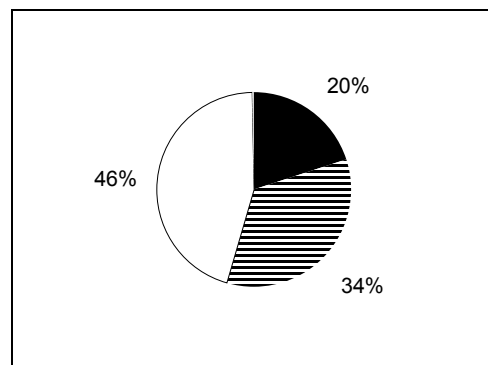


Abb. 5-53: Zielprozesse der Zinkflüsse bei der Variante IIIc

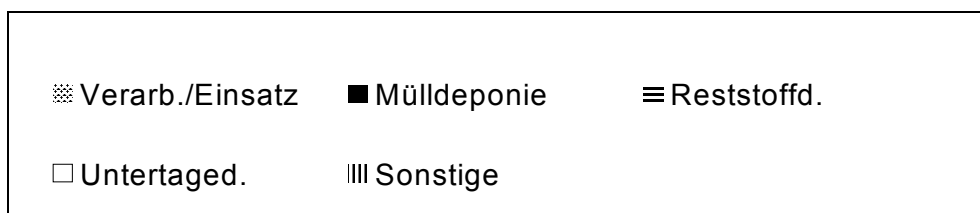


Abb. 5-54: Legende zu den Zinkflüssen

5.9 Beurteilung dieser Güter- und Stoffflüsse bezüglich des AWG

Sofern Kunststoffabfälle bei den Varianten in eine stoffliche oder chemische Verwertung gelangen, wurde nur *ein Kreislauf* berücksichtigt.

Die Berücksichtigung von nur einem Kreislauf hat vorallem bei der Berechnung des benötigten Deponievolumens einen Nachteil, da je nach Variante bis zu 40 % der Kunststoffabfälle einer stofflichen oder chemischen Verwertung zugeführt werden. Diese Massen sind in späterer Folge entweder wieder einer stofflichen oder chemischen Verwertung, einer thermischen Verwertung oder einer Deponie zuzuführen.

5.9.1 Grundlagen zur Beurteilung der Güter- und Stoffflüsse bezüglich des AWG

5.9.1.1 Grundlage zur Beurteilung der Zielprozesse:

Verläßt ein Gut oder Stoff einen Prozeß, so gelangt er in einen anderen Prozeß. Dieser wird Zielprozeß genannt. Sofern ein Stoff langfristig (Jahrhunderte bis Jahrtausende) in diesem Zielprozeß bleibt, spricht man von einer „*letzten Senke*“. Für Chlor ist zum Beispiel die „Hydrosphäre“ Zielprozeß und letzte Senke. Man spricht von einer geeigneten letzten Senke, wenn die resultierende Konzentration eines Stoffes im Bereich des geeigneten Hintergrundes ist.

Die erste Frage die sich dabei stellt ist: Welcher Zielprozeß ist für welche Elemente ein geeigneter Zielprozeß? Hierbei ist noch zu unterscheiden, in welchen zeitlichen Dimensionen man denkt! Die nachfolgende Tabelle zeigt, daß für manche Stoffe die "Mülldeponie" ein durchaus akzeptabler Zielprozeß sein kann, vorausgesetzt man denkt nur an die nächsten 50 Jahre. In Abhängigkeit von der geographischen Lage (Niederschlagsmengen, Temperatur, ...) und der Qualität der Deponie (Deponiematerial und weitere Barrieren) können aber auch schon zu diesem Zeitpunkt Barium, Cadmium, Blei und Zink aus dem Deponiekörper ausgewaschen werden.

Langfristig muß auch berücksichtigt werden, ob die „Verarbeitung“ für den Kohlenstoff ein geeigneter Zielprozeß ist, denn bei den hier beschriebenen stofflichen und chemischen Verwertungsprozessen werden zwischen 10 und 35 % der Kunststoffabfälle aussortiert und derzeit in erster Linie deponiert. Für die anderen ausgewählten Stoffe (Ba, Cd, Cl, Pb und Zn) muß die „Verarbeitung“ als nicht geeigneter Zielprozeß angesehen werden, da sich diese Stoffe einerseits im Regranulat anreichern können und darüber hinaus keine Erfahrungen bezüglich der Diffusion dieser Stoffe vorliegen.

Bei der "Untertagedeponie" wird davon ausgegangen, daß sich diese z.B. in einem aufgelassenen Bergwerk befindet, also in einem Bereich, der von der "Hydrosphäre" abgeschlossen ist. Da der Deponiekörper nicht oder nur in geringen Mengen mit Wasser in Berührung kommt, können unter diesen Bedingungen auch die leicht löslichen Verbindungen nicht ausgewaschen werden.

Die Schlacke wird in der "Reststoffdeponie" verfestigt eingebaut. Jedoch muß man davon ausgehen, daß die Chloride langfristig durch Niederschläge ausgewaschen werden können. Da man davon ausgehen muß, daß das Sickerwasser der "Reststoffdeponie" langfristig in das Grundwasser gelangen kann, ist die "Reststoffdeponie" für leichtlösliche Stoffe nur ein bedingt geeigneter Zielprozeß. Hingegen gelangen die Chloride im Zielprozeß "Hydrosphäre" in das Meer, welches für Chlor nicht nur einen geeigneten Zielprozeß, sondern auch eine geeignete letzte Senke darstellt. Im jeweiligen Einzelfall ist jedoch zu prüfen, ob der Vorfluter die Chloridfracht ohne Beeinträchtigung aufnehmen kann. Zum Beispiel ist für die Müllverbrennungsanlage Spittelau die Donau ein geeigneter Vorfluter.

Die „Atmosphäre“ ist lediglich für den Kohlenstoff ein geeigneter Zielprozeß. Sie kann gleichsam als Reservoir für den Kreislauf der Biomasse angesehen werden. Zudem werden durch die thermische Verwertung von Kunststoffen fossile Energieträger ersetzt. Im Vergleich zum gesamten CO₂-Ausstoß Österreichs ist der Anteil der thermisch verwerteten Kunststoffe zu vernachlässigen.

Tabelle 5-14: Übersicht über die Eignung der Zielprozesse in Bezug auf die ausgewählten Stoffe

für 30 Jahre	Verarbeitung/Einsatz	Mülldeponie	Reststoffdeponie	Untertagedeponie	Hydrosphäre	Atmosphäre	Lager	Export
C-organisch	A	C	C	C	C	A	0	0
Ba	C	B	B	A	C	C	0	0
Cd	C	B	B	A	C	C	0	0
Cl	C	C	C	B	A	C	0	0
Pb	C	B	B	A	C	C	0	0
Zn	C	B	B	A	C	C	0	0
für 1000 Jahre	Verarbeitung/Einsatz	Mülldeponie	Reststoffdeponie	Untertagedeponie	Hydrosphäre	Atmosphäre	Lager	Export
C-organisch	B	C	C	C	C	A	0	0
Ba	C	C	B	A	C	C	0	0
Cd	C	C	B	A	C	C	0	0
Cl	C	C	C	B	A	C	0	0
Pb	C	C	B	A	C	C	0	0
Zn	C	C	B	A	C	C	0	0

Legende:

- 0..... intermediäre Prozesse, keine Lösung
- A..... geeigneter Zielprozeß
- B..... bedingt geeigneter Zielprozeß
- C..... ungeeigneter Zielprozeß

Die in der Variante I ebenfalls als Zielprozeß angeführten Prozesse „Lager“ und „Export“ werden im Weiteren nicht beschrieben. Die Varianten IIa bis IIIc berücksichtigen diese Prozesse auch nicht mehr. Im Allgemeinen ist die Lagerung oder der Export von Abfällen keine Lösung.

5.9.1.2 Grundlage zur Beurteilung der Rohstoff- und Energiereserven:

Für die Betrachtung von Kunststoffen als Ersatzbrennstoff ist zunächst der Heizwert von Bedeutung. Für das Verbrennungsverhalten eines Brennstoffes ist jedoch nicht nur der Heizwert signifikant, sondern noch eine Reihe von anderen Einflußgrößen, wie zum Beispiel die Zündzeit [Sutter, 1993]. Die Zündzeit wird aber nicht zur Beurteilung der Varianten herangezogen.

1988 wurden in Österreich ca. 50.000 GWh elektrische Energie erzeugt. 75 % wurden aus Wasserkraftwerken und 25 % aus kalorischen Kraftwerken gewonnen [Wohlmayer, 1992].

Zur Stromerzeugung in kalorischen Kraftwerken wurden folgende Energieträger verwendet:

Tabelle 5-15: Übersicht über die Energieträger zur Erzeugung von Energie in kalorischen Kraftwerken in Österreich 1988 [Wohlmayer, 1992]

Energieträger	Masse	durchschnittlicher Heizwert
Steinkohle	605.000 t	28 MJ/Kg
Braunkohle	1.477.000 t	11 MJ/Kg
Heizöl	204.000 t	41 MJ/Kg
Erdgas	676.000 t	51 MJ/Kg

Das Erdgas, in der Literatur in Normkubikmeter angegeben, wurde in Tonnen umgerechnet, wobei die Masse eines Normkubikmeters mit 0,7 Kg berechnet wurde [Dubbel, 1990].

Die folgende Übersicht zeigt im Vergleich dazu die Heizwerte verschiedener Kunststoffe sowie den Heizwert von Haus- und Sperrmüll [Sutter, 1993]:

Tabelle 5-16: Heizwert von verschiedenen Kunststoffen, Haus- und Sperrmüll [Sutter, 1993]

Brennstoff	Kurzbezeichnung	durchschnittlicher Heizwert
Polyethylen	PE	43 MJ/Kg
Polypropylen	PP	44 MJ/Kg
Polystyrol	PS	40 MJ/Kg
Polyvinylchlorid, weich	PVC - weich	23 MJ/Kg
Polyvinylchlorid, hart	PVC - hart	18 MJ/Kg
Polyesterharz	-	40 MJ/Kg
Polyesterharz, faserverstärkt *	-	12 MJ/Kg
Hausmüll	-	8 - 12 MJ/Kg
Sperrmüll	-	10 - 15 MJ/Kg
gesamte Kunststoffe**	-	30 MJ/Kg

* Je nach Anteil der anorganischen Füllstoffe, die nach der Verbrennung als Festreststoff zumeist deponiert werden müssen, sinkt der Heizwert.

** Berechnung siehe *Anhang 14*

Brunner et al [1983] geben den mittleren Heizwert der Kunststoffe mit 27 MJ/Kg an.

Für die Beurteilung der Schonung der Rohstoffreserven bei den verschiedenen Varianten wurde folgendes Ziel ausgewählt: Es soll die selbe Masse an Kunststoffen hergestellt werden, wie sie 1994 als Kunststoffabfall in Österreich anfiel (763.500 t Kunststoffe).

Die verschiedenen Varianten nutzen den Kunststoffabfall unterschiedlich. Entweder um neue Kunststoffe aus dem Kunststoffabfall und nicht aus Erdöl herzustellen oder um zum Beispiel Erdöl durch thermische Verwertung einzusparen (Ersatz von Brennstoffen). Die Bilanzierung erfolgt daher über das Erdöl.

Folgende Annahmen wurden getroffen:

- Die Sammlung, Sortierung und der Transport von Kunststoffabfällen wird nicht mitberücksichtigt. Dies begünstigt die stofflichen und chemischen Verwertungsvarianten gegenüber der MVA und Deponierung, bei denen die Kunststoffabfälle *zusammen* mit den anderen Abfällen transportiert werden.
- Zur Herstellung 1 t Kunststoff werden 1,8 t Erdöl benötigt (siehe dazu *Anhang 14*).
- Zur Destillation einer 1 t Heizöl benötigt man 1,1 t Rohöl.
- Der Heizwert der gesamten Kunststoffe liegt im Mittel bei 30 MJ/Kg (siehe *Anhang 14*).
- Bei der "sortenreinen stofflichen Verwertung" werden 86 % der angelieferten Kunststoffabfälle tatsächlich genutzt (siehe *Anhang 8*), der Rest wird aussortiert und fällt als Abfall an [ÖKI, 1996].
- Bei der "gemischten stofflichen Verwertung" werden 90 % der angelieferten Kunststoffabfälle tatsächlich genutzt (siehe *Anhang 9*), der Rest wird aussortiert und fällt als Abfall an [ÖKI, 1996].
- Bei der "chemischen Verwertung" werden 65 % der angelieferten Kunststoffabfälle tatsächlich genutzt (siehe *Anhang 10*), der Rest fällt als Abfall (Bitumen) an [Huber et al, 1994].
- "Thermische Verwertung" und "Müllverbrennungsanlagen" werden gleich behandelt. Die thermische Verwertung von Altreifen in der Zementindustrie darf hier der Müllverbrennungsanlage gleichgestellt werden, da die geringe Masse den Aufwand für eine explizite Berechnung (zum Beispiel der Transferkoeffizienten) nicht rechtfertigt. Der Wirkungsgrad zur Erzeugung von elektrischem Strom wird mit 35 % angenommen, (vergleiche [Wohlmayer, 1992]).
- Der Energieverbrauch zu Herstellung 1 t *Regranulat* bei der "sortenreinen stofflichen Verwertung" beträgt 0,63 MWh [ÖKI, 1996]. Der Energieverbrauch für die Verarbeitung des Regranulates zu Kunststoffprodukten wird mit 50 % des Energieverbrauches der „sortenreinen stofflichen Verwertung“ angenommen. Somit beträgt der gesamte Energieverbrauch, sortenreine stoffliche Verwertung inklusive Verarbeitung des *Regranulates* zu Kunststoffprodukten 0,95 MWh pro Tonne Regranulat.

- Der Energieverbrauch zu Herstellung 1 t *KST-Produkt* bei der "gemischten stofflichen Verwertung" beträgt 1,0 MWh [ÖKI, 1996].
- Der Energieverbrauch zur Hydrierung 1 t Kunststoffabfall bei der "chemischen Verwertung" inklusive Verarbeitung des *Syncrudes* zu Kunststoffen beträgt 15,6 MWh [Huber et al, 1994].
- Jene Kunststoffe, die auf die "Mülldeponie" gelangen, verzeichnen weder ein Einsparungspotential noch einen zusätzlichen Verbrauch an Erdöl durch die Verwertung da der Transport et cetera nicht berücksichtigt wird (siehe oben).

5.9.1.3 Grundlage zur Beurteilung des Deponievolumenverbrauches:

Als Kriterium zur Beurteilung für das 3. Ziel der Abfallwirtschaft [AWG, 1990] wird der Deponievolumenverbrauch mit einer Nullvariante verglichen. Die Nullvariante geht davon aus, daß der gesamte Kunststoffabfall deponiert wird.

Folgende Dichten wurden angenommen:

Dichte der Kunststoffe in einer "Mülldeponie"	0,75 t/m ³ eigene Annahme
Dichte einer "Reststoffdeponie"	1,50 t/m ³ [Belevi et al, 1992]
Dichte einer "Untertagedeponie"	2,10 t/m ³ [Wesche, 1991]

Zur Bestimmung des Deponievolumenverbrauches, der durch die Güterflüsse hervorgerufen wird, wurden die anfallenden Kunststoffabfallmassen bei den Zielprozessen „Verarbeitung“, "Mülldeponie", "Reststoffdeponie" und "Untertagedeponie" durch die Dichte dieser Zielprozesse dividiert.

5.9.1.4 Grundlage zur Beurteilung des Gefährdungspotentiales der abgelagerten Kunststoffabfälle:

Als Kriterium zur Beurteilung für das 4. Ziel der Abfallwirtschaft [AWG, 1990] wird neben der letzten Senke auch das Gefährdungspotential der abzulagernden Abfälle untersucht.

Folgende Annahmen wurden getroffen:

- Die "Mülldeponie" bedarf der Nachsorge. Sie ist zur Ablagerung von Kunststoffabfällen über eine lange Zeit gesehen (mehr als 100 Jahre) nicht geeignet. Es kann von ihr ein Gefährdungspotential ausgehen. In der Deponieverordnung [1996] ist daher auch die "Mülldeponie" nicht mehr vorgesehen.

- Von der "Reststoffdeponie" geht über kurze Zeit (weniger als 50 Jahre) kein Gefährdungspotential aus, da die Sickerwässer erfaßt und gereinigt werden. Über lange Zeit gesehen kann eine Gefahr ausgehen je nachdem wie die Abfälle vor der Ablagerung vorbehandelt wurden.
- Von der "Untertagedeponie" geht über lange Zeit (mehr als 100 Jahre) kein Gefährdungspotential aus, da davon ausgegangen wird, daß sich diese in einem Bereich befindet, der von Wasser nicht erreicht wird, sodaß keine Stoffe ausgewaschen werden können.
- Die "stoffliche Verwertung" von Kunststoffabfällen ist langfristig keine endgültige Lösung des Abfallproblem, da bei jedem Kreislauf zwischen 10 % und 14 % (bezogen auf die Trockensubstanz, da ca. 3 % Wasser am Kunststoffabfall anhaften) aussortiert und derzeit überwiegend deponiert werden. Siehe dazu auch *Anhang 8 - Daten zur sortenreinen stofflichen Verwertung* und *Anhang 9 - Daten zur gemischten stofflichen Verwertung*. Eine anschließende thermische Verwertung der aussortierten Abfälle ist nur bedingt möglich, da die Abfälle der stofflichen Verwertung unter anderem aus Drähten, Steinen, Keramik, Glas, Metallen und so weiter bestehen.
- Vom Kohlenstoff im Zielprozeß „Atmosphäre“ geht kein bedeutendes Gefährdungspotential aus (Begründung siehe Seite 159).
- Vom Chlor im Zielprozeß "Hydrosphäre" geht kein bedeutendes Gefährdungspotential aus (Begründung siehe Seite 159).

5.9.2 Beurteilung der Güter- und Stoffflüsse bezüglich des AWG

5.9.2.1 Beurteilung der Güterflüsse bei den Variante I bis IIIc

1. Ziel des Abfallwirtschaftsgesetzes: (Schutz des Menschen und der Umwelt)

In der Variante I werden 78 % der Kunststoffabfälle in einer "Mülldeponie" entsorgt. Zusammen mit den Kunststoffabfällen, die gelagert (5 %) oder exportiert (2 %) werden, ergibt dies für das Gut Kunststoffabfall für 85 % keine geeignete Senke. 15 % der Kunststoffabfälle werden einer stofflichen oder thermischen Verwertung zugeführt. Davon gelangen 9 % in die „Atmosphäre“ und 6 % als *Regranulat* wieder in die Kunststoffindustrie. Diese 6 % müssen aber nach x-Kreisläufen dennoch chemisch oder thermisch verwertet werden, sodaß in der Variante I nur 9 % in einem geeigneten Zielprozeß landen.

Bei der Variante IIa werden 37 % stofflich oder chemisch verwertet, 40 % gelangen auf die "Mülldeponie" und nur 23 %, davon 17 % in der „Atmosphäre“, finden sich in einem geeigneten Zielprozeß wieder.

Der Anteil der stofflichen und chemischen Verwertung ist bei der Variante IIb mit jenem der Variante IIa identisch. Die Belastung der „Mülldeponien“ wird allerdings bei der Variante IIb

um die Hälfte auf 20 % verringert. Dadurch steigt der Anteil in der „Atmosphäre“ und somit in einem geeigneten Zielprozeß auf 36 %.

In den Varianten IIIa und IIIb werden jeweils 7 % stofflich verwertet. In der Variante IIIa gelangen 37 % auf die "Mülldeponie" und weitere 56 % in geeignete Senken. Da in der Variante IIIb nur 20 % in die "Mülldeponie" gelangen, können hier 73 % in einen geeigneten Zielprozeß fließen.

In der Variante IIIc gelangen 80 % der Kunststoffabfälle in einen geeigneten Zielprozeß und 20 % auf die "Mülldeponie".

- Die Varianten I und IIa erfüllen demnach dieses Ziel des AWG nicht, die Varianten IIb und IIIa nur teilweise. Die Varianten IIIb und IIIc erfüllen dieses Ziel des AWG.

2. Ziel des Abfallwirtschaftsgesetzes: (Schonung von Rohstoff- und Energiereserven)

Im *Anhang 14* werden für alle Varianten inklusive der Nullvariante der Verbrauch von Erdöl bei der sortenreinen und gemischten stofflichen Verwertung und bei der chemischen Verwertung, der Verbrauch von Erdöl bei der Produktion von Neukunststoffen sowie die Erdöleinsparung bei der thermischen Verwertung berechnet. Die folgende Tabelle faßt die Ergebnisse des *Anhang 14* zusammen.

Tabelle 5-17: Zusammenfassung des Erdölverbrauches bei den Varianten

		Nullvariante	Variante I	Variante IIa	Variante IIb	Variante IIIa	Variante IIIb	Variante IIIc
Erdölverbrauch bei Verwertung	[t]		2.866	86.334	86.334	3.458		3.458
Erdöleinsparung bei Verwertung	[t]		57.850	115.213	171.446	350.839	454.398	496.278
Erdölverbrauch für Neuproduktion	[t]	1.374.300	1.297.853	868.878	868.878	1.281.521	1.281.521	1.374.300
Gesamter Erdölverbrauch	[t]	1.374.300	1.242.869	839.999	783.766	934.139	830.580	878.022

Die folgende Abbildung zeigt die Erdöleinsparung bei den verschiedenen Varianten im Vergleich zum Erdölverbrauch bei der Nullvariante in Prozent.

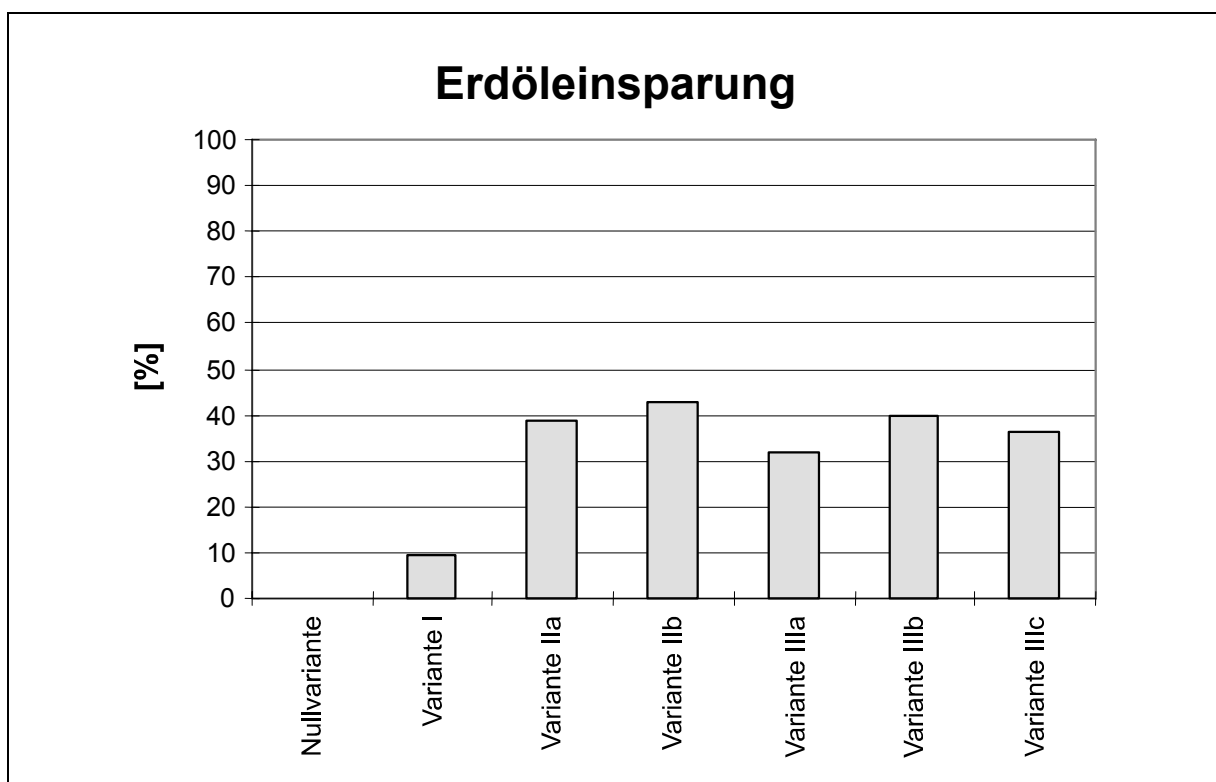


Abbildung 5-55: Erdöleinsparung bei den Varianten in %

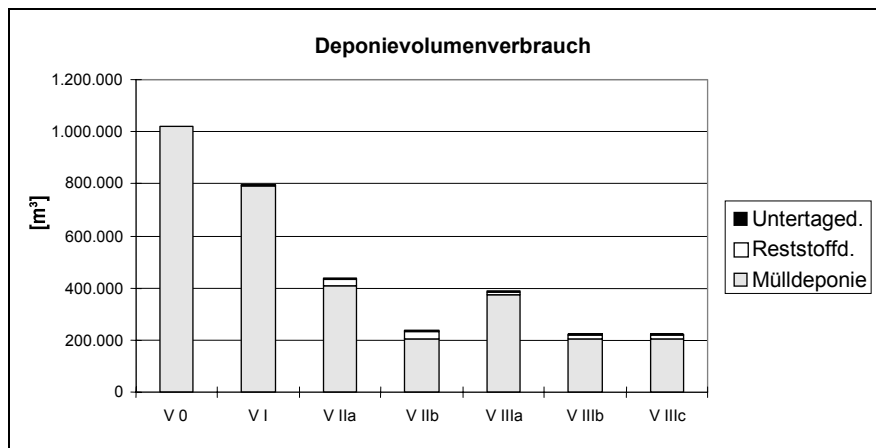
Im Vergleich zur Nullvariante, alle Kunststoffe werden deponiert, kann in der Variante I bei der Herstellung der für diesen Vergleich geforderten Masse an Kunststoffen 10 % Erdöl eingespart werden. Bei der Variante IIIa liegt dieser Anteil bei 32 %. Bei den anderen drei Varianten IIa, IIb und IIIb können im Vergleich zur Nullvariante zwischen 36 % und 43 % Erdöl eingespart werden.

- Die Variante I erfüllt dieses Ziel des AWG nicht, die Variante IIIa teilweise. Die vergleichsweise eng beisammenliegenden anderen Varianten erfüllen dieses Ziel und schonen somit die Erdölreserven in Bezug auf die untersuchten Parameter zu ca. 40 %.

3. Ziel des Abfallwirtschaftsgesetzes: (Geringhaltung des Verbrauches an Deponievolumen)

Die Berechnungen zum Deponievolumenverbrauch bei den verschiedenen Varianten befindet sich im *Anhang 15*.

Die folgende Abbildung faßt die Ergebnisse in grafischer Form zusammen.



Abkürzungen:

V 0 Nullvariante, sämtliche Kunststoffabfälle werden deponiert	
V I Variante I	V IIIb Variante IIIb
V IIa Variante IIa	V IIIc Variante IIIc
V IIb Variante IIb	Untertaged. Untertagedeponie
V IIIa Variante IIIa	Reststoffd. Reststoffdeponie

Abbildung 5-56: Deponievolumenverbrauch bei den verschiedenen Varianten [m³]

Die Nullvariante verbraucht ein Deponievolumen von ca. 1.000 m³. Dieser Wert wird bei den folgenden Angaben der Volumsanteile als 100 % verwendet.

Im Vergleich zur Nullvariante wird in der Variante I noch 78 % des Deponievolumens benötigt. Es muß jedoch berücksichtigt werden, daß weitere 7 % zwischengelagert und exportiert werden.

Bei den Varianten IIa und IIIa werden 43 % beziehungsweise 38 % des Deponievolumens der Variante Null benötigt. Jedoch liegt die Deponievolumeneinsparung bei der Variante IIa nur bei 20 % während bei der Variante IIIa 55 % eingespart werden können. Die Begründung liegt darin, daß sich bei der Variante IIa 37 % der Kunststoffabfälle in der „Verarbeitung“ befinden und nach diesem „Kreislauf“ entweder wieder verwertet oder deponiert werden müssen.

Bei den Varianten IIb und IIIb und IIIc werden im Vergleich zur Nullvariante mehr ca. 20 % des Deponievolumens benötigt. Jedoch sind bei der Variante IIb noch weitere 37 Vol-% in der Verarbeitung „gespeichert“, sodaß die tatsächliche Deponievolumeneinsparung bei der Variante IIb 40 % und bei den Varianten IIIb und IIIc knapp 80 % beträgt

- Die Variante I erfüllt dieses Ziel des AWG nicht, die Varianten IIa und IIIa teilweise. Die Varianten IIb, IIIb und IIIc erfüllen dieses Ziel des AWG. Bei den Varianten IIa und IIb ist entscheidend, ob die stofflich verwertete Masse nach x-Kreisläufen der thermischen Verwertung oder der Deponierung zugeführt wird, d.h. ob bei diesen Varianten im Endeffekt zusätzliches Deponievolumen eingespart werden kann oder nicht.

4. Ziel des Abfallwirtschaftsgesetzes: (Vorsorgeprinzip)

Aus der Beurteilung des 1. Zieles des AWG (letzte Senke) kann man folgenden Satz übernehmen: Die Varianten I und IIa erfüllen dieses Ziel des AWG nicht, die Varianten IIb und IIIa nur teilweise. Die Varianten IIIb und IIIc erfüllen dieses Ziel des AWG.

Als zweites Kriterium zur Beurteilung dieses Zieles wird die Qualität der, bei der Verwertung/Behandlung anfallenden Reststoffe herangezogen:

Bei den Varianten I und IIa stellen 91 % beziehungsweise 81 % der Kunststoffabfälle ein Gefahrenpotential dar. Während bei den Varianten IIb und IIIa noch von 62 % beziehungsweise 46 % der verwerten oder behandelten Kunststoffabfälle eine Gefahr ausgehen kann, sinkt das Gefahrenpotential bei den Varianten IIIb und IIIc auf 30 % beziehungsweise 20 %.

Die Beurteilung des Gefährdungspotentiales der Reststoffe bei den Varianten bestätigt die Beurteilung des 1. Zieles des AWG.

- Die Varianten I und IIa können das 4. Ziel des AWG nicht erfüllen, die Varianten IIb und IIIa teilweise und die Varianten IIIb und IIIc zu einem überwiegenden Teil.

5.9.2.2 Beurteilung der Kohlenstoffflüsse bei den Varianten I bis IIIc

1. Ziel des Abfallwirtschaftsgesetzes:

In der Variante I gelangen 78 % des Kohlenstoffes in die "Mülldeponie", also in keinen geeigneten Zielprozeß. Jeweils 6 % bis 7 % gelangen in die „Verarbeitung“, den „Export“ beziehungsweise in ein „Lager auf Zeit“. Die verbleibenden 9 % gehen in die „Atmosphäre“ und somit in einen geeigneten Zielprozeß.

Bei den Varianten IIa, IIb und IIIa werden jeweils knapp 40 % des Kohlenstoffes über die "Mülldeponie" entsorgt. Während bei den Varianten IIa und IIb nur ca. 20 % in einen geeigneten Zielprozeß (die „Atmosphäre“) gelangen, liegt dieser Prozentsatz bei der Variante IIIa bei 56 %. Jene 40 % die in den Varianten IIa und IIb in die „Verarbeitung“ gelangen, müssen zu einem späteren Zeitpunkt erneut verwertet werden.

Bei den Varianten IIIb und IIIc gelangen zwischen 72 % und 79 % über die "Atmosphäre" in einen geeigneten Zielprozeß und ca. 20 % in eine ungeeignete Senke - die „Mülldeponie“.

- Die Variante I erfüllt somit dieses Ziel des AWG für Kohlenstoff nicht. Die Varianten IIa und IIb können dieses Ziel nur kurzfristig und teilweise erreichen, während die Variante IIIa dieses Ziel auch langfristig teilweise erfüllen kann. Die Varianten IIIb und IIIc erreichen dieses Ziel des AWG zu einem überwiegenden Teil.

4. Ziel des Abfallwirtschaftsgesetzes:

Bei der Variante I geht von 9 % des Kohlenstoffes in den Kunststoffabfällen kein Gefährdungspotential aus. Bei den Varianten IIa und IIb trifft diese Aussage für 18 % beziehungsweise 21 % zu. Weitere 40 % des Kohlenstoffes gelangen in die „Verarbeitung“.

Bei der Variante IIIa geht von 56 % des Kohlenstoffes keine Gefahr für nachfolgende Generationen aus. Dieser Prozentsatz kann bei den Varianten IIIb und IIIc auf 72 % bzw. 79 % gesteigert werden. Während bei der Variante IIIa noch 36 % des Kohlenstoffes in die „Mülldeponie“ gelangen, verringert sich dieser Anteil bei den Varianten IIIb und IIIc auf 20 %.

- Zusammen mit der Beurteilung der Zielprozesse für Kohlenstoff ist ersichtlich, daß die Variante I dieses Ziel des AWG nicht erfüllt. Die Varianten IIa und IIb erfüllen es zumindest kurzfristig teilweise, während die Variante IIIa auch langfristig dieses Ziel teilweise erfüllen kann. Lediglich die Varianten IIIb und IIIc erfüllen dieses Ziel des AWG..

5.9.2.3 Beurteilung der Bariumflüsse bei den Varianten I bis IIIc

1. Ziel des Abfallwirtschaftsgesetzes:

In der Variante I werden knapp 2 % des Bariums in „Untertagedeponien“, das heißt in einer geeigneten Senke, abgelagert. Weitere 8 % finden in der „Reststoffdeponie“ einen kurzfristig geeigneten Zielprozeß. Die restlichen 90 % finden sich in dieser Variante in ungeeigneten Zielprozessen wieder.

Im Gegensatz zu den Varianten IIa und IIb, bei denen ca. 35 % in „Reststoffdeponien“ und knapp 4 % in „Untertagedeponien“ abgelagert werden, erhöhen sich bei der Variante IIIa diese Prozentsätze auf 50 % beziehungsweise 9 %.

Bei den Varianten IIIb und IIIc gelangen jeweils ca. 65 % des Bariums im Kunststoffabfall in die „Reststoffdeponie“ und etwas mehr als 10 % in die „Untertagedeponie“.

- Dieses Ziel des AWG wird demnach von den Varianten I, IIa und IIb nicht erfüllt. Auch die Varianten IIIa, IIIb und IIIc können dieses Ziel nur mittelfristig erfüllen.

4. Ziel des Abfallwirtschaftsgesetzes:

Während bei der Variante I von 98 % des Bariums eine Gefahr für nachfolgende Generationen ausgehen kann, sinkt dieser Prozentsatz bei den Varianten IIa und IIb auf ca. 97 % beziehungsweise 96 %.

Auch bei den Varianten IIIa, IIIb und IIIc kann langfristig noch von 91 % bis 88 % des Bariums, welches im österreichischen Kunststoffabfall vorhanden ist, eine Gefahr ausgehen. Mit-

telfristig verringert sich dieser Wert bei den Varianten IIIb und IIIc allerdings auf etwas mehr als 20 %.

- Dieses Ziel des AWG wird demnach von den Varianten I, IIa und IIb nicht erfüllt. Auch die Varianten IIIa, IIIb und IIIc können dieses Ziel nur mittelfristig erfüllen.

5.9.2.4 Beurteilung der Cadmiumflüsse bei den Varianten I bis IIIc

1. Ziel des Abfallwirtschaftsgesetzes:

In der Variante I gelangen 82 % des Cadmiums in die "Mülldeponie" und zwei weitere Prozent in die „Verarbeitung“. Zusammen mit den jeweils ca. 3 %, die zwischengelagert und exportiert werden, gelangen in dieser Variante ca. 90 % in einen nicht geeigneten Zielprozeß. 1 % beziehungsweise 9 % werden in der „Reststoff“- und "Untertagedeponie" geeignet abgelagert.

Während bei den Varianten IIa und IIb ca. 60 % des Cadmiums in ungeeignete Zielprozesse („Verarbeitung“ und „Mülldeponie“) gelangen, verringert sich dieser Wert bei der Variante IIIa auf 40 % und bei den Varianten IIIb und IIIc auf ca. 20 %.

- Die Varianten I, IIa und IIb erreichen dieses Ziel des AWG nicht, die Varianten IIIa nur teilweise. Die Varianten IIIb und IIIc erreichen dieses Ziel.

4. Ziel des Abfallwirtschaftsgesetzes:

Bei der Variante I kann von 90 % des Cadmiums eine Gefahr für nachfolgende Generationen ausgehen. Lediglich 9 % werden so abgelagert, daß davon auch langfristig keine Gefahr mehr ausgeht.

Bei den Varianten IIa und IIb kann langfristig von ca. 75 % des Cadmiums weiterhin eine Gefahr ausgehen, während dieser Prozentsatz bei den Varianten IIIa auf 45 % und bei den Varianten IIIb und IIIc auf jeweils ca. 30 % sinkt.

- Somit wird das 4. Ziel des AWG nur von den Varianten IIIb und IIIc erfüllt. Die Varianten I, IIa und IIb können es nicht erfüllen, die Variante IIIa teilweise.

5.9.2.5 Beurteilung der Chlorflüsse bei den Varianten I bis IIIc

1. Ziel des Abfallwirtschaftsgesetzes:

In der Variante I gelangen 85 % des Chlors in die "Mülldeponie" und somit in keinen geeigneten Zielprozeß. 4 % gelangen in die "Untertagedeponie", welche einen mittelfristig geeigneten

Zielprozeß darstellt. Lediglich 6 % finden sich in der "Hydrosphäre", einem geeigneten Zielprozeß wieder.

Bei den Varianten IIa und IIb gelangen ca. 10 % in die „Untertagedeponie“ und ca. 15 % in die "Hydrosphäre“. Während sich bei der Varianten IIIa 23 % beziehungsweise 32 % in diesen beiden Zielprozessen befinden, gelangen bei den Varianten IIIb und IIIc jeweils ca. 30 % in einen mittelfristig geeigneten und ca. 42 % in einen geeigneten Zielprozeß.

- Die Varianten I, IIa und IIb erfüllen demnach dieses Ziel des AWG nicht. Die Variante IIIa kann es nur teilweise erfüllen, während die beiden Varianten IIIb und IIIc dieses Ziel in Bezug auf Chlor mittelfristig erfüllen und langfristig teilweise erfüllen.

4. Ziel des Abfallwirtschaftsgesetzes:

In der Variante I gelangen 5 % des Chlors in die "Hydrosphäre", von dem keine Gefahr für nachfolgende Generationen ausgehen kann. In den Varianten IIa und IIb beträgt dieser Anteil ca. 15 %. Zusammen mit den 10 %, die bei diesen Varianten in die "Untertagedeponie" gelangen, geht nur von einem Viertel keine Gefahr mehr aus.

Bei der Variante IIIa gelangen 32 % des Chlors in die "Hydrosphäre". Dieser Wert kann bei den anderen beiden Varianten IIIb und IIIc auf 41 % beziehungsweise 42 % erhöht werden. Gleichzeitig erhöht sich der Anteil der bei den beiden letzten Varianten in die "Untertagedeponie" gelangt auf ca. 30 % während dieser in der Variante IIIa bei 23 % liegt.

- Betrachtet man nur die "Hydrosphäre" als wirklich geeigneten Zielprozeß so können alle fünf Varianten dieses Ziel des AWG nicht erfüllen. Zählt man den Anteil, der in die „Untertagedeponie“ gelangt, hinzu, so wird dieses Ziel von den Varianten IIIb und IIIc erfüllt, während es von den Varianten I, IIa und IIb nicht erfüllt werden kann. Die Variante IIIa steht wieder in der Mitte dieser beiden Gruppen.

5.9.2.6 Beurteilung der Bleiflüsse bei den Varianten I bis IIIc

1. Ziel des Abfallwirtschaftsgesetzes:

In der Variante I gelangen 80 % in die "Mülldeponie" und 3 % in die „Verarbeitung“. Beide Zielprozesse sind für Blei nicht geeignet. 2 % gelangen in die "Untertagedeponie", diese stellt einen geeigneten Zielprozeß dar und 7 % in die "Reststoffdeponie", welche nur bedingt (mittelfristig) als geeignet für die Ablagerung von Blei angesehen werden kann.

Bei den Varianten IIa und IIb gelangen 13 % über die „Verarbeitung“ wieder in den Kunststoffkreislauf und ca. 49 % beziehungsweise 43 % in die "Mülldeponie", also in keine geeigneten Zielprozesse. 32 % beziehungsweise 37 % gelangen in die "Reststoffdeponie", welche als Zielprozeß nur bedingt geeignet ist. Im Vergleich dazu ändert sich das Bild bei der Variante IIIa nur unwesentlich. Hier gehen zwar nur mehr 40 % in die „Verarbeitung“ und "Müllde-

ponie", also um ca. 20 % weniger, dafür erhöht sich die Masse, die in die "Reststoffdeponie" gelangt, nämlich auf 43 %. 15 % wandern in die "Untertagedeponie" und somit in eine geeignete Senke.

Bei den Varianten IIIb und IIIc gehen ca. 21 % in die Zielprozesse "Mülldeponie" und "Verarbeitung", knapp 60 % in die "Reststoffdeponie" und wiederum 20 % in die "Untertagedeponie", welche einen geeigneten Zielprozeß darstellt.

- Wenn man nur die "Untertagedeponie" als geeigneten Zielprozeß für Blei heranzieht, so kann keine der fünf Varianten dieses Ziel des AWG erfüllen. Jedoch sei angemerkt, daß die "Reststoffdeponie", je nach Bauart ebenfalls einen geeigneten Zielprozeß darstellen kann. Unter dieser Annahme, können die Varianten IIIb und IIIc dieses Ziel dennoch erfüllen und die Variante IIIa teilweise. Bei den Varianten I, IIa und IIb ist dies aber in keinem Fall möglich.

4. Ziel des Abfallwirtschaftsgesetzes:

In der Variante I geht von 2 % kein Gefährdungspotential für nachfolgende Generationen aus. Auch bei den anderen Varianten kann dieses Potential nur auf 6 %, 7 %, 15 %, 19 % und 20 % angehoben werden, da vorallem bei den Varianten IIIa, IIIb und IIIc der überwiegende Anteil des Bleis in die "Reststoffdeponie" und bei den Varianten IIa und IIb in die "Mülldeponie" gelangt.

- Je nach Standort und Bauart der "Reststoffdeponie" kann dieses Ziel des AWG von keiner oder nur von den Varianten IIIb und IIIc erfüllt werden. Für die Varianten I, IIa und IIb spielt diese Überlegung keine Rolle, da bei diesen Varianten das Blei zu einem großen Teil in die Zielprozesse "Mülldeponie" und „Verarbeitung“ wandert.

5.9.2.7 Beurteilung der Zinkflüsse bei den Varianten I bis IIIc

1. Ziel des Abfallwirtschaftsgesetzes:

In der Variante I gelangt 86 % des Zinks, welches sich im österreichischen Kunststoffabfall befindet, in die "Mülldeponie" oder „Verarbeitung“. 6 % gelangen in einen geeigneten Zielprozeß, die "Untertagedeponie", und 4 % in einen bedingt geeigneten, die "Reststoffdeponie".

Bei den Varianten IIa und IIb gelangen über 60 % in keinen geeigneten Zielprozeß. Auf die „Reststoffdeponie“ und "Untertagedeponie" entfallen jeweils etwas mehr als 20 % beziehungsweise 10 %.

Bei der Variante IIIa liegt der Anteil des Zinks, welches in den Prozeß „Mülldeponie“ gelangt bei 38 %. Zusammen mit dem Zink, welches über die „Verarbeitung“ wieder in den Kunststoffkreislauf gelangt, finden in dieser Variante 42 % keinen geeigneten Zielprozeß. 25 %

gelangen in die "Reststoffdeponie", also in einen bedingt geeigneten Zielprozeß und 33 % gelangen in einen geeigneten Zielprozeß, die "Untertagedeponie".

Bei den Varianten IIIb und IIIc gelangen über 20 % in die Prozesse „Verarbeitung“ und "Mülldeponie", über 30 % in die "Reststoffdeponie" und über 40 % in die "Untertagedeponie". Das heißt, daß in diesen beiden Varianten knapp 80 % in einen geeigneten oder bedingt geeigneten Zielprozeß gelangen.

- Die Varianten I, IIa und IIb erfüllen das 1. Ziel des AWG nicht. Während die Varianten IIIb und IIIc dieses Ziel erfüllen, liegt die Variante IIIa zwischen diesen beiden Gruppen.

4. Ziel des Abfallwirtschaftsgesetzes:

In der Variante I kann bezogen auf Zink von über 95 % der Abfälle eine Gefahr für nachfolgende Generationen ausgehen. Bei den Varianten IIa und IIb verringert sich das Gefahrenpotential auf 60 % bis 65 % beziehungsweise über 85 % je nachdem, wie man die "Reststoffdeponie" einstuft.

Bei der Variante IIIa verringert sich dieses Potential auf 43 % beziehungsweise 67 %.

Bei den Varianten IIIb und IIIc geht nur mehr von ca. 20 % der abgelagerten Abfälle eine unbedingte Gefahr aus. Von ca. 33 % geht eine bedingte und von ca. 43 % geht keine Gefahr mehr aus.

- Berücksichtigt man nur die "Untertagedeponie" als geeignete Senke, von der für nachfolgende Generationen kein Gefahrenpotential ausgeht, so kann keine der fünf Varianten dieses Ziel für Zink erfüllen. Selbst die Varianten IIIb und IIIc liegen unter 50 %. Falls auch die "Reststoffdeponie" über kein Gefahrenpotential verfügt, so wird dieses Ziel des AWG von den Varianten IIIb und IIIc erfüllt und von der Variante IIIa teilweise. Die Varianten I, IIa und IIb können diese Ziel jedoch in keiner Weise erfüllen.

6 Zusammenfassung

6.1 Zusammenfassung der Quantifizierung der gesamten Kunststoffflüsse und -lager in Österreich

Der Gesamtverbrauch an Kunststoffen in Österreich betrug 1994 1,1 Mio. t oder 140 Kg/EW.

Im Jahr 1994 wurden von der "Chemischen Industrie" ca. 1,1 Mio. t an *Roh- und Ausgangsstoffen* für Kunststoffe nach Österreich importiert. Die daraus produzierten *Polymere, Formmassen* und *Duromere* wurden zu ca. 80 % exportiert, sodaß für die "Verarbeitung und Nachbehandlung" in Österreich ca. 250.000 t zur Verfügung standen. Diese großen Massebewegungen stehen mit der Firma PCD-Polymere, welche der einzige bedeutende Kunststoffproduzent in Österreich ist, in unmittelbarem Zusammenhang. Die PCD-Polymere stellte 1994 530.000 t Polyolefine her, welche zu über 85 % exportiert wurden.

Die Importe an *Polymeren, Formmassen* und *Halbzeug* nach Österreich betragen 1994 ca. 1 Mio. t. Zusammen mit den 250.000 t aus der "Chemischen Industrie" standen der österreichischen Kunststoffindustrie ca. 1,3 Mio. t zur "Verarbeitung und Nachbehandlung" zur Verfügung. Jeweils ca. 600.000 t der hergestellten *Fertigteile* und *Halbzeuge* wurden exportiert beziehungsweise waren für den "Einsatz" in Österreich bestimmt. Weitere 520.000 t an *Fertigteilen* und *Elastomeren* wurden in diesem Jahr importiert, sodaß ca. 1,1 Mio. t an Kunststoffprodukten in den "Einsatz" gelangten.

Das „Lager“ an Kunststoffen im Gebrauch beträgt rund 7 Mio. t. Es wächst und wird in den nächsten 3 Jahren bereits die Masse von 1 Tonne je Österreicher überschreiten.

Im Jahr 1994 waren in Österreich ca. 7 Mio. t Kunststoffprodukte im "Einsatz" (Gebrauch, Verwendung). Dieses "Lager", welches aus langlebigen Produkten besteht, wie sie zum Beispiel im Bauwesen oder Automobil zum Einsatz kommen, wuchs in diesem Jahr um ca. 430.000 t oder 6 %.

1994 fielen 760.000 t Kunststoffabfall an. Knapp 80 % davon werden vorwiegend in (Haus-)Mülldeponien abgelagert.

In Österreich fielen 1994 ca. 760.000 t *Kunststoffabfälle* an. Der Großteil, ca. 720.000 t, stammt aus dem Einsatz. Knapp 70.000 t fielen als *Produktionsabfälle* an. Davon wurden ca. 40.000 t innerbetrieblich verwertet. Die verbleibenden 30.000 t *Produktionsabfälle* mußten extern verwertet beziehungsweise deponiert werden. Ca. 10.000 t *Kunststoffabfälle* wurden importiert und exportiert. 45.000 t Kunststoffabfälle, hierbei handelt es sich in erster Linie um Verpackungskunststoffe, liegen in einem der drei "Lager auf Zeit" für eine spätere (thermische) Verwertung. Mehr als 90 % dieses "Lagers" wurde 1994 gebildet.

Das „Lager“ an Kunststoffen in Deponien ist mit 10 Mio. t bereits größer als dasjenige im Gebrauch und wächst schneller.

Knapp 50.000 t *Kunststoffabfälle* wurden 1994 einer "stofflichen Verwertung" zugeführt. Dadurch konnten 43.000 t in den Kunststoffkreislauf zurückgeführt werden. Jedoch wurden nur 17.000 t *Regranulat* in Österreich weiterverarbeitet, die restlichen 26.000 t wurden exportiert.

Zusammen mit dem Hausmüll wurden 45.000 t *Kunststoffabfall* in Müllverbrennungsanlagen thermisch verwertet. Weitere 27.000 t Altreifen konnten in den Drehrohröfen der heimischen Zementindustrie als Sekundärbrennstoff fossile Energieträger ersetzen.

Der größte Teil der *Kunststoffabfälle* des Jahres 1994 landete auf "Deponien" und zwar in erster Linie auf Mülldeponien. Das in den "Deponien" bereits vorhandene Lager an Kunststoffen wuchs im Jahr 1994 um ca. 600.000 t auf 9,7 Mio. t.

1994 befanden sich 16,8 Mio. t an Kunststoffen in Österreich. Davon waren 57 % als *Kunststoffabfälle* in den "Deponien", 42 % als Kunststoffprodukte im Lager des "Einsatzes" (Gebrauch), also in Verwendung und ca. 1 % in Form von *Roh- und Ausgangsstoffen* in den "Lagern" der österreichischen Kunststoffindustrie.

Die bisherige Praxis der Ablagerung von *Kunststoffabfällen* in "Deponien" widerspricht den Zielen des österreichischen Abfallwirtschaftsgesetzes.

6.2 Zusammenfassung der Quantifizierung der Polyethylenflüsse und -lager in Österreich

Die PCD-Polymere produzierte 1994 310.000 t *Formmasse* aus Polyethylen. Davon wurden 270.000 t exportiert und 40.000 t blieben zum Zweck der "Verarbeitung" in Österreich.

200.000 t an *Formmasse*, *Halbzeug* und *Fertigteilen* aus Polyethylen wurden 1994 importiert, sodaß in Österreich für die „Aufbereitung, Verarbeitung und Nachbehandlung“ insgesamt 240.000 t Polyethylen zur Verfügung standen. 110.000 t der Produktion von *Fertigteilen* und *Halbzeug* wurde exportiert und 130.000 t blieben in Österreich.

Zusammen mit den 70.000 t an *Fertigteilen*, die 1994 nach Österreich importiert wurden, gelangten ca. 200.000 t an Polyethylen in den „Einsatz“ (Gebrauch, Verwendung).

Das "Lager" an Produkten aus Polyethylen im „Einsatz“ betrug im Jahr 1994 ca. 1 Mio. t. Der Lagerzuwachs von 40.000 t entspricht einer Vergrößerung des Lagers um 4 %.

Da Polyethylenprodukte vielfach zu den kurzlebigen Konsumgütern gehören (zum Beispiel Verpackungsmaterialien) gelangten von den 200.000 t die 1994 gebraucht wurden ca. 160.000 t in den *Abfall*. Weitere 10.000 t Polyethylen fielen als *Produktionsabfall* an.

37.000 t Polyethylenabfall wurden stofflich verwertet. Davon konnten 13.000 t als *Regranulat* im Inland und 19.000 t im Ausland einer weiteren "Verarbeitung" zugeführt werden. 25.000 t wurden zusammen mit dem Hausmüll thermisch verwertet. Das "Lager auf Zeit" wuchs im Jahr 1994 um 30.000 t Polyethylenabfälle auf 31.000 t an. 80.000 t Polyethylenabfälle wurden deponiert.

Das Lager an Abfällen aus Polyethylen in der „Deponie“ wuchs 1994 um mehr als 2 % und betrug ca. 3,5 Mio. t. Von den bis 1994 in Österreich ge- beziehungsweise verbrauchten Kunststoffen aus Polyethylen befinden sich drei Viertel in den „Deponien“ und ein Viertel im „Einsatz“.

Das "Lager" an Polyethylen im "Einsatz" beträgt ca. 1 Mio. t, jenes in der "Deponie" 3,5 Mio. t.

6.3 Zusammenfassung der Quantifizierung der Polyvinylchloridflüsse und -lager in Österreich

Die Produktion von Polyvinylchlorid wurde 1992 eingestellt.

1994 wurden 150.000 t an *Formmassen*, *Halbzeug* und *Fertigteilen* aus Polyvinylchlorid für die "Verarbeitung und Nachbehandlung" nach Österreich importiert. 65.000 t der produzierten *Halbzeuge* und *Fertigteile* wurden exportiert. 80.000 t an Polyvinylchloridprodukten blieben in Österreich, sodaß zusammen mit den 55.000 t an importierten Polyvinylchloridprodukten ca. 130.000 t für den "Einsatz" (Gebrauch, Verwendung) in Österreich zur Verfügung standen.

Im Jahr 1994 wuchs das "Lager" an *Fertigteilen* aus Polyvinylchlorid im "Einsatz" um 80.000 t auf 1,3 Mio. t und stellt somit das größte "Lager" an Polyvinylchlorid in Österreich dar.

Von den 1994 angefallenen *Abfällen* aus Polyvinylchlorid stammen 60.000 t aus dem "Einsatz", 8.000 t aus der Produktion (*Produktionsabfälle*) und 4.000 t aus dem Import. Da es sich bei den Kunststoffabfällen die im Lager auf Zeit liegen um Verpackungskunststoffe handelt, befinden sich nur maximal 1.000 t in diesem "Lager".

Ca. 4.000 t *Kunststoffabfälle* aus Polyvinylchlorid wurden zusammen mit dem Hausmüll thermisch verwertet. Von den 1.500 t, die stofflich verwertet wurden, konnten ca. 1.000 t in den Kunststoffkreislauf zurückgeführt werden. Der weitaus größte Teil der *Kunststoffabfälle* aus Polyvinylchlorid wurde 1994 deponiert, nämlich mehr als 60.000 t. Inklusive dieser Masse betrug das "Lager" an Polyvinylchlorid in der "Deponie" im Jahr 1994 ca. 1,2 Mio. t.

Das Verhältnis Gebrauch zu "Deponie" ist deshalb für PVC 1:1 und für PE 1:3, weil PVC vorwiegend für langlebige und PE eher für kurzlebige Güter eingesetzt werden. Auch wenn zukünftig weniger PVC gebraucht werden sollte, ist immer noch ein großes Lager zu entsorgen.

Das Lager an Polyvinylchlorid im "Einsatz" beträgt ca. 1,3 Mio. t, jenes in der "Deponie" 1,2 Mio. t.

6.4 Zusammenfassung der Quantifizierung der Additivflüsse und -lager in Österreich

Der Gesamtverbrauch an Additiven betrug 1994 in Österreich rund 100.000 t.

Anhand der Güterbilanz der gesamten Kunststoffe in Österreich wurde für jeden Fluß der Additivgehalt abgeschätzt. Additive zur Einstellung des Verarbeitungs- und Gebrauchsverhaltens werden in verhältnismäßig kleinen Massen (0,0 % bis 5 %) zugemischt. Der Übergang zu Weichmachern, Füllstoffen und Verstärkern ist fließend, jedoch liegt deren eigentlicher Wirkungsbereich bei größeren Anteilen (10 % ... 70 %) am Kunststoff. Aufgrund dieses sehr unterschiedlichen Additivanteiles bei den Kunststoffen kann nur eine Bandbreite des Additivanteiles bei den verschiedenen Güterflüssen angegeben werden. Betrachtet man die gesamten Kunststoffe in Österreich, so liegt der Additivanteil bei ca. 9 %.

Etwa 50 % der Additive sind Füll- und Verstärkungsmittel wie zum Beispiel Silikat, Talkum, Ruß oder Glasfasern. 10 % sind Weichmacher zum Beispiel auf Basis von Phthalaten. Weitere 10 % sind Gleit-, Farb- und Flammschutzmittel. Diese enthalten zum Beispiel Blei-, Cadmium-, Chrom- und Zinkverbindungen sowie halogenierte Kohlenwasserstoffe.

Den geringsten Additivanteil haben thermoplastischen *Formmassen* (1 % - 3 %) und *Polymere* (3 - 6 %). Der Additivanteil bei *Halbzeugen* und *Fertigteilen* liegt zwischen 7 % und 12 % je nachdem, ob im bilanzierten Gut mehr Polyolefine oder mehr Polyvinylchlorid und Duro-mere enthalten sind. Der Additivanteil bei *Elastomeren* und *Naturstoffen* ist mit 23 % - 28 % am höchsten, da diese Gruppen häufig mit Füllstoffen versehen sind.

Das "Lager" an Additiven in eingesetzten Kunststoffen betrug 700.000 t bis 900.000 t. In diesen sind unter anderem einige tausend Tonnen an Schwermetallen wie Zink, Blei oder Cadmium enthalten.

Der Additivanteil im Abfall des Einsatzes sowie in den Lagern Einsatz und Deponie liegt zwischen 7 % und 13 %. Zusammen mit den Kunststoffen befanden sich 1994 im Lager Einsatz (Gebrauch, Verwendung) zwischen 710.000 t und 920.000 t an Additiven. Der Lagerzuwachs betrug 40.000 t bis 50.000 t. Zusammen mit den 50.000 t bis 70.000 t an Additiven die 1994 deponiert wurden, befanden sich Lager in den Deponien zwischen 770.000 t und 1.100.000 t Additive.

In zukünftigen Konzepten zur Verwertung und Entsorgung von Kunststoffen müssen toxische Additive in sicheren „letzten Senken“ abgelagert werden. Die "stoffliche Verwertung" löst dieses Problem noch nicht.

6.5 Zusammenfassung der Ergebnisse der Möglichkeiten der stofflichen Verwertung von Kunststoffabfällen in Österreich

"Sortenreine stoffliche Verwertung":

In Österreich werden folgende Verfahren zur "stofflichen Verwertung" von Kunststoffabfällen angewendet: Aus HDPE- und LDPE-Abfällen wird sortenreines *Regranulat* hergestellt, aus PET-Abfällen werden sortenreine PET-Flakes produziert und aus PS-, PE- und PP-Bechern wird mittels elektrostatischer Trennung ebenfalls sortenreines *Regranulat* hergestellt. Expandiertes Polystyrol wird entweder zu sortenreinem *Regranulat* verarbeitet oder in größerem Ausmaß in der Baustoffindustrie als Zuschlagstoff eingesetzt.

Die Anlagen zur "sortenreinen stofflichen Verwertung" haben eine Kapazität von ca. 120.000 t *Kunststoffabfall* pro Jahr. Die vorhandenen Kapazitäten zur sortenreinen stofflichen Verwertung von *Kunststoffabfällen* können nicht genutzt werden, da die Sammelmengen und dadurch die, den Verwertern zur Verfügung stehenden Massen, zu gering sind.

1994 wurden ca. 46.000 t *Kunststoffabfall* einer „sortenreinen stofflichen Verwertung“ zugeführt. Dabei fielen ca. 15 % als Abfallprodukte (2.600 t *Aufgabebandabfälle*, 5.400 t *Restfraktion* und jeweils ca. 1.000 t *Wasserdampf*, *Entgasungsrückstände*, *Schmelzefilterrückstände* und *Dickschlamm*) an.

Für die Herstellung von 38.000 t *Regranulat* wurden 1994 in Österreich ca. 30.000 MWh Energie und ca. 400.000 m³ Wasser benötigt. Die Kosten für die Verwertung liegen bei ca. ÖS 6.000.- bis ÖS 7.000.- je Tonne *Regranulat*. Die Kosten für Sammlung, Sortierung und Transport der Kunststoffabfälle sowie der Vertrieb des *Regranulates* sind darin noch nicht enthalten. In der Regel ist die Sammlung kostenintensiver als die Verwertung.

"Gemischte stoffliche Verwertung":

Gemischte *Kunststoffabfälle* mit einem Anteil von mindestens 70 % Polyethylen werden ohne Wasch- und Trennvorgang zu einem *Kunststoffprodukt* verarbeitet.

Die Anlagen zur "gemischten stofflichen Verwertung" haben eine Kapazität von ca. 15.000 t *Kunststoffabfall* pro Jahr.

1994 wurden ca. 5.000 t *Kunststoffabfall* einer "gemischten stofflichen Verwertung" zugeführt. Dabei fielen ca. 10 % als Abfallprodukte an (500 t *Aufgabebandabfälle* und ca. 100 t *Wasserdampf*).

Für die Herstellung von 4.500 t *Kunststoffprodukt* wurden 1994 in Österreich ca. 5.100 MWh Energie und ca. 46.000 m³ Wasser benötigt. Die Kosten für die Verwertung liegen bei ca. ÖS 5.000.- bis ÖS 6.000.- je Tonne *Kunststoffprodukt*. Die Kosten für Sammlung, Sortierung und Transport der Kunststoffabfälle sowie der Vertrieb des *Kunststoffproduktes* sind darin noch nicht enthalten. In der Regel ist die Sammlung kostenintensiver als die Verwertung.

6.6 Zusammenfassung der Ergebnisse des Variantenvergleiches

6.6.1 Auswahl der Varianten

Für den Variantenvergleich wurden sechs Varianten ausgewählt:

- Die **Variante I** stellt den IST-Zustand der Kunststoffverwertung/behandlung in Österreich für das Jahr 1994 dar.
- Bei den **Varianten IIa** und **IIb** erfolgt zunächst eine maximale separate Sammlung der Kunststoffabfälle mit anschließender maximaler stofflicher und chemischer Verwertung. Die bereits gesammelten aber nicht für eine stoffliche oder chemische Verwertung geeigneten Kunststoffabfälle werden thermisch verwertet. Die nicht separat gesammelten Kunststoffabfälle werden zusammen mit den verschiedenen Abfallflüssen (Haus- und Systemmüll, Industrie- und Gewerbeabfall und so weiter) bei der Variante IIa deponiert und bei der Variante IIb zu 80 % thermisch verwertet.
- Bei der **Variante IIIa** sollen zunächst wieder alle erfaßbaren Kunststoffabfälle separat gesammelt werden. Jene Masse, die derzeit von der Verpackungsverordnung einer stofflichen Verwertung zugeführt werden muß, wird der stofflichen Verwertung, der Rest der separat gesammelten Kunststoffabfälle der thermischen Verwertung zugeführt. Die nicht erfaßten Kunststoffabfälle werden deponiert.
- Bei der **Variante IIIb** wird nur der von der Verpackungsverordnung vorgeschriebene Anteil der Kunststoffabfälle separat gesammelt und laut Verordnung stofflich verwertet. Die verbleibenden separat gesammelten Abfälle werden thermisch verwertet. Die nicht separat gesammelten Kunststoffabfälle werden zusammen mit den verschiedenen Abfallflüssen (Haus- und Systemmüll, Industrie- und Gewerbeabfall und so weiter) zu 80 % thermisch verwertet.
- In der **Variante IIIc** werden die Kunststoffabfälle nicht separat gesammelt. Es erfolgt keine stoffliche Verwertung. Wie bei den Varianten IIb und IIIb werden 80 % der Kunststoffabfälle zusammen mit den verschiedenen Abfallflüssen (Haus- und Systemmüll, Industrie- und Gewerbeabfall und so weiter) zu 80 % thermisch verwertet, der Rest deponiert.

Die folgende Abbildung liefert einen Überblick über den Input in die Varianten:

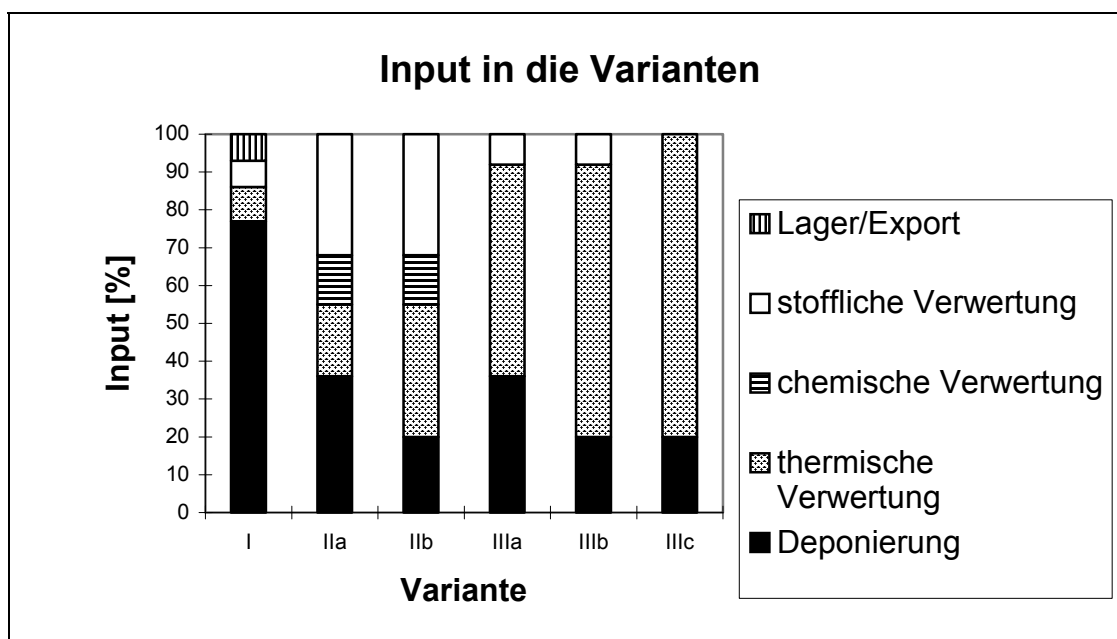


Abbildung 6-1: Übersicht über den Input in die Varianten I bis IIIc in %

6.6.2 Auswahl der Prozesse und Güter

Folgende Güter wurden bei den verschiedenen Möglichkeiten zur Verwertung, Behandlung und Entsorgung der Kunststoffabfälle ausgewählt und bilanziert:

Sortenreine stoffliche Verwertung":

Regranulat, Aufgabebandabfälle, Restfraktion, Wasserdampf, Entgasungsrückstände, Schmelzefilterrückstände, Dickschlamm

"Gemischte stoffliche Verwertung":

Kunststoffprodukt, Aufgabebandabfälle

"Chemische Verwertung":

Syncrude, Bitumen

"Thermische Verwertung", "MVA"

Abwasser, E-Filterstaub, Filterkuchen, Reingas, Schlacke

"Lager auf Zeit":

KST_{Lager}

"Export":

KST_{Export}

"Müldeponie":

$KST_{Deponie}$

6.6.3 Auswahl der Stoffe

Folgende Stoffe wurden ausgewählt und bilanziert:

Kohlenstoff (C), Barium (Ba), Cadmium (Cd), Chlor (Cl), Blei (Pb), Zink (Zn)

6.6.4 Massen der Stoffe im österreichischen Kunststoffabfall:

Da die Kunststoffe aus Kohlenwasserstoffketten bestehen ist der Hauptbestandteil der Kohlenstoff. Die große Masse an Chlor ist in erster Linie auf Polyvinylchlorid zurückzuführen. Ein durchschnittliches PVC-Produkt ist mit knapp 20 Masse-% Additiven versehen und besteht somit zu 45 Masse-% aus Chlor.

Die folgende Tabelle faßt die Konzentrationen und Massen der ausgewählten Stoffe im jährlich anfallenden österreichischen Kunststoffabfall zusammen.

Tabelle 6-1: Konzentrationen der ausgewählten Stoffe im jährlich anfallenden Kunststoffabfall

Gut /	Stoffe	C	Ba	Cd	Cl	Pb	Zn
Kunststoffabfall in Österreich, 1994	[mg/Kg]	760.000	1.800	50	41.000	450	700
	[t]	580.000	1.400	38	32.000	340	530

6.6.5 Konzentrationen und Verteilungen der ausgewählten Stoffe:

"Sortenreine stoffliche Verwertung":

Im Vergleich zu den gesamten Kunststoffabfällen ist die Konzentration des Kohlenstoffes im Input in die "sortenreine stoffliche Verwertung" aufgrund der Dominanz der Polyolefine höher. Sie liegt bei 810.000 mg/Kg. Bei den anderen ausgewählten Stoffen ist die Konzentration nur halb so groß wie jene im gesamten österreichischen Kunststoffabfall.

Die Konzentrationen bei den *Aufgabebandabfällen* und der *Restfraktion* liegen wieder im Bereich jener des gesamten österreichischen Kunststoffabfalles.

Während sich 90 % des Kohlenstoffes im Kunststoffabfall bei der „sortenreinen stofflichen Verwertung“ im Outputgut *Regranulat* befindet, liegen die Prozentsätze bei den anderen bilanzierten Stoffen (Barium, Cadmium, Chlor, Blei und Zink) zwischen 50 % (Chlor) und 80 % (Barium). Diese Stoffe reichern sich vor allem in den *Aufgabebandabfällen* und in der *Restfraktion* an.

"Gemischte stoffliche Verwertung":

Da bei der "gemischten stofflichen Verwertung" nicht nur Polyolefine verarbeitet werden, liegt die Konzentration von Kohlenstoff (720.000 mg/Kg) im Input niedriger als bei der "sortenreinen stofflichen Verwertung", während die Konzentrationen der anderen Stoffe höher liegen. Die Konzentration von Chlor im Input beträgt ca. 13.000 mg/Kg, im *Kunststoffprodukt* 11.000 mg/Kg und im *Aufgabebandabfall* ca. 27.000 mg/Kg, da in erster Linie PVC aussortiert wird. Bei den anderen ausgewählten Stoffen ist die Konzentration im *Aufgabebandabfall* ebenfalls ca. doppelt so hoch wie im Input.

Während 10 % der Güter vom Inputgut Kunststoffabfall aussortiert werden, liegt der Prozentsatz bei den Stoffen bei durchschnittlich 20 %. Lediglich 3 % des Kohlenstoffes werden aussortiert.

"Chemische Verwertung":

Als Input in die "chemische Verwertung" wurde von den Konzentrationen her gesehen ein für Österreich repräsentatives Kunststoffabfallgemisch herangezogen. Da die *Syncrud* zu 100 % aus Kohlenwasserstoffen bestehen und ca. zwei Drittel des Inputs in die chemische Verwertung ausmachen, liegen die Konzentrationen der Stoffe in den *Bitumen* dreimal so hoch wie im Input. Die einzige Ausnahme stellt der Kohlenstoff dar, dessen Konzentration im *Syncrud* bei 800.000 mg/Kg und in den *Bitumen* bei ca. 680.000 mg/Kg liegt.

65 % des Inputgutes der "chemischen Verwertung" gelangt in das *Syncrud* und 35 % in die *Bitumen*. Bei Kohlenstoff liegt dieses Verhältnis bei 68 zu 32. Alle anderen Stoffen gelangen zu 100 % in die *Bitumen*.

"Thermische Verwertung", "Hausmüllverbrennungsanlage":

Im Variantenvergleich wurde nicht zwischen den beiden "thermischen Verfahren" unterschieden. Die Konzentration der ausgewählten Elemente in diese Verfahren kann nicht generell angegeben werden, da sie bei jeder Variante unterschiedlich ist. In der Variante II werden sehr viele Kunststoffabfälle stofflich verwertet. Da PVC dabei nicht erwünscht ist, wird es aussortiert und teilweise thermisch verwertet. Demnach liegt in dieser Variante die Konzentration des Chlors im Input in die "thermische Verwertung" wesentlich höher als zum Beispiel in der Variante IIIc, bei der keine separate Sammlung erfolgt.

Bei der "thermischen Verwertung" von Kunststoffabfällen gelangen 91 % des Inputs in das *Reingas*, 5 % in die *Schlacke*, 2 % in das *Abwasser*, 1 % in den *E-Filterstaub* und 0,2 % in den *Filterkuchen*. Der Kohlenstoff geht zu 99 % in das *Reingas*. Barium und Blei gelangen zu 85 % beziehungsweise 75 % in die *Schlacke* und zu 15 % beziehungsweise 25 % in den *E-Filterstaub*. Cadmium und Zink gelangen zu 92 % beziehungsweise 57 % in den *E-Filterstaub* und zu 8 % beziehungsweise 43 % in die *Schlacke*. Nur das Chlor verteilt sich in großen Massen auf drei Outputgüter und zwar zu 54 % in das *Abwasser*, zu 36 % in den *E-Filterstaub* und zu 10 % in die *Schlacke*.

"Deponien": (Müll-, Reststoff- und Untertagedeponie):

Wie bei den beiden "thermischen Verfahren" erwähnt, kann auch für die "Deponien" keine Konzentration der Stoffe angegeben werden, die für alle sechs Varianten zutrifft. Da die Deponien für den Variantenvergleich einen Prozeß ohne Outputgüter darstellen, gibt es auch keine Verteilungen.

"Lager auf Zeit", "Export":

Diese beiden Prozesse kommen nur bei der Variante I - Istzustand für 1994 vor und werden hier nicht mehr näher erklärt.

6.6.6 Güter- und Stoffflüsse bei den einzelnen Varianten**Güterflüsse:**

Derzeit (Variante I) gelangen von den jährlich 760.000 t Kunststoffabfällen 600.000 t in die „Mülldeponie“, 70.000 t als gereinigtes Abgas in die „Atmosphäre“ und jeweils ca. 40.000 t in die „Verarbeitung“ und in das „Lager auf Zeit“. Weitere 12.000 t werden exportiert. Jeweils weniger als 3.000 t verteilen sich auf die Zielprozesse „Reststoffdeponie“, „Untertagedeponie“ und „Hydrosphäre“.

Bei der Variante IIb gelangen 150.000 t in die „Mülldeponie“ und jeweils ca. 280.000 t der Kunststoffabfälle in die „Verarbeitung“ und in die "Atmosphäre". Bei gleicher Belastung der "Mülldeponien" gelangen bei der Variante IIIb 50.000 t in die "Verarbeitung" und 510.000 t in die "Atmosphäre", während bei der Variante IIIc 560.000 t in die "Atmosphäre" gehen.

Massenmäßig spielen die "Reststoffdeponie", die "Untertagedeponie" und die "Hydrosphäre" keine Rolle. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Güterflüsse bei den verschiedenen Varianten im Überblick.

Tabelle 6-2: Güterflüsse bei den verschiedenen Varianten

Güterflüsse		Verarb./Einsatz	Mülldeponie	Reststoffd.	Untertaged.	Hydrosp.	Atmosp.
Variante I	[t]	40.000	600.000	3.000	1.000	2.000	70.000
Variante IIa	[t]	280.000	310.000	40.000	3.000	3.000	130.000
Variante IIb	[t]	280.000	150.000	46.000	5.000	7.000	270.000
Variante IIIa	[t]	50.000	280.000	16.000	8.000	10.000	400.000
Variante IIIb	[t]	50.000	150.000	21.000	10.000	13.000	510.000
Variante IIIc	[t]		150.000	23.000	10.000	14.000	560.000

Kohlenstoffflüsse:

Aufgrund des hohen Kohlenstoffanteiles (ca. 75 %) in den Kunststoffen verhalten sich die 580.000 t Kohlenstoff bei den verschiedenen Varianten ähnlich wie die Güterflüsse. Bei den verschiedenen Verfahren zur Verwertung, Behandlung und Entsorgung der Kunststoffabfälle sind die "Untertagedeponie" und die "Hydrosphäre" keine Zielprozesse für Kohlenstoff.

1994 wurden ca. 450.000 t Kohlenstoff deponiert. Bei maximaler "stofflicher Verwertung" kann diese Masse auf ca. 210.000 t und bei maximaler "thermischer Verwertung" auf 120.000 t gesenkt werden.

Der relativ hohe Kohlenstoffanteil in der "Reststoffdeponie" bei den Varianten IIa und IIb resultiert vornehmlich aus der „chemischen Verwertung“.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Kohlenstoffflüsse bei den verschiedenen Varianten im Überblick.

Tabelle 6-3: Kohlenstoffflüsse bei den verschiedenen Varianten

Kohlenstoffflüsse	Verarb./Einsatz	Mülldeponie	Reststoffd.	Untertaged.	Hydrosp.	Atmosp.
Variante I [t]	35.000	450.000	1.000			50.000
Variante IIa	230.000	220.000	24.000			100.000
Variante IIb [t]	230.000	200.000	25.000			120.000
Variante IIIa [t]	43.000	210.000	3.000			320.000
Variante IIIb [t]	43.000	120.000	4.000			420.000
Variante IIIc [t]		120.000	5.000			460.000

Bariumflüsse:

Von den 1.400 t Barium, die sich im österreichischen Kunststoffabfall befinden, gelangen bei der Variante I 1.100 t in die "Mülldeponie" und 100 t in die "Reststoffdeponie". Durch die stoffliche Verwertung (Varianten IIa, IIb und IIIa) gelangen noch immer jeweils 600 t in die "Mülldeponie" und in die "Reststoffdeponie". Bei den Varianten IIIb und IIIc gelangen nur knapp 300 t in die "Mülldeponie" und ca. 900 t in die "Reststoffdeponie".

"Hydrosphäre" und "Atmosphäre" sind für die Bariumflüsse nicht relevant.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Bariumflüsse bei den verschiedenen Varianten im Überblick.

Tabelle 6-4: Bariumflüsse bei den verschiedenen Varianten

Bariumflüsse	Verarb./Einsatz	Mülldeponie	Reststoffd.	Untertaged.	Hydrosp.	Atmosp.
Variante I [t]	40	1.100	100	20		
Variante IIa [t]	200	610	460	40		
Variante IIb [t]	200	560	500	50		
Variante IIIa [t]	50	500	660	120		
Variante IIIb [t]	50	270	850	150		
Variante IIIc [t]		260	900	160		

Cadmiumflüsse:

1994 wurden 31 t von 38 t Cadmium in "Mülldeponien" und 3 t in "Untertagedeponie" abgelagert. Bei der Variante IIIc dreht sich dieses Verhältnis beinahe um. Bei den Varianten IIa und IIb wird ca. doppelt soviel Cadmium in "Mülldeponie" als in "Untertagedeponie" abgelagert. Weitere 4 t gelangen über die "Verarbeitung" wieder in den "Einsatz".

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Cadmiumflüsse bei den verschiedenen Varianten im Überblick.

Tabelle 6-5: Cadmiumflüsse bei den verschiedenen Varianten

Cadmiumflüsse		Verarb./Einsatz	Mülldeponie	Reststoffd.	Untertaged.	Hydrosp.	Atmosp.
Variante I	[t]	1	31	0	3	0	0
Variante IIa	[t]	4	19	7	8	0	0
Variante IIb	[t]	4	17	7	10	0	0
Variante IIIa	[t]	1	15	2	21	0	0
Variante IIIb	[t]	1	8	2	27	0	0
Variante IIIc	[t]		8	2	28	0	0

Chlorflüsse:

Von den 32.000 t Chlor im Kunststoffabfall gelangen bei der Variante I 27.000 t in die „Mülldeponie“ und 2.000 t in die "Hydrosphäre". Da chlorhaltige Kunststoffe (in erster Linie PVC) kaum stofflich verwertet werden, gelangen keine wesentlichen Massen an Chlor in die "Verarbeitung". Während bei den Varianten mit maximaler "stofflicher Verwertung" ca. 16.000 t in die "Mülldeponie" und 7.000 t in die "Reststoffdeponie" gelangen, verteilt sich das Chlor bei den thermischen Varianten IIIb und IIIc zu 13.000 t in die "Hydrosphäre" und zu 9.000 t in die "Untertagedeponie".

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Chlorflüsse bei den verschiedenen Varianten im Überblick.

Tabelle 6-6: Chlorflüsse bei den verschiedenen Varianten

Chlorflüsse		Verarb./Einsatz	Mülldeponie	Reststoffd.	Untertaged.	Hydrosp.	Atmosp.
Variante I	[t]		27.000		1.000	2.000	
Variante IIa	[t]		17.000	7.000	3.000	4.000	
Variante IIb	[t]		16.000	7.000	3.000	5.000	
Variante IIIa	[t]		12.000	2.000	7.000	10.000	
Variante IIIb	[t]		7.000	2.000	9.000	13.000	
Variante IIIc	[t]		6.000	3.000	9.000	13.000	

Bleiflüsse:

Von den ca. 340 t Blei im österreichischen Kunststoffabfall gelangen bei der Variante I 280 t in die „Mülldeponie“. Bei den Varianten IIa und IIb werden jeweils ca. 150 t in "Mülldeponien" und "Reststoffdeponie" abgelagert, während 40 t über die "Verarbeitung" wieder in den „Einsatz“ gelangen.

Bei den thermischen Varianten werden nur mehr 70 t in "Mülldeponien", dafür aber 200 t in "Reststoffdeponien" und 70 t in "Untertagedeponien" abgelagert.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Bleiflüsse bei den verschiedenen Varianten im Überblick.

Tabelle 6-7: Bleiflüsse bei den verschiedenen Varianten

Bleiflüsse		Verarb./Einsatz	Mülldeponie	Reststoffd.	Untertaged.	Hydrosp.	Atmosp.
Variante I	[t]	10	280	20	10		
Variante IIa	[t]	40	170	110	20		
Variante IIb	[t]	40	150	130	20		
Variante IIIa	[t]	10	130	150	50		
Variante IIIb	[t]	10	70	200	70		
Variante IIIc	[t]		70	210	70		

Zinkflüsse:

Jährlich fallen in Österreich 530 t kunststoffbürtiges Zink an. 1994 wurden davon 440 t in "Mülldeponien" abgelagert. Der Rest verteilte sich zu gleichen Teilen auf die "Verarbeitung", die "Reststoffdeponie" und die "Untertagedeponie".

Bei maximaler "stofflicher Verwertung" gelangen 110 t in die "Verarbeitung" und in die "Reststoffdeponie". Die doppelte Masse, demnach über 200 t müssen dabei in "Mülldeponien" abgelagert werden. Bei maximaler "thermischer Verwertung" befinden sich nur mehr 110 t in der "Mülldeponie", während 180 t in "Reststoffdeponien" und 240 t in "Untertagedeponien" abgelagert werden.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Zinkflüsse bei den verschiedenen Varianten im Überblick.

Tabelle 6-8: Zinkflüsse bei den verschiedenen Varianten

Zinkflüsse		Verarb./Einsatz	Mülldeponie	Reststoffd.	Untertaged.	Hydrosp.	Atmosp.
Variante I	[t]	20	440	20	30		
Variante IIa	[t]	110	240	120	60		
Variante IIb	[t]	110	210	140	80		
Variante IIIa	[t]	30	200	130	170		
Variante IIIb	[t]	30	110	170	230		
Variante IIIc	[t]		110	180	240		

6.6.7 Beurteilung der Güter- und Stoffflüsse bei den Varianten nach den Zielen des Abfallwirtschaftsgesetzes:**1. Zieles des AWG: Schutz von Mensch und Natur**

Die Varianten I und IIa erfüllen dieses Ziel nicht, die Varianten IIb und IIIa teilweise und die Varianten IIIb und IIIc zum überwiegenden Teil.

Zur Beurteilung des 1. Zieles des AWG wurde die letzte Senke beziehungsweise der Zielprozeß der ausgewählten Stoffe herangezogen. Da für den Kohlenstoff nur die „Atmosphäre“ (bei Nutzung der Energie) und bedingt die "Atmosphäre" geeignete Zielprozesse sind, erfüllen die Varianten I und IIb dieses Ziel nicht, die Varianten IIb und IIIa nur bedingt, während die Varianten IIIb und IIIc dieses Ziel erfüllen.

Da nur die „Untertagedeponie“ eine geeignete Senke für Barium, Blei und Zink darstellt, kann dieses Ziel langfristig bei keiner Variante erreicht werden. Die Varianten IIIb und IIIc können es nur teilweise für Zink erfüllen. Kurzfristig ist auch die „Reststoffdeponie“ unter bestimmten Voraussetzungen für die Ablagerung von Barium, Blei und Zink geeignet, sodaß zumindest die Varianten IIIa, IIIb und IIIc dieses Ziel bedingt erfüllen können.

Für Cadmium kann nur die „Untertagedeponie“ als geeignete Senke angesehen werden. Die Varianten I, IIa und IIb erfüllen demnach dieses Ziel des AWG nicht und die Variante IIIa bedingt. Nur die Varianten IIIb und IIIc erfüllen dieses Ziel des AWG für Cadmium.

Die „Hydrosphäre“ stellt für Chlor eine geeignete Senke dar. Daher wird dieses Ziel des AWG von keiner Variante erfüllt. Unter Berücksichtigung der "Untertagedeponie" als ebenfalls geeigneten Zielprozeß für Chlor können die Varianten IIIb und IIIc dieses Ziel dennoch erreichen.

2. Zieles des AWG: Schonung von Rohstoff und Energiereserven

Die Varianten I und IIa erfüllen dieses Ziel nicht. Die Varianten IIb, IIIa, IIIb und IIIc liegen vergleichsweise eng beisammen und erfüllen dieses Ziel.

Zur Beurteilung des 2. Zieles des AWG wurde die Einsparung an Erdöl im Vergleich zu einer Nullvariante herangezogen. Es galt die Masse an Kunststoffen, die sich 1994 im österreichischen Abfall befand (760.000 t) herzustellen. Bei der Nullvariante mußte der Kunststoff zu 100 % aus Erdöl hergestellt werden, dies benötigt eine Erdölmenge von ca. 1,4 Mio. t oder 100 %. Bei den anderen konnte der Kunststoffabfall über die Verwertung wieder zu Kunststoffen recycelt werden. Dieser Prozeß benötigt aber ebenfalls Energie (Erdöl). Weiters wurde berücksichtigt, daß bei der thermischen Verwertung von Kunststoffabfällen andere Brennstoffe (Erdöl) eingespart werden können oder elektrische Energie erzeugt wird.

Bei der Variante I können lediglich 10 % des Erdöles im Vergleich mit der Nullvariante eingespart werden. Die Erdöleinsparung bei der Variante IIIa liegt mit 32 % ebenfalls unter den anderen, welche ca. 40 % des Erdöls einsparen können. Am Besten schneidet die Variante IIb ab, bei der ca. 780.000 t Erdöl benötigt werden. Dies entspricht einer Erdöleinsparung von 43 %.

Die folgende Abbildung gibt einen Überblick über die Erdöleinsparung bei den verschiedenen Varianten in Prozent.

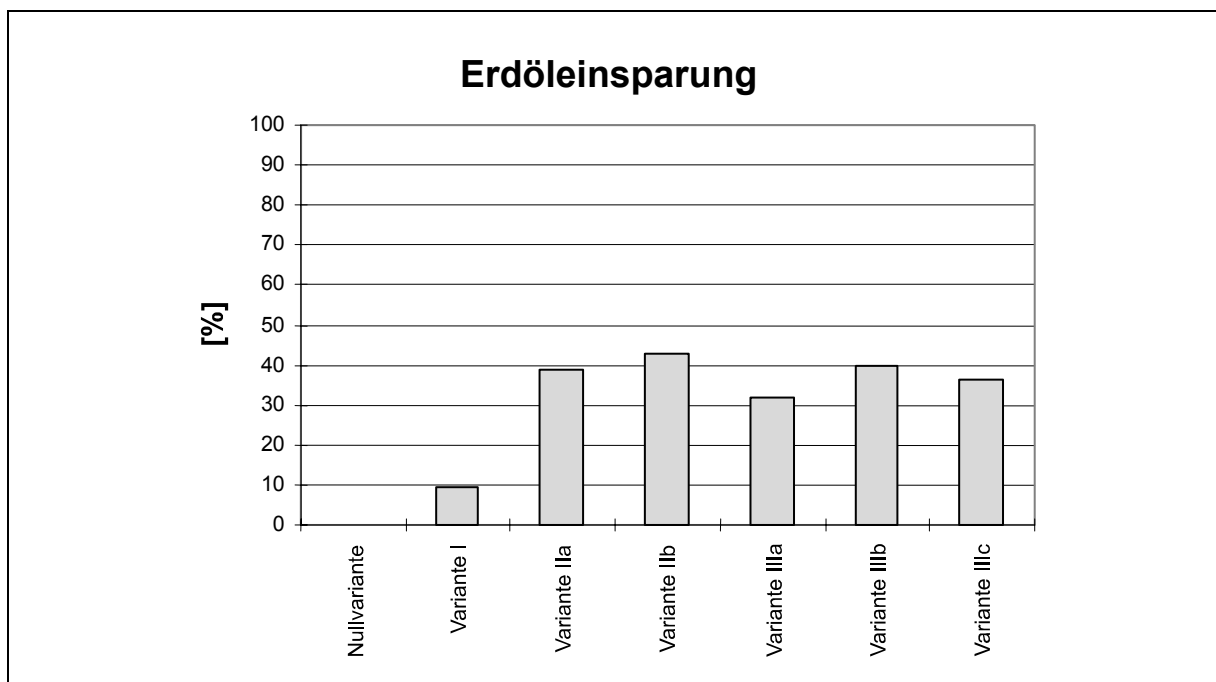


Abbildung 6-1: Erdöleinsparung in Prozent bei den verschiedenen Varianten

3. Zieles des AWG: Geringhaltung des Verbrauches an Deponievolumen

Die Variante I erfüllt dieses Ziel nicht. Die Varianten IIb, IIIb und IIIc erfüllen dieses Ziel besser als die Varianten IIa und IIIa.

Zur Beurteilung des 3. Zieles des AWG wurde der Deponievolumenverbrauch im Vergleich zu einer Nullvariante herangezogen. Die Nullvariante geht davon aus, daß der gesamte Kunststoffabfall des Jahres 1994 (auf einer Mülldeponie) deponiert wird. Dabei wird ein Volumen von ca. 1.000 m³ benötigt. Die Qualität der "Deponie" ("Müll"-, "Reststoff"- oder "Untertagedeponie") wurde nicht berücksichtigt.

Bei der Variante I können nur 16 % des Mülldeponievolumens im Vergleich zur Nullvariante eingespart werden.

Bei den Varianten IIa und IIIa beträgt das benötigte Deponievolumen ca 400.000 m³, dies entspricht ca. 40 % der Nullvariante. Einen Verbrauch von ca. 22 % oder 230 m³ benötigen die Varianten IIb, IIIb und IIIc.

Die folgende Abbildung zeigt den Deponievolumenverbrauch bei den verschiedenen Varianten und vergleicht diesen mit der Nullvariante.

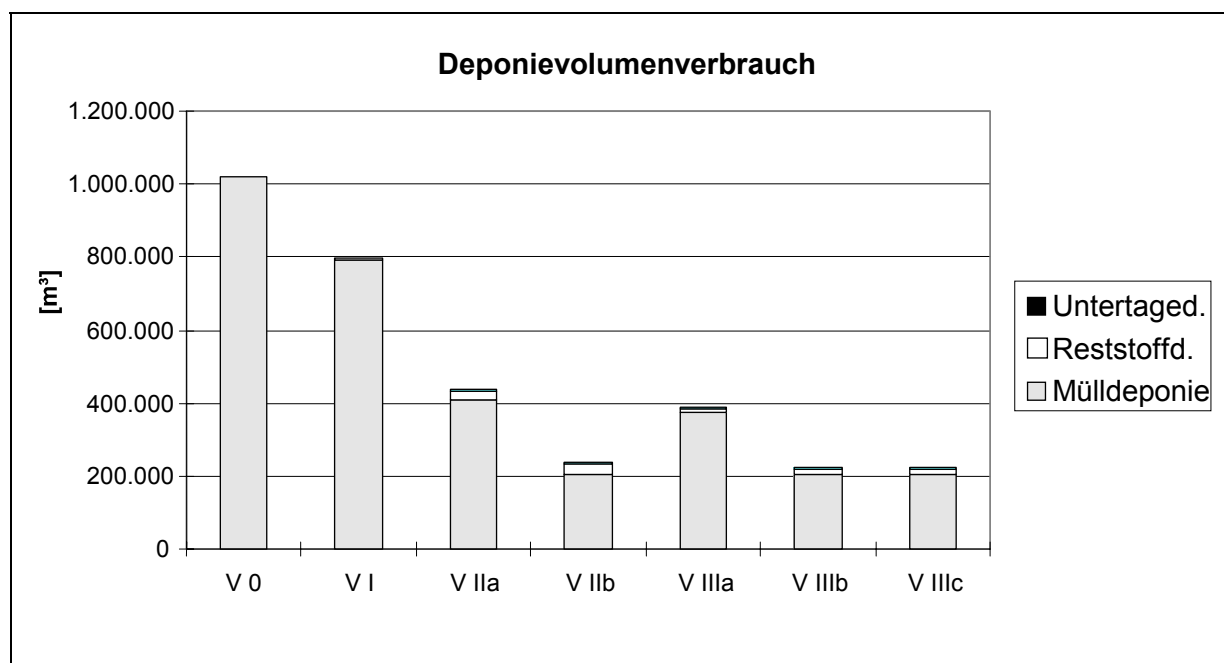


Abbildung 6-2: Deponievolumenverbrauch bei den verschiedenen Varianten in m³

4. Zieles des AWG: Vorsorgeprinzip

Die Varianten I, IIa und IIb erfüllen dieses Ziel nicht, die Variante IIIa teilweise. Die Varianten IIIb und IIIc erfüllen dieses Ziel kurzfristig für alle ausgewählten Stoffe. Langfristig kann dieses Ziel aber für Barium auch von diesen Varianten nicht erfüllt werden.

Zur Beurteilung des 4. Zieles des AWG wurde die Qualität der abzulagernden Abfälle und die letzte Senke der Inhaltsstoffe dieser Abfälle herangezogen.

Die Variante I kann dieses Ziel auch kurzfristig für keinen Stoff erreichen. Die Varianten IIa und IIb können für die Güter und den Kohlenstoff dieses Ziel teilweise beziehungsweise kurzfristig erreichen.

Die Variante IIIa kann dieses Ziel für alle Stoffe teilweise erfüllen. Bei den Gütern, dem Kohlenstoff und Cadmium sind die Varianten IIIb und IIIc langfristig und bei Chlor, Blei und Zink kurzfristig souverän. Lediglich für Barium kann dieses Ziel des AWG nur von diesen beiden Varianten teilweise erfüllt werden.

7 Schlußfolgerungen

Die "österreichische Chemische Industrie" importiert ca. 1 Mio. t an *primären* und *sekundären Rohstoffen*, veredelt sie zu *Kunststoffrohformen* und exportiert diese veredelten Produkte zu ca. 80 %. Ungefähr 50 % dieser Güterbewegungen, stehen in Verbindung mit der PCD-Polymere, welche aus Erdöl 530.000 t Polyolefine produziert.

Die "Kunststoffverarbeiter und -nachbehandler" importieren ebenfalls ca. 1 Mio. t *Kunststoffrohformen*. Auch sie veredeln diese zu *Halbzeug* und *Fertigteilen* und exportieren 50 % ihrer Produktion.

In den "Einsatz" (Gebrauch, Konsum) gelangen 600.000 t inländischer und 500.000 t ausländischer Waren und *Fertigteile* aus Kunststoff.

1994 fielen 760.000 t *Kunststoffabfälle* an. Fast 60 % der *Produktionsabfälle* werden innerbetrieblich verwertet, sodaß die tatsächliche Produktionsabfallmasse im Vergleich zur gesamten Kunststoffabfallmasse weniger als 5 % ausmacht.

Das "Lager" an Kunststoffen im "Einsatz" wurde 1994 um 6 % vergrößert und beträgt ca. 7 Mio. t. Bei gleichbleibendem Konsumverhalten verdoppelt sich dieses "Lager" in den nächsten 12 Jahren. Das Lager an Kunststoffen in der "Deponie" beträgt ca. 9,7 Mio. t und wuchs 1994 um 6 %. 1994 wurden 80 % der Kunststoffabfälle Österreichs vorwiegend auf "Hausmülldeponien" abgelagert.

Seit 1963 wurden in Österreich zusammen mit dem Hausmüll ca. 850.000 t *Kunststoffabfall* thermisch verwertet. Das sind ca. 9 % jener Masse, die bisher deponiert wurde. Würde man die in den "Deponien" liegende Masse an Kunststoffen thermisch verwerten, so könnten bei einem durchschnittlichen Energiegehalt der Kunststoffe von 30 MJ/Kg und einem Wirkungsgrad der Anlage von 35 % ca. 25.000 GWh elektrische Energie hergestellt werden. Dies entspricht jener Energiemenge, die in Österreich in zwei Jahren aus fossilen Energieträgern (Stein- und Braunkohle, Erdöl und Erdgas) gewonnen wird.

Das "Lager" an Polyvinylchlorid ist im "Einsatz" größer als in der "Deponie". Bei Polyethylen ist es genau umgekehrt. Man kann anhand der Stoffflußanalyse sehr schön erkennen, welche Kunststoffsorten lange und welche nur kurz im "Einsatz" sind.

Sowohl die "stoffliche" als auch die "thermische Verwertung" von *Kunststoffabfällen* sind in Österreich zur Zeit von untergeordneter Bedeutung.

7 % der anfallenden *Kunststoffabfälle* werden stofflich und 9 % thermisch verwertet. Nur 2,5 % der Kunststoffabfallmasse beziehungsweise 1,4 % der Masse, die 1994 in Österreich in den "Einsatz" kam (verbraucht wurde), gelangte über die "stoffliche Verwertung" als *Regenulat* wieder in die "Verarbeitung".

Neu zu schaffende, oder zu adaptierende gesetzliche Regelungen müssen sich mit den gesamten Kunststoffen beschäftigen und nicht nur den Verpackungssektor berücksichtigen. Der Anteil der Kunststoffverpackungsabfälle am gesamten *Kunststoffabfall* beträgt ca. 25 %; vergleicht man den Verbrauch an Kunststoffverpackungen mit dem gesamten Kunststoffverbrauch sind es lediglich ca. 18 %.

1994 befanden sich zusammen mit den Kunststoffen zwischen 700.000 t und 900.000 t *Additive* im "Einsatz" (Verwendung, Gebrauch). Diese Masse gilt es in den nächsten Jahren zu entsorgen. Bei der "stofflichen Verwertung" bleiben die *Additive* im Kunststoff, der für die "Verarbeitung" zu Produkten zusätzlich mit *Additiven* nachstabilisiert werden muß. Das Additivproblem verschärft sich dadurch noch mehr. Die "Deponie" ist für *Additive* kein geeignetes "Lager", da sie über lange Zeit gesehen aus dem Kunststoff emigrieren und über das Sickerwasser ins Grundwasser gelangen können. Das Additivproblem kann nur durch eine "thermische Verwertung" gelöst werden. Da die Füll- und Verstärkungsmittel zum Beispiel aus Ruß, Talkum, Silikaten und Glasfasern bestehen, werden sie zusammen mit der *Schlacke* deponiert. Das Cadmium der Additive reichert sich im *E-Filterstaub* an der, da hochkontaminiert, in "Untertagedeponien" abgelagert werden muß. Das Volumen der zu deponierenden Kunststoffe verringert sich bei der "thermischen Verwertung" auf ca. 2 %.

Im Jahr 1994 fielen in Österreich ca. 760.000 t *Kunststoffabfälle* an. In dieser Masse sind ca. 580.000 t Kohlenstoff, 32.000 t Chlor, 1.400 t Barium, 530 t Zink, 340 t Blei und 38 t Cadmium inkludiert.

Von den 760.000 t *Kunststoffabfall* sind maximal 250.000 t für eine "stoffliche" und 100.000 t für "chemische Verwertung" geeignet. Dies entspricht weniger als 50 %.

Bei der "thermischen Verwertung" und "Hausmüllverbrennung" fallen 6 % als Abfall oder Rückstand an.

Die stoffliche Verwertung von Kunststoffabfällen beschränkt sich auf das Polyethylen. Andere Kunststoffsorten und mit ihnen viele Additive werden aussortiert und deponiert - auch bei der gemischten stofflichen Verwertung. Bei der stofflichen Verwertung fallen zwischen 10 % und 15 % des Inputs als Abfall an.

Bei der "chemischen Verwertung" bestehen die *Synchrude*, 65 % des Inputs, aus reinen Kohlenwasserstoffen. Sämtliche anderen Stoffe (außer Kohlenstoff und Wasserstoff) befinden sich im Abfallprodukt, den *Bitumen*, die 35 % des Inputs ausmachen. Daher ist in den Bitumen die Konzentration der ausgewählten Stoffe (außer Kohlenstoff) um zwei Drittel höher als im gesamten Kunststoffabfall.

Die Variante I - Istzustand 1994 - und die Variante IIa - maximale "Sammlung" und "stoffliche Verwertung", Rest Deponierung - erfüllen keines der vier Ziele des österreichischen Abfallwirtschaftsgesetzes.

Die Varianten IIIb - minimale "stoffliche Verwertung", Rest "thermische Verwertung"- und IIIc - nur "thermische Verwertung" - kommen den vier Zielen des Abfallwirtschaftsgesetzes am nächsten.

Die Varianten IIb - maximale "Sammlung" und "stoffliche Verwertung", Rest "thermische Verwertung" - und IIIa - maximale "Sammlung", minimale "stoffliche Verwertung", Rest "thermische Verwertung" - erfüllen nur das 2. Ziel - Schonung von Rohstoff- und Energiere-serven - und das 3. Ziel - Geringhaltung des Verbrauches an Deponievolumen - des Abfall-wirtschaftsgesetzes.

Die neue österreichische Deponieverordnung ist dann, wenn sie durch thermische Verfahren umgesetzt wird, für Kunststoffabfälle ein wesentlicher Schritt in die Richtung einer ökolo-gisch orientierten Abfallwirtschaft. Sie stellt das wirksamste Steuerungsinstrument dar, um künftige Kunststoffe von der Deponie fernzuhalten.

Die "stoffliche Verwertung" von *Kunststoffabfällen* kann viele Probleme (z.B. *Additive*) nicht alleine lösen. Am Ende der Nutzungsdauer eines Kunststoffproduktes muß, auch nach mehrmaliger kaskadischer Nutzung, die "thermische Verwertung" stehen.

8 Abkürzungsverzeichnis

Ba	Barium
C	Kohlenstoff
Cd	Cadmium
ch.	chemisch(e)
Cl	Chlor
etc.	et cetera
EW	Einwohner
G	Giga
g	Gramm
g.s.t.	gesammelt und/oder sortiert und transportiert
h	Stunde
HDPE	high density Polyethylen (PE mit hoher Dichte: 0,94 - 0,97 g/cm ³)
J	Joule
Kg	Kilogramm
KST	Kunststoff
LDPE	low density Polyethylen (PE mit geringer Dichte: 0,91 - 0,93 g/cm ³)
M	Mega
m	mili
MVA	Müllverbrennungsanlage
Ni	Nickel
Pb	Blei
PE	Polyethylen
PET	Polyethylenterephthalat
PP	Polypropylen
PS	Polystyrol
PVC	Polyvinylchlorid
s	Sekunde
st.	stofflich(e)
t	Tonne(n)
th.	thermisch(e)
UP	ungesättigte Polyester
UV	Ultraviolett-
V	Variante
V.	Verwertung
W	Watt
Zn	Zink

9 Glossar

Aufbereitung: Thermoplastische Kunststoffe müssen vor der Verarbeitung meist in Walzen, Extrudern Mischern, Knetern etc. compoundiert, d.h. mit Additiven (Stabilisatoren, Gleitmittel) versetzt und in bestimmten Abmessungen gekörnt (granuliert) werden. Dieser Vorgang wird Aufbereiten zur Formmasse genannt.

Chemische Industrie: Die chemische Industrie verarbeitet primäre Rohstoffe (Erdöl, Erze) und sekundäre Rohstoffe (Ethylen, Natriumchlorid) zu Monomeren (Ethylen, Acetylen), Polyadditions- (Bisphenol A) und Polykondensationsausgangsstoffen (Adipinsäure), Additiven (Stabilisatoren, Weichmacher) und Hilfsstoffen (Katalysatoren, Härter).

Chemische Verwertung: Unter der chemischen Verwertung werden die Hydrolyse, das Auflösen in Lösungsmitteln, die Konversion etc. verstanden. Das Ziel dieser Verwertung ist die Rückgewinnung der sekundären Rohstoffe für die Kunststoffindustrie und andere Anwendungsgebiete.

Deponie: Der Prozeß Deponie ist der einzige im System, der eine Senke, das heißt es gibt nur Inputgüter aber keine Outputgüter, darstellt. Das Lager wächst somit stetig an und wird mittelfristig nicht abgebaut. Über mehrere Jahrzehnte hinweg werden Kunststoffe zumindest teilweise abgebaut oder zersetzt.

Einsatz: Unter Einsatz werden der Konsum, der Gebrauch und die Verwendung von Kunststoffprodukten und -waren verstanden. Kurzlebige Verbrauchsgüter, wie sie vor allem die Verpackungsmaterialien darstellen, verlassen diesen Prozeß binnen eines Jahres, während die mittellebigen (Radio-, Küchengerätegehäuse) und vor allem die langlebigen Konsumgüter (Fenster, Rohre, im Bauwesen eingesetzte Materialien) im Unterprozeß Lager für mehrere Jahre bis Jahrzehnte "gelagert" bzw. "konsumiert" werden.

Nachbehandlung: Unter der Nachbehandlung versteht man das Schweißen, Lackieren, Kleben, Tempern, Umformen (Biegen, Stanzen) etc. von Halbzeugen zu Fertigteilen/Einsatzteilen.

Polymer-Synthese: Die Polymer-Synthese ist die Polymerisation, Polykondensation und Polyaddition von Monomeren oder Zwischenprodukten zu Polymeren.

Sammlung, Transport, Sortierung: Die Sortierung im Haushalt, die Sammlung in Müllcontainern, der Transport zu den und die Sortierung bei den verschiedenen Sortierern sowie die Weiterlieferung zu den Verwertungs- bzw. Behandlungsanlagen fällt unter diesen Prozeß.

Stoffliche Verwertung: Unter der stofflichen Verwertung werden alle Verfahren zusammengefaßt, die aus den sortierten oder unsortierten Abfällen, eventuell nach Reinigung und Aussortierung von Fremdstoffen oder Fremdkunststoffen, *über die Schmelze*, mit möglicher anschließender Aufbereitung mit Additiven, Regenerat (wiederverwendbare Formmasse) herstellen.

Thermische Behandlung: Zur thermischen Behandlung zählt eine Verbrennung ohne jegliche Nutzung des Kunststoffabfalles. Ein mögliches Ziel dieser Verbrennung ist die volumenmäßige Minimierung des zu deponierenden Abfalles.

Thermische Verwertung: Vertreter der thermischen Verwertung sind die Müllverbrennung als derzeit wichtigstes Verfahren und die Pyrolyse (Entgasung), bei der unter Ausschluß von Entgasungsmittel (Sauerstoff, Luft, CO₂) eine thermische Zersetzung von organischem Material stattfindet. Als Spaltungsprodukte entstehen Pyrolysegas, Pyrolyseöl und Pyrolysekoks.

Ebenfalls zu den thermischen Verwertungsmöglichkeiten zählen die Drehrohröfen zum Beispiel in der Zementindustrie oder der Einsatz von Kunststoffabfällen im Hochofenprozeß, vorausgesetzt daß bei diesen Anlagen der Kunststoffabfall energetisch genutzt wird, d.h., daß z.B. die Kunststoffe konventionelle Brennstoffe oder andere Abfallbrennstoffe ersetzen.

Verarbeitung: Mittels Spritzgußmaschinen, Extrudern, Pressen etc. werden die Formmassen zu Fertigteilen/Einsatzteilen (Joghurtbecher, Spielzeug) oder Halbzeugen (Platten, Profile, Rohre) verarbeitet.

10 Literaturverzeichnis

- ARA (1995): ARA-System, Der Report 1994, Altstoff Recycling Austria AG (Hrsg.), Schottenfeldgasse 29, 1072 Wien, Wien
- ASKI (1987): Arbeitsgemeinschaft der Schweizerischen Kunststoffindustrie, Jahresbericht 1987, Zürich, Schweiz
- AWG (1990): Österreichisches Abfallwirtschaftsgesetz, BGBl. Nr. 325/1990, Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie (Hrsg.), Wien
- BACCINI P. & DIENER H. (1989): Kunststoffflüsse in der Schweiz, Schweizerischer Wissenschaftsrat (Hrsg.), Bern, Schweiz
- BACCINI P. & BRUNNER P. H. (1991): The Metabolism of the Antroposphere. Springer Verlag. Berlin - Heidelberg - New York - Tokyo
- BAUMANN H. (1992): Recycling von Kunststoffen. Waste Magazin. April 1/1992, S. 19 - 20
- BAWP Bundesabfallwirtschaftsplan 1992 (1992): Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie (Hrsg.), Wien
- BAWP Bundesabfallwirtschaftsplan 1995 (1995): Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie (Hrsg.), Wien
- BELEVI H. et al (1992): Emissionsabschätzung für Kehrrichtschlacke, Abteilung Abfallwirtschaft und Stoffhaushalt, EAWAG, Dübendorf, Schweiz
- BMfU (1996): Aufkommen, Sammlung und Verwertung von Verpackungen sowie Restmengen in Abfallbehandlungsanlagen 1994. Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie (Hrsg.). Schriftenreihe der Sektion III. Band 25. Wien
- BRAHMS E., EDER G., GREINER B., EBELT S., KARPA B., KRUCK M. (1989): Papier - Kunststoff - Verpackungen - Eine Mengen und Schadstoffbetrachtung. Umweltforschungsplan des Umweltministers für Forschung und Technologie, Abfallwirtschaft, Forschungsbericht 143 03 68, Umweltbundesamt Berlin (Hrsg.), Berlin, Deutschland
- BRAUN H. (1996): telefonische Auskunft von Herrn Braun, ehemals bei der Perlmooser Zementwerke AG, 18.06.1996. Wien
- BRUNNER P. H., ERNST W., SIGEL O. (1983): Vorstudie "Regionale Abfallbewirtschaftung". EAWAG-Projekt 30-701, Dübendorf, Schweiz
- DANZER M. & MAYER S. (1993): Kunststoffe in Österreich, Szenarien für Verbrauch, Abfall und Verwertung bis zum Jahr 2000, Umweltbundesamt Wien (Hrsg.), UBA Report UBA - 93 - 077, Wien

- DUBBEL (1990): Taschenbuch für den Maschinenbau, Hrsg. Beitz W. und Küttner K.-H., 17. Auflage, Springer Verlag, Berlin - Heidelberg - New York - London - Paris - Tokyo - Barcelona
- DVO (1996): Österreichische Deponieverordnung, BGBl. Nr. Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie (Hrsg.), Wien
- ECKER A. (1992): Chemisches Recycling von Kunststoffen. Waste Magazin. April 1/1992 S. 21 - 22
- FERNWÄRME WIEN AG (1995): Durchsatzmengen der Hausmüllverbrennungsanlagen, persönliche Fax-Mitteilung. Wien
- FRANKE B., FRANKE A., KNAPPE F., SCHWERTSCHLAG U. (1992): Vergleich der Auswirkungen verschiedener Verfahren der Restmüllbehandlung auf die Umwelt und die menschliche Gesundheit. Institut für Energie- und Umweltforschung, Heidelberg, Im Auftrag des Ministeriums für Umwelt in Baden-Württemberg, Deutschland
- GÄCHTER R. & MÜLLER H. (1989): Taschenbuch der Kunststoffadditive. Gächter R. (Hrsg.), 3. Ausgabe. Carl Hanser Verlag, München - Wien
- GIEGRICH J., MAMPEL U., FRANKE B., MÜLLER F., KNAPPE F., MAYER U., GOTTEMEIER A. (1993): Eintrag organischer und anorganischer Schadstoffe in den Abfall über Produkte. IFEU - Institut für Energie- und Umweltforschung, Heidelberg, Im Auftrag des Umweltbundesamtes Berlin, Deutschland
- GUA (1992) Mittelfristiges Strategiekonzept für die Verwertung gebrauchter Kunststoffe in Österreich. Gesellschaft für umweltfreundliche Abfallbehandlung GesmbH, Studie im Auftrag des Fachverbandes der chemischen Industrie Österreichs und der Bundeskammer der Gewerblichen Wirtschaft. Wien
- HÄRDTLE G., MARAK K., BILITEWSKI B., KIJEWSKI K. (1991): Recycling von Kunststoffabfällen, Grundlagen - Technik - Wirtschaftlichkeit. Beiheft zu Müll und Abfall Heft 27. 2. Auflage, Erich Schmidt Verlag Berlin, Deutschland
- HUBER, J. BAUMEISTER U., GUTZNER W., MAIBURG L., VICK S., MEIER H. (1993): Wirtschaftlichkeit und stofflich-ökologischer Nutzwert von werkstofflichen, rohstofflichen und energetischen Verfahren des Kunststoffrecyclings. Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Soziologie, Lehrstuhl für Industrie- und Umweltsoziologie, Halle-Wittenberg, Deutschland
- LEIDNER J. (1981): Plastic Waste: Recovery of economic value, Dekker, Basel, Schweiz
- LENGAUER (1995): Österreichischen Kunststoffkreislaufes GesmbH. - ÖKK, telefonische Mitteilungen de PR-Abteilung, Wien

- ÖKI (1995): Österreichisches Kunststoffinstitut. schriftliche, fax, telefonische Mitteilungen von Herrn Dr. H. Baumann, Wien
- ÖKI (1996): Österreichisches Kunststoffinstitut. schriftliche, fax, telefonische Mitteilungen von Herrn Dr. H. Baumann, Wien
- ÖKK (1995): Österreichischer Kunststoffkreislauf GesmbH. Ausdruck der Verwertungsmengen 1994, Wien
- ÖKK (1996): Österreichischen Kunststoffkreislauf GesmbH. telefonische Auskunft von Hr Zeinitzer vom 26.06.1996, Wien
- ÖSTAT Österreichisches Statistisches Zentralamt (1995): Der Außenhandel Österreichs 1994, Wien
- ÖWK (1992): Österreichische Wirtschaftskammer, Aussendung, Wien
- PRAZAK H. (1995): telefonische Mitteilungen. PCD-Polymere. Wien-Schwechat
- PRAZAK H. (1996): telefonische Mitteilungen. PCD-Polymere. Wien-Schwechat
- REITER B. & STROH R. (1995): Behandlung von Abfällen in der Zementindustrie. Umweltbundesamt Wien (Hrsg.). Monographien Band 72. Wien
- RWE (1992): RWE Entsorgungs AG, Kunststoffe im System- und Gewerbemüll Österreichs, Kunststoffstromanalyse für PE, PP, PVC, PS und PET, ORG Consult, Gesellschaft für Unternehmensberatung mbH, Essen, Deutschland
- SAECHTLING H (1986): Kunststoff Taschenbuch. 23. Ausgabe. Carl Hanser Verlag, München-Wien
- SCHACHERMAYER E., BAUER G., RITTER E., BRUNNER P. H., MADERNER W. (1995): Messung der Güter- und Stoffbilanzen einer Müllverbrennungsanlage. Umweltbundesamt Wien (Hrsg.). Monographien Bd. 56. Wien
- STADLER (1995): Vortrag zum Thema Kunststoffensterrecycling, Firma Internorm, Wien
- STUMPF, K. (1994): Kunststoffrecycling in der Schweiz, eine umweltökonomische Betrachtung. Dissertation der philosophischen Fakultät II der Universität Zürich. Zürich, Schweiz
- SUTTER, H. (Hrsg.) (1993): Erfassung und Verwertung von Kunststoffen. EF - Verlag für Energie- und Umwelttechnik, Berlin
- TAIBINGER, P. (1995): PEROTECH, persönliche Mitteilungen von Dr. P. Taibinger, Graz
- TAIBINGER, P. (1996): PEROTECH, persönliche Mitteilungen von Dr. P. Taibinger, Graz

VerpackVO (1994): Novelle zur Verpackungsverordnung BGBl. Nr 645/92 i.d.F. BGBl. Nr. 334/1995. Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie (Hrsg.), Wien

VKÖ (1994): Verein der Kunststoff Recycler Österreichs. Aussendung, Wien

WESCHE, K. (1991): Fly Ash in Concrete. Properties and Performance. Rilem Report 7. London. Great Britain

WOGROLLY, E. (1989): Vorlesungsunterlagen - Mechanische Technologie der Kunststofftechnik, Technologisches Gewerbemuseum, Wien

WOHLMEYER (1992): Thermisches Energieäquivalent. Vorlesungsunterlagen, Technologisches Gewerbemuseum, Wien