



# Dissertation

## Modellversuch ESTRELA zur Sammlung, Trennung und Behandlung von Hausmüll in Brasilien

erstellt am

**Institut für Entsorgungs- und Deponietechnik (IED)**

**Montanuniversität Leoben**

**Vorgelegt von:**

Dipl.-Ing. **Odorico Konrad**

Straußgasse 10

A-8700 Leoben

**Betreuer:**

O. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Karl E. Lorber

**Gutachter:**

O. Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. Karl E. Lorber

Prof. Dr.-Ing. Karl J. Thomé-Kozmiensky

Leoben, Dezember 2002



## ***Danksagung***

Es ist nach Fertigstellung dieser Arbeit nicht sehr einfach, so vielen Personen, staatlichen und nichtstaatlichen Stellen Dank zuzusagen und hierbei jeden gemäß so einem Beitrag zu würdigen.

An allererster Stelle gilt mein Dank Herrn Universitätsprofessor Dr. Karl E. Lorber, der mir stets mit der notwendigen Klarheit alle Probleme aufgezeigt hat, die im Verlauf dieser Forschungsarbeit haben untersucht werden müssen. Ich danke ihm auch für seine Hilfe bei der Lösung aller bürokratischen Schwierigkeiten, die sich während meines Aufenthalts in Österreich und meiner Arbeit ergaben. In diese Danksagung möchte ich die ganze Familie Lorber einschließen, die während all dieser vier Jahre zu mir immer sehr gastfreundlich war.

Nicht vergessen möchte ich hier, wie alles in den tropischen Regenwäldern des Amazonas begann, als mich mein Freund und Universitätsprofessor Dr. Peter Eisenbarth motivierte eine Promotionsarbeit über Umweltprobleme zu schreiben. Ich danke ihm.

Mein Dank gilt auch der Stadtverwaltung von Estrela und deren Mitarbeitern, die es mir ermöglicht haben, in dieser brasilianischen Gemeinde den Feldversuch meiner Arbeit durchzuführen. Insbesondere möchte ich den Mitarbeitern Marcos Turatti und Fernando Arenhart danken, die mich bei der Erstellung dieser Arbeit sehr unterstützt haben.

Mein aufrichtiger Dank gilt auch dem UNIVATES – Centro Universitário, dem Unternehmen Dariva Ambiental, dem Mürzverband in Allerheiligen und all ihren Mitarbeitern für ihre Hilfestellung bei der Erhebung der Daten im Feldversuch.

Dem Institut für Entsorgungs- und Deponietechnik der Montanuniversität Leoben und allen seinen Mitarbeitern und meinen Kollegen dort, danke ich aufrichtig. Sie haben es mir ermöglicht, mich auch in schwierigen Situationen in den vergangenen vier Jahren wohlfühlen und so gut arbeiten zu können. Dank auch dem Österreichischem Akademischen Austauschdienst, dort vorallem Frau Holzapfel und Frau Engel, für vielfältige Unterstützung und für die finanzielle Förderung meiner Forschungsarbeit.

Meinen chilenischen „Companheiros (as)“ Alberto, Carola, Francisca, Yara, Pablo und Rodrigo, Dank für eure Unterstützung und die Kraft, die ihr mir für die Fertigstellung dieser Arbeit gegeben habt.

Meiner „Sambo“ Kristina, danke ich für seine Liebe, seine Stärke und seine Geduld in den letzten drei Jahren mit mir und meiner Arbeit. In Dankbarkeit denke ich in diesem Moment an meine Eltern, Schwester, meine Brüder und deren Familien. Sie haben für mich alles gemacht.

# Inhaltsverzeichnis

	<b>Seite</b>
<b>1 EINLEITUNG</b> .....	<b>1</b>
1.1 Problemstellung .....	1
1.2 Zielsetzung.....	3
<b>2 DOKUMENTATION DES IST – ZUSTANDES</b> .....	<b>5</b>
2.1 Rechtliche Rahmenbedingungen der Abfallwirtschaft in Brasilien: (Bundes -, Landes -, und Gemeindegesetze) .....	5
2.1.1 Bundesgesetzgebung, die kommunalen Abfälle betreffend.....	6
2.1.2 Staatliche Gesetzgebung zur Abfallbehandlung.....	8
2.1.3 Städtische Gesetzgebung zur Abfallbehandlung .....	10
2.1.4 Resolutionen zur Abfallbehandlung .....	11
2.1.5 Agenda 21.....	14
2.2 Abfallzusammensetzung und Mengen .....	15
2.2.1 Kennzeichnung der Abfälle in Brasilien .....	15
2.2.1.1 Kennzeichnung der Abfälle nach Gefährlichkeitsgraden.....	16
2.2.1.2 Kennzeichnung der Abfälle nach ihrer Herkunft.....	16
2.2.2 Abfälle weltweit und in Brasilien .....	19
2.2.3 Das Wasser- und Abfallproblem Brasiliens.....	27
2.3 Abfallsammlung.....	28
2.3.1 Die Müllsammler (Catadores).....	28
2.3.2 Kommunale Sammlung .....	32
2.3.2.1 Die allgemeine Müllsammlung.....	33
2.3.2.2 Die getrennte Sammlung .....	34
2.4 Abfalltrennung und Altstoffverwertung .....	40
2.4.1 Trennung von Abfall in Brasilien.....	40

2.4.1.1	Abfalltrennung von getrennt gesammelten Müll auf dem Sortierband.....	40
2.4.1.2	Trennung des getrennt gesammelten Mülls in Behältern (BAIAS) .....	42
2.4.1.3	Fließbandsortierung mit dem Material aus der allgemeinen Sammlung....	43
2.4.2	Altstoffverwertung in Brasilien .....	44
2.4.2.1	Pappe und Papier.....	46
2.4.2.2	Metalle .....	48
2.4.2.3	Glas.....	50
2.4.2.4	Kunststoff .....	52
2.4.2.5	Baurestmassen (Baurückstände) .....	57
2.5	Abfälle aus dem Gesundheitsbereich.....	59
<b>3</b>	<b>FALLBEISPIELE.....</b>	<b>62</b>
3.1	Private Abfalltrennungsanlage in Carlos Barbosa .....	62
3.2	Kooperative Abfalltrennung in Porto Alegre .....	65
3.3	Kommunales Abfallbehandlungszentrum ESTRELA.....	70
<b>4</b>	<b>STAND DER TECHNIK IN DER ABFALLWIRTSCHAFT.....</b>	<b>76</b>
4.1	Abfallsammlung (Getrennte Sammlung) .....	76
4.2	Abfalltrennung .....	79
4.3	Kompostierung .....	81
4.3.1	Grundlagen der aeroben Behandlung von biogenen Abfällen (Kompostierung)82	
4.3.2	Kompostierungsverfahren .....	84
4.4	Thermische Abfallbehandlung.....	85
4.5	Richtlinien und Empfehlungen für Deponien in Entwicklungsländern.....	87
<b>5</b>	<b>MODELLVERSUCH ESTRELA.....</b>	<b>89</b>
5.1	Charakterisierung des Hausmülls von Estrela.....	90
5.2	Massenbilanz der Trennungsanlage ESTRELA (IST-Zustand).....	96
5.3	Versuche zur Implementierung der Getrennten Sammlung .....	98
5.4	Integration der Müll-Sammler („Catadores“)... ..	101
5.5	Pilotversuch zur Optimierung der Abfalltrennung und Behandlung an der Sortieranlage Estrela.....	104
5.5.1	Grobsortierung zur Abtrennung von Pappe .....	106
5.5.2	Vorabtrennung von Glasflaschen und Windeln.....	107

5.5.3	Trommelsieb # 1 zur Trennung: Sortierfraktion / Kompostierfraktion 1 .....	108
5.5.4	Hauptband zur Sortierung der Altstoffe .....	110
5.5.5	Trommelsieb # 2 zur Trennung: Deponiefraktion 1 / Kompostierfraktion 2....	112
5.5.6	Abfallzusammensetzung und Massenbilanzierung für den Pilotversuch .....	114
5.6	Versuche zur Kompostierung .....	116
5.6.1	Kompostiersversuch mit Substratzugabe .....	116
5.6.2	Kompostiersversuch ohne Substratzugabe .....	119
5.6.3	Kompostiersversuch Pátio .....	121
5.6.4	Trommelsieb zur Trennung: Deponiefraktion 2 / Kompost.....	124
5.7	Massenbilanz der modifizierten Hausmüll-Behandlungsanlage Modell ESTRELA.....	126
<b>6</b>	<b>VERWERTUNGSMÖGLICHKEITEN FÜR DIE DEPONIEFRAKTION.....</b>	<b>128</b>
<b>7</b>	<b>VERSUCHE ZUR KOMPOSTIERUNG VON CHROMFREIEN LEDERABFÄLLEN AUS GERBEREIEIEN .....</b>	<b>131</b>
7.1	Chromfreie Gerbung .....	131
7.2	Falzspäne (Wet White-Shavings).....	132
7.3	Kompostiersversuche an der MBA in Allerheiligen .....	134
7.3.1	Versuchsansatz: Falzspäne und Stroh .....	134
7.3.2	Versuchsansatz: Falzspäne und Pferdemist/Stallstreu .....	135
7.3.3	Versuchsansatz: Falzspäne und Bioabfälle .....	136
7.3.4	Versuchsansatz: Falzspäne, Klärschlamm & Strukturmaterial.....	137
7.3.5	Ergebnisse und Schlußfolgerungen.....	138
<b>8</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE .....</b>	<b>147</b>
8.1	Die Abfallsammlung .....	148
8.2	Die Abfalltrennung.....	150
8.3	Die Kompostierung.....	153
8.3.1	Kompostierung von Lederabfällen .....	154
8.4	Energetische Verwertung und Deponierung.....	155
8.5	Implementierung des Modells Estrela mit der Möglichkeit seiner Übertragung auf andere Standorte .....	155
<b>9</b>	<b>VERZEICHNISSE .....</b>	<b>157</b>

---

9.1	Literatur.....	157
9.2	Verzeichnis der Abkürzungen und Symbole .....	165
9.3	Verzeichnis der Abbildungen.....	169
9.4	Tabellenverzeichnis .....	172
<b>ANHANG</b>	.....	<b>174</b>

# 1 Einleitung

Man schrieb das Jahr 1500, als der portugiesische Seefahrer Pedro Alvares Cabral mit seinen Caravellen auf der Suche nach einem neuen Seeweg nach Indien zufällig die brasilianische Küste entdeckte (so die Geschichte). Als die Seefahrer an Land gingen, waren sie entzückt von der Schönheit der Natur. Dies gibt ein Brief wieder, den der Schreiber der Expedition, Pero Vaz de Caminha, an die Portugiesische Krone schrieb. In Folgendem ein Auszug aus diesem Brief:

*„Herr, es scheint mir, daß dieses Land, von Süd nach Nord, soweit wir von unserem Hafen aus sehen können, eine Ausdehnung von 20 bis 25 Wegstunden (1 Ws = 5 km) hat. Entlang der Küste gibt es einige große Riffe, einige sind rot, andere weiß. Und das Land ist sehr groß und besitzt viele große Wälder. Und wohin man schaut, Strände, sehr groß und sehr schön. Die Steppe, so erscheint es uns von Meer aus, ist ebenfalls sehr groß, denn wenn wir die Augen öffnen, so sehen wir nur Land und Wälder, und alles scheint uns sehr beeindruckend, sehr gewaltig!“*

Brasilien hat heute eine Bevölkerung von ungefähr 170 Millionen Einwohnern, eine Mischung aus verschiedenen Rassen, solche die schon hier waren und solche die später gekommen sind. Mit einer Fläche von 8.547.403,5 km<sup>2</sup> ist Brasilien das größte Land der südlichen Hemisphäre, hat äquatoriales Klima, tropisch aber gemäßigt. Der Reichtum seiner Biodiversität ist von Wissenschaftern in der ganzen Welt anerkannt.

Abgesehen von allen Reichtümern der Natur und Kultur, die Brasilien besitzt, gibt es aber auch die grausame Statistik über die Lebensumstände der brasilianischen Bevölkerung. Laut Daten, die von den Vereinten Nationen veröffentlicht wurden, leben 23 Millionen Brasilianer unter der Armutsgrenze. Solche Daten veranlassen, darüber nachzudenken, was wir unternehmen können und müssen, um diese Umstände zu verändern, in einem Land, das berühmt ist, wegen seines Fußballs, seines Karnevals, seiner Natur und seiner Fröhlichkeit.

## 1.1 Problemstellung

Einige der Probleme, die die Menschheit aus dem vergangenen Jahrhundert geerbt hat, sind die schweren Sozial- und Umweltprobleme, hauptsächlich verursacht dadurch, daß die Industrie in den letzten 50 Jahren versucht hat, das Wirtschaftswachstum in allen Ländern der Erde zu erhöhen. In Brasilien ist diese Situation nicht unterschiedlich. Ab 1950 haben wir eine Mechanisierung der Landwirtschaft und einen konzentrierten Prozeß der

Industrialisierung in den städtischen Bereichen und Randzonen. Dies verursachte eine Migration innerhalb des Landes in Richtung auf die städtischen Bereiche. Heute leben 70% der brasilianischen Bevölkerung in städtischen Bereichen.

Diese unkontrollierte Konzentration der Bevölkerung in den Zentren von Brasilien verursachte gleichzeitig Probleme der sozialen Organisation, die zum Beispiel ernste Umweltprobleme im Bereich des städtischen Abfallwesens. Innerhalb dieses Problembereichs sind die Haushaltsabfälle angesiedelt. Nach den letzten Daten des Brasilianischen Institutes für Geographie und Statistik fallen pro Jahr etwa 33 Millionen Tonnen Haushaltsabfälle an, deren größter Teil völlig unzureichend behandelt wird.

Wenn wir von einer völlig unzureichend Behandlung der Haushaltsabfälle sprechen, so beziehen wir uns hauptsächlich auf die Endbehandlung dieses Abfälle. Bekanntlich werden 76 M-% dieser Abfälle ohne jede Behandlung einfach „irgendwo“ abgelagert [24], an Orten (bzw. Müllhalden) ohne jegliche Infrastruktur und Vorrichtungen was die Durchlässigkeit des Bodens anbetrifft, sowie im Hinblick auf die Sammlung und Entsorgung von Gasen und Sickerwasser oder auf eine spätere Abdeckung. Häufig liegen diese Lagerstätten, besser beschreiben unter der Bezeichnung „Müllhalden“, auch noch in der Nähe von Flüssen oder Quellen, was die Umweltschäden nur noch vergrößert.

Außer Umweltschäden, wie Boden-, Luft- und Wasserverschmutzung, (d.h. die Verschmutzung von Oberflächen- und Grundwasser durch eine völlig unzureichende Behandlung des Hausmülls), entsteht auch ein Gesundheitsproblem durch die Vermehrung von Ratten, Fliegen und anderen Insekten auf den Müllhalden, die ihrerseits Krankheiten übertragen. Diese Krankheiten erreichen normalerweise nur die ärmsten Bevölkerungsschichten. Was diese ärmeren Bevölkerungsschichten anbetrifft, so haben wir schwere soziale Probleme, die mit der fehlenden adäquaten Müllbehandlung zusammenhängen, denn noch heute gibt es viele Personen, die im „Müll“ oder, „mit dem Müll von der Straße“ leben, und mit der Sammlung und dem Verkauf von Altstoffen versuchen, sich und ihre Familien zu ernähren. Die Arbeitsbedingungen dieser Personen sind so ungünstig und inhuman wie nur denkbar. Ein zweites Problem, das mit dieser Situation zusammenhängt, ist die Arbeit von Kindern im „Müll“, die arbeiten, um das Familieneinkommen zu erhöhen.

1992 fand in Rio de Janeiro die Internationale Konferenz der Vereinten Nationen über Umweltfragen statt. Dort wurde die Agenda 21 erarbeitet, deren Kapitel 2 sich auf die Fragen der Müllbehandlung und- Verwertung bezieht. Brasilien, Gastgeber der Konferenz und Unterzeichner der Agenda 21, hat als Konsequenz dieses Treffens an zahlreichen Orten des Landes Anstrengungen unternommen, um die Müllbehandlung zu verbessern, denn im

Vergleich zur Situation in anderen Teilnehmerstaaten, insbesondere aus Europa, war und ist die Situation der Müllbehandlung in Brasilien um Jahre im Rückstand.

Mit mehr Umwelteuphorie als technischen Sachverstand hatten viele in Brasilien angesiedelte Projekte zur Behandlung von Hausmüll keine Erfolg, oder ihre Kosten und ihre Unterhaltung waren unerträglich hoch oder es wurden einfach ungeeignete Techniken angewandt. Aber es gibt auch Projekte, mit denen es gelang, die Probleme zufriedenstellend zu bewältigen und sich den lokalen Gegebenheiten anzupassen. Solche Projekte sind heute Bestandteil der Bewältigung des Hausmüllsproblems in einigen Städten.

Das was in den letzten 10 Jahren in Brasilien im Hinblick auf die Behandlung von Hausmüll geschehen ist, verdeutlicht, daß in diesem Bereich noch viele Anstrengungen in Hinblick auf praktische Lösungen notwendig sind. Bei der Einführung von Maßnahmen müssen wir große kulturelle Unterschiede, das unterschiedliche Klima und die unterschiedliche Sozialstruktur in diesem Land mit einbeziehen, um das Problem der Behandlung des Hausmülls erfolgreich lösen zu können. Ein anderer Aspekt, den man berücksichtigen muß, ist folgender: die Müllbehandlung erstreckt sich normalerweise nur auf die wiederverwertbaren (rezyklierbaren) Anteile, wie Papier, Glas, Metall und Plastik. Aber in Brasilien beträgt der organische Anteil im Hausmüll etwa 60 – 70 M-%, was besondere Probleme schafft.

## 1.2 Zielsetzung

Mit dieser Arbeit beabsichtigen wir zunächst einem Überblick über die brasilianische Gesetzgebung zu geben, die die Behandlung von Hausmüll betrifft. Wie werden auch die umweltrelevanten und sozialen Fragen, die mit dem Thema zusammenhängen, behandeln, sowie technische Fragen wie Zusammensetzung und Endbehandlung des Hausmüll erörtern.

Wir werden unterschiedliche Systeme der Sammlung Trennung und Behandlung von Hausmüll beschreiben um so einen Überblick geben zu können über unterschiedliche abfallwirtschaftliche Ansätze in den verschiedenen Städten von Brasilien. Insbesondere werden wir auch auf die soziale Situation der „Müllsammler“ (Catadores) in Brasilien eingehen.

Der Hauptteil der Arbeit konzentriert sich auf einen Modellversuch, der die Sammlung, Trennung und Behandlung von Hausmüll in einer brasilianischen Stadt zum Gegenstand hat. Für diesen Modellversuch wurde die Stadt Estrela ausgewählt, die im brasilianischen Bundesstaat Rio Grande do Sul liegt, 22.692 Einwohner hat und eine Behandlung des Hausmülls aufweist, die Ansätze für eine interessante Forschungsarbeit liefert.

Innerhalb des Modellversuch werden wir zunächst die Zusammensetzung des Hausmülls von Estrela untersuchen, um zu erfahren, welches Material wie behandelt werden muß und um eine bessere Vorstellung darüber zu haben, welche Entscheidungen im Verlauf dieser Forschungsarbeit getroffen werden müssen.

Im Hinblick auf das Thema **Müllsammlung** werden wir versuchen, aufzuzeigen, wie die Einführung der getrennten Sammlung unter Mitarbeit der Bevölkerung zu realisieren ist, d.h. der Hausmüll soll bereits in Haushalt in zwei Komponenten getrennt werden: in organische Rückstände, den sogenannten „feuchten Müll“, und in nicht organische Rückstände des Hausmülls, den sogenannten „trockenen Müll“. Wir werden untersuchen, welche Möglichkeiten bestehen, die „Müllsammler“ in dieses Prozeß miteinzubeziehen, denn in Estrela gibt es viele „Catadores“.

In Hinblick auf das Thema **Mülltrennung** sollen Veränderungen im Trennungsprozeß vorgeschlagen werden, um das bestehende System zu verbessern, sowohl von eine Vereinfachung der Trennung auf dem Fließband, als auch im Hinblick auf die Steigerung der Qualität und Quantität des ausgesonderten Materials betrifft. Konsequenterweise wird so auch die Menge für die Endlagerung verringert. Die Pilot-Versuche zur Müllsortierung werden Laboruntersuchungen begleitet.

Im Hinblick auf das Thema **Müllverwertung** werden wir untersuchen, ob eine energetische Verwertung von Abfallfraktionen (Siebüberlauf >70mm), die heute noch auf die Deponie gelangen, in der Praxis möglich ist. Ein anderer interessanter Aspekt bezieht sich auf die Kompostierung der organischen Anteile. Hier werden Anstrengungen unternommen, auf der Basis von Vor-art-Versuchen zu Verbesserungsvorschlägen für die bestehende Anlage zu gelangen.

Im Rahmen des Kapitels Müllverwertung sind auch Versuche vorgesehen, die sich auf den organischen Anteil von Gewerbemüll in Österreich beziehen. Hierzu sollen chromfreie Rückstände der Lederindustrie, die sogenannte Falzspäne („Wet white shavings“) kompostiert werden.

Im Schlußteil dieser Arbeit wird untersucht, ob und wie die Möglichkeit besteht, die Erfahrungen von Estrela auf andere brasilianische Städte mit ähnlichen Strukturen zu übertragen, denn heute gibt es in Brasilien 4.089 Städte mit einer Bevölkerung von weniger als 20.000 Einwohnern, d.h. diese Städte machen etwa 75% der Anzahl aller brasilianischen Städte aus.

## 2 Dokumentation des IST – Zustandes

### 2.1 Rechtliche Rahmenbedingungen der Abfallwirtschaft in Brasilien: (Bundes -, Landes -, und Gemeindegesetze)

Die brasilianische Umweltgesetzgebung hat in den letzten Jahren gewaltige Fortschritte gemacht, nach der Weltwirtschaftskonferenz ECO 92 von Rio de Janeiro im Jahr 1992. Heute gibt sowohl die öffentliche Hand wie auch die Gesellschaft der Umweltproblematik mehr Aufmerksamkeit. Unter dem Druck der Öffentlichkeit sieht sich die Verwaltung zunehmend gezwungen, Lösungen für Umweltprobleme zu erarbeiten und anzubieten. Ein Beitrag war, z.B. die Umweltgesetzgebung zu verbessern, also eine Gesetzgebung zu verabschieden, die darauf abzielt, Umweltschäden zu vermeiden oder zu reduzieren.

**Artikel 23, VI und VII** der brasilianischen Verfassung von 1988 sieht, ebenso wie **Artikel 30 I**, die Kompetenz der Gemeinde für den Umweltschutz vor. Diese Kompetenz besteht gemeinsam mit den Ländern und dem Bundesstaat [1].

**Artikel 23** lautet: *Es ist eine gemeinsame Kompetenz (competência comum) des Bundesstaates, der Länder, des Bundesdistriktes und der Gemeinden:*

- die Umwelt zu schützen und eine Verschmutzung in allen ihren Erscheinungsformen zu bekämpfen. (**Artikel 23 Abschnitt VI**)

- die Wälder, die Fauna und die Flora zu erhalten. (**Artikel 23 Abschnitt VII**)

**Artikel 30 Abschnitt I** sieht vor:

- die Gemeinden haben Gesetzgebungskompetenz in allen Fragen des lokalen Interesses.

Die Frage der Abfallbehandlung bezieht sich direkt auf den Schutz der Umwelt. Auf der Basis der vorgenannten Artikel haben die Gemeinden die Möglichkeit und die Verpflichtung, eine Gesetzgebung zu realisieren, die die kommunale Abfallbehandlung regelt. Aber viele Gemeinden haben heftige Kritik von der Bevölkerung erfahren, weil es große Probleme gab, eine entsprechende Gesetzgebung zu erlassen, oder weil ganz einfach der politische Wille, Entsprechendes zu tun, fehlt. Wir haben einige Beispiele schon im vorausgehenden Abschnitt kurz erwähnt.

Im Hinblick auf die Hierarchie im Gesetzgebungsverfahren unterscheidet sich die brasilianische Gesetzgebung kaum von der österreichischen oder deutschen [2, 3]. Die

Gemeinden können die staatliche oder bundesstaatliche Gesetzgebung ergänzen. Dabei ist immer zu beachten, daß eine ergänzende Gesetzgebung nicht das höherrangige Recht verletzen darf.

Im folgenden Kapitel sind die Gesetzgebung auf diesen drei Ebenen vorgestellt, d.h., die entsprechende Bundesgesetzgebung von Brasilien, die staatliche Gesetzgebung des Bundesstaates Rio Grande do Sul, und die entsprechende Gesetzgebung der Gemeinde Estrela.

Im Kapitel 2.1.4 werden wir auf Resolutionen der CONAMA - des Nationalen Rates für Umweltpolitik - eingehen, der schon zahlreiche Einzelthemen geregelt hat: so z. B. die Frage der Verwertung und Entsorgung von Batterien, Asbeststoffen und Reifen, aber auch die der Farbreste. Es gibt Resolutionen zur Getrennten Sammlung und zum Thema Abfallverwertung sowie zur Energiegewinnung aus Abfälle in der Produktion von Klinkersteinen. Im Kapitel 2.1.5 werden wir kurz auf die Agenda 21 eingehen.

### **2.1.1 Bundesgesetzgebung, die kommunalen Abfälle betreffend.**

Auf bundesstaatlicher Ebene gibt es die bereits zitierten Normen der brasilianischen Verfassung sowie einen Gesetzesvorschlag, der die nationale Abfallpolitik betrifft. Dieser Gesetzesvorschlag ist zur Zeit im Nationalkongress zur Verabschiedung. In diesem Vorschlag werden alle Fragen erörtert, die sich auf die Behandlung der kommunalen Abfälle beziehen. Das neue Gesetz über die Nationale Abfallpolitik wird für die öffentliche Verwaltung Wege aufzeigen, wie die Probleme des (kommunalen städtischen) Abfalls zu lösen sind.

Artikel 6 des Gesetzesvorschlages [4] sieht vor:

- I – eine Dezentralisierung der Zuständigkeit der Verwaltung;
- II – eine bundeseinheitliche Planung der Endlagerungsstätten für Abfälle;
- III – eine Vereinheitlichung und Regulierung der städtische Reinigungsdienste, (Müllabfuhr), die den Zugang der gesamter Bevölkerung zu allen wesentlichen gemeindlichen Diensten garantiert, innerhalb der Grenzen, die unerlässlich sind zum Schutz der menschlichen Gesundheit und der Lebewesen;
- IV – die Schaffung eines Finanzierungssystems, das den Bestand und die Fortdauer dieser Reinigungsdienste garantiert, sowie die entsprechende Errichtung von Deponien, die den Erfordernissen der Umwelt und der menschlichen Gesundheit tatsächlich entsprechen;

**V** – einen Konsumentenschutz zur Nutzung der öffentlichen Reinigungsdienste, insbesondere im Hinblick auf die Verfügbarkeit dieser Dienste für einen längeren Zeitraum;

**VI** – eine Beteiligung der Bevölkerung an der Kontrolle und bei der Ausführung dieser kommunalen Dienste in Übereinstimmung mit den geltenden Gesetzen und der Art der Abfallbehandlung;

**VII** – die Verantwortlichkeit des Produzenten, des Transporteurs, des Händlers, des Konsumenten, des Sammlers und der Müllarbeiter für eine artentsprechende Behandlung;

**VIII** - die Verantwortlichkeit im Nach-Konsum-Verhalten;

**IX** – ein effektives Zusammenwirken der Öffentlichen Hand, des Gewerbes und der Gesellschaft;

**X** – das Recht auf Information im Hinblick auf Umweltbeeinträchtigung von Produkten und Diensten und deren mögliche Auswirkungen auf die öffentliche Gesundheit und auf die Lebenszyklen;

**XI** – die Entwicklung von Abfallbehandlungsmethoden, die den Lebenszyklus den Produkte und die unterschiedlichen Methoden der Behandlung berücksichtigen;

**XII** – eine Begrenzung der Endmengen des Abfalls, die nicht rezyklierbar sind, eine Wiederverwertung und andere Methoden der Mengenreduzierung sowie die Abfallverwertung zur Gewinnung von Energie.

**Artikel 7** des Gesetzesvorschlages hat folgende Zielsetzung [4]:

**I** – die Mengen und die Giftigkeit der Abfallstoffe zu verringern;

**II** – Schäden an der öffentlichen Gesundheit und an der Umweltqualität zu beseitigen, die durch Abfallstoffe erzeugt werden;

**III** – auf städtischer Ebene ein Bewußtsein zu schaffen, über die Bedeutung der Abfallbehandlung für den Konsum von Produkten und Dienstleistungen, um so die Umwelt weniger zu beeinflussen, um geringere Abfallmengen zu produzieren, die auch einfacher zu entsorgen sind;

**IV** – für solche Gemeinden soziale und wirtschaftliche Begünstigungen vorzusehen, die sich bereit erklären, in ihrem Gemeindegebiet Anlagen zu erlauben, die die Behandlung und Endverwertung von Industrieabfällen, mineralischen Reststoffen, radioaktiven Rückständen sowie andere Dienste und Technologien vorsehen.

Wie diese Prinzipien und Ziele zeigen, kann die Bundesgesetzgebung über Abfallstoffe der Intention nach als fortschrittlich angesehen werden, aber ihre Auswirkungen können erst dann beurteilt werden, wenn diesen Gesetzesvorschlag in Kraft getreten ist. Der Erfolg dieser neuen Politik wird vor allem davon abhängen, wie sich die Abfallbehandlung in den Gemeinden entwickelt, aber auch vom politischen Willen und der Bewußtseinsveränderung der Bevölkerung im Hinblick auf die Thematik der Abfallwirtschaft.

### 2.1.2 Staatliche Gesetzgebung zur Abfallbehandlung.

Brasilien hat 26 Bundesstaaten und einen Bundes-Distrikt, die Hauptstadt Brasília. Diese haben das Recht, die bundesrechtliche Gesetzgebung zu ergänzen oder dort eigene Gesetze zu erlassen, wo Bundesgesetze nicht bestehen, soweit diese nicht die Brasilianische Bundesverfassung verletzen. Dies gilt auch für den Bereich der Abfallbehandlung. Wie im vorausgehenden Kapitel aufgezeigt, befindet sich die bundesgesetzliche Regelung noch im Gesetzgebungsprozeß im Nationalkongreß. Andererseits haben einige Bundesstaaten aber schon eine Gesetzgebung zu diesem Thema erlassen. In diesen Kapitel werden wir einen kurzen Überblick über die entsprechende Gesetzgebung des Bundesstaates Rio Grande do Sul geben. Die Gemeinde Estrela, deren Abfallbehandlung in dieser Arbeit untersucht wird, liegt in diesem Bundesstaat.

Die staatliche Verordnung (Decreto) 38.356 vom 1. April 1998, führt das Gesetz N° 9.921 vom 27. Juli 1993 aus, welches das Thema der Müllbehandlung im Bundesstaat Rio Grande do Sul regelt. Es bedurfte fast 5 Jahre für diese Ausführungsverordnung. Wie werden deshalb hier nicht auf Einzelheiten eingehen, sondern nur die wichtigsten Inhalte dieser Gesetzgebung aufzeigen.

Schon der erste Artikel des vorgenannten Gesetzes enthält drei Schlüsselworte für eine gute Abfallbehandlung, die in Übereinstimmung mit der Schreibweise dieser Wörter „die drei großen „R“ der Abfallbehandlung“ genannt werden, im Portugiesischen: **„reduzir, reutilizar, reciclar“**, was übersetzt bedeutet: „reduzieren, wiederverwenden, recyceln (verwerten)“. Aber dieser Artikel zeigt zugleich auf, daß all jener Abfall, auf den diese „Drei R“- Methoden nicht angewandt werden (können), gesondert behandelt und endgelagert werden muß [5].

Der zweite Artikel sieht vor, daß die Abfalltrennung am Besten schon am Ursprung erfolgt, das heißt, schon im Haushalt, um durch eine solche Vortrennung eine gute Verwertung der möglicherweise rezyklierbaren Materialien zu erreichen. Da die Bevölkerung bisher nicht daran gewöhnt ist, den Abfall bereits im Haushalt zu trennen, wird es nicht leicht sein, ein

solches Programm zu installieren und eine entsprechende Aufklärung der Bevölkerung durchzuführen und die Einführung der Getrennten Müllsammlung zu unterstützen [5].

**§ 1 des Artikels 2** verdeutlicht diesen Aspekt, er lautet:

Die Gemeinden geben Prozessen Vorzug, die die Wiederverwertung von Abfällen zum Gegenstand haben, die eine Getrennte Sammlung begünstigen oder die Aussortierung von rezyklierbaren Material, oder die Wiederverwertung der organische Anteile, in der Landwirtschaft, oder die entsprechenden Stoffen nach einer Behandlung eine andere Nutzung geben als die einer einfachen Endlagerung [5].

Außerdem sieht dieses Gesetz von Rio Grande do Sul vor, daß jede Endlagerung der Abfälle auf Halden (bzw. Deponien) den Kriterien genügen muß, die der Staatliche Umweltrat (FEPAM – Fundacao Estadual do Meio Ambiente) aufgestellt hat. Diese Normen des FEPAM sind technische Normen, die die Undurchlässigkeit des Grundes der Halde (Deponiesohleabdichtung) regeln. Danach muß das Sickerwasser aufgefangen und angemessen behandelt werden, der eigentliche Körper der Halde muß über Vorrichtungen zur Gassammlung verfügen und am Ende seiner Nutzung muß er mit einer Tonschicht abgedeckt werden, über die noch eine Vegetationsschicht gelegt wird wie dies bereits im Projekt für End- Lagerstätten vorzusehen ist. Des weiteren muß auch die geschlossene Halde im Übereinstimmung mit der Nachsorgeplanung ständig überwacht werden [6].

Da viele Gemeinden sehr eng an anderen Gemeinden angrenzen, und um die Abfallbehandlung an sich zu verbessern, eröffnet das Gesetz die Möglichkeit, daß die Gemeinden sich in der Frage der Abfallbehandlung verständigen und diese gemeinschaftlich durchführen, also gemeinsam eine Abfallverwertungsanlage errichten.

Ein besonderer Gegenstand, den die Gesetzgebung von Rio Grande do Sul regelt, ist die Verpackung von agrotoxischen (agrochemischen) Stoffen. Das Gesetz sieht vor, diese Verpackungsstoffe an den Lieferanten der agrotoxische Stoffe zurückzusenden, dieser wiederum wird sie an die Erzeuger schicken und diese müssen sie in Übereinstimmung mit der Umweltgesetzgebung verwerten.

Da die Art der Verpackungsmaterialien in der Abfallwirtschaft immer mehr Bedeutung erhält, verpflichtet **Artikel 17** dieses Gesetzes die Industrie, die in Rio Grande do Sul Verpackungsmaterialien herstellt, diese zu Kennzeichnen und ihre Zusammensetzung anzugeben [6].

**Artikel 17** hat folgenden Wortlaut:

„ Die in Rio Grande do Sul gelegenen Industrien für Verpackungsmaterial müssen spätestens ein Jahr nach Veröffentlichung dieser Regelung, in sichtbarer Weise, die Zusammensetzung des verwendeten Materials angeben, um so das Recycling des Verpackungsmaterials zu erleichtern“.

Rio Grande do Sul hat eine Vorreiterrolle in Brasilien was das Abfallmanagement in der Gesetzgebung anbetrifft. Dies zeigt zum Beispiel das **Allgemeine Staatliche Umweltgesetz**, das am 3. August 2000 veröffentlicht wurde. In seinem **Artikel 223** sieht dieses Gesetz vor, daß die Industrie direkt und indirekt verantwortlich ist für die Verpackungen ihrer Produkte [7]. Diesen Artikel stützt sich auf deutsche und österreichische Vorbilder, die Gleichartiges regeln [8, 9]. Anzuführen ist, daß in Brasilien viele gesetzliche Regelungen bestehen, die sich auf Umweltfragen beziehen. Im Hinblick auf Abfallgesetzgebung gibt es jedes Jahr zahlreiche Anpassungen und Ergänzungen. Dies bedeutet aber nicht, daß diese Normen nach ihrer Veröffentlichung auch tatsächlich angewandt werden, denn soziale, kulturelle und strukturelle Themen benötigen ihre Zeit, bis solche Veränderungen von der Bevölkerung anerkannt und ausgeführt werden.

### 2.1.3 Städtische Gesetzgebung zur Abfallbehandlung

Die städtische Gesetzgebung, die hier behandelt werden soll, ist das **Allgemeine Verhaltensgesetz von Estrela**, das **städtische Gesetz N° 2638** vom **1. März 1994**. Bis zum gegenwärtigen Zeitpunkt verfügt die Gemeinde Estrela noch nicht über eine spezifische Gesetzgebung, die die Behandlung der städtische Abfälle regelt.

Aber das Allgemeine Verhaltensgesetz von Estrela enthält auch so viele Regelungen, die sich direkt oder indirekt auf den Umgang mit Abfällen beziehen. So sieht z. B. **Artikel 54** des Gesetzes vor, daß Estrela eine Getrennte Müllsammlung durchführt und rezyklierbares Material als eine Form der Müllbehandlung aussortiert [10]. Das Gesetz behandelt auch das Thema der Reduzierung der Umweltschäden, die die Abfälle verursachen, so **Artikel 55**, der die Endlagerung von Abfälle regelt [10]. Laut dieser Norm dürfen diese nur an Orten gelagert werden, die von den zuständigen Behörden in Lizenzen genehmigt worden sind. Diese Orte müssen darüber hinaus auch von der FEPAN für die Endlagerung von Abfällen genehmigt worden sein.

Desweiteren sieht das Gesetz vor, daß die Sammlung von Hausmüll unter der Verantwortlichkeit der Gemeinde liegt, und nur dann ausnahmsweise unter der Verantwortung des Erzeugers, wenn es sich um Sondermüll handelt. Als Sondermüll wird hier der Müll verstanden, der nicht zusammen mit anderen Hausmüll gemeinsam abgelagert

werden kann: so z.B. Abfälle aus Krankenhäusern, Industrieabfälle, Abfälle vom Bau. Hier könnten noch andere Abfallstoffe aufgezählt werden, doch diesbezüglich schweigt das Gesetz.

**Artikel 68** des Gesetzes sieht vor, daß Abfälle aus Krankenhäusern und anderen Einrichtungen, die der öffentlichen Gesundheit dienen, verbrannt werden müssen, in Übereinstimmung mit den geltenden Umwelt- und gesundheitsrechtlichen Bestimmungen. Da eine Verbrennung teuer ist und entsprechende Anlagen erfordert, die weitgehend fehlen und außerdem noch Diskussionen über alternative Thermische Verfahren (insbesondere Vergasung) laufen, wird dieses Verfahren in Rio Grande do Sul so gut wie nicht angewandt, auch nicht in Estrela. Krankenhausmüll wird heute einfach auf einer gesonderten Halde von einem beauftragten, spezialisierten Unternehmen abgelagert.

Das Allgemeine Verhaltensgesetz von Estrela wurde im Jahr 1994 erlassen, aber große Teile dieses Gesetzes wurden erst in Jahr 2000 ausgeführt. Dies geschah mit Betriebsbeginn der Abfalltrennungsanlage für Hausmüll in Estrela, die ein Recycling eines guten Teils der Abfälle erlaubt und auch eine bessere Ablagerung der nicht rezyklierbaren Abfallkomponenten gewährleisten soll. Aber es besteht noch immer das Problem der bis jetzt nicht realisierten Getrennten Müllsammlung, das wir im Kapitel 2.6.1 näher beschreiben werden. Es ist festzustellen, daß die bestehende Gesetzlage über die Entsorgung von Abfällen in Estrela aktualisiert und vervollständigt werden muß, denn selbst nach der Inbetriebnahme der Verwertungsanlagen für den Hausmüll der Gemeinde, besteht weiterhin Handlungs- Bedarf nach Verbesserung der IST-Situation.

#### **2.1.4 Resolutionen zur Abfallbehandlung**

In diesem Kapitel werden einige Resolutionen behandelt, die sich auf besondere Abfallstoffe beziehen. Diese Resolutionen sind vom CONAMA – dem Nationaler Rat für Umweltfragen – erarbeitet worden. In diesem Rat sind staatliche und bundesstaatliche Organe ebenso vertreten, wie nicht-staatliche Organisationen (NGOs) und Organisationen, die die Privatwirtschaft repräsentieren. Diese Rat kann als ein Forum verstanden werden, in dem alle Segmente der brasilianischen Gesellschaft vertreten sind, und in dem alle Aspekte von Umweltprobleme ausführlich diskutiert und bewertet werden, um die Ergebnisse in Resolutionen zu verwandeln, die in Brasilien Gesetzeskraft haben.

Wie bereits ausgeführt, werden in diesem Kapitel nur einige der Resolutionen erörtert, die die Behandlung von besonderen Abfällen zum Gegenstand haben: so z.B. von Asbest, Batterien und Reifen, und auch von Farbstoffen. Dies im Hinblick auf das Verfahren der

Getrennten Sammlung, oder im Hinblick auf das Thema Abfallverwertung und Energiegewinnung aus Abfälle bei der Produktion von Klinkersteinen.

**Die Resolution Nr. 007, vom 16. September 1987:** sieht vor, daß alle Produkte, die Asbest enthalten, dies deutlich angeben und über die Gefahren aufklären müssen, die bestehen, wenn man Asbeststaub einatmet. Des weiteren wird empfohlen, Studien darüber zu intensivieren, wie asbesthaltige Stoffe durch andere Stoffe ersetzt werden können, die für den Menschen weniger gesundheitsschädlich sind [11].

**Die Resolution Nr. 264, vom 26. August 1999 :** stellt Kriterien für die Begleitverfahren bei der Herstellung von Klinkersteinen auf, die erlauben, für den Verbrennungsvorgang Abfällen anstelle von Heizöl zu verwenden, um so aus diesen Einsatzbrennstoffen Energie wiederzugewinnen. Aber hierzu muß konkret nachgewiesen werden, daß auf diese Weise Energie eingespart wird [12]. Um die entsprechende Erlaubnis zu erhalten, muß das Unternehmen der zuständigen Umweltbehörde alle erforderlichen Untersuchungen zu diesem Vorgang vorlegen und muß streng die Emissionsgrenzwerte für den Verbrennungsprozeß beachten.

**Tabelle 2.1: Emissionsgrenzwerte (bzw. erlaubte Höchstwerte) für den Verbrennungsprozeß zur Herstellung von Klinkersteinen [12].**

<b>Schadstoffe</b>	<b>Höchstwerte für den Verbrennungsprozeß</b>
Chlorwasserstoff (HCl)	1,8kg/h oder 99% Reduzierung
Fluorwasserstoff (HF)	5mg/Nm <sup>3</sup> , bezogen auf 7% O <sub>2</sub>
Kohlenmonoxid (CO)*	100 ppmV, bezogen auf 7% O <sub>2</sub>
Staub (PM)	70 mg/Nm <sup>3</sup> , bezogen auf 7% O <sub>2</sub>
Unverbrannte Kohlenwasserstoffe (THC, als Propan)	20 ppmV, bezogen auf 7% O <sub>2</sub>
Quecksilber (Hg)	0,05 mg/Nm <sup>3</sup> , bezogen auf 7% O <sub>2</sub>
Blei (Pb)	0,35 mg/Nm <sup>3</sup> , bezogen auf 7% O <sub>2</sub>
Cadmium (Cd)	0,10 mg/Nm <sup>3</sup> , bezogen auf 7% O <sub>2</sub>
Thallium (Tl)	0,10 mg/Nm <sup>3</sup> , bezogen auf 7% O <sub>2</sub>
(As+Be+Co+Ni+Se+Te)	1,4 mg/Nm <sup>3</sup> , bezogen auf 7% O <sub>2</sub>
(As+Be+Co+Cr+Cu+Mn+Ni+Pb+Sb+Se+Sn+Te+Zn)	7,0 mg/Nm <sup>3</sup> , bezogen auf 7% O <sub>2</sub>

\*Die CO Konzentrationen dürfen den Wert von durchschnittlich 100 ppmV pro Stunde nicht übersteigen.

**Die Resolution Nr. 257, vom 30. Juni 1999 :** stellt einen großen Fortschritt in der Umweltgesetzgebung dar. Dies gilt insbesondere in Hinblick auf die Entsorgung Verwertung von Batterien. Nach ihren Verbrauch sind z.B. Batterien von den Kunden an die Einrichtungen zurückgegeben, wo sie gekauft worden sind oder an die autorisierten Händler

dieser Produkte. Diese wiederum haben sie an die Hersteller oder Importeure weiterzuleiten. Dort sollen sie besonderen Prozessen der Behandlung unterzogen und letztlich umweltgerecht verwertet oder end- gelagert werden[13].

**Resolution Nr. 258, vom 26. August 1999:** Diese Resolution verpflichtet Hersteller und Importeure von Reifen, diese nach ihrer Nutzung zu sammeln und umweltgerecht endzulagern. Diese Verpflichtung gilt in Hinblick auf alle Reifen im Gebiet von Brasilien, die nicht mehr gebraucht werden. Ihre Anzahl werden auf Basis der Herstellungs- und Import-Daten bestimmt.

Diese Resolution bestimmt auch Fristen und Mengen der zum sammelnden Reifen in Hinblick auf ihre umweltgerechte Lagerung. Sie betrifft alle Reifen auch, die welche noch Verstreut an irgendwelchen Orten in Brasilien liegen [14].

Nach dieser Resolution gilt folgendes:

**I – Ab dem 1. Januar 2002:** für je vier in Brasilien neu produzierte oder importierte Reifen, einschließlich solcher, die importierte Fahrzeuge begleiten, muß der Hersteller oder Importeur einen unbrauchbaren Reifen umweltgerecht verwerten.

**II – Ab dem 1. Januar 2003:** für je zwei im Land neu produzierte oder importierte Reifen, einschließlich solcher, die importierte Fahrzeuge begleiten, muß der Hersteller oder Importeur einen unbrauchbaren Reifen umweltgerecht verwerten.

**III – Ab dem 1. Januar 2004:**

- a) für jeden neu im Land hergestellten oder importierten Reifen, einschließlich solcher, die importierte Fahrzeuge begleiten, muß der Hersteller oder Importeur einen unbrauchbaren Reifen umweltgerecht verwerten.
- b) für jeden runderneuertem importierten Reifen, gleich welchen Typs, muß der Importeur fünf unbrauchbare Reifen umweltgerecht verwerten.

**IV – Ab dem 1. Januar 2005:**

- a) für je vier im Land neu produzierte oder importierte Reifen, einschließlich solcher, die importierte Fahrzeuge begleiten, muß der Hersteller oder Importeur fünf unbrauchbare Reifen umweltgerecht verwerten.
- b) für je drei importierte Reifen, gleich welchen Typs, muß der Importeur vier unbrauchbare Reifen umweltgerecht verwerten.

**Resolution Nr. 275, vom 25. April 2001:** Diese Resolution hat das Ziel das Recycling von Abfällen und die entsprechenden Verfahren im Land zu verbreiten. Hierzu nimmt die Resolution die international geltenden Kriterien der Kodifikation an, d. h. sie nimmt eine bestimmte Farbenstandardisierung für bestimmte Typen von Abfällen vor. Die Farbkennzeichnung soll für die Getrennte Müllsammlung genutzt werden, sowohl auf bundesstaatlicher, wie staatlicher und gemeindlicher Ebene, auch für den privaten Sektor [15].

**Tabelle 2.2: Farbkennzeichnung gemäß Resolution Nr. 275, vom 25. April 2001 [15].**

Pappe/Papier	Blau
Plastik	Rot
Glas	Grün
Metall	Gelb
Holz	Schwarz
Gefährliche Abfälle	Orange
Abfälle von Krankenhäuser	Weiss
Radioaktive Abfälle	Violett
Organik Abfälle	Braun
Restmüll	Grau

### 2.1.5 Agenda 21

Die Völkergemeinschaft hat auf der Weltwirtschaftecokonferenz Rio – 92, veranstaltet von der UN 1992 in Rio de Janeiro, ein Dokument verabschiedet, das die wesentlichen Veränderungen in der Umweltpolitik für das 21. Jahrhundert enthält. Dieses Dokument ist bekannt unter den Namen: Agenda 21. Wie schon der Name „Agenda“ verdeutlicht, enthält dieses Dokument Absichtserklärungen, es beinhaltet Visionen für eine Veränderung unsere Zivilisation, hin zu einer Zivilisation, in der eine ausgeglichene Umwelt und Soziale Gerechtigkeit zwischen den Nationen vorherrscht.

Aber noch mehr als ein Dokument können wir die Agenda 21 als einen Partizipations Prozeß begreifen, der zum Ziel hat, die gegenwärtigen Situationen im Land, im Bundesstaat, in der Region und in der Gemeinde zu analysieren und auf dieser Basis die Zukunft umweltgerecht zu planen. Dieser Planungsprozeß muß alle sozialen Parameter der wesentlichen Probleme einschließen, ebenso wie die Entwicklung von Partnerschaften zur Lösung von Umweltproblemen in kurzen, mittleren und langen Fristen. Die Analyse und die Entwicklung von Vorschlägen müssen mit den wirtschaftlichen, sozialen, Umwelt und politischen Parameter abgestimmt sein. Im **Kapitel 2.1** bezieht sich die **Agenda 21** auf den

Themenbereich Abfälle und hebt hierbei vier Aspekte hervor, die nachfolgend dargestellt werden [16].

**21.5** – Konsequenterweise müssen die notwendigen Aktionen hierarchisch strukturiert und auf die vier wesentlichen Bereiche beschränkt werden, die mit der Abfallbehandlung zusammenhängen.

Diese sind:

- a) größtmögliche Verminderung der Abfallmengen;
- b) größtmögliche umweltgerechte Wiederverwendung der Abfallstoffe;
- c) Förderung einer umweltgerechten Behandlung oder Deponierung der Abfallstoffe;
- d) Ausdehnung der Dienstleistungen, die sich auf die Ablagerung von Abfällen beziehen.

**21.6** – Wie zu sehen ist, sind diese Aspekte untereinander verbunden und unterstützen sich gegenseitig. Sie müssen in eine breite Struktur integriert werden, die eine umweltgerechte Behandlung des Abfallproblems auf kommunaler Ebene zum Ziel hat. Der Vorrang und die Bedeutung dieser vier Prinzipien wird variieren, abhängig von den sozio-ökonomischen und tatsächlichen lokalen Bedingungen, von den Mengen der Produktion, den erzeugten Abfällen und deren Zusammensetzung. Wichtig ist, daß alle Sektoren der Gesellschaft bei der Entwicklung integrierter Programme mitwirken.

## **2.2 Abfallzusammensetzung und Mengen**

### **2.2.1 Kennzeichnung der Abfälle in Brasilien**

Als Abfall werden in Brasilien alle Reste bezeichnet, die vom menschlichen Handeln herrühren und die von ihren Erzeugern als unbrauchbar, unerwünscht oder wiederverwertbar angesehen werden. Normalerweise sind sie im festen, halbfesten oder halbflüssigen Zustand, so daß sie nicht fließen können [17].

### 2.2.1.1 Kennzeichnung der Abfälle nach Gefährlichkeitsgraden

#### ◆ Klasse I (Gefährliche Abfälle)

Sie stellen eine Gefahr für die öffentliche Gesundheit und die Umwelt dar. Die Abfälle sind z.B. entzündbar, ätzend, giftig und krankheitserregend [17].

#### ◆ Klasse II (Nicht Inert-Abfälle)

Wesentliche Merkmale sind: Brennbarkeit, fehlende Umweltverträglichkeit u.s.w.. Außerdem lassen sie sich nicht in die Abfallklassen I und III einordnen [17].

#### ◆ Klasse III (Inert-Abfälle)

Sie besitzen lösliche Inhaltsstoffe in einer Konzentration höher als die Grenzwerte für die Trinkbarkeit von Wasser [17] und gehören nicht der Klasse I und II an.

### 2.2.1.2 Kennzeichnung der Abfälle nach ihrer Herkunft

#### ➤ Häusliche Abfälle

Sie haben ihre Herkunft im täglichen Leben in den Haushalten. Ihre Zusammensetzung: hauptsächlich Essensreste (Schalen von Früchten, Gemüse, Essensrückstände, etc.), verdorbene Produkte, Zeitungen und Zeitschriften, Flaschen, Verpackungsmaterial, Toilettenpapier, Windeln und eine große Vielzahl anderer Stoffe [18]. Da in Brasilien, im Großteil der Gemeinden eine getrennte Sammlung von gefährlichen Abfall nicht erfolgt, finden sich im Hausmüll häufig auch Batterien, fluoreszierende Lampen und ähnliche Problem- Stoffe.

#### ➤ Gewerbliche Abfälle

Sind solche, die ihre Herkunft in den verschiedenen Arten von Geschäfts- und Gewerbebetriebe haben, z.B. in Supermärkten, Banken, Boutiquen, Bars, Restaurants und ähnlichen Einrichtungen. Die Abfälle dieser Einrichtungen enthalten eine große Menge Papier, Plastikstoffe, verschiedenartige Verpackungsmaterialien, Reinigungsprodukte, wie Papierhandtücher, Toilettenpapier und ähnliches [18]. Man kann feststellen, daß diese Abfälle fast immer Toilettenpapier enthalten; im Brasilien deshalb, weil es sehr wenige, funktionierende Kanalisationssysteme gibt und deshalb häufig Senkgruben gebraucht werden. Auch kann bzw. darf man in Brasilien Toilettenpapier nicht in die Toilette werfen,

um eine Verstopfung der Kanalisation zu vermeiden. Es verbleibt somit als Abfall im Müllkübel.

### ➤ **Öffentliche Abfälle**

Dies sind solche, die bei den Tätigkeiten der öffentlichen Reinigungsdienste anfallen. Eingeschlossen sind die Abfälle aus der Reinigung öffentlicher Wege und Straßen, von Gehwegen und Geländen, Rückstände vom Fällen von Bäumen, aber auch Tierkörper und ähnliches. Zu den öffentlichen Abfällen zählen auch die Rückstände aus der Reinigung der Marktplätze, mit seinen pflanzlichen Resten und Verpackungen [18].

### ➤ **Abfälle aus Krankenhäusern und dem Gesundheitswesen**

Dies sind hauptsächlich septische Abfälle, also solche, die pathogene Keime enthalten oder enthalten können. Sie haben ihren Ursprung hauptsächlich in den Krankenhäusern, Laboratorien, Apotheken, Tierkliniken, Gesundheitsämtern oder in ähnlichen Einrichtungen. Hierher gehören auch die Spritzen, die Nadeln, die Verbände, die Wundwatte, Haut- und Organteile, Pilzkulturen, Rückstände von Versuchstieren, Blutklumpen, Einweghandschuhe, verfallene Medikamente, Einweginstrumente, Röntgenfilme und ähnliches [18].

Die aseptischen Rückstände aus diesen Orten setzen sich hauptsächlich aus Papierrückständen, Essensverpackungen, Reinigungsabfällen und anderen Materialien zusammen. Diese Rückstände, soweit sie keinen direkten Kontakt mit dem Patienten oder den oben beschriebenen septischen Abfällen hatten, können ebenso wie anderer häuslicher Abfall behandelt werden [18].

### ➤ **Abfälle aus Häfen, Flughäfen, Bus- und Bahnhöfen**

Dies sind ebenfalls zum Teil septische Rückstände, die von den vorgenannten Orten herrühren. Sie setzen sich hauptsächlich zusammen aus: Hygienematerial, Körperhygieneprodukten und Essensresten. In diesen Stoffen können sich Krankheits-Erreger aus anderen Städten, Staaten oder Ländern befinden, in Abhängigkeit vom Ort ihrer Herkunft. Auch hier finden sich aseptische Rückstände, für die das gleiche gilt, was vorausgehend gesagt wurde.

### ➤ **Industrielle Abfälle**

Dies sind solche, die aus den Aktivitäten der verschiedenen Industriezweige herrühren, z. B. aus der metallverarbeitenden Industrie, der chemischen und petrochemischen Industrie, sowie aus der Papier- und Lebensmittelindustrie.

Die Industrieabfälle sind sehr unterschiedlich in ihrer Zusammensetzung. Sie können Asche, Öle, säurehaltige oder alkalische Stoffe beinhalten, ebenso wie Plastikrückstände, Papier- und Holzstücke, Glasfasern, Gummi, Metalle, Schlacken, Glas- und Keramikteile und Ähnliches. In dieser Abfallart findet man häufig giftige Rückstände bzw. die Gefährlichen Abfälle der Gefahrenklasse I.

### ➤ **Landwirtschaftliche Abfälle**

Sind solche aus der Landwirtschaft und der Tierzucht, eingeschlossen sind hier die Verpackungsmaterialien für Dünger- und Pflanzenschutzmittel, Tierfutter und Erntereste etc. In zahlreichen Regionen der Erde stellt dieses Verpackungsmaterial inzwischen schon eine wachsende Besorgnis dar. Zudem finden sich hier auch beeindruckende Mengen von tierischen Exkrementen, die in den grossen landwirtschaftlichen Betrieben anfallen.

Die Verpackungen von agrochemischen Stoffen, (bzw. agrotxischen Stoffen) war sowohl im Hinblick auf ihre Anwendung wie auch Endlagerung Gegenstand spezifischer Gesetzgebung. Hierbei gibt es eine weltweite Tendenz, die Hersteller von agrotxischen Stoffen in eine Mitverantwortung einzubeziehen.

### ➤ **Baurestmassen**

Abfälle vom Bau, sind z.B. Abbruchmaterialien, Reste von Gebäuden, und andere Baurückstände. Der Baurückstand enthält im allgemeinen Inert-Abfälle, die sich für die Wiederverwertung eignen, aber auch bei solche Materialien finden sich Abfälle, die als giftig oder umweltschädlich eingestuft werden müssen, z.B. Farbrückstände oder Rückstände von Lösungsmitteln, Asbeststücke und diverse Metalle. Aus allen diesen Rückständen können sich umweltschädliche Stoffe lösen, wenn das Material nicht adäquat gelagert wird.

**Tabelle 2.3: Verantwortlichkeiten für Abfallstoffe bezogen auf ihre Herkunft.**

Herkunft der Abfälle	Verantwortung
Häusliche Abfälle	Stadtverwaltung
Gewerbliche Abfälle	Stadtverwaltung *
Öffentliche Abfälle	Stadtverwaltung
Krankenhausabfälle	Erzeuger
Abfälle von Häfen, Flughäfen, Bus- und Bahnhöfen	Erzeuger
Industrieabfälle	Erzeuger
Landwirtschaftliche Abfälle	Erzeuger
Baurückstände, Baurestmassen	Erzeuger

\* Die Stadtverwaltung ist verantwortlich für jede Art von Abfällen bis zu einem Gewicht von 50 kg.

## 2.2.2 Abfälle weltweit und in Brasilien

Angesichts einer Weltbevölkerung von mehr als 6 Milliarden Menschen, übersteigt der täglich anfallende Hausmüll schätzungsweise 3 Millionen Tonnen [19]. Die Menge und Zusammensetzung des in jedem Land anfallenden Mülls wird stark beeinflusst von der Kultur des jeweiligen Landes, den Ernährungsgewohnheiten, dem Entwicklungsstand der Wirtschaft und den jeweils vorherrschenden klimatischen und geographischen Bedingungen.

Es läßt sich feststellen, daß in den sogenannten entwickelten Ländern die Menge des pro Person produzierten Mülls deutlich höher ist, als im Vergleich zu den armen oder sogenannte Entwicklungsländern. Im Verhältnis U.S.A. / Brasilien gelangen wir zu einer Proportion von 4 zu 1, d.h. jeder Amerikaner produziert 4 mal mehr Müll als ein Brasilianer [20, 21]. Auch hinsichtlich der Zusammensetzung der Abfälle gibt es signifikante Unterschiede. Dies gilt vorallen im Hinblick auf die Zusammensetzung der kommunalen Abfälle: so beträgt der Anteil der organischen Rückstände in den städtische Abfällen in Brasilien etwa 60 M-%, in Schweden nur etwa 30 M-% [22].

Die Abbildungen 2.1 bis 2.6 stellen die Situation in einigen entwickelten Ländern dar, im Hinblick auf die Mengen der produzierten Haushaltsabfälle, die auf Deponien abgelagerten Mengen, und Mengen, die rezykliert oder kompostiert wurden.

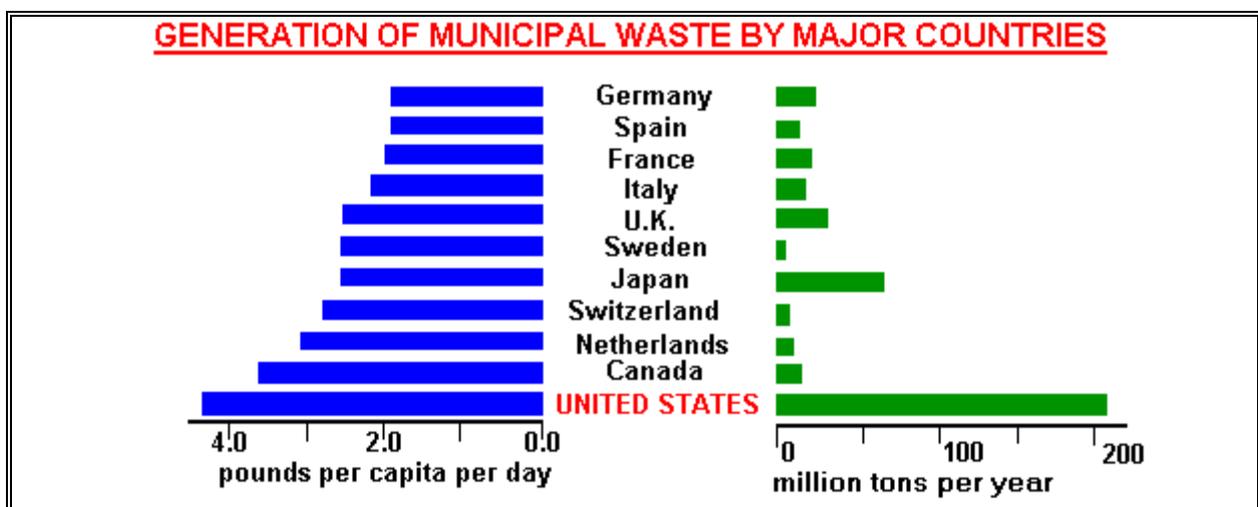


Abbildung 2.1: Jährlich anfallender Hausmüll eines Landes und tägliche Abfall-Produktion pro Person [20].

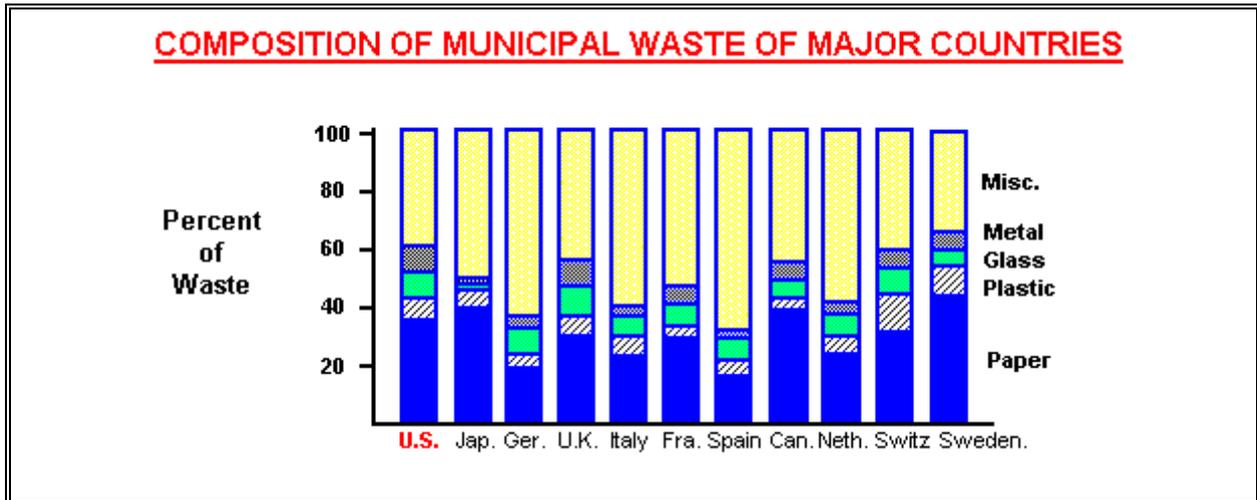


Abbildung 2.2: Zusammensetzung des Hausmülls bzw. Restmülls nach Getrennter Sammlung [20].

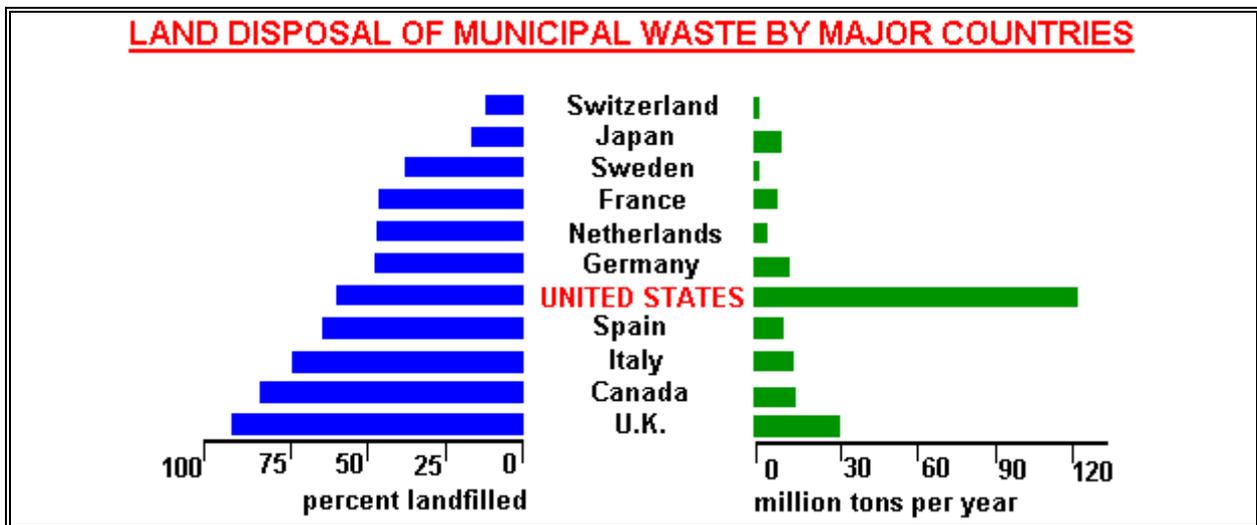


Abbildung 2.3: Ablagerung (Deponierung) von Hausmüll (bzw. Restmüll) [20].

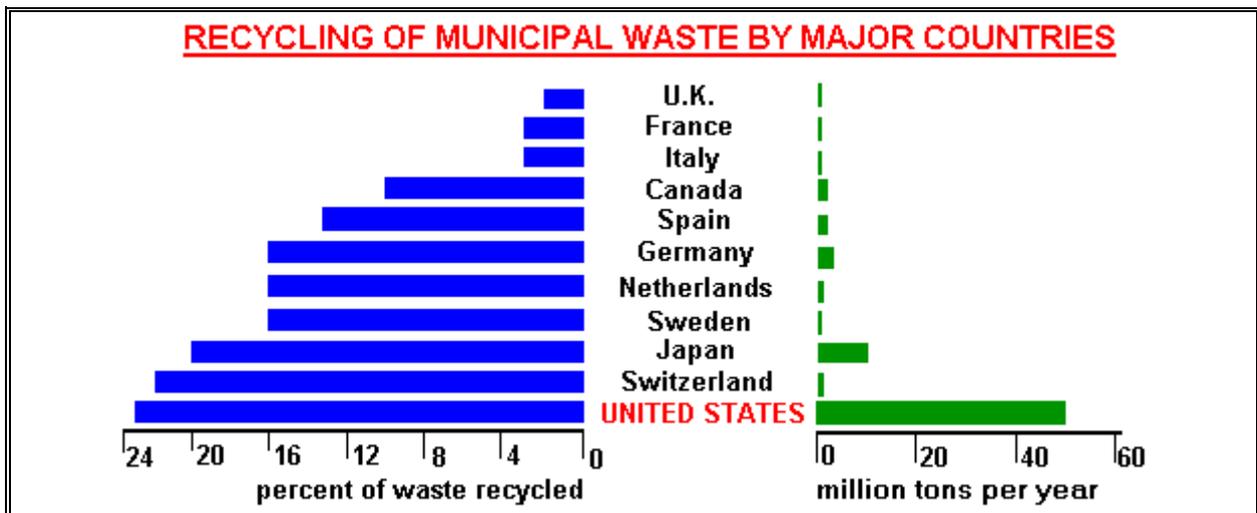


Abbildung 2.4: Recycling von Hausmüll [20].

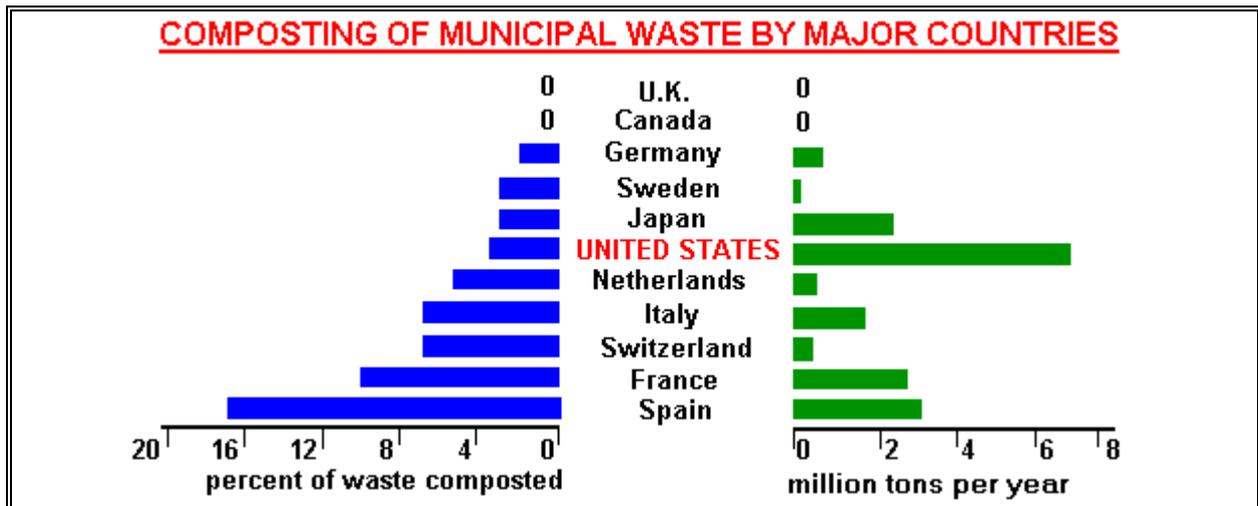


Abbildung 2.5: Kompostierung von Hausmüll [20].

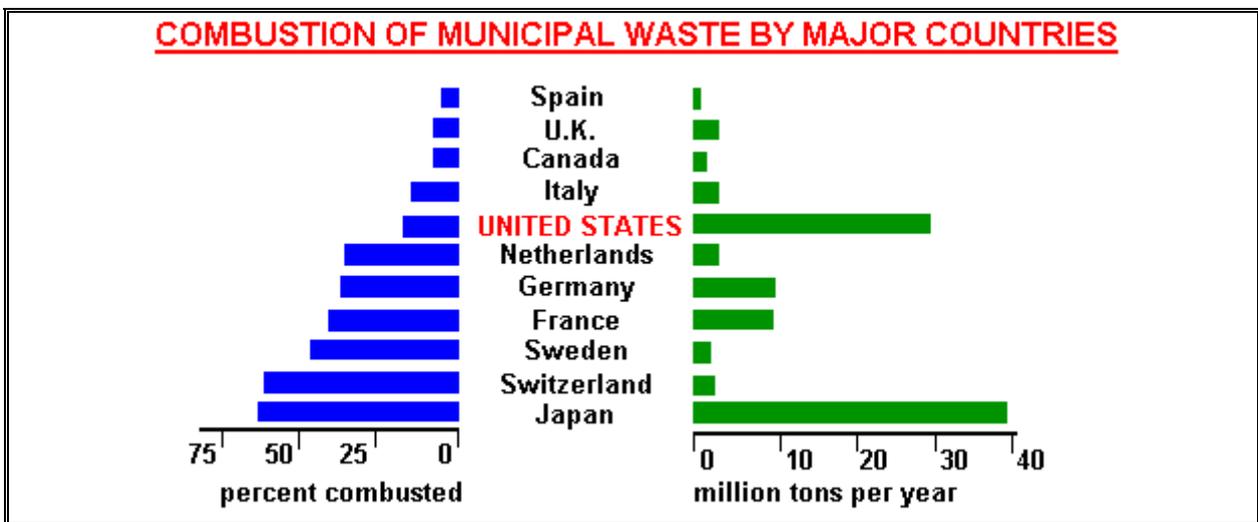
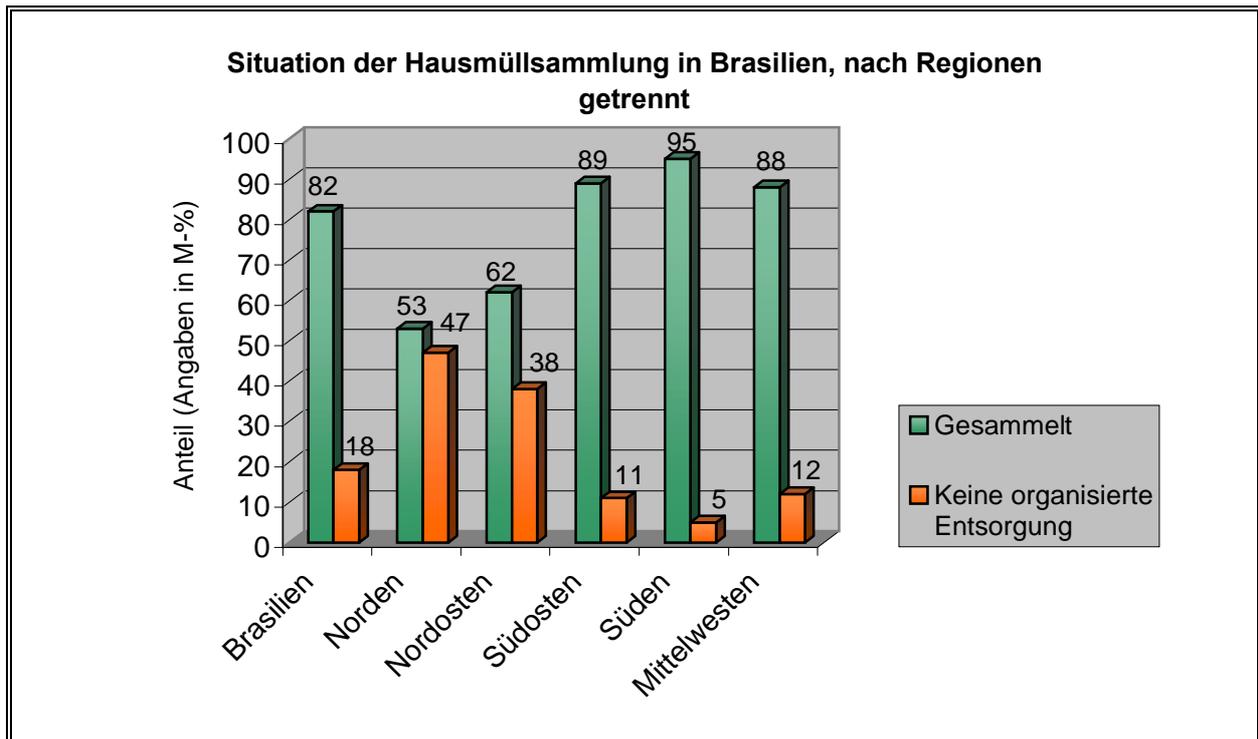


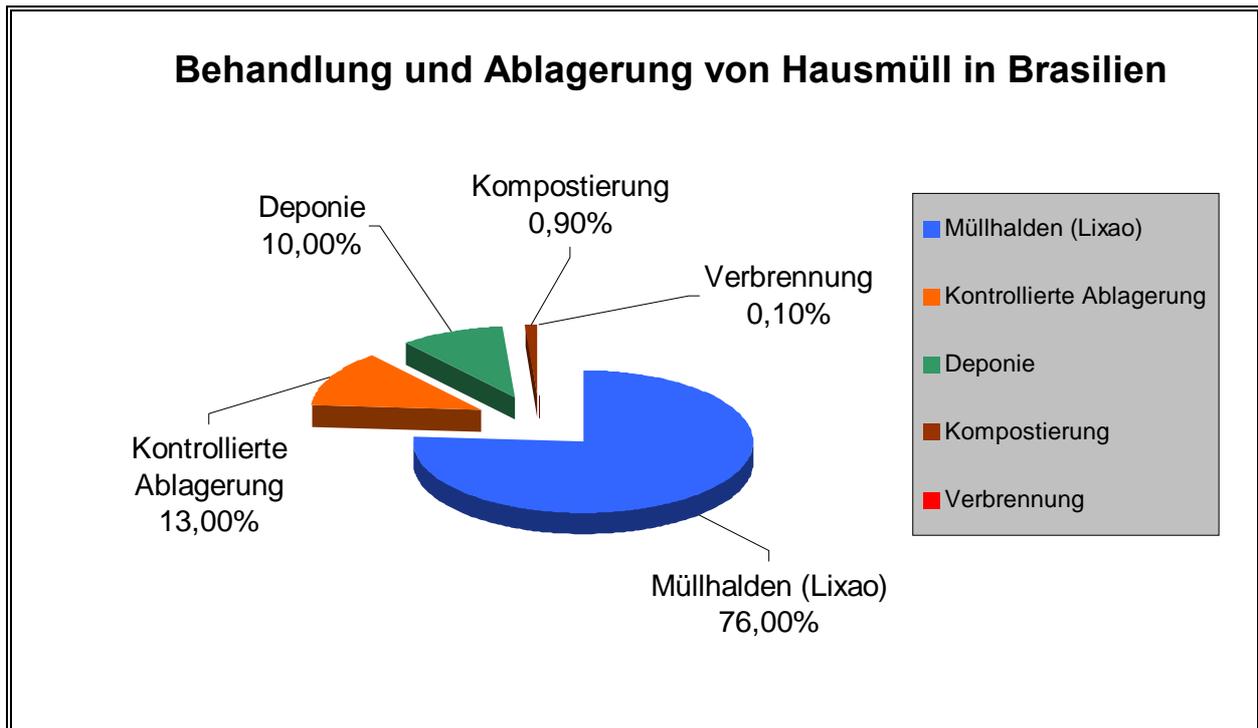
Abbildung 2.6: Verbrennung von Hausmüll (bzw. Restmüll) [20].

Wie die Abbildungen zeigen, gibt es selbst in den entwickelten Länder große Unterschiede in Hinblick auf den Anfall und die Verwertung und Behandlung von Hausmüll. Auch in Brasilien kann man solche Unterschiede im Hinblick auf die Entsorgung von Hausmüll feststellen: wie aus der Abbildung 2.7 ersichtlich, haben insbesondere die Bundesstaaten im Norden und Nordosten Schwierigkeiten, den von der Bevölkerung produzierten Müll zu sammeln. Bezogen auf das gesamte Land Brasilien kann man feststellen, daß etwa 18 M-% des gesamt anfallenden Hausmülls überhaupt nicht gesammelt wird. **Dies bedeutet bei eine Bevölkerung von 170 Mill. Einwohner und einer Müllproduktion von 0,5 kg pro Einwohner pro Tag [21], daß in Brasilien 85.000 Tonnen Hausmüll pro Tag anfallen, von den 15.300 Tonnen nicht einmal gesammelt werden.**



**Abbildung 2.7: Daten über die Abfallsammlung in Brasilien [23].**

Neben den schon beschriebenen Schwierigkeiten bei der Sammlung des Hausmülls, hat Brasilien auch das Problem mit der Ablagerung dieses Mülls. Wie die Abbildung 2.8 darstellt, gelangen 76 M-% des Mülls auf Lagerstätten unter dem „freien Himmel“, oder besser gesagt, auf Müllhalden, ohne jegliche adäquate Infrastruktur, ohne Vorkehrungen für den Grundwasserschutz oder die Deponiegasableitung und ohne geeignete Überdeckung. Dieses Problem verschärft sich noch dadurch, daß auf diesen Müllhalden Menschen arbeiten, die verwertbare Altstoffe heraussuchen, um diese zu ernähren, um so ihre Familien zu unterhalten. Auch wohnen diese Leute häufig auf oder in der Nähe dieser Müllhalden und züchten dort ihre Haustiere, wie z.B. Schweine, zum eigenen Verzehr oder Verkauf.



**Abbildung 2.8: Behandlung und Ablagerung von Hausmüll in Brasilien [24] (Angaben in Massenprozent).**

Die Umweltschäden, die diese Müllhalden bewirken, sind in einer Größenordnung, die derzeit nicht exakt geschätzt werden kann, insbesondere deshalb, weil dort Abfälle jeglicher Herkunft, also Hausmüll, Industrieabfälle und sogar Krankenhaushaltsabfälle unkontrolliert zusammen abgelagert werden. Der Umstand, daß neben diesen Umweltproblemen vorallem auch soziale Probleme bestehen, wie im vorausgegangenem Kapitel aufgezeigt, hat die PNUD (Programm der Vereinten Nationen für die Entwicklungsländer) veranlaßt, über dieses Thema eine Untersuchung zu machen. Dabei hat sich gezeigt, daß neben den Jugendlichen und Erwachsenen auch etwa 43.000 Kinder in Brasilien auf den Müllhalden „arbeiten“, um so zum Familieneinkommen beizutragen.



**Abbildung 2.9: Fotografie, die die Situation solcher Müllhalden im brasilianischen Amazonasgebiet zeigt.**

Bei Betrachtung der Daten aus Abbildung 2.8 ist folgendes festzustellen: es gibt in Brasilien ein System der Abfallbehandlung, das allgemein als „**kontrollierte Ablagerung**“ bezeichnet wird. Dort wird der Abfall ohne Vortrennung abgelagert, komprimiert und erhält seine Erdabdeckung. Hierbei wird aber die getrennte Müllsammlung oder die Abfallvorbehandlung vermieden. Die Risiken für die öffentliche Gesundheit vermindern sich zwar im Vergleich zu den vollkommen unkontrollierten Müllhalden, aber auch bei diesem System gibt es keinen Grundwasserschutz, keine Vorrichtungen zur Ableitung von Sickerwasser und Erfassung von Deponiegas. Die Menge, die so abgelagert wird, beträgt etwa 13 M-% der gesamt anfallenden Abfälle.

Ein weiterer Anteil von 10% ist auf Deponien abgelagert. Diese Deponie Ablagerung ist etwas „sicherer“ als die „kontrollierte Ablagerung“, sowohl in Hinblick auf die Umweltbeeinträchtigungen wie auch die öffentliche Gesundheit, denn hier haben wir einfache Grundwasserschutzschichten, Sammlung und Behandlung von Sickerwasser und Deponiegas sowie auch eine Kontrolle des Ein- und Ausgangs von Personen, von Ausrüstungen und Müllfahrzeugen.

Das System der Müllverbrennung erfordert hohe Investitions- und Betriebskosten. Häufig sind diese Kosten außerhalb der finanziellen Möglichkeiten von Gemeinden. Dieses System

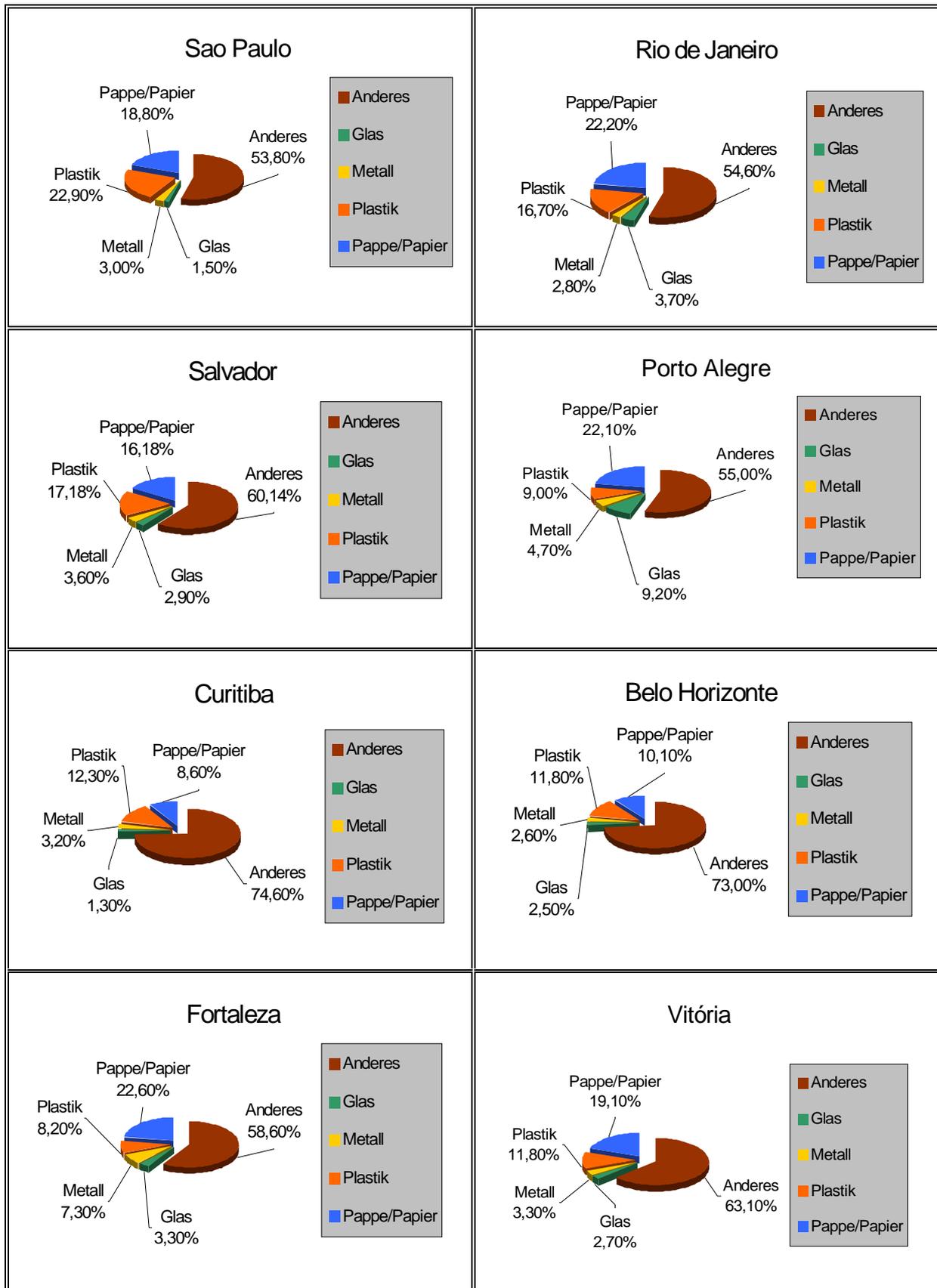
der Abfallbehandlung ist deshalb in Brasilien wenig verbreitet. Nicht mehr als 1 M-% der Abfälle werden so entsorgt.

Ein trauriges Bild der Müllverwertung/Behandlung in Brasilien zeigt sich auch darin, daß nur 0,9 M-% aller Abfälle zur Kompostierung gelangen, obwohl 60 M-% aller Haushaltsabfälle organische Komponenten sind, die kompostiert werden könnten.

Die Abbildung 2.10 stellt die stoffliche Zusammensetzung (Sortieranalyse) der kommunalen Abfälle einiger bedeutender Städte von Brasilien dar. Sie zeigt den Prozentanteil von: Papier/Pappe, Plastik, Glas, Metall und andere Materialien. Unter „anderen Materialien“ bzw. „Anderes“ verstehen sich der große Anteil organischer Rückstände (Vegetabilien) in diesen Abfällen, aber auch kleinere Anteile von Steinen, Holz, Gummi, Leder und Textilien. Die bedeutendste Fraktion der „anderen Materialien“ enthält also vorwiegend biogen abbaubare Stoffe.

Fast in allen untersuchten Städten besteht der Hauptanteil der Abfälle aus Papier und Pappe, wenn wir die Fraktion der „anderen Materialien“ außer Betracht lassen. Vor diesem Hintergrund erklärt sich das Auftreten der Müllsammler („Catadores“), die insbesondere Papier und Pappe einsammeln. Die Aktivität der Catadores hat in Brasilien schon eine Tradition von fast 30 Jahren und konzentriert sich vornehmlich auf die großen Städte. Die Art und Weise wie diese Müllsammler arbeiten wird im Kapitel 2.3.1 näher beschrieben.

Es zeigt sich weiter, daß die Abfälle der größeren Städte einen hohen Anteil von Kunststoffen aufweisen. Diese Prozentanteile erhöhen sich jährlich, weil die Kunststoffindustrie in Brasilien kräftig wächst. Insbesondere die Verpackung von Lebensmitteln verwendet immer häufiger Kunststoffe. Auch die Anteile von Glas und Metallen sind beachtlich. Dies wird im Kapitel 2.4 näher ausgeführt.



**Abbildung 2.10: Prozentuale Zusammensetzung des Hausmülls in den wesentlichen Großstädten Brasiliens [25, 26, 27, 28, 29, 30, 31] (Angaben in Massenprozent).**

### 2.2.3 Das Wasser- und Abfallproblem Brasiliens

Die Bedeutung der Wasservorräte in Brasilien bedarf einer gesonderten Betrachtung: 12% aller Vorräte der Welt an Trinkwasser befinden sich in Brasilien [32]. Dieser natürliche Wasserreichtum erleidet direkte Umweltschäden durch die nicht adäquate Behandlung und Lagerung von Abfällen in diesem Land, wobei vor allem das Grundwasser betroffen ist. Daneben kommt es zur Kontamination von Oberflächenwässern (vgl. Abbildung 2.9). Auf diese Weise reduziert sich das verfügbare Trinkwasser, drastisch insbesondere in den großen Zentren. Es erscheint konkret möglich, daß innerhalb kurzer Zeit ein Mangel an Trinkwasser eintreten wird, wenn nicht Vorkehrungen getroffen werden, die den bestehenden Trend zur Verseuchung umkehren.

Die nationale Politik, diese Wasservorräte betreffend, zielt darauf ab, lokale Komitees für Wasserbecken zu bilden, durch die die Planung und Nutzung der Wasservorräte erfolgen soll, ausgehend von den konkreten regionalen Gegebenheiten. Diese Komitees setzen sich aus Beamten der Städte, des Landes und des Bundes zusammen, aber ihnen gehören auch Personen von Organisationen an, die solche Umweltprobleme behandeln. Diese Komitees befinden sich auch über die Behandlung von Abfallstoffen, die, wie bereits zuvor ausgeführt, in starkem Maße die Wasservorräte verseuchen.

Der Standpunkt vieler dieser Komitees ist, daß jede Region eines Wasserbeckens als eine Umwelteinheit angesehen werden muß, eingeschlossen die Behandlung und Verwertung des Hausmülls. Die Verantwortlichkeit diesbezüglich liegt bei den Gemeinden, d.h. bei jeder einzelnen Gemeinde. Deshalb kann innerhalb der Region eines Wasserbeckens die Frage der Behandlung des Hausmülls z.B. auch in Form eines Gemeindeverbands gelöst und vereinheitlicht werden.

Aber nicht viele Regionen haben günstige Voraussetzungen für die Bildung eines solchen Gemeindeverbands. Häufig sind die Entfernungen zwischen den Gemeinden groß. Zu unterschiedlich sind die Arten der Abfälle und das Konsumverhalten ihrer Bewohner. Häufig ist die Bildung eines solchen Gemeindeverbandes aber auch dadurch erschwert, daß unterschiedliche politische Parteien die Macht in den verschiedenen Stadtverwaltungen haben.

Im brasilianischen Amazonasgebiet ist das Problem der Wasserverschmutzung durch Abfälle noch gravierender, denn die Region weist – vom Polareis abgesehen – die größten Süßwasservorräte der Welt auf, siehe Abbildung 2.1. Gleichzeitig werden in dieser Region aber die Probleme der Abfallsammlung und– Behandlung in sehr unbefriedigender Weise gelöst bzw. sogar nicht gelöst. Häufig fehlt jede Art von Müllsammlung (Abbildung 2.7) oder

der Müll wird einfach an die Ränder oder sogar unmittelbar in die Flüsse gekippt (Abbildung 2.9).

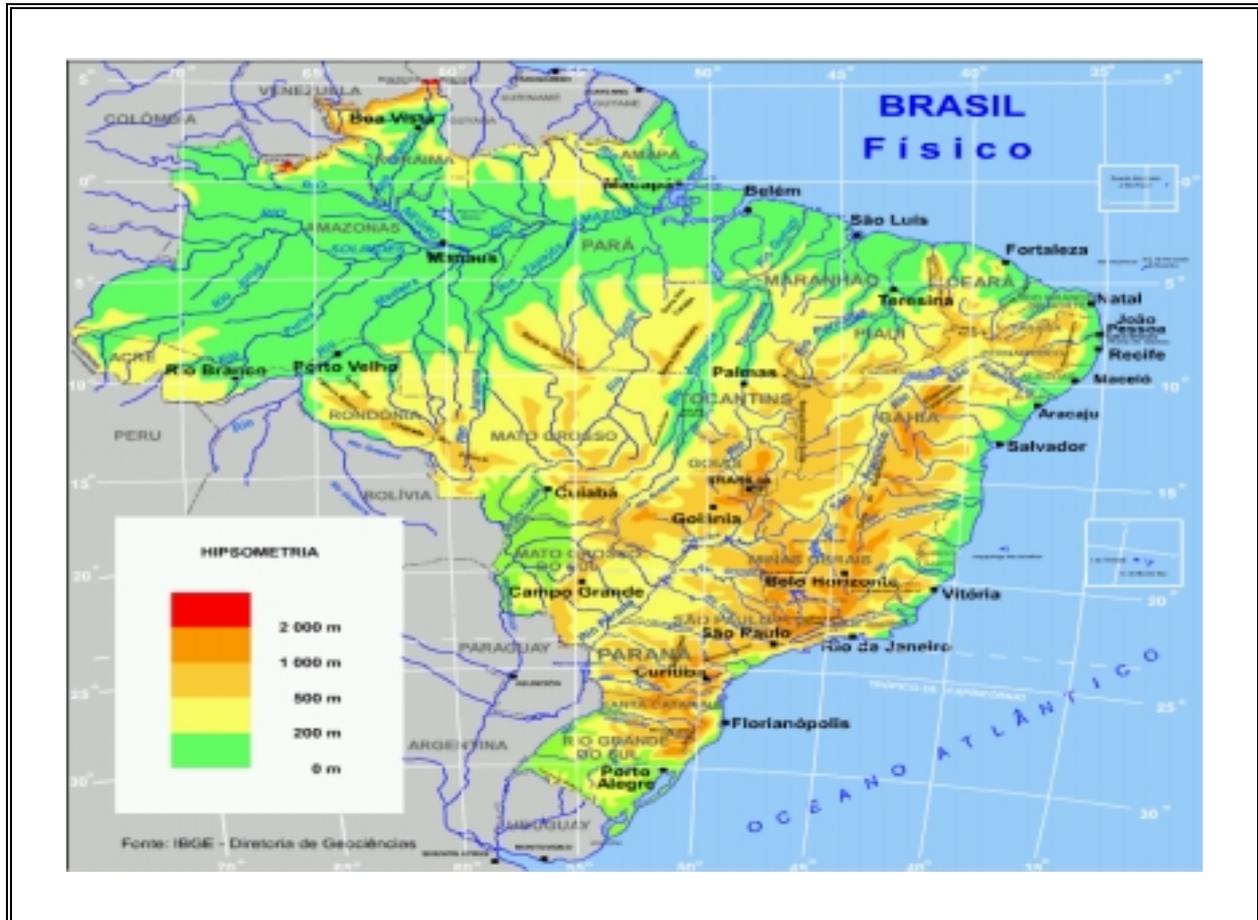


Abbildung 2.11: Die brasilianischen Wasservorräte [33].

## 2.3 Abfallsammlung

Die Situation in Hinblick auf die Sammlung von Hausmüll in Brasilien [97] ist sehr unterschiedlich. Sie ist stark abhängig von der jeweiligen Region. In diesem Kapitel wollen wir die verschiedenen Systeme der Müllsammlung in Brasilien aufzeigen, ihren Wirkungsgrad und die Schwierigkeiten, solche Systeme einzurichten, beschreiben. Gleichzeitig sollen die Anfänge der Müllsammlung, wie z.B. die Aktivität der Müllsammler, aber auch die Fortschritte, die das System einiger Gemeinden gemacht hat, dargestellt werden.

### 2.3.1 Die Müllsammler (Catadores)

Das Wort „Müllsammler“ (im Portugiesischen: „**Catador**“) hat seinen Ursprung in der Tätigkeit, „etwas zu greifen, zusammenzufügen, zu sammeln“. Dieses „**etwas**“ ist stets

etwas, das andere Personen nicht mehr brauchen; ist „etwas“ das von jemanden gesammelt wird, der glaubt, durch den Verkauf dieses Materials einen gewissen Erlös zu erzielen. In Brasilien, einem Land mit schweren sozialen Problemen, gibt es viele Familien, die versuchen ihren Unterhalt mit der Müllsammlung in den Straßen zu verdienen. Sie verkaufen dieses Material (Altstoffe) an Händler, die ihnen oft Preise weit unter den Abfallmarktpreisen zahlen. Eine Möglichkeit, um die Situation der Müllsammler zu verbessern, ist die Bildung von Kooperativen, die einen gerechteren Preis beim Verkauf des gesammelten Materials erzielen. Man schätzt, daß in Brasilien etwa 200.000 Müllsammler auf den Straßen leben und arbeiten, die verschiedene Arten von Müll sammeln [34].

Müllsammler bzw. Catadores gibt es schon seit 30 Jahren. Was die Müllsammler von heute von denen vor 30 Jahre unterscheidet, ist der Typ des gesammeltes Materials. Was in den 70-iger Jahren hauptsächlich gesammelt wurde, war Papier und Pappe. Diese Abfallfraktion gibt auch heute noch den höchsten Verkaufserlös für die Müllsammler, denn ihr Anfall ist groß und es besteht ein gut organisierter Markt für ihren Verkauf. Inzwischen kamen andere Produkte auf, z.B. die Kunststoffflaschen und die Aluminiumdosen, die einen guten Preis bei der Wiederverwertung erzielen. In Brasilien, wie in anderen lateinamerikanischen Staaten, hat „diese Art“ der Müllsammlung zur Schaffung und Ausweitung des Marktes der Wiederverwertung von Altstoffen erheblich beigetragen. Der Umstand, daß diese Art der Müllsammlung ein Wirtschaftszweig ist, geboren aus der Notwendigkeit der Menschen Geld zu verdienen, macht es einfacher, daß das gesammelte Material zur Wiederverarbeitungsindustrie gelangt. Auch kann man die Müllsammler nicht einfach als Bettler ansehen, denn ihre anerkannte Berufstätigkeit verschafft ihnen Einkommen. In vielen Fällen ist dies sogar höher als das gesetzlich festgelegte Mindesteinkommen in Brasilien. Fragt man also Catadores, ob sie diese, ihre „Freiberuf“ - Tätigkeit gegen eine feste Anstellung tauschen wollten, so verneinen sie diese Frage häufig, angesichts des relativ guten Einkommens und ihrer freien Arbeitszeiten.



**Abbildung 2.12: Ein Müllsammler (Catador) bei der Arbeit, mit seinem Arbeitsinstrument, dem Wagen.**

Wie bereits gesagt, verbessert der Zusammenschluß der Müllsammler zu einer Kooperative deren Situation, insbesondere durch die Erziehung eines höheren Verkaufserlöses für das gesammelte Material. Darüber hinaus erlaubt die Kooperative auch, daß sich ihre Mitglieder berufständig organisieren, daß sie der Gesellschaft den Wert ihrer Arbeit zeigen und sogar eine Eingliederung ihrer Arbeit in Förderungsprogramme der Öffentlichen Hand erreichen.

Aber die Art der Müllsammlung geschieht nicht nur in individueller oder kollektiver Form auf den Straßen, wie im Kapitel 2.2.2. ausgeführt. In Brasilien arbeitet und lebt ein Großteil der ärmeren Müllsammler direkt auf den Müllhalden. Dort sammeln sie das Material für ihr „Überleben“ und essen z.T. auch die Abfälle (Speisereste), die andere Personen in der Müll geworfen haben. Diese ungesunden und unmenschlichen Bedingungen sind nicht nur verantwortlich für verschiedenartigste, schlimme Krankheiten, sie beeinflussen auch den Charakter und die Persönlichkeit dieser Menschen. Sie erzeugen häufig Abhängigkeiten von der ausgeübten Tätigkeit, denn diese Menschen beginnen zu glauben, daß sie nur auf diese Weise, d.h. wie Ratten, überleben können. Viele von ihnen wurden in Mitten dieser Müllhalden geboren, wachsen dort auf und werden dort sehr jung sterben.

#### **Ein Beispiel:**

Während der Schließung einer Müllhalde, oder besser gesagt, während des Prozesses der Schließung einer Müllhalde und der Eröffnung einer kontrollierten Ablagerung geschah

folgendes: die Beamten der Stadtverwaltung sahen sich dem massiven Druck der Müllsammler ausgesetzt, denn die neue Art der kontrollierten Abfallablagerung, erlaubte nicht mehr, daß die Müllsammler ihr Einkommen auf den Müllhalden verdienten. Es zeigt sich hier deutlich, daß diese Menschen keine Alternative für ihr Überleben sehen und daß die Stadtverwaltungen ihnen oft auch keine aufzeigen. Eine nachhaltige Lösung von Umweltproblemen kann nicht ohne Berücksichtigung sozialer Aspekte erfolgen.



**Abbildung 2.13: Müllsammler bei ihrer Arbeit auf der Müllhalde (Lixao).**

Das soziale Problem der Müllsammlung auf den Müllhalden kann nur strategisch angegangen werden. Eine Alternative für diese Personen, die gute Ergebnisse erzielt hat, ist, sie in Kooperativen oder Vereinigungen („Cooperativas“) zu organisieren, wie dies häufig mit den Müllsammlern der Straße bereits erfolgte. Auf diese Art und Weise könnte man es ihnen ermöglichen, in ihrer Arbeit fortzufahren aber unter anderen und besseren Bedingungen. Hierbei hat die Gemeindeverwaltung ein hohes Maß an Verantwortlichkeit, denn sie ist verantwortlich für die Organisation der Müllsammlung im Gemeindegebiet und kann diese so gestalten, daß bei der Sammlung und Trennung von Abfall diese „Cooperativas“ mit einbezogen werden und mitwirken können. Im Kapitel 2.3.2.2. wird dies näher beschrieben.

Ein Umstand, der nicht vergessen werden darf, ist der hohe Anteil an Aluminiumdosen, (etwa 73% aller verkauften Dosen) der in Brasilien gesammelt wird [35]. Dieser Prozentanteil wird erreicht, weil die Aluminiumdosen einen relativ hohen Wiederverkaufswert haben und deshalb in den Straßen intensiv gesammelt werden, insbesondere nach und während der großen Volksfeste, wie z.B. dem Karneval oder Fußballspielen, bei dem viele Personen Bier oder Erfrischungsgetränke aus solchen Dosen trinken.

### 2.3.2 Kommunale Sammlung

Da die Verantwortlichkeit für die Sammlung von Hausmüll in Brasilien bei den Gemeinden liegt, kann sie diese selbst ausführen oder aber die Müllsammlung auch Dritten, privaten Unternehmern, übertragen. Normalerweise sammelt die Bevölkerung den Hausmüll in Einkaufs- Plastiktüten, die sie dann später auf die Straße stellt damit sie von Müllfahrzeugen aufgesammelt werden. Um zu vermeiden, daß diese „Müllsäcke“ von Hunden und Katzen aufgerissen werden, ist es üblich, daß die Leute diese Plastiktüten in erhöhten Müllbehältern (Drahtkörben) vor ihren Häusern abliefern.

Diese Drahtkorbkonstruktion hat auch dem Vorteil, das die verschiedenen Abfälle frei sichtbar und gut zugänglich sind, wodurch den Catadores, die daraus die Filet-Stücke des Mülls (Alu-Dosen, Papier & Pappe, Plastikflaschen aus PET) entnehmen, die Arbeit erleichtert wird.



**Abbildung 2.14:** Drahtkörbe als Müllbehälter, die vermeiden sollen, daß Tiere im Müll stöbern (Foto: Prof. K. Lorber).

Mit der Zunahme der Müllsammlung zum Zwecke der Wiederverwertung haben sich in den letzten Jahren in Brasilien zwei Typen der Müllsammlung entwickelt: die allgemeine und die getrennte Sammlung von Hausmüll. Beide Modelle werden nachfolgend vorgestellt.

### 2.3.2.1 Die allgemeine Müllsammlung

Die allgemeine Müllsammlung ist mit einfachen Worten ausgedrückt das Aufsammeln des ungetrennten Mülls, an bestimmten Tagen und Uhrzeiten, auf bestimmten Routen, geplant und festgelegt durch die Gemeindeverwaltung oder durch Beauftragte von Unternehmen, die diese Dienstleistung für die Gemeinde ausführen. Die hierbei verwendeten Fahrzeuge können einfache Pferdenkarren sein, aber auch relativ moderne Müllfahrzeuge mit Vorrichtungen, um den Müll zu pressen. Dies hängt ganz davon ab, welche Region Brasiliens betrachtet wird und wie die finanzielle Situation der jeweiligen Gemeinde ist. Bei dieser allgemeinen Müllsammlung gibt es keine vorherige Trennung von „recyclefähigen“ und „nicht-recyclefähigen“ Müll, auch nicht eine Aussortierung der organischen Anteile zum Zweck ihrer Kompostierung. Alle Arten von Abfällen sind in den gleichen Einkaufs-Plastiktüten enthalten, was jede Trennung, sollte sie nachträglich versucht oder vorgenommen werden, erschwert. Neben diesen Schwierigkeiten einer späteren Sortierung ist das so gesammelte Material normalerweise sehr schmutzig und kontaminiert, was für die Altstoffe sowohl den Wert für einen Verkauf wie auch für eine Wiederverwertung erheblich reduziert.

Häufig sind die Kosten dieser allgemeinen Müllsammlung relativ hoch. Sie können 50 bis 70% der Gesamtkosten der Abfallentsorgung der Gemeinde erreichen [36], weil meist nur bescheidene Erlöse aus der Verwertung der kontaminierten Altstoffe zu erzielen sind. Zudem sind die „Filet-Stücke“ des Abfalls zuvor bereits von den Catadores entfernt worden.

Aber nicht nur im Hinblick auf die aufgezeigten Probleme beider Sammlung und spätere Verwertung lassen sich diese hohen Kosten feststellen, häufig ist auch das schlechte allgemeine Abfall- Management verantwortlich für die hohe Kosten.

Im August 1996 hat z.B. São Paulo für diese Art der Müllsammlung 35 Millionen R\$/Monat ausgegeben [37]. Dabei kann nicht vergessen werden, daß das Müllaufkommen von São Paulo, mit 8.000 Tonnen Müll pro Tag sehr hoch angesetzt ist. In dieser Zeit hatte ein brasilianische Real (1R\$) den gleichen Wert wie ein amerikanischer Dollar (1US\$). D.h. die Sammelkosten betragen ca. 84 US\$ / Tonne Hausmüll

Da der Großteil des Mülls in Einkaufs- Plastiktüten gesammelt wird, die später auf die Straße gestellt werden, hat die brasilianische Vereinigung für die Standardisierung Technischer

Normen (ABNT) Plastiktüten für die Müllsammlung standardisiert, im Hinblick auf den Typ möglicher Abfälle und deren Gewicht [38]. Aber die kulturellen Gewohnheiten der Bevölkerung sind anders. Die Bevölkerung verläßt die Supermärkte mit einer Unzahl von Gratis- Plastiktüten, in denen sich die eingekauften Waren befinden. Normalerweise nutzen die Leute nun diese „kostenlosen“ Plastiktüten der Supermärkte, um darin ihren häuslichen Müll zu sammeln. Der Anteil dieser Plastiktüten, der auf die Müllhalden, kontrollierte Ablagerungen, Deponien oder Behandlungsanlagen gelangt, ist so groß, daß sich sagen läßt: Plastiktüten stellen einen erheblichen wirtschaftlichen Wert innerhalb der Gruppe der Plastikstoffe im Hausmüll dar.

### 2.3.2.2 Die getrennte Sammlung

Man kann Müll definieren als ein heterogenes Gemenge aus weggeworfenen Verbrauchs- und Gebrauchs- Güter innerhalb des Konsum-Prozesses. Normalerweise assoziiert man Müll mit etwas Unnutztem, etwas Dreckigem, etwas Unreinem, mit Armut und sonstigen negativen Attributen. Aber schon eine einfache Trennung des Mülls bereitet ihn für die Aussortierung und für die Wiederverwertung auf, verwandelt ihn in eine Quelle des Einkommens für viele Personen und vermindert zugleich negative Umweltauswirkungen und den Bedarf an Rohstoffen [39]. Ein großer Fortschritt beim Umgang mit Hausmüll in Brasilien ist die Einrichtung des Systems der Getrennten Sammlung mit großer Reichweite, damit große Teile der Bevölkerung von diesem System profitieren können.

Die Projekte der Getrennten Sammlung von Hausmüll konzentrieren sich auf die Sammlung von zwei getrennten Fraktionen bzw. Komponenten, dem „trockenen Müll“ (lixo seco), hauptsächlich bestehend aus Papier, Pappe, Glas, Metall und Kunststoff, und dem sogenannten „feuchten Müll“ (lixo úmido). Letzterer setzt sich hauptsächlich aus organischen Bestandteilen d.h. verschiedenen Pflanzenreste- und Fruchtschale (Vegetabilien), sowie Toilettenpapier und Windeln zusammen. Normalerweise werden diese beiden unterschiedlichen Müllarten zu unterschiedlichen Zeiten gesammelt. Da bisher dem sogenannten „feuchten Müll“ noch keine besondere Aufmerksamkeit gewidmet wurde, auch wenn diesen den größten Teil des gesamten Mülls ausmacht, ist es bisher in Brasilien noch nur selten gelungen, diese organische Anteile getrennt zu sammeln. In diesem Kapitel wird dargestellt, wie die getrennte Sammlung des sogenannten „trockenen Mülls“ erfolgt.

Im Zuge der Veränderung des Problembewusstseins über den Umgang mit Hausmüll, der früher einfach gesammelt und unkontrolliert abgelagert wurde, sehen viele brasilianische Gemeinden nun eine echte Alternative, um Umweltschäden zu vermeiden und gleichzeitig einige soziale Probleme zu lösen. Diese Alternative ist die getrennte Müllsammlung. Die

entsprechenden Projekte sind im Detail von Gemeinde zu Gemeinde unterschiedlich, denn die Zusammensetzung des Hausmülls, die wirtschaftlichen Verhältnisse und die schon gegebenen infrastrukturellen Bedingungen sind auch unterschiedlich, ebenso wie das kulturelle Verhalten der Bevölkerung im Hinblick auf die gewünschte, Getrennte Sammlung des Hausmülls.

Viele dieser Projekte hatten anfänglich große Schwierigkeiten. Häufig erreichte die Informationskampagne für die Getrennte Hausmüllsammlung die Bevölkerung nicht flächendeckend und so wurde nur eine allzu geringe Bereitschaft erzielt, diese Art der Sammlung zu unterstützen.

Die Mitwirkung der Bevölkerung ist aber von entscheidender Bedeutung für den Erfolg eines jeden solchen Projektes. Es kommt auch vor, daß die Infrastruktur einer Gemeinde zu unzureichend ist, um eine Getrennte Müllsammlung an bestimmte Tagen und zu einer bestimmten Zeit zu gewährleisten, etwa deshalb, weil das Müllfahrzeug technische Probleme hat und keine Möglichkeit besteht, dieses einzige Fahrzeug durch ein anderes zu ersetzen. Solche „einfachen“ Probleme können ein Projekt völlig diskreditieren und letztlich sogar unmöglich machen, denn die Bevölkerung wird zukünftig ihre Mitwirkung in einen solchen Projekt verweigern.

Selbst unter Berücksichtigung dieser Schwierigkeiten nimmt die Anzahl von Projekten der Getrennten Müllsammlung ständig zu. 1994 gab es in Brasilien 81 solcher Programme, 1999 waren es schon 135 [34]. Doch selbst diese Anzahl ist noch sehr klein, bedenkt man, daß es in Brasilien insgesamt 5.435 Gemeinden und Städte gibt.

In der Tabelle 2.4 werden 14 Gemeinden dargestellt, mit den Anfall des getrennt gesammeltes Mülls pro Monat und den pro Tonne Altstoff erzielten Preis. Diese Daten beziehen sich auf die Sammlung des „trockenes Mülls“ (lixo seco), den wir bereits zuvor definiert haben. Die in Tabelle 2.4 aufgeführten Gemeinden arbeiten schon einige Jahren mit dem System der Getrennten Müllsammlung. Dies bedeutet nicht notwendiger Weise, daß es die am besten funktionierenden Gemeinden sind. Sie werden deswegen ausgewählt, weil ihre vorhandenen Daten einige Analysen erlauben, insbesondere in Hinblick auf die Kosten pro Tonne getrennt gesammelten Mülls. Es läßt sich feststellen, daß die Kosten pro Tonne getrennt gesammelten Mülls von Stadt zu Stadt sehr unterschiedlich sind. Brasilia, der Hauptstadt Brasiliens, wendet pro Tonne 27,00 US\$ auf, Florianopolis, die Hauptstadt des Bundesstaates Santa Catarina, hingegen 340,00 US\$ [34]. Diese enorme Diskrepanz in den Kosten innerhalb eines Landes läßt sich insbesondere mit der unterschiedlichen Wirksamkeit der eingerichteten Müllsammlungssysteme erklären, mit unterschiedlichen Vertragsgestaltungen zwischen den Stadtverwaltungen und den Beauftragten von

Unternehmen. Diese Verträge wurden häufig in einem Klima der Euphorie für Umweltschutz abgeschlossen, in einer Euphorie, die Vertragsabschlüsse fern jeder Realität bewirkte.

Die tatsächlichen Kosten der Getrennten Müllsammlung pro Tonne sind in den letzten Jahren stark gesunken. Vergleicht man die durchschnittlichen Kosten des Jahres 1994 mit denen des Jahres 1999 so läßt sich eine Kostensenkung von 240,00 US\$/t auf 157 US\$/t feststellen [36]. Dieser Wert ist immer noch sehr hoch, aber er unterliegt zunehmend einer Kontrolle und Überwachung.

Auch wird die Effizienz der Abdall- Sammlung gesteigert. Alles dies trägt dazu bei, daß sich die aufzuwendenden Kosten immer mehr der Realität und den realen finanziellen Möglichkeiten der Gemeinden anpassen.

**Tabelle 2.4: Darstellung der Kosten des getrennt gesammelten Mülls pro Tonne in Jahr 1999 für die beteiligten Städte [34].**

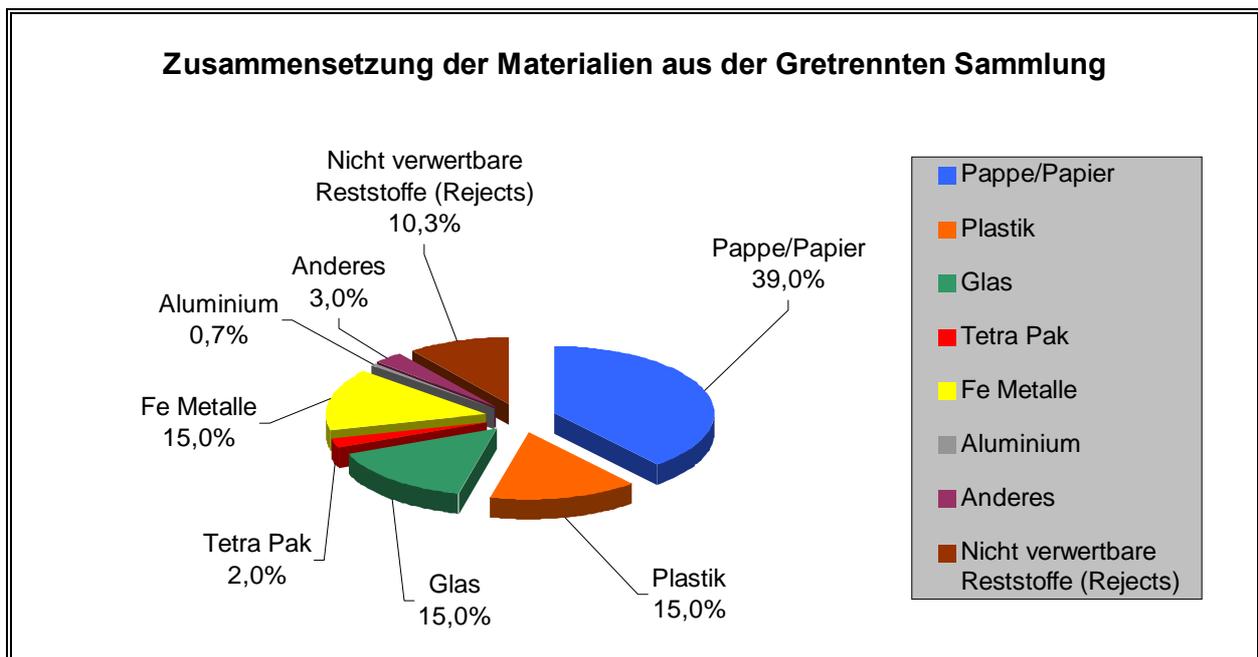
Stadtverwaltung	Getrennte Sammlung (t/m)	Kosten (US\$/t)*
Itabira (SP)	66	123
Angra dos Reis (RJ)	110	270
Belo Horizonte (MG)	400	187
Brasília (DF)	570	27
Campinas (SP)	600	264
Curitiba (PR)	2.300	59
Embu (SP)	70	124
Florianópolis (SC)	254	340
Porto Alegre (RS)	1.130	43
Ribeirao Preto (SP)	150	173
Sao Jose dos Campos (SP)	310	167
Salvador (BA)	56	39
Santos (SP)	240	92
Sao Sebastiao (SP)	136	175

\* US\$ 1,00 = R\$ 1,85 zum Zeitpunkt der Erhebung dieser Daten

Interessant ist festzustellen, daß die Großstädte Curitiba und Porto Alegre mit die günstigsten Getrennte Sammlung-Kosten (US\$/t) aufweisen, bezogen auf die Mengen des getrennt gesammelten Mülls und die hierzu aufgewandten Kosten. Sie betragen zwischen 59,00 und 43,00 US\$ pro Tonne, wie dies die Tabelle 2.4 zeigt. Ein Grund für das gute Funktionieren der getrennten Müllsammlung zu wirtschaftlich vertretbaren Preisen in diesen

beiden Städten ist der Umstand, daß dieses System dort schon seit etwa 10 Jahren eingeführt ist. So hatten diese Städte die Möglichkeit, das System zu modifizieren und zu reorganisieren, um aufgetretene Schwachstellen und Mängel zu beseitigen. Auf die Getrennte Müllsammlung von Porto Alegre wird näher im Kapitel 2.6.3. eingegangen.

Normalerweise weist das in der Getrennten Müllsammlung anfallende Material die in der Abbildung 2.15 dargestellte Zusammensetzung auf. Diese Werte sind Mittelwerte aus den in der Tabelle 2.4 bezeichneten Städte. Pappe und Pappe bilden den größten Anteil, gefolgt von den Kunststoffen, dem Glas und den eisenhaltigen Metallen mit jeweils 15 M-% Anteilen. Der Anteil der nichtverwertbaren Reststoffe in Höhe von 10,3 M-% kann als zufriedenstellend betrachtet werden, berücksichtigt man die allgemeine Situation in Brasilien und den Zeitraum seit dem es das System der Getrennten Müllsammlung dort gibt. Die relativ kleinen Mengen von Aluminium müssen auch erwähnt werden, denn dieses Material hat einen relativ hohen Wert und gilt als das noble Metall der Abfälle. Aluminiumdosen werden normalerweise schon auf den Straßen von der Catadores oder den Fahren der Müllsammel Fahrzeuge eingesammelt. Es kommt vor, daß Personen ausschließlich von der Sammlung von Aluminium leben.

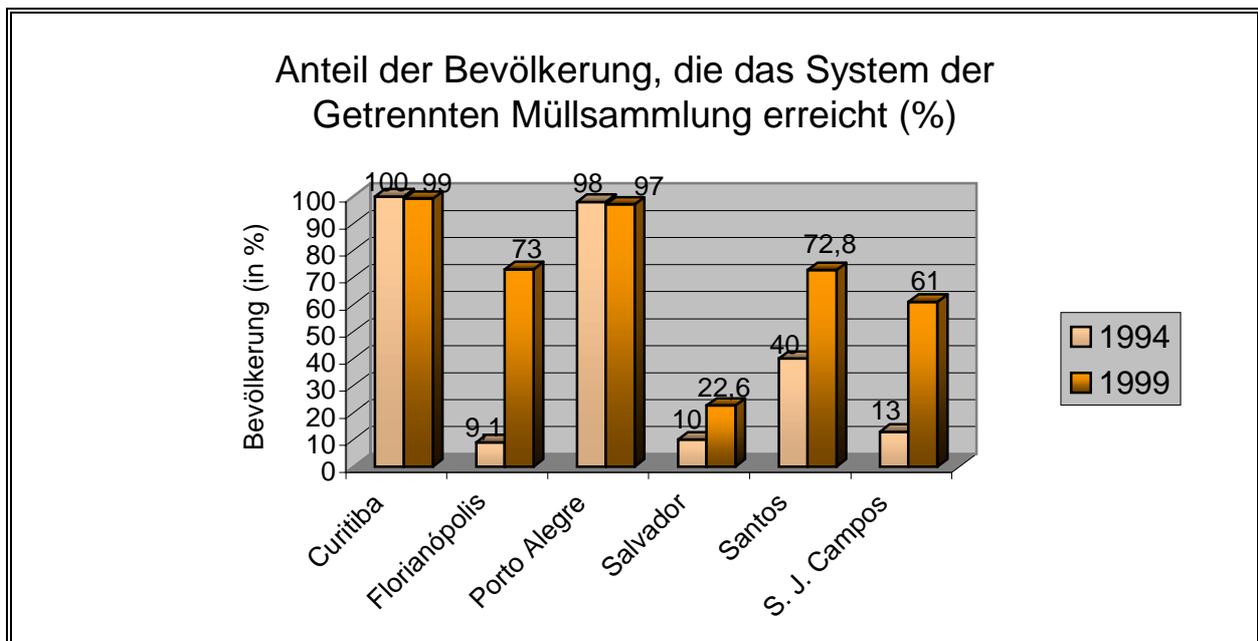


**Abbildung 2.15: Durchschnittliche Zusammensetzung des getrennt gesammelten „trockenen Mülls“ der Städte aus Tabelle 2.4 [34] (Angaben in Massenprozent).**

Innerhalb der als „Anderes“ in der Abbildung 2.15 bezeichneten Abfälle gibt es eine Besonderheit. Sie enthalten einen hohen Glasanteil, insbesondere Glasflaschen und – Behälter, die vor allem von den Herstellern von Süßigkeiten und Früchten wiederverwendet

werden, um ihre Produkte damit erneut zu verpacken. Dies soll aber nicht bedeuten, daß jedes Glasprodukt in gleicher Weise wiederverwendet werden kann wie z.B. die Bierflaschen. Diese werden wiederverwendet, weil die kleinen Hersteller von Süßigkeiten (doces) und Schnaps (cachaça) keinen Zugang zu kleinen Mengen von entsprechenden Verpackungsmaterialien (Flaschen) haben, die sie benötigen. Sie nutzen daher getrennt gesammeltes Verpackungsmaterial, wie z.B. Kaffeegefäße und Whiskyflaschen als Verpackungsmaterial für ihre eigenen Produkte.

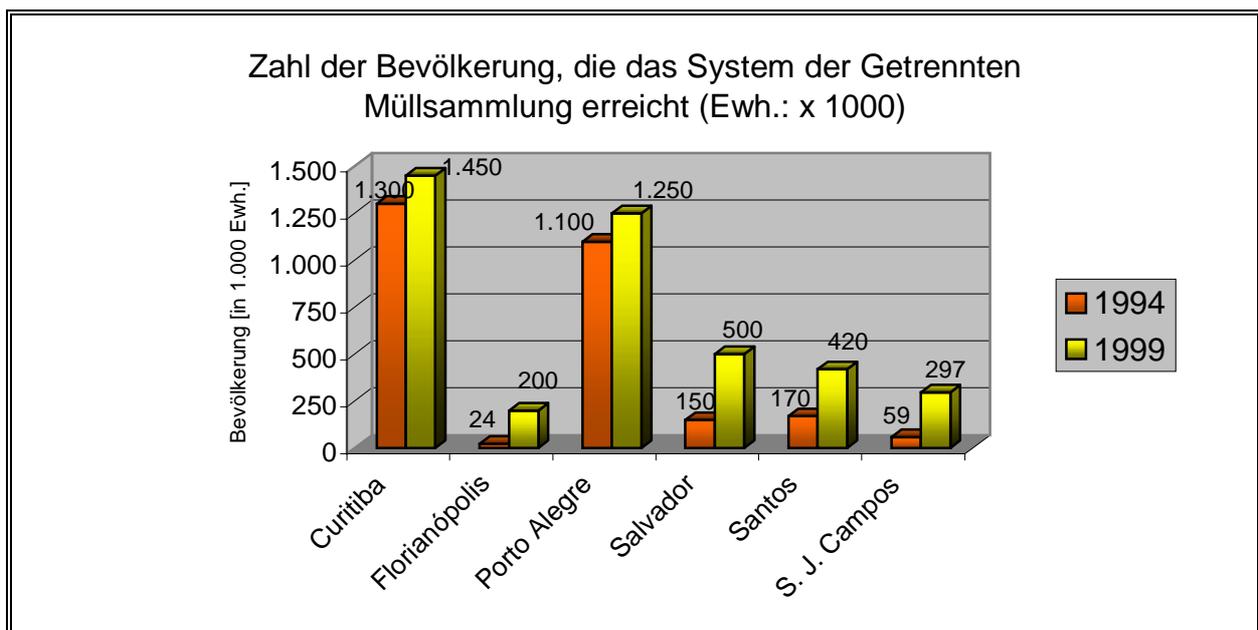
Die Abbildung 2.16 zeigt den Anteil der Bevölkerung in den verschiedenen Städten, der von der Getrennten Müllsammlung erreicht wird. Die betreffenden Städte sind: Curitiba, Florianópolis, Porto Alegre, Salvador, Santos und São José dos Campos. Sie wurden deshalb ausgewählt, weil sich anhand ihrer Daten die Unterschiede von 1994 zu 1999 darstellen lassen. Was Curitiba und Porto Alegre anbetrifft, so ist es möglich, aufzuzeigen, daß im Beobachtungszeitraum der prozentuale Anteil der von der Getrennten Sammlung erreichten Bevölkerungsgruppe leicht abgenommen hat. Dies bedeutet aber nicht, daß die Getrennte Müllsammlung insgesamt sich in diesen Jahren vermindert hat. Diese beiden Städte sind Hauptstädte von Bundesstaaten, Porto Alegre von Rio Grande do Sul und Curitiba von Parana. Dies bewirkt, daß viele Menschen aus der Umgebung oder aus den Nachbarstaaten dort hinziehen auf der Suche nach Arbeit und um ihre Familien bescheiden zu ernähren. So vermehrt sich die Bevölkerung dieser beiden Städte stärker als die Ausweitung des Systems ihrer Getrennten Müllsammlung.



**Abbildung 2.16:** Der von der Getrennten Müllsammlung erfaßte Bevölkerungsanteil in einigen ausgewählten brasilianischen Städten [34].

Die verbleibenden 4 Städte, Florianópolis, Salvador, Santos und São José dos Campos weisen im Beobachtungszeitraum einen deutlichen prozentuellen Zuwachs auf. Aber auch so erreichen sie noch nicht die Werte von Curitiba und Porto Alegre, Städte, die quasi 100% ihrer Bevölkerung mit dem System der Getrennten Müllsammlung erreichen. Dabei ist zu bedenken, daß die Einrichtung des Systems der Getrennten Müllsammlungen im allgemeinen stufenweise erfolgt, was erlaubt, auftretende Fehler rasch zu korrigieren. Es ist festzustellen, daß diese vier Städte deutliche Anstrengungen unternehmen, um in Bälde tatsächlich auch 100% ihrer Bevölkerung mit dem System der Getrennten Müllsammlung zu erreichen. Auch Porto Alegre und Curitiba hatten ihre Phasen der stufenweisen Einführung des Systems der getrennten Müllsammlung und es dauerte fast 10 Jahre, um dorthin zu gelangen, wo sie heute sind: quasi 100% der Bevölkerung zu erreichen.

Betrachtet man die Gesamtsituation der in den Abbildungen 2.16 und 2.17 aufgezeigten 6 Städte, so läßt sich sagen, daß zwischen 1994 und 1999 ein deutlich steigender Anteil der Bevölkerung von Systemen der Getrennten Müllsammlung erfaßt wird. Die Anzahl stieg von 2.803.000 Einwohnern im Jahr 1994 auf 4.117.000 im Jahr 1999. Diese Werte beziehen sich auf die in der Tabelle angegebenen Städte. Für Brasilien als Ganzes gibt es bis heute leider keine entsprechenden offiziellen Daten. Aber man schätzt, daß derzeit etwa 135 Städte (von insgesamt 5.435) mit dem System der getrennten Müllsammlung arbeiten. Berücksichtigt man die Größe und die infrastrukturellen Bedingungen dieser Städte und Gemeinden, so läßt sich sagen, daß dieses System derzeit etwa 10% der brasilianische Bevölkerung, oder etwa 17 Mill. Einwohner erreicht.



**Abbildung 2.17: Anzahl der Bewohner einiger brasilianischer Städte, die das System der getrennte Abfallsammlung erreicht [34].**

## **2.4 Abfalltrennung und Altstoffverwertung**

### **2.4.1 Trennung von Abfall in Brasilien**

Wie bereits im vorausgehenden Kapitel ausgeführt, gibt es in Brasilien unterschiedliche Systeme, um den Müll zu sammeln. Im Hinblick auf Art und Weise der Mülltrennung gilt gleiches [97]. Gelegentlich besteht auch die Notwendigkeit, ein installiertes System der Mülltrennung an die konkreten lokalen Randbedingungen der Müllsammlung anzupassen, denn wenn nicht schon getrennt gesammelt wird, muß die erweiterte Trennung letztlich in der Verwertungsanlage vorgenommen werden.

Es ist nicht schwer, in Brasilien Verwertungsanlagen zu finden, die für ein bestimmtes Konzept der Abfallsortierung und Behandlung geplant wurden, aber in der Praxis ganz anders betrieben werden. War z.B. zunächst geplant, daß die Müllsammlung schon getrennt erfolgt aber die Gemeinde erreicht diese Vorgabe nicht, so kehrt man zum System der allgemeinen Müllsammlung und – Verwertung ohne Vortrennung zurück, denn auf irgendeine Weise muß der täglich anfallenden Müll bewältigt werden.

Normalerweise wird der Müll in gut belüfteten Hallen sortiert. Dort gibt es Vorrichtungen um den angelieferten Müll aufzufangen. Es folgt die Trennung in Stoff- Fraktionen. Hierbei werden die nicht weiter verwertbaren Rückstände ausgesondert, die später endgelagert werden. Um diese Vorgänge besser zu verstehen, werden im Folgendem drei verschiedene Systeme der Müllbehandlung aufgezeigt, die sich auf verschiedene Typen von angelieferten Abfällen beziehen.

#### **2.4.1.1 Abfalltrennung von getrennt gesammelten Müll auf dem Sortierband**

Innerhalb dieses Systems der Trennung von Hausmüll erfolgt bereits eine Vortrennung durch die getrennte Sammlung im Haushalt. Die Bevölkerung trennt den Müll in die sogenannten „trockenen“ und „feuchten“ Abfälle, damit diese - durch die Gemeinde selbst oder durch beauftragte Unternehmen - getrennt eingesammelt werden können. Nach der Sammlung gelangt der „trockene Müll“ in die Hallen zur Sortierung. Die Sortierung erfolgt händisch am Fließband. Dabei ist es möglich, daß einige Materialien, wie z.B. große Pappeisten, bereits vor den Sortierband aussortiert werden.

Einer der großen Vorteile dieses Systems sind die annehmbaren Arbeitsbedingungen für die Personen, die mit diesem System arbeiten. Dies deshalb, weil das Material bereits vorsortiert ankommt und deshalb häufig auch weniger schmutzig bzw. kontaminiert ist. Es ist

sehr schwierig, feuchtes stark verschmutztes Material zu sortieren und zu rezyklieren und deshalb ist der wirtschaftliche Wert von solchem Material deutlich geringer. Relativ sauberes Material produziert auch deutlich weniger nicht wiederverwertbare Rückstände („Rejects“) und belastet so die Deponie weniger.

Die Sortierhallen oder wie sie auch genannt werden, die „Zentren der Sortierung des Hausmülls“ (Centro de triagem de Lixo Domésticos), können einerseits von der Stadtverwaltung mit eigenen Mitarbeitern, andererseits aber auch von beauftragten Unternehmen betrieben werden oder von einer Kooperative (Cooperativa) oder einer Vereinigung (Associacao). In den beiden zuletzt genannten Fällen, arbeiten dort nur Personen, die zuvor individuell als Müllsammler auf den Straßen gearbeitet haben.

Die Altstoffe, die bei der Sortierung prozentual am meisten anfallen, sind Papier, Pappe, Kunststoff, Metall und Glas. Das Glas wird in der ursprünglichen Form verkauft, wenn hierfür ein Markt besteht, oder es wird gebrochen und dann verkauft, was letztlich weniger Raum zur Zwischenlagerung beansprucht. Die übrigen Altstoffe werden in hydraulischen Pressen gepreßt, Zwischengelagert und später verkauft. Eines der Probleme dieser Sortierungshallen (Galpao de Triagem) ist der benötigte Raum für die Lagerung der sortierten Materialien. Häufig werden diese Materialien außerhalb der Hallen offen gelagert, wenn der dort verfügbare Raum nicht mehr reicht.

Es geschieht deshalb häufig, daß diese Altstoffe zu einer Zeit verkauft werden müssen, in der ihr Marktpreis gering ist. In Brasilien schwanken die Marktpreise für diese Materialien während des Jahres sehr stark.

Wie bereits ausgeführt, erfolgt die Trennung und Aussortierung auf einem Fließband. Von dort sortieren die Arbeiter bzw. Beschäftigten alles aus, was möglicherweise wiederverwertet werden kann. Die Menge des Materials, das auf das Fließband geworfen wird, ist vorwiegend abhängig von der Anzahl der für die Sortierung verfügbaren Personen. Auch kann die Geschwindigkeit des Fließbandes gesteuert werden, um so den Durchsatz zu erhöhen oder zu erniedrigen. Es geschieht häufig, daß unerwartet ein oder zwei Personen, die am Fließband arbeiten, fehlen, oder das Fließband selbst technische Probleme aufweist. In der Regel erhöhen solche Ereignisse die Menge der nicht sortierten Abfälle, erhöhen die Mengen ihrer Lagerung und den Anfall nichtwiederverwertbarer Reststoffe.

Aber es gibt auch weitere Probleme, die signifikante Auswirkungen auf das Trennergebnis haben können. Sehr bedeutend für ein gutes Funktionieren des Fließband-Systems ist, daß die Abfälle bereits gut vortrennt sind, also auf das Fließband wirklich nur der sogenannte „trockene Müll“ gelangt, denn sonst lassen sich die Stoffe nur schwer voneinander trennen.

Die Behandlung des Hausmülls muß bereits bei der Getrennten Sammlung einsetzen. Es ist nicht selten zu beobachten, daß diese Vortrennung des Mülls so schlecht ist, daß dadurch eine spätere Sortierung so gut wie unmöglich wird, oder stark kontaminierte Altstoffe ergibt die nur bedingt wiederverwertet werden können und entsprechend geringen Erlös bringen.

In der Praxis läßt sich feststellen, daß dort, wo dieses System gut eingerichtet wurde und mit der Art und Weise der Sammlung abgestimmt ist, es Zufriedenheit für die Menschen erzeugt, die die wiederverwertbaren Materialien aus dem Hausmüll aussondern. Damit kann das simultane Ziel der technischen und sozialen Umweltverträglichkeit erreicht werden.

#### **2.4.1.2 Trennung des getrennt gesammelten Mülls in Behältern (BAIAS)**

Auch das Funktionieren dieses Systems ist direkt abhängig von der Art und Weise der Abfallsammlung, denn damit eine Sortierung möglich wird, muß der Abfall schon getrennt gesammelt worden sein, so daß nur „trockener Müll“ (Lixo Seco) für die Sortierung in den Hallen bereitsteht.

Die Sortierung der Abfälle durch dieses System ist einfacher als die im vorausgehenden Kapitel beschriebene Fließbandsortierung. Hier wird anstelle des Bandes ein schmaler Tisch benutzt, auf dem die Personen die Materialien aussortieren. Um dieses System besser zu verstehen, zeigt die Abbildung 2.18, wie der ankommende Müll in die Gitterbehälter gelangt, d.h. er wird von oben reingekippt und auf der Unterseite dieser Gitterbehälter herausgenommen. Die Müllfahrzeuge kippen normalerweise die Abfälle von außerhalb der Hallen von oben in diese Gitterbehälter und die Leute in der Hallen nehmen dann die Plastiktüten an der Unterseite der Gitterbehälter heraus, öffnen sie, sortieren das Material und werfen es in verschiedene Behälter, die hinter ihnen aufgestellt sind. So vollzieht sich der Prozeß der Sortierung bei diesem System, wobei hier die Geschwindigkeit des Sortierprozesses individuell von den Arbeiterinnen bestimmt wird.



**Abbildung 2.18: Sortierung des getrennt gesammelten Hausmülls nach dem System der Behälter-Trennung (Baías) (Foto: Prof. K. Lorber).**

Nach erfolgter Sortierung wird alles preßbares Material zu Ballen gepreßt und dann zum Zwecke des Verkaufs zwischen gelagert. Hinsichtlich der Lagerung bis zum Verkauf gibt es die gleichen Platz- und- Zeit- Probleme, die schon im vorausgegangenen Kapitel aufgezeigt wurden. Der Arbeitsrhythmus bei diesem System ist etwas langsamer, denn es gibt kein Fließband, das die Geschwindigkeit vorgibt. So kann die Sortierung mit weniger Streß vorgenommen werden, was im Allgemeinen bewirkt, daß sich der Anteil der wiederverwertbaren Stoffe deutlich erhöht. Auch der Reinheitsgrad der aussortierten Altstoffe ist besser als beim Fließbandsystem.

Um einen guten Wirkungsgrad mit diesem Systems zu erreichen, muß die Arbeit innerhalb der Hallen gut organisiert und aufeinander abgestimmt („eingespielt“) sein, ebenso muß der Vortrenn- Prozeß durch die Getrennte Sammlung in den Haushalten funktionieren.

#### **2.4.1.3 Fließbandsortierung mit dem Material aus der allgemeinen Sammlung**

Dies ist das System mit dem in der überwiegenden Anzahl alle Fälle in Brasilien der Hausmüll innerhalb der Verwertungsanlagen (Usina de Reciclagem) getrennt wird. Es ähnelt dem im Kapitel 2.4.1.1 beschriebenen System. Der Unterschied ist, daß hier die Abfälle nicht vorgetrennt, sondern in Rahmen der allgemeinen Müllsammlung ungetrennt gesammelt wurden. Der gesamte Hausmüll, nicht vorgetrennt in den Haushalten, ist vermischt, recycelfähiges Material wie Papier, Pappe, Glas, Metalle und Kunststoffstoffe sind zusammen mit den „feuchten“ weitgehend organischen Stofffraktionen wie z.B. den gebrauchten Toilettenpapieren und den im Haushalt anfallenden Essenresten.

Dieses System ist deshalb so häufig anzutreffen, weil viele Gemeinden große Schwierigkeiten haben, ein gut funktionierendes System der Getrennten Sammlung von Hausmüll einzurichten. Deshalb passen sich ihre Sortier- und Verwertungsanlagen der Situation an, daß der Hausmüll dort vermischt und völlig ungetrennt ankommt. Dies geschieht häufig auch dann, wenn die Anlage ursprünglich dafür geplant war, mit zwei verschiedenen getrennten Abfallarten zu arbeiten, dem „trockenen“ und dem „feuchten“ Müll. Oft erschweren dadurch die tatsächlichen Verhältnisse eine Verwirklichung der geplanten Arbeitsweise.

Die unbefriedigenden Arbeitsbedingungen sind das hauptsächliche Problem dieses Systems, denn die Personen, die die wiederverwertbaren Stoffe aussortieren, sind gezwungen, diese zwischen feuchten organischen Müll wie Toilettenabfällen herauszunehmen. Sie gehen das nicht geringe Risiko ein, sich dabei mit Krankheiten zu infizieren. Der andere negative Aspekt dieses Systems ist der Zustand, in dem sich die Haushaltsabfälle befinden: alles ist zusammen gemischt, verwertbare Altstoffe, Reste aus der Küche, Toilettenabfälle und andere organische Rückstände. Dies macht eine Sortierung nach Stoffklassen schwierig und problematisch und mindert die Qualität der aussortierten Altstoffe.

## 2.4.2 Altstoffverwertung in Brasilien

Die Altstoffverwertung in Brasilien hat in den letzten Jahren schrittweise zugenommen. In den 70-iger Jahren war das Material, das hauptsächlich wiederverwertet wurde, Papier und Pappe. Mit der strukturellen Veränderung der Zusammensetzung der häuslichen Abfälle in den letzten drei Jahrzehnten, wie in Tabelle 2.5 dargestellt, kamen auch neue Unternehmen auf, die weitere, neu hinzukommende Altstoffe (Plastik, Metall, Glas) rezyklieren können.

**Tabelle 2.5: Durchschnittliche Zusammensetzung der häuslichen Abfälle in Sao Paulo (Angaben in Massenprozent) – Historische Darstellung [40].**

Abfallkomponenten (Sortierfraktionen)	Stadt Sao Paulo						
	1927	1957	1969	1975	1980	1990	1995
Organischen Abfälle, Pappe, Papier.	95,9	92,7	81,4	67,4	68,0	77,0	78,0
Plastik	0,0	0,0	1,9	9,0	7,8	9,0	11,2
Metall	1,7	2,2	7,8	6,0	3,2	5,3	2,9
Leder, Holz, Gummi	1,5	2,7	6,2	0,8	1,5	1,5	2,7
Textilien	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	3,5
Glas	0,9	1,4	2,6	5,0	1,5	4,2	1,7
Andere	0,0	0,1	0,0	9,6	2,9	0,0	0,0

Neue Recyclingunternehmen entstanden insbesondere deshalb, weil die Brasilianische Industrie begann, zunehmend nach rezyklierbaren Altstoffen zu suchen. Diese Recyclingunternehmen bereiten das Material so auf, daß andere Industrien es als Rohstoffe nutzen können. Es dauerte einige Zeit, bis diese neuen Recyclingunternehmen richtig zu arbeiten begannen. Da sie hinsichtlich des Materials abhängig sind von der Zulieferung aus verschiedenen Quellen, kommt es nicht selten vor, daß Probleme bei der Zulieferung auftreten, d.h. die Versorgungssicherheit und die Qualitätssicherheit ist noch nicht in jedem Fall gewährleistet.

Ein Umstand, der die Verwertung von Abfällen in Brasilien sehr fördert ist die Einsparung von primären Energieträgern durch die Nutzung von Ersatzbrennstoffen, sowie durch die stoffliche Verwertung von Abfälle als Sekundärrohstoffe. Brasilien erlebt derzeit eine seiner schlimmsten Energiekrisen, was dazu führt, daß gelegentlich für eine bestimmte Zeit ganze Regionen von der Energieversorgung abgeschnitten werden. Dies hat gewaltige Auswirkungen auf die Produktion und das Wachstum der Wirtschaft. Die Energieeinsparung durch die Nutzung von aufbereiteten Abfällen als Sekundärrohstoffen wird in Tabelle 2.6 exemplarische dargestellt. Die Nutzung von Sekundärrohstoffen erlaubt darüber hinaus die Einsparung von Wasser sowie die Verminderung von Emissionen und die Reduzierung des Abfallanfalls. Es zeigt sich ganz deutlich die Notwendigkeit, so weit wie möglich auf „recycelte Materialien“ zurückzugreifen, die in aufbereiteter Form als Ersatzbrennstoffe oder Sekundärrohstoffe kostbare natürliche Ressourcen einsparen erlauben.

**Tabelle 2.6: Einsparungs- und Minderungspotentiale im Produktionsprozeß durch den Einsatz von Sekundärrohstoffen [41, 102].**

Einsparungs- und Minderungspotentiale (%).	Beispiele aus der Sekundärindustrie			
	Aluminium	Stahl	Papier	Glas
Einsparung von Energie (%)	90-97	47-74	23-74	4-32
Einsparung von Wasser (%)	95-97	40	58	50
Minderung Luftverschmutzung (%)	95	85	74	20
Minderung Wasserverschmutzung (%)	97	76	35	-

Die in dieser Tabelle dargestellten Daten aus der Sekundärindustrie können als Orientierung angesehen werden, da die tatsächlich erreichten Einsparungs- und Minderungspotentiale von den lokalen Bedingungen abhängen. Dies gilt zum Beispiel im Hinblick auf die angewandte Technologie. Aber selbst mit diesen Einschränkungen sind die dargestellten

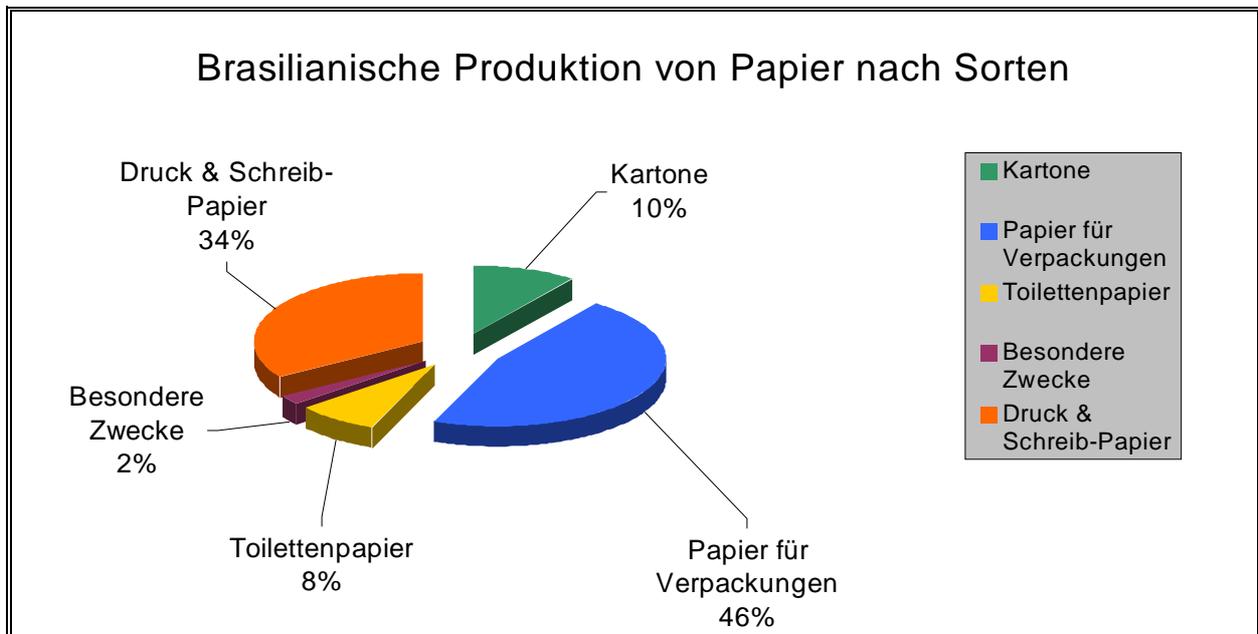
Werte aussagekräftig. In den folgenden Kapiteln wird näher auf die hauptsächlich in Brasilien recycelten Materialien eingegangen.

### 2.4.2.1 Pappe und Papier

Seit Beginn der Herstellung von Papier nutzt man hierzu dieselben Rohstoffe, natürliche pflanzliche Bestandteile, die sogenannten Cellulosefasern. In Laufe der Jahre hat sich aber der Produktionsprozeß selbst geändert. Der heute zur Produktion von Papier und Pappe am meisten genutzte Rohstoff ist Holz. Dieses wird mechanisch und chemisch aufbereitet, oder einem Verfahren unterzogen, daß diese beiden Behandlungsarten miteinander verbindet [42].

99% der Rohstoffe für die Papierproduktion in Brasilien ist Holz, der Rest Hanf und Bambus. Das Holz stammt überwiegend aus angepflanzten Wäldern von schnell wachsenden Eukalyptus- und Nadelbäumen. Die Papierindustrie hat seit 1998 etwa 1,5 Mill. Hektar genutzt, um solche Bäume anzupflanzen [43].

Im Hinblick auf ihre Verwendung unterscheidet man in Brasilien fünf Klassen von Papier: Papier für Verpackungen, für Kartone, für Toilettenpapier, zum Drucken und zum Schreiben, und solches für besondere Zwecke. Die Verteilung dieser einzelnen Papiersorten zeigt Abbildung 2.19.



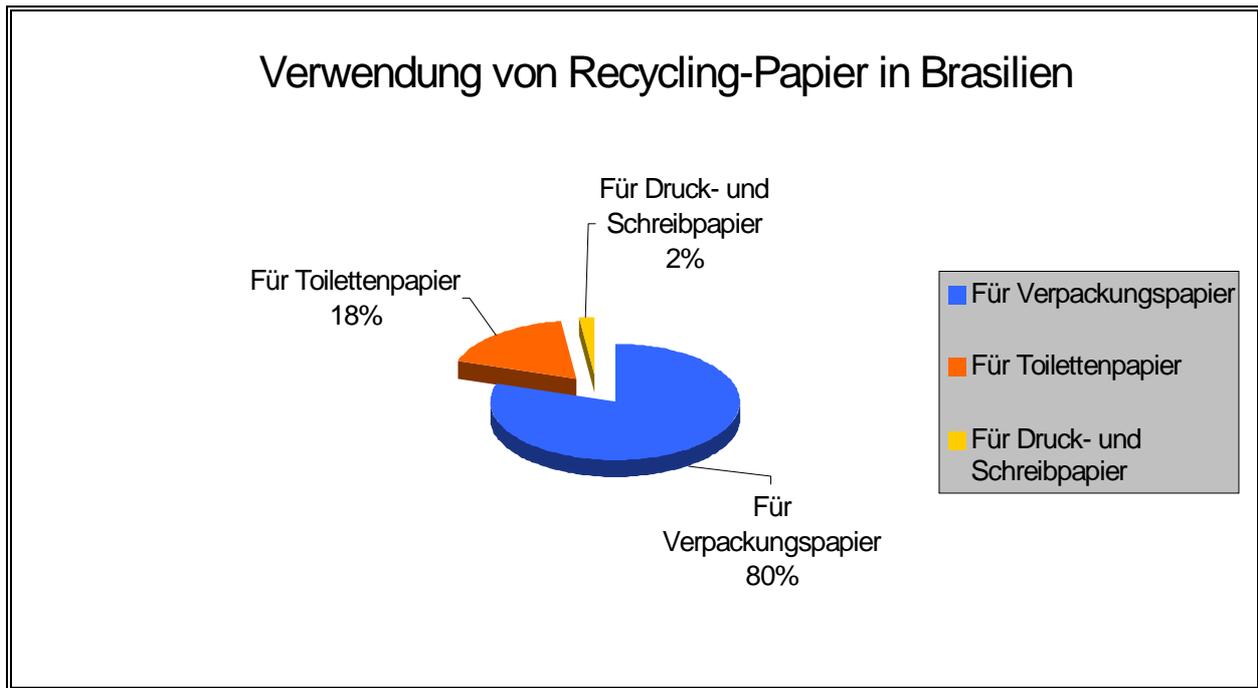
**Abbildung 2.19: Die brasilianische Produktion von verschiedenen Papiersorten (Angaben in Massenprozent).**

Interessant ist, daß ein Großteil des produzierten Papiers Verpackungspapier und Papier zum Drucken oder zum Schreiben ist. Es ist leicht vorzustellen, daß dieses Material gut für eine Wiederverwendung genutzt werden kann. Im letzten Jahrzehnt wurde 30 M-% des in Brasilien produzierten Papiers auf der Basis von Altpapier erzeugt [44]. Im Vergleich zu Europa erscheint dieser Wert gering. Dort liegt der Wert für „Recycling Papier“ zwischen 40 und über 70 M-%. Aber in Vergleich zu den USA oder zu Kanada wird in Brasilien bereits jetzt mehr Altpapier zur Papierproduktion eingesetzt.

Ein interessantes Faktum ist, daß die brasilianische Papierindustrie Altpapier aus anderen Ländern importiert. Die Ergebnisse der Getrennten Sammlung, der Sammlung von Papier und Pappe auf den Straßen durch die Catadores und auch die Wiederverwertungsprogramme in der Papierindustrie sind nicht ausreichend, um im Inland den Bedarf an Sekundärmaterial für die Neuproduktion zu decken. Dies rechtfertigt weitere Anstrengungen, um noch mehr Papier und Pappe der Wiederverwertung zuzuführen.

Um den steigenden Bedarf an Sekundärmaterial zu decken, ist es notwendig, das brasilianische System der Sammlung und Sortierung einer Revision zu unterziehen, insbesondere was die Reinheit des gesammelten und sortierten Papiers anbetrifft. Denn wenn dieses Material sehr verschmutzt ist, eignet es sich nicht mehr für eine stoffliche Wiederverwertung. Dies kommt häufig dann vor, wenn die Abfälle nicht getrennt gesammelt werden, bzw. nicht wenigstens in die Komponenten: „trockener“ (lixo seco) und „feuchter“ (lixo úmido) Müll getrennt sind.

Da die Cellulosefasern ihre Eigenschaften (wie z.B. Faserlänge) nach einigen Recyclingprozessen ändern („Downcycling“) - dies tritt nach 7 bis 10 maligen Recycling ein [45, 46] - finden die wiederaufbereiteten Cellulosefasern gegenüber den Primärfasern unterschiedliche Verwendungen. Wie in der Abbildung 2.20 dargestellt, wird der Großteil für die Herstellung von Verpackungspapier verwendet, ein anderer bedeutender Teil für die Produktion von Toilettenpapier und ein relativ geringer Anteil für die Erzeugung von Druck- und Schreibpapier.



**Abbildung 2.20: Verwendung von Recycling-Papier bei der Herstellung von neuen Produkten [47] (Angaben in Massenprozent).**

Die Fortschritte bei der Gewinnung von Sekundärrohstoffen für die Wiederverwertung in Brasilien habe Wege für das Recycling von Stoffen eröffnet, die bislang als nicht-recyclfähig angesehen wurden, so z.B. für das Material, daß bekannt ist als Tetrapak. 75% der zur Herstellung dieses Materials verwendeten Stoffe sind pflanzliche Fasern, und somit recycelbares Material [48], das in der Papierindustrie verarbeitet werden kann.

#### 2.4.2.2 Metalle

Im Hinblick auf den Verbrauch und die Wiederverwertung von Metallen wird in diesem Kapitel ihre Bedeutung als Verpackungsmaterial auf dem brasilianischen Markt aufgezeigt. Dort kommen Metalle hauptsächlich in den Formen Eisen- und Aluminiumblech vor.

Dosen aus Eisenblech stellen 25% aller Verpackungsmaterialien auf dem brasilianischen Markt dar. Innerhalb dieses Anteils können je nach Verwendungsart unterschieden werden: 72,5% zur Verpackung von Lebensmitteln, wie z. B. Speiseöle, Konserven und Milchprodukte, 14,5% zur Verpackung von chemischen Stoffen und Farben; 2,4% zur Verpackung von Industrieölen, 8,7% für Metalldeckel und 1,9% für andere Materialien [49].

Etwa 35% des Eisenblechs wird in Brasilien recycelt, in den USA 60% und in Japan 55% [49]. Derzeit ist der Anteil des wiederverwerteten Eisenblechs in Brasilien also noch vergleichsweise gering. Aber mit bewährten Trennungsmethoden, wie z.B. der elektromagnetischen Trennung, (Magnetscheidung) kann dieser Anteil beachtlich erhöht

werden. Dieses in Europa bereits mit gutem Erfolg genutzte Trenn- Verfahren wird derzeit in Brasilien eingeführt. Mit Hilfe von Magnetscheidern erhofft man sich, innerhalb von 2 Jahren den Anteil von wiedergewonnenem Eisenblech von derzeit 35% auf 50% zu steigern. Derzeit bereitet die Wiedergewinnung dieses Materials in Brasilien noch Schwierigkeiten, da ein hoher Anteil von Zinn im Fe-Schrott vorhanden ist. Es werden Studien unternommen, um dieses Problem besser in den Griff zu bekommen [50].

Aluminiumblech wird hauptsächlich für die Verpackung von carbonsäurehaltigen Lebensmitteln verwendet, wie z. B. Dosen für Bier und Erfrischungsgetränke [51]. Wie der Tabelle 2.7 zu entnehmen ist, wuchs der Anteil der Wiederverwertung von Aluminium in Brasilien so stark, daß er sogar die Ergebnisse von Ländern übersteigt, die schon viel länger als Brasilien Aluminium Recycling betrieben.

**Tabelle 2.7: Anteil der in Brasilien rezyklierten Verpackungstoffe aus Aluminium (%) und Vergleichswerte aus anderen Ländern [35].**

Land	Jahr (Angaben in Massenprozent)							
	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Brasilien	37	39	50	56	63	61	64	65
U.S.A	62	68	63	65	62	64	67	63
Europa	21	25	28	30	35	37	40	41

Wie bereits im Kapitel 2.3.1 ausgeführt, ist ein Grund für den relativ hohen Anteil der Wiedergewinnung von Sekundär Aluminium der Umstand, daß eine große Zahl von Aluminiumdosen auf den großen brasilianischen Volksfesten von Müllsammlern gesammelt wird, um so ein Einkommen für sich und die Familien zu erzielen. Die Werte der Tabelle 2.7 enden mit einem Prozentanteil der Wiederverwertung von Aluminiumverpackungsmaterial in Brasilien von 65% für das Jahr 1998. Im 2001 liegt dieser Wert bereits bei rund 73%, was ein deutliches Anwachsen der Wiederverwertung in diesem Sektor in den letzten drei Jahren belegt.

Der größte Vorteil bei der Wiederverwendung von Aluminium liegt im hohen Grad der Energieeinsparung. Bei der Verwendung dieses Sekundärmaterials beträgt sie rund 95%, d.h. die Erzeugung von Aluminium aus z.B. gebrauchten Aluminiumdosen erfordert nur 5% der Energie, die in der Primärindustrie bei der Erzeugung von Aluminium aus dem Rohstoff Bauxit aufgewendet wird [52, 96]. Außerdem verringert sich dadurch der Verbrauch an Wasser und Chemikalien, sowie der Anfall von Abfällen (z.B.: Rotschlamm), sowie Abwasser und das Entstehen von Luftemissionen [96].

### 2.4.2.3 Glas

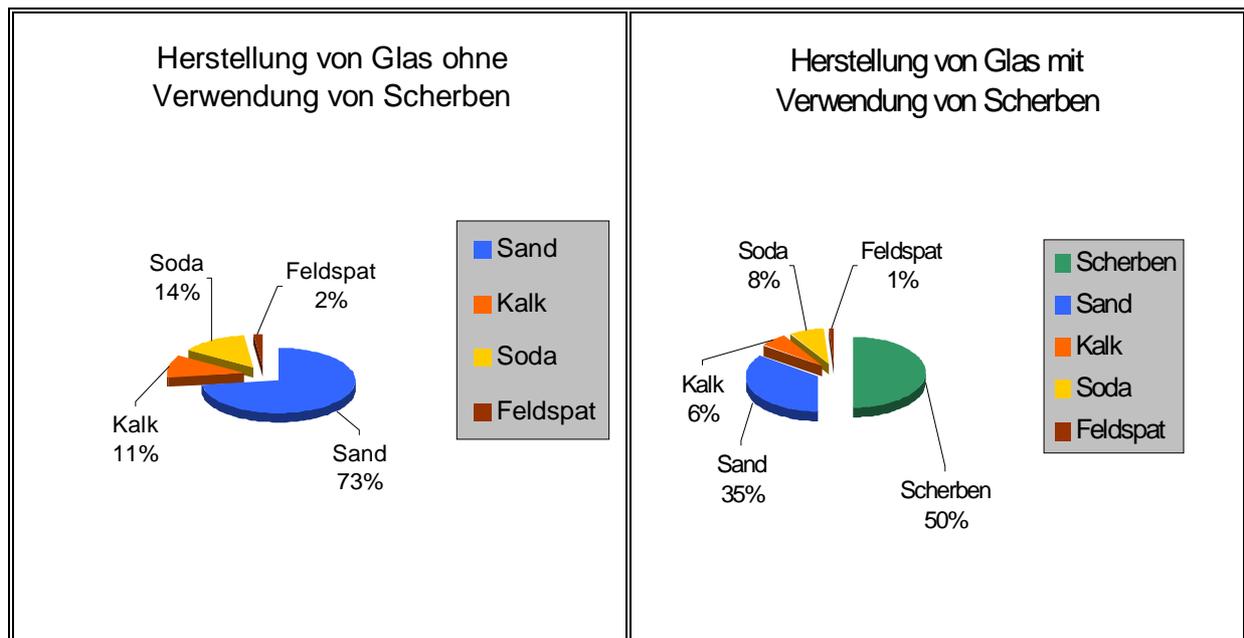
Glas wird in ganz unterschiedlicher Weise genutzt. Diese Arbeit beschränkt sich auf die Betrachtung seiner Nutzung als Verpackungsmaterial, denn dieses Material kommt in Brasilien in relativ großen Anteilen im Hausmüll vor.

Glas als Verpackungsmaterial wird genutzt für Flaschen, Lebensmittelverpackungen, Parfümen, Medikamenten und anderen Produkten, die so gut geschützt werden müssen, wie dies nur eine Verpackung mit Glas erlaubt. Der ganz überwiegende Teil der Glasverpackungen sind Getränkeflaschen, wie z.B. für Erfrischungsgetränke, Bier, Schnaps und Wein, und viele dieser Flaschen sind schon als solche wiederverwendbar.

Von der Gesamtmenge der in Brasilien hergestellten Glasverpackungen sind gut die Hälfte in ihrer ursprünglichen Form wiederverwendbar. Sie müssen nur gut gewaschen und sterilisiert werden. Ein anderer bedeutender Umstand, den man in Brasilien beachten muß, ist die Situation der Bierflaschen. Die Brasilianer haben nicht die Gewohnheit, Faßbier zu trinken. Sie trinken Bier aus Flaschen. Deshalb hat die Bierindustrie eine Standardflasche entwickelt, die zur Industrie zurückkehrt und dort erneut verwendet wird. Dies erhöht entsprechend der kulturellen Gewohnheit deutlich den Gesamtanteil der wiederverwerteten Glasverpackungsmaterialien in Brasilien.

In Hinblick auf die Wiederverwertung von Glas erreichte Brasilien im Jahr 1999 einen Anteil von 40% [53]. Dies ist ein beachtlicher Wert für ein Entwicklungsland, aber er ist noch weit entfernt von den Werten, die Österreich und Deutschland mit 86% bzw. 81% erreichen [54, 55]. Einer der Hauptgründe, die es erschwerten, daß der Anteil der Wiederverwertung von Glas anstieg, waren bis 1991 die großen Entfernungen in Brasilien. Denn bereits bei einem Transport von mehr als 400 km rechnet sich die Wiederverwertung von Glas bei den bestehenden brasilianischen Verhältnissen nicht mehr [56, 57, 58]. Da sich das brasilianische Verkehrssystem aber in den letzten Jahren wesentlich verbessert hat und auch die Wiederverwertung von Glas reorganisiert wurde, wird sich in den kommenden Jahren der Anteil der rezyklierten Glasstoffe deutlich erhöhen.

Die Wiederverwertung von Glas erzeugt auch deutliche Wirtschafts- und Umwelt Vorteile, denn die bei der Herstellung von Glas benötigten Rohstoffe wie Sand, Soda, Kalk und Feldspat können bei der Verwendung von Glasbruch vermindert werden, wie die Abbildung 2.21 zeigt.



**Abbildung 2.21: Zusammensetzung der Ausgangsstoffe für die Herstellung von Glas mit und ohne Verwendung von Scherben [53] (Angaben in Massenprozent).**

Der Abbildung 2.21 kann man entnehmen, daß der Rohstoff Sand für die Glaserzeugung eine Reduzierung von 73M-% auf M-35% erfährt, wenn beim Herstellungsprozeß 50 M-% Glasbruchstücke verwendet werden. So werden die natürlichen Rohstoffe weniger ausgebeutet. Heute wird der benötigte Sand in Brasilien häufig aus den Marschen der Flußläufe entnommen, was starke, lokale Umweltprobleme verursacht und auch den Flußlauf selbst beeinträchtigt.

Im Hinblick auf die zur Glasherstellung benötigte Energie kann man eine Reduktion von 2,5% feststellen, wenn im Produktionsvorgang 10% Glasbruchstücke genutzt werden, denn so verringert sich die Schmelzzeit und außer der bereits erwähnten Energieeinsparung erzielt man dadurch eine Reduktion der in die Atmosphäre entweichenden Gase [56, 57].

Im brasilianischen Hausmüll findet man auch Glas, das nicht als Verpackungsmaterial dient, z.B. Teller, Schalen, Glasdeckel., Pfannen, Fernschröhren, Lampen, Fensterscheiben und ähnliche, andere Produkte. Aber diese Stoffe werden derzeit noch nicht einer entsprechenden Wiederverwertung zugeführt, weil es hierfür noch keine Infrastruktur gibt, die wirtschaftlich arbeitet. So landet dieses Material immer noch weitgehend unkontrolliert und ungenutzt auf den Müllhalden.

#### 2.4.2.4 Kunststoff

Bei den Kunststoffstoffen unterscheidet man z.B. hitzebeständige und nichthitzebeständige Kunststoffstoffe. Hitzebeständig sind solche, die einmal in einem Erwärmungsprozeß geformt, keine erneute Verformung in einem weiteren Prozeß ertragen. Dies gilt zum Beispiel für Baquelit. Nichthitzebeständig sind solche, die als Ganzes oder in Teilen einen weiteren Verformungsprozeß erlauben. Quantifiziert man die nichthitzebeständigen Kunststoffstoffe in Brasilien, die in großem Umfang genutzt werden und einem neuerlichen Verformungsprozeß zugänglich sind, so läßt sich folgendes feststellen: etwa 90% dieser Stoffe setzen sich aus nur 6 verschiedenen Polymeren zusammen: PELD (bzw. PEBD) – Polyethylene von niedriger Dichte; PEHD ( bzw. PEAD) – Polyethylene von hoher Dichte; PP – Polypropylene; PS – Polystyrol; PVC – Polyvinylchlorid und PET – Polyethylenterephthalat [59].

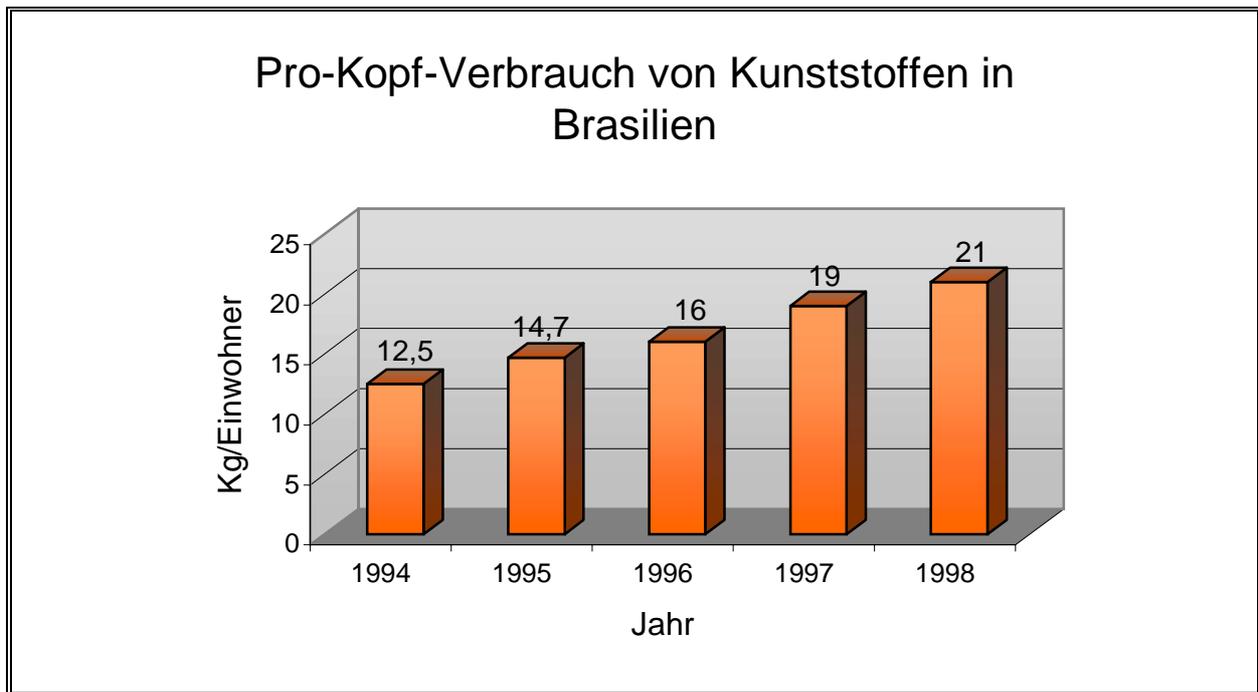
Tabelle 2.8 weist eine steile Zunahme des Verbrauchs von Kunststoffstoffen in den letzten Jahren in Brasilien auf, ebenso wie eine Verbrauchszunahme der Basisstoffe für ihre Herstellung. Der gleichen Tabelle kann man entnehmen, daß sich der Verbrauch der Basisstoffe in einigen Fällen verdreifacht hat. Von 1987 bis 1998 ist der Verbrauch von Kunststoff in Brasilien von 1.523.000 auf 2.973.000 Tonnen pro Jahr gestiegen. Dies ist ein Zuwachs von fast 100%, oder eine Verdopplung in nur 11 Jahren. Betrachtet man die Entwicklung für PET, so läßt sich sagen, daß Brasilien heute weltweit der größte Verbraucher dieses Stoffes ist.

**Tabelle 2.8: Zunahme des Verbrauchs von Kunststoffen in Brasilien unter Berücksichtigung ihrer jeweiligen Zusammensetzung [59, 60].**

Konsum (Tonnen /Jahr)						
Kunststoff	1987	1988	1989	1990	1991	1998
PEHD (bzw. PEAD)	214.000	204.000	207.000	230.000	258.000	568.000
PELD (bzw. PEBD)	516.000	455.000	473.000	460.000	485.000	720.000
PP	231.000	212.000	232.000	230.000	290.000	595.000
PS	148.000	140.000	140.000	125.000	127.000	233.000
PVC	414.000	403.000	403.000	340.000	400.000	608.000
PET	-	-		7.000	12.000	249.000

In Brasilien wird Kunststoffmaterial hauptsächlich zur Verpackung verwendet. Es wird gebraucht für die Verpackung von Lebensmitteln, Getränken, von Toilettenartikeln, Reinigungsprodukten und sonstigen Marktartikeln. Es findet sich aber auch in Plastikrohren für Trinkwasser und Abwässer, in Einschaltungen für Kabel und elektrische Leitungen und bei der Herstellung von Eimern und Fliesen.

Der pro-Kopf-Verbrauch von Kunststoff hat sich in den letzten Jahren in Brasilien deutlich erhöht. Der Abbildung 2.22 kann man entnehmen, daß sich dieser Verbrauch zwischen 1994 und 1998 so gut wie verdoppelt hat, von 12,5 kg pro Jahr und Einwohner auf 21 kg im Jahr 1998. Experten schätzen ein Wachstum von jährliche 9% für die nächsten drei Jahre ab 1998. Dies würde bedeuten, daß Brasilien im Jahr 2001 einen erwarteten Verbrauch von 27 kg pro Einwohner und pro Jahr aufweist.



**Abbildung 2.22: Der Pro-Kopf-Verbrauch von Kunststoffen zwischen 1994 und 1998 in Brasilien [59, 60, 61].**

Aber selbst bei einer solchen Zunahme des Verbrauchs ist Brasilien noch weit entfernt von der Konsum-Werten, die z.B. die U.S.A., Japan und Europa aufweisen (vgl. Tabelle 2.9). Dabei ist auch zu berücksichtigen, daß diese Länder einen wesentlich höheren Anfall von Hausmüll pro Kopf/Jahr haben und daß das Konsumverhalten der Bevölkerung dieser Länder sehr unterschiedlich ist von dem der brasilianischen Bevölkerung.

**Tabelle 2.9: Verbrauch von Kunststoff pro Kopf/Jahr in Brasilien in Vergleich mit anderen Ländern [59, 60].**

Land	Konsum bezogen auf 2001 pro Kopf/Jahr (Angaben in kg)
U.S.A	70
Japan	54
Europa	45
Brasilien	21

Hinsichtlich der Zunahme des Verbrauchs von Kunststoffen in Brasilien ist festzustellen, daß parallel dazu auch die Kapazität für die Wiederverwertung dieser Stoffe im Land zunimmt. Es gibt drei unterschiedliche Systeme der Aufbereitung und Behandlung von Kunststoffen zum Zwecke der Wiederverwertung in Brasilien. Diese sind: primäre oder vorkonsume Wiederverwertung, sekundäre oder nachkonsume Wiederverwertung und drittens, eine weitere Art der terziären Wiederverwertung. Im Folgenden wird kurz auf diese drei unterschiedlichen Arten der Kunststoffbehandlung eingegangen.

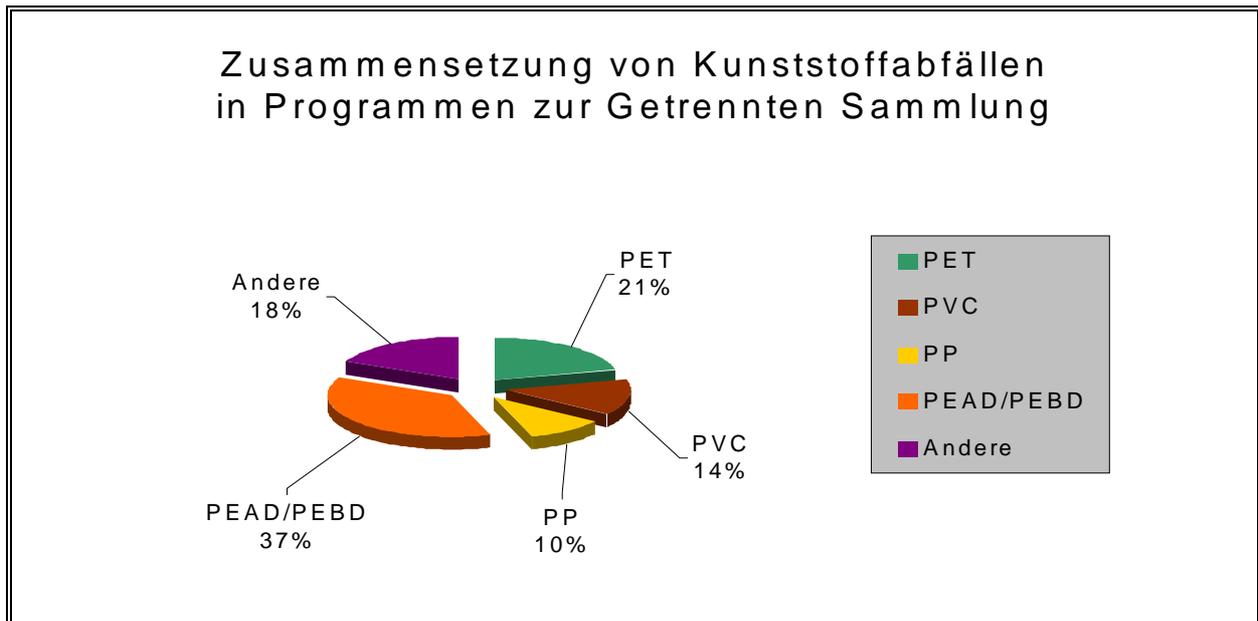
- ◆ Unter primärer oder vorkonsumer Wiederverwertung versteht man die Umwandlung von sortenreinem Kunststoff in konventionellen technischen Prozessen in Produkte, die ähnliche Charakteristiken aufweisen, wie die Grundstoffe, aus denen der Kunststoff ursprünglich hergestellt worden ist. Die Kunststoffabfälle bestehen aus Gefäßbruchstücken und aus Stücken von Kunststoffrückständen und– Folien aus der Industrieproduktion. In der vorkonsumen Wiederverwertung werden nichthitzebeständige Rückstände hauptsächlich aus dem industriellen Bereich verwertet. Diese haben den Vorteil, sauber und sortenrein zu sein. Die eigentliche Wiederverwertung kann innerhalb der Industrie erfolgen, wo diese Kunststoffabfälle anfallen oder aber auch in dritten, beauftragten Unternehmen. Auf diese Art und Weise werden so gut wie 100% dieser Kunststoffrückstände wiederverwertet und die aus ihnen hergestellten „neuen“ Kunststoffe sind so gut, als wären sie aus den ursprünglichen Rohstoffen hergestellt.
  
- ◆ Unter sekundärer oder nachkonsumer Wiederverwertung versteht man die Umwandlung von Kunststoffrückständen aus dem Müll in einen Prozeß oder in einer Kombination von mehreren Prozessen. Dieses Material kommt von den Müllsammlern, die es in den Abfallbehältern auf der Straße oder auf den Müllhalden gefunden haben, oder aus dem System der getrennten Sammlung, von den Catadores der Straße oder aus Verwertungsanlagen. Hinsichtlich der verwendeten Rohstoffe zeichnen sich diese Abfälle durch eine große Sorten Vielfalt aus, so daß das Material vor seiner endgültigen Wiederverwertung sorgfältig getrennt werden muß. Außerdem sind diese Kunststoffrückstände häufig vermischt mit anderen Materialien, wie z.B. Lebensmittlrückständen, Erde, Metall, Glas, Papier und anderen Stoffen. Daher ist eine Vortrennung unausweichlich. Wie schon gezeigt, wäre die Trennung der häuslichen Abfälle noch in den Haushalten eine gute Alternative zusammen mit einem gut entwickelten System der Getrennten Sammlung. Auf diese Art würde die Verschmutzung des Kunststoffs mit organischen Rückständen vermindert werden können. Immer dann, wenn man von Wiederverwertung von Kunststoff aus dem Müll spricht, bezieht sich diese Aussage auf die sekundäre oder nach-konsume Wiederverwertung der Kunststoffe.

- ◆ Unter terziärer Wiederverwertung versteht man die Umwandlung von Kunststoffrückständen in chemische Ausgangs-Stoffe durch z.B. thermochemische Prozesse (Pyrolyse, katalytische Umwandlung). In diesen Prozessen werden die Kunststoffrückstände in Ausgangsstoffe zurückverwandelt, die ihrerseits erneut als Rohstoffe dienen, zum Einsatz in Kunststoff- und anderen Industrie, in brennbare Gase oder Öle. Wegen der noch hohen Kosten hat die terziäre Wiederverwertung derzeit noch kein großes Anwendungsfeld. Auch die anfänglichen Investitionen für diese Art der Wiederverwertung sind deutlich höher als die für eine primäre- oder sekundäre Wiederverwertung.

Die nachfolgend aufgeführten Daten beziehen sich auf die sekundäre oder nachkonsume Wiederverwertung, denn diese ist direkt mit dem Anfall von Hausmüll verbunden. Der Massenanteil von stofflichverwertbaren Kunststoffen im brasilianischen Hausmüll liegt zwischen 4 und 7 M-%, der Volumensanteil zwischen 15 bis 20%. Die Absolutmenge des Kunststoffanteils im Hausmüll wächst mit der wachsenden brasilianischen Bevölkerung. Aus dieser Situation heraus versuchen viele Gruppen, organisiert oder auch nicht, finanziellen Nutzen durch die Wiederverwertung von Kunststoff aus Müll zu ziehen.

In Übereinstimmung mit Daten, die von Organisationen erhoben wurden, die auf dem Gebiet der Wiederverwertung von Kunststoff arbeiten, wird angenommen, daß in Brasilien rund 15% des verbrauchten Kunststoffs wiederverwertet wird. Davon stammen 60% aus industriellen Rückständen und 40% aus häuslichen Abfällen [62], d.h. der Kunststoffanteil aus der sekundären, nachkonsumen Wiederverwertung beträgt 6% des verbrauchten Kunststoffes.

Der geringe, aber im Wachstum begriffene Anteil der Wiederaufbereitung von Kunststoffen, die aus dem häuslichen Müll stammen, zeigt, daß Möglichkeiten bestehen, diesen Anteil in Brasilien stetig zu erhöhen. Hauptsächlich ist dies vom System der Getrennten Müllsammlung abhängig, für dessen Einrichtung und Unterhalt die Gemeinden verantwortlich sind. Sind diese interessiert und engagiert, dann ist die Qualität des recycelfähigen Kunststoffs wesentlich besser als jene des Materials, das die Müllsammler aus den Halden ziehen. Abbildung 2.23 zeigt die Zusammensetzung von Hartkunststoffabfällen, so, wie sie bei den verschiedenen Programmen der Getrennten Abfallsammlung in einigen brasilianischen Städten anfallen.



**Abbildung 2.23: Zusammensetzung harter Kunststoffabfälle, gesammelt in Programmen zur Getrennten Sammlung in einigen brasilianischen Städten [63] (Angaben in Massenprozent).**

Die Zusammensetzung der Rohstoffe zur Produktion von Kunststoffen ist unterschiedlich und abhängig vom Verwendungszweck. Betrachtet man die Verwendung der gängigsten Rohstoffe, so kann man diesbezüglich feststellen:

- ✓ PEAD (bzw. PEBD) – Polyethylene von niedriger Dichte: sie werden vor allem für die Herstellung von Milchtüten, Müllsäcken, Keksverpackungen und Nudelpackungen verwendet.
- ✓ PEHD (bzw. PEAD) – Polyethylene von hoher Dichte: sie werden vor allem für die Herstellung von Getränkeflaschen, Eimern und für Verpackungen von Reinigungsmaterialien verwendet.
- ✓ PP – Polypropylene: sie werden vor allem für die Herstellung von Verpackungsmaterialien für Kekse und Nudeln, für Margarine und zur Herstellung von groben Kunststoffsäcken verwendet.
- ✓ PS - Polystyrole: sie werden vor allem für die Herstellung von wiederverwendbaren Bechern für Kaffee, Wasser, Bier, usw., verwendet.
- ✓ PVC – Polyvinylchloride: sie werden vor allem für die Herstellung von Kunststoffrohren, Schläuchen, Kabeln, Wasserbehältern und Flaschen für Reinigungsmitteln verwendet.
- ✓ PET – Polyethylenterephthalate: sie werden vor allem für die Herstellung von Getränkeflaschen genutzt.

Wesentliche Beachtung gilt den PET, denn die Kunststoffe aus diesem Material weisen in Brasilien im Verbrauch und in der Wiederverwertung ein kräftiges Wachstum auf. Der Verbrauch ist u.a. auf den hohen Konsum von Erfrischungsgetränken zurückzuführen. In Brasilien, einem tropischen Land, werden sehr viele Erfrischungsgetränke getrunken.

Daher hat sich hier die Erfrischungsgetränke- Industrie angesiedelt, die Produkte von guter Qualität zu einem Preis, der für jedermann zugänglich ist, anbietet.

Die PET-Kunststoffflaschen für Getränke fassen normalerweise 2 Liter, sind voll wiederverwertbar und nehmen innerhalb der häuslichen Abfälle ein großes Volumen ein. Da sie bei der Wiederverwertung einen guten Preis erzielen, gelten sie als noble Produkte des Mülls, die von den Catadores begehrt werden. Aufgrund ihrer Größe und Form sind diese Kunststoffflaschen auch leicht auszusortieren. Für die Vermarktung werden sie gepreßt, was den Transport zu den Aufbereitungsanlagen wesentlich erleichtert und verbilligt.

Bei allen aufgezeigten Fortschritten in der Verwertung von häuslichen Abfällen läßt sich feststellen, daß eine Standardisierung des Kunststoffverpackungsmaterials in bezug auf seine Zusammensetzung ein wesentlicher Fortschritt für seine Wiederaufbereitung wäre. Wäre alles Kunststoffverpackungsmaterial standardisiert und einheitlich gekennzeichnet, so würde damit seine Sortierung und Aufbereitung wesentlich erleichtert werden [64].

#### 2.4.2.5 Baurestmassen (Baurückstände)

Dieses Kapitel bezieht sich auf die landesspezifische Situation der „Baurückstände“, die vornehmlich aus Bauschutt bestehen. Wie aus Tabelle 2.10 hervorgeht, kommt diesen Abfällen nach Volumen und Gewicht spezielle Bedeutung bei der Müllablagerung in Brasilien zu. Auch finden sich in diesen Abfällen verschiedenartigste Rückstände von Bau- und Abbruchmaterial, das zum guten Teil wiederverwertet werden kann.

**Tabelle 2.10: Anteil (%) von Baurestmassen in den Müllablagerungen einiger brasilianischer Städte [65].**

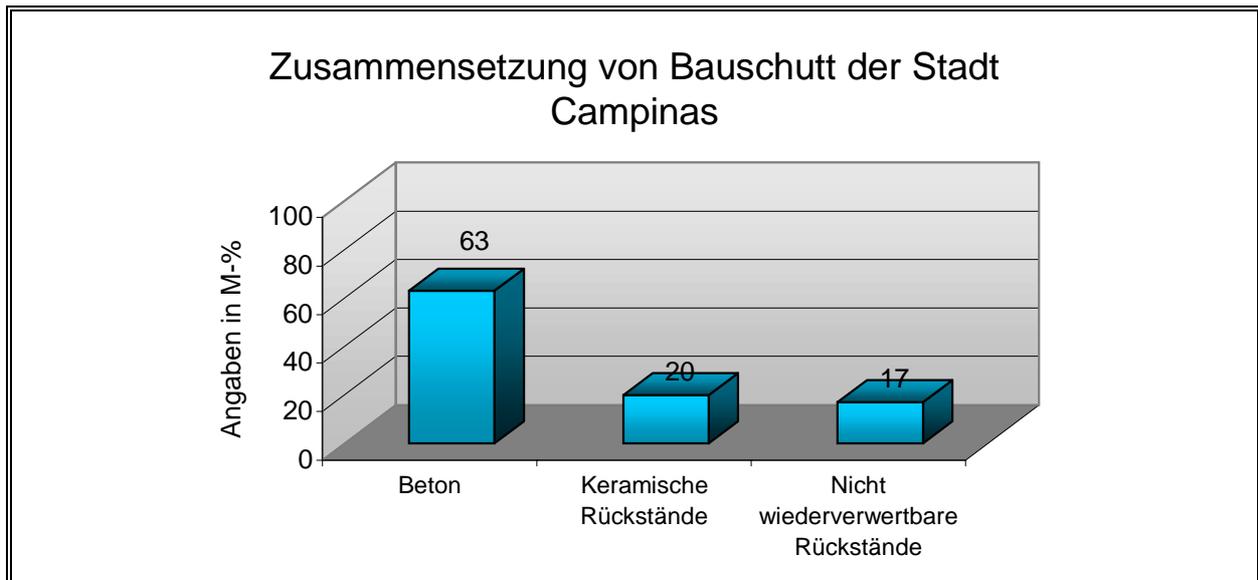
Stadt	Anteil (Angaben in M-%)
Sao Jose dos Campos (SP)	68
Ribeirao Preto (SP)	67
Belo Horizonte (MG)	51
Brasília (DF)	66
Campinas (SP)	64
Jundiai (SP)	64
Sao Jose do Rio Preto (SP)	60
Santo André (SP)	62

Wie bereits im Kapitel 2.1 ausgeführt, liegt die Verantwortlichkeit für die Entsorgung der häuslichen Abfälle bei den jeweiligen Stadtverwaltungen. Da der Anfall von Bauschutt in einigen Städten einen relativ großen Anteil am kommunale Abfall ausmacht, begannen die Stadtverwaltungen dort nach Alternativen zu suchen, um diese Mengen zu reduzieren oder wenigstens um die Probleme zu verringern, die diese Abfallart erzeugt. Wenn die Stadtverwaltungen nicht kontrollieren, kommt es häufig vor, daß der Bauschutt an Orten abgelagert wird, die hierfür gänzlich ungeeignet sind, wie z.B. auf verlassenen Grundstücken, an Marschen von Flüssen, oder Läufen von Kanälen, was häufig zu deren Verstopfung führt. An vielen Orten verursacht diese „wilde“ Ablagerung des Bauschutts ernste Probleme für die Umwelt und die öffentliche Gesundheit.

Eine von den Stadtverwaltungen gemeinsam mit den betroffenen Unternehmen entwickelte Alternative ist, die Baurestmassen auf Inertstoffdeponien abzulagern. Aber diese spezielle Lagerstätten verfügen bislang noch über kein System der Umweltkontrolle.

Die Verwertung von Baurückständen ist innerhalb der Behandlung von kommunalen Siedlungs Abfälle durch die Stadtverwaltungen ein relativ neues Thema. Deshalb befinden sich entsprechende Lösungen für ihre Aufbereitung und Wiederverwertung noch in der Anfangsphase, so wie in vielen Städten die eigentliche Frage der Abfallbehandlung. 1997 gab es in ganz Brasilien nur 8 Städte mit besonderen Vorrichtungen für die Behandlung von Baurestmassen [65]. Die nicht einheitliche Zusammensetzung dieser speziellen Abfälle erschwert eine entsprechende Behandlung oder die Wiederverwertung. Es gibt Studien, die zeigen, daß eine Nutzung dieser Bau-Abfälle z.B. für die Herstellung von Betonteilen möglich ist, soweit diese nicht als Tragende Elemente eingesetzt werden. Ein weiterer Verwertungsbereich ist der Straßenbau und Konstruktionen im Abwasserbereich (Dränage) [65, 66, 67, 68].

In der Abbildung 2.24 werden exemplarisch die durchschnittliche Zusammensetzung des Bauschutts der Stadt Campinas, gelegen im Großbereich von São Paulo, gezeigt. Auffällig ist der große Anteil von Bewehrungseisen und Betonteilen, die hauptsächlich Zement, Kalk, Sand und zerkleinerte Basaltsteine enthalten. Diese Zusammensetzung von Baurückstände kann nicht auf ganz Brasilien übertragen werden, denn wegen der z.T. unterschiedliche Sitten, Gebräuche, klimatischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen, die es in diesem großen Land gibt, ist die anteilmäßige Zusammensetzung von Baurestmassen von Region zu Region unterschiedlich.



**Abbildung 2. 24: Durchschnittliche Zusammensetzung von Bauschutt in der Stadt Campinas (São Paulo) [69].**

In den letzten Jahren ist innerhalb der brasilianischen Bauindustrie Besorgnis hinsichtlich der Behandlung und des Verbleibs von Bauschutt aufgekommen. Gleichzeitig hat sich die Wiederverwendung von Baurestmassen deutlich erhöht, Fast 20 M-% der am Bau eingesetzten Materialien bleiben nach Bauende als Bauschutt zurück [70]. Dies belegt die Notwendigkeit, eine Strategie für die Behandlung und Verwertung dieses speziellen Abfallmaterials in Brasilien zu entwickeln.

## 2.5 Abfälle aus dem Gesundheitsbereich

Betrachtet man die schwerwiegenden Probleme, die Abfälle aus dem Gesundheitsbereich für die Umwelt und für die öffentliche Gesundheit verursachen können, so erscheint es gerechtfertigt, kurz auf die diesbezügliche Situation in Brasilien einzugehen. Heute sind etwa 1 M-% aller in den Städten anfallenden Abfälle solche aus dem Gesundheitsbereich. Der ganz überwiegende Teil dieser besonderen Abfälle wird z.Z. leider noch völlig unzureichend behandelt entsorgt.

Eines der hauptsächlichen Probleme in Hinblick auf die Sammlung und Behandlung dieser Abfälle ist die institutionale und personale Unfähigkeit der Einrichtungen des Gesundheitswesens, infektiöses von nichtinfektiösem Abfallmaterial zu trennen. Normalerweise werden diese Abfallfraktionen miteinander vermischt in den Müll geworfen, was zu einer Verseuchung der gesamten gesammelten Abfälle führt, also auch solcher, die zuvor als nichtkontaminierte Abfälle getrennt hätten behandelt werden können.

Wie die Tabelle 2.23 exemplarisch ausweist, könnten große Teile der in den Einrichtungen des Gesundheitswesens anfallenden Abfälle ebenso behandelt werden wie übliche, häusliche Abfälle. Aber ihre Vermischung mit infektiösen und kontaminierten Abfällen macht dies unmöglich. Untersuchungen über die Zusammensetzung von Abfällen aus dem Gesundheitsbereich zeigen, daß die Anteile, die ursprünglich als nichkontaminiert eingestuft werden können, beachtlich sind. Eine der Untersuchungen bezieht sich auf ein Krankenhaus mit 200 Betten. Es wurde festgestellt, daß 5 M-% aller Abfälle als kontaminiert klassifiziert werden müssen, 95 M-% hingegen sind nicht kontaminiert [71]. Diese Einteilung erscheint sehr optimistisch, angesichts der gegebenen Situation in Brasilien.

**Tabelle 2.11: Krankenhausabfälle, unterteilt nach ihrer Herkunft [72].**

Herkunft der Abfall	Anteil (Angaben in Massenprozent)
Küche	50
Krankenteil	17
Frauenheilkunde	8
Orthopädie	7
Operationssaal	4
Büros	2
Andere	12

Sammlung, Lagerung und Entsorgung von Abfällen aus den Institutionen des Gesundheitswesens sind ein neuralgischer Punkt von Stadtverwaltungen. Häufig werden Krankenhausabfälle zusammen mit den allgemeinen, häuslichen Abfällen abgelagert. Wie bereits ausgeführt, ist die Ablagerung dieses Mülls in Brasilien problematisch, wo häufig die Müllsammler auf den Müllhalden arbeiten, also zwischen reinem Hausmüll und Hausmüll vermischt mit Krankenhaushaltsabfällen, Abfällen aus Laboratorien, Kliniken, Arztpraxen und Apotheken. In einigen wenigen Fällen wird der kontaminierte Müll verbrannt und die Rückstände werden später auf die Müllhalden oder die Mülllagerungsstätten abgeladen. Zu beachten ist aber, daß solche Verbrennungsanlagen nur in einigen wenigen brasilianischen Bundesstaaten eine umweltrechtliche Betriebsgenehmigung haben, so z.B. in den Staaten des Südens und des Südostens von Brasilien. Um die Situation zu verbessern, üben einige Stadtverwaltungen Druck auf die Verursacher dieser Abfälle aus, damit diese nach eigenen Lösungen suchen. Rechtlich verantwortlich ist hier nur der Abfallerzeuger. Die betroffenen Institutionen im Gesundheitsbereich versuchen daher häufig folgende Lösung: ein praktisches Training ihrer Mitarbeiter, um den Anfall von kontaminierten Material zu verringern; sodann die Beauftragung lizenzierter Unternehmen, um das kontaminierte

Material „umweltgerecht“ zu abzulagern, was seine Verbrennung und Ablagerung der Rückstände auf kontrollierten Deponien beinhalten sollte. Nicht immer geschieht dies auch in der Praxis.

Selbst in den Städten, in denen die Stadtverwaltungen sich um die Krankenhausabfälle kümmern, ist es nicht schwierig, infektiöses Material auf den Sortierbändern oder Müllhalden zu finden. Gebrauchte Spritzen, verfallene Medikamente und andere Gesundheitsprodukte, alles kann man gut vermischt im kommunalen Müll vorfinden. Aber diese Problemstoffe kommen nicht immer aus den Krankenhäusern, selbst sie stammen häufig auch aus den Haushalten, denn medizinische Selbstbehandlung ist in Brasilien sehr verbreitet. Dort wo sich die Leute in den Häusern selbst behandeln, werfen sie alles gebrauchte Material in die häuslichen Abfälle. Es gibt keine Problemstoffsammlung wie in europäischen Ländern.

### 3 Fallbeispiele

Hinsichtlich der Sammlung und Behandlung von Hausmüll in Brasilien werden hier einige Alternativen aufgezeigt. Häufig sind die Modelle von Stadt zu Stadt unterschiedlich. Betrachtet man diese Modelle, so läßt sich sagen, daß sie – unabhängig davon, ob sie gelegentlich den finanziellen Rahmen der Stadt überschreiten oder nicht – auch unterschiedlichen Strategien folgen, insbesondere, was die sozialen Aspekte der Modelle anbetrifft. In einigen Städten findet man kooperative Betreiber der Müllsammlung und-Verwertung, in anderen werden diese Aufgaben vollständig Privatunternehmern überlassen.

In den folgende Kapiteln werden drei unterschiedliche Modelle der Sortierung Verwertung/Behandlung von Hausmüll darstellt, alle aus dem Bundesstaat Rio Grande do Sul. Dabei werden auch Details analysiert, wie z.B. die Bevölkerungsstruktur der Stadt, ihre wirtschaftlichen Verhältnisse und ihr sozialen und kultureller Hintergrund. Die drei ausgewählten Städte sind: Carlos Barbosa, Porto Alegre, (die Hauptstadt des Bundesstaates Rio Grande do Sul), und die Stadt Estrela. Dort wurden auch die Feldstudien dieser Arbeit durchgeführt.

#### 3.1 Private Abfalltrennungsanlage in Carlos Barbosa

Die Stadt Carlos Barbosa liegt im Inneren des Bundesstaates Rio Grande do Sul. Laut der Bevölkerungsstatistik des Jahres 2000 hat die Stadt 20.516 Einwohner, 74,12% wohnen im städtischen Bereich, 25,88% im ländlichen. Die Stadt wurde von italienische Immigranten Ende des 19. Jahrhunderts gegründet. Noch heute sprechen viele Brasilianer dort Italienisch. Die lokale Wirtschaft ist industriell. Es gibt eine bedeutende international bekannte Fabrik, Tramontina, die Messer und Besteck herstellt. Diese Fabrik exportiert ihre Produkte in zahlreiche Länder Lateinamerikas und nach Europa. (Die Produktverpackungen haben den „Grünen Punkt“ des Dualen Systems Deutschlands).

Das System, für das sich die Stadtverwaltung von Carlos Barbosa entschieden hat, ist die Hausmüllentsorgung durch ein Privatunternehmen. Dieses macht alles: die Müllsammlung, den Transport und die Verwertung/Ablagerung. Nach einer öffentlichen Ausschreibung hat die Stadtverwaltung ein Unternehmen unter Vertrag genommen, mit der Aufgabe, das Projekt einer Getrennten Müllsammlung einzurichten. Das Unternehmen, das dieses Projekt erarbeitet hat, ist dasselbe, das später mit der Müllsortierung und Verwertung in Carlos Barbosa betreut worden ist.

So ist die Verantwortlichkeit für das Funktionieren der gesamten Hausmüllentsorgung in der Hand nur eines – beauftragten - Privatunternehmens. Es läßt sich feststellen, daß dieser integrierte Ansatz in der Praxis gute Resultate erzeugt. Dank einer vorbildlichen Kampagne für die Mülltrennung in der Bevölkerung funktioniert das System der Getrennten Sammlung zufriedenstellend. Die Bevölkerung trennt „trockenen Müll“ (lixo seco) für Recycling und „feuchten Müll“ (lixo úmido) mit einem hohen Anteil organischen Bestandteile. Zur Ablagerung auf einer kontrollierten Lagestelle

Damit keine Probleme während der getrennte Müllsammlung entstehen, also hinsichtlich einer Vermischung der Abfall- Fraktionen „trockener“ und „feuchter“ Müll, wird der „trockene Müll“ und der „feuchte Müll“ an unterschiedlichen Tagen gesammelt. Diese Tage wurden bereits während der Informationskampagne festgelegt und gut bekannt gemacht. Jede eventuelle Änderung dieser Daten wird der Bevölkerung mit ausreichender Vorlaufzeit angekündigt, damit diese nicht zur falschen Zeit den entsprechenden Müll zur Sammlung bereitstellt.

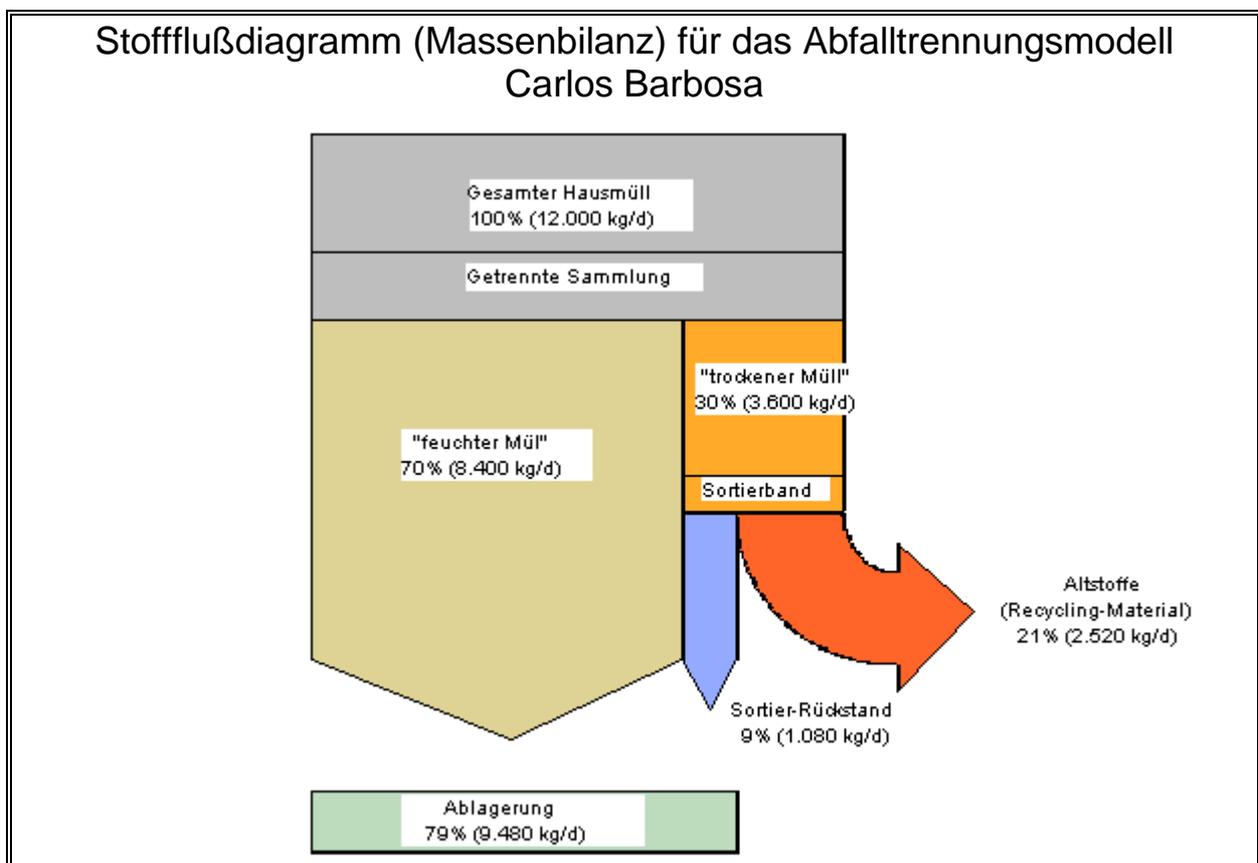
Wie bereits ausgeführt, ist das gesamte Abfallmanagement von Carlos Barbosa in der Hand nur eines privaten Unternehmers. Der getrenntgesammelt Müll wird in geschlossenen Lastwagen zur zentralen Trennungsanlage transportiert, wo der „trockene Müll“ nach Öffnen der Plastiktüten von Hand auf einem Fließband sortiert wird. Wie aus Abbildung 3.1 ersichtlich, befindet sich das Material auf dem Fließband offensichtlich in einem guten Zustand für die Trennung & Verwertung, denn störende Anteile organischer Materialien fehlen so gut wie ganz. So können die Arbeiter, die das Material sortieren, auch unter guten Bedingungen arbeiten und sauber trennen.



**Abbildung 3.1:** Die Fotografie zeigt die Fließbandsortierung des Hausmülls in Carlos Barbosa, der von der getrennten Sammlung herrührt (Foto: Prof. K. Lorber).

Laut Angaben des Unternehmens, das für die Müllsammlung in Carlos Barbosa zuständig ist, produziert die Stadt täglich ca. 12 Tonnen Hausmüll, 30% davon, oder 3.600 kg, werden als „trockener Müll“ getrennt gesammelt. Diese Material ist leicht, und stellt mit seinem Volumen einen beträchtlichen Anteil dar. Diese 30% Gewichtsanteile repräsentieren etwa 70% Volumensanteile des gesamten gesammelten Hausmülls der Stadt. Dabei hat der „feuchte Müll“ entsprechend einen Volumensanteil von 30% und einen Gewichtsanteil von 70%, also 8.400 kg.

Nach der Sortierung des „trockenen Mülls“ beträgt des Anteil, der Alstoffe, die zum Recycling gehen, ca. 21% bzw. 2.520 kg/d und der nicht verwertbare Teil der Abfälle, der sogenannte „zurückbehaltenen Anteil“, der für die Ablagerung bestimmt ist, beträgt ca. 9% oder 1.080 kg/d. In Abbildungen 3.2 sind die resultierenden Stoffflüsse der Abfalltrennung von Carlos Barbosa in Form eines Sankey-Diagramms dargestellt.



**Abbildung 3.2: Sankey-Diagramm der Stoffflüsse zum Abfalltrennungsmodell Carlos Barbosa.**

Ein Aspekt, den man in Hinblick auf die weitere Müllverwertung beachten muß, ist der wirtschaftliche Wert des „feuchten Mülls“ der für die Müllablagerung bestimmt ist. Dies wegen des hohen Anteils an organischen Bestandteile (Vegetabilien), die zusammen mit dem „feuchte Müll“ gesammelt werden. Dieser Anteil wird z.Z. noch nicht kompostiert. Hier

ergeben sich konkrete Ansätze zur Verbesserung des Modells Carlos Barbosa. Die zusätzliche Kompostierung des „feuchten Mülls“ würde Deponievolumen einsparen und der erzeugte Kompost könnte möglicherweise vermarktet werden, was zu einer deutlichen Kosteneinsparung der gesamten Abfallentsorgung führen könnte.

Es ist festzustellen, daß das Abfalltrennsystem Carlos Barbosa in der Praxis gut funktioniert und Vorbild- Charakter besitzt. Viele brasilianische Städte versuchen die Getrennte Sammlung einzuführen, aber nur wenige gelangen zu einer ähnlichen Effizienz wie die Stadt Carlos Barbosa, insbesondere was die Qualität des getrennten und sortierten Mülls anbetrifft. Einer der Gründe, die zu diesem positiven Ergebnis führen, ist der Umstand, daß die Sammlung, Trennung, Verwertung und Endlagerung von Müll einheitlich von privater Hand vorgenommen wird. Die Stadtverwaltung überwacht diesen Prozeß nur. Die Sammlung und Verwertung/Endlagerung des gesamten Mülls, des trockenen und des feuchten, kostet die Stadt R\$ 25.000 pro Monat, und die eigentliche Trennung R\$10.000 pro Monat. Damit betragen die Entsorgungskosten von Carlos Barbosa pro Tonne Hausmüll z.Z. R\$ 97,00 (September 2001, entsprechend US\$ 39,00). Das bedeutet jedoch nicht, daß Städte, die selbst oder mit Hilfe einer Kooperative die Müllsammlung & Verwertung betreiben, keinen Erfolg haben können. Im Kapitel 3.2 wird exemplarisch das Modell einer Stadt beschrieben, die mit Hilfe einer Kooperative das gesamte Abfallmanagement erfolgreich ausführt.

### **3.2 Kooperative Abfalltrennung in Porto Alegre**

Die Stadt Porto Alegre ist die Hauptstadt des Bundesstaates Rio Grande do Sul. 97,07% der Bevölkerung von 1.350.033 Einwohnern wohnen im städtische Bereich, 2,93% im ländlichen Bereich. Man kann das System der Hausmüllentsorgung von Porto Alegre heute als ein alternatives System bezeichnen, das in Brasilien funktioniert. Bis 1990 was dies nicht so. Der gesamte städtische Müll wurde an völlig unzureichenden Orten, wie den ungesicherten Müllhalden, abgelagert, was ernste Umweltprobleme verursachte. Wie schon ausgeführt, sind brasilianische Müllhalden Orte, an denen der Müll ohne irgendwelche Behandlung oder Kontrolle einfach hingbracht und aufgetürmt wird.

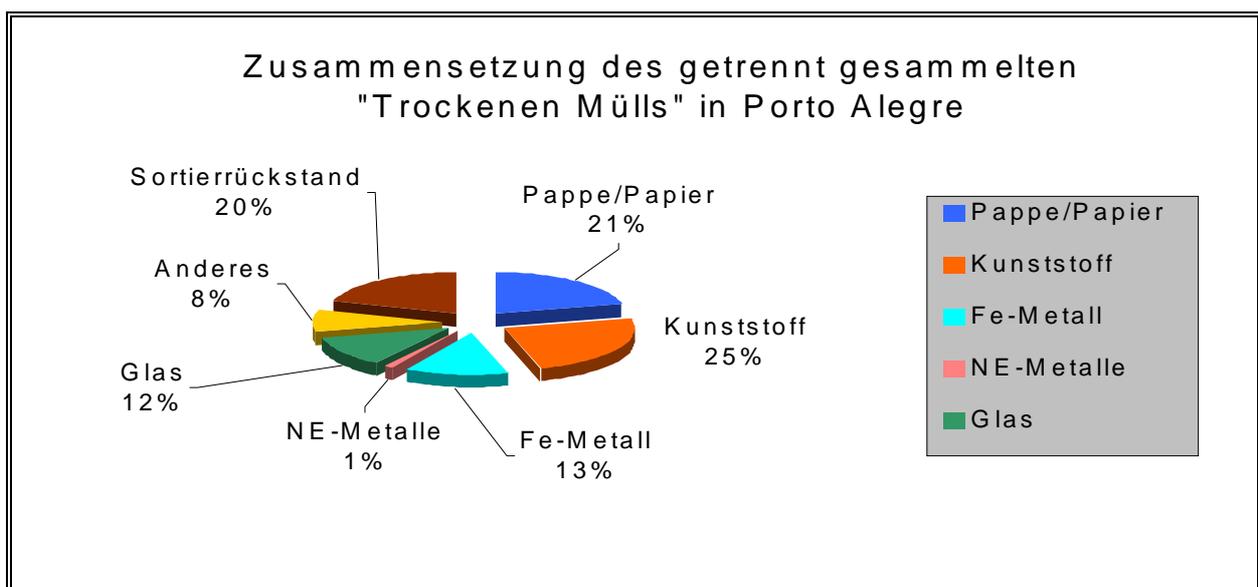
Ab 1990 begann die Stadtverwaltung die Müllsammlung, Sortierung, Verwertung & Ablagerung selbst zu organisieren, denn außer den ernsten Umweltproblemen, die der nichtadäquate Umgang mit Müll verursachte, waren auch soziale Probleme entstanden. Etwa 300 Personen „lebten ständig im Müll“, um dort verwertbares Material zu finden. Zunächst wurde die Geländestruktur dort mechanisch verbessert, wo der Müll abgelagert wurde, um so mit der Zeit die Umweltbeeinträchtigungen zu stabilisieren und nicht weiter auszunehmen. Gleichzeitig wurde ein geeigneteres Gelände für eine umweltfreundlichere

Müllablagerung ausgewählt, das bescheidenen Kriterien für eine fachgerechte Müllablagerung entspricht.

So wurden zwar zunächst die ärgsten technischen Problemen der Ablagerung von Müll gelöst, aber es verblieb das soziale Problem der 300 Personen, die im und vom Müll lebten. Man konnte ihnen schon aus verfassungsrechtlichen Gründen nicht einfach eine Aktivität verbieten, die für sie und ihre Familien die Lebensgrundlage darstellte. Um dieses Problem zu lösen, organisierte die Stadtverwaltung die Gründung einer Kooperative, den „Verein der Ex-Müllsammler“ (Associacao de Catadores), dem sie die Trennung & Verwertung des getrennt gesammelten Hausmülls von Porto Alegre übertrug.

Im Laufe der Zeit wurde das System der Getrennten Müllsammlung auf größere Einzugsgebiete ausgedehnt. Es erreicht heute einen Großteil 100% der Bevölkerung dieser Stadt. Mit der Zunahme der Menge des gesammelten „trockenen Mülls“ entstanden neue kooperative Zentren der Abfalltrennung. Heute hat Porto Alegre acht dieser Cooperativas, die den Müll in sogenannten „Galpoes de Triagem“ trennen. Dort arbeiten etwa 450 Personen an der Aussortierung der verwertbaren Materialien aus dem angelieferten „trockenen Müll“.

Bei einem Anfall von 650 Tonnen Hausmülls pro Tag gelingt es hiervon etwa 10 M-% oder 60 Tonnen „trockenen Müll“ diesen acht „Galpoes de Triagem“ zu zuführen. Wie in Abbildung 3.3. dargestellt, enthält dieses Material einen sehr hohen Anteil von Papier, Pappe und Plastik. Dieser macht etwa 45 M-% des getrennt gesammelten „trockenen Mülls“ aus.



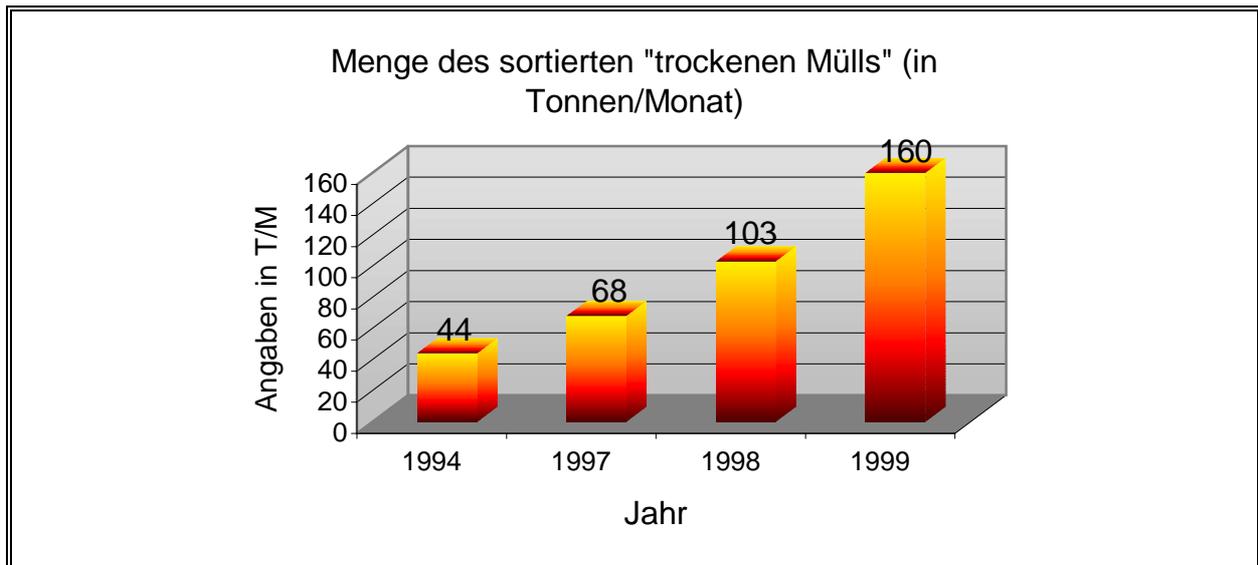
**Abbildung 3.3:** Prozentuale Verteilung der Sortier-Fraktionen im getrennt gesammelten „trockenen Hausmüll“ von Porto Alegre [39] (Angaben in Massenprozent).

Wenn man diese Prozentanteile wiederverwerteter Altstoffe in Beziehung setzt zum Gesamtanfall des Hausmülls in Porto Alegre, so stellt man fest, daß noch immer ein Anteil von 90 M-% auf die Müllhalden bzw. kontrollierten Ablagerungsstätten geschickt wird, die sich heute aber 35 km entfernt vom Zentrum von Porto Alegre befinden. Dieser Anteil ist noch sehr hoch, und die Stadt hat bis heute kein System entwickelt und eingeführt, um die organische Fraktion zu behandeln. Etwa 50 – 60 M-% dieses „feuchten Mülls“ könnten schätzungsweise kompostiert werden. Dies würde die Mengen, die z.Z. immer noch (kontrolliert) abgelagert werden, spürbar verringern und damit würde Deponievolumen gespart werden.

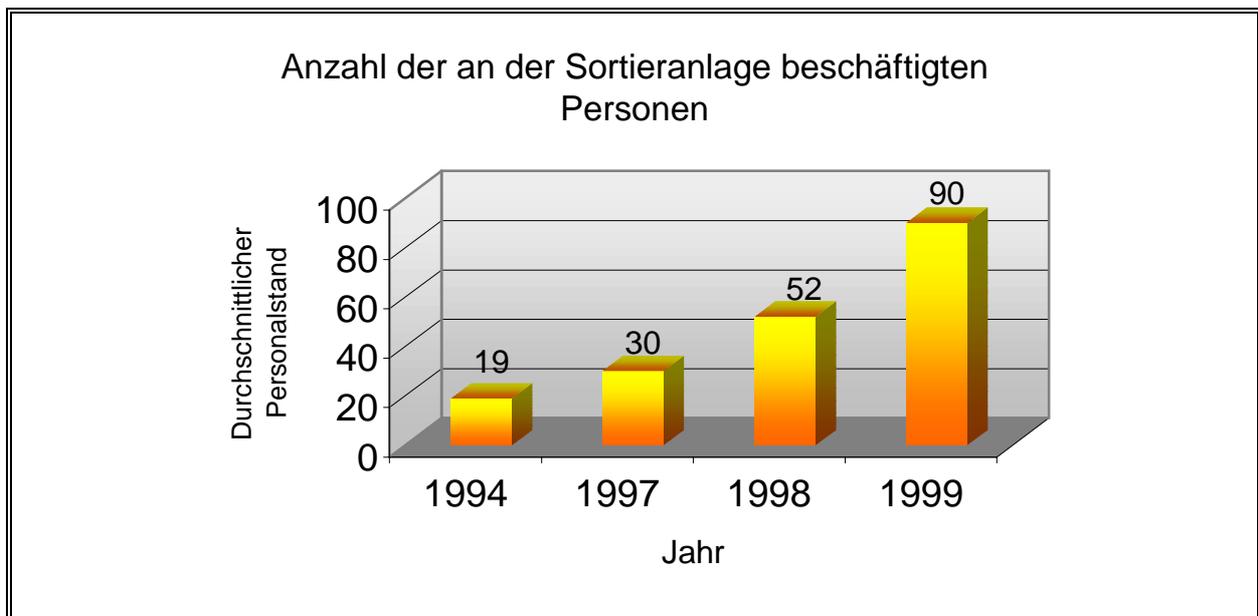
Um zu zeigen, wie die „Galpões de Triagem“ funktionieren, wird im Folgenden eine dieser Anlagen beschrieben. Sie liegt im Ortsteil Vila Pinto und arbeitet unter der Bezeichnung „Centro de Educação Ambiental de Vila Pinto“ (Zentrum für Umwelterziehung von Vila Pinto). Wie in allen anderen Zentrum wird die Sortierung in Vila Pinto mit dem System der sogenannte „Baías“ ausgeführt, das schon im Kapitel 2.4.1.2. beschrieben wurde. Die kooperative Organisation wurde im Jahr 1996 mit dem Ziel gegründet, den von der Stadt schon getrennt gesammelten Hausmüll zu sortieren. Anfangs arbeiteten nur die 19 Gesellschafter der Organisation an den „Baías“. Aber ihre Anzahl wuchs rasch, entsprechend der Zunahme des gesammelten und zu sortierenden „trockenen Mülls“.

Mit Unterstützung der Stadtverwaltung von Porto Alegre, aber auch mit Unterstützung internationaler Organisationen wie der Deutschen Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), gelangen bemerkenswerte Fortschritte bei der Müllsortierung und in der Organisation der Arbeit. Wenn man die Situation heute beschreiben soll, so läßt sich feststellen, daß die Menschen in dieser „Galpao de Triagem“ mit Zufriedenheit arbeiten. Damit konnte für Porto Alegre auch ein wichtiges soziales Problem, und zwar das der früher auf den Müllhalden lebenden Menschen, gelöst werden.

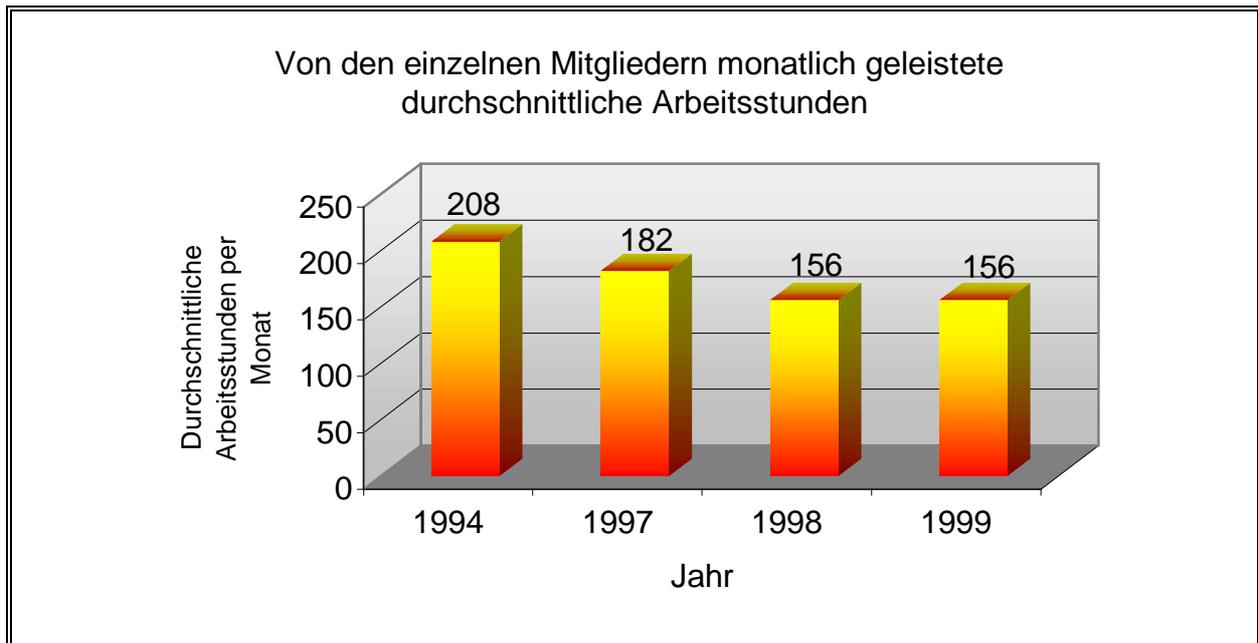
Da das System kooperativ ist, liegt auch die Geschäftsführung in der Händen der Gesellschafter der eigentlichen Kooperative. Am Monatsende wird der erwirtschaftete Gewinn unter den Mitgliedern der Kooperative geteilt. Wie in den Abbildungen 3.4, 3.5, 3.6 und 3.7 dargestellt, kann man ein stetiges Wachstum des Anteils der aussortierten Altstoffe im Laufe der Jahre feststellen, sowie eine Zunahme der Personen, die im „Galpao de Triagem“ arbeiten, einhergehend mit einer Verringerung der täglichen Arbeitszeit bei Zunahme des durchschnittlichen monatlichen Verdienstes.



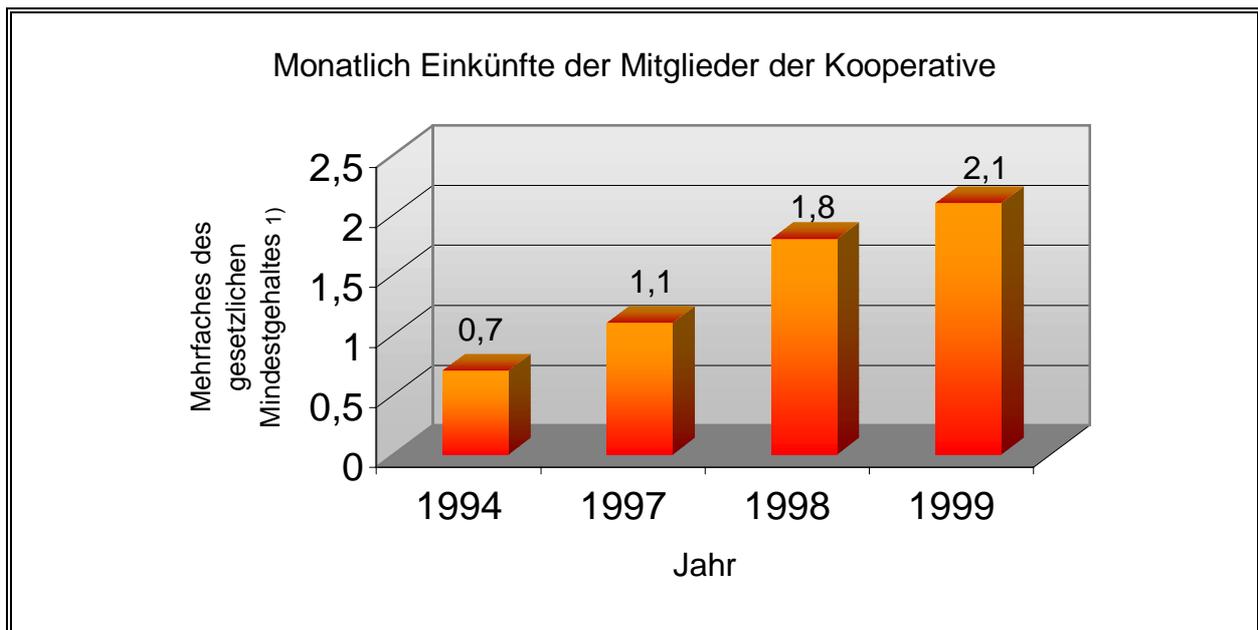
**Abbildung 3.4:** Menge des sortierten „trockenen Mülls“ in der „Galpao de Triagem“ der Kooperative von Vila Pinto [75].



**Abbildung 3.5:** Anzahl der Personen, die in der Sortieranlage der Kooperative von Vila Pinto beschäftigt sind [75].



**Abbildung 3.6:** Von den einzelnen Mitgliedern der Kooperative von Vila Pinto durchschnittlich geleistete Arbeitsstunden pro Monat [75].



**Abbildung 3.7:** Monatliche Einkünfte der Mitglieder der Kooperative, erzielt durch den Verkauf von recycelbarer Materialien [75].

1) Ein Mindestgehalt entsprach 1999 US\$ 75,00.

Die Abbildungen zeigen, daß es der Kooperative von Vila Pinto gelungen ist, gute soziale Bedingungen für ihre Mitglieder zu schaffen. Gleichzeitig wird auch eine nicht unbedeutende Menge von „trockenen Müll“ der Sortierung zugeführt. Diese Art der Trennung reduziert konsequenterweise die Menge des Hausmülls, der auf die Müllhalden, kontrollierten Lagerstätten oder Deponien gelangt und kommt damit der Umwelt zu Gute. Die Arbeit dieser

Kooperative wurde auf der Weltausstellung 2000 in Hannover als ein positives Beispiel vorgestellt und mit einem Diplom ausgezeichnet.

Im Hinblick auf die Kostensituation läßt sich sagen, daß die Stadtverwaltung einen günstigen Kostenaufwand pro Tonne des getrennt gesammelten Hausmülls aufweisen kann. Im Jahr 1999 waren dies 43 US\$/Tonne (vgl. Tabelle 2.4). Unter technischen, wirtschaftlichen und vorallem sozial-politischen Aspekten kann das Modell von Porto Alegre als eine gelungenes Alternative zur Lösung des städtischen Müllproblems angesehen werden, die als Beispiel für andere, große Städte in Brasilien und Lateinamerika dienen könnte.

### **3.3 Kommunales Abfallbehandlungszentrum ESTRELA**

Wie in einem Großteil aller brasilianischen Städte so wurde anfangs auch in Estrela der Hausmüll nur ungetrennt gesammelt und auf völlig unzureichenden Müllhalden gelagert, ohne jede Kontrolle von Sickerwasser oder Deponiegas. Die Müllhalde selbst lag in der Überflutungszone des Flusses Taquari, der die Stadt teil.

Auf Grund des Drucks von Umweltorganisationen und der Stadtbevölkerung, aber auch auf Grund des eigenen politischen Willens der Stadtverwaltung wurde schließlich um eine Finanzierung durch die brasilianische Bundesregierungen angesucht, um ein städtisches Projekt der Sammlung, des Transports, der Sortierung und Lagerung von Hausmüll zu entwickeln, das mit seiner integrierten Geschäftsführung auch anderen Bereichen der Stadtverwaltung dienen sollte.

Anfänglich sah das Projekt im Hinblick auf die Sammlung von Hausmüll vor, daß diese von der Stadtverwaltung selbst vorgenommen werden sollte und zwar getrennt in Fraktionen des „trockenen“ und des „feuchten“ Mülls. Die Bevölkerung sollte diese zwei Fraktionen schon im Haushalt vortrennen. Angeblich wegen struktureller Probleme der Stadtverwaltung erwies sich dieser Ansatz als nicht durchführbar. Das System der Getrennten Sammlung funktionierte schlecht, erlaubte nicht, Nutzen aus dem wenigen, getrennt gesammelten „trockenen Müll“ zu ziehen, insbesondere, weil der „trocken“ und „feuchte“ Müll gemeinsam zur Trennungsanlage gelangte und dort zusammen am gleichen Ort gelagert wurde (Siehe hierzu Kapitel 5 ).

Die ortsspezifischen Daten sind wie folgt:

Im Jahr 2000 hatte die Stadt Estrela 27.398 Einwohner, 82,82% lebten in der städtische Zone, 17,18% in der ländlichen. Davon wohnten etwa 22.692 Einwohner in dem Bereich, in dem die Getrennte Hausmüllsammlung durchgeführt wurde. In Tabelle 3.1 ist die Prognose

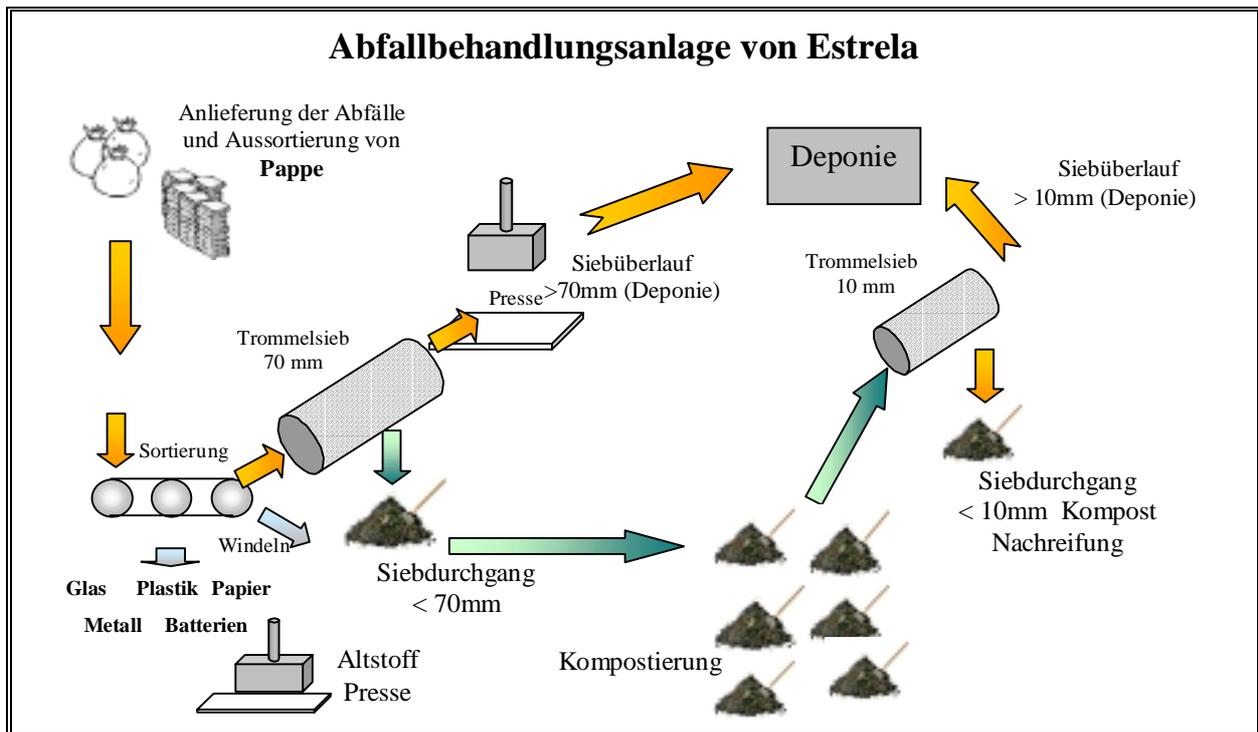
des Bevölkerungszuwachs bis zum Jahr 2015 dargestellt (Annahme: jährlich 2% Zuwachs). Gleichzeitig zeigt die Tabelle auch die Zunahme des Hausmüllaufkommens pro Person auf. Dieses wird erwartungsgemäß von 0,5 kg/Tag im Jahr 2000 auf 0,65 kg/Tag im Jahr 2015 ansteigen. Die Annahme des Bevölkerungswachstums von 2% pro Jahr orientiert sich an der Wachstumsrate der dortigen Bevölkerung in den letzten 10 Jahren. Die prognostizierte Zunahme des Hausmülls in den kommenden 15 Jahren orientiert sich an der Entwicklung der Kaufkraft der Bevölkerung und ihrem Konsumverhalten, wie es in den letzten Jahren beobachtet werden konnte, ein Zeitraum, in dem auch der Anteil der wiederverwertbaren Materialien im Hausmüll ständig zunahm.

**Tabelle 3.1: Prognose über Einwohnerzahlen und Hausmüllaufkommen von Estrela.**

Jahr	Einwohner	Müll/Tag [Mg]	Müll/Monat [Mg]	Müll/Jahr [Mg]
2000	22.692	11,3	345	4.141
2001	23.146	11,8	359	4.308
2002	23.609	12,3	373	4.481
2003	24.081	12,8	388	4.658
2004	24.563	13,3	403	4.841
2005	25.054	13,8	419	5.030
2006	25.555	14,3	435	5.224
2007	26.066	14,9	452	5.423
2008	26.587	15,4	469	5.629
2009	27.119	16,0	487	5.840
2010	27.661	16,6	505	6.058
2011	28.215	17,2	524	6.282
2012	28.779	17,8	543	6.513
2013	29.355	18,5	562	6.750
2014	29.942	19,2	583	6.994
2015	30.540	19,9	604	7.248

Um den Hausmüll zu behandeln, hat die Stadtverwaltung von Estrela die Abfallbehandlungsanlage im ländlichen Bereich von Estrela auf einem Gebiet von 95.200 m<sup>2</sup> errichtet. Diese Anlage besitzt das Umweltzertifikat der staatlichen Umweltschutzorganisation (Fundacao Estadual de Protecao Ambiental – FEPAM). In dieser Anlage fallen bei der Trennung des Abfalls 3 Fraktionen an: aussortierte Altstoffe zur Verwertung, Kompostfraktion zur Kompostierung, Deponiefraktion zur Ablagerung.

Das Areal der Abfallbehandlungsanlage ist eingezäunt, so daß keine fremden Personen Zutritt haben. Die Anlage umfaßt die Sortieranlage, das Kompostierungsgelände, die Deponie (Lagerstätte für Rückstände), das Lager für gefährliche Abfälle und ein Gebäude, in dem sich die Verwaltung, die Kantine, die Umkleidekabinen und die WC's befinden. In Abbildung 3.1 wird die Abfallbehandlungsanlage von Estrela schematisch dargestellt, von der Anlieferung der Abfälle bis zu ihrer unterschiedlichen Behandlung.



**Abbildung 3.8: Schematische Darstellung der Abfallbehandlungsanlage von Estrela IST - Zustand.**

Die folgenden Ausführungen erläutern das in Abbildung 3.8 dargestellte Anlagenschema. Sie beziehen sich auf den Betriebsstand der Anlage vom Dezember 2001 (IST – Zustand). Danach gab es einige Veränderungen im Verfahrensprozeß, die als ein Ergebnis dieser Dissertation in Kapitel 5.5 dargestellt werden.

- **Ankunft des Materials in der Trennungsanlage:** Der gesamte in Estrela gesammelte Hausmüll (weitgehend nichtgetrennt) gelangt zur Trennungsanlage, wo er an einem überdachten Platz abgelagert wird, um seine Durchfeuchtung mit Regen zu vermeiden. Von dort aus wird er von einer Maschine (Traktor) in Richtung eines Aufgabetrichters gedrückt, wo sich zwei Personen befinden, die die verschlossenen Plastiktüten händisch (mit einem Metallhaken) öffnen, in denen sich der Hausmüll befindet. Lampen und größere Holzstücke werden dabei schon aussortiert.

Eine der Schwachstellen in diesem Prozeß ist die Anhäufung von Abfällen im Anlieferungs- und Aufgabebereich. Wenn es Probleme mit der Fließband oder dem Sieb gibt, stoppt der ganze Sortierprozeß. Damit verbleibt der angelieferte Abfall am überdachten Abladeplatz. Manchmal vergehen bis zu drei Tage, bis der Abfall wieder auf das Fließband gelangt. Wegen des hohen Anteils an organische Stoffe tritt Zersetzung ein, noch bevor der Abfall sortiert wurde. Abgesehen von der Geruchsentwicklung und Keimbelastung wird dadurch eine händische Sortierung zunehmend schwieriger, worunter die Qualität der aussortierten Altstoffe leidet (z.B. kann Papier nicht mehr im stofflich verwertbaren Zustand rückgewonnen werden).

- **Öffnung der Müllsäcke und Beschickung des Sortierbandes mit Abfall:** Die Öffnung der Plastik-Tüten geschieht per Hand durch zwei Arbeiter. Hierbei wird auch die Pappe ausgesondert, die in Form von Schachteln anfällt und sich nicht in den Plastiksäcken befindet. Der Inhalt und die Plastiksäcken wird auf das Sortierband geworfen durch einen Trichter.
- **Sortierung des Materials auf dem Fließband:** Die Sortierung erfolgt durch 10 Arbeiter, die an den Seiten des ca. 10m langen Fließbandes arbeiten. Jeder einzelne Arbeiter ist für die Aussortierung bestimmter Altstofffraktionen verantwortlich. Es werden folgende Materialien sortiert: Plastik, Papier und Pappe, (soweit diese nicht schon zuvor entnommen wurde), Metalle, Glas, Batterien, sowie Wegwerfwindeln, die am Ende des Fließbandes aussortiert werden, um von dort aus zur Kompostierung zu gelangen. Im Kapitel 5 wird die Sortierung der Stoffe und ihr Mengenanfall eingehend dargestellt.

Das große Problem bei der Sortierung ist der Zustand in dem der Abfall zur Sortierung gelangt. Der Abfall ist häufig feucht und im Zustand des Zerfalls, was seine Sortierung wesentlich erschwert. Ein anderes Problem ist die Heterogenität des Mülls. Da die Müllsammlung 2001 von Estrela keine Trennung von „trockenen“ und „feuchten“ Müll mehr vorsieht, gelangt alles „durchmischt“ auf das Fließband, was die Sortierung sehr schwierig bzw. manchmal unmöglich macht. Das Sortierband der Anlage ist zudem für die Sortierung dieses Mülls nicht breit genug und wird bei der Aufgabe hoffnungslos überladen. Es geschieht häufig, daß Material, das zum Wiederverwerten aussortiert werden könnte, sich in den organischen Rückständen wiederfindet. Um besser an die aufgetürmten Abfälle heran zu kommen, schichten die Arbeiter den Müll auf dem Fließband häufig per Hand um und so kann es geschehen, daß sie sich mit Injektionsnadeln bzw. Spritzen verletzen, die in Brasilien viele Personen einfach in den Hausmüll werfen.

- **Aussortiertes Material für die Wiederverwertung:** Alles aussortierte Material für die Wiederverwertung bzw. für die Preßung oder für den Bruch, wie dies mit Glas geschieht, um so weniger Platz zu beanspruchen, wird in Behältern gelagert von wo es zum Verkauf abtransportiert wird. Für das Material, das gepreßt werden soll, stehen zwei Pressen zur Verfügung: eine für die Preßung von Papier, Pappe und Plastik und die andere für die Preßung von Eisen (Fe-Metalle) und nicht-eisenhaltige Metalle (NE-Metalle).
- **Gefährliche Abfälle:** Gefährliche Abfälle, die auf dem Fließband aussortiert werden, sind in der Regel Batterien. Sie werden im Abfall-Lager der Klasse I zwischengelagert. Dieses Lager ist ein unterirdischer Raum, aus Beton gebaut und verfließt, mit einem Volumen von 5m x 5m x 2,5m. An der Oberseite hat dieser Raum eine Öffnung, durch die die gefährlichen Abfälle eingebracht werden. Dort werden u.a. auch gelagert: verfallene Medikamente, Verbände, Farben, Insektenbekämpfungsmittel, fluoreszierende Lampen und ähnliches. Einige dieser Sonderabfälle, wie z.B. die fluoreszierenden (Neon-Röhren) Lampen werden zur Behandlung weiter versandt. Es gibt bereits ein brasilianisches Unternehmen, das ihre Entsorgung vornimmt. Man kann im Prinzip sagen, dieses Sonderabfalldepot dient der vorübergehenden Zwischenlagerung von Problemstoffen. Es ist beabsichtigt, solche Abfälle, die nicht anders behandelt und entsorgt werden können, einzukapseln und danach endzulagern.
- **70mm Trommelsieb nach der Sortierung:** Alles Material, das nach der Sortierung am Fließband verbleibt, gelangt in ein Trommelsieb von 70 mm Lochweite. Dort wird die Kompostierfraktion (<70mm) von der Deponiefraktion (>70mm) getrennt. Organische Stoffe, gebrochene Rückstände und andere Materialien mit einem Korndurchmesser von weniger als 70 mm fallen durch das Trommelsieb, während andere „trockene“ Materialien, wie Plastik, Papier, Textilien bis zum Ende der Trommel laufen, von wo aus sie in eine Presse gelangen und danach (auf der Lagerstätte für Rückstände) deponiert werden.
- **Überlauf des 70 mm Trommelsiebes:** Wie bereits dargestellt, wird die Leichtfraktion, die als Siebüberlauf an das Ende der Trommel gelangt, gepreßt und danach innerhalb der Abfalltrennungsanlage deponiert. Die gepreßten Ballen haben normalerweise ein Gewicht von etwa 300 kg und ein Volumen von 0,336 m<sup>3</sup>.
- **Durchgang des 70mm Trommelsiebs:** Der Siebdurchgang, der vorwiegend organische Stoffe bzw. biogenes Material enthält, wird kompostiert, zusammen mit den aussortierten Wegwerfwindeln. Die Kompostierungsanlage besteht aus kegelförmigen aufgetürmten offenen Mieten und mißt 54 x 74 m, ihr Untergrund ist asphaltiert, geneigt, mit kleinen

Kanälen an den Seiten, um das Sickerwasser aufzufangen. Das Sickerwasser wird in Becken für die Aufbereitung von Abwasser abgeleitet.

In der Kompostierungsanlage gibt es kegelförmige Mieten, die den aeroben Abbau der organische Stoffe begünstigen sollen. Die ungewöhnliche Größe und Form dieser Mieten erschwert die Belüftung durch Umwälzen. Im Inneren einigen Mieten beobachtet, die bereits über 6 Monate betrieben wurden konnte immer noch eine Temperatur von 60°C gemessen werden, ein Umstand, der Handlungsbedarf für die in Kapitel 5 beschriebenen Untersuchungen lieferte.

- **10mm Trommelsieb nach Kompostierung:** Nachdem das Kompostmaterial der Mieten biologisch stabilisiert ist, (nach Erreichen einer Temperatur von etwa 30 °C), wird es durch ein Trommelsieb von 10mm Maschenweite klassiert. Dort wird der Kompost von den inerten Grobbestandteile getrennt. Der Kompost gelangt danach zur Nachreifung mit Regenwürmern (*Eisenias* oder *Vermelhas da Califónia*), der Siebrückstand zur Lagerstätte für Rückstände (Deponie).
- **Ablagerung (Deponie):** Diese Ablagerungsstätte, die sich innerhalb des Geländes der Abfallverwertungsanlage befindet, dient als Endlager für die Rückstände der Kompostsiebung und den gepreßtem Überlauf vom 70mm Trommelsieb (der Leichtfraktion). Sie besitzt eine HDPE-Folien Basisabdichtung, eine einfache Abwässerdränage mit Sickerwasser-Auffangbecken, und eine sehr einfache passive Entgasungsanlage (ein Zentral angelegter, nach obenhin offenen Gasbrunnen, aus dem das Deponiegas über ein HDPE- Rohr in die Atmosphäre entweicht).

Im 5. Kapitel wird der praktische Teil der vorliegenden Dissertationsarbeit dargestellt, der vor Ort in der Abfallverwertungsanlage von Estrela gemacht wurde. Ziel dieser Untersuchungen war es, die Behandlungsanlage von Estrela zu optimieren und die offensichtlichen Mängel durch Prozeß-Modifikationen zu beheben.



**Abbildung 3.9:** Kegelförmige Mieten der Kompostieranlage von Estrela.

## 4 Stand der Technik in der Abfallwirtschaft

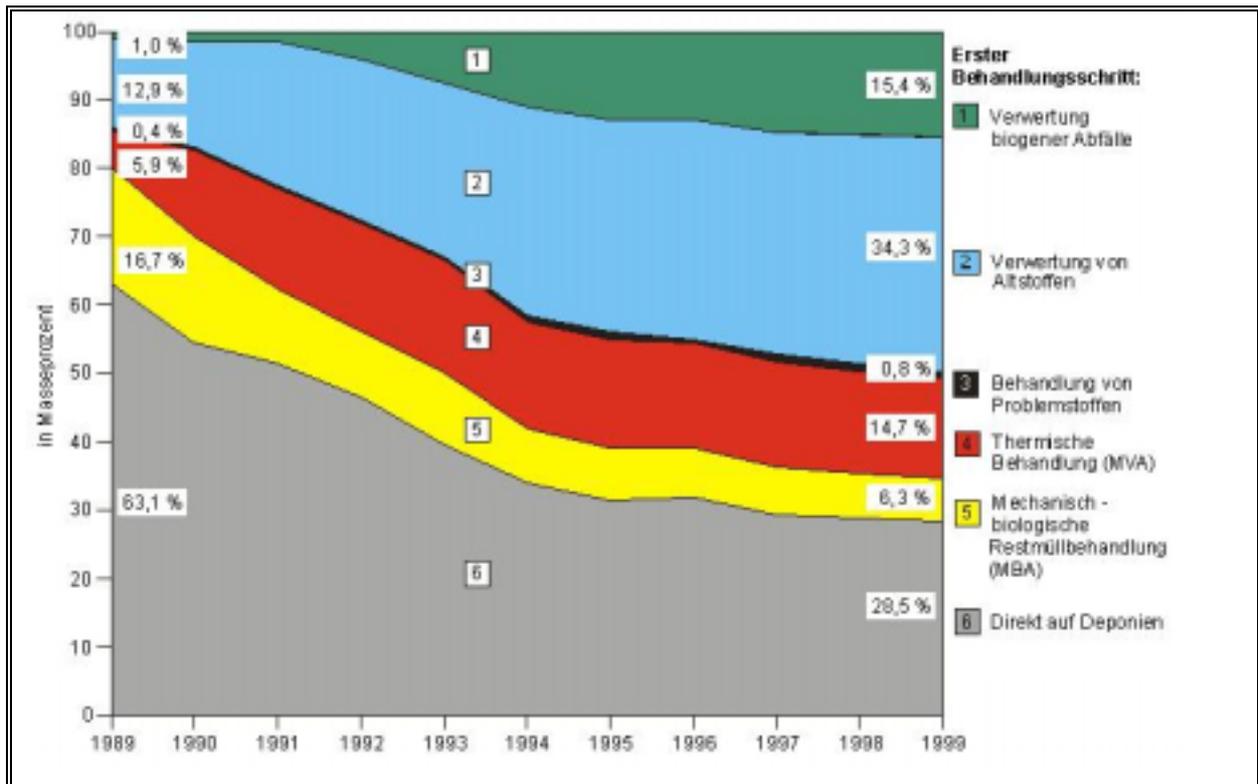
Nachfolgend wird ein kurzer Überblick über das moderne Abfallmanagement gegeben, beginnend mit der Sammlung, dem Transport, der Sortierung und Trennung, der Behandlung der Ablagerung in Deponien, sowie der Energiegewinnung und der Kompostierung. In Europa gibt es schon seit einiger Zeit erfolgreich in die Praxis umgesetzte Abfallwirtschaftskonzepte. Eines dieser Länder ist Österreich, wo Abfälle nach dem Stand der Technik entsorgt werden, von der Sammlung bis zu Wiederverwertung oder Endlagerung.

In den Kapiteln 4.1, 4.2, 4.3 und 4.4 wird die gegenwärtige Situation der Abfallwirtschaft in Österreich dargestellt, ebenso wie die angewandten Techniken oder solche, die noch in Erprobung sind. Im Kapitel 5.5 wird auf Techniken eingegangen, die für die Abfallentsorgung in Entwicklungsländern geeignet erscheinen.

### 4.1 Abfallsammlung (Getrennte Sammlung)

Die in dieser Arbeit zitierten Daten für die Abfallsammlung und Behandlung in Österreich beziehen sich auf das Jahr 1999. Von den 3,1 Millionen Tonnen produzierten Hausmülls (d.h. 388 kg/EW·a) werden bei der Getrennten Sammlung mehr als 50% Altstoffe Biogene Abfälle und Problemstoffe aussortiert. Bekannt ist, daß im Restmüll (1,3 Mio. Tonnen bzw. 163 kg/EW.a) noch weitere 200.000 Tonnen wiederverwertbare Materialien verbleiben, etwa 107.000 Tonnen Altstoffe, 92.000 Tonnen Biogene Abfälle und 1.000 Tonnen Problemstoffe [76].

Die Abbildung 4.1. zeigt die Entwicklung der Verwertung und Behandlung von Haushaltsabfällen zwischen 1989 und 1999 auf. Es läßt sich ein deutlicher Anstieg der Verwertung von Altstoffen und biogener Abfälle feststellen. Dieses Wachstum ergab sich insbesondere auf Grund der Verbesserung des Systems der Getrennte Abfallsammlung.



**Abbildung 4.1: Verwertung und Behandlung von Abfällen aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen 1989 – 1999 in Österreich [76].**

Biogene Abfälle werden getrennt und in eigens für diesen Zweck errichteten Abfall-Containern („Biotonnen“) gesammelt. Aufgestellt von der Gemeinde, oder von beauftragten Unternehmen, befinden sich diese Container an strategisch günstigen Orten, so daß die Bevölkerung die biogenen Abfälle aus den Haushalten dort hinbringen kann.

Diese biogenen Abfälle werden dann durch Kompostierung behandelt, siehe Kapitel 4.3.

In ländlichen Gegenden werden in vielen Haushalten die dort anfallenden Bioabfälle im Garten kompostiert (Eingenkompostierung).

Im Bereich der recycelbaren Rückstände, also insbesondere für Verpackungsmaterialien, wirkt in Österreich das ARA System – die Altstoff Recycling Austria AG. Diese Gesellschaft sammelt und verwertet seit 1993 Papier, Glas, Metall, Plastik und andere Fraktionen von leichtem Verpackungsmaterial und stellt hierfür eigene Behälter mit gelben Deckel zur Verfügung, die sogenannten „Gelben Tonnen“. Die Verteilung dieser Gelben Tonnen ist flächendeckend so gut organisiert, daß im Prinzip die gesamte Bevölkerung ohne große Wege machen zu müssen, Zugang zu ihnen hat. Die Container für Glas und Metall sind in den Städten strategisch verteilt, häufig zusammen mit den Gelben Tonnen für Papier und

andere Verpackungstoffe. Sie sind meist in der Nähe großer Wohnzentren oder Einkaufszentren aufgestellt und werden periodisch geleert.

Das ARA System wird von den Unternehmen finanziert, die ihre Produkte mit einer gekennzeichneten Verpackung verkaufen. Sie bezahlen dafür, daß diese Verpackungen gesammelt, sortiert und umweltgerecht verwertet werden. Letztlich werden diese Kosten durch den Preis an der Endverbraucher weitergegeben. Er bezahlt sie in dem er die entsprechenden Produkte kauft. Es ist also sinnvoll und notwendig, daß dieses Verpackungsmaterial tatsächlich in die Behälter des ARA System gelangt, da sonst die Bevölkerung zweifach für die Entsorgung dieser Abfälle bezahlt, wenn solche Verpackungsprodukte versehentlich in einen Container für Restmüll geworfen werden. Damit dieses System wirklich zufriedenstellend funktioniert, wurden in ganz Österreich bis zum Dezember des Jahres 2000 insgesamt 880.115 Sammelcontainer für die verschiedene Altstoffe aufgestellt. In der Tabelle 4.1 ist die Verteilung hinsichtlich der Bundesstaaten und der Abfallfraktionen dargestellt [77].

**Tabelle 4.1: Haushaltsnahe Sammlung: Sammelbehälter für Altstoffe (Stand: Dezember 2000, in Stück) [77].**

Sammelbehälter in 2000 (Stück)					
	Papier	Glas	Leichtverpackungen*	Metall	Summe
<b>Burgenland</b>	5.266	1.988	1.293	1.305	9.852
<b>Kärnten</b>	18.843	4.117	12.157	2.749	37.866
<b>Niederösterreich</b>	303.757	26.173	90.680	13.799	434.409
<b>Oberösterreich</b>	40.233	7.668	29.634	3.369	80.904
<b>Salzburg</b>	11.253	1.647	11.915	1.723	26.538
<b>Steiermark</b>	65.408	27.273	45.406	16.288	154.375
<b>Tirol</b>	7.570	4.064	4.132	2.371	18.137
<b>Vorarlberg</b>	2.912	2.014	1.308	1.376	7.610
<b>Wien</b>	80.844	14.727	8.767	6.086	110.424
<b>Österreich</b>	536.086	89.671	205.292	49.066	880.115

\* Für die Sammlung von Leichtverpackungen stehen 1.001.679 Sammelsäcke, verteilt in ganz Österreich, zur Verfügung.

Bezogen auf alles getrennt gesammelte Material hat das ARA System einen Haupt- Anteil. Im Jahr 2000 wurden dadurch in ganz Österreich 830.563 Tonnen Altstoffe (Papier, Glas, Metall, Leichtverpackungen) gesammelt [77]. Dies entspricht, wie in der Tabelle 4.2 dargestellt, ein Wachstum von 20% verglichen mit die Menge von 669.563 Tonnen im Jahr 1995 [78]. Diese Werte der Tabelle 4.2 beziehen sich auf die getrennte Sammlung von

Papier, Glas, Metall und Leichtverpackungen. Die Sammlung andere Abfallfraktionen wie Biogene Abfälle, Problemstoffe und Sperrmüll liegt in der Verantwortung der Gemeinden oder der unter Vertrag genommenen Unternehmen. Jede diese Abfallfraktionen hat ihre eigene Verwertung bescheidmäßig vorgegeben ist oder Behandlung, so wie dies von den zuständigen Behörden vorgesehen ist.

**Tabelle 4.2: Haushaltsnahe Sammel- bzw. Erfassungsmengen im Jahr 2000 nach Bundesländern getrennt (gesamt, in Tonnen) [77].**

Sammelmengen Haushaltssammlung 2000 nach Bundesländern (in Tonnen) *					
	Papier **	Glas	Leichtverpackungen	Metall	Summe
Burgenland	15.645	6.990	4.438	1.753	28.826
Kärnten	32.501	13.741	7.819	2.705	56.766
Niederösterreich	90.571	32.573	22.673	7.408	153.225
Oberösterreich	72.535	32.941	15.557	4.143	125.176
Salzburg	27.091	14.165	7.767	1.807	50.830
Steiermark	82.203	29.760	19.041	6.201	137.205
Tirol	34.102	22.315	13.193	3.875	73.485
Vorarlberg	26.138	10.322	6.747	2.572	45.779
Wien	122.694	23.845	7.724	4.988	159.251
Österreich	503.480	186.652	104.959	35.452	830.543

\* Inklusive der bei Eignung in die Haushaltssammlung eingebundenen Sammlung aus dem Kleingewerbe.

\*\* Gemeinsame Erfassung von Druckerzeugnissen und Verpackungen im haushaltsnahen Bereich.

Diese guten Resultate der Getrennten Hausmüllsammlung in Österreich sind eng verbunden mit einer guter Umwelterziehung der Bevölkerung, die darauf abzielt, den Müll bereits im Haushalt entsprechend zu trennen sowie einer strikten Gesetzgebung über die integrierte Behandlung von Abfällen, die in der Praxis effizient umgesetzt wird. Dies alles ist auch nicht über Nacht eingetreten, sondern das sind Ergebnisse einer jahrelangen Arbeit.

## 4.2 Abfalltrennung

Das in Österreich angewandte System der Getrennten Abfallsammlung für Hausmüll ist aufgebaut auf dem Prinzip der Trennung der Materialien entsprechend ihrer Endverwertung oder Behandlung. Da die eigentliche Sammlung gut organisiert ist, und die Bevölkerung mit Disziplin mitmacht, kann die Trennung der Materialien so erfolgen, daß die abgetrennten Altstoffe mit guter Qualität anfallen. In ganz Österreich stehen zusätzlich 86 Sortieranlagen mit einer Gesamtkapazität von 1,1 Millionen Tonnen/Jahr zur Verfügung. Zu diesen

Sortieranlagen gelangen die hausmüllähnliche Abfälle aus dem Gewerbe und der Industrie sowie der Rest- und Sperrmüll aus den Haushalten [76].

Wie bereits in vorausgehenden Kapitel dargestellt, fallen in Österreich jährlich etwa 3,1 Millionen Tonnen Abfälle aus Haushalten und ähnlich Einrichtungen an (Daten von 1999). Ein großer Teil davon (d.h. ca. 830.500 Mg) wird mit dem ARA System erfaßt, das sowohl für die Sammlung wie auch für die Trennung dieser Materialien verantwortlich ist. Komponenten sind Papier, Glas, Eisen- und nichteisenhaltige (NE) Metalle sowie Leichtverpackungen, die in den Gelben Tonnen oder in den Gelben Säcken gesammelt werden. Der verbleibende Teil der Abfälle, d.h. **Restmüll**, Sperrmüll, Problemstoffe und die Biogenen Abfälle werden unter der Verantwortlichkeit der Gemeinden verwertet oder behandelt. Diese kommunalen Abfälle werden gesammelt, in eigenen Fällen sortiert und verwertet oder in Übereinstimmung mit den geltenden Normen weiterbehandelt (thermisch oder mechanisch- biologisch) und endgelagert. Die nachfolgende Tabelle 4.3 verdeutlicht das Aufkommen der verschiedenen Abfallsorten in Österreich im Jahr 1999.

**Tabelle 4.3: Aufkommen der Abfälle aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen in Österreich für 1999 . (Angaben in Tonnen) [76].**

Art von Abfall	Menge in Tonnen
Restmüll	1.315.000
Sperrmüll	219.000
Problemstoffe	23.000
Altpapier	540.000
Altglas	180.000
Altmetalle – Verpackungen	34.000
Altmetalle – Haushaltsschrott	112.000
Leichtfraktion	100.000
Textilien	21.000
Sonstige Altstoffe	74.000
Biogene Abfälle	478.000
<b>Gesamt (Angaben in Tonnen)</b>	<b>3,10Mio</b>

Wie schon ausgeführt, führt die hohe Wirksamkeit der Getrennten Sammlung zu einer rentablen Sortierung mit guter Qualität der Altstoffe. Normalerweise geschieht die Sortierung per Hand auf dem Fließband. Dort, wo die Fließbänder auch mit Materialien aus den Gelben Tonnen oder Gelben Säcken bestückt werden, wird Papier und Pappe in einem späteren

Sortierungsvorgang aussortiert. Das in den Blauen Behältern gesammelte Material wird magnetisch sortiert. Klares Glas wird auf dem Fließband per Hand aussortiert, um es so vom Buntglas zu trennen.

In einigen Fällen wird sogar der Restmüll per Hand auf dem Fließband sortiert. Aussortiert werden die gefährlichen Rückstände wie z.B. Batterien und ähnliches, so daß auf die Deponie nur der nicht gefährliche Abfall gelangt.

### 4.3 Kompostierung

In Übereinstimmung mit der Abbildung 4.1 kann festgestellt werden, wie stark die Verwertung der biogenen Abfälle in den letzten 10 Jahren in Österreich angestiegen ist, von 1,0 M-% in 1989 auf 15,4 M-% in 1999. Diese Abfälle (gesammelte biogene Abfälle aus Haushalten sowie Parkabfälle, Friedhofsabfälle und Straßenbegleitgrün aus dem kommunalen Bereich) werden z.Z. in 526 Anlagen [76] überwiegend aerobe behandelt. Zudem wird im ländlichen Raum in vielen Haushalten Eigenkompostierung im Garten durchgeführt.

Aus den Ergebnissen zahlreicher Sortieranalysen ist bekannt, daß der österreichische Hausmüll zu ca. 30 M-% aus biogenen, biologisch abbaubaren Stoffen, wie Küchenabfällen, Gartenabfällen, etc., besteht. Werden diese Abfälle bereits am Ort ihrer Entstehung getrennt gesammelt und anschließend behandelt, so wird damit den Grundsätzen der modernen Abfallwirtschaft in idealer Weise entsprochen:

- Ein Drittel weniger Müll muß auf der Deponie gelagert werden, damit wird Deponievolumen geschont;
- die abgelagerten Abfälle sind weniger reaktiv (weniger Deponiegas bzw. bessere Sickerwasser Qualität);
- der getrennt gesammelte Biomüll kann zu wertvollem Kompost (Bodenverbesserungsmittel) aufbereitet werden.

Biologische Verfahren zur Behandlung fester Abfälle (z.B. die Kompostierung) machen sich im wesentlichen nur die natürlichen Abläufe zu Nutze und sind mittlerweile zu einem unverzichtbaren Bestandteil aller modernen Abfallwirtschaftskonzepte und -strategien geworden. In Österreich, einem Land mit geringer Kapazität an Müllverbrennungsanlagen, wird zur Vorbehandlung des Restmülls vor der Deponierung das „Restmüll- Splitting-Konzept“ eingesetzt. Dabei wird der Restmüll in einer Mechanisch- Biologischen Anlage (MBA) in eine thermische zu verwertende Leichtfraktion und eine biologisch stabilisierte Deponiefraction getrennt [103].

### 4.3.1 Grundlagen der aeroben Behandlung von biogenen Abfällen (Kompostierung)

In der Natur werden abgestorbene pflanzliche und tierische Substanzen in gut durchlüfteten Böden von verschiedenen Mikroorganismen (Pilze, Bakterien) unter Humusbildung wiederum in ihre Einzelbestandteile Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und Wasser (H<sub>2</sub>O) zerlegt. Diese Mikroorganismen leisten damit einen wichtigen Beitrag zum Leben auf der Erde, da sie auf diese Weise den in Pflanzen und Tieren organisch gebundenen Kohlenstoff und andere Elemente wie Stickstoff und Phosphor in den biogeochemischen Stoffkreislauf zurückführen.

Bestimmte Mikroorganismengruppen leiten den Abbau der biologischen Substanz ein, bauen die Stoffe jedoch nur bis zu einer bestimmten Stufe ab. Die weiteren Zersetzungs Vorgänge werden dann von anderen sich gegenseitig ablösenden bzw. ergänzenden Mikroorganismen (Spezialisten) durchgeführt. Man kann im wesentlichen drei zeitliche Phasen voneinander unterscheiden, die jeweils durch eine charakteristische Temperatur, einen charakteristischen pH-Wert und spezifische Mikroorganismengruppen gekennzeichnet sind:

#### ◆ **Abbauphase (Thermophile Phase)**

Zu Beginn dieser ca. 3 - 4 Wochen dauernden Phase setzen mesophile Mikroorganismen (ihr "Arbeitsoptimum" liegt bei ca. 40°C) die leicht abbaubaren Substanzen wie Eiweiß (Proteine) und einfache Kohlenhydrate (Stärke, Zucker) um. Dabei sinkt der pH-Wert zunächst leicht ab, da die schnelle Umsetzung anfänglich zu einer Anreicherung von organischen Säuren führt. Gleichzeitig wird sehr viel Energie freigesetzt und die Temperatur steigt rasch in einen Bereich von 50 bis 70°C. Dadurch sterben die mesophilen Mikroorganismen ab und werden nun von thermophilen (= wärmeliebenden) Pilzen und Bakterien abgelöst. Nunmehr kommt es bereits zu einem Abbau von Zellulose und Hemicellulose (Zellulose ist der Grundbestandteil aller pflanzlichen Substanz). Zellulosezersetzende Schimmelpilze können den Kompost schon früh mit weißgrauem Mycel überziehen. Es kommt zu einem Anstieg des pH-Wertes, der Freisetzung von Alkali- und Erdalkali - Ionen sowie zur mikrobiellen Verwertung der organischen Säuren.

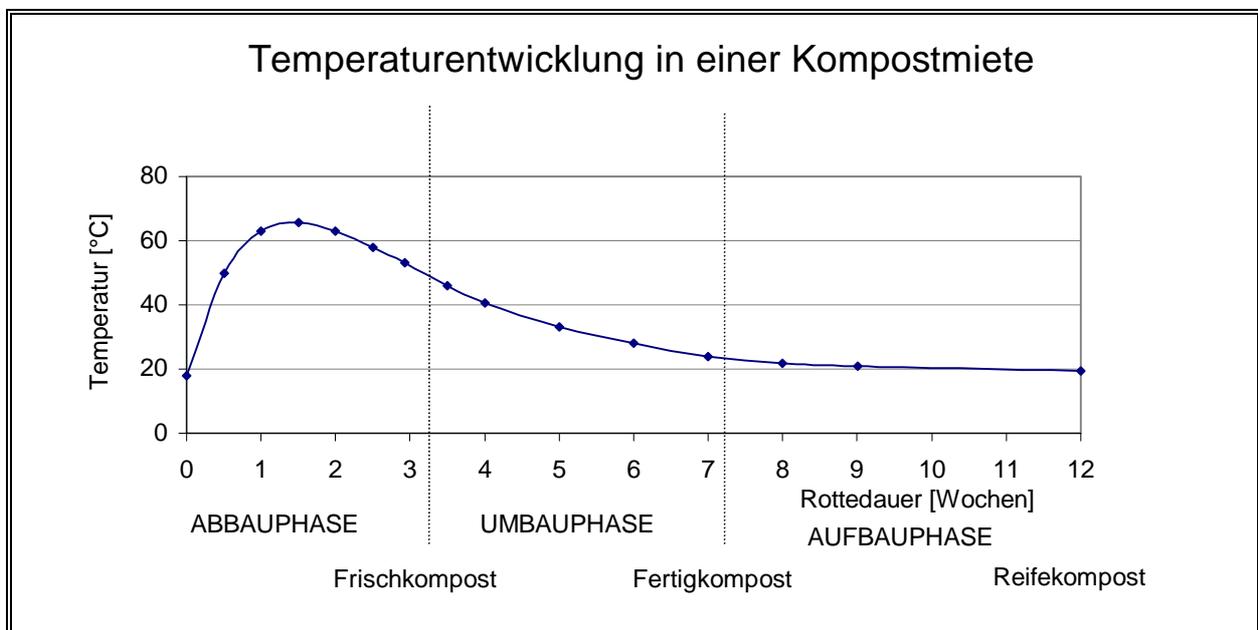
#### ◆ **Umbauphase (Mesophile Phase)**

Nach dem weitgehenden Abbau der biologisch leicht abbaubaren Verbindungen sinkt die Temperatur wieder auf ca. 40 - 45°C ab und die mesophilen Mikroorganismen (Pilze, Bakterien) setzen den weiteren Umbau der Zellulose fort. Der Zellwandbestandteil Lignin (zu ca. 30% Bestandteil des Holzes) wird von bestimmten Pilzen (sogen. Basidiomyceten, Ständer- oder Hutpilze) abgebaut und bildet zusammen mit Proteinbestandteilen Huminstoffe. Die mineralischen Nährstoffe und die Huminsäuren

werden zum sogenannten Humuskomplex zusammengeführt, der Kompost bekommt braune Farbe, krümelige Struktur und weist in diesem Stadium die stärkste Düngewirkung auf. (Allerdings kann er wegen mangelnder Pflanzenverträglichkeit in der Praxis noch nicht eingesetzt werden).

#### ◆ **Aufbauphase (Abkühlungsphase, Reife-Phase)**

Die Temperatur sinkt weiter bis zur Umgebungstemperatur ab und fließend erfolgt der Übergang in die Aufbauphase. In dieser Reifephase kommt es zum allmählichen Aufbau der stabilen Humusfraktion. Je länger man den Kompost nun reifen lässt, desto erdähnlicher wird er. Die Nährstoffe werden immer fester im Ton- und Humuskomplex gebunden, die Düngewirkung nimmt allmählich ab und gleichzeitig nimmt die Humuswirkung (bodenaufbauend) und Pflanzenverträglichkeit zu.



**Abbildung 4.2: Charakteristischer Temperaturverlauf während der drei Phasen der Kompostierung [91, 94].**

Durch die Abbauvorgänge und die Verdunstung des Wassers verringert sich die Masse des ursprünglich eingesetzten Materials um ca. 30 - 50% (sogenannter Rotteverlust). Bei der Kompostierung entstehen neben Kohlendioxid, Wasser und Wärme also stabile Humuskomplexe, die eine Reihe von wichtigen Funktionen im Boden erfüllen:

- Speicherung von Nährstoffen und Wasser;
- Stabilisierung der Krümel (keine Ab- oder Ausschwemmung);
- Pufferung (pH-Wert bleibt annähernd konstant neutral);
- Entgiftung des Bodens durch Bindung von Schwermetallen und organischen Schadstoffen.

Für den optimalen Ablauf der Kompostierung sind folgende Einflußgrößen entscheidend:

- ✓ Sauerstoffversorgung
- ✓ CO<sub>2</sub>- Gehalt (als Indikator der biologischen Aktivität)
- ✓ Wassergehalt
- ✓ Temperatur
- ✓ pH-Wert
- ✓ Organismenvielfalt (Lebensbedingungen)
- ✓ Zusammensetzung der Einsatzmaterialien (Substrat- und Strukturmaterial)
- ✓ Homogenisierung (Durchmischung).

#### 4.3.2 Kompostierungsverfahren

In Kompostieranlagen sollen durch den Einsatz technischer Hilfsmittel:

- die Lebensbedingungen der Mikroorganismen soweit wie möglich optimiert werden, damit die Rottedauer möglichst kurz ist,
- eine umweltfreundliche Durchführung des Prozesses ermöglicht, sowie,
- die Erzeugung hochwertiger Produkte gesichert und
- die Emissionen (Schadstoffe, Gerüche, Keime) beherrscht werden.

Für die Akzeptanz von Kompostanlagen ist die Beherrschung der Geruchsemissionen ein wesentliches Kriterium. Kompost selbst besitzt im allgemeinen einen erdigen, allgemein nicht als unangenehm empfundenen Geruch. Unangenehme Gerüche (verschiedene Schwefelverbindungen oder NH<sub>3</sub>) entstehen während der Kompostierung vor allem dann, wenn nicht das gesamte Rottegut gleichmäßig mit Sauerstoff versorgt ist und anaerobe Zonen auftreten oder wenn das C/N-Verhältnis zu gering ist. Durch geeignete Kompostierungstechniken wie ausreichende Zugabe von Strukturmaterial (Häckselgut, Stroh, etc.), C- oder N-reichen Substrat, Umsetzen und regelmäßiges Durchmischen des Materials kann diesem Problem vorgebeugt werden.

Beim **aeroben Prozeß** der Kompostierung kann man hinsichtlich der Technik grundsätzlich zwischen folgenden Systemen unterscheiden:

- ◆ nach der Art der Belüftung: **natürlich belüftete** (z.B. offene Miete) und **zwangsbelüftete** Systeme (z.B. Boxenkompostierung, Tunnelkompostierung) und
- ◆ **offene und geschlossene Systeme:** Bei den geschlossenen Systemen, die unter Dach installiert sind, gelangt die Abluft aus dem Rotteprozeß nicht sofort ins Freie, sondern wird zuerst über einen Biofilter geführt, in dem die geruchsintensiven Substanzen

abgebaut werden. Alternativ dazu kann eine katalytische Gasreinigung durchgeführt werden.

Geschlossene Anlagen bedingen aus wirtschaftlichen und technischen Gründen eine Mindestgröße: die maschinelle Ausstattung ist nicht beliebig verkleinerbar (Downscaling) und die hohen Investitionskosten können nur bei entsprechender Auslastung gedeckt werden.

#### 4.4 Thermische Abfallbehandlung

Die integrierte Behandlung von Haushaltsabfällen in Österreich und in Deutschland macht derzeit große Fortschritte, denn ab dem Jahr 2004 (Österreich) und 2005 (Deutschland) verbietet z.B. die Deponieverordnung in Verbindung mit dem Wasserrechtsgesetz die Ablagerung von Abfälle auf Deponien ohne vorherige entsprechende Behandlung [79, 80]. Eine wirksame Möglichkeit, die gesetzlich vorgesehenen Vorgaben zu erreichen, ist die thermische Behandlung des Abfalls unter Anwendung bewährter Techniken.

In der **Europäischen Gemeinschaft** gibt es derzeit eine Debatte über die allgemeine Behandlung von Abfällen. Es wurden Regeln geschaffen für die Verbrennung von Abfällen unter Berücksichtigung der Situation in den Mitgliedsstaaten, damit die Verbrennungsanlagen in Übereinstimmung mit den EU-Richtlinien betrieben werden können. Einige dieser Aspekte, die berücksichtigt werden müssen, sind [81, 82]:

- ◆ Die weitestgehende Verringerung des Gefährdungs- und Schadstoffpotentials der Abfälle durch den thermischen Abbau von organischen Inhaltsstoffen;
- ◆ Die Aufkonzentration der anorganischen Inhaltsstoffe in abscheidbarer Form;
- ◆ Die Reduktion der Menge und des Volumens der Abfälle;
- ◆ Die Qualität der Rückstände (hinsichtlich umweltverträglicher Verwertbarkeit bzw. Ablagerung);
- ◆ Die Verwertung der nutzbaren Energie.

In Österreich gibt es insgesamt 188 industriell Anlagen zur thermischen Verwertung und Behandlung von Abfällen, von diesen verbrennen bzw. mitverbrennen aber nur 135 Abfälle [76]. Von den Abfallbrennstoffen, werden Österreich weit ca. 68 M-% in der Zellstoff-, Papier- und Faserplattenindustrie zusammen mit der Zementindustrie als Ersatzbrennstoff in deren Feuerungsanlagen eingesetzt [83]. Abfallverbrennungsanlagen in engerem Sinn (d.h. Monoverbrennung in MVA) gibt es nur 5, und zwar 3 in Wien, 1 in Wels und 1 in Lenzing.

In westlichen Industrieländern besteht eine generelle Tendenz den Anteil der zu verbrennenden Abfälle stetig zu erhöhen. Die Motive und Ziele dieses Verhaltens sind von Staat zu Staat unterschiedlich, wie die Tabelle 4.4 zeigt.

**Tabelle 4.4: Stand der energetischen Verwertung von Abfällen in verschiedenen Ländern [84].**

Thermische Verwertung von Haushaltsabfälle		
Land	Massenanteile in Prozenten am Gesamtaufkommen	Anmerkungen
Deutschland	36	Einschränkung für Deponierung von Abfällen mit mehr als 3% Kohlenstoff, vorgesehen für das Jahr 2005. Einrichtung neuer Verbrennungsanlagen zur Energiegewinnung, um diese Vorgaben zu erreichen.
Österreich	15	Verbannung von der Deponie für Abfälle mit mehr als 5% Kohlenstoff, vorgesehen für das Jahr 2004.
Schweiz	59	Verbannung von der Deponie für verbrennbare Abfälle.
Frankreich	42	Verbannung von der Deponie für verbrennbare Abfälle, vorgesehen für das Jahr 2002.
Schweden	47	Verringerung der deponierten Mengen durch eine Erhöhung der Wiederverwertung und einer Verwendung der Abfallstoffe zur Energiegewinnung.
Dänemark	48	Verbannung von der Deponie vorgesehen für das Jahr 1997; Pläne zur Erhöhung der Wiederverwertung und der Verwendung der Abfallstoffe zur Energie- Gewinnung.
Holland	35	Verbannung von der Deponie für verbrennbare Abfälle, wie von Papier und Pappe, vorgesehen für das Jahr 2002.
Japan	72	Planung: 75% der häuslichen Abfälle in Verbrennungsanlagen zur Energiegewinnung zu behandeln.
USA	16	Geplante Erhöhung der Verbrennung auf 25% vorgesehen für das Jahr 2005.

Wie Tabelle 4.4. darstellt, ist das Ziel der Verbrennung von Abfällen die Gewinnung von Energie „Waste to Energy“ und die Verringerung des Volumens (bzw. der Masse) der zu deponierenden Abfälle. Es läßt sich feststellen, daß es in einigen Ländern bis heute nicht gelungen ist, die in Tabelle 4.4 vorgesehenen Fristen einzuhalten. Aber die Anstrengungen zur Implementierung der (Mit)verbrennung gehen weiter [98].

#### 4.5 Richtlinien und Empfehlungen für Deponien in Entwicklungsländern

Wie bereits erwähnt, werden in diesem Kapitel Vorschläge und Richtlinien für die Gestaltung von Deponien (Lagerstätten) in Entwicklungsländern aufgezeigt, in denen es Probleme mit der Abfallentsorgung gibt, vorallem im Hinblick auf Umweltschäden und Probleme für die öffentliche Gesundheit. Eine adäquate Ablagerung (Deponierung) von Abfällen würde das Auftreten von Schädlingen (Ratten, Insekten, Vögel), die Krankheiten übertragen, vermindern und könnte auch das Problem der auf den Müllhalden lebenden Müllsammler einer Lösung zuführen helfen [85].

Folgende Richtlinien und Empfehlungen sollten für Deponien in Entwicklungsländern beachten werden:

- **Auswahl des Geländes:** Bei der Auswahl des Geländes ist zu beachten, daß es dort kein oberflächennahes Grundwasser gibt, daß es, wenn möglich, entfernt von Quellen, Bächen und Flüssen liegt, daß der Deponieuntergrund möglichst undurchlässig ist und der Standort in einiger Entfernung von Wohngegenden liegt.
- **Undurchlässigkeit des Geländeuntergrundes:** Der Geländeuntergrund soll eine natürliche Undurchlässigkeit aufweisen, die durch Deponiebaumaßnahmen (Abdichtung) verbessert werden kann oder muß.
- **Drainagen für Sickerwasser und Oberflächenwasser:** Das Einstauen von Wässern in den Deponiekörper muß durch Drainagen, die das Wasser dem Sammelsystem zuführen, verhindert werden.
- **Entgasungssystem:** Bei der anaeroben Zersetzung der organischer Anteile des Mülls entsteht Deponiegas, das aus der Deponie kontrolliert abgesaugt bzw. abgeleitet und verwertet oder behandelt werden muß. Die Installation der Gasbrunnen (vertikal) und Gasdränagen (horizontal) muß mit der Deponiegeometrie abgestimmt werden.
- **Sickerwasserbehandlungssystem:** Nach der Sammlung des Sickerwassers muß dieses so behandelt werden, daß es keine Gefahr mehr für die Umwelt darstellt. Die Form der Behandlung ist abhängig von der Zusammensetzung und der Menge des Sickerwassers.
- **Deponiegas – Verwertung / Behandlung:** Nach der Sammlung muß das Deponiegas entweder verwertet (z.B. Gasmotor) oder aber abgefackelt (z.B. HT-Muffel) werden. Es wäre von Wirtschaftlichen Nutzen, das Methangas entsprechend zu verwerten, solange es in größeren Mengen anfällt.

- **Deponiebetrieb:** Wenn es das Gelände und seine Topographie zuläßt, sollte der Arbeitsbereich so klein wie möglich sein, um zu vermeiden, daß der Wind die Abfälle verbreitet oder daß der Regen den Müll übermäßig durchnäßt. Der Müll ist in Schichten (mit Zwischenabdeckung) und kompaktiert in der Deponie abzulagern.
- **Sammlung und Ableitung von Oberflächenwässer:** Dadurch wird verhindert, dass Meteorwässer durch Kontakt mit dem Müllkörper kontaminiert werden.
- **Deponieabdeckung und Geländesicherung:** Nach Abschluß der Schüttungen in den einzelnen Deponiebereichen müssen diese mit einer Oberflächenabdeckung versehen werden. Das Deponiegelände ist durch einen Zaun gegen unbefugten Zutritt abzusichern.
- **Kontroll- und Überwachungssystem:** Die Überwachung einer Lagerstätte beinhaltet zahlreiche Umwelt- und geotechnische Aspekte, von denen hier nur einige aufgezählt werden:
  - ◆ Kontrolle des Setzungsverhaltens (bzw. horizontale und vertikale Verschiebungen)
  - ◆ Kontrolle von Sickerwasser und Deponiegas
  - ◆ Kontrolle des Drainagesystems und der Abdichtungen
  - ◆ Kontrolle der mechanischen Stabilität der Deponie
  - ◆ Kontrolle der Grundwasser-Qualität
  - ◆ Kontrolle der Oberflächenwassers- Qualität
  - ◆ Kontrolle der Luft-Qualität
  - ◆ Kontrolle der Bodenqualität in der Umgebung (Beobachtung von Pflanzenschäden durch Deponiegasmigration)
  - ◆ Kontrolle von Schädlingen und Ungeziefer, die Krankheiten übertragen
  - ◆ Kontrolle von Geräuschen, Erschütterungen und Geruchsemissionen
  - ◆ Kontrolle von Staub und Windverwehungen

Eine solche Überwachung muß in Übereinstimmung mit dem Kontroll-Plan periodisch vorgenommen werden, auch nach Schließung der Deponie in der Nachsorgephase.

- **Deponienachsorge:** Nach Schließung einer Deponie sind in Abstimmung mit der vorgesehenen Nachnutzung entsprechende Nachsorgemaßnahmen, die auch Kontroll- und Überwachungseinrichtungen beinhalten, zu setzen.

## 5 Modellversuch ESTRELA

In Brasilien ist der Entwicklungsstand im Hinblick auf die Entsorgung von Abfällen noch eher bescheiden. In den vorangegangenen Kapiteln wurde die spezifische Situation aufgezeigt sowie die verschiedenen Aktivitäten, die es auf dem Abfallmanagement Gebiet gibt. Um einen vertieften Einblick in die Praxis der brasilianischen Abfallwirtschaft zu erlangen, wird in diesem Kapitel eine detaillierte Studie über die Sammlung und Behandlung der häuslichen Abfälle einer Stadt vorgenommen. Als Beispiel wurde die Stadt Estrela ausgewählt. Sie liegt im brasilianischen Bundesstaat Rio Grande do Sul.

Eines der Motive für die Auswahl dieser Stadt war der Umstand, daß es dort eine Abfallbehandlungsanlage gibt, wie bereits zuvor im Kapitel 3.3. erwähnt. Ein anderer Grund war die Bevölkerungsstruktur dieser Stadt. Laut Bevölkerungsstatistik des Jahres 2000 hatte sie 27.398 Einwohner, von denen 22.692 im Städtischen Bereich und 4.706 in der ländlichen Zone leben. Mit dieser Bevölkerungsstruktur entspricht Estrela etwa 70% aller 5.507 Städten und Gemeinden Brasiliens, mit einer Bevölkerung von bis zu 30.000 Einwohnern. Dies erlaubt, die Ergebnisse dieser Studie mit anderen Städten zu vergleichen bzw. Ergebnisse zu übertragen.

Ein weiteres Motiv für die Auswahl dieser Stadt ist das Vorhandensein von Müllsammlern (Catadores), wie bereits zuvor im Kapitel 2.3.1. ausgeführt. Dies sind Personen, die durch die Straßen der Stadt ziehen und aus den Abfallbehältern verwertbares Material (Pappe, Aludosen, PET-Flaschen) sammeln. Diese Müllsammler gibt es in vielen brasilianischen Städten. Die Wahl von Estrela als Studienobjekt erlaubt, ihre Situation und Probleme in einem direkten Kontakt mit ihnen zu untersuchen.

Auch die spezifische Zusammensetzung der häuslichen Abfälle war wesentlich für die Auswahl, denn um eine aussagekräftige Studie über Abfallverwertungsanlagen zu erarbeiten, ist es erforderlich, eine Stadt auszuwählen, in der die Zusammensetzung dieser Abfälle typisch ist für die entsprechenden brasilianischen Verhältnisse. Auch muß in diesem Zusammenhang die Unterstützung durch die Stadtverwaltung Estrela und das Unternehmen Dariva Ambiental erwähnt werden, denn ohne deren Hilfe wäre es nicht möglich gewesen, die hier berichteten Untersuchungen wie geplant durchzuführen.

Wenn man alle diese Aspekte in Betracht zieht, versteht sich, warum die Stadt Estrela als ein gutes Model gelten kann, um die Entsorgung von häuslichen Abfälle in einer Studie ausführlich zu untersuchen, beginnend mit der Sammlung und der Sortierung der Abfälle in der Behandlungsanlage, gefolgt von Kompostierung, bis hin zur Endlagerung der Reststoffe auf einer kontrollierten Lagerstätte.

## 5.1 Charakterisierung des Hausmülls von Estrela

Unter Berücksichtigung der vorhandenen Zeit und Möglichkeiten wurden zwei verschiedene Sortieranalysen zur Charakterisierung der häuslichen Abfälle von Estrela vorgenommen: eine war die Analyse des Mülls, der zur Abfallbehandlungsanlage gelangte, die andere Untersuchung bezieht sich auf den Abfall, wie er täglich in den Haushalten von Estrela anfällt.

Die zuletzt genannte Untersuchung wurde an 4 Tagen (03.04 bis 06.04.2001) durchgeführt. Der zu untersuchende Abfall wurde in aller Früh vor den Häusern gesammelt, bevor dort die Müllfahrzeuge oder die Catadores vorbeigekommen waren. Dies war notwendig, weil die Müllsammler ansonsten den Teil der „wertvollen“ Abfallstoffe (d.h. die Filet-Stücke des Hausmülls) bereits aussortiert hätten und so nur verbleibender „Restabfall“ mit einem relativ geringen Recycling Wert erfaßt worden wäre.

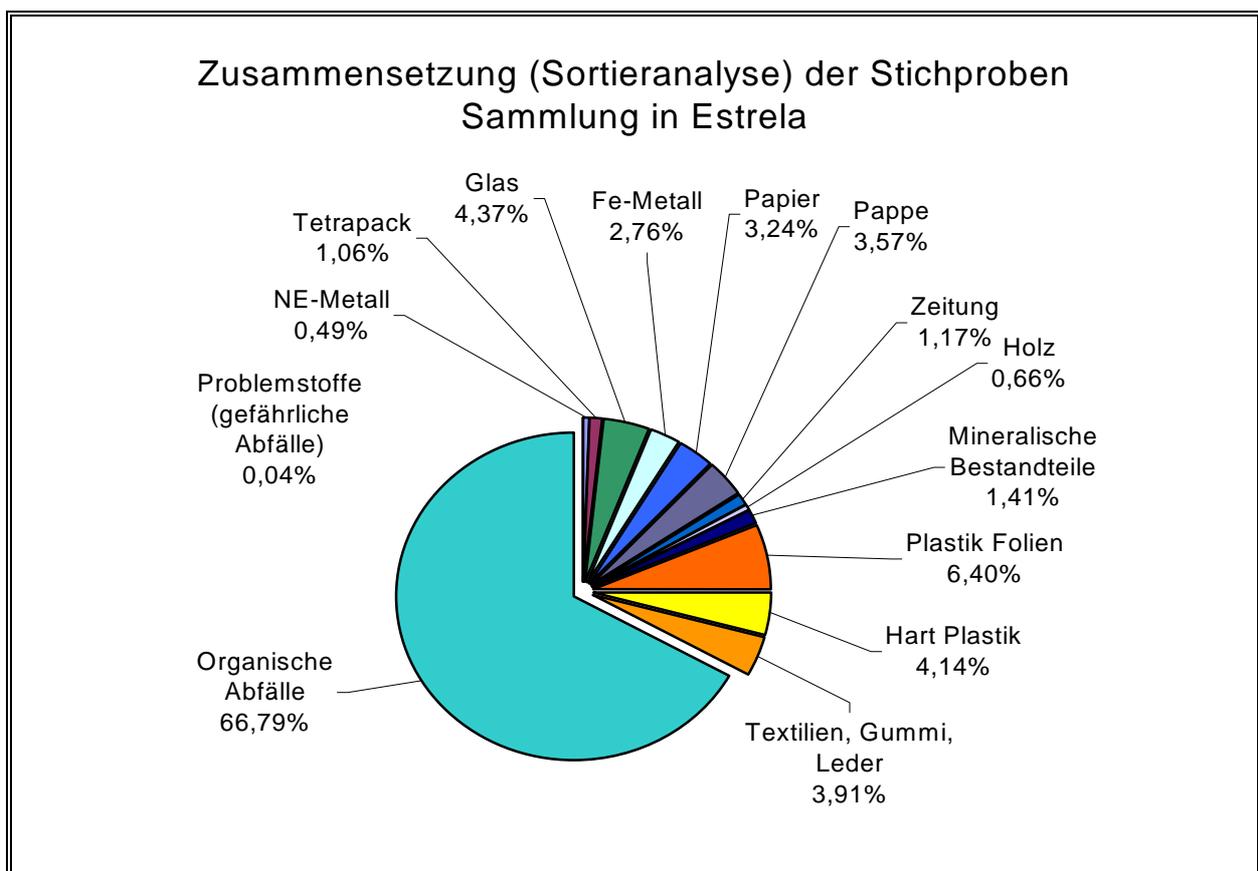
Die Sammlung des Untersuchungsgegenstandes „Haushaltsabfälle“ wurde an den bereits erwähnten Tagen etwa um 7:00 Uhr vorgenommen, denn die Bevölkerung stellt bereits um diese Uhrzeit die häuslichen Abfälle für die Sammlung auf die Straße. Der Weg für die Sammlung des Untersuchungsmaterials (Sammelroute) wurde zuvor sorgfältig ausgewählt, um so zu einer möglichst repräsentativen Probe für die Sortieranlage zu gelangen. Die Sammlung bzw. Probenahme erfolgte mit der Unterstützung zweier Mitarbeiter der Stadtverwaltung und eines VW Kombis mit entsprechenden Vorrichtungen, wie in der Abbildung 5.1. dargestellt.



**Abbildung 5.1:** Abfallsammlung zur Charakterisierung des Hausmülls von Estrela, durchgeführt mit der Unterstützung zweier Mitarbeiter der Stadtverwaltung.

Nach der Sammlung wurde der beprobte Abfall (Masse = 200 kg, Volumen = 1,5 m<sup>3</sup>) zur Abfallbehandlungsanlage gebracht, wo die Sortieranalyse am befestigten, verfließten Boden durchgenommen wurde. Es wurden aussortiert: Hart- und Weichplastik, Glas, Papier, Pappe, Zeitungen, Fe- und Nichteisen (NE)-Metalle, Tetrapak Verpackungen, Holz, mineralische Stoffe, Textilien, Leder und Gummi, Problemstoffe und organische Anteile (inklusive Toilettenpapier & Wegwerfwindeln).

Abbildung 5.2 zeigt das Ergebnis der Sortieranalyse in Massenprozenten. Die angeführten Werte sind die Durchschnittswerte für den angeführten Beprobungszeitraum. Die Einzelwerte sind im Anhang dieser Arbeit dargestellt. Als Ergebnis ist festzuhalten, daß die organischen Abfällen mit 66,8 M-% den größten Anteil darstellen. Sie setzen sich im wesentlichen zusammen aus: Essensreste, Gartenabfälle, kleinen Papierfetzen (die wegen ihrer Verschmutzung oder ihrer Feuchtigkeit nicht aussortiert werden konnten), aus Toilettenabfällen, wie z.B. Toilettenpapier oder Wegwerfwindeln.



**Abbildung 5.2: Zusammensetzung des Hausmülls gemäß der Stichproben-Sammlung. (Angaben in Massenprozent).**

Die Plastikkomponenten wurden in zwei Sortierfraktionen getrennt: Hartplastik mit einem Anteil von 4,14 M-% (besteht hauptsächlich aus Flaschen von Shampoo, Reinigungsprodukten und Erfrischungsgetränken, sowie anderen Flaschen aus PET.

Zusätzlich enthält diese Fraktion auch Eimer und andere Gebrauchsgegenstände aus Hartplastik). Die andere Fraktion bilden Plastikfolien, mit einem Anteil von 6,40 M-% (z.B.: Verpackungsmaterial von Nahrungsmitteln wie Keksen, Chips und ähnlichem, aber den Hauptanteil bilden die Plastiktüten, wie schon in Kapitel 2 aufgezeigt). In Brasilien ist es üblich, daß die Leute große Menge diese Plastiktüten in den Supermärkten erhalten, um darin ihre Einkäufe mit nach Hause zu nehmen. Später nutzen sie diese Plastiktüten als Müllsäcke. Diese gelangen in Estrela in die Müllsortieranlage wo sie aussortiert und je nach Verschmutzungsgrad entweder als Altstoff verkauft oder aber gepreßt und auf der kontrollierten Lagerstätte (Deponie) abgelagert werden.

Eine weitere Abfallfraktion, wie in Abbildung 5.2 dargestellt bilden die Problemstoffe (gefährliche Abfälle) mit einem Anteil von 0,04 M-% im untersuchten Müll (z.B. Batterien für elektronische Apparate). Die in der Sortieranlage von ESTRELA gelagerten Fluoreszenzlampen stammen nicht aus dem Hausmüll sondern kommen von Fabriken und öffentlichen Gebäuden. Der Anfall von Nichteisen(NE)-Metall, mit einem Anteil von 0,49 M-% in der Stichprobensammlung, besteht hauptsächlich aus Aluminium Getränkedosen, und wird am Schluß dieses Kapitels erörtert.

Wie am Anfang dieses Kapitels berichtet, wurden zur Charakterisierung des Hausmülls von Estrela zwei verschiedene Untersuchungen durchgeführt. Zum einen wurde eine Stichprobensammlung bei den Haushalten durchgeführt, deren Ergebnis der Sortieranalyse in Abbildung 5.2 dargestellt ist. Zum anderen wurde der an der Sortieranlage in ESTRELA eintreffende Abfall untersucht, ebenso wie die Anteile die zur Kompostierung geschickt und direkt auf der Deponie bzw. „kontrollierten Lagerstätte“ abgelagert werden.

Diese Untersuchung wurde im Zeitraum von 13. bis 22. April 2001 durchgeführt.

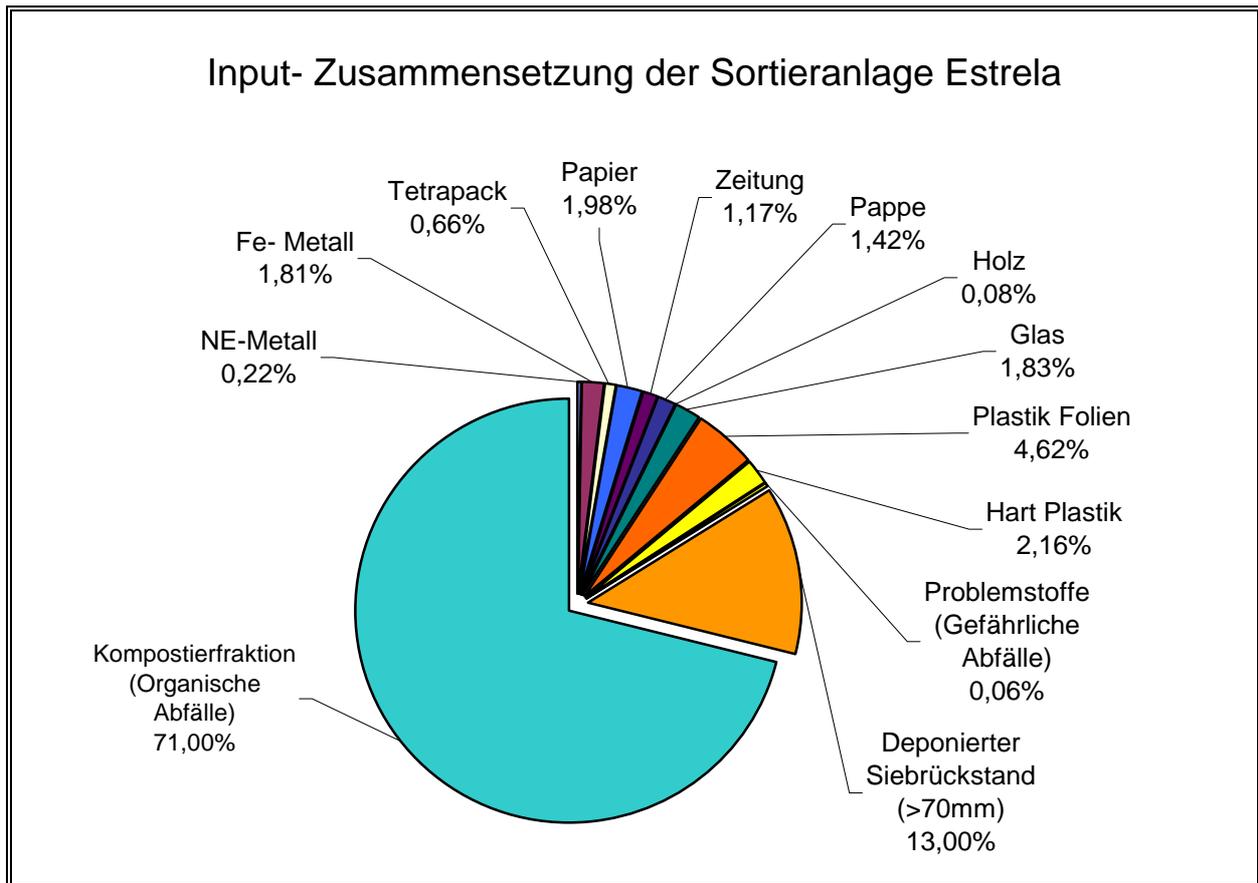
Um die exakte Menge des angelieferten Hausmülls zu bestimmen, wurden die mit Müll beladenen Lastwagen am Eingang der Trennungsanlage gewogen und später erneut im Leerzustand beim Verlassen der Anlage. So war es möglich, exakt die Menge des erfaßten Hausmülls zu ermitteln. Es waren insgesamt 92.478 kg in 8 Tagen, oder durchschnittliche 11.560 kg pro Tag, angeliefert von einer Bevölkerung von 22.692 Einwohnern, also jeder Einwohner von Estrela liefert durchschnittlich pro Tag 0,51 kg Hausmüll zur Sortieranlage.

In der Sortieranlage von ESTRELA wurde der Müll so getrennt, wie es im Kapitel 4.3 dargestellt ist. Um die Mengen der unterschiedlichen Fraktionen des Hausmülls im Beobachtungszeitraum zu bestimmen, wurde das gesamte getrennte Material auf dem Fließband und der Überlauf am Trommelsieb sofort gewogen. Bei der Durchführung dieser Untersuchung haben die Mitarbeiter der Sortieranlage dankenswerterweise mitgeholfen. Wenn

ca. 12.000 kg Abfälle pro Tag durch Sortieranalyse charakterisiert werden müssen ist die Gefahr, daß Fehler vorkommen, relativ groß. Um solche Fehler zu vermeiden, wurden alle Fraktionen sofort gewogen, sobald sie aus der Presse kamen, so zum Beispiel: Plastik, Papier, Pappen, Zeitungen, Tetrapack-Verpackungen, Fe- und NE-Metalle. Aber auch die Abfälle aus dem Überlauf des Trommelsiebs, die in der Deponie abgelagert werden, wurden unmittelbar nach Anfall gewogen. Andere Materialien, wie Holz, Glas oder Sonderabfälle wurden in ihren entsprechenden Sammelbehältern gewogen, damit eine Stoffbilanz des Trennungsprozesses erstellt werden konnte.

Um den Prozentanteil der angelieferten organischen Fraktion, die zur Kompostierung gelangt, im Beobachtungszeitraum zu bestimmen, (also jenes Material, das durch das Trommelsieb von 70mm fiel, ergänzt durch die aussortierten Wegwerfwindeln), wurde die Differenzmethode angewandt: vom Gesamtgewicht des angelieferten Mülls wird das Gewicht aller auf dem Fließband aussortierten Altstoff-Fraktionen, einschließlich des zur Deponie gelangenden Siebüberlaufs, subtrahiert. Die Gewichts Differenz entspricht der „Masse organische Abfälle“.

In Abbildung 5.3 wird für die untersuchten 92.475 kg Hausmüll die prozentuale Verteilung der Stoffströme dargestellt. Wie zu erwarten war, ist der Anteil der „organischen Fraktion“ (=Kompostierfraktion) mit 71 M-% der höchste. Zu berücksichtigen ist dabei jedoch, daß als „organische Fraktion“ alles Material definiert wird, das nach der Sortierung durch das Trommelsieb von 70 mm fällt, und die Wegwerfwindeln, die am Ende des Fließbandes per Hand aussortiert werden, also noch bevor das verbleibende Restmaterial ins Trommelsieb gelangt. Wird dieses verbleibende Restmaterial (Siebdurchgang < 70 mm) untersucht, so zeigt sich, daß es sich hierbei im wesentlichen um Essensrückstände handelt, sowie um Schalen von Früchten, Abfälle aus dem Garten, aber auch um kleine Papierschnitzel, kleine Plastikstücke (d.h. Feinmüll) und Batterien, die nicht schon zuvor auf dem Fließband aussortiert worden sind.



**Abbildung 5.3: Zusammensetzung des bei der Sortieranlage von Estrela im Zeitraum vom 15/04/2001 bis 22/04/2001 angelieferten Abfalls. (Angaben in Massenprozent).**

Der Anteil der Rückstände, die gepreßt und danach auf der Deponie abgelagert werden, beträgt 13 M-% des gesamten untersuchten Materials. Dieser Anteil ist der Überlauf vom 70 mm Trommelsieb. Er setzt sich aus nicht-recyclbaren, mehrschichtigen Plastikverbundstoffen zusammen, sowie aus Textilien, Schuhen, Leder-, Gummistücken und Plastikteilen, die auf dem Fließband nicht aussortiert wurden. Ab und zu findet man in dieser Fraktion auch tote Tiere, wie Hühner, Hunde und Katzen.

Die Hartplastik Fraktion hat nach Abbildung 5.3 einen Anteil von 2,16 M-% des angelieferten Mülls. Sie setzt sich aus Flaschen für Reinigungsmittel, Shampoo, Plastikbehälter wie Eimern und Schüsseln und aus Einwegflaschen für Erfrischungsgetränke zusammen. Der Anteil dieser Einwegflaschen wurde in der Abbildung 5.3 nicht gesondert dargestellt, er beträgt im gepreßten Zustand 0,91 M-%. Betrachtet man nur die Hartplastik-Fraktion, so beträgt der Anteil der Wegwerfflaschen 42,19 M-%.

Der Anteil der Plastikfolien beträgt 4,62 M-% und setzt sich wie folgt zusammen: Plastiksäcke, die gebraucht wurden, um Früchte, Fleisch und andere Lebensmittel einzupacken. Einen großen Anteil davon bilden die Plastiktüten von Supermärkten, die in

den Haushalten dazu verwendet werden, um darin den Hausmüll auf die Straße zu stellen. Um diesen Anteil zu bestimmen, werden die Plastiktüten von Supermärkten gesondert aussortiert. Ihr Anteil am gesamt angelieferten anfallenden Müll beträgt 1,97 M-%, bezogen auf die Sortierfraktion Plastikfolien beträgt der Anteil 42,58 M-%.

Faßt man die Ergebnisse dieser zwei unterschiedlichen Untersuchungen, d.h. der Sortieranalyse der Stichproben-Sammlung von Hausmüll in Estrela, sowie die Analyse des zur Sortieranlage gelieferten Abfalls, zusammen, so ist folgendes festzustellen:

- ⇒ Der Anteil der organischen Fraktion (inklusive Wegwerfwindel) am Hausmüll von Estrela beträgt zwischen 65 – 71 M-%.
- ⇒ Der Unterschied im Anteil der Hart-Plastik Fraktion von 4,14 M-% in der Stichproben-Sammlung und 2,16 M-% im angelieferten Müll, der für die Sortieranlage bestimmt war, kann –wie erwartet– dadurch erklärt werden, daß die Stichproben-Sammlung in den frühen Morgenstunden erfolgte, also zu einer Zeit, zu der die „Catadores“ noch nicht auf der Straße unterwegs waren. Da PET Plastikflaschen einen relativ hohen Handelswert für die Müllsammler haben, erklärt sich so der höhere Anteil dieses Materials in der noch nicht vorsortierten Stichproben-Sammlung des Haushalts-Mülls.
- ⇒ der Unterschied bei den Glasanteilen von 4,37 M-% in der Stichproben-Sammlung und 1,83 M-% im Abfall, der zur Sortieranlage kommt, erklärt sich in gleicher Weise.
- ⇒ das gleiche Phänomen ist hinsichtlich der Metall- und Nichtmetallanteile feststellbar.
- ⇒ auch in Hinblick auf Papier und Pappe zeigt sich ein Unterschied zwischen den Ergebnissen der beiden Untersuchungen, da diese Stoffe gerne von den Catadores gesammelt werden. Für Papier beträgt der Anteil 3,24 M-% bei der Stichproben-Sammlung und 1,98 M-% im angelieferten Müll der Sortieranlage. Die entsprechenden Gehalte für Pappe sind 3,57 M-% bzw. 1,42 M-%.

Da diese bei der Papier und Pappe-Fraktion auftretende Differenz kleiner war als erwartet, wurde eine zweite Untersuchung vorgenommen. Dabei wurde festgestellt, daß ein Großteil des Papiers und der Pappe den Müllsammlern unmittelbar in die Hand gegeben wird. Ein beachtlicher Teil dieser Altstoffe stammt aus Geschäften, die schon einen langjährigen Kontakt zu „ihren“ Müllsammlern haben und das anfallende Material vorzugsweise diesen direkt überlassen. Ein anderer Grund ist der Zeitpunkt, zudem Papier und Pappe für die Müllsammlung bereit gestellt werden. Die Geschäfte stellen ihre Verpackungs-Abfälle

normalerweise gegen Mittag oder sogar erst am Nachmittag auf die Straße. In zahlreichen Stadtteilen ist um dieses Zeit der Müllwagen schon vorbeigekommen und so verbleibt die Sammlung dieses Abfalls in den Händen der Müllsammler von der Straße.

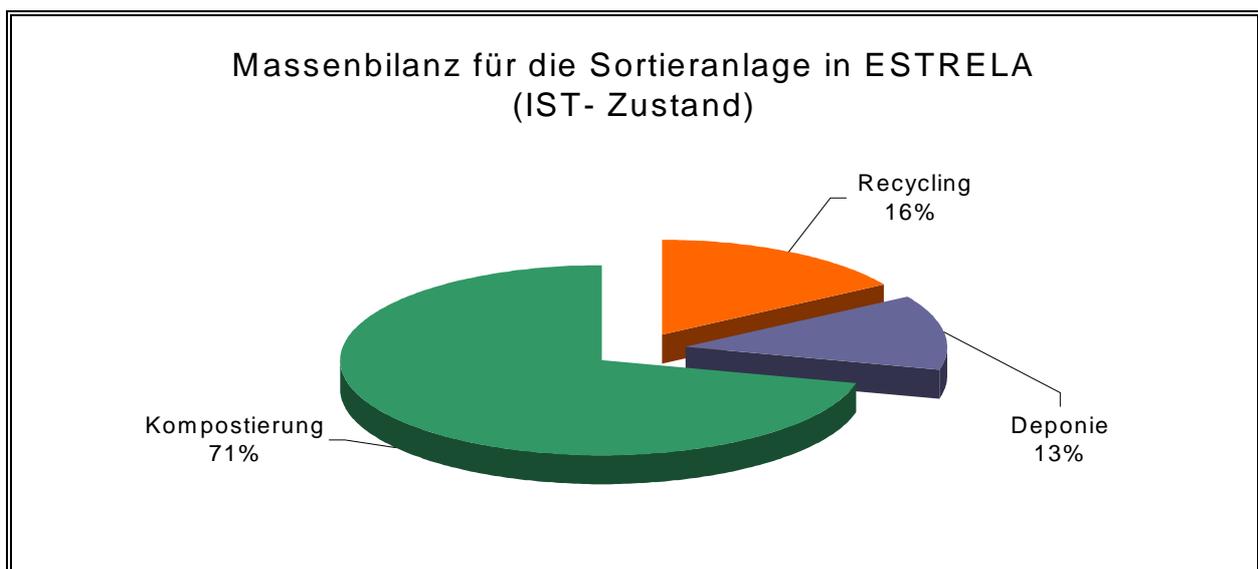
Da die Müllsammler von Estrela einen beachtlichen Anteil des recycelbaren und verwertbaren Materials sammeln, wird das Thema Müllsammler im Kapitel 5.4 näher behandelt.

## 5.2 Massenbilanz der Trennungsanlage ESTRELA (IST-Zustand)

Auf der Basis der im vorausgehenden Kapitel ermittelten Daten aus dem Sortierprozeß von angelieferten Hausmüll wurde eine Massenbilanz für die Sortieranlage von ESTRELA erstellt. Die 100%, oder 92.475 kg Abfälle, die zwischen 15 bis 22.04.2001 zur Trennungsanlage von Estrela kamen, verteilen sich wie folgt:

- ❖ 71% , oder 65.657 kg gehen zu Kompostierung;
- ❖ 16%, oder 14.796 kg werden durch Recycling verwertet;
- ❖ 13%, oder 12.021 kg gehen als Siebüberlauf (>70mm) direkt auf die Deponie.

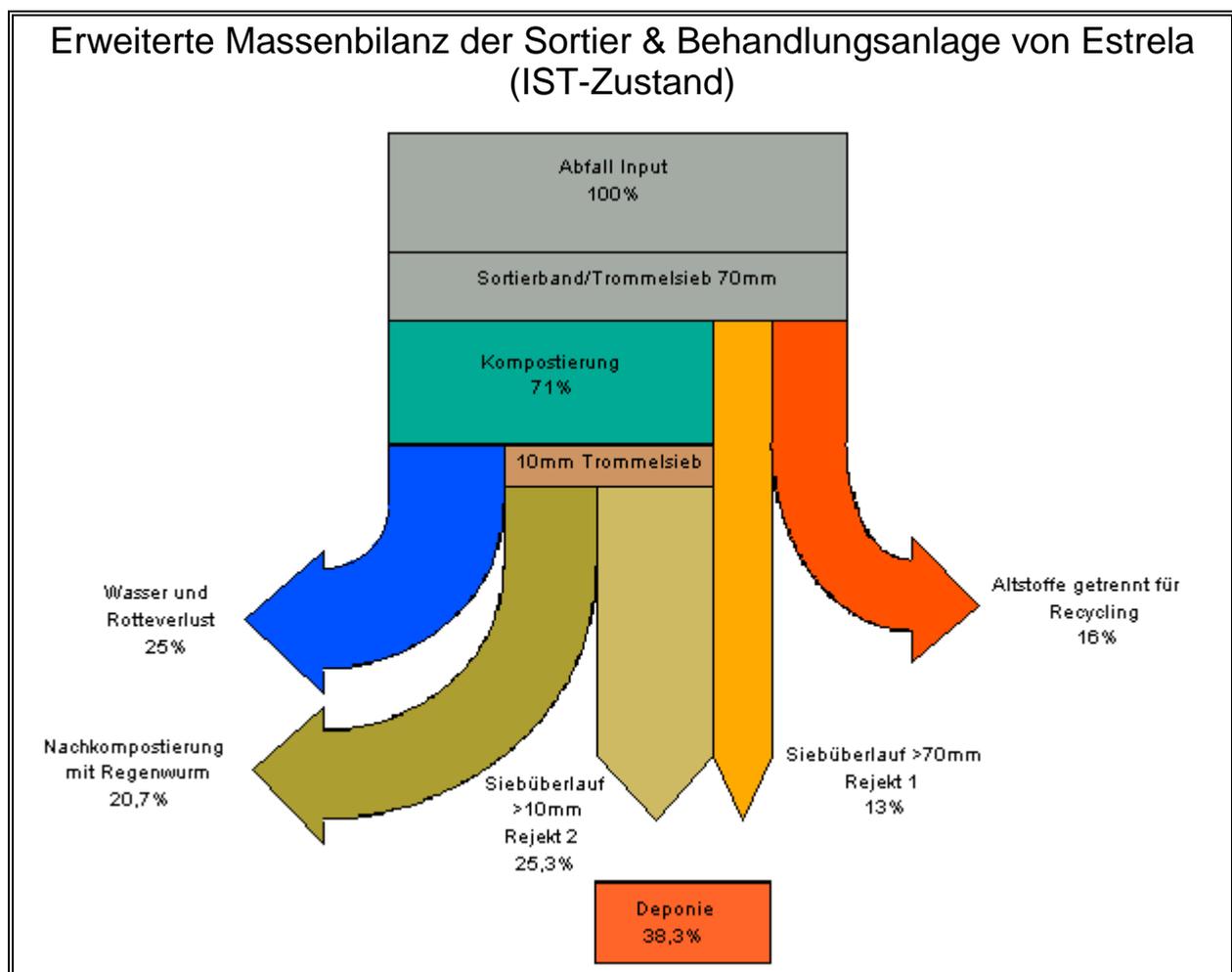
Bei der Sortierung am Fließband, war es möglich 56 kg Batterien als Problemstoffe auszusortieren. Hierbei darf man nicht vergessen, daß ein weiter Anteil von Batterien noch in der Fraktion verblieben ist, die zur Kompostierung geht (Siebdurchgang <70mm). Die Verteilung der Fraktionen nach Gewicht und Prozenten ist in Abbildung 5.4 dargestellt.



**Abbildung 5.4:** Prozentuale Verteilung der Sortierfraktionen des angelieferten Hausmülls (Angaben in Massenprozent).

Die 71 M-% des angelieferten Hausmülls von Estrela, die für die Kompostierung bestimmt sind, werden im Hinblick auf die zu erarbeitende Stoffbilanz erneut unterteilt. Dazu wurde das kompostierte Material, das zur Siebung bereit war, gewogen und durch ein 10mm. Trommelsieb geschickt. Dabei findet sich die Kompostfraktion im Siebdurchgang wieder, während der Siebüberlauf, das sogenannte „Rejekt 2“, für die Deponierung bestimmt ist. Während der Absiebung konnte man feststellen, daß ein Teil des Siebüberlaufs kompostähnliches, organisches Material war. Offenbar ist durch eine Siebung bei 10mm nach der Kompostierung keine effektive Abtrennung von organischem Material möglich. Das Thema „Trennung durch Siebung“ wird im Kapitel 5.6 gesondert behandelt.

Abbildung 5.5 stellt die Massenbilanz für die Hausmüll Trennungsanlage der Gemeinde Estrela im IST-Zustand dar. Die Prozentangaben der einzelnen Sortierfraktionen beziehen sich auf die 100% Abfall, der im Zeitraum vom 15. – 22. April 2001 in die Trennungsanlage gelangte.



**Abbildung 5.5: Erweiterte Massenbilanz der Hausmüll Sortier & Behandlungsanlage von Estrela. Zeitraum 15. – 22/04/2001 (Angaben in Massenprozent Feuchtsubstanz).**

Wie in Abbildung 5.5 dargestellt, ist der Gewichtsverlust bei der Kompostierung nur ca. 25% bezogen auf der Gewicht des Hausmülls beim Eingang in die Trennungsanlage. Bezieht man den Gewichtsverlust auf die durch das 70mm Trommelsieb abgetrennte Kompostierfraktion, so beträgt dieser Gewichtsverlust ca. 35%. Nach der Kompostierung verbleiben noch 25,3 % als Rejekt 2 im 10 mm Siebüberlauf als zu deponierends Material.

Diese Werte sind in Hinblick auf die Kompostierung wenig zufriedenstellend. Dazu muß festgestellt werden, daß das in Estrela angewandte System der hohen, kegelförmigen Haufen-Mieten mit unregelmäßiger, seltener Kompostumsetzung nachweislich ineffizient war. Aus der Massenbilanz zeigt sich auch daß der Anteil von 38,3% oder 35.418 kg die als Siebüberlauf (Rejekt 1 und 2) auf die Deponie gehen, ein relativ hoher Wert ist. Dennoch ist dieses Ergebnis deutlich besser als jenes anderer brasilianischer Städte und selbst für die Gemeinde Estrela stellt diese IST-Situation eine Verbesserung dar gegenüber der Vergangenheit, als noch der gesamte Müll ohne Trennung und Behandlung auf Müllhalden abgelagert wurde.

### **5.3 Versuche zur Implementierung der Getrennten Sammlung**

Ursprünglich war geplant, dass die Stadtverwaltung von Estrela gleichzeitig mit der Installation der Abfalltrennungsanlage das System der Getrennten Müllsammlung flächendeckend einführt. Wie bereits im Kapitel 3.3 berichtet, sollte dieses System der Getrennten Müllsammlung auf der Vortrennung der Abfälle im Haushalt in „trockenen Müll“ (Recycling-fähige Leichtfraktion) und „feuchten Müll“ (kompostierbare Schwerfraktion) beruhen. Letztlich kam die getrennte Sammlung nicht zustande, einmal weil die Stadtverwaltung Probleme mit der Bereitstellung der notwendigen Müllwagen hatte, zum anderen aber auch deshalb nicht, weil es schwierig war, das notwendige Bewußtsein bei der Bevölkerung zu schaffen.

Ohne Zweifel wäre eine Getrennte Sammlung von Hausmüll von entscheidender Bedeutung für das Abfallmanagement in Estrela. Deshalb wurden in dieser Arbeit unterschiedliche Optionen für die Einführung einer Getrennten Sammlung durch die Stadtverwaltung untersucht. Aber die Implementierung erweist sich als schwierig, da weiterhin die notwendige Kapazität an Sammelfahrzeugen fehlt. Als zusätzliche Schwierigkeit zeigt sich, ein ausreichend verantwortliches und qualifiziertes Team der Stadtverwaltung zu finden, welches das Projekt „Getrennte Sammlung“ in der Bevölkerung erfolgreich verbreitet. Wegen der knappen Mittel konnte die Gemeinde dieses Team nicht so ausstatten, wie es für den Erfolg der Aktion nötig gewesen wäre.

Dieses Kapitel wird deshalb Anregungen und Vorschläge enthalten, wie die Gemeinde Estrela eine Getrennte Sammlung von Hausmüll einrichten könnte. Die Vorschläge erfolgen auf der Basis von Erfahrungen in anderen Gemeinden und unter Berücksichtigung der realistischen Möglichkeiten der Stadtverwaltung von Estrela.

Im Detail werden zur Einführung der „Getrennten Sammlung“ in Estrela folgende Überlegungen angestellt:

- Grundlegende Daten über die Zusammensetzung des Hausmülls von Estrela, die zur Planung der Getrennten Sammlung benötigt werden, sind in dieser Arbeit entwickelt worden. Es kann also vorhergesehen werden, wieviel Abfall welchen Typs anfallen wird und wie dieser behandelt werden soll. Aus der durchgeführten Stichprobensammlung geht hervor, daß mit über 65 M-% bis 70 M-% „feuchten Müll“ zu rechnen ist, und der Anteil der Altstoffe: Metalle (3,25 M-%), Glas (4,37 M-%), Papier &Pappe (8 M-%), Plastik (10,5 M-%) und Tetrapak (1 M-%) insgesamt ca. 27 M-% ausmacht. Diese Werte können in Abhängigkeit von den verschiedenen Jahreszeiten schwanken, denn der prozentuale Anteil der organische Fraktion bzw. des „feuchten Mülls“ erhöht sich zum Beispiel, wenn mehr Früchte gegessen werden, also insbesondere im Herbst und Anfang des Winters in Österreich, wenn in Brasilien in der Region von Estrela die meisten Zitrusfrüchte geerntet und gegessen werden.
- Geht man nach den Ergebnissen der Stichprobensammlung (Abb. 5.2) von einem Altstoffanteil von ca. 25 bis 27 M-% aus, wobei monatlich mit dem Anfall von 360.000 kg Hausmüll gerechnet wird, dann ist mit einem Altstoffpotential von 90.000 – 98.000 kg pro Monat zu rechnen. Davon werden bis zu 40.000 kg/Monat (Hauptsächlich Pappe) bereits vor der Sortieranlage von den Catadores ausgelesen. Vergleicht man diese Situation mit der von Gemeinden, in denen die Getrennte Müllsammlung funktioniert, wie zum Beispiel der Gemeinde Carlos Barbosa, dargestellt im Kapitel 5.2, so kann man feststellen, daß dort ca. 30 M-% der Haushaltsabfälle als „trockener Müll“ anfallen. Bezogen auf Estrela wäre dies eine Menge von ca. 108.000 kg/Monat oder durchschnittlich 3.600 kg/Tag. Die anfallende Menge von „feuchten Müll“ beträgt demnach 252.000 kg/Monat bzw. 8.400 kg/Tag.
- Für die Getrennte Sammlung von ca. 25.000 kg trockenen Hausmüll und bis zu ca. 60.000 kg „feuchten Hausmüll“ pro Woche, benötigt man nur zwei zusätzliche Sammelfahrzeuge. Die Sammlung bzw. Sammelroute muß so organisiert werden, daß der Müllwagen an genau bestimmten Tagen und Uhrzeiten den Müll in den einzelnen Ortsteilen aufnimmt. So weiß die Bevölkerung wann der Müllwagen kommt, und kann den im Haus bereits vortrennten Müll an diesen Tagen bereitstellen, z.B. in Plastik

Säcken, mit der Bezeichnung „trockener Müll“ und „feuchter Müll“. Die Frequenz dieser getrennten Müllsammlung müßte in jedem Ortsteil so organisiert werden, daß der leichter verderbliche „feuchte Müll“ häufiger abgeholt wird als der „trockene Müll“. Auch der „trockene Müll“ darf nur für kurze Zeit in den Häusern verbleiben, denn es entspricht nicht der Kultur der Leute von Estrela, Abfall für längere Zeit im Haushalt anzuhäufen. Die Festlegung von Sammelrouten, Sammelzeiten und Frequenzen könnte auf Grundlage eines im Institut für Entsorgungs- und Deponietechnik der Montanuniversität entwickelten Computerprogrammes erfolgen [99].

- Die direkt im Projekt „Getrennte Sammlung“ mitarbeitenden Mitglieder der Gemeindeverwaltung sollten auch verantwortlich sein für die Motivierung der Bevölkerung mit allen modernen Möglichkeiten der Kommunikation: Radio, Plakaten Broschüren etc. Die Werbekampagne muß die Bedeutung der Getrennten Müllsammlung aufzeigen, sowie die Tage der Müllabfuhr in jedem Ortsteil angeben, und die Art der Abfälle, die in den Säcken mit der Bezeichnung „trockener Müll“ (lixo seco) und „feuchter Müll“ (lixo úmido) getrennt gesammelt worden. Die Erfahrung lehrt, daß all diese Information gut aufbereitet zur Bevölkerung gelangen muß, um Mißverständnisse zu vermeiden, insbesondere im Hinblick auf die Komponenten im „trockenen Müll“ die sich auf: Pappe, Papier, Glas, Metall und Plastik beschränken sollten.
- Die Informationskampagne für die Getrennte Sammlung sollte auch die Schulen erreichen, denn der Einfluß, den Schüler auf ihre Eltern ausüben können, ist wichtig, um die Vortrennung des Mülls bereits im Haushalt anzuregen, aber auch, um das Umweltbewußtsein der Schüler selbst zu stärken. Dieser Prozeß der Umweltbewußtseinsentwicklung in der Schule sollte fortlaufend sein, während die anderen Mittel der Informationskampagne immer dann eingesetzt werden sollten, wenn die Notwendigkeit besteht, die Bereitschaft der Bevölkerung zur Abfalltrennung im Haushalt weiter anzuregen oder zu verbessern.
- Eine Möglichkeit, um die Identifikation der Säcke mit „trockenen Müll“ und mit „feuchten Müll“ zu erleichtern, wäre die farbige Kennzeichnung von Einkaufstüten. Durch Kontakte zu den Supermärkten, insbesondere zu dem größten von Estrela, dem Supermarkt IMEC, könnten diese überzeugt werden, sich am Projekt „Getrennte Abfallsammlung“ zu beteiligen und ihren Kunden Plastiktüten in zwei verschiedenen Farben anbieten: zum einem die weißen, herkömmlichen Plastiktüten für den „feuchten Müll“, zum anderen neue grüne, um darin den „trockenen Müll“ zu sammeln. Ungefähr 95% der Bevölkerung von Estrela nutzt die Plastiktüten von Supermärkten, um darin den Müll auf die Straße zu stellen. Die Unterscheidung in zwei Farben, grün für „trockenen Müll“ (lixo seco) und

weiß für „feuchten Müll“ (lixo úmido), würde die Getrennte Müllsammlung wesentlich erleichtern und auch von der Bevölkerung größere Aufmerksamkeit schon bei der Trennung der Abfälle im Haus verlangen. Die Abgabe weiser und grüner Plastiktüten an den Kunden von Supermärkten würde für diese keine wesentlich höheren Kosten bedeuten. Im Gegenteil, so könnten die Supermärkte noch für sich Werbung machen, indem sie zeigen, daß sie sich an dieser städtischen Kampagne der Mülltrennung beteiligen, um die Stadt von Estrela sauber zu halten und die Umwelt zu schützen..

- Der vorwiegend aus organischen Abfälle bestehende Teil des Mülls, der sogenannte „feuchte Müll“, der rund 70 M-% des gesamten Haushalts-Abfalls ausmacht, würde in den weißen Plastiktüten gesammelt, so wie dies mit den ungetrennten Abfällen bis heute täglich geschieht. Um zu vermeiden, daß auch Batterien in diese Plastiktüten geworfen werden, sollten in den Supermärkten und in den Schulen Behältnisse eingerichtet werden, in denen diese Batterien gesammelt werden könnten, um sie dann später an die Fabrikanten zurückzusenden, so wie dies das Gesetz vorsieht (vgl. Kapitel 2.1.4).
- Alle diese Aktivitäten müßten kontrollierend begleitet werden und gut an die örtlichen Gegebenheiten angepaßt seien, um so eine gute Beteiligung der Bevölkerung sicherzustellen. Vorallem müssen die jeweiligen Abfuhrtermine für den „feuchten Müll“ und dem „trockenen Müll“ pünktlich eingehalten werden.
- Um sicherzustellen, daß die Getrennte Sammlung in Estrela auch in Zukunft fortgeführt wird, und nicht nach einiger Zeit wieder einschläft, sollte sie in einem entsprechenden Ortsgesetz verankert werden.

Wie bereits am Anfang des Kapitels 5.3 festgestellt, ist das politische Interesse und der Wille der Stadtverwaltung von Estrela von größter Bedeutung für eine erfolgreiche Implementierung der Getrennten Sammlung in der Gemeinde.

#### **5.4 Integration der Müll-Sammler („Catadores“)**

Wie berichtet gibt es auch in Estrela, so wie in zahlreichen anderen brasilianischen Städten, die Müllsammler auf den Straßen. Catadores sammeln hauptsächlich Papier und Pappe, aber auch andere Materialien in geringeren Mengen wie Alu-Dosen und PET-Flaschen. In Estrela arbeiten etwa 20 – 25 Catadores. Ihre Anzahl schwankt. Da diese Arbeit völlig unregelt und nicht organisiert ist, wechseln die Müllsammler häufig ihre Arbeit, um hier oder dort mit Gelegenheits-Jobs ein wenig Geld zu verdienen und um dann später vielleicht wieder Altstoffe zu sammeln und zu verkaufen.

Beim Versuch, diesen Müllsammler in Estrela einen festen Arbeitsplatz in der Mülltrennungsanlage anzubieten, wo man Personal braucht, um die recycelbaren Altstoffe aus dem Müll auszusortieren, konnte man feststellen, daß sie nicht an diese Art von geregelter Arbeit gewöhnt waren, sondern vielmehr einem freien Leben ohne feste Arbeitszeiten den Vorzug geben. So haben viele bereits nach kurzer Zeit aufgehört, in der Sortieranlage zu arbeiten, und sind auf die Straße zurückgekehrt, wo sie wie gewohnt wieder mit ihren Karren herumziehen um die „Filet-Stücke“ des Mülls einzusammeln.

Auch konnte man beobachten, daß die Geschäftstüchtigkeit der Catadores, ihr Material selbst als „freie Unternehmer“ gewinnbringend zu verkaufen, diese anregt, mit ihrer gewohnten Tätigkeit fortzufahren. In Estrela gibt es einen Zwischenhandel, der Altstoffe von den Catadores kauft, um sie an die Industrie oder an andere Zwischenhändler weiterzuverkaufen. Der Preis, den diese Vermittler den Müllsammlern zahlen, ist geringer als der Marktpreis für Altstoffe, denn auch sie wollen ihren Gewinn beim Geschäft mit Müll machen.

Auf gewisse Art und Weise schädigt bzw. stört die Tätigkeit der Catadores die geordnete Abfallentsorgung der Gemeinde. Das von ihnen gesammelte Material braucht eine Vortrennung bevor es an den Zwischenhandel verkauft werden kann. Diese Vortrennung wird spontan an zahlreiche Plätzen in der Gemeinde gemacht. Sie erfolgt völlig unkontrolliert und weitgehend desorganisiert, sodaß nichtverwertbare Rückstände ungeschützt zurückbleiben, und somit Umweltschäden verursachen bzw. verursachen können. Auch entstehen so Gefahren für die Gesundheit der Bevölkerung, denn diese „Wilden Abfalltrennplätze“ sind Brutstätten für Ungeziefer. Aber da die Catadores letztlich ihren Lebensunterhalt daraus bestreiten, kann die Stadtverwaltung diese Arbeit aus sozialen Gründen nicht einfach verbieten. Sinnvoll wäre der Versuch, gesicherte Orte für die Altstofftrennung und die Ablagerung der Rückstände bereitzustellen, die die Arbeitsbedingungen der Müllsammler verbessern und damit auch Gefahren für die öffentliche Gesundheit vermeiden können. Dadurch könnten sogar die Einkünfte der Müllsammler erhöht werden, wenn diese in kürzeren Zeiten eine bessere Qualität der zu verkaufenden Altstoffe erzielen.

Folgende Überlegungen erscheinen geeignet, die Lebensverhältnisse der Catadores und gleichzeitig auch die urbane Umweltsituation verbessern zu können:

- Da es nicht sinnvoll ist, die Müllsammler durch einfache Verwaltungsentscheidung zu organisieren, ohne zuvor besser die Lebens- und Arbeitsverhältnisse dieser Personen zu kennen, sollte die Gemeindeverwaltung versuchen, schrittweise eine nachhaltige, sozialverträgliche Struktur zur Integration und Organisation der Catadores aufzubauen.

- Ein erster Schritt, die angestrebte Integration der Müllsammler in das kommunale Abfallentsorgungssystem anzuregen, besteht darin, daß die Stadtverwaltung ihnen geeignete Orte anbietet, an dem sie eine Vorsortierung des von ihnen gesammelten Altstoffmaterials vornehmen können. Die angebotenen Orte müßten so ausgewählt sein, daß die Müllsammler mit ihren Wagen keine zu langen Strecken zurücklegen müssen. Am Ort selbst sollte eine einfache aber gut belüftete Halle für die Sortierung bereitstehen, mit Presse und Containern, um das sortierte Altstoff Material für den Verkauf an die Zwischenhändler genügend lange zwischenlagern zu können, bis der Marktpreis gut ist. Auch sollten sich an diesem Ort Toiletten befinden und ein Container für Sortierrückstände, die letztlich auf die städtische Deponie gelangen sollen.
- Parallel zur Einrichtung dieser Altstoff-Sortier-Inseln müßte die Stadtverwaltung oder NGO's mit trainierten Mitarbeitern versuchen, den Catadores zu verdeutlichen, daß sie ihr Einkommen erhöhen könnten, wenn sie sich in Vereinigungen oder Kooperativen organisieren. Auch ihre Arbeitsbedingungen wären besser und ihre Tätigkeit des Sammelns von Altstoffen aus Abfällen würde von der Gesellschaft mehr geachtet werden und sie wären damit besser in die Gesellschaft integriert.
- Die soziale Betreuung der Müllsammler, sei es durch die Stadtverwaltung selbst, nichtstaatliche Organisationen (NGO's) oder die Kirche, wäre zudem wichtig für die Integration der Müllsammler. Häufig belasten familiäre oder persönlich Probleme diese Personen.
- Wie bereits erwähnt, müssen die Catadores während des Prozesses der Integration auch lernen, in Gruppen zu arbeiten und Entscheidungen in Gruppen und für ihre Gruppe zu treffen. Damit sich ein Zusammengehörigkeitsgefühl entwickeln kann, muß die Stadtverwaltung die Anfangsphase der Gründung einer Kooperative oder Vereinigung unterstützend begleiten, um zu vermeiden, daß sich eine neue Form der Unselbständigkeit und Ausbeutung entwickelt.
- Nach dem Zusammenschluß zur einer Organisation (z.B. Kooperative) könnten die Müllsammler damit beginnen, ihre Produkte wirklich an denjenigen zu verkaufen, der den besten Preis dafür bezahlt. Sodann könnten sie beginnen, ihre Arbeitsbedingungen zu verbessern, etwa dadurch, daß sie eine gemeinsame Müllpresse kaufen, um ihr gesammeltes Material leichter transportieren zu können.

Der Versuch, die Catadores in die Abfallentsorgung der Gemeinde Estrela zu integrieren und sie in einer Vereinigung oder Kooperative zu organisieren stellt eine administrative wie auch soziale Aufgabe für die Stadtverwaltung dar. Zur Zeit sind sie mehr oder weniger geduldete

Konkurrenten der Stadtverwaltung um den verwertbaren, „trockenen Müll“. Nicht nachahmenswert ist der Weg, den die Gemeinde „Carlos Barbosa“, wo die Abfallentsorgung privat organisiert ist, gegangen ist. Um die lästige Konkurrenz loszuwerden, wurden dort die Catadores vor einiger Zeit von der Polizei verjagt.

## **5.5 Pilotversuch zur Optimierung der Abfalltrennung und Behandlung an der Sortieranlage Estrela**

Im Kapitel 3.3, wo die Sortierung und Behandlung der häuslichen Abfälle in Estrela beschrieben und die Funktionsweise der Abfallverwertungsanlage (vgl. Abbildung 3.8) dargestellt wurde, wird auch festgestellt, daß der Trennprozeß und die Anlage nicht effizient sind und im Rahmen dieser Dissertationsarbeit verbessert werden sollten. Ein wesentliches Problem ist der Zustand des z.Z. nicht mehr bzw. noch nicht getrennt gesammelten Abfalls, der zur Sortier- und Behandlungsanlage gelangt: die Abfälle sind so stark vermischt, daß dadurch eine Sortierung auf dem Fließband erheblich erschwert wird.

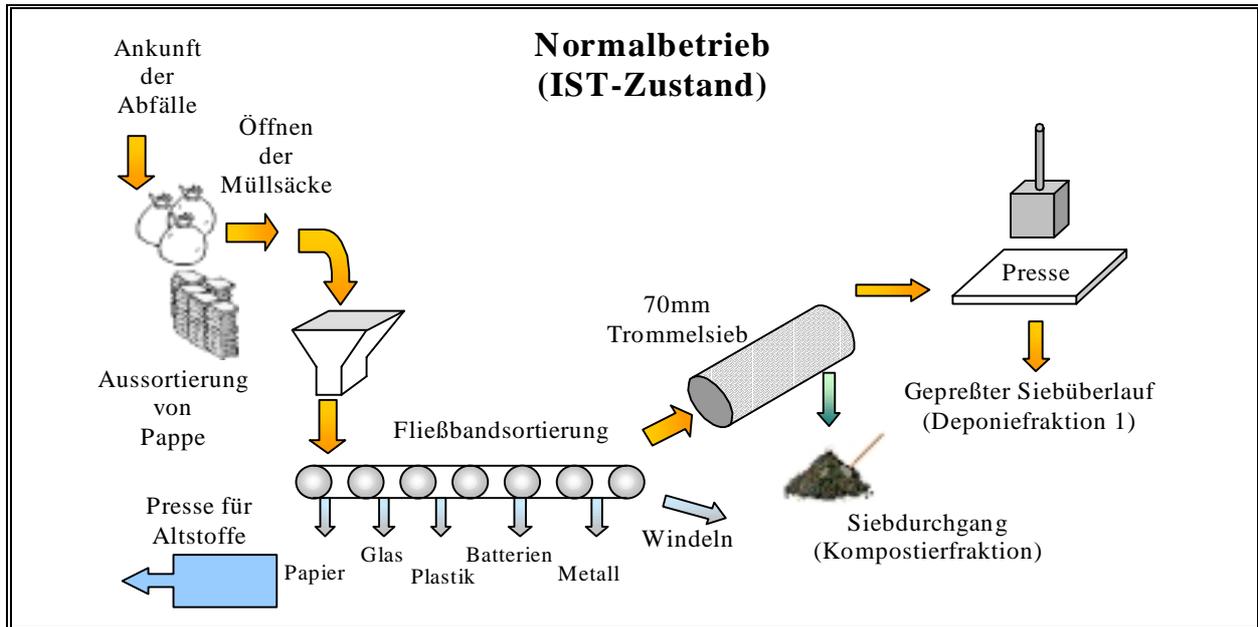
Von dieser IST-Situation, dargestellt in Abb. 3.8 und Abb. 5.5, ist auszugehen. Die Altstoffe, die wiederverwertet werden könnten, sind zusammen mit organischen Abfällen und sonstigen Müllkomponenten in denselben weißen Einkaufs-Plastiktüten. Dies zu verändern, bedarf der „Getrennten Sammlung“, an der früher oder später kein Weg vorbeiführt.

In der Zwischenzeit soll die Sortieranlage von Estrela so optimiert und modifiziert werden, daß damit der verwertbare Anteil im behandelten Abfall steigt und die Menge der zu deponierenden Rückstände sinkt. .

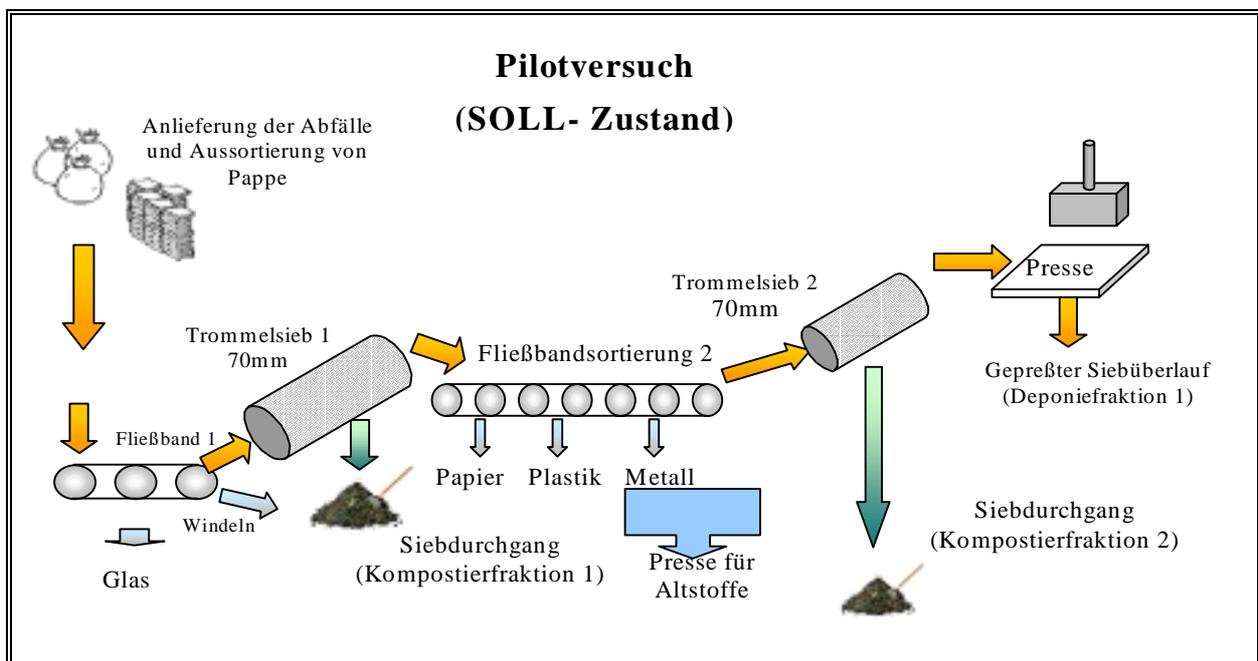
Der technische Ansatz zielt darauf ab, den bei der Anlage eintreffenden Müll zunächst zu klassieren (sieben), bevor er auf das Fließband zur Sortierung gelangt. Gegenwärtig gelangen die Abfälle ohne jegliche Vortrennung auf das Fließband lediglich die Plastiktüten werden mit Hand geöffnet und die größeren Pappkartons ausgesondert. Diese Situation erschwert die nachfolgende manuelle Sortierung auf dem Fließband, da alles vermischt ist und „feuchter Müll“ am „trockenen Müll“ anhaftet und somit nur schlecht oder nicht getrennt werden kann.

Der nachfolgend dargestellte Pilotversuch zur Optimierung und Modifizierung des Sortierprozesses an der Anlage in Estrela wurde unter Mithilfe der dort beschäftigten Arbeiter und unter Nutzung der dort vorhandenen Infrastruktur und Geräte durchgeführt. Zum besseren Verständnis der untersuchten Maßnahmen wird in Abbildung 5.6 und 5.7 die

Funktionsweise (Prozeßschema) der Anlage im Normalbetrieb (IST-Zustand) und während des Pilotversuchs (SOLL-Zustand) dargestellt.



**Abbildung 5.6: Funktionsweise (Prozeßschema) der Sortieranlage von Estrela im Normalbetrieb.**



**Abbildung 5.7: Funktionsweise (Prozeßschema) der Sortieranlage von Estrela während des Pilotversuchs.**

Für den Pilotversuch an der Hausmüll Trenn- und Behandlungsanlage in Estrela wurde, wie bereits im vorangegangenen Abschnitt dargestellt, die verfügbare Infrastruktur der Anlage und die Mithilfe der dort arbeitenden Personen herangezogen. Wie in der Abbildung 5.6 und 5.7 dargestellt, unterscheidet sich der Pilotversuch vom Normalbetrieb (IST-Zustand)

vorallen durch die Vorschaltung eines Trommelsiebs vor der Fließbandsortierung 2. Da es nicht möglich war, das bereits vorhandene, fix montierte Trommelsieb und das Fließband zu demontieren und umzustellen, mußte für die Durchführung des Pilotversuchs der Arbeitsablauf innerhalb der Anlage verändert werden, wie dies nachfolgend beschrieben wird:

- ◆ Zwei Personen öffnen eine Stunde lang die ankommenden Plastiksäcke und sortieren dabei bereits die großen Pappkartons & Pappkisten aus. Diese Arbeit machen die gleichen Personen auch bei Normalbetrieb der Anlage;
- ◆ Nachdem der Müll so vorbereitet auf das Fließband gelangt, sortieren zwei weitere Personen schon Glas und Wegwerfwindeln aus, damit diese beiden Stofffraktionen erst gar nicht in das Trommelsieb gelangen.
- ◆ Das so vorbereitete Material geht durch das Trommelsieb von 70 mm, die Leichtfraktion („trockenen Müll“) als Siebüberlauf von der Kompostierfraktion 1 als Siebdurchgang abgetrennt wird.
- ◆ Der Überlauf des Trommelsieb wird aufgefangen und auf das noch leere Fließband geleitet, wo Mitarbeiter nun die Sortierung so vornehmen, wie dies bei Normalbetrieb auch geschehen würde. Der Siebdurchgang bildet wie bereits erwähnt, die Kompostierfraktion 1.
- ◆ Das auf dem Fließband verbleibende nicht aussortierte Material geht wieder durch das 70 mm Trommelsieb und wird dabei in zwei Fraktionen getrennt: in eine kleinere Menge von kleinen Papierstücken und organischen Abfällen (Kompostierfraktion 2) und in einen größeren Anteil, bestehend aus Plastikmaterial und anderen Stoffen, im Siebüberlauf. Dieser Anteil wird gepreßt (Deponiefraktion 1) und der Deponie zugeführt.

Die Einzelnen Abschnitte dieses Pilot-Prozesses werden in den nachfolgenden Kapiteln näher beschrieben. Dabei werden insbesondere die Veränderungen zum Normalbetrieb kommentiert und bewertet. Der untersuchte Gesamtmassenstrom durch die Pilotanlage beträgt 1.337 kg, was einem Volumen von ca. 8 m<sup>3</sup> entspricht.

### **5.5.1 Grobsortierung zur Abtrennung von Pappe**

Die Aussortierung der groben Pappe wird im Pilotversuch vorgenommen, noch bevor die Abfälle das Fließband 1 erreichen. Dies geschieht wie bei Normalbetrieb der Anlage durch zwei Personen, die die ankommenden Müllsäcke öffnen, um den Inhalt in einen Aufgabe Trichter zu schütten, von wo aus er auf das Fließband fällt. Da die Pappe normalerweise in großen Stücken oder sogar in Form von Kartons anfällt, ist es ratsam, diese vor dem Trichter auszusortieren, damit sie diesen nicht verstopfen.

Dieser Arbeitsschritt weist keine Schwierigkeit auf, und verläuft so wie im Normalbetrieb der Anlage. Insgesamt ist der Anfall von Pappe in der Anlage von Estrela nicht sehr hoch, da die Hauptmenge bereits von den Catadores bei der Straßen-Sammlung entfernt wird. Nach den vorgenommenen Untersuchungen liegt er zwischen 1 und 1,5 M-% des angelieferten Abfalls.

Die während des Pilotversuchs ausgesonderte Pappe wurde gewogen, um diesen Wert in die Stofffluß-Bilanzierung miteinzubeziehen. Es waren 17 kg oder 1,27 M-%.

### **5.5.2 Vorabtrennung von Glasflaschen und Windeln**

Da -wie bereits erwähnt- ein weitgehender Umbau der Anlage im Pilotversuch nicht möglich war, wurden alle übrigen Abfälle nach Öffnen der Plastik-Mülltüten zunächst auf dem Fließband 1 belassen und dort nur Glas und die Wegwerfwindeln aussortiert. Die schon geöffneten Plastiksäcke wurden in diesem Arbeitsschritt total entleert, um zu gewährleisten, daß dem 70 mm Trommelsieb am Ende des Fließbandes der Abfall in für die Klassierung zugänglicher Form zugeführt wird.

Bei der Aussortierung von Glas traten kleinere Probleme auf. Ab und zu erreichte der Abfall auf dem Fließband eine Höhe von 20- bis 30 cm. In solchen Extremfällen der Sortierbandüberladung kann es vorkommen, daß einzelne Glasstücke oder sogar Flaschen passieren, ohne daß der Aussortierende dies bemerkt. Gelangen sie so in das 70 mm Trommelsieb an Ende des Sortierbandes, so zerbrechen sie dort häufig in noch kleinere Teile und gelangen so mit dem organischen Siebdurchgang zur Kompostierung. Aber ungeachtet dessen, war die Ausbeute der Glas-Fraktion insgesamt zufriedenstellend. Während des Pilotversuchs konnten 16 kg, entsprechend 1,2 M-% dieses Materials, aussortiert werden.

Wegwerfwindeln wurden ebenfalls vorher aussortiert, bevor der nun offen vorliegende Abfall in das 70mm Trommelsieb gelangte. Dort würden sie das Alastoffmaterial, das am Fließband 2 aussortiert werden soll, nur verschmutzen. Diese Arbeit geschah ohne größere Probleme, denn die Windeln sind aufgrund ihrer Form und ihrer Größe leicht zu identifizieren. Während des Pilotversuchs wurden 13 kg aussortiert. Dies entspricht einem Anteil von 0,97 M-% am gesamten Sortiergut. Zur Zeit gelangen diese Windeln mit den organischen Siebdurchgang noch zur Kompostierung.

Ein Hauptanliegen des Pilotversuch war die Vorsortierung bestimmter Materialien, bevor der Großteil des Sortiergutes das 70mm Trommelsieb erreicht. Es sollte Pappe, Glas und Windeln vorher aussortiert werden, wozu es zwei Möglichkeiten gibt: die eine wäre, wie im

Pilotversuch geschehen, ein Fließband vor dem Trommelsieb zu schalten. Es könnte kurz sein, aber von angemessener Breite, damit das Sortiergut nicht aufgehäuft wird und unsortiert passiert. Die andere Alternative wäre, alle ankommenden Müllsäcke auf einem gesondert eingerichteten Sortiertisch zu öffnen, die Vorsortierung dort vorzunehmen und die verbleibenden Abfälle von dort dem 70 mm Trommelsieb zuzuführen. Hier würde dann zunächst die Kompostierfraktion 1 als Siebdurchgang vom Siebüberlauf, der auf dem nachfolgenden Fließband aussortiert wird, getrennt. Eine weitere Möglichkeit wäre, auf die Vorsortierung zu verzichten und den anfallenden Müll direkt auf ein spezielles Trommelsieb mit Haken-Vorrichtung aufzugeben, in der auch die Öffnung und Entleerung der Müllsäcke und Abfalltüten erfolgt. Die würde zwei Arbeitskräfte einsparen, hätte aber den Nachteil, daß der Großteil der Glasflaschen im Trommelsieb zerbricht und die Scherben danach in den Siebdurchgang und damit in die Kompostierfraktion 1 gelangen.

### **5.5.3 Trommelsieb # 1 zur Trennung: Sortierfraktion / Kompostierfraktion 1**

Dies entspricht der Anlagenkonfiguration: „Klassierung vor Sortierung“. Wie in den Kapiteln 5.5.1 und 5.5.2 beschrieben, gelangen die Abfälle im Pilotversuch so zum 70 mm Trommelsieb, daß die Müllsäcke (Plastik-Einkaufstüten) bereits aufgerissen und geöffnet sind, Pappe, Glas und Windeln schon aussortiert, und nur die verbleibenden Abfälle noch gesiebt werden müssen. Da man aufgrund von Voruntersuchungen weiß, daß der Anteil der organischen Fraktion in den häuslichen Abfällen von Estrela relativ hoch ist (d.h. zwischen 65 - 70 M-%), war zu erwarten, daß durch den Siebvorgang eine deutliche Entlastung des Sortierbandes resultieren wird, da im Siebüberlauf im wesentlichen nur mehr der „trockene Müll“, d.h. die Leichtfraktion vorhanden sein sollte.

Der Pilotversuch hat gezeigt, daß tatsächlich ein Großteil der biogenen Abfälle durch das 70 mm Trommelsieb abgetrennt wurde. Im Siebdurchgang findet man die Essensreste, Fruchtschalen, die Fetzen von Toilettenpapier und andere kleine Papier- und Plastikstücke, insgesamt wogen diese zusammen 1.010 kg. Dies sind 75,53 M-% des Gesamtgewichts des hier bilanzierten Abfalls. Betrachtet man den Anteil, der nicht ausgesiebt wurde, d.h. den ans Sortierband gelangenden Siebüberlauf, so ist dieser verhältnismäßig klein. Addiert man zu den vorgenannten 75,53 M-%, die 1,27 M-% für Pappe, die 1,20 M-% für Glas und die 0,97 M-% für die Windeln, so ergibt dies einen Wert von 78,97 M-%. Dies bedeutet, das im beschriebenen Pilotversuchs nur 21,03 M-% des Gesamtgewichts der angelieferten Abfälle für die Sortierung auf den Fließband verbleiben. Dadurch wird zunächst einmal sichergestellt, daß das Sortierband 2 nicht überladen wird.

Innerhalb der ausgesiebten organische „Kompostierfraktion 1“ konnte ein erhöhter Anteil von Zitruschalen festgestellt werden. Der Pilotversuch wurde im Juli durchgeführt und in diesem Monat ist die Zitrusfrucht Ernte in der Region von Estrela. Da diese Schalen relativ schwer sind, beeinflusst dies das Gewicht der Kompostierfraktion 1, die beim ersten Versuchsdurchgang einen Anteil von 75,53 M-% erreichte. Bei einer zweiten Siebung erhöhte sich dieser Wert auf 78,75 M-%. So gelangten, schließt man in diesen Anteil auch die Windeln ein, letztlich 79,72 M-% aller Abfälle als organische Fraktion zur Kompostierung. Dies ist ein für Estrela bemerkenswert hoher Wert, der sich aber durch die Jahreszeit hinreichend erklärt.

Ein anderes Faktum, dem man im Funktionsablauf der Anlage Bedeutung schenken muß, sind die im angelieferten Abfall enthaltenen Batterien von Elektro- und Elektronik-Geräte. Sie werden in einer nicht sehr wirkungsvollen Weise händisch aussortiert, bevor der Abfall das Trommelsieb erreicht. Bei einer Maschenweite von 70 mm fallen dieser Batterien durch das Trommelsieb und finden sich dann im Siebdurchgang 1 wieder, der für die Kompostierung bestimmt ist. Da im Normalbetrieb (IST-Zustand) die Aussortierung -wie erwähnt- nicht sehr wirkungsvoll ist, gelangen diese Problemstoffe (gefährliche Abfälle) in relativ großer Anzahl mit der organischen Fraktion zur Kompostierung. Im beschriebenen Pilotversuch wurde eine Person mit ihrer Aussortierung am Band 1 betraut, bevor die Abfälle in das Trommelsieb gelangten. Aber auch dies hatte keine große Wirkung, denn die Batterien sind klein und schwer aufzufinden und somit schlecht aussortierbar. Eine Lösung dieses Problems wäre die getrennte Problemstoffsammlung in besonderen Behältern. Diese Behälter könnten in Schulen, Geschäften und an anderen strategisch günstigen Orten in der Gemeinde aufgestellt werden. Von dort aus müßten sie zurück zu ihrem Hersteller gelangen, wie dies nach der geltenden Gesetzgebung vorgesehen ist (vgl. Kapitel 2.1.4) und bereits auch in dieser Arbeit erörtert wurde (vgl. Kapitel 5.3).

Um die Zusammensetzung des 70mm Trommelsieb-Durchgangs (Kompostierfraktion 1) eingehend zu untersuchen, wurden Proben entnommen. Diese wurden im Labor des Instituts für Entsorgung- und Deponietechnik der Montanuniversität Leoben / Österreich analysiert. Die untersuchten Parameter und deren Ergebnisse sind in Tabelle 5.1. dargestellt. Der gemessene pH - Wert von 6,82 ist etwas höher als der entsprechende Wert von 5,0, den man in der brasilianischen Literatur hierüber findet [91; 36]. Der hier festgestellte Wert gilt für die organischen Abfälle des Pilotversuches, die zur Kompostierung gelangten. Der pH – Wert des fertigen Kompostes selbst ist neutral oder fast neutral.

**Tabelle 5.1: Untersuchte Parameter und Meßwerte für den 70mm Siebdurchgang (Kompostierfraktion 1) des Pilotversuches ESTRELA.**

Kompostierfraktion 1				
Parameter	Kurzbezeichnung	Meßwert	Einheit	Meßbereich
pH-Wert im Eluat	pH	6,82	-	1-14
Blei	Pb	200,6	mg/kg TS	ab 5 mg/kg
Cadmium	Cd	0,962	mg/kg TS	ab 0,5 mg/kg
Chrom gesamt	Cr	124,9	mg/kg TS	ab 4 mg/kg
Kupfer	Cu	351,4	mg/kg TS	ab 4 mg/kg
Quecksilber	Hg	<0,5	mg/kg TS	ab 0,5 mg/kg
Zink	Zn	255,5	mg/kg TS	ab 125 mg/kg
Gesamter organisch gebundener Kohlenstoff (Feststoff)	TOC	324.000 (32,4)	mg/kg TS (%)	ab 1,3 mg C
Wassergehalt	WG	62,22	%	-
Glühverlust	GV	72,87	%	>0,4%
elektrische Leitfähigkeit im Eluat	eL	4,03	mS/cm	1-2000 mS/cm
Abdampfrückstand im Eluat	ADR	4.983	mg/l	-

Tabelle 5.1 zeigt, daß die Kompostierfraktion wie erwartet auch höhere Gehalte an Schwermetalle aufweist . Es ist nicht Gegenstand dieser Arbeit, die Herkunft dieser Elemente zu untersuchen. Aber die Präsenz von kleinen Plastikteilen, Buntpapier, Leder, Textilien, Cremes und Reinigungsmitteln könnte eine der Ursachen für das Vorhandensein von Schwermetallen sein. Zudem wurden auch Batterien in der Kompostierfraktion aufgefunden. Alle aufgefundenen Batterie waren zwar noch weitgehend intakt, nicht aufgerissen oder oxydiert. Diese Situation verändert sich, wenn die Batterien mit den organischen Komponenten zur Kompostierung gelangen und dort längere Zeit verbleiben, wie dies im Kapitel 5.6. gezeigt wird.

#### 5.5.4 Hauptband zur Sortierung der Altstoffe

Hier kann man wie erwartet die größten Unterschiede zwischen den Normalbetrieb (IST-Zustand) und dem Pilotversuch feststellen. Wie bereits im Kapitel 5.5.3 beschrieben, ist der Anteil des Überlaufs, also der auf das Sortierband gelangenden Abfälle, 21,03 M-% des Gesamtgewichts des bilanzierten Abfalls. Die Altstoffe enthaltende Leichtfraktion gelangt danach auf das Fließband 2 und dort werden die wiederverwertbaren Altstoffe ausgesondert.

Der Siebüberlauf setzt sich aus folgenden Materialien zusammen: Plastikfolien, Hart-Plastik, Fe-Metalle, Papier, Zeitungen, Tetrapak-Verpackungsmaterial (Verbundstoffe) und aus einem kleinen Anteil von Aluminium (NE-Metall). Das restliche Material, das am Sortierband

2 zurückbleibt, wurde erneut bei 70mm Maschenweite gesiebt. Dieser Prozeß-Schritt wird im Kapitel 5.5.5 näher beschrieben.

Bei der Bandsortierung zeigt sich der deutliche Unterschied zum herkömmlichen System (IST-Zustand). Im Pilotversuch, bei dem die organischen Komponenten bereits vorher weitgehend ausgesiebt werden, kommt für die manuelle Aussortierung nur die Leichtfraktion aus dem Überlauf auf das Sortierband. Der Zustand, in dem sich die Abfälle bei der Bandsortierung befinden, ist sichtbar anders, d.h. viel besser. Abbildungen 5.8 zeigt dies deutlich. Das aus dem Siebüberlauf auf das Fließband gelangende Material ist für die Sortierung in einem wesentlich besseren Zustand als das nicht mit dem Trommelsieb vorgetrennte Material.

Dieser hier bildlich aufgezeigte Unterschied wird von den Arbeitern, die den Abfall sortieren, sehr begrüßt, denn das modifizierte System des Pilotversuches bewirkt, daß auf dem Fließband fast nur Altstoffe verbleiben, die wiederverwertbar sind und somit relativ einfach aussortiert werden können. Dies erzeugt zum einen größte Zufriedenheit und Motivation bei den Arbeitern, da die hygienischen Bedingungen wesentlich verbessert und die Arbeit im Vergleich zum herkömmlichen System (IST-Zustand) erleichtert wird. Zum anderen steigt damit auch die Qualität (bzw. die Reinheit) der aussortierten Altstoffe.



**Abbildung 5.8:** Zustand des zur Bandsortierung gelangenden Materials im herkömmlichen System und im Pilotversuch.

Da im Pilotversuch nur mehr der ca. 21 M-% ausmachende Siebüberlauf aufs Sortierband gelangt, ist dieses bei weitem nicht mehr so überladen wie im Normalbetrieb (IST-Zustand).

Man kann auch feststellen, daß beim modifizierten System die Gefahr, sich zu verletzen, zu schneiden oder zu stechen, (z.B. mit den Injektions- Spritzen aus der Eigenbehandlung oder mit Glasscherben), wesentlich reduziert ist. Viele diesen gefährlichen Objekte fielen durch das 70 mm Trommelsieb und befinden sich nun nicht mehr in der Sortierfraktion. Beim herkömmlichen System, bei dem die Mitarbeiter mit den Händen in den aufgehäuften Abfällen auf dem Fließband arbeiten, um wiederverwertbare Produkte auszusortieren, ist durch die Überladung des Bandes die entsprechende Verletzungsgefahr sehr groß.

### **5.5.5 Trommelsieb # 2 zur Trennung: Deponiefraktion 1 / Kompostierfraktion 2**

Mit dem Ziel, festzustellen, welche Restmengen an kompostierbaren Material sich nach der Sortierung noch auf dem Band befinden, wird das verbliebene Material im Pilotversuch noch einmal durch ein 70 mm Trommelsieb klassiert. Der Anteil, der beim 2. Siebvorgang nun den Überlauf bildet, wird als Deponiefraktion 1, der Anteil der jetzt durch das Trommelsieb fällt, als Kompostierfraktion 2 bezeichnet.

Die Kompostierfraktion 2 setzt sich im wesentlichen aus kleinen Papier- und Plastikstücken zusammen und aus einigen, aber wenigen organischen Abfällen, die nicht bereits bei der ersten Siebung als Kompostierfraktion 1 entfernt worden sind. Die Masse der ausgesiebten Kompostfraktion 2 beträgt 43 kg und repräsentiert damit einen Anteil von nur 3,22 M-% am Gesamtgewicht. Dies belegt, daß der größte Anteil organischer Abfälle wie beabsichtigt bereits beim ersten Siebvorgang ausgesiebt werden konnte.

Wie bereits mit der Kompostierfraktion 1 geschehen (vgl. Kapitel 5.5.3) wurde auch die chemische Zusammensetzung der Kompostierfraktion 2 in gleicher Weise analysiert. Dabei kann festgestellt werden, siehe Tabelle 5.2, daß sich die Ergebnisse dieser Analysen im Schwermetallgehalt (höhere Gehalte für Pb und Cr, niedrigere für Cd, Cu und Zn) von jenen der Kompostierfraktion 1 unterscheiden. Auch hinsichtlich des pH – Wertes gibt es einen Unterschied: der Wert im Eluat der Kompostierfraktion 1 beträgt 6,82, der aus der Kompostierfraktion 2 nur 5,79, und entspricht damit besser der brasilianischen Literatur [91, 36].

**Tabelle 5.2: Untersuchte Parameter und Meßwerte für die Kompostierfraktion 2, die bei der zweiten Siebung durch das 70 mm Trommelsieb anfällt.**

Kompostierfraktion 2				
Parameter	Kurzbezeichnung	Meßwert	Einheit	Meßbereich
pH-Wert im Eluat	pH	5,79	-	1-14
Blei	Pb	443,9	mg/kg TS	ab 5 mg/kg
Cadmium	Cd	<0,5	mg/kg TS	ab 0,5 mg/kg
Chrom gesamt	Cr	137,2	mg/kg TS	ab 4 mg/kg
Kupfer	Cu	34,32	mg/kg TS	ab 4 mg/kg
Quecksilber	Hg	<0,5	mg/kg TS	ab 0,5 mg/kg
Zink	Zn	148,7	mg/kg TS	ab 125 mg/kg
Gesamter organisch gebundener Kohlenstoff (Feststoff)	TOC	522.000 (52,2)	mg/kg TS (%)	ab 1,3 mg C
Wassergehalt	WG	49,33	%	-
Glühverlust	GV	89,81	%	>0,4%
elektrische Leitfähigkeit im Eluat	eL	3,58	mS/cm	1-2000 mS/cm
Abdampfrückstand im Eluat	ADR	6.653	mg/l	-

Der 2. Siebüberlauf, hier als Deponiefraction 1 bezeichnet, setzt sich aus stark verschmutzten oder nicht aussortierfähigen Plastikstücken zusammen, aus vielschichtigen Verpackungsmaterial (Verbundmaterial), das sich nicht für die Verwertung eignet, aus Textilien, alten Schuhen und anderen, leichten Abfällen. Diese Reststoffe werden gepreßt, gewogen und danach der Deponie zugeführt. Ihre Masse betrug 90 kg, was einem Prozentanteil von 6,73 M-% am Gesamtgewicht ausmacht. Auch hier wurden Proben gezogen und am Institut für Entsorgungs- und Deponietechnik der Montanuniversität Leoben analysiert, wie in der Tabelle 5.3 dargestellt.

**Tabelle 5.3: Untersuchte Parameter und Meßwerte für die Deponiefraction 1, die bei einer zweiten Siebung durch das 70 mm Trommelsieb im Überlauf verbleibt.**

Deponiefraction 1				
Parameter	Kurzbezeichnung	Meßwert	Einheit	Meßbereich
pH-Wert im Eluat	pH	6,40	-	1-14
Blei	Pb	345,2	mg/kg TS	ab 5 mg/kg
Cadmium	Cd	2,02	mg/kg TS	ab 0,5 mg/kg
Chrom gesamt	Cr	167,6	mg/kg TS	ab 4 mg/kg
Kupfer	Cu	63,12	mg/kg TS	ab 4 mg/kg
Quecksilber	Hg	<0,5	mg/kg TS	ab 0,5 mg/kg
Zink	Zn	237,2	mg/kg TS	ab 125 mg/kg
Gesamter organisch gebundener Kohlenstoff (Feststoff)	TOC	487.000 (48,7)	mg/kg TS (%)	ab 1,3 mg C
Wassergehalt	WG	34,45	%	-
Glühverlust	GV	92,81	%	>0,4%
elektrische Leitfähigkeit im Eluat	eL	2,28	mS/cm	1-2000 mS/cm
Abdampfrückstand im Eluat	ADR	3.780	mg/l	-
Brennwert (oberer Heizwert)	Ho	24.714	kJ/kg TS	-
Chlor in Feststoffen (IKA-Aufschluß)	Cl	6.974	mg/kg TS	ab 20 mg/kg

Auffallend ist der relativ hohe Gehalt an Cd und Cl, der auf das Vorhandensein größerer Mengen an Hart-PVC hinweist. Der hohe Glühverlust und entsprechend hohe Brennwert, zusammen mit dem gemessenen TOC-Gehalt von über 48% zeigt, daß es sich hier um eine energetisch verwertbare Leichtfraktion handelt, die nicht auf die Deponie gelangen sollte.

Es gibt in Brasilien derzeit noch keine gesetzliche Regelung für zulässige Höchstwerte (z.B. Schadstoffe, TOC-Wert, Brennwert oder Glühverlust) von Abfällen, die auf die Deponie gelangen. Laut der in Österreich gültigen Deponieverordnung [92] wäre es ab dem Jahr 2004 nicht mehr möglich, die im Pilotversuch Estrela anfallende Deponiefraktion 1 auf einer Deponie abzulagern, da die Parameter TOC (48,7%), Glühverlust (92,8%) und Brennwert (24,7 MJ/kg TS) hochsignifikant über den entsprechenden Grenzwerten liegen. Gegenwärtig gibt es aber in Estrela noch keine energetische Verwertungsmöglichkeit für die heizwertreiche Leichtfraktion, d.h. das Material muß auf der Deponie zwischengelagert werden.

### 5.5.6 Abfallzusammensetzung und Massenbilanzierung für den Pilotversuch

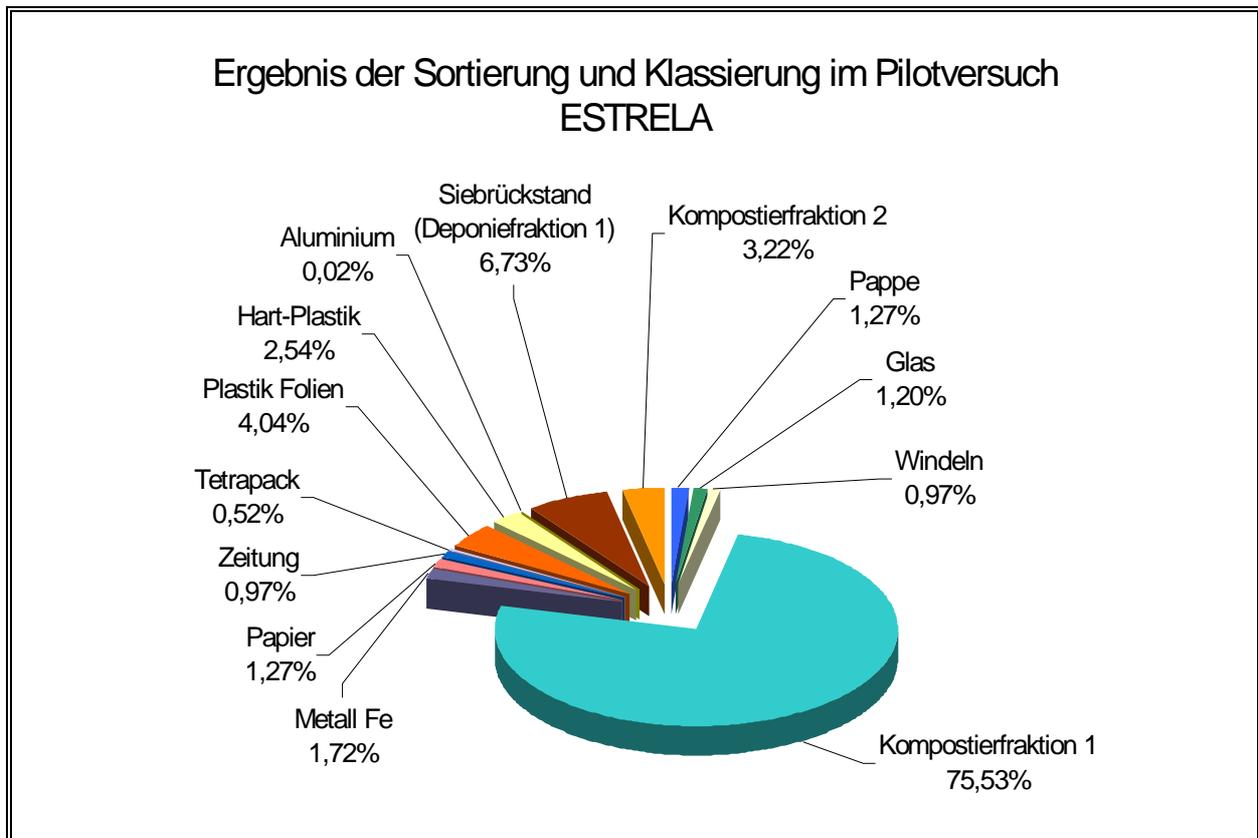
Um den Stofffluß im Pilotversuch ESTRELA zu charakterisieren, wird für die untersuchten bzw. bilanzierten 1.337,20 kg Abfälle das Ergebnis der Klassierung und Sortierung in Abbildung 5.9 nochmals übersichtlich dargestellt. Diese zeigt den Prozentanteil (M-%) aller Fraktionen auf, die in der Pilotanlage getrennt wurden (wiederverwertbare Altstoffe, Kompostierfraktion 1 und 2 sowie Deponiefraktion 1). Deponiefraktion 2, die bei der nachfolgenden 10 mm Siebung des Rohkomposts als Siebrückstand anfällt, ist in Abbildung 5.9 nicht explizit dargestellt.

Der Gesamtanteil der vor der ersten 70mm Siebung aussortierten Materialien beträgt **3,44 M-%**. Er setzt sich wie folgt zusammen: 1,27 M-% Pappe, 1,20 M-% Glas und 0,97 M-% Windeln.

Der Gesamtanteil des bei der ersten 70mm Klassierung ausgesiebten Materials, der Kompostfraktion 1, beträgt **75,53 M-%**.

Die Materialien, die als Sieb-Überlauf auf das Sortierband gelangen und dort aussortiert wurden, stellen einen Anteil von **11,08 M-%** dar, verteilt auf 1,72 M-% Fe-Metalle, 1,27 M-% Papier, 0,97 M-% Zeitungen, 0,52 M-% Tetrapak-Verpackungen, 4,04 M-% Plastikfolien, 2,54 M-% Hartplastikstoffe und einem Aluminiumanteil von 0,02 M-%.

Der zweite 70mm Siebvorgang trennt eine Kompostierfraktion 2 mit **3,22 M-%** von einem Siebrückstand (Deponiefraktion 1), mit **6,73 M-%**.



**Abbildung 5.9: Prozentualer Anteil der einzelnen Abfallfraktionen, die während des Pilotversuch angefallen sind (Angaben in Massenprozent).**

Die Abbildung 5.9 zeigt, daß der Gesamtanteil aller aussortierten, verwertbaren Altstoffe insgesamt 13,55 M-% vom angelieferten Hausmüll beträgt. Dieser Wert mag gering erscheinen, es muß aber berücksichtigt werden, daß durch die bereits zuvor erfolgte Straßensammlung durch die Catadores die Filet-Stücke des Abfalls (Alu-Dosen, Pappe, PET-Flaschen etc.) ausgeklaut werden.

Der relativ hohe Wert von 79,72 M-% für die Kompostierfraktion wurde bereits im Kapitel 5.5.3 erörtert. Im Verhältnis des verbleibenden Restabfalls bzw. Siebrückstandes (6,73 M-% im Pilotversuch und 13% M-% im herkömmlichen System), der auf die Deponie gelangt, zeigt sich deutlich der Vorteil des modifizierten Systems. D.h. der Anteil der nichtverwerteten Abfälle, die direkt auf der Deponie abgelagert werden, hat sich beim modifizierten System halbiert.

## 5.6 Versuche zur Kompostierung

Die vorausgegangene Sortier-Analyse der häuslichen Abfälle von Estrela hat gezeigt, daß der Anteil der organischen Abfälle (Kompostierfraktion) im Durchschnitt bei etwa 65-70 % liegt. Dieser Wert schwankt leicht in Abhängigkeit von der Jahreszeit. Angesichts des hohen Anteils an biogenen Stoffen und den bestehenden technischen Problemen der Anlage hinsichtlich der Behandlung der organischen Rückstände, trug es sich an, die Kompostierung der Abfälle im Rahmen dieser Arbeit zu untersuchen und Verbesserungsvorschläge für die Anlage von Estrela zu erstellen.

Im Kapitel 3.3 wurde beschrieben, wie die Kompostierung zur Zeit erfolgt. Dabei wurde aufgezeigt, daß das offensichtliche Hauptproblem die vollkommen unzureichende Belüftung der turmartig aufgehäuften Mieten ist, die zu einer starken Verzögerung des aeroben Abbaus führt. Noch 6 Monate nach Beginn der Kompostierung konnten Temperaturen von bis zu 60°C in einer Mietentiefe von 100 cm festgestellt werden. Um den Kompostiervorgang zu verbessern, wurden drei Versuche ausgeführt, bei denen die organischen Rückstände genutzt wurden, die durch das 70 mm Trommelsieb fielen. Dieses Material wurde in Form einer klassischen Dreiecksmiete (Höhe = 1,2 bis 1,6 m, Breite = 1 bis 1,5 m, Länge = 3,5 bis 4 m) aufgeschüttet und durch Umsetzen (bzw. Umschaufeln) belüftet.

Nachfolgend werden diese drei Versuchsansätze je in einem eigenen Kapitel beschrieben und dabei wird näher auf die Verweilzeit, die Temperatur und das letztlich erzeugte Endprodukt eingegangen.

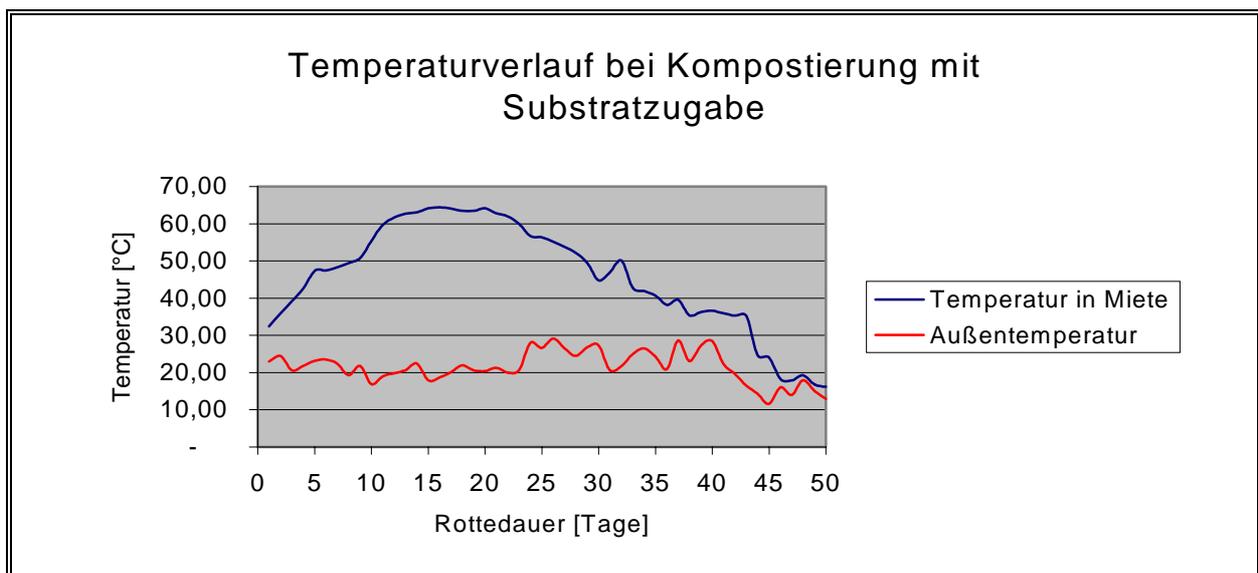
### 5.6.1 Kompostierversuch mit Substratzugabe

Die Gegend des Tals von Taquari (Vale do Taquari), in der die Gemeinde Estrela liegt, ist eines der größten Schweineproduktions-Gebiete in Brasilien. Folglich gibt es in dieser Region auch einen erhöhten Anfall an Gülle (Schweinemist). Der große Anfall von Schweine Gülle führt häufig zu Entsorgungsproblemen bei den Schweinezüchtern. Wie beschrieben wurde diese Gülle als Substrat bei der Kompostierung eingesetzt um herauszufinden, welche Auswirkungen diese Substratzugabe auf den Verlauf der Kompostierung und so letztlich auf die Kompost-Qualität hat.

Für diesen Versuch wurden 1.240 kg (bzw. entsprechend 2,1 m<sup>3</sup>), ausgesiebte organische Abfälle (d.h. Siebdurchgang < 70 mm) sowie 200 Liter Schweinemist in halbflüssigem Zustand eingesetzt. Das Gesamtmaterial wurde vermischt und in Form einer dreieckigen Miete aufgehäuft, in einer Breite von 1,0 Meter, einer Länge von 3,5 Metern und einer Höhe

von 1,2 Metern. Um den Versuch gegen Regen zu schützen und um die Feuchtigkeit (ca. 50%) besser kontrollieren zu können, wurde diese Miete mit einer durchsichtigen Holzkonstruktion mit einer Plastikfolie abgedeckt. So ähnelte sie einem Treibhaus.

Zweimal pro Woche wurde die Miete mit einer Gabel kräftig umgeschichtet, um das Material für den Prozeß der Kompostierung gut zu belüften und zu lockern. Die Temperaturen außerhalb der Miete sowie an drei verschiedenen Punkte im Kompostmaterial selbst wurden täglich gemessen. In der Abbildung 5.10 sind die Temperaturkurven (Außentemperatur und Innentemperatur) dargestellt, die während des Versuches gemessen wurden.



**Abbildung 5.10: Temperaturkurven der Kompostierung bei Zugabe von Schweinegülle.**

Die Abbildung zeigt, daß die Temperatur bereits nach 10 Tagen die thermophile Phase erreicht hat und sie in diesem Bereich weitere 15-25 Tage verblieb, um dann allmählich auf die mesophile Phase und danach auf normale Umgebungstemperatur abzusinken. Nach ca. 50 Tagen war der aerobe Prozeß der Kompostierung des organischen Materials abgeschlossen. Dieser Zeitraum ist deutlich geringer, als zu Beginn des Versuches erwartet worden war. Anfänglich ging man von 10 bis 12 Wochen oder 70 – 84 Tagen für den Kompostierungsvorgang aus.

Die hauptsächlichen Gründe für diese Verkürzung der Rottezeit auf 50 Tagen sind: das kompostierte Material wurde konstant bei einer Feuchtigkeit von 50% gehalten und zur besseren Belüftung zweimal wöchentlich umgeschichtet und aufgelockert. Zudem ist bei Zugabe von Schweinegülle mit einer verkürzten LAG-Phase durch Inokkulierung zu rechnen. In einem Parallelversuch, der im Kapitel 5.6.2 beschrieben wurde, kann man allerdings keine

großen Unterschiede hinsichtlich der Rottedauer oder das Temperaturverlaufs feststellen. Dieser Parallelversuch wurde ohne die Zugabe von Schweinegülle ausgeführt.

Nach 50 Tagen wurde der Kompost gewogen. Sein Gewicht betrug 591 kg oder 47,66% des Ausgangsgewichts von 1.240 kg. Der Rotte- und Wasserverlust während des Kompostierungsprozesses beträgt also 52,34 M-%. Dabei sind die 200 Liter Schweinegülle nicht berücksichtigt.

Im Folgenden wurde das Rotteprodukt einem 10 mm Trommelsieb zugeführt, um so den eigentlichen Kompost vom Siebüberlauf (Rejekt bzw. Deponiefraktion 2) zu trennen. Auf diese Trennung wird im Kapitel 5.6.4 näher eingegangen. In Tabelle 5.4 wird die chemische Zusammensetzung des gesiebten Kompostes angeführt. Proben des Kompostes wurden im Labor des Instituts für Entsorgungs- und Deponietechnik an der Montanuniversität Leoben in Österreich analysiert.

**Tabelle 5.4: Untersuchte Parameter und Analysenwerte für den Frischkompost bei Substratzugabe .**

Kompost bei Substratzugabe				
Parameter	Kurzbezeichnung	Meßwert	Einheit	Meßbereich
pH-Wert im Eluat	pH	7,77	-	1-14
Blei	Pb	136,5	mg/kg TS	ab 5 mg/kg
Cadmium	Cd	0,943	mg/kg TS	ab 0,5 mg/kg
Chrom gesamt	Cr	232	mg/kg TS	ab 4 mg/kg
Kupfer	Cu	209,9	mg/kg TS	ab 4 mg/kg
Quecksilber	Hg	<0,5	mg/kg TS	ab 0,5 mg/kg
Zink	Zn	500,3	mg/kg TS	ab 125 mg/kg
Gesamter organisch gebundener Kohlenstoff (Feststoff)	TOC	222.000 (22,2)	mg/kg TS (%)	ab 1,3 mg C
Wassergehalt	WG	42,18	%	-
Glühverlust	GV	41,95	%	>0,4%
elektrische Leitfähigkeit im Eluat	eL	3,12	mS/cm	1-2000 mS/cm
Abdampfdruckstand im Eluat	ADR	3.225	mg/l	-
Kohlenstoff	C	21,1	%	
Stickstoff	N	1,68	%	
Wasserstoff	H	2,56	%	
Schwefel in Feststoffen IKA-Aufschluß)	S	1.575	mg/kg TS	ab 20 mg/kg
Phosphor gesamt	P	6.564	mg/kg TS	

Das Analysenergebnis zeigt, daß die Meßwerte der untersuchten Parameter innerhalb des Bereichs von Müllkomposten liegen. Die Meßwerte der Schwermetalle sind etwas erhöht, wenn die entsprechenden Grenzwerte der Europäischen Union [93] als Vergleich

herangezogen werden. Eine brasilianische Gesetzgebung hierzu fehlt noch. In der Tabelle 5.5 werden die gemessenen Werte mit den Grenzwerten der Europäischen Gemeinschaft und der dort vorgegebene Klassifizierung der Kompostqualität verglichen.

**Tabelle 5.5: Schwermetall-Grenzwerte für Kompost nach den Richtlinien der Europäische Union [93] und Meßwerte des Kompostes aus dem Versuch mit Substratzugabe.**

Parameter	Kompost			Werte für den Kompost von Estrela
	Klasse 1	Klasse 2	Klasse 3	
Cd (mg/kg TS)	0,7	1,5	3	0,943
Cr (mg/kg TS)	100	150	300	232
Cu (mg/kg TS)	100	150	300	209,3
Hg (mg/kg TS)	0,5	1	2	<0,5
Pb (mg/kg TS)	100	150	250	136,5
Zn (mg/kg TS)	200	400	600	500,3

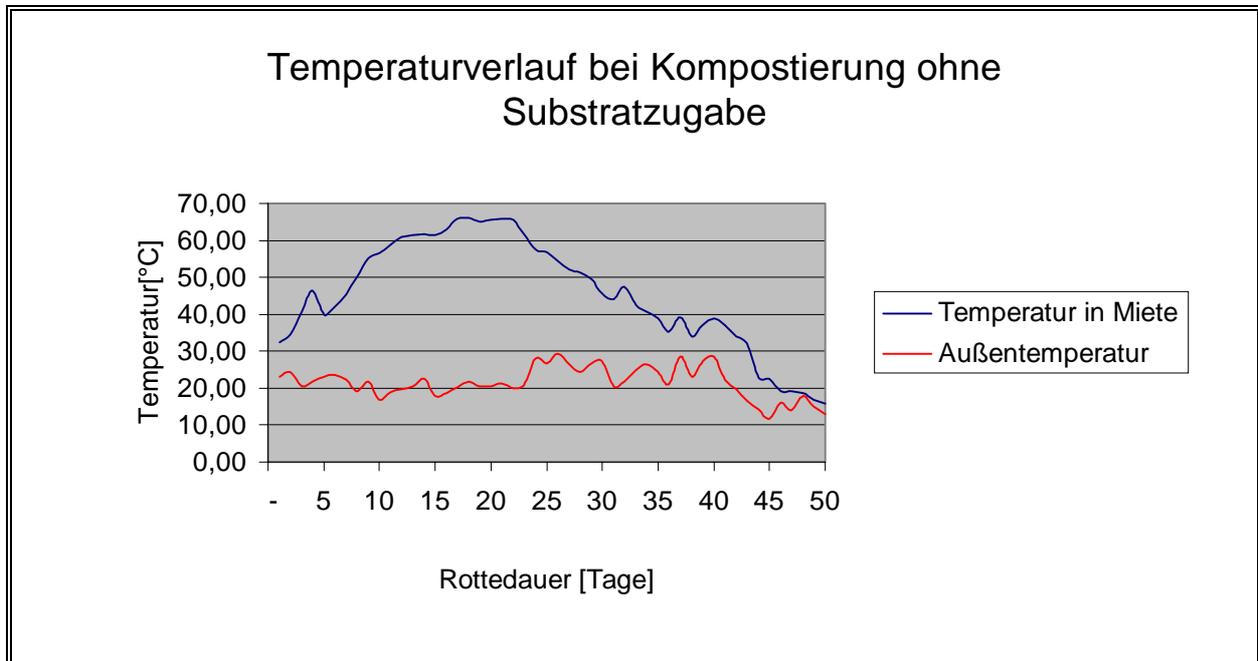
Das C/N-Verhältnis (siehe Tabelle 5.4) des Komposts beträgt 12.6. Auffallend ist der verbleibende hohe TOC-Gehalt von 22,2%. Nach der EU-Klassifizierung ist der Kompost aus ESTRELA in die Klasse 3 einzuordnen, was bedeutet, daß er genutzt werden könnte, aber nicht für den landwirtschaftlichen Bereich. Um die Kompostklasse 2 zu erreichen, wäre eine Schadstoffentfrachtung für Chrom, Kupfer und Zink erforderlich. Inwieweit dies durch die Einführung der Getrennten Sammlung („trockener Müll“ und „feuchter Müll“) oder durch eine weitere Modifizierung der Hausmülltrennanlage Estrela erreicht werden kann, bleibt Gegenstand zukünftiger Untersuchungen.

### 5.6.2 Kompostiersversuch ohne Substratzugabe

Um den Einfluß der Substratzugabe ( Schweinegülle) vergleichend bewerten zu können, wurde ein Parallelversuch ohne jede Zugabe, d.h. nur mit dem Abfallmaterial, das durch das 70 mm Trommelsieb fiel, durchgeführt.

Die Versuchsbedingungen sind die gleichen: 1.230 kg Kompostiermaterial, Dreiecksmiete mit 1 m Breite, 3,5 m Länge, 1,2 m Höhe und die gleiche dachartige Plastikfolienabdeckung, um die Feuchtigkeit zu kontrollieren.

Auch diese Miete wurde zur Belüftung zweimal wöchentlich intensiv umgeschichtet, und die Außen- und Innentemperatur an drei unterschiedlichen Stellen gemessen. Abbildung 5.11 zeigt den Temperaturverlauf über die Rottedauer.



**Abbildung 5.11: Temperaturkurven der Kompostierung ohne Substratzugabe.**

Vergleicht man den Temperaturverlauf beider Versuche, so kann man feststellen, daß die Kurven sehr ähnlich sind. Auch beim Versuch ohne Substratzugabe trat nach ca. 10 Tagen die thermophile Phase auf, die bis zum 25. bis 30. Tage anhielt, um dann langsam über die mesophile Phase auf die Umgebungstemperatur abzufallen. Der Gesamtprozeß dauerte ebenfalls ca. 50 Tage wie im zuvor beschriebenen Versuch. Die relativ kurze Rottedauer erklärt sich auch hier durch die intensive, zweimalige wöchentliche Umschichtung des Rottegutes und die strikte Kontrolle des Feuchtigkeitsgehalts der Miete.

Nach 50 Tagen wurde dieser Kompost ebenfalls gewogen: es konnte eine Reduzierung auf 640 kg oder 52 M-% der Ausgangsmasse festgestellt werden, also ein Rotte- und Wasserverlust als Folge der Kompostierung von 48 M-%. Dieser Rohkompost wurde ebenfalls mittels 10mm Trommelsieb klassiert, um damit Grob- und Inertstoffe als Siebüberlauf abzutrennen. Die chemische Zusammensetzung des Frischkompostes wurde im Labor des Instituts für Entsorgungs- und Deponietechnik der Montanuniversität Leoben, Österreich, analysiert. Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind in Tabelle 5.6 dargestellt.

**Tabelle 5.6: Untersuchte Parameter und Analysenwerte für den Kompost ohne Substratzugabe.**

Kompost ohne Substratzugabe				
Parameter	Kurzbezeichnung	Meßwert	Einheit	Meßbereich
pH-Wert im Eluat	pH	7,80	-	1-14
Blei	Pb	288,2	mg/kg TS	ab 5 mg/kg
Cadmium	Cd	0,677	mg/kg TS	ab 0,5 mg/kg
Chrom gesamt	Cr	289,6	mg/kg TS	ab 4 mg/kg
Kupfer	Cu	288,2	mg/kg TS	ab 4 mg/kg
Quecksilber	Hg	<0,5	mg/kg TS	ab 0,5 mg/kg
Zink	Zn	532,8	mg/kg TS	ab 125 mg/kg
Gesamter organisch gebundener Kohlenstoff (Feststoff)	TOC	134.000 (13,4)	mg/kg TS (%)	ab 1,3 mg C
Wassergehalt	WG	43,71	%	-
Glühverlust	GV	36,72	%	>0,4%
elektrische Leitfähigkeit im Eluat	eL	3,39	mS/cm	1-2000 mS/cm
Abdampfrückstand im Eluat	ADR	4.038	mg/l	-
Kohlenstoff	C	18,4	%	
Stickstoff	N	1,44	%	
Wasserstoff	H	2,38	%	
Schwefel in Feststoffen (IKA-Aufschluß)	S	1.401	mg/kg TS	ab 20 mg/kg
Phosphor gesamt	P	3.693	mg/kg TS	

Wie der Tabelle 5.6 zu entnehmen ist, treten folgende Unterschiede zu den Ergebnissen des ersten Versuches mit Substratzugabe auf: Der Rest TOC-Gehalt nach 7 Woche Rottedauer ist deutlich geringer und beträgt für diesem Versuch nur 13,4 %, das C/N-Verhältnis liegt bei 12,8 und ist damit vergleichbar mit dem ersten Versuch. Die gemessenen Schwermetall-Gehalte liegen höher als im Versuch mit Substratzugabe, wobei für Blei der Klasse 3-Grenzwert der EU-Richtlinie deutlich überschritten wird. Für eine landwirtschaftliche Verwertung des Kompostes wäre es wünschenswert, Problemstoffe wie z.B. Batterien vorher auszusortieren und nicht in die Kompostierfraktion kommen zu lassen.

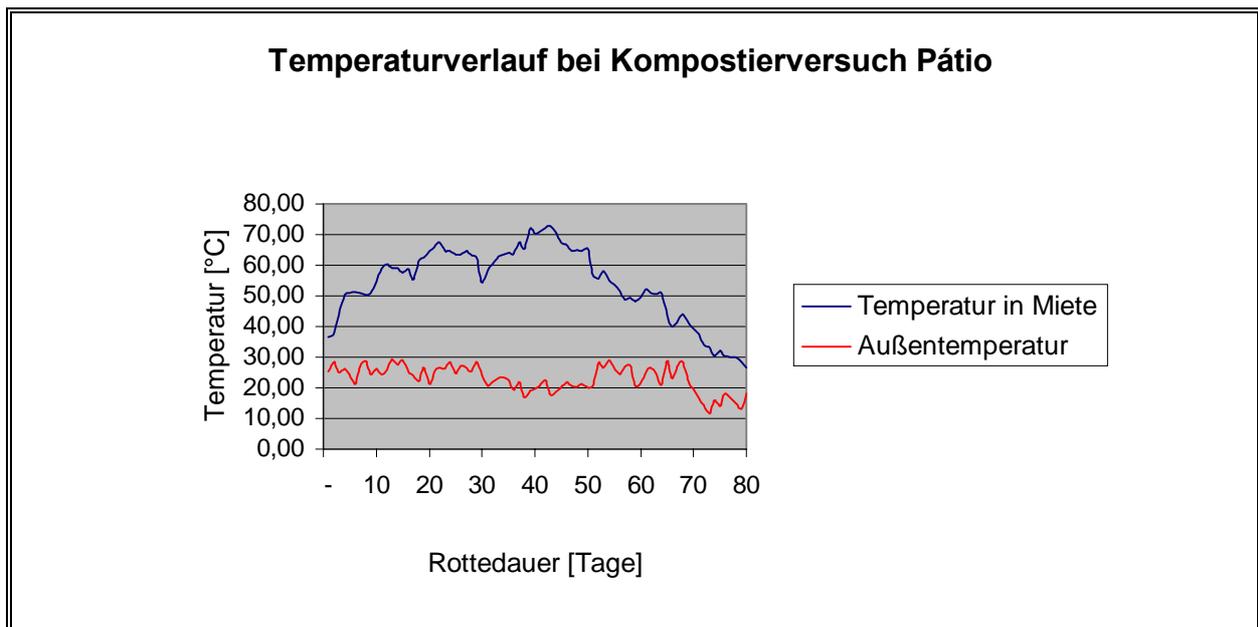
### 5.6.3 Kompostierversuch Pátio

Die zwei zuvor beschriebenen Versuche wurden bei einer dachartigen Überdeckung des Kompostiermaterials ausgeführt. Der dritte Versuch, bezeichnet als „Pátio“, wird im Freien auf der Kompostierungsstätte durchgeführt, also unter Bedingungen ausgeführt, so wie sie tatsächlich in der Anlage von Estrela gegeben sind. (Der Versuch wird am gleichen Ort durchgeführt, an dem auch sonst der Kompost gelagert würde). Dort gibt es keine Überdachung. Es werden die in der Sortierungs- und Behandlungsanlage schon

vorhandenen Geräte genutzt, um die Dreiecksmiete zur Belüftung umzuwenden. Das für die Kompost Umsetzung eingesetzte Gerät ist ein Traktor, mit Schaufel-Greifarm, der innerhalb der Anlage für verschiedene Zwecke genutzt wird.

Die Masse des Einsatzmaterials (Input) für diesem Versuch beträgt 7.280 kg. Dieses Material kommt aus dem 70 mm Trommelsieb (Siebdurchgang). Es wurde kein Substrat zugesetzt. Die Miete hat die geometrische Form eines dreieckigen Prismas und die Maße 1,5 m Breite, 4,0 m Länge und 1,6 m Höhe. Wegen der fehlenden Überdachung konnte keine strikte Feuchtigkeitskontrolle vorgenommen werden und starke Regenfälle, die in der Region von Estrela gelegentlich vorkommen, sind auf die Miete während des Versuchs niedergegangen.

Die Umsetzung des Materials erfolgte einmal wöchentlich mit Hilfe des Traktors. Also nicht mit der vergleichbarer Sorgfalt, wie bei den beiden vorangehend beschriebenen Versuchen, bei dem das Material 2 x pro Woche mit Hand (Gabel) umgesetzt wurde. Obwohl das Material unter freiem Himmel gelagert wurde, blieb die Feuchtigkeit relativ konstant. An Regentagen lag sie nur etwas über 60 %. In Abbildung 5.12 ist wiederum der Temperaturverlauf (Temperatur in Miete und Außentemperatur) über die Rottedauer aufgetragen. Die Schwankungen in der Temperaturkurve erklären sich wahrscheinlich durch die Unstetigkeiten in der Umschichtung und dem Fehlen einer strikten Feuchtigkeitskontrolle. Auch die Rottedauer (Zeitraum des Kompostierprozesses bis die Temperatur in Miete auf Umgebungstemperatur absinkt) war länger: 80 Tage anstatt der 50 Tage in den beiden vorausgegangenen Versuchen.



**Abbildung 5.12:** Temperaturkurven des Kompostiersuchs „Pátio“ .

Nach der Rottezeit von 80 Tagen hatte sich die Feuchtmasse auf 3.3310 kg oder 45,47% des Ausgangsgewichts reduziert, dies bedeutet einen Wasser- und Rotteverlust von 54,53 M-%. Danach wurde das Material in gleicher Weise wie bei den vorausgegangenen Versuch durch das 10 mm Trommelsieb geschickt, um den Frischkompost vom Siebüberlauf (Rejekt bzw. Deponiefraktion 2) zu trennen. Vom Kompost wurden Proben genommen und wie beschrieben analysiert. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5.7 dargestellt.

**Tabelle 5.7: Untersuchte Parameter und Analysenwerte des Frischkompostes aus dem Versuch „Pátio“ .**

Kompost „Pátio“				
Parameter	Kurzbezeichnung	Meßwert	Einheit	Meßbereich
pH-Wert im Eluat	pH	7,67	-	1-14
Blei	Pb	192,1	mg/kg TS	ab 5 mg/kg
Cadmium	Cd	2,403	mg/kg TS	ab 0,5 mg/kg
Chrom gesamt	Cr	344,1	mg/kg TS	ab 4 mg/kg
Kupfer	Cu	333,3	mg/kg TS	ab 4 mg/kg
Quecksilber	Hg	<0,5	mg/kg TS	ab 0,5 mg/kg
Zink	Zn	728,9	mg/kg TS	ab 125 mg/kg
Gesamter organisch gebundener Kohlenstoff (Feststoff)	TOC	149.000 (14,9)	mg/kg TS (%)	ab 1,3 mg C
Wassergehalt	WG	53,68	%	-
Glühverlust	GV	45,82	%	>0,4%
elektrische Leitfähigkeit im Eluat	eL	3,54	mS/cm	1-2000 mS/cm
Abdampfrückstand im Eluat	ADR	3.243	mg/l	-
Kohlenstoff	C	23,7	%	
Stickstoff	N	1,89	%	
Wasserstoff	H	2,74	%	
Schwefel in Feststoffen (IKA-Aufschluß)	S	1.978	mg/kg TS	ab 20 mg/kg
Phosphor gesamt	P	6.733	mg/kg TS	

Wie Tabelle 5.7 zeigt sind in diesem Versuch die Meßwerte für Schwermetalle höher als in den beiden vorausgegangenen Versuchen. So wird für Chrom, Kupfer und Zink der Grenzwert der EU-Richtlinien für die Kompostklasse 3 überschritten, wodurch dieser Müllkompost nicht mehr in der Landwirtschaft eingesetzt werden dürfte. Eine plausible Erklärung dafür ist, daß in den beiden vorausgegangenen Versuchen Batterien, kleine Plastikteile und Störstoffe laufend aussortiert wurden. Dies wurde jedesmal dann gemacht, wenn das Material händisch umgeschichtet worden ist. Die dabei aussortierten Problemstoffe wurden gesammelt und bei der Gewichtsbilanz berücksichtigt. Dies war beim Versuch „Pátio“ nicht möglich, weil dort die Umschichtung mit Hilfe des Traktors und nicht per Hand erfolgte. So blieben diese Fremdstoffe bis zum Schluß im zu kompostierenden

Material, und gelangten von dort z.T. in den fertigen Kompost. Mit 14,9 M-% TOC liegt der verbleibende Organikgehalt ebenso wie das C/N- Verhältnis von 12,5 im üblichen Bereich von Komposten. Auffallend ist die relativ hohe C-Gehalt von 23,7 M-%. Inwieweit hier eine größere Menge mineralisierter, anorganischer Kohlenstoff vorliegt oder ob hier die Probenahme nicht ausreichend repräsentativ war, bleibt zu klären.

#### 5.6.4 Trommelsieb zur Trennung: Deponiefraktion 2 / Kompost

Wie dargestellt, wurden am Schluß eines jeden Kompostierungsversuchs das Rotteprodukt durch ein 10 mm Trommelsieb geschickt. Dabei wird der Frischkompost vom „Rejekt“ getrennt. Dieser (die groben Inertstoffe enthaltende) Siebüberlauf wird als Deponiefraktion 2 auf der Deponie abgelagert. Der frische Reinkompost gelangt zur biologischen Nachreife mit den Regenwürmern.

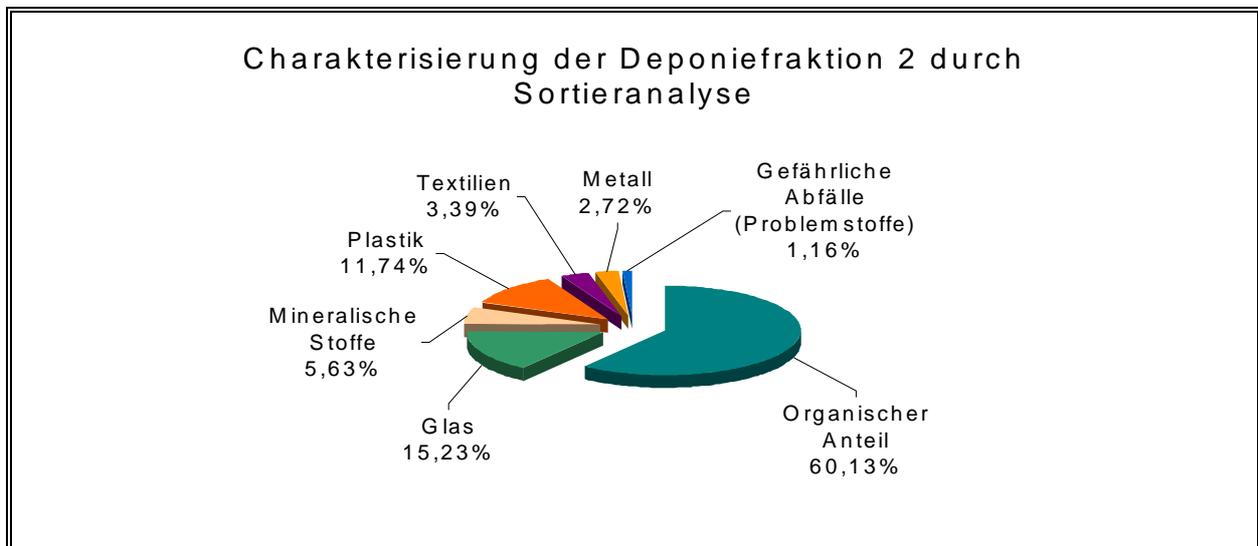
Die Deponiefraktion 2 wurde ebenfalls im Labor analysiert. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 5.8 dargestellt. Im Vergleich zur Deponiefraktion 1 (siehe Tabelle 5.3) sind die Werte für TOC (38,3 gegenüber 48,7%) und dem Brennwert Ho (12,2 MJ/kg TS gegenüber 24,5 MJ/kg TS) wie erwartet deutlich geringer, der Schadstoffgehalt (Schwermetalle, insbesondere Blei, und Chlor) ist deutlich höher. Nach der Österreichischen Deponieverordnung wäre eine Deponierung nicht möglich, in Brasilien schon, da hier noch eine entsprechende Gesetzgebung fehlt.

**Tabelle 5.8: Untersuchte Parameter und Analysenwerte für Deponiefraktion 2.**

Deponiefraktion 2				
Parameter	Kurzbezeichnung	Meßwert	Einheit	Meßbereich
pH-Wert im Eluat	pH	7,57	-	1-14
Blei	Pb	1.100	mg/kg TS	ab 5 mg/kg
Cadmium	Cd	1,948	mg/kg TS	ab 0,5 mg/kg
Chrom gesamt	Cr	209,1	mg/kg TS	ab 4 mg/kg
Kupfer	Cu	176,7	mg/kg TS	ab 4 mg/kg
Quecksilber	Hg	<0,5	mg/kg TS	ab 0,5 mg/kg
Zink	Zn	457,1	mg/kg TS	ab 125 mg/kg
Gesamter organisch gebundener Kohlenstoff (Feststoff)	TOC	383.000 (38,3)	mg/kg TS (%)	ab 1,3 mg C
Wassergehalt	WG	38,74	%	-
Glühverlust	GV	54,80	%	>0,4%
elektrische Leitfähigkeit im Eluat	eL	1,87	mS/cm	1-2000 mS/cm
Abdampfrückstand im Eluat	ADR	1.705	mg/l	-
Brennwert (oberer Heizwert)	Ho	12.238	kJ/kg TS	-
Chlor in Feststoffen (IKA-Aufschluß)	Cl	9.076	mg/kg TS	ab 20 mg/kg

Der relativ hohe TOC-Gehalt und Brennwert erklärt sich aus dem Vorhandensein von biologisch nicht abbaubaren, organischen Stoffen wie z.B. Plastik (insbesondere Hart-PVC).

Für alle drei durchgeführten Kompostiersversuche führte die Rohkompost (bzw. Rote Produkt) – Siebung bei 10mm Maschenweite zu ähnlichen unbefriedigenden Ergebnissen: Der Siebdurchgang (= Feinkompost 1) – Anteil betrug jeweils nur ca. 35 M-%, der Siebüberlauf (=Deponiefraktion 2) Anteil jeweils 65 M-%. Um diese 65 M-% Siebüberlauf bei Maschenweite 10mm zu charakterisieren, wurde die stoffliche Zusammensetzung dieser Fraktion durch Sortieranalyse untersucht. Das Ergebnis ist in Abbildung 5.13 dargestellt. Es zeigt sich, daß der „Siebrückstand 10mm“ (=Rejekt 2) relativ große Anteile von organischem Material (60 M-%) enthält. Die nähere Untersuchung dieses Organik-Anteils ergab, daß er neben biologischen nicht- oder nur schwer- abbaubaren Stoffen auch aus zurückgebliebenen Kompost-Kügelchen (Durchmesser >10mm) bestand.



**Abbildung 5.13: Zusammensetzung der Deponiefraktion 2 (Angaben in Massenprozent Feuchtsubstanz).**

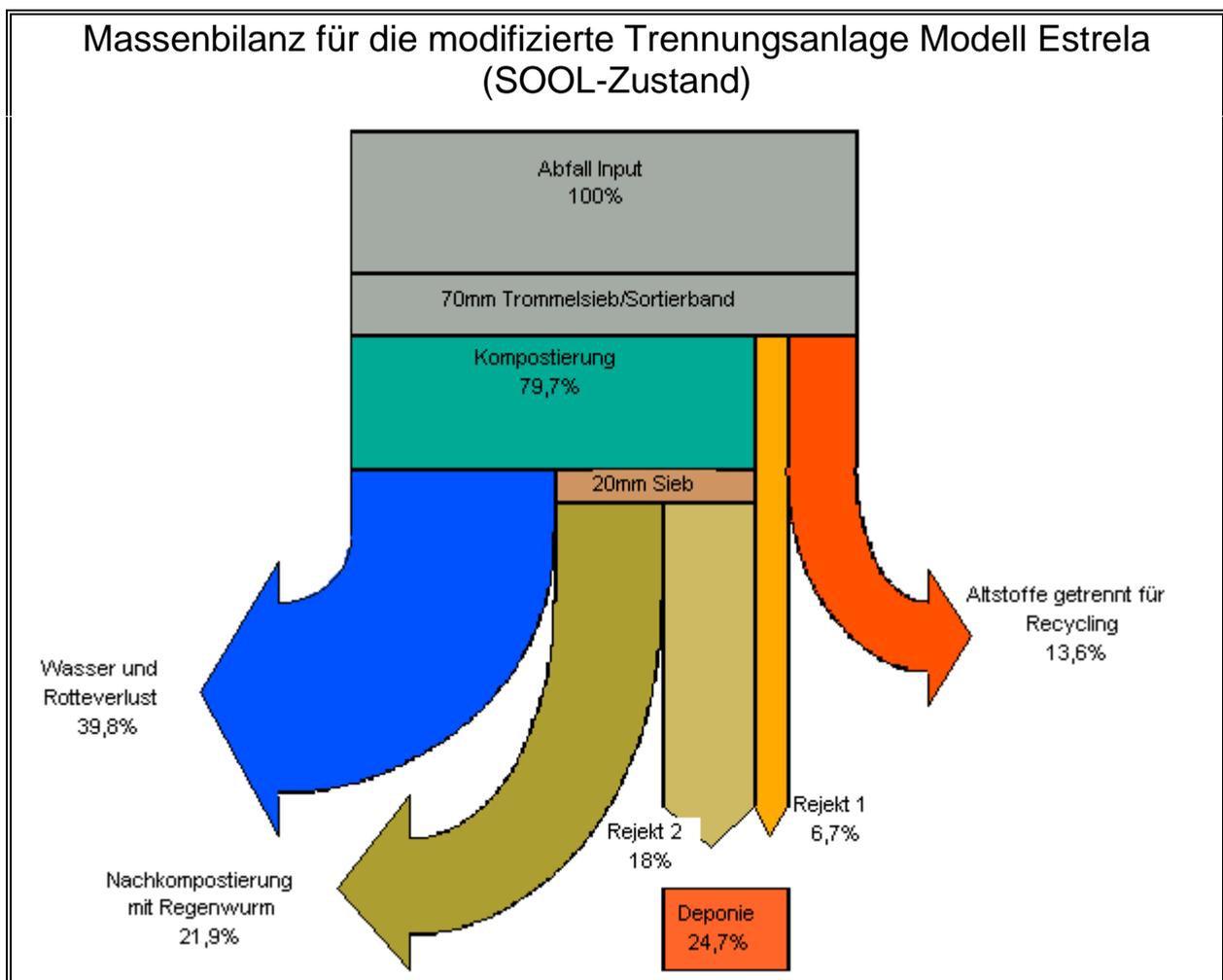
D. h. der relativ hohe Anteil der organischen Siebrückstände erklärt sich dadurch, daß die Maschen des Trommelsiebs mit nur 10 mm sehr klein sind und so nicht alles Kompost Material durchfällt und deshalb im Überlauf erscheint. Bei der Rotation des Trommelsiebes bilden die Kompost-Krümel kleine, kugelförmige Aggregate größer 10 mm Durchmesser. Diese fallen damit nicht durch das Sieb und gelangen so zwangsläufig in den Siebüberlauf, d.h. in die Deponiefraktion 2. Damit kommt es unter den beschriebenen Umständen bei einer Sieb-Maschenweite von 10mm zu einem Fehlaustrag der Kompostfraktion mit der Deponiefraktion 2.

In einem weiteren, improvisierten Versuch wurde die Klassierung der Rotterückstände bei einer Siebmaschenweite von 20mm durchgeführt. Dabei erhöhte sich der Siebdurchgang

(=Feinkompostanteil) auf 55 M-%, und der Anteil des Siebüberlaufs (Deponiefraktion) nahm entsprechend auf 45 M-% ab. Diese Kompostsiebung bei 20mm Maschenweite wird in den Pilotversuch Estrela integriert. Eine weitere Verbesserung der Kompostierung wird erwartet, wenn anstelle des hier verwendeten Trommelsiebs ein Rüttelsieb eingesetzt wird.

## 5.7 Massenbilanz der modifizierten Hausmüll-Behandlungsanlage Modell ESTRELA

Als praktisches Ergebnis der Pilotversuche an der Hausmüll Sortier- und Behandlungsanlage von Estrela, die sowohl die Abfalltrennung und Sortierung als auch die Kompostierung und Deponierung betreffen, wurde das Modell der modifizierten Hausmüll-Behandlungsanlage Estrela entwickelt. Die aus den Daten der berichteten Pilotversuche erstellte Massenbilanz ist in Abbildung 5.14 als Sankey – Diagramm dargestellt.



**Abbildung 5.14:** Massenbilanz (Sankey – Diagram) für die Klassierung, Sortierung und Behandlung von Hausmüll in der modifizierten Anlage von Estrela (Angaben in Massenprozent Feuchtsubstanz).

Ein Vergleich zwischen dem Normalbetrieb (IST – Zustand) der Anlage, siehe Abbildung 5.5, und dem modifizierten Anlagen – Modell Estrela (SOLL-Zustand), siehe Abbildung 5.14, läßt folgende Vorteile und Verbesserungen erkennen:

- ◆ Durch die neue Anlagenkonfiguration „**Klassierung** (70 mm Siebtrommel) **vor Sortierung** (Fließband)“ ergeben sich deutlich bessere arbeitshygienische Bedingungen und die Qualität der aussortierten Altstoffe steigt.
- ◆ Der als Deponiefraktion 1 (Siebüberlauf 70 mm) und Deponiefraktion 2 (Siebüberlauf 20 mm) anfallende Rückstand der z.Z. noch deponiert wird, sinkt von 38,3 M% auf 24,7 M%.
- ◆ Durch die optimierte Kompostierung kann die Masse des angelieferten Hausmülls um 40 M-% (Wasser- und Rotteverlust) reduziert werden, wobei weitere 22 M-% als Kompost wiedergewonnen werden.
- ◆ Die Sortier-Ausbeute an Altstoffen sinkt zwar von 16 % auf 13,6 % ab, dies wird aber durch die deutlich verbesserte Reinheit (und damit Qualität) der wiederverwertbaren Materialien kompensiert.
- ◆ Eine weitere Verbesserung der Klassier- Sortier- und Behandlungsprozesses ist durch die vorgeschaltete „Getrennte Sammlung“ zu erwarten, bei der die Haushaltsabfälle in die beiden Fraktionen: „trockener Müll“ (lixo seco) und „feuchter Müll“ (lixo úmido) getrennt werden.
- ◆ Die Ausbeute an wiederverwertbaren Altstoffen könnte auf ca. 20 M-% gesteigert werden, wenn die Straßensammlung durch die Catadores als Konkurrenz wegfällt. Diese müßten dazu in sozialverträglicher Art in die kommunale Abfallentsorgung integriert werden.
- ◆ Um den anfallenden Kompost (ca. 22 M-%) landwirtschaftlich verwerten zu können, müßte dieser schadstoffentfrachtet werden. Dazu wäre eine getrennte Problemstoffsammlung notwendig, damit z.B. Batterien nicht mehr in den Hausmüll gelangen.
- ◆ Der 70 mm-Siebüberlauf (Rejekt 2 mit 18 M-%) entspricht im Prinzip der Leichtfraktion aus dem „Restmüllsplitting-Prozeß“ [103]. Aufgrund des hohen TOC-Gehaltes (48,7 M-%) und des hohen Brennwertes ( $H_0 = 24.700 \text{ kJ/kg TS}$ ) eignet sich dieser Rückstand nicht für die Deponierung. Es sollte nach Zwischenlagerung energetisch verwertet werden.

## 6 Verwertungsmöglichkeiten für die Deponiefraktion

Bei der Klassierung, Sortierung und Behandlung von Hausmüll in der modifizierten Modell-Anlage ESTRELA fallen zwei sogenannte Deponiefractionen an: der Überlauf aus dem 70 mm Trommelsieb, also die „Deponiefraction 1“, und der Überlauf aus dem 10 mm Trommelsieb, also die „Deponiefraction 2“.

Im diesem Kapitel wird näher auf die Deponiefraction 1 eingegangen, deren chemische und physikalische Zusammensetzung in Tabelle 5.3 im Kapitel 5.5.5 dargestellt ist. Dort wurde auch gezeigt, daß dieses Material einen hohen Brennwert (Ho) von 24.714 kJ/kg TS besitzt.

Die Deponiefraction 1 gelangt in Estrela normalerweise auf die Deponie, (bzw. „kontrollierte“ Lagerstätte“) beansprucht dort Raum und verkürzt so zwangsläufig die Nutzungsdauer der Deponie. Eine Sortieranalyse der Deponiefraction 1 ergibt, daß sich in ihr ein relativ hoher Anteil von Kunststoffen befindet, der nicht aussortiert werden konnte oder sich aufgrund seiner Verschmutzung in einem nicht aussortierfähigen Zustand befindet. Teilweise ist dieser Anteil auch nicht recycelfähig, weil es sich um mehrschichtige Verpackungsmaterialien (Verbundstoffe) handelt. Neben diesen Kunststoffen finden sich in der Deponiefraction auch kleinere Teile von Textilien und alte Schuhe. Abbildung 6.1 zeigt das gepreßte Material der Deponiefraction 1, fertig für die Deponie in Estrela. Das Gewicht eines gepreßten Ballens beträgt zwischen 300 und 350 kg, das Ballenvolumen ist ca. 0,336 m<sup>3</sup>.



**Abbildung 6.1:** Gepreßte Ballen des Materials „Deponiefraction 1“, fertig für die Ablagerung auf der Deponie (Foto: Prof. K. Lorber).

Die Deponierung des 70 mm Siebrückstände (entsprechend „Deponiefraktion 1“ bezeichnet) stellt aus ökologischer wie auch ökonomischer Sicht eine absolut unbefriedigende Lösung dar. Bei einer Deponierung dieser Ballen verschlechtert sich die mechanische Stabilität einer Deponie dramatisch (Rutschungsgefahr) und gleichzeitig steigt die Brandgefahr riskant an.

Es ist daher zu prüfen, ob es für diese relativ hochkalorische Leichtfraktion die Möglichkeit der energetischen Verwertung durch Mitverbrennung gibt.

Eine energetische Verwertung wäre angesichts der gegenwärtigen Energiekrise in Brasilien auch von wirtschaftlicher Bedeutung. Die brasilianische Regierung hat Verordnungen zum Energiesparen erlassen, mit denen im Jahr 2001 im Vergleich zu 2000 der Energiekonsum um 20% reduziert werden soll. Diese Energiekrise öffnet den energiepolitische Weg für Maßnahmen und zwingt die öffentliche Hand und private Unternehmen, alternative Energiequellen zu erschließen. Das Material der Deponiefraktion 1 bietet sich hierzu als Ersatzbrennstoff an.

Bislang gibt es in Brasilien noch keine vergleichbare Mitverbrennung von Abfällen in industriellen Produktionsanlagen, wie dies in einigen europäischen Ländern schon geschieht. Die umweltverträgliche Mitverbrennung von aufbereiteten Abfällen (RDF) erfordert anfänglich Investitionen die z.Z. noch gescheut werden. In Brasilien wird das Abfallproblem, wie bereits in Kapitel 2 ausgeführt, häufig noch „billig“ gelöst. Ungeachtet dessen, erscheint eine energetische Verwertung der Deponiefraktion 1 in der Zementindustrie in absehbarer Zeit möglich. Das „Know-How“, aufbereitete Abfallfraktionen (z.B. geschreddertes Plastik oder Verpackungsmaterial) als Ersatzbrennstoff in der Primärfeuerung des Zementdrehofens einzusetzen, ist in Österreich und anderen europäischen Ländern vorhanden [98]. Wie aus Tabelle 5.3 und 5.8 hervorgeht, liegen die Schadstoffkonzentrationen (insbesondere die der kritischen Elemente Quecksilber und Chlor) deutlich unter den Richtwerten für Ersatzbrennstoffe in der Zementindustrie. In Rio Grande do Sul gibt es auch bereits eine Schredderanlage für Abfallstoffe, die zur Aufbereitung von EBS eingesetzt werden könnte. Auf diesem Gebiet der Mitverbrennung besteht Handlungsbedarf. Der Implementierung von Ersatzbrennstoffen (EBS) kommt in Brasilien in Zukunft große Bedeutung zu, sie ist allerdings nicht das Thema dieser Dissertationsarbeit.

Die Energiegewinnung aus Abfall („Waste to Energy“) durch die Mitverbrennung von Ersatzbrennstoffen benötigt zur erfolgreichen Implementierung drei grundlegende Voraussetzungen und zwar:

- Qualitätssicherheit
- Versorgungssicherheit
- Rechtssicherheit [100].



**Abbildung 6.2:** PVC im brasilianischen Verpackungsmaterial (Foto: Prof. K. Lorber).

Ein lösbares Problem, daß den umweltverträglichen Einsatz von Ersatzbrennstoffen (EBS) oder Brennstoff aus Müll (BRAM bzw. RDF) zunächst etwas erschweren könnte, ist der relativ hohe Gehalt von PVC im brasilianischen Verpackungsmaterial.

Neben Verpackungsmaterial sind in Brasilien auch Wasser- und Abwasserrohre häufig aus PVC hergestellt. Deren Aussortierung mit Hand ist möglich, wenn die Abfälle gut zugänglich und das Sortierband nicht überladen ist. Dies gilt insbesondere bei Anwendung des modifizierten Systems, beschrieben im Kapitel 5.5.4 als Modell ESTRELA.

Die Möglichkeit, die anfallenden Siebrückstände (Deponiefraktion 1) als Ersatzbrennstoff (EBS) in der Zementindustrie zu nutzen, ist eine vielversprechende Option. Dazu sind weitere Schritte (Sammlung und Aufbereitung des EBS, Adaptierung der Lager- und Aufgabevorrichtung an den Zementdrehrohröfen, Schaffung von gesetzlichen Grundlagen bzw. der Rechtssicherheit) erforderlich, die aber nicht Gegenstand dieser Arbeit sind.

## 7 Versuche zur Kompostierung von Chromfreien Lederabfällen aus Gerbereien

Die Gerberei ist eines der ältesten Gewerbe der Menschheit. Unter „Gerben“ versteht man die Haltbarmachung von Tierhäuten, die dabei in Leder überführt werden. Trotz Einführung von Innovationen und neuen Technologien ist die Gerberei nach wie vor eine Art traditionelles Kunstgewerbe geblieben [96].

Bei der Herstellung von Leder fallen größere Mengen von festen, flüssigen und gasförmigen Abfällen an [96], was dazu geführt hat, daß Gerbereien nach wie vor den Ruf haben, ein umweltverschmutzendes Gewerbe zu sein. Steigendes Umweltbewußtsein und eine stringente Gesetzgebung haben dazu geführt, daß die wenigen, in Europa verbliebenen Lederfabriken inzwischen sehr sauber arbeiten und einen hohen umwelttechnischen Standard erreicht haben, während die „schmutzige Arbeit“ des Gerbens, d.h. die Herstellung von „Wet Blue“ oder „Wet White“ aus Häuten, zunehmend in Entwicklungsländern verlagert worden ist, wo dadurch enorme Umweltprobleme verursacht werden [96]. So wird der weitaus größte Teil von chromgegerbten „Wet Blue“ heute in Ländern wie Bangladesch, Indien, Pakistan, Thailand, Türkei, Chile, Argentinien und Brasilien erzeugt, und danach als „sauberes Halbprodukt“ exportiert und in z.B. europäischen Ländern zum Fertigprodukt verarbeitet.

Da die Gemeinde Estrela sehr nahe zum Zentrum der Lederindustrie von Rio Grande do Sul liegt, bot es sich an, auch Abfälle aus der Lederindustrie bzw. deren Behandlung als Zusatzthema mit in diese Arbeit aufzunehmen.

Untersucht wurde die Kompostierung von chromfreien „Wet White-Shavings“ oder Falzspänen, die bei der Ledererzeugung anfallen. Diese Abfälle werden in Österreich z.Z. noch vorwiegend deponiert, was nach Auslaufen der Übergangsfristen zum Inkrafttreten der Deponieverordnung (d.h. 2004 bzw. spätestens 2009) wegen des hohen TOC-Gehaltes von Leder nicht mehr möglich sein wird. Eine Alternative zur Deponierung stellt die Kompostierung dar, die im Kapitel 7 dieser Arbeit systematisch untersucht werden soll.

### 7.1 Chromfreie Gerbung

Während in Entwicklungs- und Schwellenländern wie z.B. Brasilien noch vorwiegend das Verfahren der Chromgerbung in der Lederindustrie eingesetzt wird, ist man z.B. in Österreich und anderen europäischen Ländern dazu übergegangen, hauptsächlich chromfrei zu gerben.

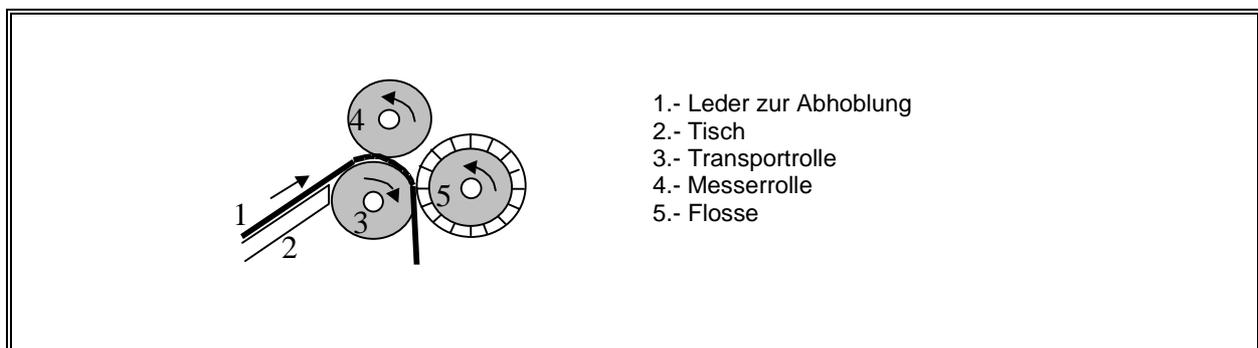
Es gibt mehrere Verfahren zur Chromfrei-Gerbung wobei Naturstoffe (z.B. Quebracho, Eichen- und Kastanienrinde, etc.), Aluminium- und andere Metallsalze oder organische Chemikalien (z.B. Glutaraldehyd) eingesetzt werden [88]. Chromfrei-Gerbung wird zur Herstellung von Qualitätsleder für die (Luxus) Automobil- und Möbelindustrie eingesetzt, während zur Erzeugung von Leder für die Schuhindustrie die Chromgerbung nach wie vor unverzichtbar ist.

Die nachfolgend berichteten Kompostiersversuche für chromfreie Abfälle aus der Lederindustrie (d.h. „Wet White-Shavings“ oder Falzspäne) sind in Österreich an der Mechanisch-Biologischen-Abfallbehandlungsanlage (MBA) in Allerheiligen durchgeführt worden. Die Wahl dieses Versuchsortes ergab sich aus der Verfügbarkeit der an der MBA-Allerheiligen vorhandenen Ressourcen aber auch durch die Relevanz des Themas, sowohl für Österreich als auch für Brasilien.

## 7.2 Falzspäne (Wet White-Shavings)

Falzspäne (Wet White-Shavings) sind die chromfreien Rückstände, die entstehen, wenn die Roh-Lederoberfläche gehobelt wird, um die gewünschte Oberflächenstruktur zu erhalten oder um sie zu vereinheitlichen.

Abbildung 7.1 zeigt schematisch das Abhobeln von Rohleder.



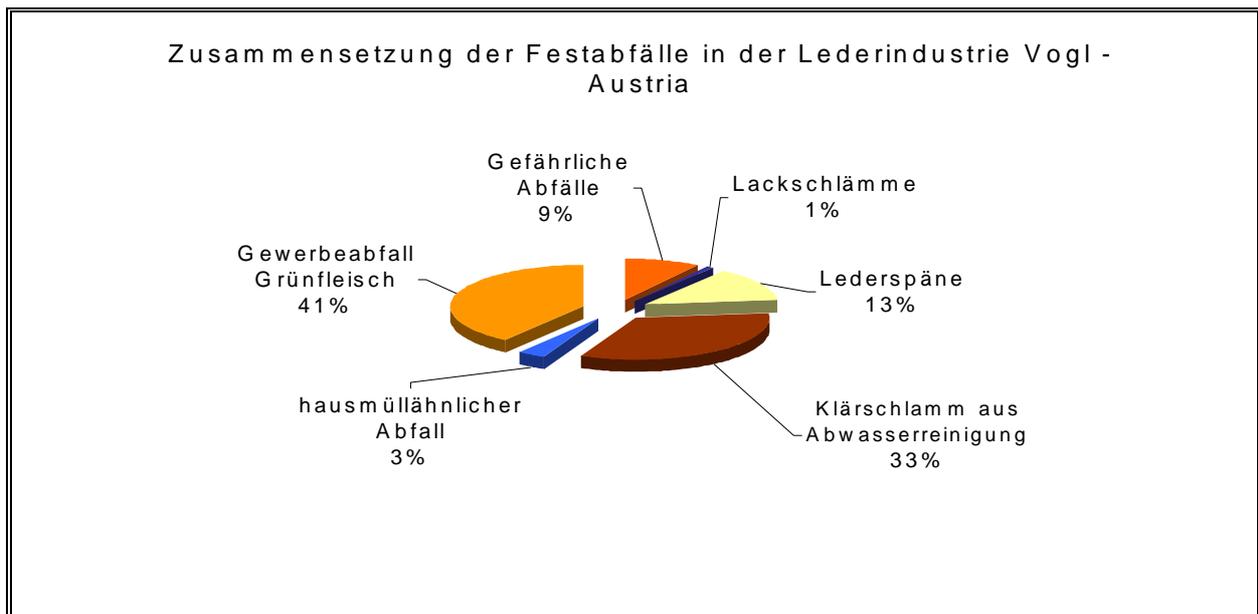
**Abbildung 7.1: Hobeln von Rohleder, schematische Darstellung.**

Der in Abbildung 7.1 dargestellte Prozeß beginnt mit der Einführung des Leders in die Maschine. Dort beginnt eine punktuelle Hobelung, wie in der Abbildung gezeigt. Bevor der Prozeß zu seinem Ende gelangt, wird er unterbrochen und die Lederstücke werden gewendet, damit nun die andere Seite gehobelt werden kann. Die Abbildung 7.2 zeigt, wie das Leder im Betrieb der Lederindustrie Vogl in Österreich gehobelt wird. Von dieser Gerberei sind die Falzspäne für die nachfolgend beschriebenen Kompostiersversuche in Allerheiligen bereitgestellt worden.



**Abbildung 7.2: Das Hobeln von Leder, Fa. Vogel**

Die Menge der bei der Hobelung anfallenden Falzspäne ist abhängig von der Lederart, die man produziert, sowie von der verwendeten Haut als Rohstoff. Untersuchungen in einer Gerberei in Chile zeigen, daß bei der Verarbeitung von einer Tonne Rinderhäuten zwischen 112 und 184 kg Falzspäne anfallen. Dies bedeutet, daß etwa 10 – 25 M-% aller bei der Lederherstellung erzeugten Abfälle Falzspäne sind [86, 87, 88]. Andere von der UNEP – United Nations Environmental Program – gemachte Studien belegen, daß der Anteil der Falzspäne zwischen 12 und 18 M-% der festen Abfälle von Lederfabriken beträgt [89]. Die im Jahr 2000 in der Lederfabrik Vogl in Österreich angefallenen Falzspäne betragen 13 M-% der Gesamtabfälle. Dies ist in der Abbildung 7.3 nachfolgend dargestellt.



**Abbildung 7.3: Festabfälle in der Leder Fabrik Vogl – Austria [90] (Angaben in Massenprozent).**

### 7.3 Kompostierungsversuche an der MBA in Allerheiligen

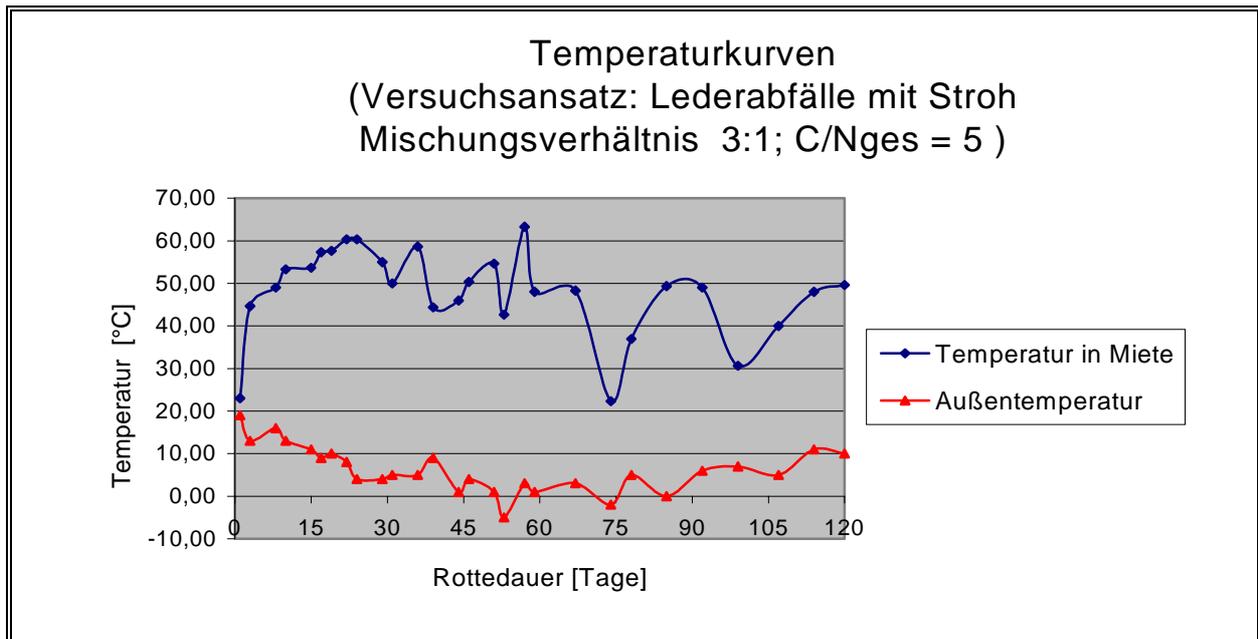
Wie bereits ausgeführt, wurden die Pilotversuche zur Kompostierung von Falzspänen an der Mechanisch- Biologischen Abfallbehandlungsanlage (MBA) in Allerheiligen, Mürtztal (Österreich) durchgeführt, weil dort die benötigten Ressourcen vorhanden sind und logistische Unterstützung für die Versuche erlangt werden konnte. Chromfreie Falzspäne wurden von der Lederfabrik Vogl, Matighofen (Österreich) für Versuchszwecke in einer Menge von 16.280 kg oder ca. 37 m<sup>3</sup> zur Verfügung gestellt. Für Ansätze die nachfolgend beschriebenen Pilotversuche wurden Teilmengen davon in vier Versuchsansätzen mit verschiedenen Substraten gemischt, und zwar:

- Falzspäne und Stroh (Mischungsverhältnis 3:1; C/N<sub>ges</sub> = 5)
- Falzspäne und Pferdemist/Stallstreu (Mischungsverhältnis 1,6:1; C/N<sub>ges</sub> = 4,3)
- Falzspäne und Bioabfälle (Mischungsverhältnis 0,45:1; C/N<sub>ges</sub> = 6,6)
- Falzspäne und Klärschlamm mit Strukturmaterial (Mischungsverhältnis 0,65:0,22:1; C/N<sub>ges</sub> = 6,2)

Die Versuche wurden am Gelände der MBA im Freien auf befestigtem Platz in Form von Dreiecksmieten angelegt: 3 m Breite, 4 m Länge und 1,5 m Höhe. Im Nachfolgenden wird jedes dieser vier Experimente näher beschrieben.

#### 7.3.1 Versuchsansatz: Falzspäne und Stroh

Für dieses Experiment wurden 4.560 kg Lederabfälle, d.h. etwa 10 m<sup>3</sup>, mit 1.520 kg Stroh, d.h. etwa 7 m<sup>3</sup>, vermischt und als Dreiecksmiete ausgebracht. Da das C/N Verhältnis von Falzspänen nur bei 3,21 liegt, sollte die Zugabe von Stroh (C/N = 46,31) als Strukturmaterial und auch als C – Quelle dienen. Der Versuchsansatz wird in den Fotos im Anhang dieser Arbeit gezeigt. Um eine gute Belüftung zu erreichen, wurde die Miete zweimal wöchentlich mit einem Dreiecksmietenumsetzer bearbeitet, was wesentlich dazu beitrug, die Vermischung der Lederabfälle mit dem Stroh zu verbessern. Während des Prozesses der Kompostierung wurden periodisch Temperaturmessungen durchgeführt, jeweils an drei verschiedenen Stellen innerhalb der Miete und die jeweilige Außentemperatur. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt in Abbildung 7.4. Auch wurde die Feuchtigkeit kontrolliert, um zu gewährleisten, daß sich diese zwischen 40% und 60% hielt und somit nicht die Gefahr bestand, daß die Feuchtigkeit infolge von Regelfällen zu stark zunahm, oder aber im Verlauf der Rotte eine Austrocknung der Miete erfolgte.

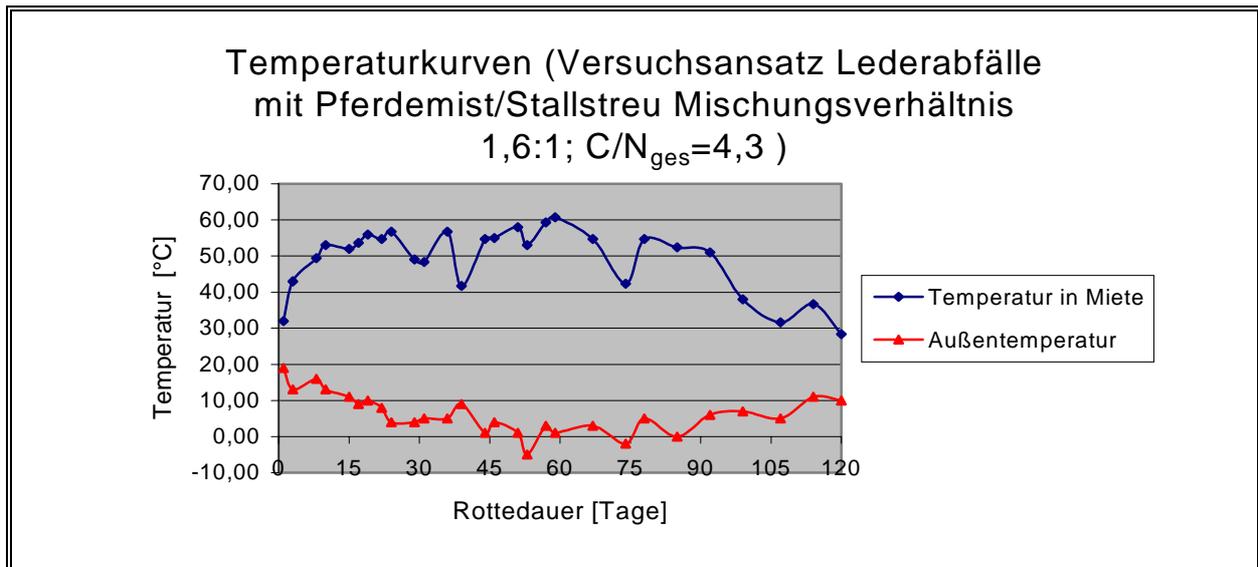


**Abbildung 7.4:** Temperaturverlauf über die Rottedauer für Ansatz: Lederabfälle mit Stroh.

Die Abbildung 7.4 zeigt, daß die Temperatur in der Miete zwischen den 10. und 15. Tag erreichte ca 55°C und danach bis zum 70. Tag im thermophilen Bereich verblieb, um erst danach allmählich abzunehmen. Auffällig sind **Unstetigkeiten** und starken Schwankungen in der Temperaturkurve, die häufig nach dem Wenden bzw. Umsetzen des Materials zu beobachten waren. Dies mag auch auf die Eigenschaften des zugesetzten Substrats/Strukturmaterials „Stroh“ zurückzuführen sein, das sich nur sehr langsam zersetzt und somit keine gut verfügbare C – Quelle war. Zudem war das C/N – Verhältnis dieses Ansatzes immer noch zu niedrig für eine Kompostierung unter normalen Verhältnissen.

### 7.3.2 Versuchsansatz: Falzspäne und Pferdemit/Stallstreu

Für diesen Versuchsansatz wurden 4.480 kg Lederabfälle (etwa 10 m<sup>3</sup>) mit 2.800 kg Stallstreu/Pferdemist (etwa 9 m<sup>3</sup>) vermischt und wie beschrieben zur Dreiecksmiete aufgebaut. Auch dieser Versuch ist in den Fotos im Anhang dieser Arbeit wiedergegeben. Um eine gute Belüftung zu erreichen, wurde auch hier die Miete zweimal wöchentlich mit einem Dreiecksmietenumsetzer umgesetzt, was noch dazu beitrug, die Vermischung der Lederabfälle mit dem Stroh/Pferdemist zu verbessern. Auch wurde die Feuchtigkeit von 40% bis 60% in der Miete konstant gehalten und die Innen- und Außentemperatur gemessen, wie in Abbildung 7.5 aufgezeigt.



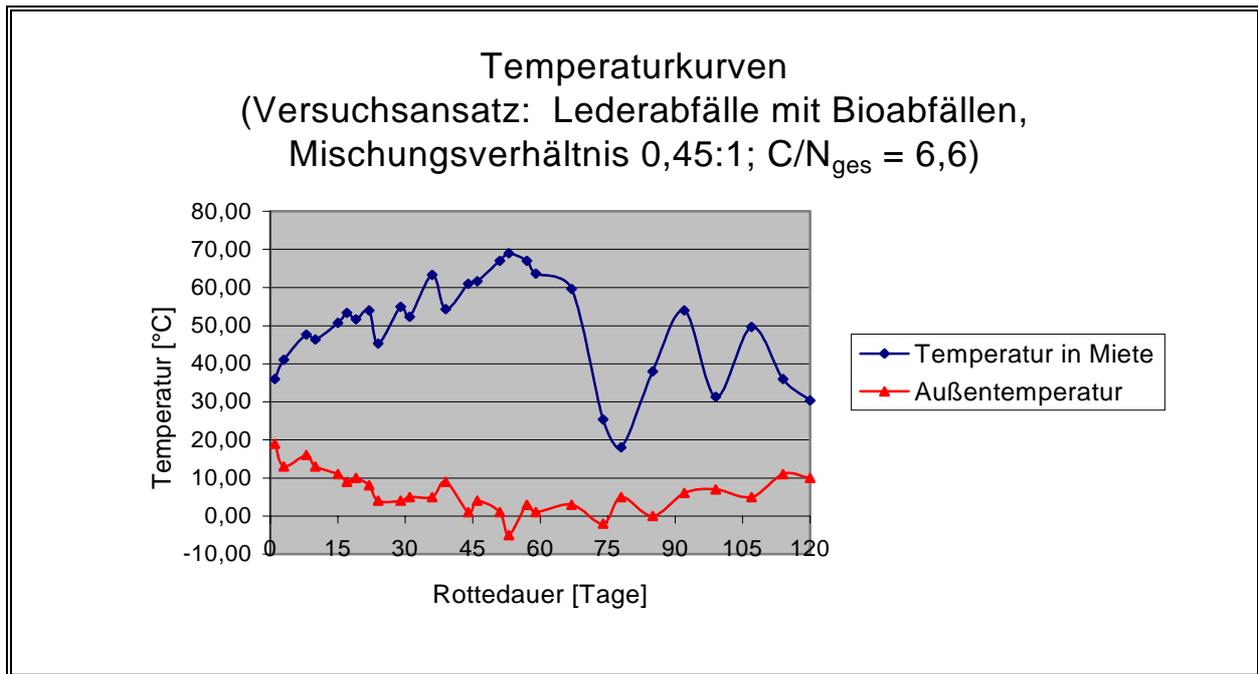
**Abbildung 7.5: Temperaturverlauf über Rottdauer für Ansatz: Lederabfälle mit Pferdemit/Stallstreu.**

Wie der Vergleich von Abbildung 7.5 mit Abbildung 7.4 zeigt, ist kein wesentlicher Unterschied zu erkennen. Abbildung 7.5 zeigt eine etwas stetigere Temperaturkurve als im vorausgegangenen Experiment, was auf das Vorhandensein von Pferdemit zurückgeführt werden kann. Auch hier ist ein allmähliches Abklingen der thermophilen Phase erst nach ca. 90 Tage zu beobachten, d.h. die gegerbten Lederabfälle erweisen sich als schwer abbaubar. Auch hier war das C/N<sub>ges</sub> – Verhältnis deutlich zu niedrig und lag im für eine Kompostierung ungünstigen Bereich.

### 7.3.3 Versuchsansatz: Falzspäne und Bioabfälle

Für diesen Versuchsansatz wurden 3.420 kg Lederabfälle (d.h. 8 m<sup>3</sup>) mit 7.560 kg (d.h. 11 m<sup>3</sup>) Bioabfällen vermischt. Die hierzu verwendeten Bioabfälle stammten von der Gemeinde Allerheiligen und waren schon 2 Wochen lang zum Vorrotten in einem der Rottetunnel der Betriebsanlage Allerheiligen, um die Geruchsentwicklung während des Kompostierungsvorgangs zu verringern. Wie später beschrieben wird, (Kapitel 7.3.5), war Geruchsbelästigung ein ernstes Problem bei allen Versuchsansätzen zur Kompostierung von Leder – Falzspänen.

Auch hier wurde die Feuchtigkeit kontrolliert und die Temperaturen gemessen (vgl. Abbildung 7.6) sowie zweimal wöchentlich eine Umsetzung der Miete mit einem Dreiecksmietenumsetzer vorgenommen.

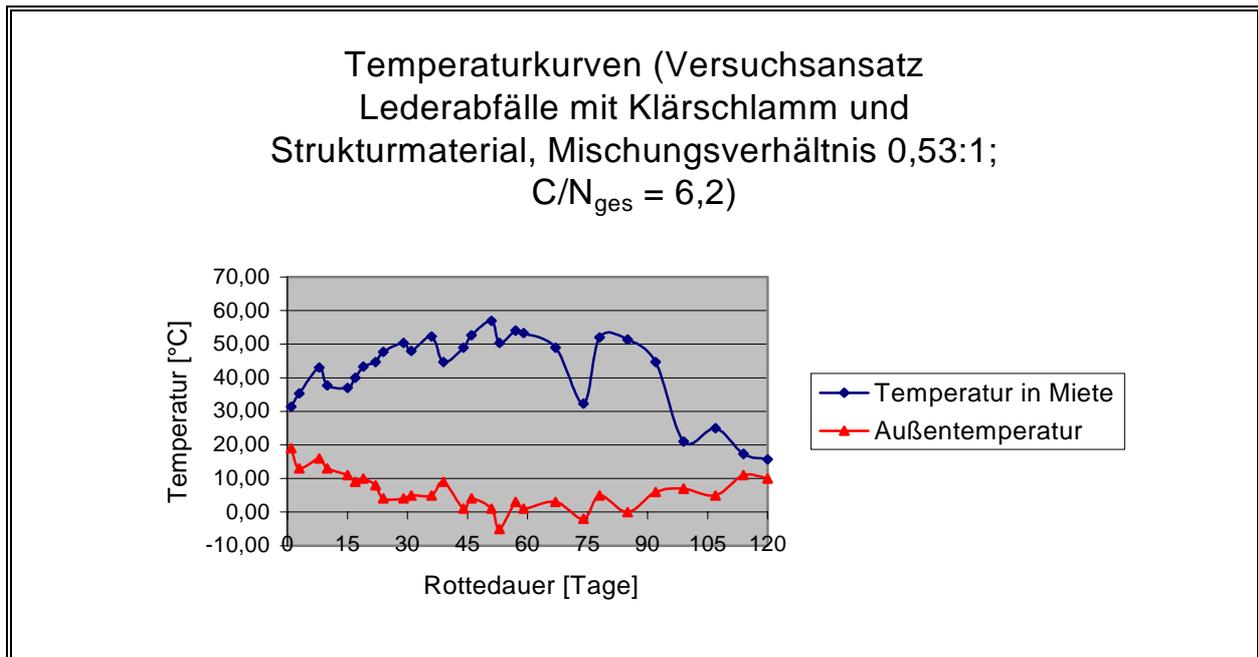


**Abbildung 7.6:** Temperaturverlauf über Rottedauer für Ansatz: Lederabfälle mit Bioabfällen.

Hier zeigt Abbildung 7.6 einen stetigen Temperaturanstieg ohne große Schwankungen auf etwa 70°C innerhalb von 60 Tagen, danach erfolgt ein Temperaturabfall mit großen Schwankungen. Dies erklärt sich so, daß ein Großteil des Materials bereits abgebaut war und dann die aeroben Bakterien infolge der Umschichtungen der Miete jeweils erneut mit der Zersetzung von nichtabgebauten Material begannen. Der Rotteverlauf ist deutlich günstiger als bei den beiden vorhergehenden Versuchen, was vorallem auf das geringe Mischungsverhältnis (Falzspäne: Bioabfälle = 0,45:1) zurückzuführen ist. Obwohl für diesen Ansatz mehr als doppelt so viel Bioabfälle als Leder Falzspäne verwendet wurden, war das  $C/N_{ges}$  – Verhältnis mit 6,6 immer noch zu gering.

### 7.3.4 Versuchsansatz: Falzspäne, Klärschlamm & Strukturmaterial

Für diesen Ansatz wurden 3.820 kg Lederabfälle (d.h. 9 m<sup>3</sup>) mit 1.320 kg Klärschlamm (d.h. 1,5 m<sup>3</sup>) und mit 5.920 kg Strukturmaterial (d.h. 11 m<sup>3</sup>) vermischt. Dieses Strukturmaterial ist der Siebüberlauf der 12 und 24 mm Maschensiebe der MBA – Allerheiligen und besteht vorallem aus ausgesiebten Holzspäneder Abfallverwertungsanlage von Allerheiligen. Wie bei den drei vorausgegangenen Experimenten erfolgte eine Kontrolle der Feuchtigkeit, eine Umsetzung der Miete und eine Temperaturmessung, dargestellt in Abbildung 7.7.



**Abbildung 7.7: Temperaturverlauf über Rottedauer für Ansatz: Lederabfälle mit Klärschlamm und Strukturmaterial.**

Diese Versuchsansatz, der ähnliche Ergebnisse wie in Abbildung 7.6 brachte, wies den relativ besten Rotteverlauf auf. In diesem Versuch wurde ein weitgehend biologische Abbau der Lederabfälle erreicht und nach ca. 120-140 Tagen war die Umgebungstemperatur wieder erreicht und es blieb dann bei dieser Temperatur. Dies trat bei den vorausgegangenen Versuchen erst deutlich später oder erst nach Versuchsende ein. Sicherlich ausschlaggebend für dieser positiven Verlauf des Kompostierungsversuches sind das geringe „Mischungsverhältnis“ von 0,53:1 und die Zugabe von ausreichend Strukturmaterial. Auch hier war der für eine Kompostierung günstige Bereich des C/N-Verhältnisses (d.h. 30 – 35) mit C/N = 6,2 noch bei weitem nicht erreicht.

### 7.3.5 Ergebnisse und Schlußfolgerungen

Wie aus den dargestellten Ergebnissen ersichtlich ist, traten bei den beschriebenen Versuchsansätzen zur Kompostierung chromfreier Rohlederabfälle (Lederfalspäne bzw. "Wet-White Shavings) gravierende Probleme auf. So zeigte sich aus dem Temperaturverlauf über die Rottedauer, daß bei einem zu großen Mischungsverhältnis Lederabfälle: Substratzugabe auch nach 120 Tagen (d.h. nach über 17 Wochen) noch kein ausreichender biologischer Abbau des Einsatzmaterials erreicht werden konnte. Zudem traten nach dem Umsetzen (bzw. der Belüftung) der Mieten bis gegen Versuchsende relativ große Temperaturschwankungen bei alle Ansätze auf, die kein geeignetes Strukturmaterial in ausreichender Menge enthielten. Ein besonders unangenehmes Problem war die extrem

starke Geruchsentwicklung, die während der Kompostierversuche auftrat. Bei allen Versuchansätzen war die Geruchsbelästigung über den Verlauf der Rotteperiode so stark, daß dies fast den Abbruch der im Freien ablaufenden Versuche bewirkt hätte. Der sehr unangenehme Geruch war eine Mischung aus Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) und Schwefelverbindungen (Mercaptane, Schwefelwasserstoff, etc.).

Eine Messung der Ammoniakwerte in ca. 5cm Abstand zur Oberfläche der Mieten ergab folgendes: 3 Wochen nach Versuchsbeginn wurde mittels DRÄGER-Röhrchen eine Konzentration von 30 ppm, ab der 5. Woche über 100 ppm und zum Ende der Versuche, nach 120 Tagen, immerhin noch 50 ppm  $\text{NH}_3$  gemessen.

Die erhöhten Ammoniakwerte und damit einhergehend die aufgetretene Geruchsbelastung erklären sich durch die charakteristische Zusammensetzung der Lederabfälle sowie dem für eine Kompostierung extrem ungünstigen C/Nges - Verhältnis.

Wie Tabelle 7.2 zeigt, sind Lederfalzspäne besonders Stickstoff- (14,5 % TS) und Schwefel- (0,7 % TS) reich, und das C/N – Verhältnis liegt bei dem, für eine Kompostierung extrem ungünstigen Wert von C/N = 3,2. Wenn nun nicht ausreichend biologisch leicht verfügbares, Kohlenstoff (C) – hältiges Substrat zugegeben wird, damit das C/N – Verhältnis im Bereich von C/N = 30 bis 35 liegt, versuchen die Mikroorganismen, den überschüssigen Stickstoff (N) in Form von  $\text{NH}_3$  aus der Kompostmiete abzugeben. Dies kann im Prinzip durch Substratzugabe, d.h. Zusatz einer biologisch leicht verfügbaren C-Quelle verhindert bzw. abgemindert werden. Wie Tabelle 7.2. zeigt, sind die in den vier Versuchansätzen zugemischten Substrate (mit Ausnahme von Klärschlamm und vorgerotteten Bioabfall) durchaus kohlenstoffreich, aber die zugemischte Menge war leider bei allen Ausätzen nicht ausreichend.

Wie aus Tabelle 7.2 hervorgeht, sind für alle 4 Versuche die eingesetzten Input-Materialien chemisch untersucht und charakterisiert werden, wobei auch der Kohlenstoff (C) – und Stickstoff (N) – Gehalt der bei der Kompostierung eingesetzten Substrate bestimmt wurde. Aus Gründen, die mit der Versuchsdurchführung (Verfügbarkeit der MBA – in Allerheiligen) zusammenhängen, kamen leider die Laborergebnisse zu spät, d.h. die Mietenversuche waren bereits angesetzt, als das C/Nges – Verhältnis bekannt wurde. Leider ist dadurch zu den besonders N-hältigen Leder-Falzspänen deutlich zu wenig C-reiches Substratmaterial zugegeben worden, d.h. die Versuche wurden in einem für die Kompostierung sehr ungünstigen C/N Bereich durchgeführt.

Nach 120 Tagen, d.h. am Ende der Kompostierversuche, wurde das Material aller vier Mieten erneut gewogen, um den Wasser- und Rotteverlust festzustellen.

Beim Versuchansatz "Lederabfälle und Stroh" gab es eine Massenreduzierung auf 3.250 kg oder 53,5 % des Eingangsgewichts.

Im Versuchsansatz "Lederabfälle und Pferdemit/Stallstreu" waren es 4.200 kg und 57,7 % des Eingangsgewichts.

Beim Versuchsansatz "Lederabfälle und Bioabfälle" waren es 6.080 kg oder 55,4 % des Eingangsgewichts.

Letztlich beim Versuchsansatz "Lederabfälle und Klärschlamm" verminderte sich das Gewicht auf 7.980 kg, was eine Verminderung von nur 28% bezogen auf das Eingangsgewicht bedeutet. Dabei muß allerdings berücksichtigt werden, daß die 5.920 kg Strukturmaterial sich im Versuch weitgehend inert verhalten. Bezogen auf die Masse der eingesetzten Lederabfälle und Klärschlamm verringerte sich die Masse auf 2.060 kg oder 40 % der Einsatzmasse.

Im Hinblick auf die Verminderung des Volumens der untersuchten Stoffe kann man feststellen, daß diese zwischen 41 und 55% beträgt, jeweils bezogen auf das Ausgangsvolumen. Die konkrete Volumsreduzierung beträgt im Versuch Stroh mit Lederabfälle 55 V-%, Pferdemit/Stallstreu mit Lederabfälle 51 V-%, Bioabfälle mit Lederabfälle 41 V-% und im Versuch Klärschlamm/Strukturmaterial mit Lederabfälle 46 V-%.

**Tabelle 7.1: Ausgewählte Versuchsergebnisse.**

Versuchsansatz	Trockengewicht [kg TS]	C – Menge [kg TS]		N – Menge [kg TS]		C/N Verhältnis	
Leder Falzspäne	1.988	926,4		288,3		3,21	
Stroh	1.277	573,4		12,13		47,27	
<b>Σ</b>	<b>3.265</b>	<b>1.499,8</b>		<b>300,43</b>		<b>4,99</b>	
Leder Falzspäne	1.953	910,1		283,2		3,21	
Pferde-Stallstreu	848	358,7		12,9		27,8	
<b>Σ</b>	<b>2.801</b>	<b>1.268,8</b>		<b>296,1</b>		<b>4,29</b>	
Leder Falzspäne	1.491	695		216,2		3,21	
Bioabfälle	3.198	1.135		60,4		18,8	
<b>Σ</b>	<b>4.689</b>	<b>1.820</b>		<b>276,6</b>		<b>6,58</b>	
Leder Falzspäne	1.666	776		241,6		3,21	
Klärschlamm	254	68,8		9,04		7,61	
Strukturmaterial	3.996	1.127		66,3		16,59	
<b>Σ</b>	<b>5.916</b>	<b>1.972*</b>	<b>845**</b>	<b>317*</b>	<b>251**</b>	<b>6,22*</b>	<b>3,37**</b>

\*) mit Strukturmaterial; \*\*) ohne Strukturmaterial.

Wie Tabelle 7.1 zeigt, lag das C/N-Verhältnis für die Gesamt-Versuchansätze (= Falzspäne + zugegebenes Substrat bzw. Strukturmaterial) leider nicht im optimalen Bereich für eine

Kompostierung. Auch die Bioverfügbarkeit der C-Quelle (z.B. Stroh, Stallstreu, Holz) war nicht ausreichend, um bei der Rotte eine übermäßige  $\text{NH}_3$ -Entwicklung zu verhindern.

Eine Betrachtung der Werte von Tabelle 7.3, die den jeweiligen Analysedaten für Kompost und Siebrückständen (>20mm) enthält, zeigt, daß die Werteabgesehen vom viel zu niedrigen C/N - Verhältnis allgemein innerhalb der Kompost Richtwerte liegen, insbesondere was die Schwermetalle anbetrifft. Die Werte für Kohlenstoff und Stickstoff bereiten Probleme und dies hauptsächlich in ihrem Verhältnis zueinander. Dieses C/N - Verhältnis im Kompost ist sehr niedrig und erreicht Werte zwischen 7,9 (Bioabfallzusatz) und 4,8 (Strohzusatz). Die Normalwerte für Kompost betragen 15 – 20 für das Verhältnis Kohlenstoff zu Stickstoff [101].

Bei dem hier erzielten extremen Kohlenstoff zu Stickstoff Verhältnis ist es nicht möglich, diesen Kompost ohne weitere Konditionierung als natürliches Düngemittel zu nutzen, denn die erhöhte Konzentration der Nährstoffe erlaubt nicht mehr, daß die Samen Feuchtigkeit aufnehmen und dies schließt jede Keimung aus [95]. Wird dieser Kompost auf Pflanzen angewandt, so „verbrennen“ ihre Wurzeln, was zunächst ihr Wachstum schädigt und dann zum Tod der Pflanzen führt. Ein anderes Problem von Komposten mit einem so extrem niedrigen C/N-Verhältnis ist der Gefahr, einer Verseuchung des Bodens oder sogar des Grundwassers durch Nitrat und/oder Nitrit.

Zusammengefaßt, lassen sich für die Pilotversuche zur Kompostierung von chromfreien Lederabfällen (Falzspänen bzw. "Wet-White-Shavings") folgende Schlußfolgerungen ziehen:

Man lernt aus Fehlern und aus Erfahrung wird man klug.

Gegerbte Lederabfälle stellen ein schwierig zu kompostierendes Material dar, da zum einen das Leder durch die Gerbung gegen die Zersetzung durch Mikroorganismen widerstandsfähig gemacht ist, und zum anderen ein sehr ungünstiges C/N-Verhältnis von 3 – 3,5 aufweist. So ergeben sich relativ lange Rottezeiten mit über 15 bis 20 Wochen und sehr unangenehme Geruchsprobleme. Zusätzlich zeigt der gebildete Kompost aufgrund seines extrem niedrigen C/N-Verhältnis schlechte Pflanzenverträglichkeit bis hin zur Phytotoxizität.

Aufgrund der eher leidvollen Erfahrungen aus den 4 Versuchansätzen lassen sich folgende Schlußfolgerung für ein erfolgreiches Kompostieren von chromfreien Lederabfällen geben:

- Wie aus Praxis und Literatur [101] bekannt, soll der Verhältnis Kohlenstoff:Stickstoff (C/N – Verhältnis) zu Beginn der Rotte im Bereich zwischen  $\text{C/N} = 30 - 35$  liegen, da das C/N – Verhältnis der Mikroorganismen (Bakterien, Aktinomyceten, Schimmelpilze und Hefen, Algen, Protozoen) im Durchschnitt 7:1 beträgt, und ca. 20 % des

organischen Kohlenstoffes zum Aufbau der neuen Zellsubstanz zur Verfügung steht. Somit errechnet das optimale C/N – Verhältnis wie folgt:

$$\frac{7}{0,2} : 1 = 35 : 1$$

Ist das C/N – Verhältnis deutlich >35, wird zu Beginn des Prozesses vermehrt CO<sub>2</sub> gebildet und die Vermehrung der Bakterien, und damit die Rotte, kommt nur zögernd in Gang. Ist das C/N Verhältnis wesentlich <35 (wie im dargestellten Fall) so verläuft die Rotte zwar unter hohen Zuwachspaten an Bakterien, doch es wird Stickstoff in Form von NH<sub>3</sub> freigesetzt, was zu Geruchsproblemen führt.

- Aus den dargestellten Ergebnissen geht deutlich hervor, daß eine Monokompostierung von Lederfalspänen ohne Zusatz von möglichst C-reichen, leicht abbaubaren Substrat nicht durchgeführt werden sollte.
- Wie aus Abbildung 7.8 hervorgeht, kommen von den 4 untersuchten Substraten (Zuschlagstoffen) prinzipiell nur Stroh, Pferdemist/Stallstreu und frischer Bioabfall in Frage, wobei das Mischungsverhältnis Lederfalspäne: Substrat und Strukturmaterial nicht mehr als 1:25 bis maximal 1:15 betragen darf, d.h. der Anteil der Lederabfälle in der Miete darf 4 bis 7 M% nicht überschreiten, wobei der Anteil von Strukturmaterial bei 30 – 40% liegen soll.
- Damit können Lederabfälle in Form einer Mitkompostierung (d.h. Co – Kompostierung) z.B. zusammen mit der C-reichen Kompostierfraktion aus der Hausmülltrennung als N-Quelle eingesetzt werden.
- Um das extrem niedrige C/N-Verhältnis von Lederabfälle bei der Kompostierung zu kompensieren und damit arge Geruchsprobleme durch NH<sub>3</sub>-Entwicklung zu vermeiden, muß eine gut bioverfügbare, reiche C-Quelle als Substrat zugeführt werden. Weniger bewährt haben sich Stroh, Sägespäne oder Holz. Sehr vielversprechende Ergebnisse lieferten (in Vorversuchen) hingegen die Abfälle Biertrester (Rückstand aus der Brauereiindustrie) und Weintrester (Rückstand aus der Weinindustrie).
- Wichtig ist das ausreichende Vorhandensein (ca. 30 – 40 M-%) von weitgehend inerten Strukturmaterial wie z.B. Häckselgut von Buschwerk, grober Rindenmulch oder MBA-Siebrückstände, das nach der Nachrotte abgeseibt und erneut zur Kompostierung eingesetzt werden kann. Durch diese Inokkulierung verkürzt sich auch die LAG-Phase der Rotte.

- Um die Pflanzenverträglichkeit des Fertigkompost sicherzustellen, muß dieser ausreifen. Die Zusammensetzung des Kompostes ist aufgrund von Analysen zu bestimmen und durch Konditionierung (Verdünnen bzw. Zugabe von Mangelnährstoffen) auf handelsübliche Qualitäten einzustellen.

Erwähnt werden soll, daß der Gewerbebetrieb Vogel inzwischen die dort anfallenden chromfreien Falzspäne einem Entsorgungsbetrieb zur Mitkompostierung (Zusammen mit Abfällen aus der Grünen Tonne bzw. mit reinen Bioabfällen) übergibt.

Im Verlauf dieser Arbeit sind die zur Kompostierung eingesetzten Stoffe (d.h. Lederfalzspäne, Substrate und Strukturmaterial) sowie der daraus gewonnene Feinkompost und die Siebrückstände > 20mm im Labor des Institutes für Entsorgungs- und Deponietechnik (IED) der Montanuniversität Leoben nachträglich untersucht worden. Die dabei ermittelten Meß- und Analysendaten konnten leider nicht mehr – wie bereits erwähnt – in die Versuchsplanung und Durchführung miteinfließen, sie sind aber in Tabelle 7.2 (für den Input) und Tabelle 7.3 (für den Output) dargestellt.

Um festzustellen, ob die gewonnenen Komposte als Düngemittel eingesetzt werden können wurden drei Pflanzenverträglichkeitstests mit Kresse durchgeführt. Der erste direkt nach Ablauf der 120 Tage andauernden Rotte. Ein Teil der Proben wurde danach aufbewahrt und nach 3 Monaten bzw. nach 6 Monaten wurden zwei weitere Versuche durchgeführt. Die ersten zwei Versuche zeigten absolut kein Pflanzenwachstum. Erst beim dritten Versuch konnte die Kresse wachsen, jedoch mit etwas geringerer Ausbeute als beim Vergleichssubstrat (Blumenerde). Die negativen Ergebnisse der Pflanzenverträglichkeitstests sind vor allem auf die gegebenen C/N Verhältnisse der Komposte (4,8; 5,9; 7,9 und 7,6) zurückzuführen. Daraus kann geschlossen werden, dass die Komposte nicht ohne weitere Konditionierung als Düngemittel verwendet werden können. Dies ist auf die zu hohe Konzentration an Nährstoffen zurückzuführen, die den Samen die Feuchtigkeit entziehen und damit jede Keimung verhindern. Ein weiteres Problem von Komposten mit einem so extrem niedrigen C/N-Verhältnis ist der Gefahr, einer Verseuchung des Bodens oder sogar des Grundwassers durch Nitrate und/oder Nitrite.

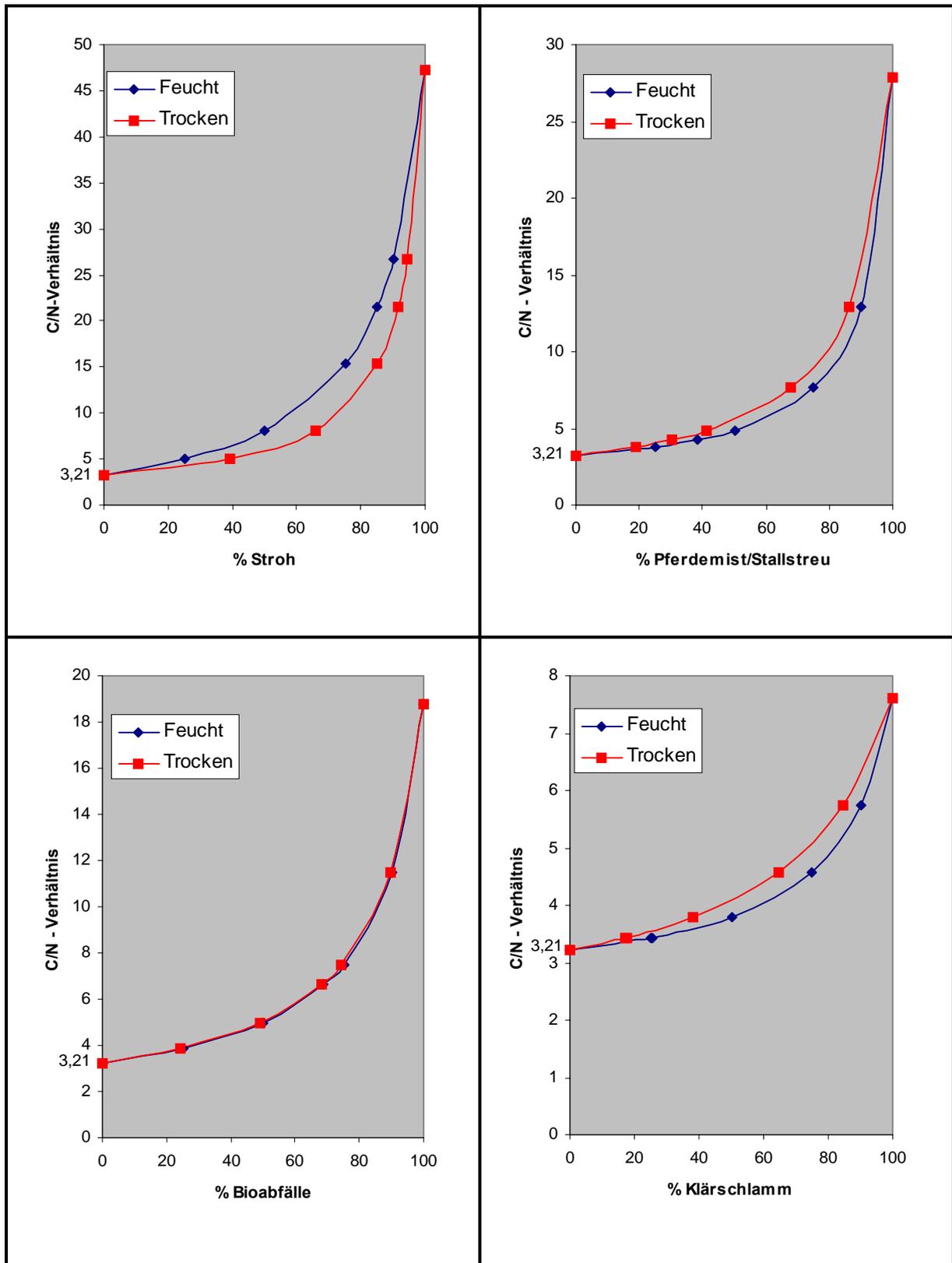


Abbildung 7.8: C/N-Verhältnis der Versuchsansätze (Input) in Abhängigkeit vom Anteil (M-%) des zugesetzten Substrates (Zuschlagsstoffs).

**Tabelle 7.2: Analyseergebnisse für die Einsatzmaterialien (INPUT) der Kompostiersversuche.**

Parameter	Kurzbezeichnung	Einheit	Meßwerte Lederabfälle	Meßwerte Stroh	Meßwerte Stroh/Mist	Meßwerte Bioabfälle	Meßwerte Klärschlamm	Meßwerte Strukturmaterial
pH-Wert im Eluat	pH	-	4,03	6,92	6,79	7,03	7,07	7,19
elektrische Leitfähigkeit im Eluat	eL	mS/m	3,37	2,27	3,78	4,64	2,36	3,36
Abdampfdruckstand im Eluat	ADR	mg/kg TS	8.145	2.795	5.610	1.490	1.330	2.615
Blei	Pb	mg/kg TS	<5	<5	<5	21,50	28,85	36,11
Cadmium	Cd	mg/kg TS	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	1,68	<0,5
Chrom gesamt	Cr	mg/kg TS	22,14	22,32	19,87	88,97	184,1	156,2
Kupfer	Cu	mg/kg TS	6,05	6,32	11,77	32,59	155,0	39,36
Quecksilber	Hg	mg/kg TS	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Zink	Zn	mg/kg TS	<125	<125	<125	137,4	1.019	400,2
Gesamter organisch gebundener Kohlenstoff (Feststoff)	TOC	mg/kg TS (%)	373.000 (37,3%)	261.000 (26,1%)	361.000 (36,1%)	286.000 (28,6%)	248.000 (24,8%)	200.000 (20,0%)
Wassergehalt	WG	%	56,40	16,02	69,69	57,70	73,24	32,49
Glühverlust	GV	%	97,26	95,72	88,35	70,95	56,35	49,50
Kalium	K	mg/kg TS	1.437	3.898	10.407	9.122	8.763	10.833
Chlor im Feststoff (IKA-Aufschluß)	Cl	mg/kg TS	10.764	1.558	5.662	4.324	1.293	7.529
Schwefel im Feststoff (IKA-Aufschluß)	S	mg/kg TS	6.930	490	1.540	1.607	5.297	1.858
Kohlenstoff	C	% TS	46,6	44,9	42,3	35,5	27,1	28,2
Stickstoff	N	% TS	14,5	0,95	1,52	1,89	3,56	1,66
Wasserstoff	H	% TS	6,10	5,83	5,17	4,31	3,95	3,07
Phosphor gesamt	P	mg/kg TS	68,9	51,4	2.563	3.237	33.600	4.405

**Tabelle 7.3: Analyseergebnisse für die Rotteprodukte (OUTPUT) der Kompostversuche.**

Parameter	Kurzbezeichnung	Einheit	Versuch mit Stroh		Versuch mit Stroh/Mist		Versuch mit Bioabfälle		Versuch mit Klärschlamm	
			Kompost	Überlauf	Kompost	Überlauf	Kompost	Überlauf	Kompost	Überlauf
pH-Wert im Eluat	pH	-	6,79	6,86	7,07	7,21	7,38	7,36	8,05	8,09
Elektrische Leitfähigkeit im Eluat	eL	mS/m	13,34	16,04	15,16	14,69	7,37	5,66	7,60	7,41
Abdampfdruckstand im Eluat	ADR	mg/kg TS	177.000	496.100	392.600	379.050	151.800	79.000	161.980	123.100
Blei	Pb	mg/kg TS	6,85	<5	6,19	6,78	25,35	24,72	42,11	30,54
Cadmium	Cd	mg/kg TS	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,64	0,67	0,72	0,67
Chrom gesamt	Cr	mg/kg TS	82,2	82,6	434,9	341,7	258,8	288	300,6	463,2
Kupfer	Cu	mg/kg TS	16,74	9,50	30,45	28,95	65,79	58,77	177,7	150,9
Quecksilber	Hg	mg/kg TS	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Zink	Zn	mg/kg TS	<125	<125	<125	<125	202,4	155,5	373,3	306
Gesamter organisch gebundener Kohlenstoff (Feststoff)	TOC	mg/kg TS (%)	272.301 (27,2%)	284.227 (28,4%)	293.236 (29,3%)	264.824 (26,5%)	230.238 (23,0%)	276.659 (27,7%)	193.073 (19,3%)	210.570 (21,0%)
Wassergehalt	WG	%	32,68	36,02	39,81	42,81	30,83	34,05	34,84	37,68
Glühverlust	GV	%	91,42	92,68	85,08	85,24	61,40	68,08	53,12	55,14
Kalium	K	mg/kg TS	4927	4192	13.290	12.260	11.805	10.050	11.557	10.097
Chlor im Feststoff (IKA-Aufschluß)	Cl	mg/kg TS	9.329	10.421	11.074	11.254	6.765	8.289	8.078	8.695
Schwefel im Feststoff (IKA-Aufschluß)	S	mg/kg TS	0,89	0,89	1,04	0,91	0,66	0,63	0,54	0,57
Kohlenstoff	C	% TS	42,1	42,4	39,6	39,7	30,0	33,7	26,0	27,5
Stickstoff	N	% TS	8,8	9,2	6,7	7,0	3,8	3,5	3,4	2,9
Wasserstoff	H	% TS	5,4	5,6	5,0	5,0	3,7	4,2	3,0	3,2
Phosphor gesamt	P	mg/kg TS	732	633	1.944	2.403	3.798	4.500	6.443	4.355

## 8 Zusammenfassung der Ergebnisse

Im Rahmen der vorliegenden Dissertationsarbeit wurde zunächst eine IST-Analyse der Abfallwirtschaft in Brasilien erstellt, wobei näher auf das Thema Hausmüll eingegangen wird. Wie im Kapitel 2 dargestellt wurde, ist die Situation in Brasilien anders als in Europa und jede Region dieses südamerikanischen Landes weist ihre Besonderheiten auf, wodurch es nicht sinnvoll ist, in europäischen Ländern bewährte, abfalltechnische Lösungen und Know-How direkt im Maßstab 1:1 zu übertragen.

In dieser Arbeit sind drei unterschiedliche Organisationssysteme zur Sammlung, Sortierung, Verwertung und Behandlung von Hausmüll im Bundesstaat Rio Grande do Sul beschrieben worden, und zwar:

- Private Hausmüllentsorgung in Carlos Barbosa,
- Kollektive Trennung & Verwertung von Hausmüll in Porto Alegre durch NGO's
- Kommunale Sammlung, Trennung, Verwertung und Behandlung von Hausmüll in der Gemeinde Estrela.

Die Hausmüll Sortier- und Behandlungsanlage in Estrela ist das nähere Ziel der Dissertation. Eine vor Ort durchgeführte IST-Analyse zeigt zunächst die Schwachstellen dieser Anlage auf. So wird der Hausmüll in Estrela nicht getrennt gesammelt und kommt in Plastik-Einkaufstüten gefüllt, vermischt bei der Sortieranlage an, wo die Plastiksäcke händische geöffnet und entleert werden. Die nachfolgende Sortierung ist unhygienisch, mangelhaft und letztlich wenig effektiv, da das Sortierband mit klebrigen Materialien überladen ist. Danach erst erfolgt eine Klassierung (70 mm Trommelsieb), wobei der Siebdurchgang zur Kompostierung und der im wesentlichen die Leichtfraktion enthaltende Siebüberlauf (in gepreßter Ballen-Form) zur Deponie gelangt.

Diese insgesamt unbefriedigende Situation war der Ausgangspunkt für den in Kapitel 5 beschriebenen Pilotversuch ESTRELA, der die Optimierung und Modifizierung der bestehenden Anlage zum Ziel hatte. Dabei wurden sowohl die Anlagenkonfiguration als auch einzelne Prozeßschritte (z.B. Kompostierung) verändert und neugestaltet. So wird der ankommende Müll vorsortiert. Dabei werden Glasflaschen und Windeln entfernt, bevor der Abfall durch ein 70 mm Trommelsieb in die Kompostierfraktion (Siebdurchgang) und die Sortierfraktion (Siebüberlauf) getrennt wird. Durch die neue Konfiguration: **Klassierung vor Sortierung** kommt es zu einer wesentlichen Entlastung des Sortierbandes (auf das jetzt nur mehr ein Anteil von 21,0 M-% des nicht getrennt angelieferten Mülls gelangt) und zudem fallen die abzutrennenden Altstoffe in deutlich geringer verunreinigter Form an. Im beschriebenen Pilotversuch konnte gezeigt werden, daß dabei 13,6 M-% an wiederverwertbaren Altstoffen abgetrennt werden kann, wobei die Qualität des Recyclinggutes gegenüber dem IST-Zustand wesentlich verbessert ist.

Eine weitere Optimierung im Pilotversuch betraf die **Kompostierung**: Durch Substitution der alten, ineffektiven Haufen-Mieten durch den Stand der Technik entsprechende Dreiecks-Mieten mit regelmäßiger Umsetzung und Feuchtigkeitskontrolle konnte die Rottedauer auf 10-15 Wochen gesenkt werden. Die am IED durchgeführte chemische Analyse des Müllkompostes zeigt, daß der Schwermetallgehalt des erzeugten Produktes relativ hoch ist, was zu weiteren Prozeß- Veränderungen führen wird (z.B. vorherige getrennte Sammlung von Batterien und Modifikation der Maschenweite bei der Siebung).

Ein weiteren Schritt im Modell ESTRELA betraf die Behandlung der anfallenden, hochkalorischen Siebrückstände ( $H_o = 24.714 \text{ kJ/kg TS}$ ), die bisher auf die Deponie gelangten. Hier wurden Voruntersuchungen durchgeführt, um den Sieb- Rückstand zu **Ersatzbrennstoff** (EBS bzw. RDF oder BRAM) aufzubereiten und in der Zementindustrie energetisch zu verwerten.

Im letzten Teil dieser Arbeit (Kapitel 7) werden Pilotversuche zur **Kompostierung von chromfreien Gerbereiabfällen** (Falzspäne oder "Wet-White Shavings") berichtet, die in Österreich an der MBA in Allerheiligen durchgeführt wurden. Das Ergebnis dieser Untersuchungen ist auch für die Abfallwirtschaft von Estrela relevant, da in der näheren Umgebung dieser Stadt ein Zentrum der Lederindustrie liegt.

Als praktisches Ergebnis dieser Versuche kann festgehalten werden, daß auf Grund der charakteristischen Eigenschaften von Leder (extrem kleines C/N-Verhältnis und verstärkte Resistenz gegenüber Abbau durch Mikroorganismen) eine Monokompostierung nicht zu empfehlen ist. Wohl aber können Lederabfälle, für deren Entsorgung sich mit Inkrafttreten der Deponieverordnung in Österreich ein Engpaß abzeichnet, als Stickstoff-Quelle zusammen mit Kohlenstoff- und Struktur-reichen Abfällen **mitkompostiert** werden.

Der Pilotversuch ESTRELA ist vorallem deshalb durchgeführt worden, um damit ein wirkungsvolles, in der Praxis funktionierendes Modell zur Entsorgung von Hausmüll zu schaffen, daß auf vergleichbare, andere Städte in Brasilien übertragen werden kann.

Auf diesen Gründen erscheint es notwendig, die einzelnen Ergebnisse dieser Arbeit nochmals getrennt anzuführen.

## 8.1 Die Abfallsammlung

Was die organisierte Hausmüllsammlung in Brasilien betrifft, so hat sich gezeigt, daß die Stadtverwaltungen im wesentlichen zwei Formen praktizieren: Die traditionelle Form, bei der alle Abfälle ungetrennt in Kunststoffsäcken (Einkaufstüten) gesammelt werden, ungeachtet ob es sich dabei um organischen oder nicht-organischen Müll handelt. Die andere Form, für die sich bisher nur wenige brasilianische Städte entschieden haben, ist die Getrennte Müllsammlung („Coleta Seletiva“), wobei die Abfälle bereits in den Haushalten durch die Bewohner vorgetrennt werden. Dabei werden die Abfälle in den sogenannten „trockenen

Abfall“ („Lixo Seco“), in dem sich der Großteil der wiederverwertbaren Altstoffe befindet, und in den sogenannten „feuchten Abfall“ („Lixo Umido“), der sich im wesentlichen aus biogenen Abfallstoffen zusammensetzt, separiert.

Eine besondere Eigenheit der Abfallsammlung in Brasilien stellen die sog. „Catadores“ dar, d.h. Müllsammler die mit ihren Handkarren durch die Straßen ziehen und die begehrten Filet-Stücke aus dem Abfall (d.h. Pappkarton, Alu-Dosen und PET-Flachen) entnehmen. Durch diese geduldete, nicht offizielle Vorsammlung ist der schließlich bei der Sortieranlage in Estrela eintreffende Müll bereits an verwertbaren Altstoffen deutlich abgereichert, was die relativ niedrige Recyclingsquote von 13 bis 16 M-% erklärt.

An dieser Stelle ist festzustellen, daß an einer einfachen, **Getrennten Sammlung von Hausmüll** (d.h. in „trockenen Müll“ der ca. 30 M-% ausmacht und „feuchten Müll“, der ca. 70 M-% enthält) in Estrela kein Weg vorbeiführt. Ebenso erscheint es wichtig, Problemstoffe wie Batterien in öffentlichen Gebäuden und bei Supermärkten einzusammeln, und nicht in den Hausmüll gelangen zu lassen.

Ausgehend von Kenntnissen der brasilianischen Verhältnisse und von den praktischen Erfahrungen des Modellversuchs in Estrela, erscheint es notwendig, einige Anmerkungen zu machen:

Um das System der **Getrennten Müllsammlung**, oder wie es in Brasilien heißt, der „Coleta Seletiva“ einzurichten, ist hierfür ein wirklich bestehendes, entsprechendes politisches Interesse der Stadtverwaltung erforderlich. Die Stadtverwaltung muß die tatsächlichen Kosten der Einrichtung und des Unterhalts eines solchen Systems kennen und akzeptieren, aber auch bezahlen können. Auch muß von Anfang an sichergestellt werden, daß die getrennte Müllsammlung nachhaltig fort dauert, unabhängig von politischen Veränderungen in der Stadtverwaltung (z.B. neuer Bürgermeister).

Es sollte auch versucht werden, die im Grenzbereiche zur Illegalität wirkenden „Catadores“, die z.Z. in Konkurrenz mit der kommunalen Hausmüllsammlung in Estrela stehen, in das Sammelsystem zu integrieren. Keine schöne Lösung dazu wurde in Carlos Barbosa gefunden, wo die privaten Betreiber der Abfallentsorgung ihre Konkurrenz, die Catadores, von der Polizei aus den Straßen vertreiben ließen.

Eine nachhaltige Abfallwirtschaft muß auch soziale Aspekte berücksichtigen [104] und durch die Integration der Catadores in das System der Getrennten Abfallsammlung von Estrela würden sich die sozialen Problemen von Personen, die am Rande der Gesellschaft leben, vermindern.

Das Funktionieren des System der Getrennten Sammlung, der „Coleta Seletiva“ hängt entscheidend auch von der Einsicht und der Unterstützung der Bevölkerung ab, die durch eine Aufklärungskampagne informiert und motiviert werden muß. Gleichzeitig muß diese Idee auch durch den Handel und das Gewerbe unterstützt werden. Im Verlauf dieser Arbeit konnte z.B. das Interesse von Supermarkt - Ketten geweckt werden, in Zukunft zwei verschiedenfarbige Arten von Einkaufstüten an die Kunden weiterzugeben und zwar für „Lixo Úmido“ in Weiß und für „Lixo Seco“ in Grün.

## 8.2 Die Abfalltrennung

Auch in dieser Arbeit hat sich wieder einmal gezeigt, daß das Ergebnis der Abfalltrennung in der Sortieranlage vom System der Abfallsammlung abhängt. Die Arbeitsbedingungen und die Ergebnisse der späteren Sortierung sind wesentlich besser, wenn das Material bereits in „trockener Müll“ und „feuchter Müll“ vorgetrennt in die Anlage gelangt. Der Zustand des angelieferten Abfallmaterials ist abhängig vom System der Sammlung, und bei der Getrennten Sammlung gelangen die Sortierfraktionen sehr viel sauberer zur Abfallverwertungsanlage und können so in besserer Qualität zur Verwertung gelangen.

Die Menge der aussortierten Altstoffe ist ebenfalls abhängig von der Wirksamkeit des Systems der Abfallsammlung, z.B. davon, welchen Prozentanteil der städtischen Bevölkerung die Müllsammlung erreicht. Diese Bemerkung ist gerechtfertigt, weil es in Brasilien noch sehr viele Gemeinden gibt, in denen das System der Müllsammlung oder der Getrennten Müllsammlung nur in einigen Stadtteilen funktioniert.

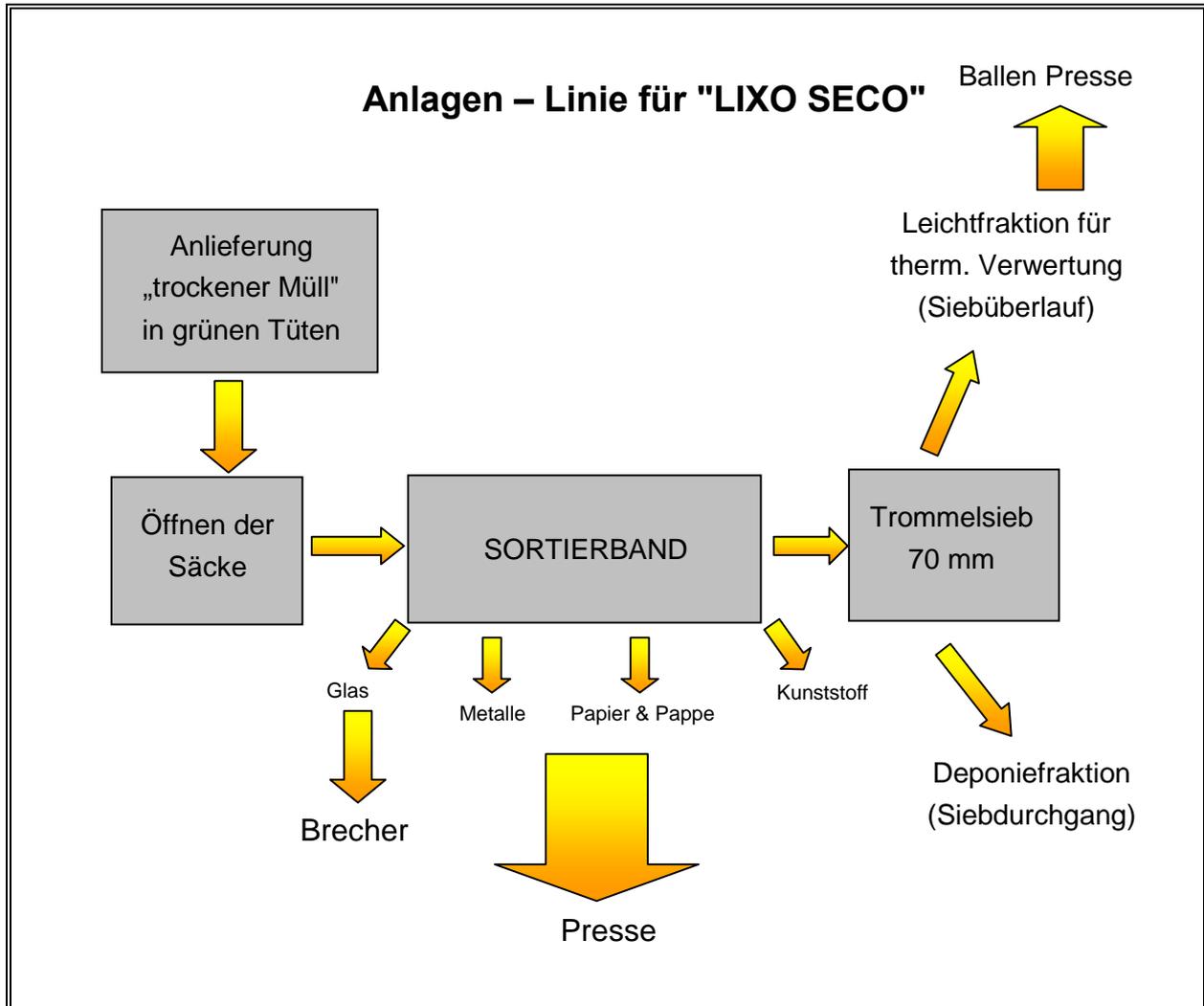
Der Modellversuch Estrela hat bewiesen, daß eine Veränderung des Systems der Abfalltrennung und -sortierung wesentlich die Arbeitsbedingungen und die Qualität des aussortierten, wiederverwertbaren Materials beeinflusst. Die im Modellversuch Estrela vorgenommenen Veränderungen am System der Abfalltrennung und -sortierung erfolgten, weil es zum damaligen Zeitpunkt nicht möglich war, in der Gemeinde ein funktionierendes System einer Getrennten Hausmüllsammlung einzuführen.

Der durchgeführte Pilotversuch ging daher von ungetrennt angelieferten kommunalen Abfällen aus, wobei die vorgenommenen Modifikationen wie bereits erwähnt die Anlagenkonfiguration (d.h.: Klassierung vor Sortierung) und einzelne Prozeßschritte betrafen.

Geht man etwas optimistisch davon aus, daß in naher Zukunft auch in Estrela die Getrennte Sammlung von Hausmüll erfolgreich installiert wird, dann ergeben sich dadurch in Hinblick

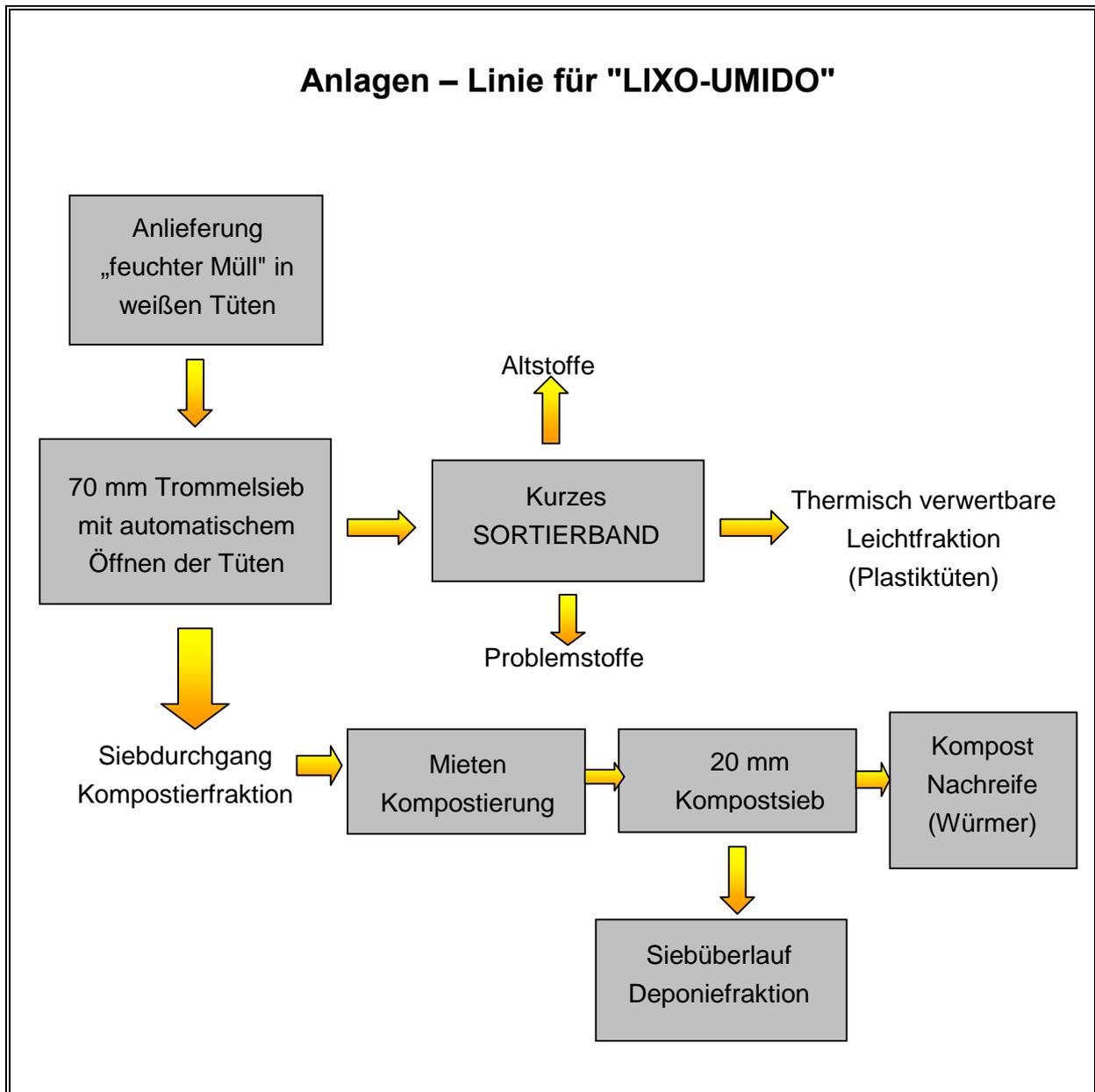
auf die weitere Optimierung der Sortier-, Verwertungs- und Behandlungsanlage folgende Auswirkungen:

Der Abfall wird nun getrennt in "Lixo Seco" und "Lixo Umido" in verschiedenfarbigen Einkaufstüten angeliefert und müsste entsprechend getrennt in zwei Linien aufbereitet bzw. aufgearbeitet werden. Dies ist in den folgenden Abbildungen 8.1 und 8.2 dargestellt.



**Abbildung 8.1: Getrennte Aufbereitung von "trockenen Müll" in der zukünftigen Modellanlage Estrela.**

Der in grünen Tüten angelieferte "trockene Müll" wird durch (händisches) Öffnen der Säcke über einen Aufgabetrichter dem Sortierband aufgegeben, wo die Altstoffe aussortiert werden. Diese gelangen zur Presse bzw. zum Brecher (für Glas). Der Sortierrest gelangt am Ende des Bandes in ein 70 mm Trommelsieb, wo die Leichtfraktion als Siebüberlauf zur Zwischenlagerung für die thermische Verwertung abgetrennt wird. Der 70 mm – Siebdurchgang stellt die weitgehend inerte Deponiefraktion dar.

**Anlagenkonfiguration: Sortierung vor Klassierung.**

**Abbildung 8.2: Getrennte Aufbereitung von "feuchten Müll" in der zukünftigen Modellanlage Estrela.**

Der in weißen Tüten angelieferte „feuchte Müll“ wird einem speziellen, 70 mm Trommelsieb aufgegeben, in dem auch (durch hakenartige Vorrichtungen) die Öffnung und Entleerung der Müllsäcke automatisch erfolgt. Der 70 mm Siebdurchgang bildet die Kompostierfraktion, die auf die Dreiecksmieten gelangt und nach Ende der Rotte (ca. 15 Wochen) bei 20 mm abgesiebt wird. Der Siebdurchgang ist der Frischkompost, der zur Nachreife mit

Regenwürmern geht. Der Siebüberlauf stellt die mechanisch-biologisch vorbehandelte stabilisierte Deponiefraktion dar.

Der Siebüberlauf aus dem ersten, 70 mm Trommelsieb enthält vorwiegend leere Plastiksäcke und entspricht einer Leichtfraktion. Bei Bedarf werden durch ein nachgeschaltetes kurzes Sortierband restliche Altstoffe und Problemstoffe aussortiert, der Durchlauf geht zur Presse und danach zur Zwischenlagerung für die thermische Verwertung

### **Anlagenkonfiguration: Klassierung vor Sortierung**

Durch diese getrennte Aufarbeitung in 2 Linien ergeben sich erwartungsgemäß folgende Vorteile:

- die mit der Aussortierung betrauter Arbeiter haben nur mit ca. 30 % des angelieferten, trockenen Materials Kontakt,
- deutlich verbesserte, hygienische Arbeitsbedingungen,
- erhöhte Ausbeute von aussortierten Altstoffen, besserer Qualität,
- bessere Kompostqualität,
- geringerer Anfall von weitgehend inerten bzw. mechanisch-biologisch vorbehandelten Restabfällen zur Deponierung.

## **8.3 Die Kompostierung**

Bei einem Anteil von 60 bis 70 M-% im Hausmüll Brasiliens bedürfen die organischen Abfälle einer besonderen Betrachtung. Ihre Verwertung kann heute nicht mehr so vernachlässigt werden, wie dies in der Abbildung 2.8 aufgezeigt ist, nämlich, daß von den dort anfallenden organischen Abfällen letztlich nur 0,90 % kompostiert werden.

Im Rahmen des geschilderten Pilotversuchs an der Anlage von Estrela (Kapitel 6) ist auch die dort vorhandene, im Freien stehende Kompostieranlage untersucht und optimiert worden. Die Verbesserungen betrafen vor allem die Form der Mieten (normgemäße Dreiecksmiete anstelle von aufgetürmter Haufenmiete) und das Belüften durch Umsetzen, sowie die Feuchtekontrolle, wodurch die Rottezeit auf 10 – 15 Wochen verkürzt und dadurch der Durchsatz erhöht werden konnte.

Die Kompostiersversuche zeigten auch ein anderes Problem auf, und zwar jenes der Schwermetalle. Aufgrund der Analysenergebnisse muß der Kompost von Estrela wegen der relativ hohen Schwermetallgehalte in die Gefahrenklasse 3 der europäischen Qualitätsnorm [93] eingeordnet werden. Dies schließt zur Zeit nach EU-Recht eine landwirtschaftliche Verwertung aus, welche jedoch im „Modell Estrela“ unbedingt anzustreben ist. Von den folgenden Maßnahmen wird erwartet, daß eine Schadstoffentfrachtung soweit erfolgt, daß die Gefahrenklasse bzw. Güteklasse 2 erreicht werden kann, und zwar:

- durch Implementierung der „Getrennten Hausmüllsammlung“ mit integrierter öffentlicher Sammlung von Problemstoffen (insbesondere Batterien),
- durch nachgeschaltete Klassierungsschritte (z.B. Kompostsiebung bei 20 mm Maschenweite) zur Ausschleusung von Störstoffen.

Wie Vorversuche gezeigt haben, ist dieses Ziel erreichbar.

### 8.3.1 Kompostierung von Lederabfällen

Als wesentliches Ergebnis der Kompostierversuche mit Leder-Falzspänen („Wet-White Shavings“) hat sich gezeigt, daß aufgrund des extrem niedrigen C/N-Verhältnisses (C/N = 3,21) eine Monokompostierung von Leder praktisch nicht möglich bzw. nicht sinnvoll ist.

Um gravierende Geruchsemissionen zu vermeiden und um einen pflanzenverträglichen Kompost zu erzeugen, darf der Anteil der Lederabfälle zu Beginn der Miete nicht mehr als **ca. 5 M-%** bis maximal **7.5 M-%** betragen, damit unter Zugabe von C-reichen Zuschlägen und Strukturmaterial ein günstiges **C/N-Verhältnis** von **30:1** erreicht werden kann. Im Rahmen von Vorversuchen haben sich vorallem Biertreber (Brauereiabfall) und Weintrester (Weinproduktionsabfall) als besonders gut bioverfügbare, reiche C-Quellen erwiesen. Unter Einhaltung des C/N-Verhältnisses (im Bereich C/N = 30) lässt sich bei entsprechender Substratwahl ein pflanzenverträglicher, schadstoffarmer Kompost erzeugen, siehe dazu Tabelle 8.1.

**Tabelle 8.1: Vergleich der Schwermetallbelastung [mg/kg TS].**

Schwermetall	Grenzwert laut Gütegemeinschaft Kompost e.V. (RAL-GZ-251)	Kompost der 1. Miete (Lederspäne-Stroh)	Kompost der 2. Miete (Lederspäne-StrohMist)	Kompost der 3. Miete (Lederspäne-Biogen)	Kompost der 4. Miete (Lederspäne-Klärschlamm)
Blei	150	6,85	6,19	25,35	42,11
Cadmium	1,5	<0,5	<0,5	0,64	0,72
Chrom	100	82,2	434,9	258,8	300,6
Kupfer	100	16,74	30,45	65,79	177,7
Nickel	50	91,5	289	338	459
Quecksilber	1,0	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Zink	400	<125	<125	202,4	373,3

Wie die Ergebnisse (Tabelle 8.1, Erste Miete mit Strohzusatz) zeigen, ergeben die chromfreien Lederfalzspäne einen Kompost mit niedrigen Schwermetallgehalten, da chromfrei gegerbtes Leder von Aluminium abgesehen nur geringe Spuren an Schwermetallen aufweist.

Eine Verringerung der Schwermetallbelastungen bei der Mitkompostierung von Lederfalzspänen ist vor allem durch die Wahl von geringer belasteten Zuschlagsstoffen (Substraten) zu erreichen.

Um die Pflanzenverträglichkeit des Fertigungskompostes sicherzustellen, muß dieser ausreifen. Die Zusammensetzung des Kompostes ist aufgrund von Analysen zu bestimmen und durch Verdünnen bzw. Zugabe von Mangelnährstoffen auf handelsübliche Qualitäten zu konditionieren.

Abschließend soll noch erwähnt werden, daß die Lederfabrik Vogel derzeit die dort anfallenden chromfreien Wet White- Shavings (Falzspäne) erfolgreich einem Entsorgungsbetrieb zur Mitkompostierung (Zusammen mit Abfällen aus der grünen Tonne bzw. mit reinen Bioabfällen) übergibt.

## 8.4 Energetische Verwertung und Deponierung

Die Energiekrise in Brasilien bewirkt, daß gegenwärtig alle zuständigen staatlichen Organe nach Alternativen in der Energieversorgung suchen. Die energetische Verwertung der aufbereiteten Siebrückstände (Leichtfraktion) aus der Hausmülltrennung und Behandlung könnte dazu eine wirksame Alternative sein. Im Pilotversuch Estrela wurde u.a. die „Leichtfraktion“ analysiert, um ihre mögliche Verwertung als Ersatzbrennstoff bei der Mitverbrennung zu untersuchen. Es handelt sich dabei um den sogenannten Überlauf aus der 70 mm-Siebung, wie im Kapitel 5.5 beschrieben.

Die Möglichkeit einer energetischen Wiederverwertung dieses Materials ergibt sich aus dem relativ hohen Heizwert. Die entnommenen Proben wiesen einen Brennwert von 24.715 kJ/kg TS bei einer Chlorkonzentration von < 0.7 % auf. Werden diese Rückstände verbrannt, verlängert sich damit auch die Nutzungsdauer der Lagerstätten (Deponien), denn der Siebüberlauf besteht im wesentlichen aus Kunststoffteilen, die einen großen Raum in der Deponie einnehmen würden.

Aus unserer Sicht wären insbesondere die Zementwerke ein geeigneter Abnehmer für diesen Ersatzbrennstoff. Aber diesbezüglich sind weitere Untersuchungen erforderlich, damit die erforderliche Qualitätssicherheit, Versorgungssicherheit und auch Rechtssicherheit garantiert werden kann. Da hier Handlungsbedarf besteht, ergibt sich daraus ein weiteres Thema für zukünftige Arbeiten.

## 8.5 Implementierung des Modells Estrela mit der Möglichkeit seiner Übertragung auf andere Standorte

Die Möglichkeit, das **MODELL ESTRELA** auf andere brasilianische Städte vergleichbarer Größe zu übertragen, ist bei erfolgreicher Implementierung realistisch gegeben. Es gibt viele Gemeinden, die eine ähnliche Struktur und Einwohnerzahl wie Estrela aufweisen. Im Kapitel 1.2 wurde aufgezeigt, daß 75 % aller brasilianischen Städte weniger als 20.000 Einwohner

haben. Ein zweiter Grund für die prinzipielle Übertragbarkeit des Hausmüllentsorgungsmodells ist die ähnliche Zusammensetzung des brasilianischen Hausmülls mit einem hohen Anteil (60 – 70 M-%) von „feuchten Müll“.

Es ist bekannt, daß es in Brasilien wegen der kontinentalen Größe des Landes, auch große soziale, kulturelle und klimatische Unterschiede gibt, die das tägliche Leben und somit auch den Anfall der täglichen häuslichen Abfälle beeinflussen. Ungeachtet dessen, können zwei Erfahrungen aus dem Pilotversuch Estrela auf andere Städte übertragen werden:

- Die getrennte Sammlung von Hausmüll, bei der bereits in den Haushalten in „trockenen Müll“ (Lixo Seco) und „feuchten Müll“ (Lixo Umido) vorgetrennt wird, sowie die öffentliche Sammlung von Problemstoffen (wie z.B. Batterien) ist die wesentliche Vorbedingung für ein erfolgreiches, kommunales Abfallmanagement.
- Nachhaltige Lösungen in der Abfallwirtschaft (einer Stadt) müssen nicht nur technisch ausgereift, sondern auch sozialverträglich sein. Dies gilt vorallem in Hinblick auf die „Müllmenschen“ und die Catadores, die in das kommunale Entsorgungssystem unter Verbesserung ihrer Lebensumstände zu integrieren sind.

In einer abschließenden Betrachtung lässt sich feststellen, daß noch viel Mühe und Arbeit vor uns liegt, um das Problem einer zufriedenstellenden Entsorgung / Verwertung / Behandlung von häuslichen Abfällen in Brasilien zu lösen.

Derzeit kann ganz Brasilien als ein großes Laboratorium für die Anwendung von Abfallmanagementmethoden sowie Entsorgungstechnologien in Entwicklungsländern angesehen werden, und hier gewonnene Kenntnisse könnten auch in anderen Regionen, insbesondere in den Länder Lateinamerikas, erfolgreich umgesetzt werden. Die vorliegende Dissertationsarbeit ist als ein Beitrag dazu gedacht. Auch wenn sie nur ein Mosaiksteinchen im vielfärbigen Bild der Abfallwirtschaft eines großen, zukunftssträchtigen Landes darstellen kann, hat ihr sie Ziel und ihren Zweck erreicht, wenn sich aufgrund der hier im Pilotversuch Estrela erarbeiteten Ergebnisse nachhaltige Verbesserungen sowohl für die Umwelt als auch für die in ihr lebenden Menschen ergibt.

## 9 Verzeichnisse

### 9.1 Literatur

- [1] República Federativa do Brasil: Constituição da República Federativa do Brasil, Brasília, 1998.
- [2] Bundesrepublik Deutschland: Grundgesetz für die Bundesrepublik Deutschland, Bonn, 1949.
- [3] Republik Österreich: Bundes-Verfassung der Österreichischen Republik, Wien, 1929.
- [4] Congresso Nacional Brasileiro: Política Nacional de Resíduos Sólidos; Projeto em tramitação na Comissão Especial de Resíduos Sólidos, Brasília, 2001.
- [5] Estado do Rio Grande do Sul: Decreto Estadual nº38.356, de 01 de Abril de 1998 – Dispõe sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos no Estado do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1998.
- [6] Fundação Estadual do Meio Ambiente – FEPAM: Licenciamento Ambiental de Aterro Sanitário; documento com regras para o licenciamento ambiental de Aterro Sanitário no estado do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- [7] Estado do Rio Grande do Sul: Código Estadual do Meio Ambiente; Instituído pela Lei nº 11.520, de 03 de Agosto de 2000, Porto Alegre, 2000.
- [8] Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie (Hrsg.): Verpackungsverordnung, BGBl. Nr. 648/1996, Wien, 1996.
- [9] Umweltbundesamt für Mensch und Umwelt: Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW./AbfG); Verpackungsverordnung, Berlin, 1996.
- [10] Município de Estrela: Código de Posturas do Município de Estrela, Instituído pela Lei municipal nº 2638 de 1º de Março de 1994, Estrela, 1994.
- [11] Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA: Resolução nº 007 de 16 de Setembro de 1987; trata sobre a divulgação nos produtos que contêm amianto sobre a periculosidade do mesmo, Brasília, 1987.

- [12] Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA: Resolucao nº 264 de 26 de Agosto de 1999; trata sobre o licenciamento para o co-processamento de resíduos sólidos em fornos rotativos de producao de clínquer, Brasília, 1999.
- [13] Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA: Resolucao nº 257 de 30 de Junho de 1999; trata sobre o destino final de pilhas e baterias, Brasília, 1999.
- [14] Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA: Resolucao nº 258 de 26 de Agosto de 1999; trata sobre a destinacao final dos pneumáticos, Brasília, 1999.
- [15] Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA: Resolucao nº 275 de 25 de Abril de 2001; trata sobre a padronizacao das cores nos projetos de coleta seletiva, Brasília, 2001.
- [16] Agenda 21 Global: Conferência das Nacoes Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento, Rio de Janeiro, 1992.
- [17] Associacao Brasileira de Normas Técnicas – ABNT: Resíduos Sólidos – Classificacao; NBR 10004, Sao Paulo, 1987.
- [18] Lima, L. M. Q.: O tratamento do lixo, Editora Hemus, Sao Paulo, 1985.
- [19] Secretaria do Meio Ambiente do Estado de Sao Paulo: A cidade e o lixo, São Paulo, 1998.
- [20] Environmental Protection Agency – (EPA): Municipal Solid Waste, USA, 1995.
- [21] Bidone, F. R. A.; Povinelli, J.: Conceitos Básicos de Resíduos Sólidos, EESC/USP, São Carlos, 1999.
- [22] Philippi Júnior, A.: Agenda 21 e resíduos sólidos. In: RESID´99 – Seminário sobre resíduos sólidos, Associação Brasileira de Geologia e Engenharia, Sao Paulo, 1999.
- [23] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE: [http://www.ibge.gov.br/ibgeteen/Pesquisas/condvida\\_destino\\_do\\_lixo.html](http://www.ibge.gov.br/ibgeteen/Pesquisas/condvida_destino_do_lixo.html), fevereiro, 2000.
- [24] Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA: Atlas do Meio Ambiente do Brasil, Editora Terra Viva, Brasília, 1994.

- [25] Henriques, V. M.: Estudo da composicao gravimétrica e físico-química dos resíduos sólidos domiciliares do município de Vitória – ES; Dissertacao no Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 1999.
- [26] Scholz, L. C.: Coleta, tratamento e disposicao final: problemas e perspectivas. In: Secretaria do Meio Ambiente do estado de Sao Paulo, Sao Paulo, 1993.
- [27] Prefeitura Municipal de Curitiba: Caracterizacao de resíduos – Unidade de valorizacao de rejeitos, Curitiba, 1999.
- [28] Prefeitura Municipal de Belo Horizonte: Composicao gravimétrica média dos resíduos domiciliares de Belo Horizonte, Belo Horizonte, 1999.
- [29] Prefeitura Municipal de Porto Alegre: Composicao dos resíduos domiciliares no município de Porto Alegre, Porto Alegre, 1999.
- [30] Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro: Análise gravimétrica do lixo da cidade do Rio de Janeiro, Série Histórica, Rio de Janeiro, 1998.
- [31] Prefeitura Municipal de Sao Paulo: Média em peso dos resíduos sólidos domiciliares coletados em Sao Paulo, Sao Paulo, 1998.
- [32] Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal: Recursos Hídricos do Brasil, Brasil, 1998.
- [33] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE: Mapas temáticos, Brasília, 2001.
- [34] Vilhena, A.: Guia da coleta seletiva de lixo; Compromisso Empresarial para a Reciclagem – CEMPRE, Sao Paulo, 1999.
- [35] Associacao Brasileira do Alumínio – ABAL: <http://www.abal.org.br>
- [36] D’Almeida, M. L. O.; Vilhena, A.: Lixo municipal – Manual de gerenciamento Integrado; Compromisso Empresarial para a Reciclagem – CEMPRE; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, Sao Paulo, 2000.
- [37] Calderoni, S.: Os bilhoes perdidos no lixo, Editora Humanitas, Sao Paulo, 1998.
- [38] Associacao Brasileira de Normas Técnicas – ABNT: Sacos plásticos para acondicionamento de lixo – Especificacao; NBR 9191, Rio de Janeiro, 1999.

- [39] Eigenheer, E. M.: Coleta Seletiva de Lixo – Experiências Brasileiras, Rio de Janeiro, 1998.
- [40] Godoi, M. O.: Origem e destino dos resíduos sólidos domiciliares em Sao Paulo, Dissertacao na Escola de Engenharia de Sao Paulo – USP, Sao Paulo, 1997.
- [41] Corson, W. H.: Manual Global de Ecologia: o que voce pode fazer a respeito da crise do meio ambiente, Editora Augustus, Sao Paulo, 1993.
- [42] D´Almeida, M. L. O.: Celulose e papel: tecnologia de fabricacao da pasta celulósica; IPT – Publicacao n° 1777, Sao Paulo, 1988.
- [43] Associacao Brasileira dos Fabricantes de Celulose e Papel – BRACELPA: Relatório estatístico 1998, Sao Paulo, 1999.
- [44] Compromisso Empresarial para a Reciclagem – CEMPRE: Caderno de Reciclagem: Coleta de papel em escritorio, Sao Paulo, 1997.
- [45] Bugajer, S.: O efeito de reciclagem de fibras secundárias sobre as propriedades de papel kraft; IPT/CTCP, Sao Paulo, 1976.
- [46] Ferguson, L. D.: Effects of recycling on strength properties; Paper Technology, v.33, n.10, p.14-20, London,1992.
- [47] FAO: Waste paper data 1988- 1991; (FO:PAP/93/5), Roma, 1993.
- [48] Zuben, F.; Neves, F. L.: Reciclagem do alumínio e polietileno presentes nas embalagens cartonadas tetra pak, Sao Paulo, (s.d.).
- [49] Compromisso Empresarial para a Reciclagem – CEMPRE: Ficha técnica Latas de Aco, Sao Paulo, 1999.
- [50] CETEA/ITAL: A embalagem e o meio ambiente, Partes 1 e 2, Campinas, 1992.
- [51] Couto, W. S.: Reciclagem no Brasil; In: Seminário Internacional de Reciclagem de Alumínio, Associacao Brasileira de Alumínio - ABAL, Sao Paulo, 1994.
- [52] Giosa, J, R.: Reciclagem de latas no Brasil; In: Seminário Internacional de Reciclagem no Brasil, Associacao Brasileira de Alumínio, Sao Paulo, 1994.
- [53] Associacao Técnica Brasileira das Industrias Automáticas de Vidro – ABIVIDRO: Anuário e Folheto Informativo, Sao Paulo, 1999.

- [54] Austria Glas Recycling GmbH – (AGR): Daten und Kennzahlen zur Altglassammlung und- Verwertung; Umwelterklärung 2000, Wien, 2000.
- [55] Gesellschaft für Glasrecycling und Abfallvermeidung mbH: Verwertung von Altglas, Ravensburg, 2000.
- [56] Associacao Técnica Brasileira das Industrias Automáticas de Vidro – ABIVIDRO na época ATBIAV: Encontro sobre Reciclagem; Revista Projeto Reciclagem, n.5, julho, p.16-17, Sao Paulo, 1991.
- [57] Rouse, C. G.: Reciclagem de vidro: uma questao de custo e benefício; Revista Projeto Reciclagem, n.6, agosto/setembro, p. 28-29, Sao Paulo, 1991.
- [58] Usinas de separacao de caco no Brasil; Revista Projeto Reciclagem, n.3, marco, p. 31-32, Sao Paulo, 1991.
- [59] O plástico no Brasil 98/99: Revista Plásticos em Revista, v.36, n. 431, Sao Paulo, 1998.
- [60] Nafta em queda reanima o setor: Revista Plástico Moderno, p.27-46, Sao Paulo, 1994.
- [61] Compromisso Empresarial para a Reciclagem – CEMPRE: Reciclagem & Negócio – Plástico Granulado, Sao Paulo, 1998.
- [62] [http://www.reciclagem.com.br/pl\\_rigido.html](http://www.reciclagem.com.br/pl_rigido.html)
- [63] Pesquisa Ciclosoft: <http://www.cempre.org.br>
- [64] Associacao Brasileira de Normas Técnicas – ABNT: Simbologia indicativa de reciclabilidade e identificacao de materiais plásticos; NBR 13230, Rio de Janeiro, 1994.
- [65] Pinto, T. P.: Resultados da Gestao diferenciada; Revista Técnica, n.31, p. 31-34, 1997.
- [66] Brito Filho, J. A.: Cidades x Entulhos; In: Seminário de desenvolvimento sustentável e a reciclagem na construcao civil, Indústria Brasileira da Construcao – IBRACON, Sao Paulo, 1999.

- [67] Levy, S. L.: Reciclagem do entulho de construçao civil, Dissertacao na Escola Polotécnica da Universidade de Sao Paulo, Sao Paulo, 1997.
- [68] Coelho, P. E.; Chaves, A. P.: Reciclagem de entulho - Uma opcao de negócio potencialmente lucrativa e ambientalmente simpática; Revista Areia & Brita, Associacao Nacional das Entidades de Produtores de Agregados para a Construçao Civil, n. 5, p. 31-35, Sao Paulo, 1998.
- [69] Silveira, G. T. R.: Metodologia de caracterizacão dos resíduos sólidos, como base para uma gestao ambiental. Estudo de caso: entulhos da construçao civil de Campinas, Dissertacao na Universidade de Campinas, Sao Paulo, 1993.
- [70] ABCP/NUTAU: Industrializacão da construçao habiatcional, Relatorio I, Sao Paulo, 1994.
- [71] Morosino, J. J.: Lixo hospitalar – <http://www.vidaconsultores.com.br/lixo.htm>, setembro, 1999.
- [72] Schalch, V.; Andrade, J. B. L.; Gauszer, T.: Gerenciamento de resíduos de servicos de saúde, (s.l.), (s.n.), 1995.
- [73] Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE: Censo Populacioanal de 2000, Brasília, 2001.
- [74] Prefeitura Municipal de Porto Alegre: Departamento Municipal de Limpeza Urbana – DMLU, <http://www.portoalegre.rs.gov.br>
- [75] Centro de Educacao Ambiental da Vila Pinto – Porto Alegre: Folder de divulgacao distribuido na Feira Internacional de Hannover na Alemanha, 2000.
- [76] Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie (Hrsg.): Bundesabfallwirtschaftsplan 2001, Wien, 2001.
- [77] Altstoff Recycling Austria AG – (ARA) (Hrsg.): ARA System. Der Report 95, Wien. 1996
- [78] Altstoff Recycling Austria AG – (ARA) (Hrsg.): ARA System. Der Report 2000, Wien, 2001.
- [79] Lorber, K. E.; Ragoßnig, A.; Zahrer, L.: Restabfallkonzept der Republik Österreich, In: Thomé-Kozmiensky, K. J. (Hrsg.): IRC – Congress Berlin, Berlin, 2000.

- [80] Nelles, M.; Kriethe, B.; Cichon, W.; Zachäus D.; Ragoßnig, A.: Industrielle Abfallverbrennung in Deutschland – rechtliche Rahmenbedingungen und Praxisbeispiele, In: Hengerer, D.; Hofer, M.; Lorber, K. E.; Nelles, M.; Ragoßnig, A. (Hrsg.): Abfallvermeidung und- Verwertung, Deponietechnik und Altlastensanierung, Tagungsband zur Depotech 2000, Balkema-Verlag, Rotterdam, 2000.
- [81] Europäisches Parlament, Europäischer Rat (Hrsg.): EU – Richtlinie 94/67/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates über die Verbrennung von gefährlicher Abfälle, Brüssel, 1994.
- [82] Europäisches Parlament, Europäischer Rat (Hrsg.): EU – Richtlinie 2000/76/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates über die Verbrennung von Abfälle, Brüssel, 2000.
- [83] Ragoßnig, A. et al.: Mitverbrennung heizwertreicher Abfallfraktionen in industriellen Feuerungsanlagen – Derzeitiger Stand in Österreich, IED-Schau – Schriftenreihe Abfall – Umwelt des Institut für Entsorgungs- und Deponietechnik, Leoben, 1999.
- [84] Greenhouse Gas Technology Information Exchange: Clean energy from municipal solid waste: a vital bioenergy technology for 21 century, United Kingdom, 1995.
- [85] Diaz, L. F.: Proposed guidelines for siting and designing sanitary landfills in developing countries, In: International Solid Waste Association, International Directory of Solid Waste Management 1997/1998, Copenhagen, 1998.
- [86] Bichler, B.: Input/Output Analysis at GACEL S.A. Tannery, Diploma Thesis – INCO-DC project “EILT”, Montanuniversität Leoben, 1999.
- [87] Moser, G.: Input/Output Analysis at tannery CURTAL S.A., Diploma Thesis – INCO-DC project “EILT”, Montanuniversität Leoben, 1999.
- [88] Konrad, Ch.: Waste Management for the Tanning Industry – Biological Treatment of Non-Chromium Containing Waste, Dissertation am Institut für Entsorgungs- und Deponietechnik, Motanuniversität Leoben, Leoben, 2001.
- [89] United Nations – UN: Cleaner Production in Leather Tanning; United Nations Environment Programme, February, 1995.
- [90] Lederfabrik VOGL GesmbH & Co KG: Umwelterklärung 2000, Mattighofen, 2000.

- [91] Kiehl, E. J.: Fertilizantes orgânicos, Editora Ceres, Sao Paulo, 1985.
- [92] Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie (Hrsg.): Abfallwirtschaftsgesetz; BGBl. Nr. 325/1990, Wien, 1990.
- [93] Europäisches Parlament, Europäischer Rat (Hrsg.): ENV. 3 – Abfallentsorgung, Anhang III, des Europäischen Parlamentes und des Rates über die Biologische Behandlung von biologisch abbaubaren Abfälle, Brüssel, 2000.
- [94] Krogmann, U.: Kompostierung: Grundlagen zur Einsammlung und Behandlung von Bioabfällen unterschiedlicher Zusammensetzung, Economica Verlag GmbH, 1994.
- [95] Forbes, J. C.; Watson, R. D.: Plants in agriculture, Verlag Cambridge University Press, Groß Britanien, 1992.
- [96] Lorber, K. E. & Konrad, Ch.: Cleaner production in tanning industry, Proceedings of 16<sup>th</sup> International Clean Air & Environment Conference, New Zealand, 19. – 22. 08.2002.
- [97] Konrad, O.; Bezama, A.; Lorber, K.E.; & Navia, R.: Abfallwirtschaft in Lateinamerika: Beispiel Brasilien. In: Lorber et al (Hrsg), Konferenzbericht der 6. DEPOTECH Fachtagung, Leoben / Österreich / 20.-22. November 2002.
- [98] Tesch, H.: Einsatz von heizwertreichen Siebresten aus der mechanisch-biologischen Restabfallbehandlung (MBRB) bei der Kinkerproduktion. Dissertation am Institut für Entsorgungs- und Deponietechnik, Montanuniversität Leoben, Leoben, 2002.
- [99] Aichmayer, S.: Modell zur Analyse der Abfallsammellogistik, Diplomarbeit am Institut für Geowissenschaften, Abteilung Ökosysteme Analyse, Montanuniversität Leoben, Leoben, 2001.
- [100] Schelch, M.; Lorber, K.E.; & Bachhiesl, M.: Qualitätssicherung und Spezifizierung von Sekundärenergieträgern – Die Österreichische Gütegemeinschaft für Sekundärenergieträger. In: Lorber et al (Hrsg.): Altlastensanierung, Sanierung von Bergbaualtlasten, thermische Verwertung von Abfällen, Managementsysteme, Ökobilanzierung und Prozessoptimierung. Tagungsband zur Depotech 2002, Glückauf-Verlag, Essen, 2002.

- [101] Thomé-Kozmiensky, K. J.: Kompostierung von Abfälle 1, EF- Verlag für Energie- und Umwelttechnik, Berlin, 1985.
- [102] Lorber, K. E.: Cleaner production in aluminium industry, Proceedings of 16<sup>th</sup> International Clean Air & Environment Conference, New Zealand, 19. – 22. 08.2002.
- [103] Harant, M.: Stoffflußanalyse der MBA, Dissertation am Institut für Entsorgungs- und Deponietechnik, Motanuniversität Leoben, Leoben, 1999.
- [104] Scharff, Ch.: Editorial, Waste management & research, Volume 20. Number 5. October 2002.

## 9.2 Verzeichnis der Abkürzungen und Symbole

°C	Grad Celsius
%	Prozent
<	kleiner als
>	größer als
§	Paragraph
a	Jahr
Abb.	Abbildung
ADR	Abdampfrückstand
AGR	Austria Glas Recycling GmbH
ARA	Altstoff Recycling Austria AG
As	Arsen
Be	Beryllium
bzw.	beziehungsweise
C	Kohlenstoff
ca.	zirka
Cd	Cadmium

Cl	Chlor
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
Cr	Chrom gesamt
Cu	Kupfer
d.h.	das heißt
DF	Distrito Federal
dgl.	dergleichen
EG	Europäische Gemeinschaft
eL	elektrische Leitfähigkeit
EPA	Environmental Protection Agency (USA)
etc.	et cetera
EU	Europäische Union
EW	Einwohner
Fe	Eisen
g	Gramm
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
GV	Glühverlust
h	Stunde
H	Wasserstoff
HCl	Chlorwasserstoff
HF	Fluorwasserstoff
Hg	Quecksilber
Ho	oberer Heizwert, Brennwert
Hrsg.	Herausgeber
IED	Institut für Entsorgungs- und Deponietechnik
K	Kalium
kg	Kilogramm
kg/h	Kilogramm pro Stunde

kJ	Kilojoule
km	Kilometer
km <sup>2</sup>	Quadratkilometer
m	Meter
M-%	Massenprozent
m <sup>2</sup>	Quadratmeter
m <sup>3</sup>	Kubikmeter
MG	Bundesland Minas Gerais
Mg	Megagramm (=1.000 kg, siehe auch Tonne)
mg/kg	Milligramm pro Kilogramm
Mio.	Millionen
mm	Millimeter
Mn	Mangan
MUL	Montanuniversität Leoben
N	Stickstoff
NE	Nicht- Eisen (Metall)
Ni	Nickel
Nr.	Nummer
P	Phosphor
Pb	Blei
PEAD	Polyethylene von hoher Dichte (auch: PEHD)
PEBD	Polyethylene von niedriger Dichte (auch: PELD)
PET	Polyethylenterephthalat
pH	pH-Wert
PP	Polypropylen
ppm	parts per million [mg / kg]
ppmv	Volums ppm [cm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]
PS	Polystyren

PVC	Polyvinylchlorid
R\$	Brasilianisches Wahrung (Real)
RS	Bundesland Rio Grande do Sul
S	Schwefel
Sb	Antimon
Se	Selen
Sn	Zinn
SP	Bundesland Sao Paulo
Tab.	Tabelle
Tl	Thallium
TOC	Gesamter organisch gebundener Kohlenstoff
TS	Trockensubstanz
US\$	USA Wahrung (Dollar)
USA	Vereinigte Staaten von Amerika
vgl.	vergleiche
Vol-%	Volumsprozent
WG	Wassergehalt
Wo.	Woche
z. Z.	zur Zeit
z.B.	zum Beispiel
z.T.	zum Teil
Zn	Zink

### 9.3 Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 2.1:	Jährlich anfallender Hausmüll eines Landes und tägliche Produktion pro Person [20].....	19
Abbildung 2.2:	Zusammensetzung des Hausmülls bzw. Restmülls nach Getrennter Sammlung [20].....	20
Abbildung 2.3:	Ablagerung (Deponierung) von Hausmüll (bzw. Restmüll) [20].....	20
Abbildung 2.4:	Recycling von Hausmüll [20].....	20
Abbildung 2.5:	Kompostierung von Hausmüll [20].....	21
Abbildung 2.6:	Verbrennung von Hausmüll (bzw. Restmüll) [20].....	21
Abbildung 2.7:	Daten über die Abfallsammlung in Brasilien [23].....	22
Abbildung 2.8:	Behandlung & Ablagerung von Hausmüll in Brasilien [24] (Angaben in Massenprozent).....	23
Abbildung 2.9:	Fotografie, die die Situation solcher Müllhalden im brasilianischen Amazonasgebiet zeigt.....	24
Abbildung 2.10:	Prozentuale Zusammensetzung des Hausmülls in der wesentlichen Großstädten Brasiliens [25, 26, 27, 28, 29, 30, 31] (Angaben in Massenprozent).....	26
Abbildung 2.11:	Die brasilianischen Wasservorräte [33].....	28
Abbildung 2.12:	Ein Müllsammler (Catador) bei der Arbeit, mit seinem Arbeitsinstrument, dem Wagen.....	30
Abbildung 2.13:	Müllsammler bei ihrer Arbeit auf der Müllhalde (Lixao).....	31
Abbildung 2.14:	Drahtkörbe als Müllbehälter, die vermeiden sollen, daß Tiere im Müll stöbern (Foto: Prof. K. Lorber).....	32
Abbildung 2.15:	Durchschnittliche Zusammensetzung des getrennt gesammelten „trockenen Mülls“ der Städte der Tabelle 2.4 [34] (Angaben in Massenprozent).....	37
Abbildung 2.16:	Der von der Getrennten Müllsammlung erfaßte Bevölkerungsanteil in einigen ausgewählten brasilianischen Städten [34].....	38
Abbildung 2.17:	Anzahl der Bewohner einiger brasilianischer Städte, die das System der getrennte Abfallsammlung erreicht [34].....	39
Abbildung 2.18:	Sortierung des getrennt gesammelten Hausmülls nach dem System der Behälter-Trennung (Baías) (Foto: Prof. K. Lorber).....	43
Abbildung 2.19:	Die brasilianische Produktion von verschiedenen Papiersorten (Angaben in Massenprozent).....	46

Abbildung 2.20:	Verwendung von Recycling-Papier bei der Herstellung von neuen Produkten [47] (Angaben in Massenprozent).....	48
Abbildung 2.21:	Zusammensetzung der Ausgangsstoffe für die Herstellung von Glas mit und ohne Verwendung von Scherben [53] (Angaben in Massenprozent).....	51
Abbildung 2.22:	Der Pro-Kopf-Verbrauch von Kunststoffen zwischen 1994 und 1998 in Brasilien [59, 60, 61].....	53
Abbildung 2.23:	Zusammensetzung harter Kunststoffabfälle, gesammelt in Programmen zur Getrennten Sammlung in einigen brasilianischen Städten [63] (Angaben in Massenprozent).....	56
Abbildung 2. 24:	Durchschnittliche Zusammensetzung von Bauschutt in der Stadt Campinas (São Paulo) [69].....	59
Abbildung 3.1:	Die Fotografie zeigt die Fließbandsortierung des Hausmülls in Carlos Barbosa, der von der getrennten Sammlung herrührt (Foto: Prof. K. Lorber).....	63
Abbildung 3.2:	Sankey-Diagramm der Stoffflüsse zum Abfalltrennungsmodell Carlos Barbosa.....	64
Abbildung 3.3:	Prozentuale Verteilung der Sortier-Fraktionen im getrennt gesammelten „trockenen Hausmüll“ von Porto Alegre [39] (Angaben in Massenprozent).....	66
Abbildung 3.4:	Menge des zu sortierten „trockenen Mülls“ in der „Galpao de Triagem“ der Kooperative von Vila Pinto [75].....	68
Abbildung 3.5:	Anzahl der Personen, die in der Sortieranlage der Kooperative von Vila Pinto beschäftigt sind [75].....	68
Abbildung 3.6:	Von den einzelnen Mitgliedern der Kooperative von Vila Pinto durchschnittliche geleistete Arbeitsstunden pro Monat [75].....	69
Abbildung 3.7:	Monatlich Einkünfte der Mitglieder der Kooperative, erzielt durch den Verkauf von recycelbarer Materialien [75].....	69
Abbildung 3.8:	Schematische Darstellung der Abfallbehandlungsanlage von Estrela.....	72
Abbildung 3.9:	Kegelförmige Mieten der Kompostieranlage von Estrela.....	75
Abbildung 4.1:	Verwertung und Behandlung von Abfällen aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen 1989 – 1999 in Österreich [76].....	77
Abbildung 4.2:	Charakteristischer Temperaturverlauf während der drei Phasen der Kompostierung [91, 94].....	83
Abbildung 5.1:	Abfallsammlung zur Charakterisierung des Hausmülls von Estrela, durchgeführt mit der Unterstützung zweier Mitarbeiter der Stadtverwaltung.....	90

Abbildung 5.2:	Zusammensetzung des Hausmülls gemäß der Stichproben-Sammlung. (Angaben in Massenprozent).....	91
Abbildung 5.3:	Zusammensetzung des bei der Sortieranlage von Estrela im Zeitraum vom 15/04/2001 bis 22/04/2001 angelieferten Abfalls. (Angaben in Massenprozent).....	94
Abbildung 5.4:	Prozentuale Verteilung der Sortierfraktionen des angelieferten Hausmülls (Angaben in Massenprozent).....	96
Abbildung 5.5:	Erweiterte Massenbilanz der Hausmüll Sortier & Behandlungsanlage von Estrela Zeitraum 15. – 22/04/2001 (Angaben in Massenprozent Feuchtsubstanz).....	97
Abbildung 5.6:	Funktionsweise (Prozeßschema) der Sortieranlage von Estrela im Normalbetrieb.....	105
Abbildung 5.7:	Funktionsweise (Prozeßschema) der Sortieranlage von Estrela während des Pilotversuchs.....	105
Abbildung 5.8:	Zustand des zur Bandsortierung gelangenden Materials im herkömmlichen System und im Pilotversuch.....	111
Abbildung 5.9:	Prozentualer Anteil der einzelnen Fraktionen, die während des Pilotversuch angefallen sind (Angaben in Massenprozent).....	115
Abbildung 5.10:	Temperaturkurven der Kompostierung bei Zugabe von Schweinegülle.....	117
Abbildung 5.11:	Temperaturkurven der Kompostierung ohne Substratzugabe.....	120
Abbildung 5.12:	Temperaturkurven des Kompostierversuchs „Pátio“.....	122
Abbildung 5.13:	Zusammensetzung der Deponiefraktion 2 (Angaben in Massenprozent Feuchtsubstanz).....	125
Abbildung 5.14:	Massenbilanz (Sankey – Diagram) für die Klassierung, Sortierung und Behandlung von Hausmüll in der modifizierten Anlage von Estrela (Angaben in Massenprozent Feuchtsubstanz).....	126
Abbildung 6.1:	Gepreßte Ballen des Materials „Deponiefraktion 1“, fertig für die Ablagerung auf der Deponie (Foto: Prof. K. Lorber).....	128
Abbildung 6.2:	PVC im brasilianischen Verpackungsmaterial (Foto: Prof. K. Lorber).....	130
Abbildung 7.1:	Hobeln von Rohleder, schematische Darstellung.....	132
Abbildung 7.2:	Das Hobeln von Leder, Fa. Vogel.....	133
Abbildung 7.3:	Festabfälle in der Leder Fabrik Vogl – Austria [90] (Angaben in Massenprozent).....	133
Abbildung 7.4:	Temperaturverlauf über die Rottedauer für Ansatz: Lederabfälle mit Stroh.....	135

Abbildung 7.5:	Temperaturverlauf über Rottedauer für Ansatz: Lederabfälle mit Pferdemist/Stallstreu .....	136
Abbildung 7.6:	Temperaturverlauf über Rottedauer für Ansatz: Lederabfälle mit Bioabfällen .....	137
Abbildung 7.7:	Temperaturverlauf über Rottedauer für Ansatz: Lederabfälle mit Klärschlamm und Strukturmaterial .....	138
Abbildung 7.8:	C/N-Verhältnis der Versuchsansätze (Input) in Abhängigkeit vom Anteil (M-%) des zugesetzten Substrates (Zuschlagsstoffs) .....	144
Abbildung 8.1:	Getrennte Aufbereitung von "trockenen Müll" in der zukünftigen Modellanlage Estrela .....	151
Abbildung 8.2:	Getrennte Aufbereitung von "trockenen Müll" in der zukünftigen Modellanlage Estrela .....	152

## 9.4 Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1:	Emissionsgrenzwerte (bzw. erlaubte Höchstwerte) für den Verbrennungsprozeß zur Herstellung von Klinkersteinen [12] .....	12
Tabelle 2.2:	Farbkennzeichnung gemäß Resolution Nr. 275, vom 25. April 2001[15] .....	14
Tabelle 2.3:	Verantwortlichkeiten für Abfallstoffe bezogen auf ihre Herkunft .....	18
Tabelle 2.4:	Darstellung der Kosten des getrennt gesammelten Mülls pro Tonne in Jahr 1999 für die beteiligten Städte [34] .....	36
Tabelle 2.5:	Die durchschnittliche Zusammensetzung der häuslichen Abfälle in Sao Paulo (Angaben in Massenprozent) – Historische Darstellung [40] .....	44
Tabelle 2.6:	Einsparungs- und Minderungspotentiale im Produktionsprozeß durch den Einsatz von Sekundärrohstoffen [41, 102] .....	45
Tabelle 2.7:	Anteil der in Brasilien rezyklierten Verpackungstoffe aus Aluminium (%) und Vergleichswerte aus anderen Ländern [35] .....	49
Tabelle 2.8:	Zunahme des Verbrauchs von Kunststoffen in Brasilien unter Berücksichtigung seiner jeweiligen Zusammensetzung [59, 60] .....	52
Tabelle 2.9:	Verbrauch von Kunststoff pro Kopf/Jahr in Brasilien in Vergleich mit anderen Ländern [59, 60] .....	53
Tabelle 2.10:	Anteil (%) von Baurestmassen in den Müllablagerungen einiger brasilianischer Städte [65] .....	57
Tabelle 2.11:	Krankenhausabfälle, unterteilt nach ihrer Herkunft [72] .....	60

Tabelle 3.1:	Prognose über Einwohnerzahlen und Hausmüllaufkommen von Estrela.....	71
Tabelle 4.1:	Haushaltsnahe Sammlung: Sammelbehälter für Altstoffe (Stand: Dezember 2000, in Stück) [77].....	78
Tabelle 4.2:	Haushaltsnahe Sammel- bzw. Erfassungsmengen im Jahr 2000 nach Bundesländern getrennt (gesamt, in Tonnen) [77].....	79
Tabelle 4.3:	Aufkommen der Abfälle aus Haushalten und ähnlichen Einrichtungen in Österreich für 1999 . (Angaben in Tonnen) [76].....	80
Tabelle 4.4:	Stand der energetischen Verwertung von Abfällen in verschiedenen Ländern [84].....	86
Tabelle 5.1:	Untersuchte Parameter und Meßwerte für den 70mm Siebdurchgang (Kompostierfraktion 1) des Pilotversuches ESTRELA.....	110
Tabelle 5.2:	Untersuchte Parameter und Meßwerte für die Kompostierfraktion 2, die bei der zweiten Siebung durch das 70 mm Trommelsieb anfällt.....	113
Tabelle 5.3:	Untersuchte Parameter und Meßwerte für die Deponiefraktion 1, die bei einer zweiten Siebung durch das 70 mm Trommelsieb im Überlauf verbleibt.....	113
Tabelle 5.4:	Untersuchte Parameter und Analysenwerte für den Frischkompost bei Substratzugabe.....	118
Tabelle 5.5:	Schwermetalle-Grenzwerte für Kompost nach den Richtlinien der Europäische Union [93] und Meßwerte des Kompostes aus dem Versuch mit Substratzugabe.....	119
Tabelle 5.6:	Untersuchte Parameter und Analysenwerte für den Kompost ohne Substratzugabe.....	121
Tabelle 5.7:	Untersuchte Parameter und Analysenwerte des Kompostes aus dem Versuch „Pátio“.....	123
Tabelle 5.8:	Untersuchte Parameter und Analysenwerte für Deponiefraktion 2.....	124
Tabelle 7.1:	Ausgewählte Versuchsergebnisse.....	140
Tabelle 7.2:	Analysenergebnisse für die Einsatzmaterialien (INPUT) der Kompostiersversuche.....	145
Tabelle 7.3:	Analysenergebnisse für die Rotteprodukt (OUTPUT) der Kompostiersversuche.....	146
Tabelle 8.1:	Vergleich der Schwermetallbelastung [in mg/kg TS].....	154

## ANHANG

### ANHANG A: Fotodokumentation



Abbildung A.1: Abfallbehandlungsanlage von Estrela



Abbildung A.2: Trennung von PET Flaschen für Recycling.



**Abbildung A.3:** Erhöhte Müllbehälter, die vermeiden, daß Tiere im Müll stöbern.



**Abbildung A.4:** Müllbehälter für die getrennte Sammlung.



**Abbildung A.5:**      **Temperaturmessung in der Kompostmiete.**



**Abbildung A.6:**      **Turmartige Haufenmiete auf der Kompostierungsanlage von ESTRELA.**



**Abbildung A.7:** 70 mm Trommelsieb der Anlage in Estrela.



**Abbildung A.8:** 10 mm Trommelsieb der Anlage in Estrela.



**Abbildung A.9:** Überladenes Fließband mit Materialien zum Sortierung, Anlage Estrela.



**Abbildung A.10:** Injektionsspritzen, aus dem Sortierband in Estrela gesammelt.



Abbildung A.11: Einkaufsplastiktüten „IMEC“, benutzt als Müllsäcke.



Abbildung A.12: Einkaufsplastiktüten mit Lebensmittel, die später als Müllsäcke genutzt werden.



**Abbildung A.13: Produktion von Gemüse mit dem Kompost von der Abfallbehandlungsanlage in Estrela.**



**Abbildung A.4: Produktion von Gemüse im Plastikfolien abgedeckten Treibhaus von der Anlage in Estrela.**



**Abbildung A.15: Müllsammler (Catador) auf den Straßen.**



**Abbildung A.16: Catador auf den Straßen von Estrela, mit seinem Arbeitsinstrument, dem Wagen.**

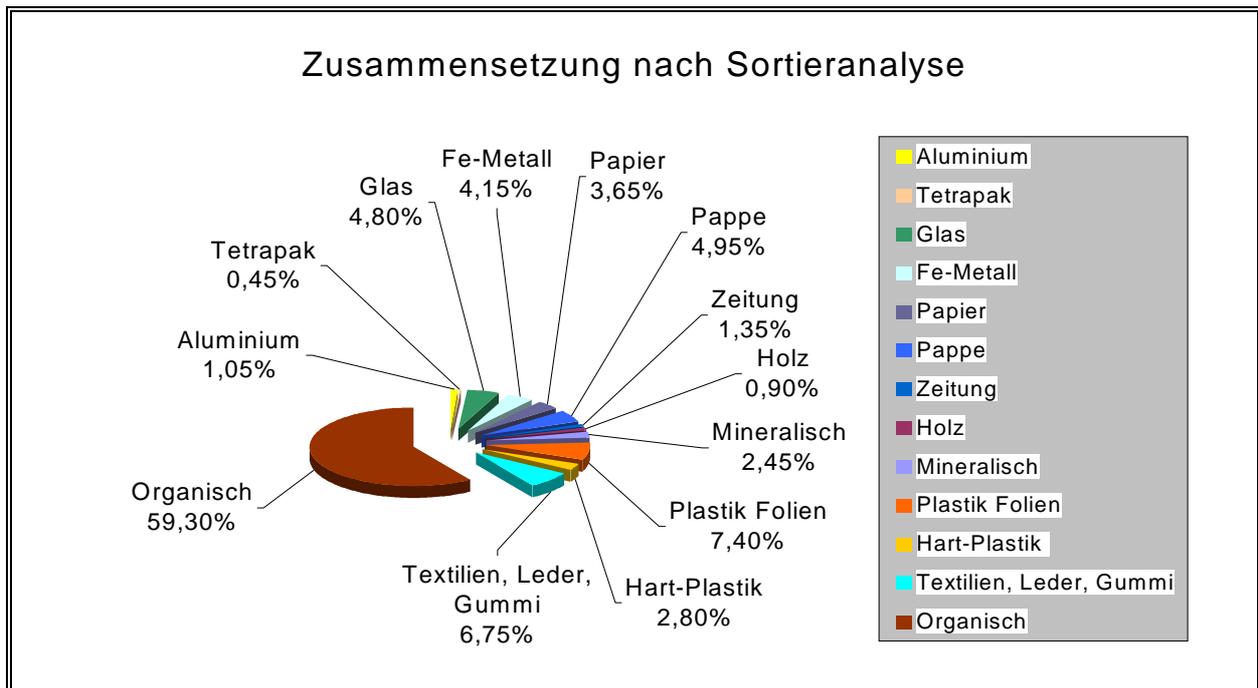


**Abbildung A.17:** Sortierung nach dem System der Behälter-Trennung (Baías).

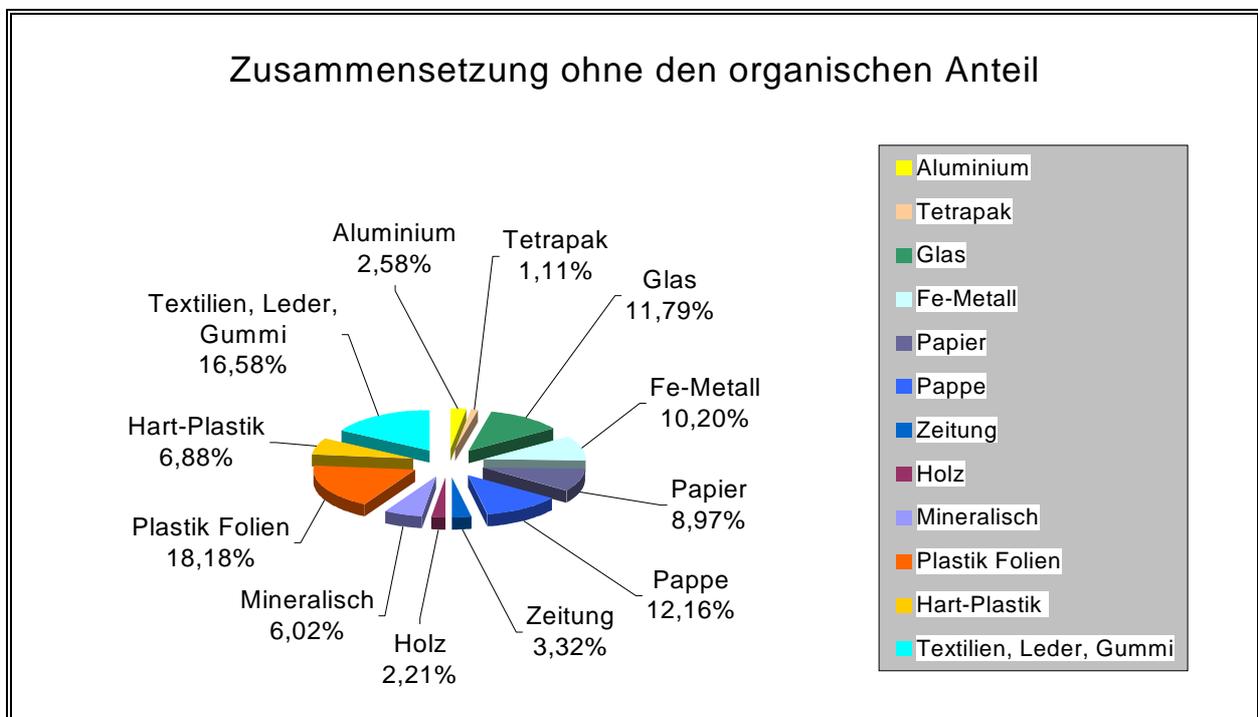


**Abbildung A.18:** Anlagen für die Sortierung des getrennt gesammelten Hausmülls nach dem System der Behälter-Trennung (Baías), Porto Alegre.

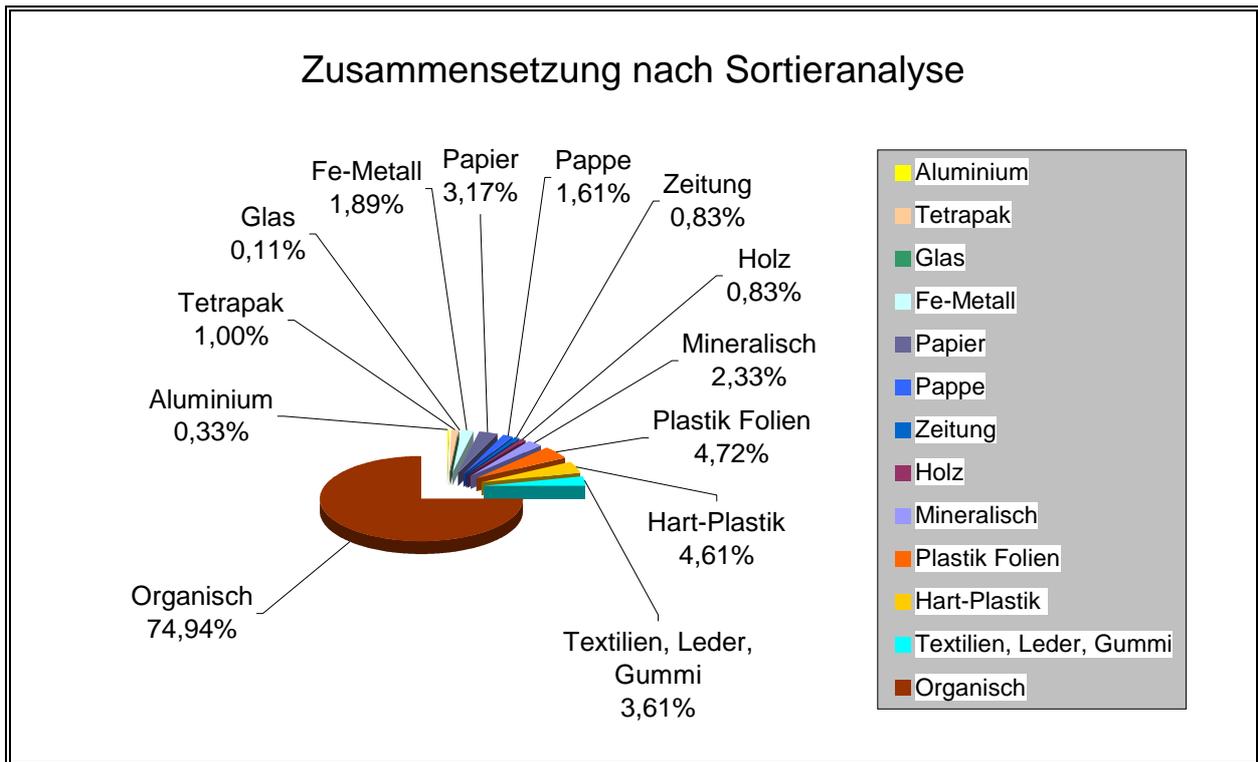
**ANHANG B: Zusammensetzung des Hausmülls von der Stichproben-Sammlung in Estrela. Einzelergebnisse.**



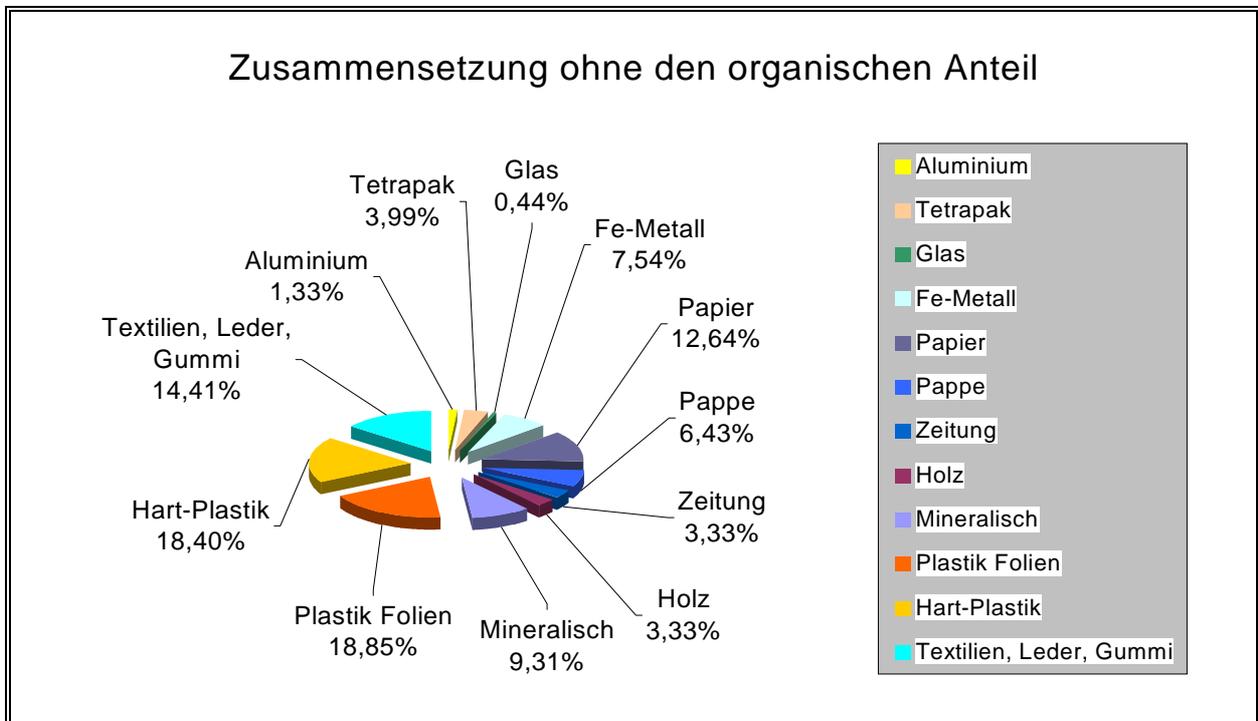
**Abbildung B.1: Zusammensetzung des Hausmülls von der Stichproben-Sammlung (03.04.2001) mit den organischen Anteil. (Angaben in Massenprozent feucht).**



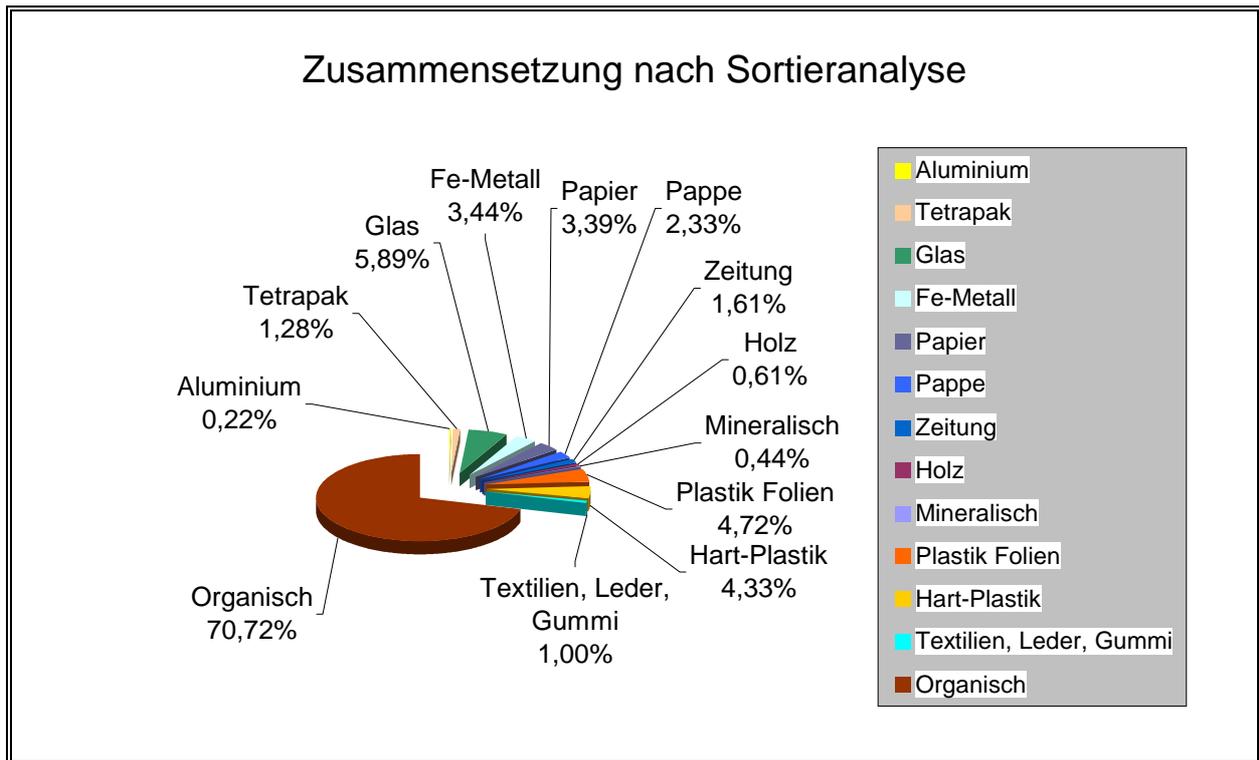
**Abbildung B.2: Zusammensetzung des Hausmülls von der Stichproben-Sammlung (03/04/2001) ohne den organischen Anteil. (Angaben in Massenprozent feucht).**



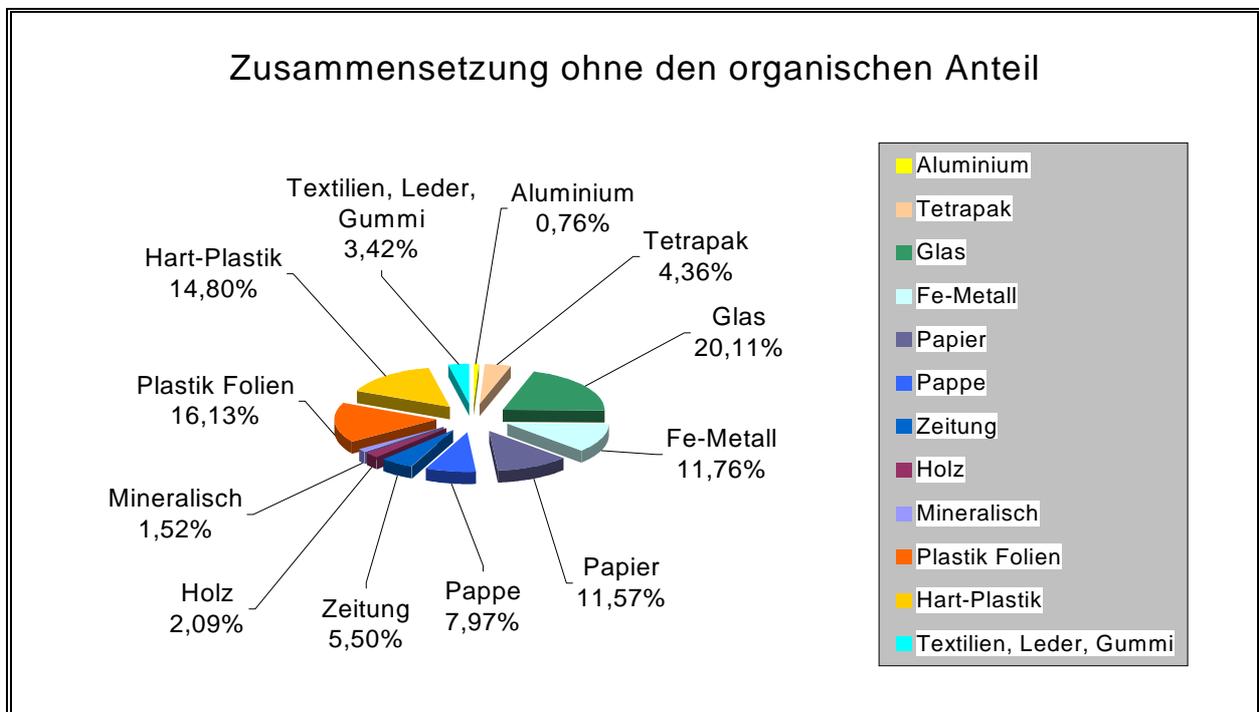
**Abbildung B.3:** Zusammensetzung des Hausmülls von der Stichprobensammlung (04/04/2001) mit den organischen Anteil. (Angaben in Massenprozent feucht).



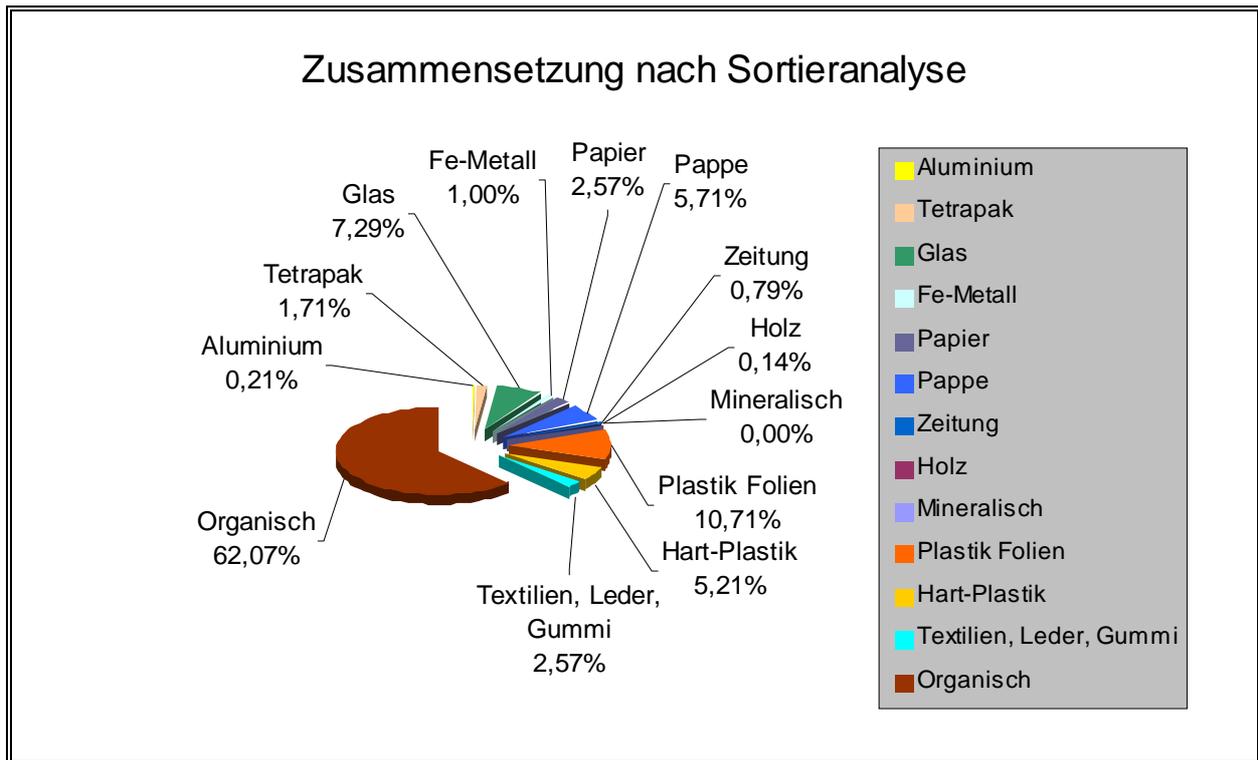
**Abbildung B.4:** Zusammensetzung des Hausmülls von der Stichprobensammlung (04/04/2001) ohne den organischen Anteil. (Angaben in Massenprozent feucht).



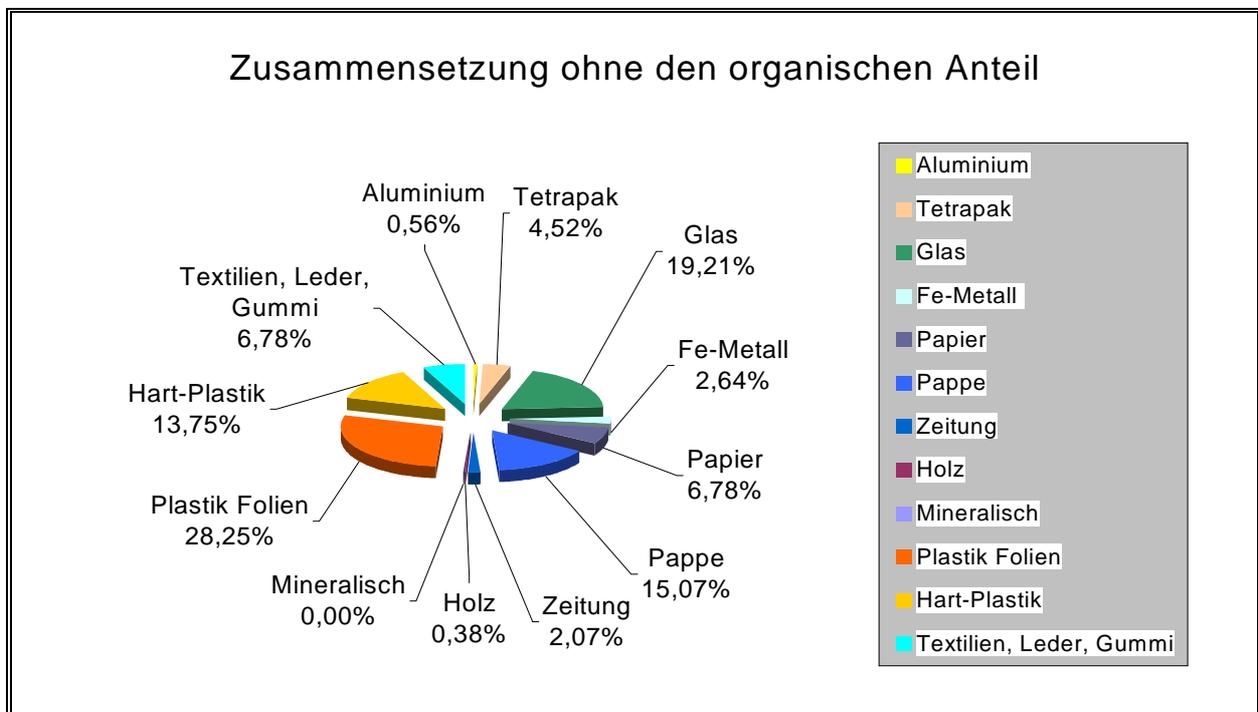
**Abbildung B.5: Zusammensetzung des Hausmülls von der Stichprobensammlung (05/04/2001) mit den organischen Anteil. (Angaben in Massenprozent feucht).**



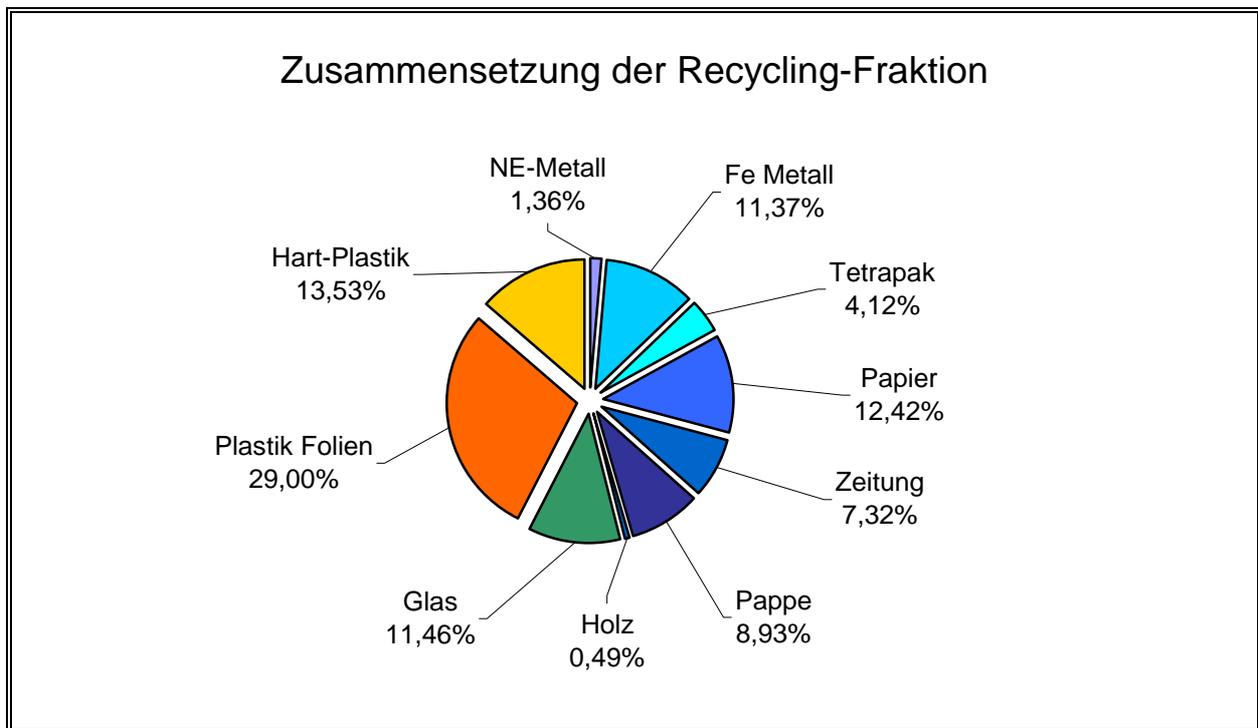
**Abbildung B.6: Zusammensetzung des Hausmülls von der Stichprobensammlung (05/04/2001) ohne den organischen Anteil. (Angaben in Massenprozent feucht).**



**Abbildung B.7: Zusammensetzung des Hausmülls von der Stichprobensammlung (06/04/2001) mit den organischen Anteil. (Angaben in Massenprozent feucht).**

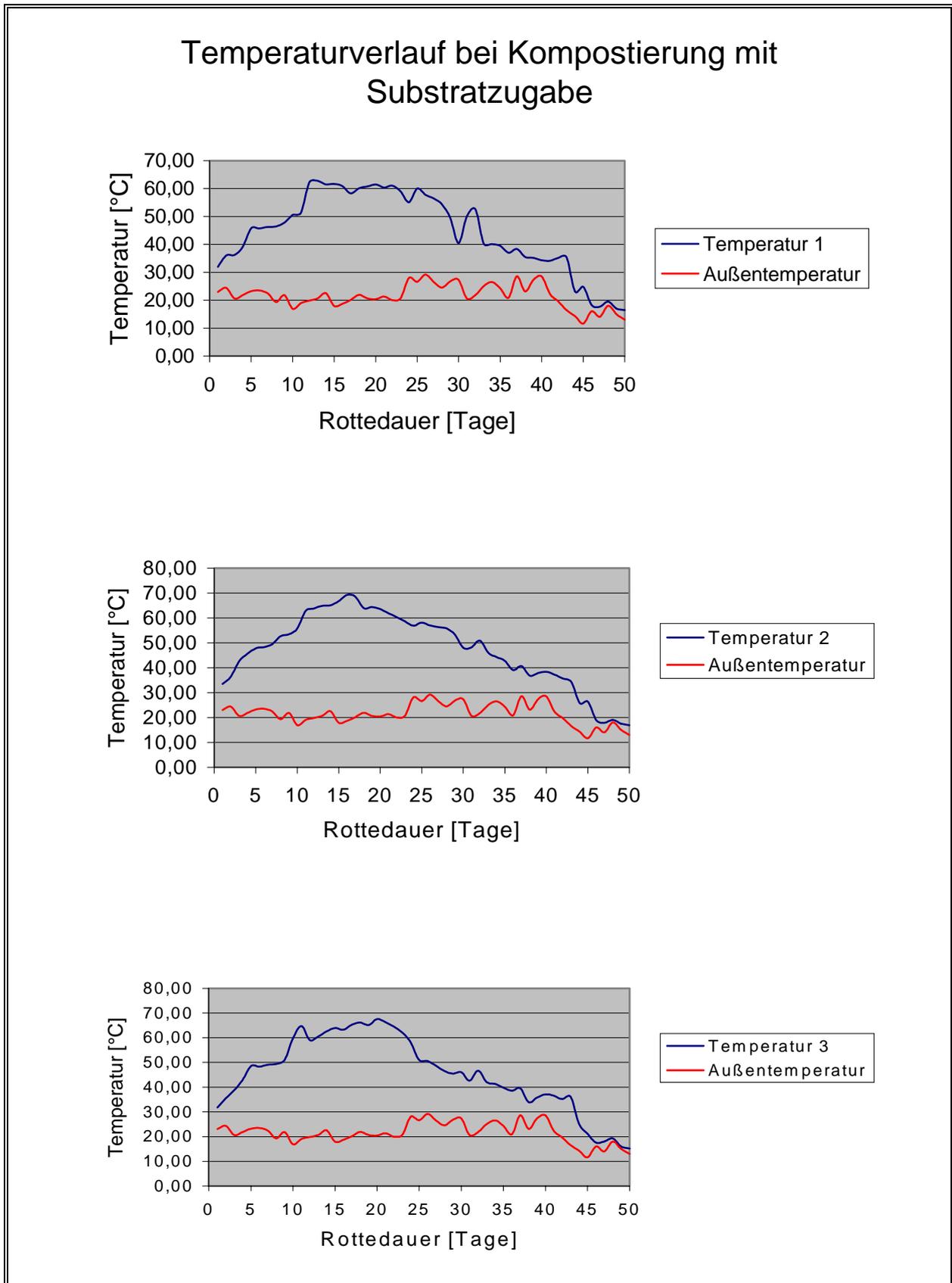


**Abbildung B.8: Zusammensetzung des Hausmülls von der Stichprobensammlung (06/04/2001) ohne den organischen Anteil. (Angaben in Massenprozent feucht).**

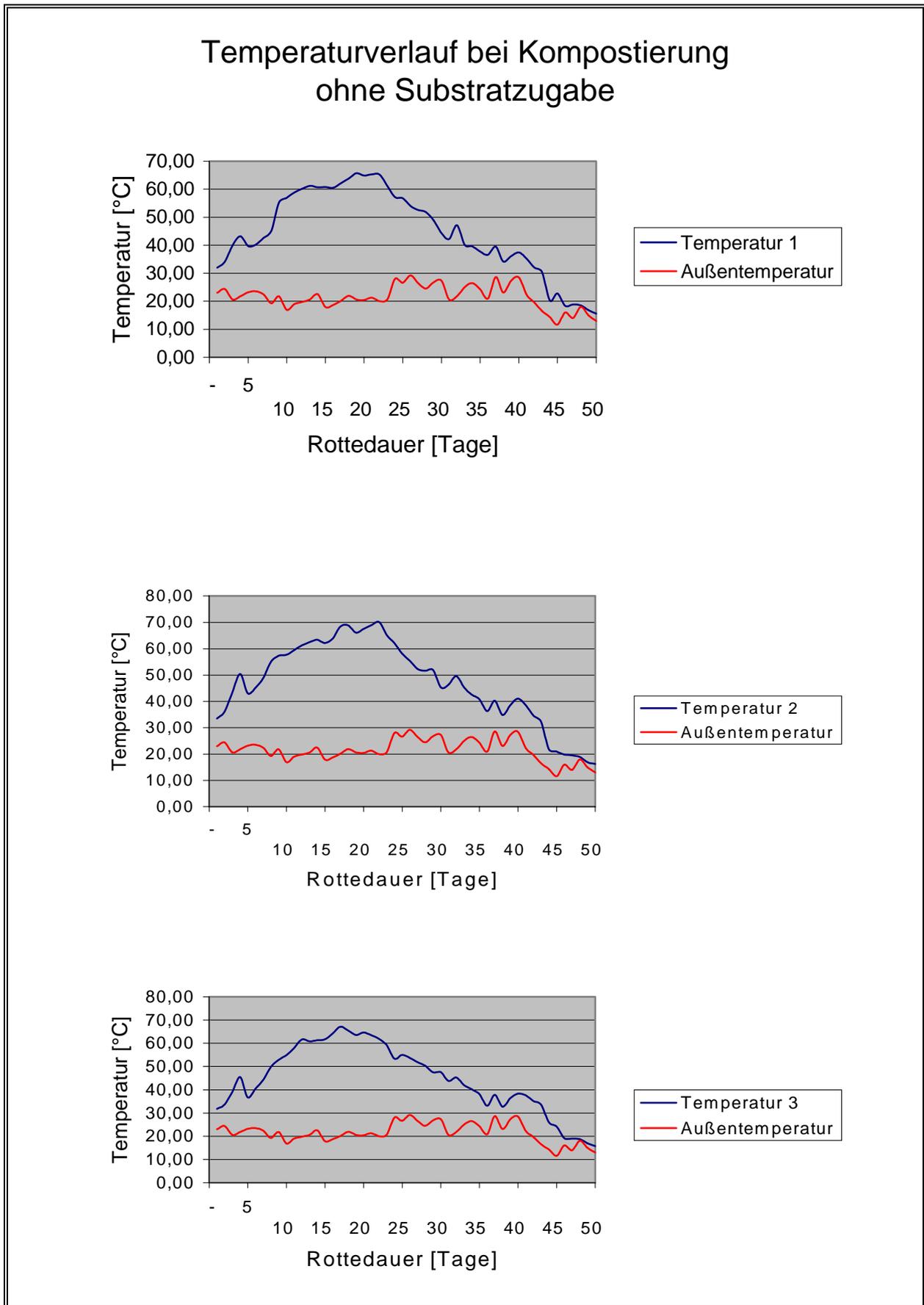
**ANHANG C: Zusammensetzung der aussortierten Altstoffe in der Anlage Estrela.**

**Abbildung C.1: Zusammensetzung der Recyclingfraktion (aussortierte Altstoffe in der Abfallbehandlungsanlage Estrela, im Zeitraum von 15/04/2001 bis 22/04/2001. (Angaben in Massenprozent feucht).**

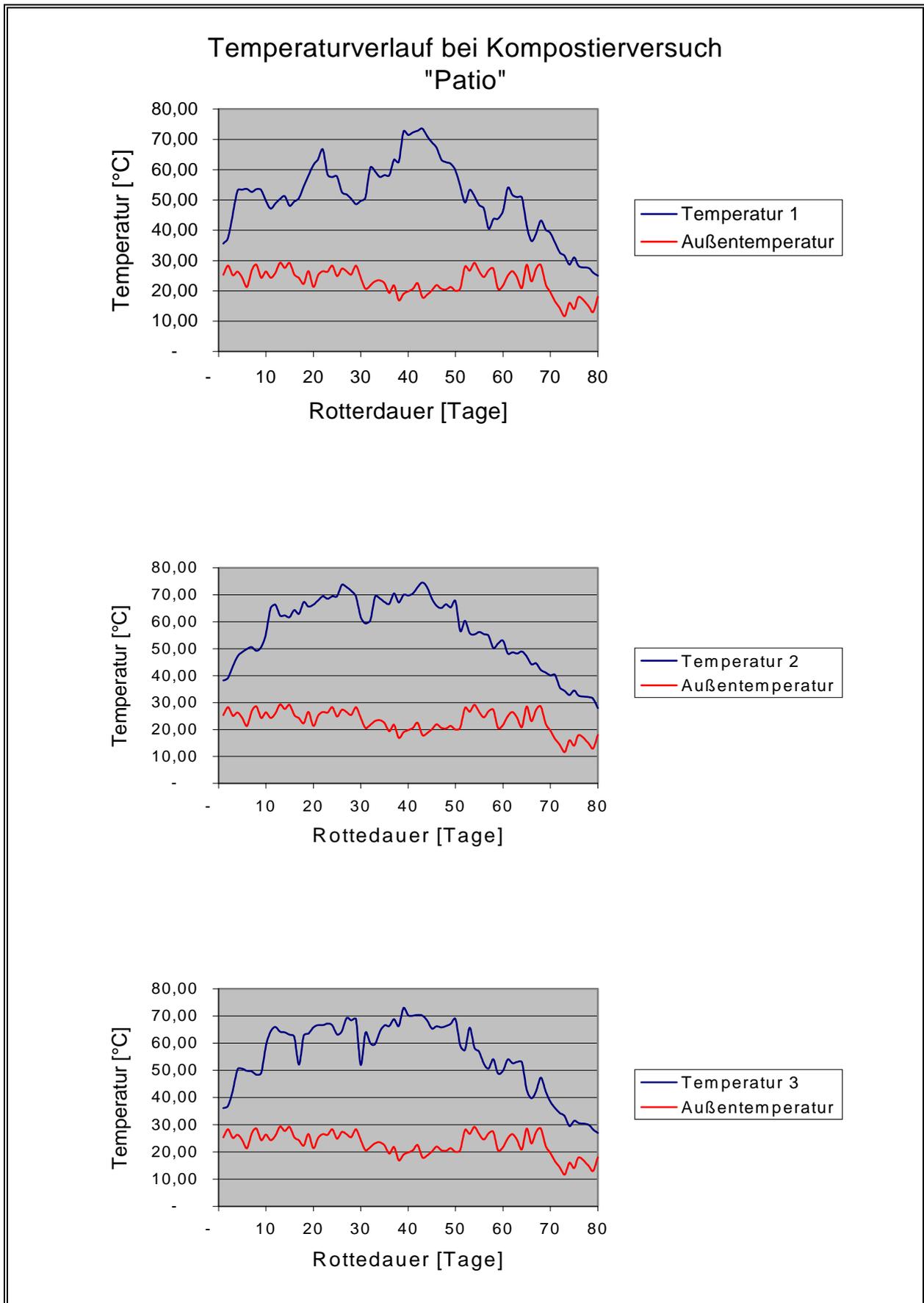
**ANHANG D: Temperaturkurven von drei verschiedenen Plätzen innerhalb der Mieten bei den Kompostierungsversuchen in Estrela.**



**Abbildung D.1: Temperaturkurven für Versuch mit Substratzugabe.**

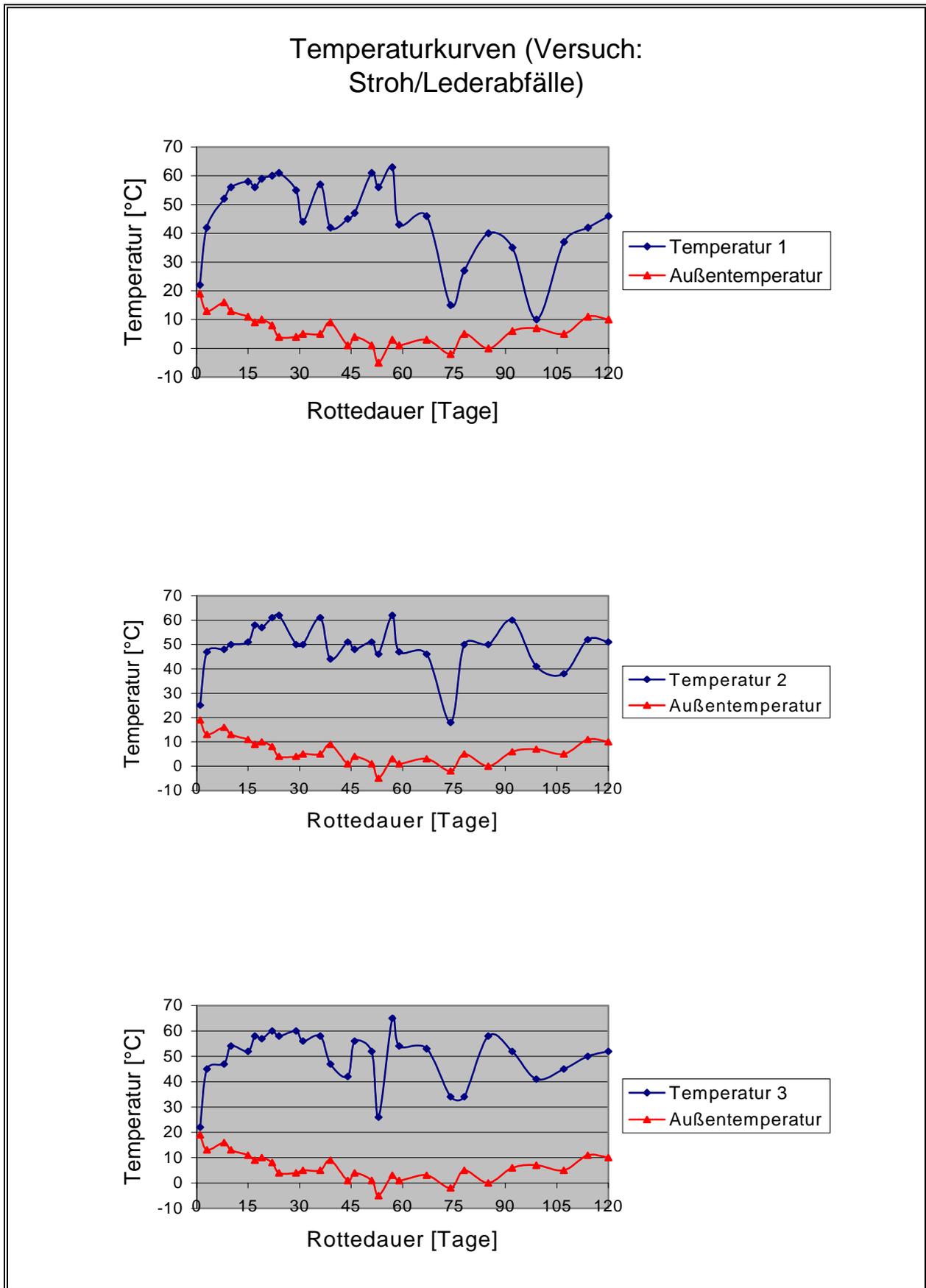


**Abbildung D.2: Temperaturkurven für Versuch ohne Substratzugabe.**



**Abbildung D.3:** Temperaturkurven für Versuch "Patio" auf der Kompostierungsanlage.

**ANHANG E: Kompostierungsversuche mit Lederfalz-Spänen in der Anlage Allerheiligen.**



**Abbildung E.1: Temperaturkurven für Versuch: Stroh/Lederabfälle.**

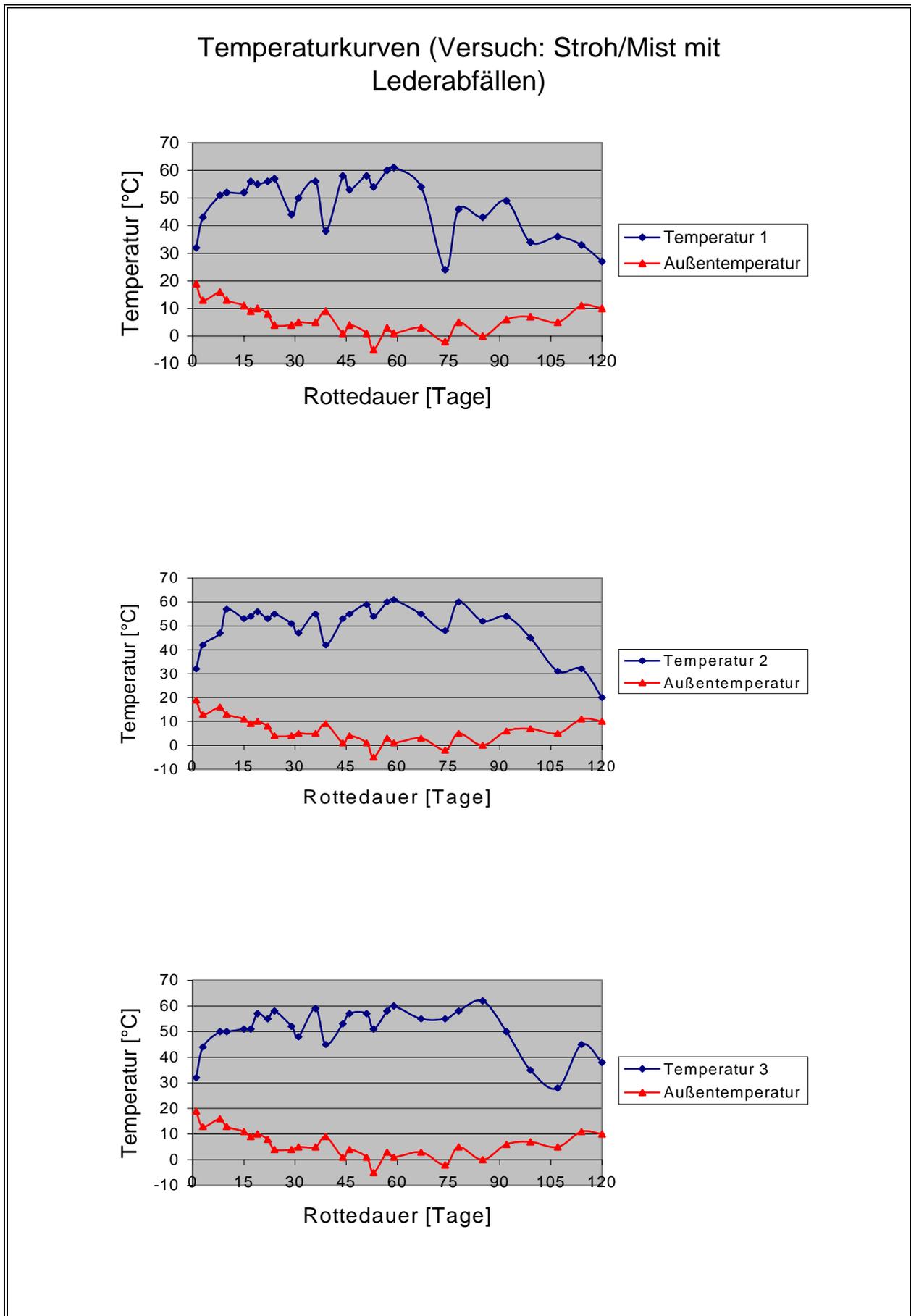


Abbildung E.2: Temperaturkurven für Versuch: Stroh/Mist mit Lederabfällen.

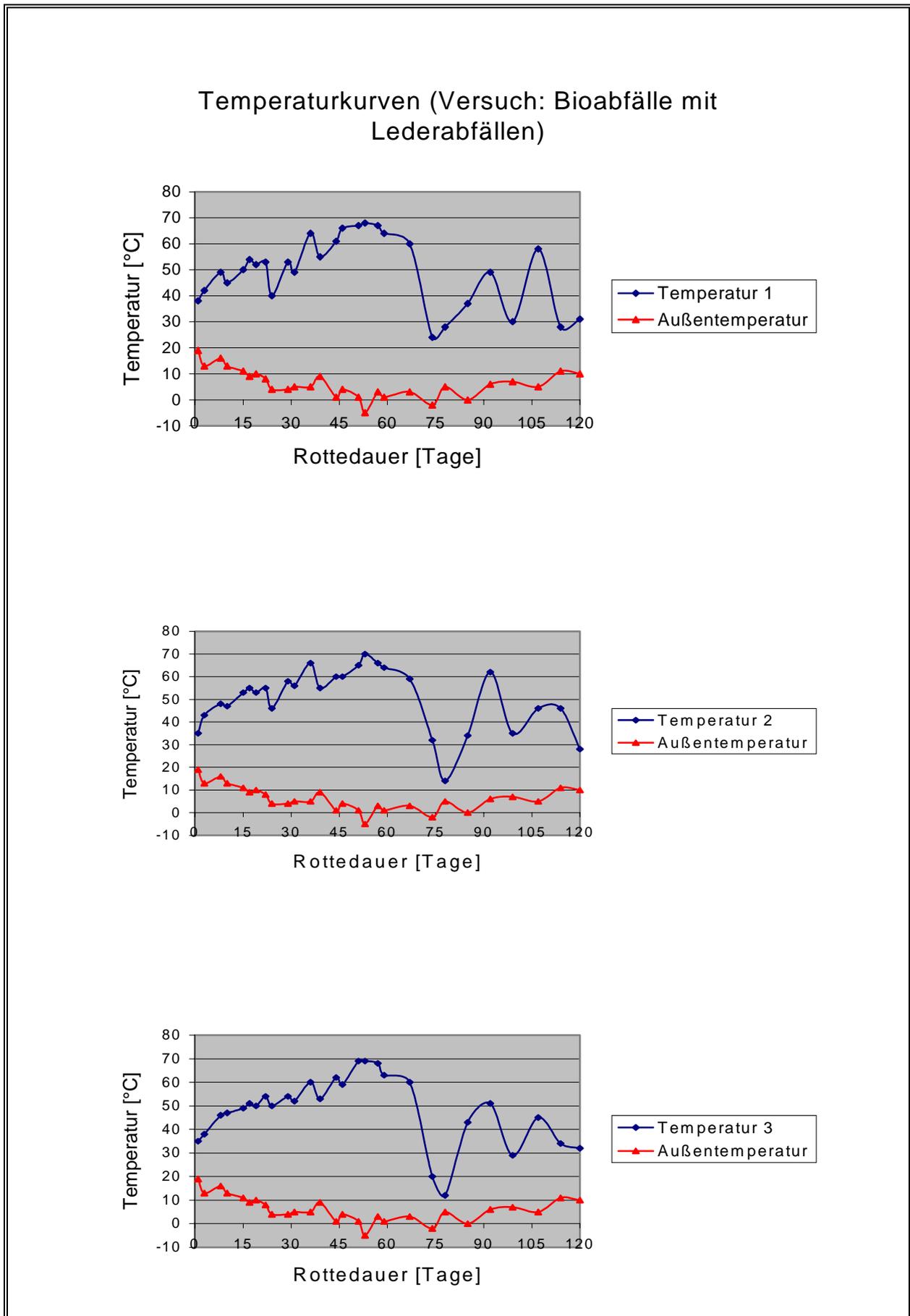


Abbildung E.3: Temperaturkurven für Versuch: Bioabfälle/Lederabfälle.

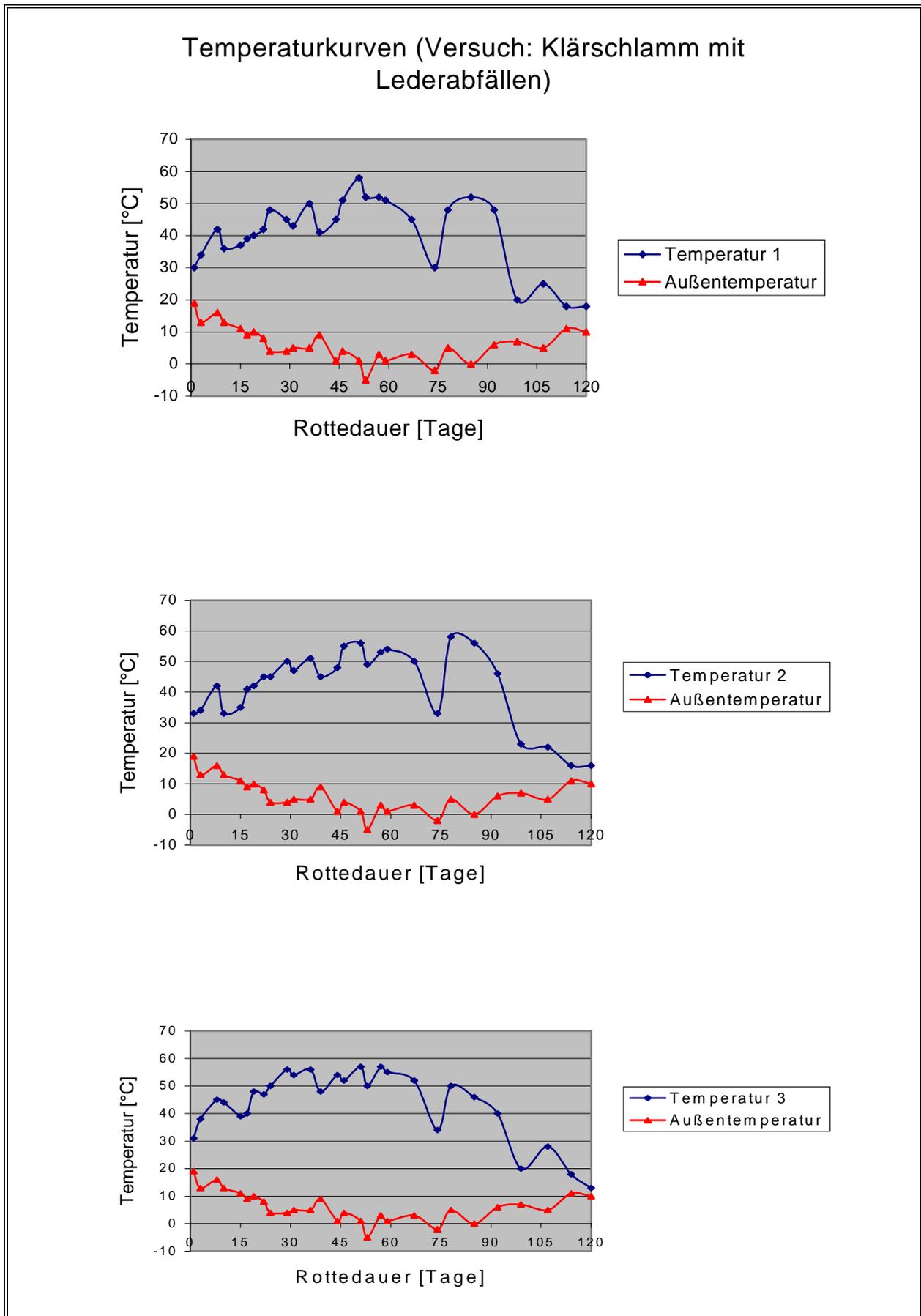
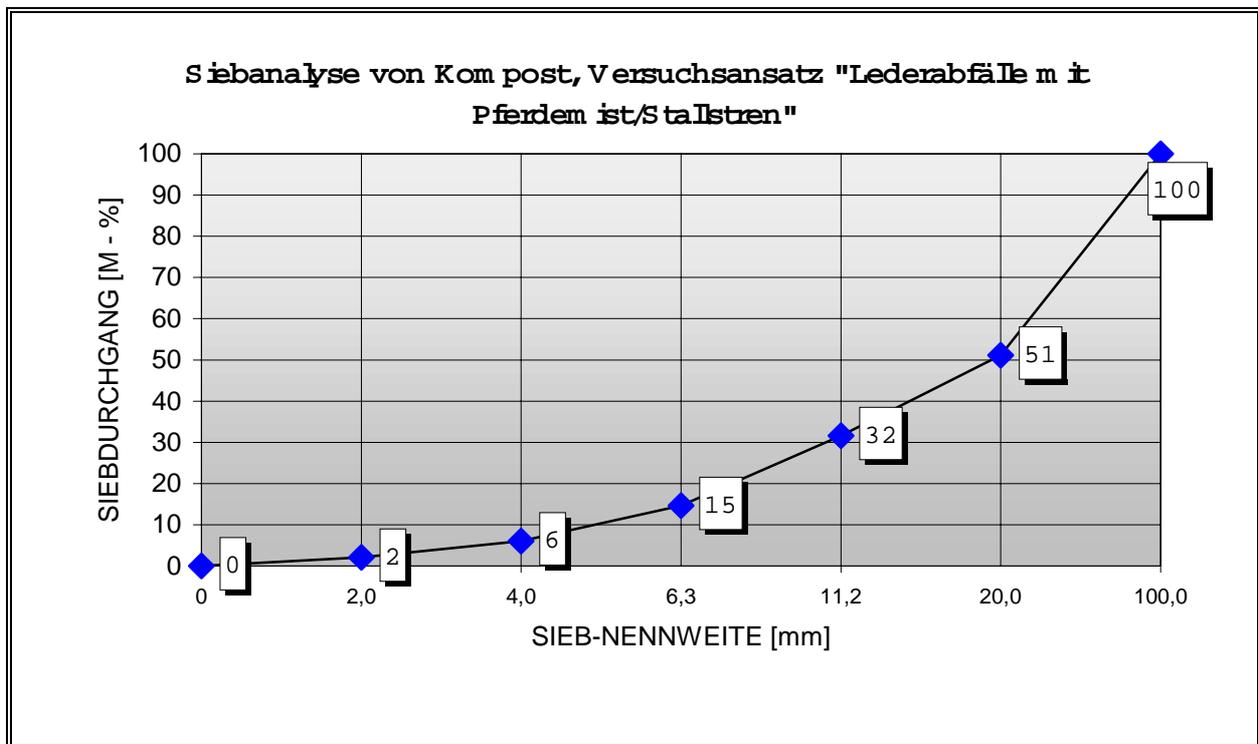
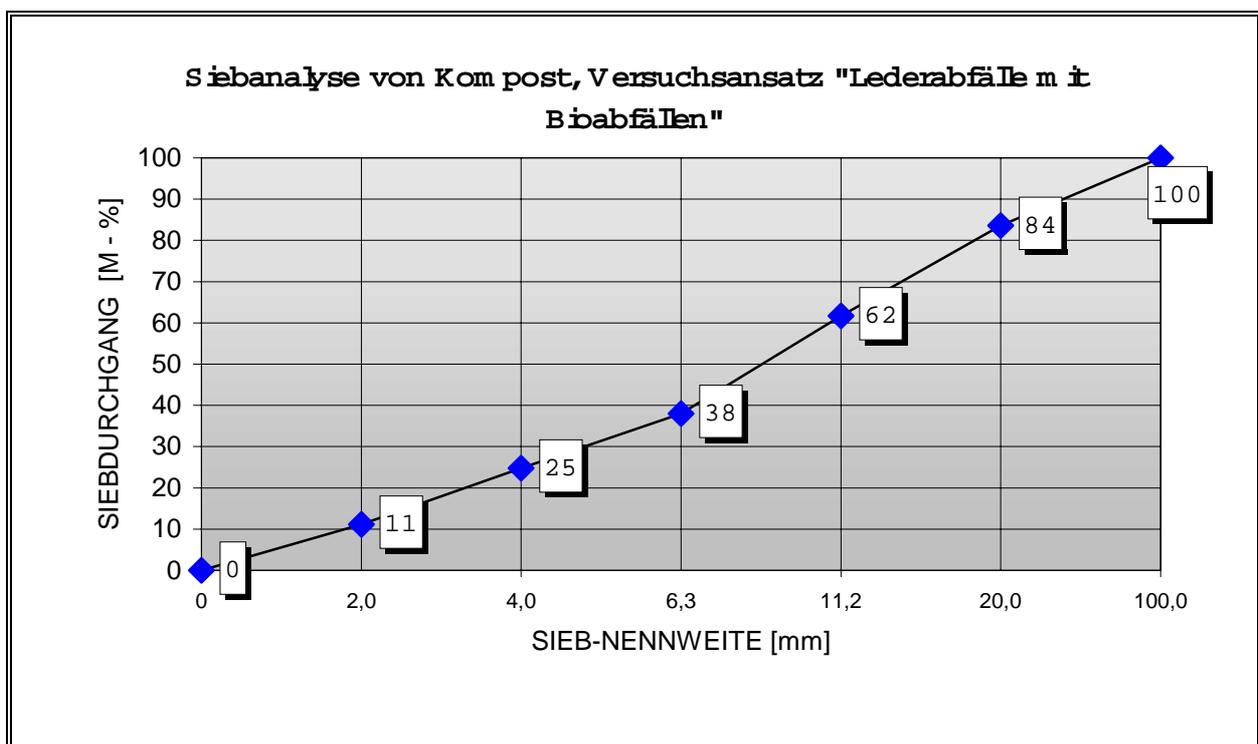
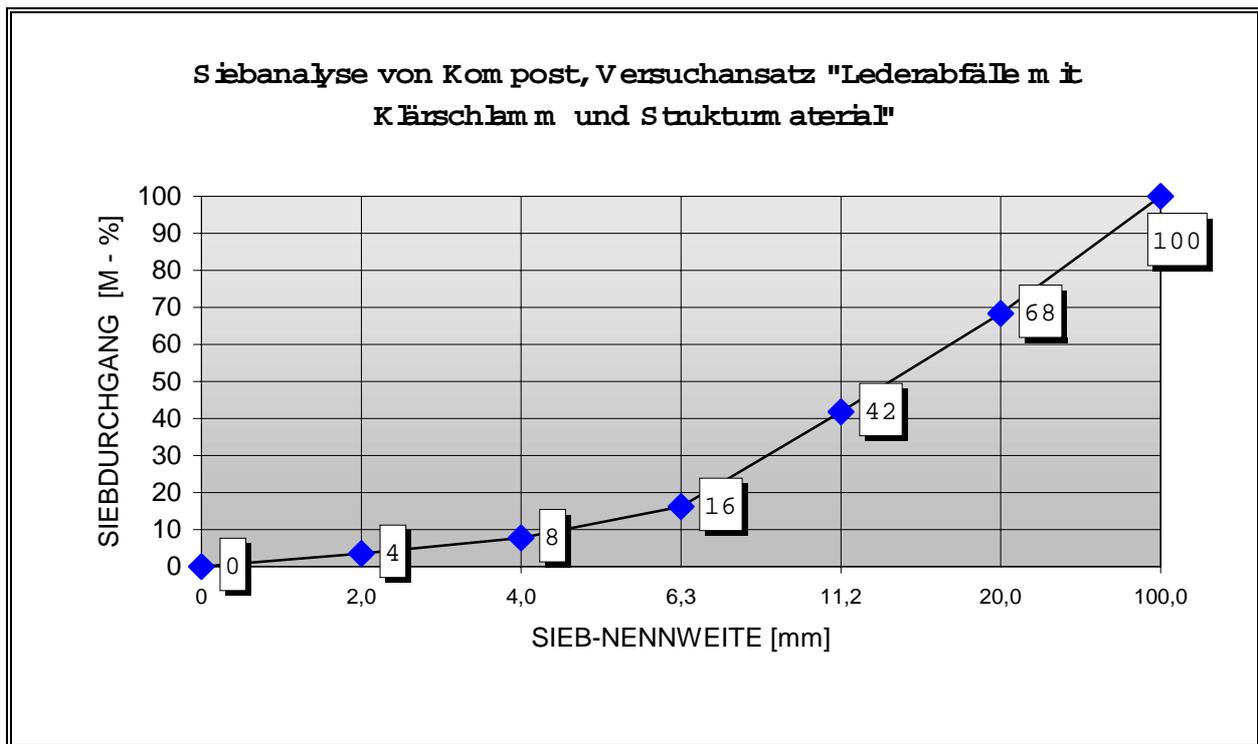


Abbildung E.4: Temperaturkurven für Versuch: Klärschlamm/Lederabfälle.

**ANHANG F: Siebanalysen von Kompost aus der MBA-Allerheiligen.****Abbildung F.1: Siebanalyse von Kompost, Versuchsansatz 2 (Pferdemist).****Abbildung F.2: Siebanalyse von Kompost, Versuchsansatz 3 (Bioabfälle).**



**Abbildung F.3: Siebanalyse von Kompost, Versuchsansatz 4 (Klärschlamm mit Strukturmaterial).**

**ANHANG G: Massen- und Volumensreduktion im Verlauf der Kompostierversuche in der Anlage Allerheiligen.**

**Tabelle G1: Massen- und Volumensreduktion im Verlauf der Kompostierversuche.**

Versuchsansatz	Rotteverlust in Massen %	Rotteverlust in Vomumens %
Falzspäne & Stroh	46	55
Falzspäne & Stroh/Mist	42	51
Falzspäne & Bioabfälle	45	41
Falzspäne & Klärschlamm und Strukturmaterial	28	46